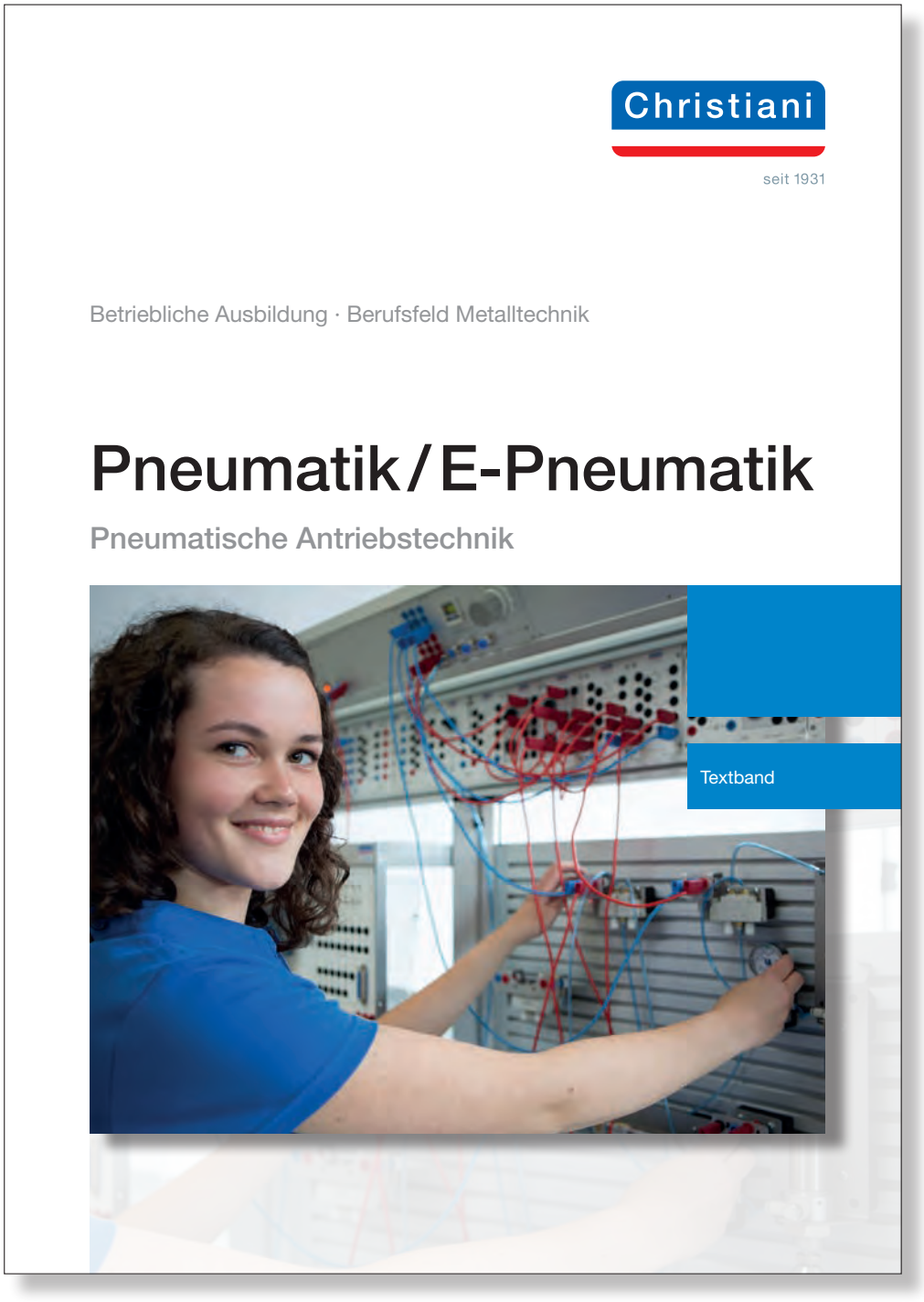
Leseprobe



Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG
www.christiani.de

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Christiani
seit 1931

Vorwort

In der Automatisierungstechnik haben pneumatische Antriebe eine enorme Bedeutung. Sie stehen im direkten Wettbewerb mit elektrischen und hydraulischen Antrieben. Im Vergleich zum Elektromotor sind pneumatische Antriebe einfacher zu handhaben und günstiger in der Investition, aber weniger flexibel in der Anwendung. Im Vergleich zu hydraulischen Antrieben sind pneumatische Antriebe kleiner, schneller, kostengünstiger, mit weniger Umweltproblemen belastet, aber können bei Weitem nicht die gleichen Kräfte aufbringen.

Der praktische Einsatz pneumatischer Antriebe verlangt sowohl Grundlagenkenntnisse der Pneumatik als auch Kenntnisse darüber, wie der Pneumatikzylinder einzusetzen ist, und welche Vielfalt unterschiedlicher Zylinder es heute gibt.

Der vorliegende Theorieband versucht, die grundlegenden Eigenschaften der pneumatischen Antriebstechnik darzustellen. Anhand vieler Beispiele sollen dabei für Auszubildende und Schülerinnen wie Schüler praktische Hinweise gegeben werden, wie mit Fragen zur pneumatischen Antriebstechnik umgegangen werden kann.

Der zweite Abschnitt soll eine Einführung in die Steuerungstechnik bieten, wobei in allen Beispielen pneumatische Antriebe für den Leistungsteil genutzt werden. Die grundlegenden Funktionen der Steuerungstechnik werden jeweils mit den Mitteln der Pneumatik, der Relaistechnik und der programmierbaren Steuerungstechnik dargestellt.

Die Neufassung der DIN EN_IEC_81346-2 hat es erforderlich gemacht, viele Schaltpläne zu aktualisieren.

Wenn Sie Fragen oder Anregungen, Kritik oder Änderungswünsche haben, senden Sie eine Mail an info@christaini.de

Bergisch Gladbach, Oktober 2024

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Christiani
seit 1931

Inhaltsverzeichnis

1 Pneumatik . . . 1
1.1 Grundbegriffe der Physik . . . 1
1.1.1 Arbeit . . . 1
1.1.2 Leistung . . . 2
1.1.3 Kraft . . . 2
1.1.4 Druck . . . 3
1.2 Drucklufterzeugung . . . 4
1.2.1 Verdichterbauarten (Kompressorbauarten) . . . 4
1.2.2 Druckluftbehälter . . . 6
1.2.3 Lufttrockner . . . 6
1.2.4 Kältetrockner . . . 7
1.2.5 Druckluft-Verteilungsanlage . . . 8
1.2.6 Aufbereitung der Druckluft . . . 8
1.3 Pneumatische Antriebe . . . 10
1.3.1 Grundlagen pneumatischer Antriebstechnik . . . 10
1.3.2 Kolbenstangenzylinder . . . 10
1.3.3 Pneumatische Antriebe ohne Kolbenstange . . . 29
1.3.4 Geschwindigkeit pneumatischer Antriebe ändern . . . 35
1.3.5 Pneumatische Antriebe stoppen . . . 39
1.3.6 Wegeventile . . . 42
1.3.7 Strom- und Sperrventile . . . 46
1.3.8 Pneumatikpläne . . . 49

2 Ablaufsteuerung und GRAFCET . . . 55
2.1 Beispiel eines Ablaufs mit einem Zylinder . . . 56
2.2 Beispiel eines Ablaufs mit zwei Zylindern . . . 57
2.3 Symbole des GRAFCET . . . 59

3 Pneumatische Antriebe steuern . . . 65
3.1 Die Beschreibung der Logischen Verknüpfungen . . . 65
3.2 Die Identität . . . 65
3.3 Die Negation . . . 67
3.4 UND . . . 69
3.5 ODER . . . 73
3.6 Exklusives ODER (EXOR) . . . 76
3.7 Speicher . . . 78
3.7.1 Der dominant löschende Speicher . . . 78
3.7.2 Der dominant setzende Speicher . . . 80
3.7.3 Der „speichernde“ Speicher . . . 82
3.7.4 Drahtbruchsicherheit . . . 84

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Christiani
seit 1931

3.7.5 Beispiel Dominant löschend: Das Pneumatik-Hauptventil . . . 84
3.7.6 Beispiel dominant setzend: Fehlermeldung . . . 86
3.7.7 Beispiel Impulsventil: Greifen und Halten . . . 87

3.8 Zeitverzögerung . . . 89
3.8.1 Timer (einschaltverzögert) . . . 89
3.8.2 Timer (ausschaltverzögert) . . . 90
3.8.3 Beispiel für Ein- und Ausschaltverzögerung . . . 91
3.8.4 Impulstimer . . . 93

3.9 Vorwahlzähler . . . 94

Anhang

Sachwortverzeichnis . . . 97

Quellenverzeichnis . . . 99

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

1 Pneumatik

Die Pneumatik ist ein faszinierender Arbeitsbereich. Sie ermöglicht das Arbeiten mit Druckluft. Faszinierend ist das vor allem, weil wir einerseits in unendlich vielen Bereichen täglich mit den Fähigkeiten von Druckluft vertraut sind, andererseits der Luft um uns herum nicht wirklich zutrauen können, dass sie „arbeitet".

Nun, ganz so einfach ist es auch nicht. Bevor wir Druckluft für uns arbeiten lassen können, muss die Luft komprimiert werden. Sobald der Luftdruck in einem Raum, Zylinder oder Ballon sich von dem Luftdruck in der Umgebung unterscheidet, kann die Luft für uns arbeiten.

Merke:

Pneumatik ist Arbeiten mit Druckluft.

Druckluft ist Luft mit einem anderen Druck als der Umgebungsdruck.

Luftdruck ist der Druck, den die Luft in einem bestimmten Raum hat.

Aus unserem Alltag kennen wir das gut: Das Fahrrad fährt auf aufgepumpten Reifen besser als auf einem „platten" Reifen. Für das Auto gilt das Gleiche. Im Schnellkochtopf herrscht Überdruck, deshalb werden Kartoffeln schneller gar.

Bild 1 *Druckluft kann arbeiten*

In der Pneumatik soll die Druckluft bei der Arbeit helfen, z.B. eine schwere Kiste anzuheben, einen Deckel aufzusetzen, einen Bolzen einzusetzen oder … Um Druckluft zu verstehen, um Arbeit mit Druckluft zu verstehen, um Druck zu verstehen, brauchen wir ein paar Grundbegriffe. Damit beginnen wir.

1.1 Grundbegriffe der Physik

Wie jedes Thema benötigen wir einige Vokabeln, um uns verständlich machen zu können. Für die Pneumatik von besonderer Bedeutung sind die folgenden.

1.1.1 Arbeit

Druckluft soll für uns Arbeiten. Was aber ist das eigentlich, Arbeit?

Mechanische Arbeit ist definiert als Kraft mal Weg.

Merke:

Arbeit ist Kraft × Weg

Arbeit ist Energie, die mit Hilfe von Kraft von einem auf einen anderen Körper übergeht.

Wenn mit Hilfe einer Luftpumpe oder eines Kolbens Luft komprimiert wird, dann wird der Kolben mit Kraft bewegt. Daraus entsteht dann komprimierte Luft und Wärme.

Die Einheit der Arbeit ist das Joule [J], das Formelzeichen ist *W*.

1 J = 1 Nm = 1 Ws

Beispiel Bewegen z. B.

Eine Autokarosse wird um einen ½ m angehoben, damit der Motor von unten eingebaut werden kann.

Geg.: $m_{Karosse} = 500\ kg$

$F_{Karosse} = 500\ kg \cdot 10\ \frac{m}{s^2}$

$= 5000\ N$

$s = 500\ mm = 0{,}5\ m$

Ges.: W

Formel: $W = F \cdot s$

Rechnung:

$W = 5000\ N \cdot 0{,}5\ m = 2500\ Nm$

$= 2{,}5\ kNm = 2{,}5\ kJ = 2{,}5\ kWs$

(Die Erdbeschleunigung ist gerundet auf 10 m/s².)

Die Einheit Nm (Newtonmeter) ergibt sich direkt aus der Definition von Kraft [N] mal Weg[m]. Die Einheit Ws (Wattsekunde) ergibt sich aus der elektrischen Arbeit, die definiert ist als Leistung (Watt) mal Zeit (s). Watt ist die Einheit für die (elektrische) Leistung. Wenn ein Elektromotor mit 1 Watt Leistung eine Sekunde lang arbeitet, dann hat er Arbeit in der Größe von 1 Ws geleistet. Die Einheit J (Joule) ist international festgelegt als Einheit für die Arbeit.

Arbeit
work

Kraft
force

Weg
path, displacement

Arbeit ist Kraft mal Weg.
Work equals force times displacement.

Luft
air

Pneumatik
pneumatics

Druckluft
compressed air

Luftdruck
air pressure

Wärme
heat

Einheit
unit

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Beispiel Energiekosten: z. B.

Die monatliche Bezahlung für den genutzten Strom beinhaltet die Bezahlung der elektrischen Arbeit. Abgerechnet wird in kWh (Kilowattstunden).

In der Grundgebühr ist die zur Verfügung stehende Leistung enthalten: Je höher die Leistung ist, die abrufbar sein soll, desto höher ist die Grundgebühr. Je höher die abgerufene (verbrauchte) Arbeit, also Leistung mal Zeit, ist, desto höher die laufenden Kosten.

1.1.2 Leistung

Leistung ist Arbeit pro Zeit. Das ist alltäglich: Wenn ich einen Eimer Wasser vom Keller aufs Dach trage, dann verrichte ich Arbeit. Benötige ich für diese Arbeit 1 Stunde Zeit, dann ist die Leistung deutlich geringer, als wenn ich nur 5 Minuten benötige.

Die Einheit der Leistung ist das Watt [W], das Formelzeichen ist das *P*.

Beispiel Leistung: z. B.

Die oben beschriebene Autokarosse wird innerhalb 2 s angehoben. Welche Leistung wird benötigt?

Geg.: $W = 2{,}5$ kJ
$t = 2$ s
Ges.: P
Formel: $P = W/t$
Rechnung:

$$P = \frac{2{,}5\ \text{kJ}}{2\ \text{s}} = 1{,}25\ \text{kW}$$

1.1.3 Kraft

Kraft ist nicht sichtbar. Wir können Kraft nur an der Wirkung erkennen. Von einem Muskelpaket schließen wir auf Oberarme mit Kraft. Wenn wir beobachten, wie jemand eine Waschmaschine alleine die Treppe hinaufträgt, dann wissen wir, dass dieser Jemand Kraft hat. Wenn auf der Baustelle ein Hammer einen Pfosten in den Boden treibt, dann ist klar, dass hier Kraft im Spiel ist. Aber Kraft hat keine Farbe, kein Gesicht, keine Form.

Wir erkennen die Kraft also nur an ihrer Wirkung. Diese Wirkungen sind die Verformung (z. B. ein Blech verbiegen), die Beschleunigung (z. B. ein Auto beschleunigen oder abbremsen) oder das Halten (gegen eine andere Kraft).

Am Einfachsten lässt sich Kraft aus der „Gewichtskraft“ erfahren: Ein Körper, nehmen wir eine Flasche Mineralwasser, übt eine Kraft auf die Fläche aus, auf der die Flasche steht.

Es ist außerdem bekannt, dass die Kraft, die die Flasche auf unsere Hand ausübt, abhängig ist davon, wo wir stehen: Auf dem Mond ist die Kraft deutlich geringer, im Weltraum nahe Null, die Astronauten in der ISS schweben, d. h. sie üben keine Gewichtskraft auf ihren Astronautensitz aus.

Das bedeutet, dass die Gewichtskraft abhängig sein muss von der Masse eines Körpers (die 1 Liter-Flasche ist „schwerer“ als die 0,5 Liter-Flasche) und von der Erdanziehung (oder der Anziehung auf einem anderen Planeten, z. B. dem Mond). Die Erdanziehung ist es, was dafür sorgt, dass die Flasche nach unten fällt, wenn wir sie fallen lassen. Dabei wird die Flasche auf dem Weg nach unten immer schneller, d. h. sie beschleunigt.

Das bedeutet:

Kraft = Masse × Beschleunigung

Merke:
Kraft ist Masse × Beschleunigung

Das Formelzeichen der Kraft ist *F*, die Einheit N (Newton). Das Formelzeichen der Beschleunigung ist *a*, die Einheit $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Beispiel Gewichtskraft: z. B.

Die oben beschriebene Autokarosse hat eine Masse von $m = 500$ kg. Welche Gewichtskraft wirkt?

Geg.: $m = 500$ kg
g (Erdbeschleunigung)
$= 9{,}81\ \text{m/s}^2$
Ges.: F_G
Formel: $F_G = m \cdot g$
Rechnung:

$F_G = 500\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 = 4905\ \text{N}$

Beim Umgang mit Druckluft und pneumatischen Antrieben muss mit recht großen Toleranzen gearbeitet werden. Vereinfacht wird daher in der Regel mit einer Erdbeschleunigung von $g = 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ gerechnet.

abgegebene Leistung
output

Betriebsverhalten
performance

Wirkungsgrad
efficiency

elektrische Leistung
power

Nennleistung
rating

Arbeit ist Leistung pro Zeit.
Performance is work per time.

Masse
mass

Beschleunigung
acceleration

Kraft ist Masse × Beschleunigung.
Force ist mass times acceleration.

Kraft
force

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Beispiel Beschleunigung eines Autos: z. B.

Ein PKW habe ein Gewicht von 1 to und beschleunige laut Hersteller von 0 auf 100 km/h in 5 s. Wie groß ist die Beschleunigung und welche Kraft wird dafür benötigt – unter Vernachlässigung aller Verluste bzw. Wirkungsgrade?

Geg.: $m = 1000$ kg
Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in 5 s

Ges.: a, F

Formel: $F = m \cdot a$ (Kraft ist Masse × Beschleunigung)
$v = a \cdot t$ (Geschwindigkeit ist Beschleunigung × Zeit)

Rechnung:

Zuerst wird die Beschleunigung berechnet:

$$100 \frac{\text{km}}{h} = a \cdot 5\ \text{s}$$

$$100 \frac{1000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = a \cdot 5\ \text{s} \qquad | : 5\ \text{s}$$

$$\frac{1000\ \text{m}}{36\ \text{s} \cdot 5\ \text{s}} = a$$

$$a = 5{,}56 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Berechnung der Kraft:

$$F = 1000\ \text{kg} \cdot 5{,}56 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5560\ \text{N}$$

1.1.4 Druck

Wenn eine Kraft auf eine Fläche drückt, wird von Druck gesprochen. Daher ist Druck definiert als Kraft pro Fläche. Das Formelzeichen ist p (klein geschriebenes p), die Einheit Pa (Pascal).

$$1\ \text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Merke:
Druck ist Kraft pro Fläche.

Da der Druck von 1 Pa für viele Anwendungen sehr gering ist, wird häufig mit MPa (Mega-Pascal) gerechnet: 1 MPa = 1 000 000 Pa.

Umgebungsdruck

Der Druck, den eine Luftsäule mit einer Grundfläche von 1 m² von der Meereshöhe bis zur Atmosphäre ausübt, beträgt rund 10^5 Pa (100 000 Pa).

Ausgehend von diesem Umgebungsdruck wird die Einheit „bar“ benutzt.

1 bar = 100 000 Pa = 0,l MPa

In den meisten technischen Anwendungen interessiert der Unterschied zwischen dem atmosphärischen Druck (dem Umgebungsdruck p_{amb}) und dem in der Anwendung benutzten Druck, dem Überdruck p_e.

Wenn der Druck niedriger als der Umgebungsdruck ist, wird meist von Vakuum gesprochen, auch von Unterdruck oder negativem Überdruck.

Wenn in einem Raum keine Materie existiert, dann ist der Druck $p = 0$ Pa, das ist absolutes oder ideales Vakuum. Ideales Vakuum ist auf der Erde nicht herstellbar.

Beispiel Druck von 1 Pa: z. B.

Eine Tafel Schokolade in Standardgröße wiegt 100 g, hat also die Masse $m = 100\ \text{g} = 0{,}1\ \text{kg}$.

Die Gewichtskraft der Schokolade (ohne Verpackung) ist gerundet:

$$F_G = 0{,}1\ \text{kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1\ \text{N}$$

Diese Tafel Schokolade wird ausgewellt auf einer Fläche von 1 m², also auf die Größe von 1 m × 1 m.

Dann ist der Druck dieser Schokolade auf die 1 m² große Unterlage etwa 1 Pa.

$$1\ \text{Pa} = \frac{1\ \text{N}}{1\ \text{m}^2}$$

Rollen wir dieses hauchdünne Blättchen Schokolade nun ein, sodass ein runder Stab entsteht, der einen Durchmesser von 1 mm hat, und stellen den Stab senkrecht auf den Tisch, dann wird diese Tafel Schokolade bereits einen erheblich höheren Druck ausüben:

Die Fläche A des Stabes mit $d = 1$ mm:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 1^2\ \text{mm}^2 = 0{,}785\ \text{mm}^2$$

Dann ist der Druck p

$$p = \frac{1\ \text{N}}{0{,}785 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2} = 1\,273\,240\ \text{Pa}$$
$$= 1{,}27\ \text{MPa} = 12{,}7\ \text{bar}$$

Da Druck = Kraft pro Fläche ist, gibt es einen absoluten Nullpunkt des Drucks, genau dann, wenn keine Kraft auf die Fläche wirkt. Auf der Erde wirkt aber immer der Umgebungsdruck (p_{amb}). Mit Druckluft kann daher nur gearbeitet werden, wenn der Druck sich von diesem Umgebungsdruck unterscheidet. Ist der Druck niedriger als der Umgebungsdruck, wird von Unterdruck, Vakuum oder negativem Überdruck gesprochen. Ist der Druck höher als der Umgebungsdruck, dann wird von Überdruck (p_e) gesprochen.

■ **Druck, Kraft**

TB

Druck
pressure

Druck ist Kraft pro Fläche.
Pressure is force per area.

Umgebungsdruck
ambient pressure

Überdruck
pressure (excess pressure, positive pressure)

Unterdruck
negative pressure (vacuum)

Vakuum
vacuum

1 bar = 100 000 Pa = 100 kPa = 1000 hPa = 1000 mbar

1 bar = 10 N/cm² = 0,1 N/mm²

1 bar = 0,1 MPa

1 MPa = 1 N/mm²

6 bar = 0,6 MPa = 0,6 N/mm²

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Kompressor
compressor

Druckluftversorgung
compressed air supply

Druckluftleitung
air supply line

Filter
filter

Filterverschmutzung
filter pollution contamination

Verdichterbauart
type/design of compressor

Kolbenverdichter
piston compressor

Hubkolbenverdichter
reciprocating compressor

Drehkolbenverdichter
rotary piston compressor

Strömungsverdichter
flow compressor

Membranverdichter
diaphragm compressor

Axialverdichter
axial compressor

Radialverdichter
radial centrifugal compressor

Je nach Anwendung werden unterschiedliche (Über-)Drücke verwendet. Um eine einheitliche Berechnungsgrundlage zu haben, wird in der Pneumatik als Nenndruck p_e = 0,6 MPa = 6 bar (Überdruck) benutzt. Das muss aber nicht notwendig für eine konkrete Anlage gelten. Wenn eine Beschreibung sich also auf eine bestimmte Anwendung bezieht, dann wird vom Betriebsdruck p_e dieser Anlage gesprochen.

Wenn der Druck ausgehend vom absoluten Nullpunkt aus angegeben werden soll, spricht man vom absoluten Druck (p_{abs}).

Merke:

Druck ist Kraft pro Fläche.

Der **Umgebungsdruck** p_{amb} ist der Druck in der Umgebung einer Anlage, bei uns in der Regel etwa 0,1 MPa (1 bar).

Überdruck p_e ist Druck über dem Umgebungsdruck.

Unterdruck p_e (auch: **Vakuum**) ist Druck unter dem Umgebungsdruck.

Absoluter Druck p_{abs} ist Umgebungsdruck + Überdruck oder Druck gemessen vom absoluten Nullpunkt aus.

Differenzdruck Δp ist der Druckunterschied zwischen zwei Drücken.

Betriebsdruck p_e ist der Überdruck, der im Betrieb einer Anwendung genutzt wird.

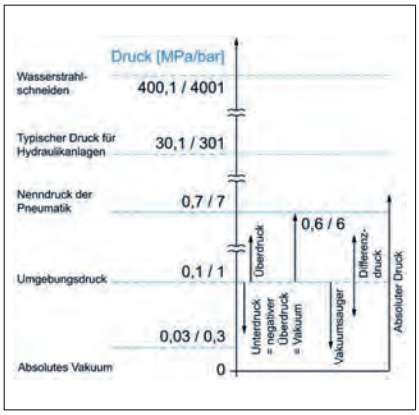


Bild 2 *Druck*

Merke:

Unterdruck kann angegeben werden als:

Absoluter Druck oder negativer Überdruck oder Prozentangabe vom erreichbaren Vakuum.

Beispiele Angabe des Unterdrucks: z. B.

Wenn:

p_{abs} = 0,035 MPa (0,35 bar) dann kann auch angegeben werden:

p_e = –0,065 MPa (–0,65 bar) oder

65 % Vakuum oder

0,065 MPa (0,65 bar) Unterdruck

1.2 Drucklufterzeugung

Druckluft wird in Verdichtern (Kompressoren) erzeugt und dabei auf den gewünschten Betriebsdruck (6 bar bis 8 bar) verdichtet (seltener über 10 bar). Bei pneumatischen Antrieben und Steuerungen verwendet man meistens eine zentrale Druckluftversorgung. Dadurch brauchen nicht für jeden Verbraucher die Energieumformung und Energieübertragung einzeln berechnet und geplant zu werden.

Von den Verdichterstationen wird den Pneumatik-Anlagen die Druckluft über Leitungen zugeführt. Bei der Planung sollte man berücksichtigen, dass später die Verdichteranlage eventuell ohne großen Aufwand zu erweitern ist. Ein nachträglicher umfangreicher Ausbau oder eine Erweiterung der Anlage ist nämlich immer mit höheren Kosten verbunden, als wenn man diese Möglichkeit von Anfang an berücksichtigt.

Druckluftgeräte benötigen für eine lange Lebensdauer eine möglichst reine Luftversorgung. Deshalb ist Filterung der Luft besonders wichtig.

1.2.1 Verdichterbauarten (Kompressorbauarten)

In Abhängigkeit vom Arbeitsdruck und von der gelieferten Druckluftmenge kann man prinzipiell zwischen Hubkolbenverdichtern, Drehkolbenverdichtern und Strömungsverdichtern unterscheiden Kolbenverdichter bezeichnet man auch als Verdrängungsverdichter und Strömungsverdichter als Turboverdichter.

Hubkolbenverdichter

Hubkolbenverdichter gibt es als einstufige Kolbenverdichter (Bild 4) und als mehrstufige Kolbenverdichter (Bild 5) sowie als Membranverdichter (Bild 6). Mit einstufigen Kolbenverdichtern werden bis 8 bar Druck erzeugt, mit zweistufigen bis 20 bar und mit drei- und mehrstufigen bis 250 bar. Die lieferbare Druckluftmenge kann bis zu 8 m^3/s (≈ 500 m^3/min) betragen.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

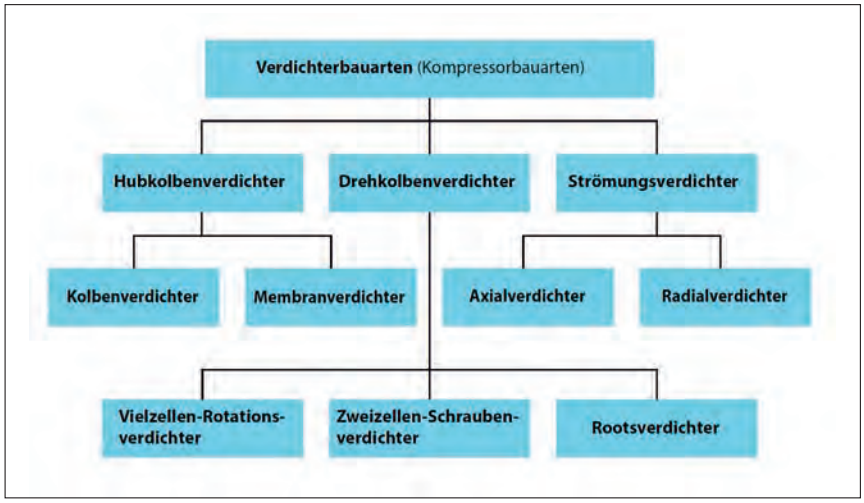


Bild 3 *Verdichterbauarten*

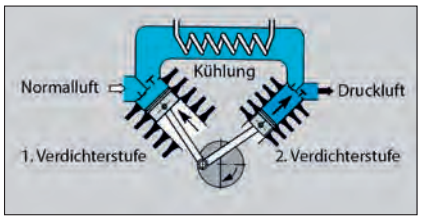


Bild 4 *Einstufiger Kolbenverdichter*

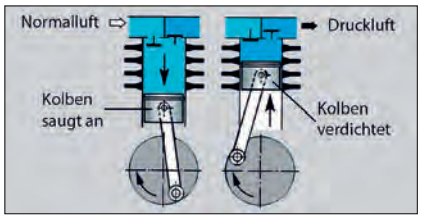


Bild 5 *Zweistufiger Kolbenverdichter*

Kolbenverdichter sind in der Praxis weit verbreitet. Sie haben jedoch den Nachteil, dass die Luftförderung nicht stoßfrei erfolgt. Es tritt ein pulsierender Luftstrom auf. Bei geschmierten Verdichtern kann es manchmal zur unerwünschten ölhaltigen Druckluft kommen, z. B. in der Lebensmittelindustrie. Der Vorteil der Kolbenverdichter liegt in der robusten Bauart und in der Sicherheit, dass ein hoher Druck der Luft erreichbar ist.

Membranverdichter (Bild 6) haben den Vorteil, dass die Druckluft nicht mit gleitenden Teilen in Berührung kommt. Daher werden Membranverdichter bevorzugt in der Lebensmittelindustrie, in der chemischen und pharmazeutischen Industrie eingesetzt.

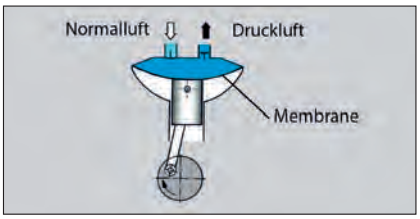


Bild 6 *Membranverdichter*

Drehkolbenverdichter

Drehkolbenverdichter gibt es als Vielzellen-Rotationsverdichter, als Zweizellen-Schraubenverdichter und als Rootsverdichter.

Vielzellen-Rotationsverdichter sind für kleinere bis mittlere Drücke (einstufig bis 4 bar und zweistufig bis 8 bar) geeignet. Die lieferbare Druckluftmenge beträgt bis 1,7 m^3/s (≈ 100 m^3/min).

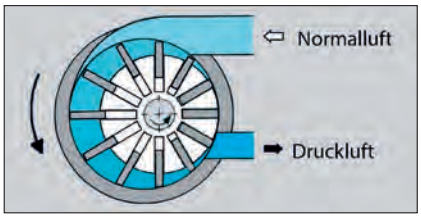


Bild 7 *Vielzellen-Rotationsverdichter*

Schraubenverdichter liefern Drücke bis 10 bar und Druckluftmengen zwischen 0,25 m^3/s und 7 m^3/s (zwischen 15 und 420 m^3/min).

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Druckluftbehälter
compressed air tank

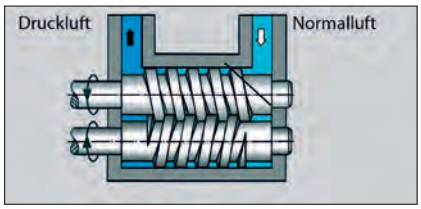


Bild 8 *Schraubenverdichter*

Rootsverdichter sind Kompressoren für niedrige Drücke bis etwa 1 bar. Sie haben zwei gegenläufige Drehkolben und arbeiten ohne innere Verdichtung. Der Druck wird allein durch den Widerstand erzeugt, welcher der strömenden Luft entgegenwirkt. Man erreicht deshalb nur verhältnismäßig niedrige Drücke. Der Arbeitsraum läuft mit dem rotierenden Teil des Verdichters um. Dabei ändert er periodisch sein Volumen. Rootsverdichter benötigen deshalb weder Saug- noch Druckventile.

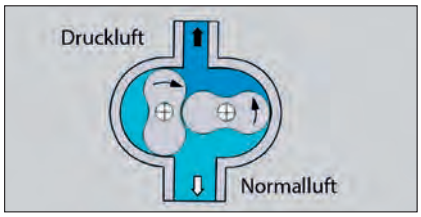


Bild 9 *Rootsverdichter*

Strömungsverdichter

In Strömungsverdichtern (Turboverdichtern) wird auf den Luftstrom, der verdichtet werden soll, Einfluss genommen. Man erreicht die Verdichtung der Luft durch Ansaugen auf der einen Seite des Verdichters (Turbine). Auf der anderen Seite wird die Luft durch Massenbeschleunigung zusammengepresst und verdichtet.

Axialverdichter sind für kleine Drücke bis 4 bar und hohe Druckluft-Liefermengen von 10 bis 40 m^3/s (600 bis 2500 m^3/min) geeignet.

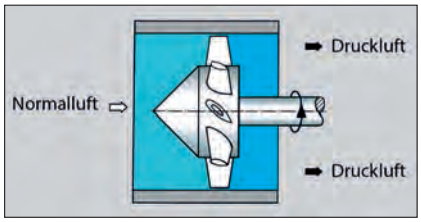


Bild 10 *Axialverdichter*

Radialverdichter verwendet man für mittlere Drücke bis 7 bar und mittlere Druckluft-Liefermengen bis etwa 6 m^3/s (≈ 350 m^3/min). Neuerdings gibt es auch Radialverdichter für höhere Drücke.

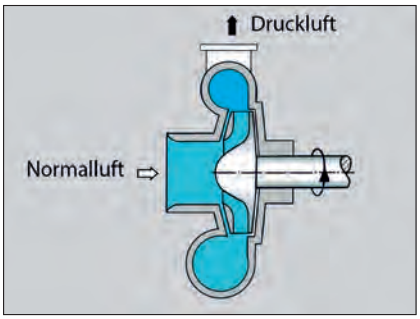


Bild 11 *Radialverdichter*

1.2.2 Druckluftbehälter

Die erzeugte Druckluft wird in Druckluftbehältern gespeichert und über ein Druckluftnetz auf die einzelnen Verbraucher verteilt. Durch die Speicherung in einem Luftbehälter wird die Druckluftversorgung stabilisiert. Der Druckluftspeicher und das Druckluftnetz zusammen haben genügend Luftreserve und nehmen die Druckstöße des Verdichters (Kompressors) auf.

Der Druckluftbehälter wirkt als Druckluftspeicher. Druckluftspeicher müssen aus Sicherheitsgründen regelmäßig überprüft werden.

1.2.3 Lufttrockner

Atmosphärische Luft enthält Feuchtigkeit bzw. Wasserdampf. Die Sättigung ist von der Temperatur abhängig. Mit steigender Temperatur nimmt die Luft eine bestimmte Menge an Wasserdampf auf.

Tabelle 1 *Sättigungsmenge von Wasserdampf in Luft*

Temperatur in °C	Sättigungsmenge Wasserdampf in g/dm^3 (100 % Luftfeuchtigkeit)
–10	2,1
0	4,9
5	7
10	9,5
15	13
20	17
30	30
50	83
70	198
90	424

Nach dem Verdichten kühlt sich die Druckluft ab. Dadurch fällt ein Teil des Wasserdampfs als Kondenswasser (Kondensat) an. Das Kondensat ist unerwünscht, weil es Korrosion fördert und möglicherweise die Produktion stört.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Druckluft wird deshalb „getrocknet“, das heißt, das Kondenswasser wird ausgeschieden. Daher ist es notwendig, nach dem Verdichten und Speichern sogenannte „Lufttrockner“ dazwischenzuschalten, um den Feuchtigkeitsgehalt der Druckluft auf den gewünschten Wert zu senken.

Zum Trocknen der Luft stehen folgende Geräte zur Verfügung: Kältetrockner, Adsorptionstrockner und Absorptionstrockner.

1.2.4 Kältetrockner

Sie funktionieren nach dem Kühlschrankprinzip. Die Druckluft wird dabei durch ein Kältemittel abgekühlt. Das Kältemittel befindet sich in einem Wärmetauscher. Der in der Druckluft vorhandene Wasserdampf wird dabei ausgeschieden.

Das anfallende Kondensat (aus dem Dampfzustand niedergeschlagener Stoff) aus Wasser und Öl wird vom Wärmetauscher über den Abscheider abgeführt. Durch ein Feinfilter können noch weitere Schmutzteilchen aus der Druckluft herausgefiltert werden.

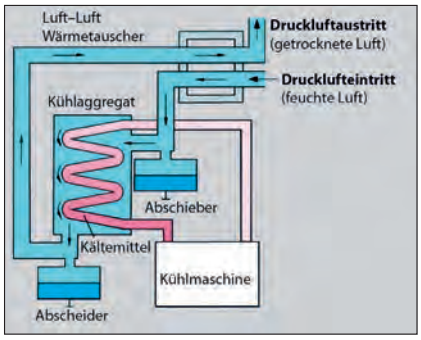


Bild 12 *Kältetrockner*

Drucktaupunkt

Wird Wasserdampf, der sich in der Druckluft befindet, unter die Sättigungstemperatur abgekühlt, dann wird der Dampf wieder flüssig. Die Temperatur, bei der dies geschieht, nennt man Taupunkt. Mit etwas anderen Worten: Wird die Druckluft in einem Kühlsystem so weit abgekühlt, bis der Dampf wieder zu Wasser wird, dann bezeichnet man diese Temperatur als Taupunkt oder Drucktaupunkt (in °C).

Adsorptionstrockner

Adsorptionstrockner sind physikalische Geräte zum Trocknen der Druckluft. Als Trocknungsmittel wird meistens Silicatgel (Salz der Kieselsäure) benutzt, an das sich die Feuchtigkeit anlagert.

Es werden zwei Adsorber (Behälter) benötigt, die abwechselnd betrieben werden. Dadurch kann immer wechselseitig ein Adsorber mittels Druckluft wiederaufgefrischt werden. Man bezeichnet den Vorgang als „kalte Regeneration“ (kalte Neubildung).

Mit dem Adsorptionstrockner sind Drucktaupunkte bis –30 °C erreichbar.

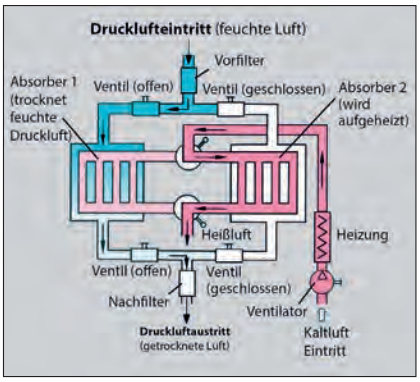


Bild 13 *Adsorptionstrockner*

Absorptionstrockner

Absorptionstrockner sind Geräte zur Lufttrocknung, die auf einem chemischen Verfahren beruhen. Das Verfahren arbeitet mit Trocknungsmitteln (Salze), die nach einer gewissen Zeit verbraucht sind und deshalb nachgefüllt werden müssen. In der Regel zwei- bis viermal jährlich. Es werden verhältnismäßig hohe Drucktaupunkte erreicht. Der Drucktaupunkt ist von der Eintrittstemperatur der Druckluft abhängig. Bei einer Eintrittstemperatur von +25 °C beträgt der Drucktaupunkt –11 °C.

Absorptionstrockner zeichnen sich durch eine einfache Installation der Anlage, durch geringen mechanischen Verschleiß und durch den Vorteil aus, dass keine Fremdenergie erforderlich ist.

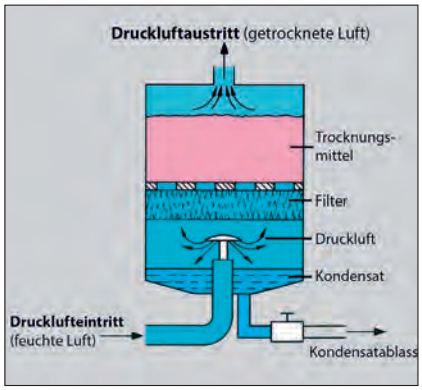


Bild 14 *Absorptionstrockner*

Trockner
dryer

Drucklufttrockner
compressed air dryer

Kältetrockner
refrigeration dryer

Absorption
absorption

Adsorption
adsorption

- **Absorption**
  Gase oder Flüssigkeiten werden in einen anderen Stoff aufgenommen. Dabei findet eine Stoffänderung statt.
- **Adsorption**
  Gase oder Flüssigkeiten werden an der Oberfläche eines festen Körpers gebunden.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Referenzkennzeichen:
siehe Kapitel 1.3.8: Pneumatikpläne

Hier werden benutzt:

H: Stoffbearbeitungsobjekt

HQ: Mechanisches Trennobjekt

G: Erzeugungsobjekt

GQ: Erzeugungsobjekt für Gas

GQA: Gaskompressor

E: Aussendeobjekt

EQ: Thermal-Kühlobjekt

C: Speicherobjekt

CM: Geschlossenes stationäres Speicherobjekt

HP: Trockner

Q: Steuerungsobjekt

QM: Gassperrventil

Stark vereinfacht kann man eine Kompressorstation so darstellen:

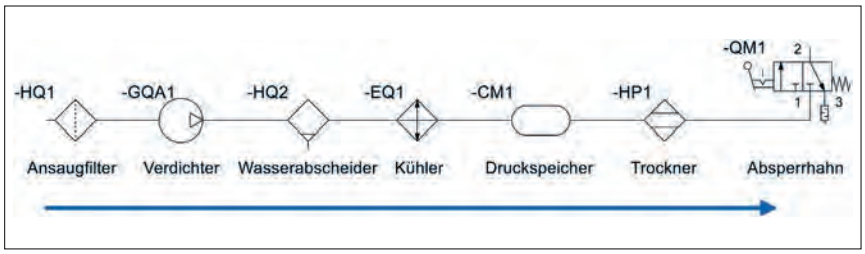


Bild 15 *Vereinfachte Darstellung einer Kompressorstation*

1.2.5 Druckluft-Verteilungsanlage

Die im Verdichter erzeugte Druckluft wird über einen Kühler direkt dem Druckluftbehälter zugeführt. Der Druckluftbehälter dient als Speicher und Puffer bei schwankendem Luftverbrauch. Gleichzeitig soll der Druckluftbehälter bei schwankendem Luftverbrauch die vom Verdichter kommenden Druckstöße ausgleichen. Vom Druckluftbehälter strömt die Druckluft mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch die Hauptleitungen bis zu den Verbrauchern.

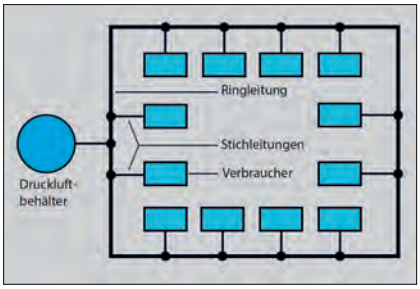


Bild 17 *Stichleitungen gehen von den Ringleitungen ab*

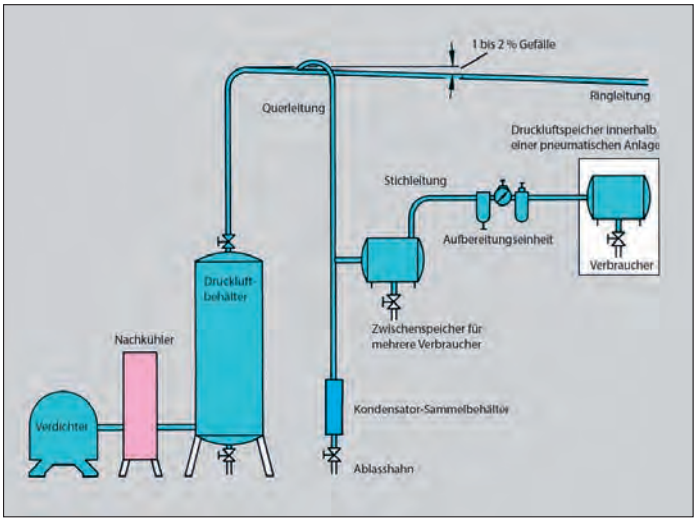


Bild 16 *Druckluftverteilung mit Ringleitung, Querleitung und Stichleitung*

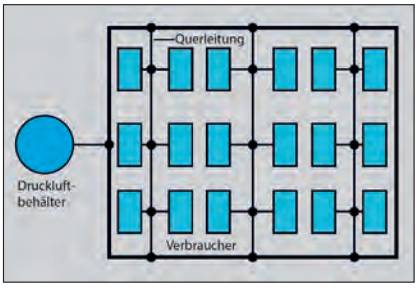


Bild 18 *Stichleitungen gehen von den Querleitungen ab*

Ringleitung
ring/circuit line

stub
branch line

Die Verteilung der Druckluft erfolgt über Rohrleitungsnetze, die in großen Räumen und Hallen zweckmäßig als Ringleitungssysteme ausgeführt werden. Bei mehreren Entnahmestellen erfolgt dann ein besserer Ausgleich des Druckabfalls. An den tiefsten Stellen des Rohrleitungsnetzes sind Sammelbehälter und Ablassventile für das in den Rohrleitungen anfallende Kondensat vorzusehen.

1.2.6 Aufbereitung der Druckluft

Damit Pneumatik-Elemente im Dauerbetrieb einwandfrei funktionieren, muss die Druckluft aufbereitet werden. Unter „Aufbereiten“ versteht man das Reinigen der Druckluft von Verschmutzung und Kondenswasser sowie die Regelung des Drucks.

In der Regel werden diese zwei Wartungsfunktionen in einem Gerät, der Aufbereitungseinheit, zusammengefasst. Man nennt sie auch „Wartungseinheit“.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Die Aufbereitungseinheit wird für jede Anlage, die Druckluft benötigt, einzeln unmittelbar vor der ersten Verbrauchsstelle dieser Anlage angebracht. Zwischen der Kompressorstation und der Aufbereitungseinheit kann ein Abstand von bis zu mehreren hundert Metern liegen, da die Kompressorstation meist zentral für ein Werk angeordnet ist, und die Druckluft über ein verzweigtes Rohrleitungsnetz verteilt wird.

Die Standard-Aufbereitungseinheit besteht aus: Druckluftfilter → Entwässerung → Druckregler → Manometer

Je nach Bedarf kommen hinzu: Fein- und Feinstfilter → Hauptventil → Druckeinschaltventil → Druckwächter → Öler

Im **Druckluftfilter** wird die eintretende Luft durch ein Drallblech so verwirbelt, dass die mitgeführten Kondenswassertropfen und Schmutzteilchen durch die Fliehkraft gegen die Filterkorbwand geschleudert und ausgeschieden werden. Das ausgeschiedene Kondenswasser (Kondensat) sammelt sich in der Filterschale und muss abgelassen werden. Bevor die Druckluft den Filter verlässt, muss sie durch einen Filtereinsatz strömen, der die feinen, noch frei in der Luft schwebenden Schmutzteilchen zurückhält.

Je nach Anforderung der Anwendung kommen Standardfilter, Feinfilter und Feinstfilter zu Einsatz. Filter werden spezifiziert nach dem „Nenn-Filtrationsvermögen“, angegeben in Partikelgröße bei 99,9 % Filtration. Standardfilter sollen Partikel bis 5 µm, Mikrofilter Partikel bis 0,3 µm herausfiltern.

Der **Druckluftregler** (Druckregelventil) reduziert die zugeführte Druckluft auf den erforderlichen Arbeitsdruck und hält ihn konstant. Ein an den Regler angebautes Manometer ermöglicht eine leichtere Einstellung und Kontrolle des gewünschten Drucks.

Die Mindestanforderung an eine Aufbereitungseinheit kann in die Komponenten wie im folgenden Plan unterteilt werden.

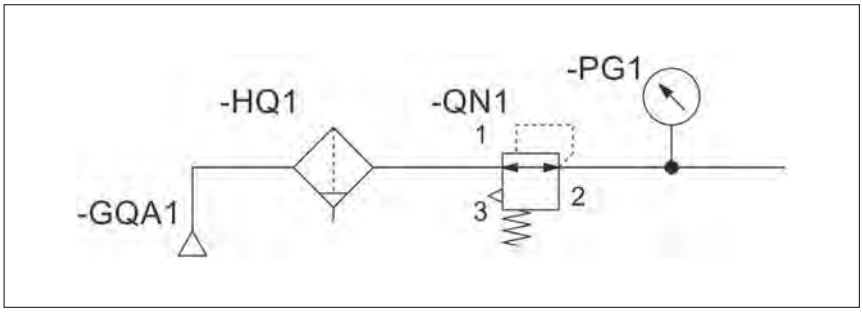


Bild 19 *Mindestbestandteile einer Aufbereitungseinheit*

Da die Aufbereitungseinheit in keiner Pneumatikanlage fehlt, wird sie in den Plänen stark vereinfacht dargestellt.

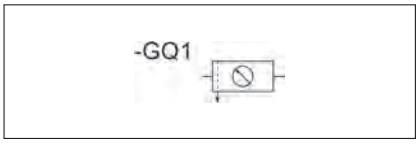


Bild 20 *Die Aufbereitungseinheit stark vereinfacht dargestellt*

In vielen Fällen wird ein **Hauptventil** hinter den Druckregler geschaltet, häufig ein Ventil mit langsamen Druckaufbau, elektrisch angesteuert. Damit kann gewährleistet werden, dass beim Einschalten der Druckluft die pneumatischen Antriebe nicht schlagartig mit Druck versorgt werden, sondern mit leichter Verzögerung. Um sicherzustellen, dass die Druckluftversorgung verfügbar ist, wird ein **Druckwächter** zugeschaltet, so dass die Anlage erst frei gegeben wird, wenn die Druckluftversorgung verfügbar ist.

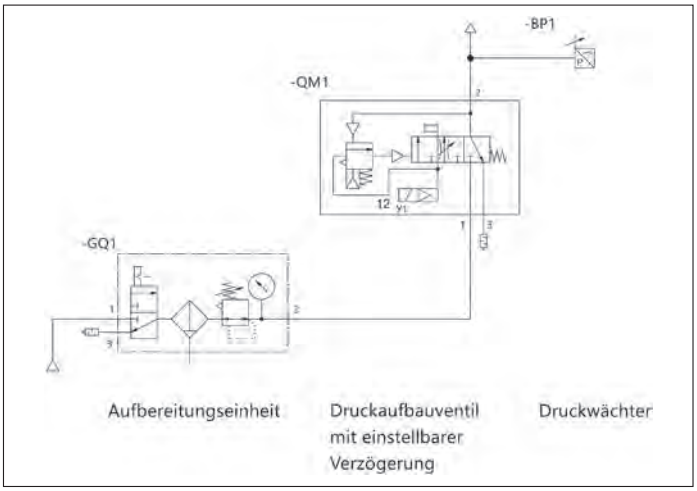


Bild 21 *Aufbereitungseinheit mit Druckaufbauventil und Druckwächter*

Aufbereitungseinheit (Wartungseinheit)
conditioning unit contioner

Referenzkennzeichen

Das Referenzkennzeichen orientiert sich grundsätzlich am Hauptzweck, der „immanenten“ Funktion, eines Gerätes.

Die Aufbereitungseinheit wird häufig der Druckluftversorgung zugeordnet. Dann ist das Referenzkennzeichen G – Erzeugungsobjekt – bzw. -GQ Erzeugungsobjekt für Gas.

Wird als immanente Funktion die Anzeige des Betriebsdrucks gesehen, dann ist das Referenzkennzeichen PG, die skalare Anzeige des Drucks oder PH für die digitale Anzeige des Drucks in Textform.

Wird als immanente Funktion der Aufbereitungseinheit das Bereitstellen der Druckluft mit einem konstanten Druck gesehen, ist das Referenzkennzeichen QN, das „Gasregelventil“.

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

Werden die pneumatischen Antriebe in besonders dreckiger Umgebungsluft eingesetzt oder – manchmal – besonders große Hublängen benötigt, kann die Druckluft geölt werden, um die Antriebe automatisch zu schmieren. Im **Öler** wird das je nach Anwendung ausgewählte Öl fein zerstäubt der Druckluft zugeführt. Wurde eine Anlage einmal mit geölter Luft versorgt, sollte sie immer mit geölter Luft arbeiten. Sonst können die Ölreste eintrocknen und möglicherweise verkleben.

■ **Referenzkennzeichen des Ölers**
G: Erzeugungsobjekt
GP: Öler

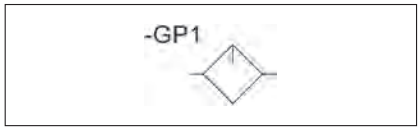


Bild 22 *Schaltplansymbol für den Öler*

1.3 Pneumatische Antriebe

Pneumatische Antriebe setzen die Energie der Druckluft in Bewegung um.

1.3.1 Grundlagen pneumatischer Antriebstechnik

Pneumatische Antriebe nutzen Druckluft als Energieträger. Die Basis für alle pneumatischen Antriebe ist daher der Druck der Luft. Druck ist definiert als Kraft pro Fläche. In technischen Prozessen gelingt die Umwandlung von einer in eine andere Energieform niemals vollständig, es entstehen immer Verluste. Die Größe der Verluste wird mit dem Wirkungsgrad η (der klein geschriebene griechische Buchstabe Eta) beschrieben.

Das bedeutet, dass in der Pneumatik die Kraft eines pneumatischen Antriebs je größer ist, je größer der Druck und/oder je größer die Fläche ist, auf die der Druck wirkt. Der Druck, der für die Kraft des pneumatischen Antriebs sorgt, muss sich vom Umgebungsdruck unterscheiden, gemeint ist also der Überdruck p_e.

Kraft = (Über-)Druck × Fläche × Wirkungsgrad

$F = p_e \cdot A \cdot \eta$

■ **Für pneumatische Antriebe gilt:**
Kraft des Antriebs = Überdruck × Fläche des Kolbens × Wirkungsgrad

$F = p_e \cdot A \cdot \eta$

Merke:
Der Wirkungsgrad η beschreibt das Verhältnis von abgegebener Leistung zu aufgenommener Leistung. Da in Zähler und Nenner die gleiche Einheit steht (hier: Leistung), kann die Einheit gekürzt werden. Daher ist η eine einheitenlose Zahl.

Häufig wird η in Prozent angegeben, beispielsweise:

$\eta = 75\ \% = \frac{75}{100} = 0{,}75$

η muss immer kleiner als 1 sein (kleiner als 100 %).

Wird der Wirkungsgrad mit 1 angenommen (mit 100 %), dann spricht man von einem „theoretischen“ Wert.

1.3.2 Kolbenstangenzylinder

Die Kolbenstangenzylinder dürften die am häufigsten eingesetzten pneumatischen Antriebe sein. Grundsätzlich besteht ein Kolbenstangenzylinder aus dem Zylinderrohr, in dem sich der Kolben bewegen kann. Am Kolben ist die Kolbenstange angebracht. Das Rohr ist mit „Boden“ und „Deckel“ (auch: Zylinderdeckel statt Boden und Zylinderkopf statt Deckel) verschlossen, wobei im Deckel Dichtung und Lagerung für die Kolbenstange enthalten sind.

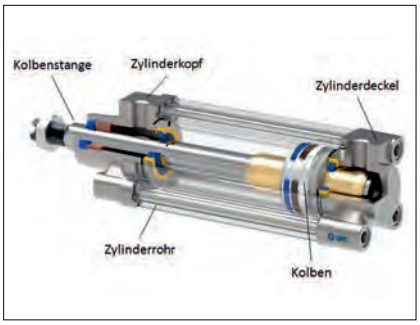


Bild 23 *Pneumatikzylinder*

Damit die Kolbenstange aus- und einfahren kann, muss sie von der Kolbenseite aus zum Ausfahren oder von der Kolbenstangenseite aus zum Einfahren angetrieben werden.

Als Antriebe kommen beim Pneumatikzylinder drei Möglichkeiten zum Einsatz:

- Druckluft
- Feder
- Äußere Kraft

Da hier der Pneumatikzylinder beschrieben wird, wird in jedem Fall eine der beiden Bewegungsrichtungen pneumatisch betrieben. Wenn die Kolbenstange mit Hilfe der Druckluft ausfahren soll, muss ein Druckluftanschluss verfügbar sein, der auf den Kolben wirkt.

Kolbenstangenzylinder
cylinder with piston rod

Wirkungsgrad
efficiency
degree of efficiency

Antrieb
drive

Pneumatischer Antrieb
pneumatic drive

Elektrischer Antrieb
electric drive

Zylinderrohr
cylinder barrel

Kolben
piston

Zylinderdeckel, Zylinderboden
cylinder end cap

Kolbenseite
piston side

Kolbenstangenseite
piston rod side

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG

Bernhard Plagemann | Pneumatik / E-Pneumatik
Textband
2. Auflage 2024
Artikelnr.: 34616 | ISBN 978-3-95863-290-5

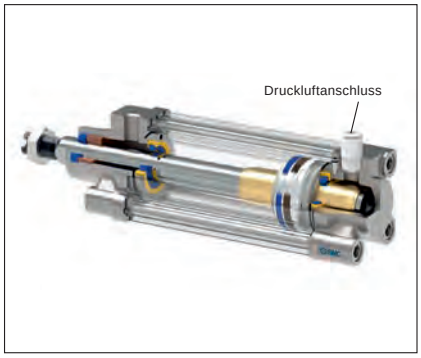


Bild 24 *Pneumatikzylinder mit Druckluftanschluss*

Wird an diesem Anschluss Druckluft angeschlossen, dann wird der Kolbenraum mit Druckluft gefüllt. Druck ist Kraft pro Fläche. Also wirkt die Kraft der Druckluft auf alle Flächen dieses Kolbenraumes. Zylinderboden und Zylinderrohr sind fest verschraubt, nur der Kolben kann relativ zum Boden in Bewegung versetzt werden. Also wird der Kolben bewegt, die Kolbenstange fährt aus.

Alternativ ist die Kolbenstange befestigt, dann bewegen sich Rohr mit Boden und Deckel relativ zum Kolben.

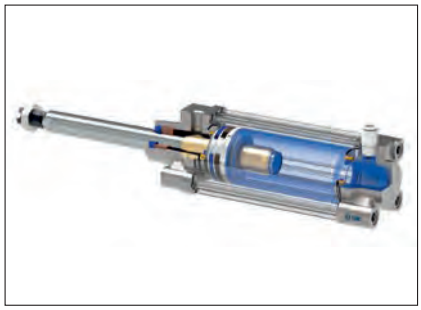


Bild 25 *Pneumatikzylinder mit ausgefahrener Kolbenstange*

Wenn nun die Druckluft auf der Kolbenseite entlüftet wird, dann bleibt die Kolbenstange ausgefahren. Nur mit Hilfe einer weiteren Kraft kann die Kolbenstange wieder einfahren.

Soll der Zylinder beispielsweise einen Werkstückträger mit einer Dose anheben, damit eine Vorrichtung ein Schild aufkleben kann, dann würden Werkstückträger und Dose zusammen mit ihrem Eigengewicht den Zylinder zum Einfahren bringen.

Ein solcher Zylinder ist ein „Einfachwirkender Zylinder, in Grundstellung eingefahren, Rückstellbewegung durch äußere Kraft“.

Bild 26 *Auf die Kolbenstange wirkt eine äußere Kraft von oben*

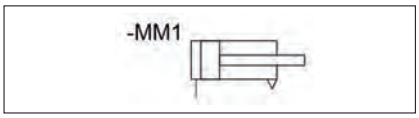


Bild 27 *Schaltplansymbol des einfachwirkenden Zylinders, in Grundstellung eingefahren, Rückstellbewegung durch äußere Kraft*

Soll der Zylinder beispielsweise ein Werkstück seitlich verschieben, dann wird die Kolbenstange nicht durch eine äußere Kraft eingefahren. Es kann eine Feder in den Kolbenstangenraum eingebaut werden, die die Kolbenstange einfahren lässt, sobald im Kolbenraum kein Druck mehr anliegt.

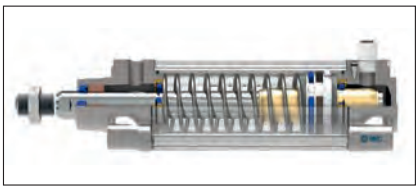


Bild 28 *Einfachwirkender Zylinder mit Feder im Kolbenstangenraum*

Ein solcher Zylinder ist ein „Einfachwirkender Zylinder, in Grundstellung eingefahren, mit Feder im Kolbenstangenraum“.

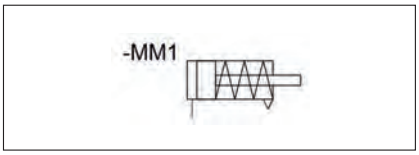


Bild 29 *Schaltplansymbol des einfachwirkenden Zylinders, in Grundstellung eingefahren, mit Feder im Kolbenstangenraum*

Einfachwirkender Zylinder
single acting cylinder

Grundstellung
home position

Rückstellbewegung
return movement

Kolbenraum
piston chamber

Feder
spring

Referenzkennzeichen:
M: Bereitstellung von mechanischer Energie

MM: Fluidzylinder

© by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG