

Frank Ebel, Siegfried Idler, Georg Prede, Dieter Scholz

# **Pneumatik**

# **Elektropneumatik**

## **Grundlagen**

Lehrbuch

1. Auflage

Bestellnummer 55600



Bildungsverlag EINS

**FESTO**



Haben Sie Anregungen oder Kritikpunkte zu diesem Produkt?  
Dann senden Sie eine E-Mail an [55600\\_001@bv-1.de](mailto:55600_001@bv-1.de)  
Autoren und Verlag freuen sich auf Ihre Rückmeldung.

Das Werk entstand in Zusammenarbeit mit der Firma Festo Didactic GmbH & Co. KG,  
Denkendorf.

**[www.bildungsverlag1.de](http://www.bildungsverlag1.de)**

Bildungsverlag EINS GmbH  
Sieglarer Straße 2, 53842 Troisdorf

ISBN 978-3-427-55600-8

© Copyright 2010: Bildungsverlag EINS GmbH, Troisdorf

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.  
Hinweis zu § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

<b>Vorwort</b>	<b>11</b>
<b>1 Anwendungen in der Automatisierungstechnik</b>	<b>13</b>
1.1 Überblick	13
1.2 Eigenschaften der Pneumatik	14
1.2.1 Kriterien für Arbeitsmedien	15
1.2.2 Kriterien für Steuermedien	15
1.3 Entwicklung pneumatischer Steuerungssysteme	16
<b>2 Grundbegriffe der Pneumatik</b>	<b>17</b>
2.1 Physikalische Grundlagen	17
2.1.1 Newton'sches Gesetz	17
2.1.2 Druck	18
2.2 Eigenschaften der Luft	19
2.2.1 Boyle-Mariott'sches Gesetz	19
2.2.2 Gay-Lussac'sches Gesetz	20
2.2.3 Allgemeine Gasgleichung	21
<b>3 Druckluftherzeugung und Druckluftzufuhr</b>	<b>22</b>
3.1 Aufbereitung der Druckluft	22
3.1.1 Auswirkungen unzureichend aufbereiteter Druckluft	22
3.1.2 Druckniveau	23
3.2 Verdichter (Kompressoren)	23
3.2.1 Hubkolbenverdichter	23
3.2.2 Membranverdichter	24
3.2.3 Drehkolbenverdichter	24
3.2.4 Schraubenverdichter	25
3.2.5 Strömungsverdichter	25
3.2.6 Regelung	25
3.2.7 Einschaltdauer	26
3.3 Druckluftspeicher	27
3.4 Lufttrockner	29
3.4.1 Kältetrockner	30
3.4.2 Adsorptionstrockner	30
3.4.3 Absorptionstrockner	31
3.5 Luftverteilung	34
3.5.1 Dimensionierung der Rohrleitungen	34
3.5.2 Durchflusswiderstand	34
3.5.3 Rohrmaterial	35
3.5.4 Rohranordnung	36
3.6 Wartungseinheit	37

3.6.1	Druckluftfilter _____	37
3.6.2	Druckregelventil _____	39
3.6.3	Druckluftöler _____	41
3.6.4	Gerätekombinationen _____	43
<b>4</b>	<b>Antriebe und Ausgabegeräte _____</b>	<b>45</b>
4.1	Einfachwirkende Zylinder _____	45
4.1.1	Bauart _____	46
4.1.2	Fluidic Muscle _____	47
4.2	Doppeltwirkende Zylinder _____	48
4.2.1	Zylinder mit Endlagendämpfung _____	48
4.2.2	Tandemzylinder _____	49
4.2.3	Zylinder mit durchgehender Kolbenstange _____	49
4.2.4	Mehrstellungszyylinder _____	50
4.2.5	Drehzylinder _____	51
4.2.6	Schwenkantrieb _____	51
4.3	Kolbenstangenlose Zylinder _____	52
4.3.1	Bandzylinder _____	52
4.3.2	Dichtbandzylinder _____	52
4.3.3	Zylinder mit magnetischer Kupplung _____	53
4.4	Handhabungstechnik _____	53
4.4.1	Schwenk-Lineareinheit _____	53
4.4.2	Pneumatische Greifer _____	54
4.4.3	Vakuumsauger _____	56
4.4.4	Vakuumsaugdüsen _____	56
4.5	Zylindereigenschaften _____	57
4.5.1	Kolbenkraft _____	58
4.5.2	Hublänge _____	59
4.5.3	Kolbengeschwindigkeit _____	60
4.5.4	Luftverbrauch _____	60
4.6	Motoren _____	62
4.6.1	Kolbenmotoren _____	63
4.6.2	Lamellenmotoren _____	63
4.6.3	Zahnradmotoren _____	64
4.6.4	Turbinenmotoren (Strömungsmotoren) _____	64
<b>5</b>	<b>Wegeventile _____</b>	<b>65</b>
5.1	Aufgaben _____	65
5.1.1	Magnetventile _____	65
5.1.2	Ansteuerung eines einfachwirkenden Zylinders _____	65
5.1.3	Ansteuerung eines doppeltwirkenden Zylinders _____	66

5.2	Aufbau _____	67
5.2.1	Sitzventile _____	67
5.2.2	Schieberventile _____	68
5.2.3	Pneumatische Leistungsdaten _____	68
5.2.4	Betätigungsarten von Wegeventilen _____	71
5.3	2/2-Wegeventile _____	72
5.4	3/2-Wegeventile _____	72
5.4.1	3/2-Wege-Handschiebeventil _____	72
5.4.2	3/2-Wege-Stößelventil _____	73
5.4.3	3/2-Wege-Pneumatikventil _____	74
5.4.4	3/2-Wege-Magnetventil _____	75
5.5	Vorgesteuerte Wegeventile _____	77
5.5.1	Funktionsweise der Vorsteuerstufe bei manuell und mechanisch betätigten Wegeventilen _____	77
5.5.2	Vorgesteuertes 3/2-Wege-Rollenhebelventil _____	78
5.5.3	Funktionsweise der Vorsteuerstufe bei elektrisch betätigten Wegeventilen _____	80
5.5.4	Vorgesteuertes 3/2-Wege-Magnetventil _____	80
5.5.5	Vergleich vorgesteuerter und direktgesteuerter Ventile _____	81
5.6	5/2-Wegeventile _____	82
5.6.1	5/2-Wege-Pneumatikventil _____	82
5.6.2	5/2-Wege-Pneumatikimpulsventil _____	83
5.6.3	Vorgesteuertes 5/2-Wege-Magnetventil _____	85
5.6.4	Vorgesteuertes 5/2-Wege-Magnetimpulsventil _____	86
5.7	5/3-Wege-Pneumatikventile _____	87
5.7.1	Vorgesteuertes 5/3-Wege-Magnetventil mit gesperrter Mittelstellung ____	88
5.7.2	Einfluss der Mittelstellung _____	90
5.8	Durchflusswerte von Ventilen _____	91
5.9	Zuverlässiger Betrieb von Ventilen _____	92
5.9.1	Montieren von Rollenhebelventilen _____	92
5.9.2	Einbau der Ventile _____	92
<b>6</b>	<b>Sperr-, Strom- und Druckventile, Ventilkombinationen _____</b>	<b>94</b>
6.1	Sperrventile _____	94
6.1.1	Rückschlagventile _____	94
6.1.2	Verarbeitungselemente _____	94
6.1.3	Zweidruckventil: Logische UND-Funktion _____	94
6.1.4	Wechselventil: Logische ODER-Funktion _____	95
6.1.5	Schnellentlüftungsventil _____	96
6.1.6	Absperrventile _____	97
6.2	Stromventile _____	97

6.2.1	Drosselventile _____	97
6.2.2	Drossel-Rückschlagventile _____	98
6.2.3	Zuluftdrosselung _____	99
6.2.4	Abluftdrosselung _____	99
6.3	Druckventile _____	100
6.3.1	Druckregelventil _____	100
6.3.2	Druckbegrenzungsventil _____	100
6.3.3	Druckschaltventil _____	101
6.4	Ventilkombinationen _____	101
6.4.1	Verzögerungsventile _____	102
<b>7</b>	<b>Ventilinseltechnik _____</b>	<b>104</b>
7.1	Maßnahmen zur Optimierung von Einzelventilen _____	104
7.2	Vorteile optimierter Einzelventile _____	104
7.3	Optimierte Ventile für Blockmontage _____	105
7.4	Elektrischer Anschluss von Ventilblöcken _____	106
7.5	Moderne Installationskonzepte _____	107
7.5.1	Vorteile moderner Installationskonzepte _____	107
7.5.2	Steuerungskomponenten für reduzierten Installationsaufwand _____	107
7.5.3	Installationsinsel _____	108
7.5.4	Verdrahtung mit Multipolanschluss _____	109
7.5.5	Aufbau eines Feldbussystems _____	109
7.5.6	Arbeitsweise eines Feldbussystems _____	110
7.5.7	Feldbustypen _____	110
<b>8</b>	<b>Proportionalpneumatik _____</b>	<b>111</b>
8.1	Proportional-Druckregelventile _____	111
8.1.1	Aufgabe eines Proportional-Druckregelventils _____	111
8.1.2	Anwendung eines Proportional-Druckregelventils _____	112
8.1.3	Steuerung der Prüfvorrichtung _____	112
8.1.4	Ersatzschaltbild eines Proportional-Druckregelventils _____	113
8.1.5	Funktionsweise eines Proportional-Druckregelventils _____	113
8.2	Proportional-Wegeventile _____	114
8.2.1	Aufgaben eines Proportional-Wegeventils _____	114
8.2.2	Anwendung eines Proportional-Wegeventils _____	115
8.2.3	Ersatzschaltbild eines Proportional-Wegeventils _____	115
8.2.4	Durchfluss-Signalfunktion eines Proportional-Wegeventils _____	116
8.3	Pneumatischer Positionierantrieb _____	117
8.3.1	Anwendung eines pneumatischen Positionierantriebs _____	117
8.3.2	Aufbau eines pneumatischen Positionierantriebs _____	117

<b>9</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik</b>	<b>118</b>
9.1	Gleichstrom und Wechselstrom	118
9.2	Ohm'sches Gesetz	119
9.2.1	Elektrischer Leiter	119
9.2.2	Elektrischer Widerstand	120
9.2.3	Quellenspannung	120
9.3	Elektrische Leistung	120
9.4	Funktionsweise eines Elektromagneten	121
9.4.1	Aufbau eines Elektromagneten	122
9.4.2	Anwendungen von Elektromagneten	122
9.4.3	Induktiver Widerstand bei Wechselspannung	122
9.4.4	Induktiver Widerstand bei Gleichspannung	123
9.5	Funktionsweise eines elektrischen Kondensators	123
9.6	Funktionsweise einer Diode	124
9.7	Messungen im elektrischen Stromkreis	125
9.7.1	Definition: Messen	125
9.7.2	Sicherheitshinweise	126
9.7.3	Vorgehensweise beim Messen im elektrischen Stromkreis	126
9.7.4	Spannungsmessung	126
9.7.5	Strommessung	127
9.7.6	Widerstandsmessung	127
9.7.7	Fehlerquellen beim Messen im elektrischen Stromkreis	128
<b>10</b>	<b>Bauelemente und Baugruppen des elektrischen Signalsteuerteils</b>	<b>130</b>
10.1	Netzteil	130
10.2	Tastschalter und Stellschalter	131
10.2.1	Schließer	131
10.2.2	Öffner	132
10.2.3	Wechsler	132
10.3	Sensoren zur Positions- und Druckerfassung	133
10.3.1	Grenztaster	133
10.3.2	Näherungsschalter	134
10.4	Relais und Schütze	140
10.4.1	Aufbau eines Relais	140
10.4.2	Anwendungen von Relais	141
10.4.3	Remanenzrelais	142
10.4.4	Zeitrelais	142
10.4.5	Aufbau eines Schützes	143
10.5	Kleinsteuerungen	145

<b>11</b>	<b>Arbeitsablaufbeschreibungen</b>	<b>149</b>
11.1	Funktionsdiagramme von Arbeitsmaschinen und Fertigungsanlagen	149
11.1.1	Geltungsbereich des Funktionsdiagramms	149
11.1.2	Weg-Schritt-Diagramm	150
11.2	Ablaufbeschreibung durch GRAFCET nach EN 60848	151
11.2.1	Das Grundprinzip eines GRAFCET	152
11.2.2	Schritte	152
11.2.3	Übergangsbedingung	152
11.2.4	Aktionen	154
11.2.5	Ablaufauswahl	158
11.2.6	Rückführungen und Sprünge	159
11.2.7	Strukturierung von GRAFCETs	159
11.2.8	Beispiel Nutenfräsvorrichtung	160
<b>12</b>	<b>Aufbau von Schaltplänen</b>	<b>162</b>
12.1	Pneumatischer Schaltplan	162
12.1.1	Anordnung der Symbole im pneumatischen Schaltplan	162
12.1.2	Stellung von Zylindern und Wegeventilen	162
12.1.3	Kennzeichnungsschlüssel für Bauelemente	163
12.2	Elektrischer Schaltplan	166
12.2.1	Übersichtsschaltplan	166
12.2.2	Funktionsschaltplan	166
12.2.3	Stromlaufplan	166
12.2.4	Stromlaufplan einer elektropneumatischen Steuerung	167
12.3	Klemmenanschlussplan	172
12.3.1	Anforderungen an die Verdrahtung	172
12.3.2	Verdrahtung mit Klemmleisten	172
12.3.3	Aufbau von Klemmen und Klemmenleisten	174
12.3.4	Klemmenbelegung	174
12.3.5	Aufbau eines Klemmenanschlussplans	175
12.3.6	Erstellung eines Klemmenanschlussplans	175
<b>13</b>	<b>Sicherheitsmaßnahmen bei elektropneumatischen Steuerungen</b>	<b>180</b>
13.1	Gefahren und Schutzmaßnahmen	180
13.2	Wirkung des elektrischen Stromes auf den Menschen	181
13.2.1	Wirkung des elektrischen Stromes	181
13.2.2	Elektrischer Widerstand des Menschen	182
13.2.3	Einflussgrößen auf die Unfallgefahr	183
13.3	Schutzmaßnahmen gegen Unfälle durch elektrischen Strom	184
13.3.1	Schutz gegen direktes Berühren	184



13.3.2	Erdung	184
13.3.3	Schutzkleinspannung	185
13.4	Bedienfeld und Meldeeinrichtungen	185
13.4.1	Hauptschalter	185
13.4.2	NOT-AUS	186
13.4.3	Bedienelemente einer elektropneumatischen Steuerung	186
13.5	Schutz elektrischer Betriebsmittel gegen Umwelteinflüsse	189
13.5.1	Kennzeichnung der Schutzart	190
<b>14</b>	<b>Symbole und Schaltzeichen</b>	<b>192</b>
14.1	Symbole für pneumatische Bauelemente	192
14.1.1	Symbole für den Energieversorgungsteil	192
14.1.2	Symbole für Ventile	194
14.1.3	Symbole für Wegeventile	194
14.1.4	Symbole für Rückschlagventile, Drosselventile und Schnellentlüftungsventile	197
14.1.5	Symbole für Druckventile	198
14.1.6	Symbole für Arbeitselemente	199
14.1.7	Symbole für weitere Bauelemente	201
14.2	Schaltzeichen für elektrische Bauelemente	202
14.2.1	Schaltzeichen für Grundfunktionen	202
14.2.2	Schaltzeichen für elektromechanische Antriebe	204
14.2.3	Schaltzeichen für Relais und Schütze	205
14.2.4	Schaltzeichen für Sensoren	206
	<b>Normen</b>	<b>207</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>208</b>

## Vorwort

Luft als Arbeitsmedium lässt sich über Jahrtausende zurückverfolgen. Der Wind als Antrieb für Segelschiffe und Windmühlen ist jedem bekannt.

Das Wort Pneumatik leitet sich von dem griechischen Wort Pneuma ab, das so viel wie Atem oder Hauch bedeutet. Allgemein versteht man unter Pneumatik die Lehre von Luftbewegungen und Luftvorgängen.

Pneumatik und Elektropneumatik werden in vielen Bereichen der industriellen Automatisierungstechnik erfolgreich eingesetzt. Fertigungs-, Montage- und Verpackungsanlagen werden weltweit mit elektropneumatischen Steuerungen betrieben. Technologische Fortschritte bei Material, Konstruktions- und Produktionsverfahren haben die Qualität und Vielfalt der pneumatischen Bauelemente zusätzlich verbessert und somit zu einem verbreiteten Einsatz beigetragen.

Der Wandel in den Anforderungen und die technischen Entwicklungen haben das Aussehen der Steuerungen deutlich verändert. Im Signalsteuerteil ist das Relais in vielen Anwendungsbereichen zunehmend durch die speicherprogrammierbare Steuerung ersetzt worden, um der gestiegenen Anforderung nach Flexibilität gerecht zu werden. Moderne elektropneumatische Steuerungen weisen auch im Leistungsteil den Ansprüchen der industriellen Praxis angepasste neue Konzepte auf. Als Beispiele seien hier nur die Schlagworte Ventilinsel, Busvernetzung und Proportionalpneumatik genannt.

Jede Leserin und jeder Leser dieses Buches sind eingeladen, durch Tipps, Kritik und Anregungen zur Verbesserung des Buches beizutragen. Wir bitten, Hinweise und Anregungen an [did@de.festo.com](mailto:did@de.festo.com) oder Festo Didactic GmbH & Co. KG, Postfach 10 07 10, 73707 Esslingen zu richten.

Die Verfasser

## 2.2 Eigenschaften der Luft

Charakteristisch für die Luft ist die sehr geringe Kohäsion, d.h. die Kräfte zwischen den Luftmolekülen sind bei den in der Pneumatik üblichen Betriebsbedingungen zu vernachlässigen. Wie alle Gase hat daher auch die Luft keine bestimmte Gestalt. Sie verändert ihre Form bei geringster Krafteinwirkung und nimmt den maximalen ihr zur Verfügung stehenden Raum ein.

### 2.2.1 Boyle-Mariott'sches Gesetz

Die Luft lässt sich verdichten (Kompression) und hat das Bestreben sich auszudehnen (Expansion). Diese Eigenschaften beschreibt das Boyle-Mariott'sche Gesetz: Das Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge ist bei konstanter Temperatur umgekehrt proportional zum absoluten Druck, oder das Produkt aus Volumen und absolutem Druck ist für eine bestimmte Gasmenge konstant.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3 = \text{konstant}$$

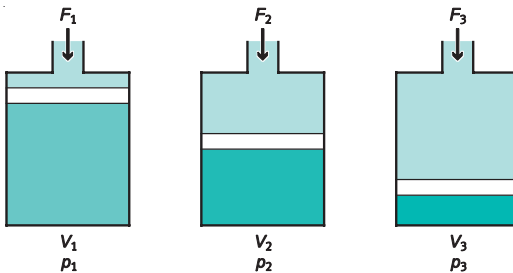


Bild 2.2: Boyle-Mariott'sches Gesetz

#### Rechenbeispiel

Luft wird bei atmosphärischem Druck auf 1/7 ihres Volumens verdichtet. Welcher Druck stellt sich ein, wenn die Temperatur konstant bleibt?

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}, \text{ Anmerkung: } \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{7}$$

$$p_1 = p_{\text{amb}} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$$

$$p_2 = 1 \cdot 7 = 700 \text{ kPa} = 7 \text{ bar absolut}$$

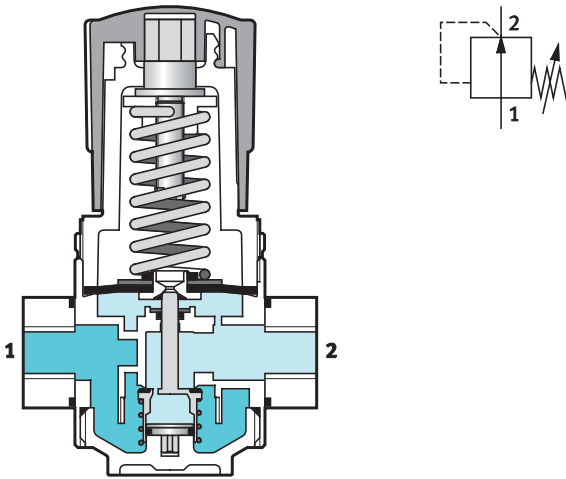


Bild 3.16: Druckregelventil ohne Entlastungsöffnung – Symbol und Schnittbild

### 3.6.3 Druckluftöler

Im Allgemeinen sollte die erzeugte Druckluft nicht geölt werden. Sollten bewegliche Teile in Ventilen und Zylindern eine externe Schmierung benötigen, so muss die Druckluft ausreichend und fortlaufend mit Öl angereichert werden. Das Ölen der Druckluft sollte sich immer nur auf die Abschnitte einer Anlage beschränken, in denen geölte Luft benötigt wird. Das vom Verdichter an die Druckluft abgegebene Öl eignet sich nicht zum Schmieren von pneumatischen Bauteilen.

Zylinder mit hitzebeständigen Dichtungen sollten nicht mit geölter Druckluft betrieben werden, da das Spezialfett vom Öl ausgewaschen werden kann.

Werden Systeme, die mit Schmierung betrieben wurden, auf nicht geölte Druckluft umgestellt, muss die Originalschmierung der Ventile und Zylinder erneuert werden, da diese unter Umständen ausgewaschen wurde.

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| 1 Steigleitung        | 5 Öl               |
| 2 Ventildrosselstelle | 6 Rückschlagventil |
| 3 Kugelsitz           | 7 Kanal            |
| 4 Steigrohr           | 8 Tropfraum        |

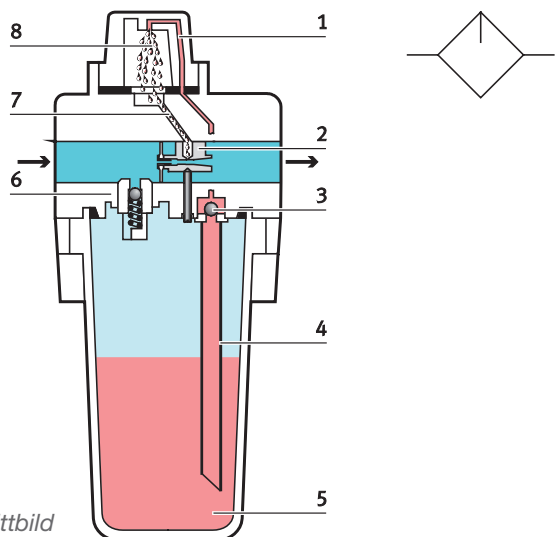


Bild 3.17: Druckluftöler – Symbol und Schnittbild

## 4.2 Doppeltwirkende Zylinder

Die Bauweise ähnelt der des einfachwirkenden Zylinders. Es gibt jedoch keine Rückstellfeder, und die beiden Anschlüsse werden jeweils zur Be- und Entlüftung benutzt. Der doppeltwirkende Zylinder hat den Vorteil, dass er Arbeit in beide Richtungen ausführen kann. Daher gibt es vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Die auf die Kolbenstange übertragene Kraft ist für den Vorhub etwas größer als für den Rückhub, da die beaufschlagte Fläche auf der Kolbenseite größer ist als die auf der Kolbenstangenseite.

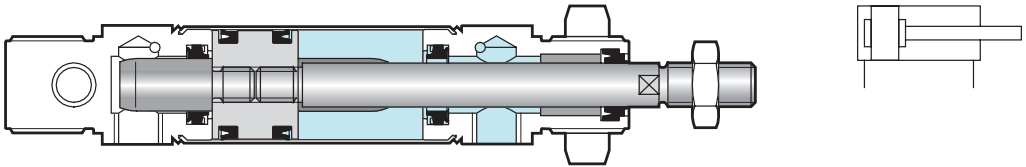


Bild 4.5: Doppeltwirkender Zylinder – Symbol und Schnittbild

### Entwicklungstendenzen

Die Entwicklung des Pneumatikzylinders geht in die folgenden Richtungen:

- Berührungsloses Abtasten – Verwendung von Magneten auf der Kolbenstange für Reedschalter
- Bremsen von schweren Lasten
- Kolbenstangenlose Zylinder bei engen Räumlichkeiten
- Andere Herstellungsmaterialien wie Kunststoff
- Schutzbeschichtung/-mantel gegen schädigende Umwelteinflüsse, z. B. Säurebeständigkeit
- Höhere Belastbarkeit
- Roboteranwendungen mit besonderen Eigenschaften wie verdrehgesicherte Kolbenstangen oder hohle Kolbenstangen für Vakuumsaugnäpfe.

### 4.2.1 Zylinder mit Endlagendämpfung

Werden von einem Zylinder große Massen bewegt, so verwendet man eine Dämpfung in der Endlage, um hartes Aufschlagen und Beschädigungen des Zylinders zu vermeiden. Vor Erreichen der Endlage unterbricht ein Dämpfungskolben den direkten Abflussweg der Luft ins Freie. Dafür bleibt ein sehr kleiner, oft einstellbarer Abflussquerschnitt frei. Während des letzten Teils des Hubwegs wird die Fahrgeschwindigkeit zunehmend reduziert. Es ist darauf zu achten, dass die Einstellschrauben nie ganz zuge dreht sind, da dann die Kolbenstange die jeweilige Endlage nicht erreichen kann.

### 4.5.3 Kolbengeschwindigkeit

Die Kolbengeschwindigkeit von Pneumatik-Zylindern ist abhängig von der Gegenkraft, dem vorhandenen Luftdruck, der Leitungslänge, dem Leitungsquerschnitt zwischen dem Stellelement und dem Arbeitselement sowie der Durchflussmenge durch das Stellelement. Weiter wird die Geschwindigkeit von der Endlagendämpfung beeinflusst.

Die mittlere Kolbengeschwindigkeit von Standardzylindern liegt bei etwa 0,1 bis 1,5 m/s. Mit Spezialzylindern (Schlagzylindern) werden Geschwindigkeiten bis zu 10 m/s erreicht. Die Kolbengeschwindigkeit kann mit Drossel-Rückschlagventilen gedrosselt werden. Mit Schnellentlüftungsventilen kann die Kolbengeschwindigkeit erhöht werden.

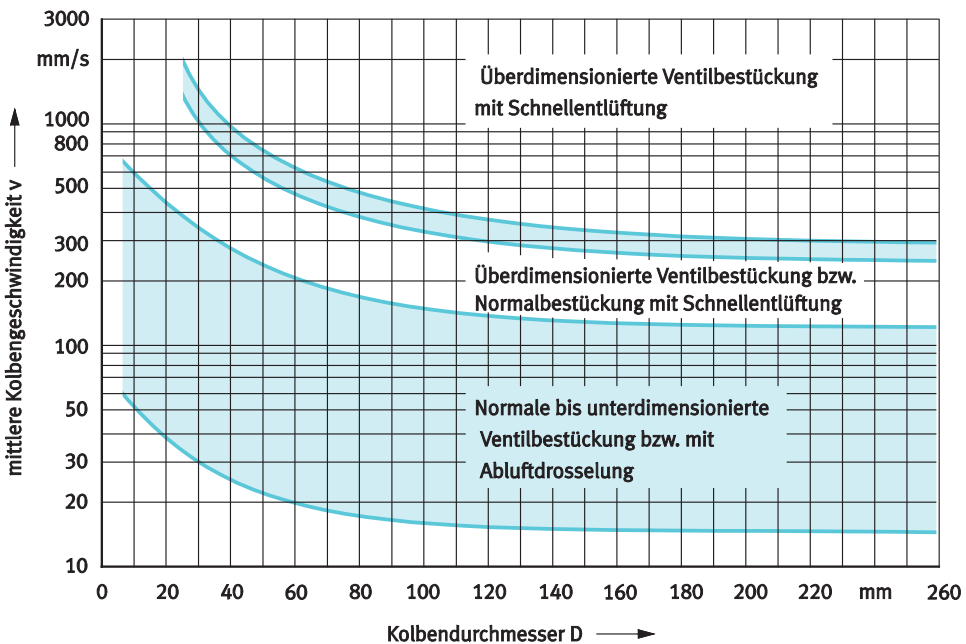


Bild 4.24: Mittlere Kolbengeschwindigkeit unbelasteter Kolben

### 4.5.4 Luftverbrauch

Für die Bereitstellung der Luft bzw. um Kenntnisse über Energiekosten zu bekommen, ist es wichtig, den Luftverbrauch der Anlage zu kennen. Der Luftverbrauch wird in Liter angesaugter Luft pro Minute angegeben. Bei bestimmten Werten für Arbeitsdruck, Kolbendurchmesser, Hub und Hubzahl pro Minute, berechnet sich der Luftverbrauch aus:

$$\text{Luftverbrauch} = \text{Verdichtungsverhältnis} \cdot \text{Kolbenfläche} \cdot \text{Hub} \cdot \text{Hubzahl pro Minute}$$

Bei der Auswahl eines geeigneten Ventils ist eine schrittweise Vorgehensweise zweckmäßig.

1. Zunächst wird, ausgehend von Aufgabenstellung und gefordertem Verhalten bei Energieausfall, der Ventiltyp ermittelt (z. B. federrückgestelltes 5/2-Wegeventil).
2. Im zweiten Schritt wird anhand der in den Herstellerkatalogen aufgelisteten Leistungsdaten das Ventil bestimmt, das die durch die Aufgabenstellung vorgegebenen Anforderungen bei möglichst geringen Gesamtkosten erfüllt. Dabei sind nicht nur die Kosten des Ventils, sondern auch der Aufwand für Installation, Wartung, Ersatzteilhaltung usw. zu berücksichtigen.

In Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 sind die am häufigsten verwendeten Ventiltypen, ihre Symbole und ihre Anwendungen zusammengefasst.

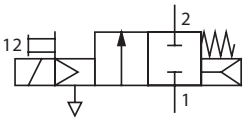
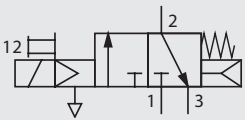
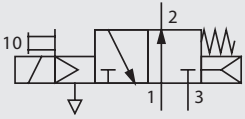
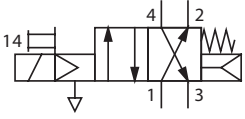
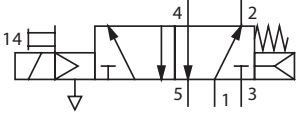
Ventiltyp	Symbol	Anwendungen
vorgesteuertes, federrückgestelltes 2/2-Wegeventil		Absperrfunktion
vorgesteuertes, federrückgestelltes 3/2-Wegeventil (Ruhestellung geschlossen)		einfachwirkende Zylinder
vorgesteuertes, federrückgestelltes 3/2-Wegeventil (Ruhestellung geöffnet)		Zu- und Abschalten der Druckluft
vorgesteuertes, federrückgestelltes 4/2-Wegeventil		doppeltwirkender Linear- bzw. Schwenkzylinder
vorgesteuertes, federrückgestelltes 5/2-Wegeventil		

Tabelle 5.1: Anwendungen und Symbole für federrückgestellte elektrisch betätigte Wegeventile

### 5.6.3 Vorgesteuertes 5/2-Wege-Magnetventil

Bild 5.21 und Bild 5.22 zeigen die beiden Schaltstellungen eines vorgesteuerten 5/2-Wege-Magnetventils.

- In der Ruhestellung befindet sich der Kolben am linken Anschlag (Bild 5.21). Die Anschlüsse 1 und 2 sowie die Anschlüsse 4 und 5 sind verbunden.
- Fließt Strom durch die Magnetspule, bewegt sich der Ventilkolben bis zum rechten Anschlag (Bild 5.22). In dieser Stellung sind die Anschlüsse 1 und 4 sowie 2 und 3 verbunden.
- Wird die Magnetspule stromlos, schaltet der Ventilkolben durch die Federkraft zurück in die Ruhestellung.
- Durch den Anschluss 84 wird die Steuerluft abgeführt.

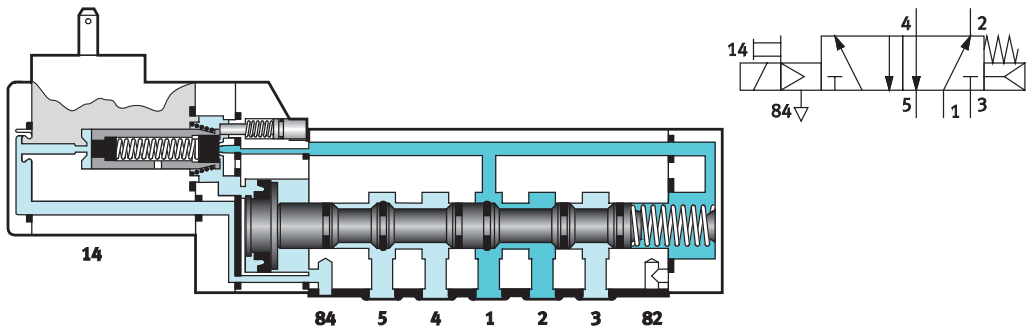


Bild 5.21: Vorgesteuertes 5/2-Wege-Magnetventil, unbetätigt

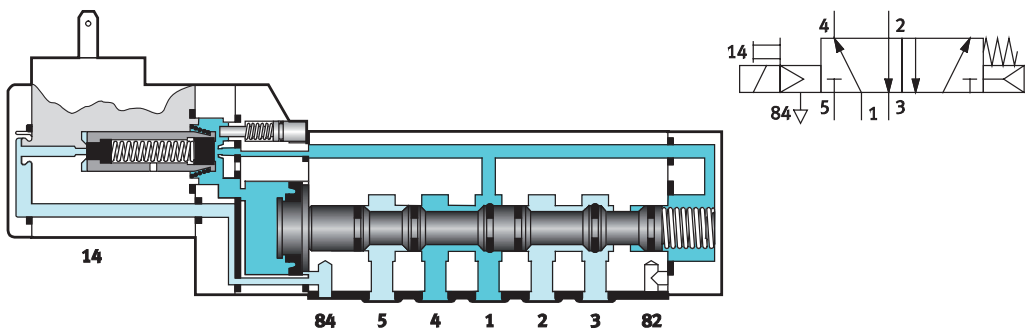


Bild 5.22: Vorgesteuertes 5/2-Wege-Magnetventil, betätigt



### 6.3.3 Druckschaltventil

Dieses Ventil arbeitet nach demselben Prinzip wie das Druckbegrenzungsventil. Das Ventil öffnet, wenn der an der Feder eingestellte Druck überschritten wird.

Der Durchfluss von 1 nach 2 ist gesperrt. Der Ausgang 2 wird erst dann geöffnet, wenn sich an der Steuerleitung 12 der voreingestellte Druck aufgebaut hat. Ein Steuerkolben öffnet den Durchgang 1 nach 2.

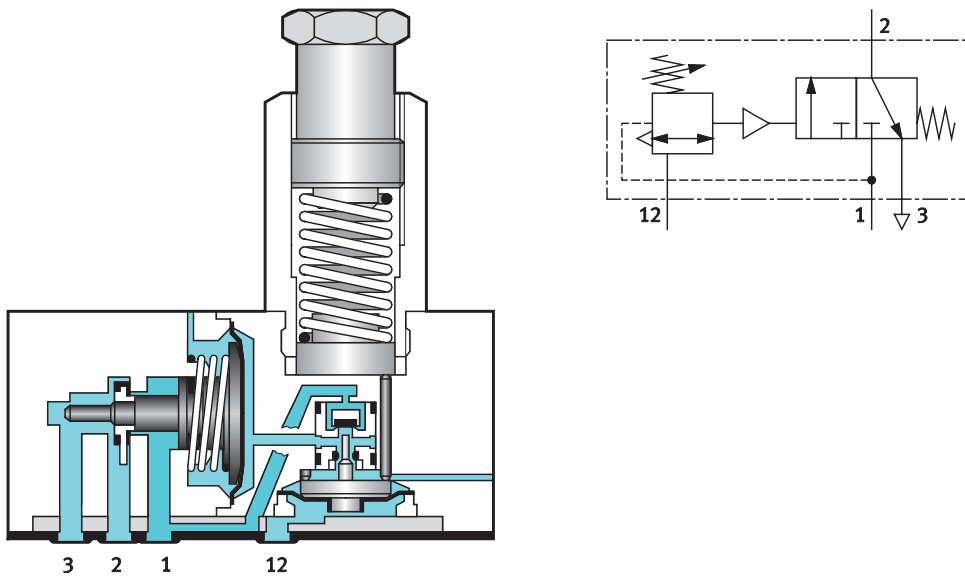


Bild 6.11: Druckschaltventil, einstellbar

Die Druckschaltventile werden in pneumatischen Steuerungen eingebaut, wenn ein bestimmter Druck für einen Schaltvorgang nötig ist (druckabhängige Steuerungen).

### 6.4 Ventilkombinationen

Ventile aus verschiedenen Ventilgruppen können zu einer Baueinheit zusammengesetzt werden. Die Eigenschaften und Konstruktionsmerkmale dieser Baueinheiten ergeben sich aus den verwendeten Ventilen, man nennt sie auch Kombinationsventile. Die jeweiligen Bildzeichen setzen sich aus den Bildzeichen der einzelnen Bauteile zusammen. Folgende Einheiten gehören zur Gruppe der Kombinationsventile:

- Verzögerungsventil: Verzögerung der Signalweitergabe
- Luftsteuerblock: Ausführung von Einzel- und Oszillationsbewegungen bei doppeltwirkendem Zylinder

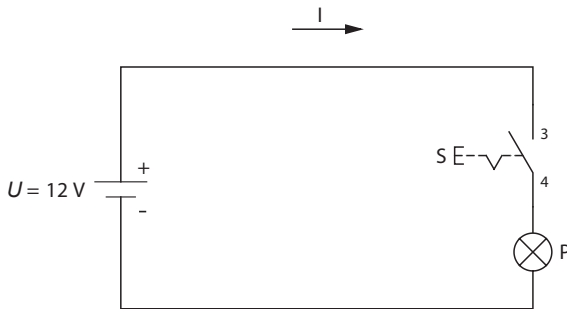


Bild 9.2: Gleichstromkreis

### Technische Stromrichtung

Wird der Stellschalter geschlossen, fließt ein Strom  $I$  über den Verbraucher. Die Elektronen bewegen sich vom Minus- zum Pluspol der Spannungsquelle. Bevor die Existenz der Elektronen bekannt war, wurde die Stromrichtung von „plus“ nach „minus“ festgelegt. Diese Definition ist in der Praxis auch heute noch gültig. Man bezeichnet sie als technische Stromrichtung.

## 9.2 Ohm'sches Gesetz

Der Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand wird durch das Ohm'sche Gesetz beschrieben. Es besagt, dass sich in einem Stromkreis mit gegebenem elektrischen Widerstand die Stromstärke im gleichen Verhältnis wie die Spannung ändert, d. h.:

- Wächst die Spannung, steigt auch die Stromstärke an.
- Sinkt die Spannung, geht auch die Stromstärke zurück.

$$U = R \cdot I$$

$U$ Spannung	Einheit: Volt (V)
$R$ Widerstand	Einheit: Ohm ( $\Omega$ )
$I$ Stromstärke	Einheit: Ampère (A)

### 9.2.1 Elektrischer Leiter

Unter einem elektrischen Strom versteht man die gerichtete Bewegung von Ladungsträgern. Ein Strom kann in einem Werkstoff nur fließen, wenn dort genügend freie Elektronen vorhanden sind. Werkstoffe, für die dies zutrifft, heißen elektrische Leiter. Besonders gute elektrische Leiter sind die Metalle Kupfer, Aluminium und Silber. In der Steuerungstechnik wird hauptsächlich Kupfer als Leitermaterial eingesetzt.

### Einweg-Lichtschanke

Die Einweg-Lichtschanke weist räumlich voneinander getrennte Sender- und Empfänger-einheiten auf. Die Bauteile sind so montiert, dass der Sender direkt auf den Empfänger strahlt. Bei Unterbrechung des Lichtstrahls wird der Ausgang geschaltet.

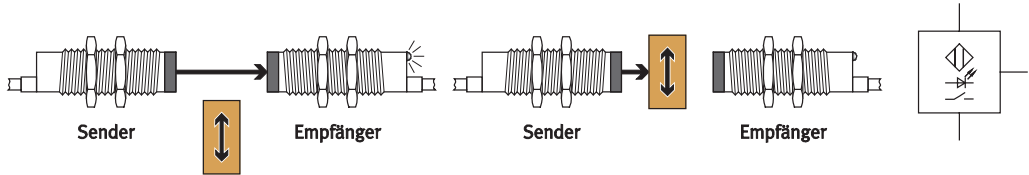


Bild 10.10: Einweg-Lichtschanke – Prinzipdarstellung, Symbol

### Reflexions-Lichtschanke

Bei der Reflexions-Lichtschanke sind Sender und Empfänger nebeneinander in einem Gehäuse angeordnet. Der Reflektor wird so montiert, dass der vom Sender ausgesandte Lichtstrahl praktisch vollständig auf den Empfänger reflektiert wird. Bei Unterbrechung des Lichtstrahls wird der Ausgang geschaltet.

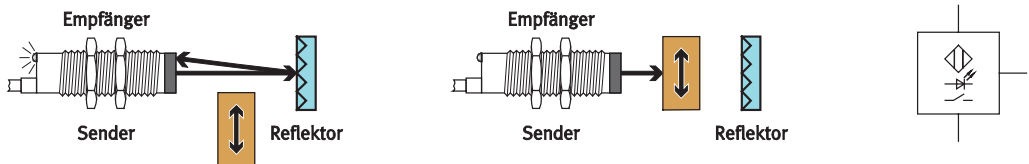


Bild 10.11: Reflexions-Lichtschanke – Prinzipdarstellung, Symbol

### Reflexions-Lichttaster

Sender und Empfänger des Reflexions-Lichttasters sind nebeneinander in einem Bauteil angeordnet. Trifft das Licht auf einen reflektierenden Körper, so wird es zum Empfänger umgelenkt, und der Ausgang des Sensors wird geschaltet. Aufgrund des Funktionsprinzips kann ein Lichttaster nur dann eingesetzt werden, wenn das zu erkennende Werkstück bzw. Maschinenteil ein hohes Reflexionsvermögen (z. B. metallische Oberflächen, helle Farben) aufweist.

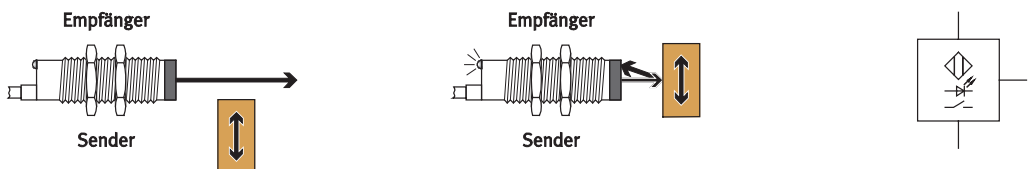


Bild 10.12: Reflexions-Lichttaster – Prinzipdarstellung, Symbol

## 11.2.6 Rückführungen und Sprünge

Abläufe werden üblicherweise zyklisch durchlaufen, sie stellen also eine Schleife dar. Um die Schleifenstruktur darzustellen, muss eine Linie von unten nach oben verlaufen. Da diese Richtung der üblichen Richtung eines Ablaufs von oben nach unten entgegengesetzt ist, muss ein Pfeil angebracht werden.



Bild 11.9: Beispiel zu einer Rückführung in einer Ablaufstruktur

## 11.2.7 Strukturierung von GRAFCETs

Die beschriebenen Elemente reichen aus, um Abläufe ohne Hierarchieebenen exakt und präzise zu beschreiben. Die Norm bietet noch die zur Strukturierung der Hierarchie erforderlichen Elemente an.

Hierarchieebenen sind notwendig für exakt definierte Grob-Fein-Strukturen des Steuerungsverhaltens, für Betriebsarten und für die NOT-AUS Funktion von komplexen Steuerungen.

Wird mit unterschiedlichen Hierarchieebenen gearbeitet, so wird ein GRAFCET in mehrere Teile zerlegt. Die Teile werden als Teil-GRAFCET bezeichnet. Sie erhalten einen Namen. Dem Namen vorangestellt ist ein G.

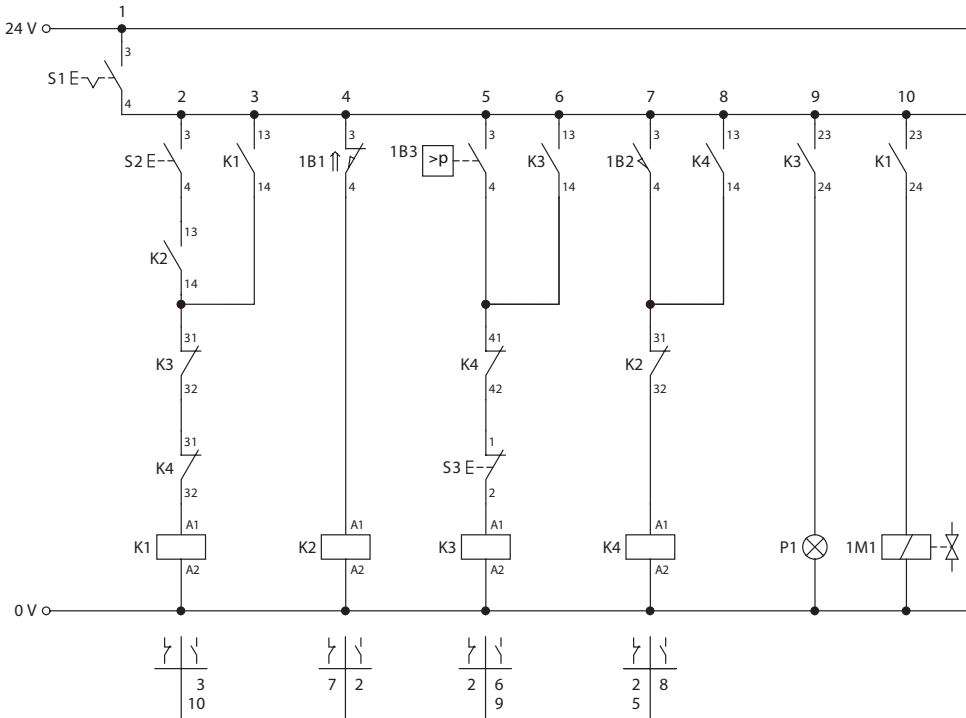
Die wesentlichen Elemente zur Strukturierung sind:

- zwangssteuernde Befehle
- einschließende Schritte
- Makroschritte

Die Strukturierungselemente werden in diesem Kapitel nicht beschrieben.

## Strompfade

Die einzelnen Strompfade einer elektropneumatischen Steuerung werden im Stromlaufplan nebeneinander eingezeichnet und durchnummeriert. Der in Bild 12.4 dargestellte Stromlaufplan einer elektropneumatischen Steuerung weist 10 Strompfade auf. Die Strompfade 1 bis 8 zählen zum Steuerstromkreis, die Strompfade 9 und 10 zum Hauptstromkreis.



S1 = Hauptschalter      1B1/1B2 = Grenztaster  
 S2 = Starttaster      1B3 = Druckschalter  
 S3 = Quittiertaster

Bild 12.4: Elektrischer Schaltplan (Stromlaufplan) einer elektropneumatischen Steuerung

## Kennzeichnung von Bauelementen

Die Bauelemente im Stromlaufplan einer Steuerung werden durch einen Buchstaben gekennzeichnet. Bauelemente mit gleicher Kennzeichnung werden fortlaufend nummeriert (z. B. mit 1B1, 1B2 usw.).

Sensoren und Ventilspulen müssen sowohl im Pneumatikschaltplan als auch im Stromlaufplan dargestellt werden. Um die Eindeutigkeit und leichte Lesbarkeit sicherzustellen, sollten die Symbole in beiden Plänen auf gleiche Weise bezeichnet und nummeriert werden. Wurde z. B. ein bestimmter Grenztaster im Pneumatikschaltplan mit 1B1 bezeichnet, so ist die gleiche Kennzeichnung auch im Stromlaufplan zu verwenden.

### Anwendungsbeispiel

Nachfolgend wird ein Verfahren zur Klemmenbelegung erläutert, mit dem man eine übersichtliche, leicht nachvollziehbare Verdrahtung erhält. Ausgangsbasis für die Erstellung des Klemmenanschlussplanes sind:

- der Stromlaufplan einer Steuerung ohne Markierung der Klemmen (Bild 12.12),
- ein Vordruck für eine Klemmenbelegungsliste (Bild 12.13).

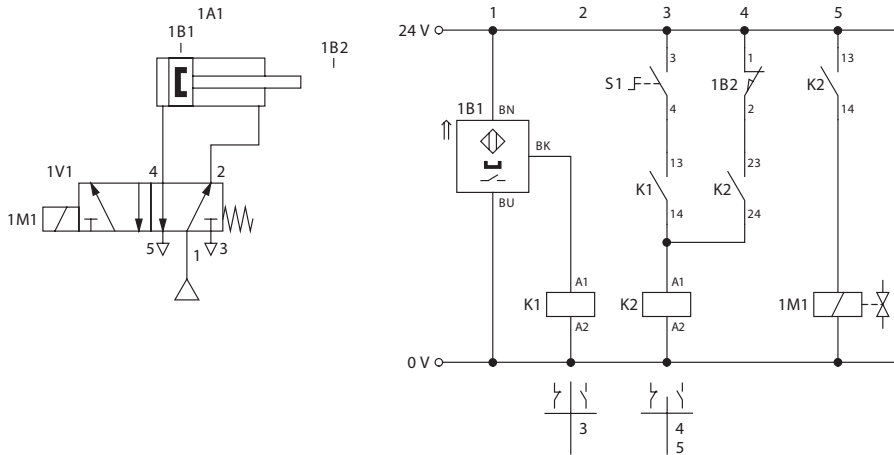


Bild 12.12: Pneumatischer Schaltplan und Stromlaufplan einer elektropneumatischen Steuerung

Ziel		Verbindungsbrücke	Klemmen - Nr. X...	Ziel	
Bauteil - Bezeichnung	Anschluss - Bezeichnung			Bauteil - Bezeichnung	Anschluss - Bezeichnung
		○	1		
		○	2		
		○	3		
		○	4		
		○	5		
		○	6		
		○	7		
		○	8		
		○	9		
		○	10		
		○	11		
		○	12		
		○	13		
		○	14		
		○	15		
		○	16		
		○	17		
		○	18		
		○	19		
		○	20		

Bild 12.13: Vordruck für eine Klemmenbelegungsliste