

**Vorwort** 11

<b>1</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>Drucklifterzeugung 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	Mehrstellungszyliner	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>	