

Inhalt	Kapitel	Seite
Teil 1		
Grundlagen der Druckluft	1.1 Die Geschichte der Druckluft1 1.1.1 Die Anfänge der Druckluft1 1.1.2 Erste Anwendungen der Druckluft2 1.2 Einheiten und Formelzeichen6 1.2.1 Basiseinheiten6 1.2.2 Einheiten der Drucklufttechnik6 1.3 Was ist Druckluft ?7 1.3.1 Zusammensetzung der Luft7 1.3.2 Eigenschaften der Druckluft7 1.3.3 Wie verhält sich Druckluft?7 1.4 Physikalische Grundlagen8 1.4.1 Temperatur9 1.4.2 Volumen9 1.4.3 Druck10 1.4.3 Volumenstrom11 1.5 Bewegte Druckluft13 1.5.1 Strömungsverhalten13 1.5.2 Stömungsarten13	
Teil 2		
Einsatzbereiche der Druckluft	2.1 Vorteile der Druckluft14 2.2 Druckbereiche17 2.3 Anwendungsmöglichkeiten der Druckluft18 2.3.1 Spannen und Klemmen mit Druckluft18 2.3.2 Transport mit Druckluft18 2.3.3 Antrieb mit Druckluft19 2.3.4 Spritzen mit Druckluft19 2.3.5 Blasen mit Druckluft19 2.3.6 Prüfen und Kontrollieren mit Druckluft20 2.3.7 Steuern und Regeln mit Druckluft20 2.4 Fachgebietsbezogene Anwendungsbeispiele21	
Teil 3		
Druckluftherzeuger	3.1 Kompressoren (Verdichter)24 3.1.1 Dynamische Verdichter (Turboverdichter)24 3.1.2 Verdränger-Verdichter24 3.2 Kompressorbauarten25 3.2.1 Marktgerechte Kompressoren26 3.2.2 Hubkolbenkompressor27 3.2.3 Membrankompressor29 3.2.4 Freikolbenkompressor30 3.2.5 Vielzellenkompressor31 3.2.6 Flüssigkeitsringkompressor32 3.2.7 Schraubenkompressor33 3.2.8 Roots-Verdichter34 3.2.9 Axialverdichter35 3.2.10 Radialverdichter36	

	Kapitel	Seite
	3.3 Kolbenkompressoren	37
	3.3.1 Allgemeines	37
	3.3.2 Ansaugleistung - Liefermenge	38
	3.3.3 Kühlung	39
	3.3.4 Kühlmittel	40
	3.3.5 Regelung von Hubkolbenkompressoren	40
	3.3.6 Vorteile von Hubkolbenkompressoren	40
	3.3.7 Baugruppen eines Kolbenkompressors	41
	3.4 Schraubenkompressoren	42
	3.4.1 Allgemeines	42
	3.4.2 Verdichtungs Vorgang	42
	3.4.2 Funktionsweise	43
	3.4.3 Ölkreislauf	44
	3.4.4 Luftkreislauf	45
	3.4.5 Wärmerückgewinnung	46
	3.4.6 Ansaugregelung	46
	3.4.7 Vorteile von Schraubenkompressoren	46
	3.4.8 Baugruppen eines Schraubenkompressors	47
	3.5 Baugruppen	48
	3.5.1 Antriebsmotor	48
	3.5.2 Keilriemen	48
	3.5.3 Riemenspannvorrichtung	48
	3.5.4 Saug- und Druckventile	49
	3.5.5 Sicherheitsventile	49
	3.5.6 Ansaugfilter	49
	3.6 Kompressorschmier- und kühlmittel	50
Teil 4		
Regelung von		
Kompressoren		
	4.1 Druckdefinitionen	51
	4.2 Betriebszustände	52
	4.2.1 Stillstand (L0)	52
	4.2.2 Leerlauf (L1)	52
	4.2.3 Teillast	53
	4.2.4 Lastlauf (L2)	53
	4.3 Regelung einzelner Kompressoren	54
	4.3.1 Aussetz-Regelung	54
	4.3.2 Leerlauf-Regelung	54
	4.3.3 Verzögerte Aussetz-Regelung	55
	4.3.4 Teillast-Regelung	56
	4.3.4.1 Stufenlose Leistungsregelung	56
	4.3.4.2 Frequenzregelung	56
	4.4. Das ARS-Steuerungskonzept	57
	4.4.1 Automatic	58
	4.4.2 Autotronic	58
	4.4.3 Ratiotronic	59
	4.4.4 Supertronic	59

Kapitel	Seite
4.5 Regelung von mehreren Kompressoren	60
4.5.1 MCS 1 und MCS 2	60
4.5.2 MCS 3	61
4.5.3 MCS 4	62
4.5.4 MCS 5	63
4.5.5 MCS 6	64
4.5.6 MCS 7	65
5.1 Warum Druckluftaufbereitung ?	66
5.1.2 Planungshinweise	67
5.1.3 Folgen schlechter Aufbereitung	68
5.1.3 Luftverunreinigungen	69
5.2 Wasser in der Druckluft	70
5.2.1 Luftfeuchtigkeit	70
5.2.2 Taupunkte	71
5.2.3 Wassergehalt der Luft	71
5.2.4 Kondensatmenge bei Komprimierung	72
5.2.5 Beispiel zur Kondensatmengenberechnung	73
5.2.6 Kondensatmenge an einem schwülen Sommertag	74
5.2.7 Drucktaupunktermittlung	75
5.2.8 Drucktaupunkt nach der Entspannung	76
5.3 Druckluftqualität	77
5.3.1 Qualitätsklassen nach DIN ISO 8573-1	77
5.4 Trocknungsmethoden	78
5.4.1 Betriebsbedingungen	79
5.4.2 Kondensation durch Überverdichtung	80
5.4.3 Kondensation durch Kältetrocknung	81
5.4.4 Diffusion durch Membrantrocknung	82
5.4.5 Sorption durch Absorption	83
5.4.6 Sorption durch Adsorption	84
5.4.6.1 Kaltregeneration	85
5.4.6.2 Interne Warmregeneration	86
5.4.6.3 Externe Warmregeneration	87
5.4.6.4 Vakuumregeneration	88
5.4.7 Anordnung des Kälte-Drucklufttrockners	89
5.4.7.1 Trockner vor dem Druckluftbehälter	89
5.4.7.2 Trockner hinter dem Druckluftbehälter	90
5.5 Druckluftfilter	91
5.5.1 Grundbegriffe der Filtertechnik	91
5.5.1.1 Filterabscheidegrad η [%]	91
5.5.1.2 Druckabfall Δp	92
5.5.1.3 Betriebsdruck	92
5.5.2 Zyklonabscheider	93
5.5.3 Vorfilter	94
5.5.4 Microfilter	95
5.5.5 Aktivkohlefilter	97
5.5.6 Aktivkohle-Adsorber	98
5.5.7 Sterilfilter	99

Teil 5 Druckluftaufbereitung

	Kapitel	Seite
Teil 6		
Kondensatentsorgung	6.1 Kondensat	100
	6.2 Kondensatableiter	101
	6.2.1 Kondensatableiter mit handbetätigtem Ventil	102
	6.2.2 Kondensatableiter mit Schwimmersteuerung	102
	6.2.3 Kondensatableiter mit zeitabhängig öffnendem Magnetventil	103
	6.2.4 Kondensatableiter mit elektronischer Füllstandsmessung	104
	6.2.5 Kondensatableiter mit Niveauschwimmer zur Füllstandsmessung	105
	6.3 Kondensataufbereitung	106
	6.3.1 Öl-Wasser-Trenner	107
Teil 7		
Druckluftbedarf	7.1 Druckluftverbrauch von Pneumatikgeräten	108
	7.1.1 Druckluftverbrauch von Düsen	108
	7.1.1.1 Druckluftverbrauch von zylindrischen Düsen	109
	7.1.1.2 Druckluftverbrauch von Farbspritzpistolen	110
	7.1.1.3 Druckluftverbrauch von Strahldüsen	111
	7.1.2 Druckluftverbrauch von Zylindern	112
	7.1.3 Druckluftverbrauch von Werkzeugen	113
	7.2 Ermittlung des Druckluftbedarfs	115
	7.2.1 Mittlere Einschaltdauer	115
	7.2.2 Gleichzeitigkeitsfaktor	116
	7.2.3 Festlegung des Druckluftbedarfs	117
	7.2.3.1 Automatische Druckluftverbraucher	117
	7.2.3.2 Allgemeine Druckluftverbraucher	118
	7.2.3.3 Gesamtdruckluftverbrauch	118
	7.2.4 Zuschläge für Verluste und Reserven	119
	7.2.5 Benötigte Liefermenge LB	119
	7.3 Druckluftverluste	120
	7.3.1 Kosten der Druckluftverluste	120
	7.3.2 Bestimmung der Leckagemenge	121
	7.3.2.1 Leckagebestimmung durch Behälterentleerung	121
	7.3.2.2 Leckagebestimmung durch Einschaltdauermessung	122
	7.3.3 Grenzwerte für Leckagemengen	123
	7.3.4 Maßnahmen zur Minimierung der Druckluftverluste	123
	7.3.5 Sanierung eines Druckluftnetzes	124
Teil 8		
Größenbestimmung der Kompressorstation	8.1 Die Kompressorbauart	125
	8.1.1 Schraubenkompressoren	125
	8.1.2 Kolbenkompressoren	125
	8.2 Höchstdruck p_{max}	126
	8.2.1 Einflußgrößen auf den Ausschaltdruck p _{max}	126

Kapitel	Seite
8.3 Volumenbestimmung eines Druckluftbehälters	127
8.3.1 Empfehlungen für das Druckluftbehältervolumen	127
8.3.2 Normreihe und Betriebsdrücke für Druckluftbehältergrößen	127
8.3.3 Druckluftbehältervolumen für Kompressoren	128
8.4 Schaltintervall des Kompressors	129
8.4.1 Kompressorstillstandszeit	129
8.4.2 Kompressorlaufzeit	129
8.4.3 Ermittlung der Motorschaltspiele	130
8.5 Beispiele zur Kompressorauslegung	131
8.5.1 Rechenbeispiel für Kolbenkompressoren	131
8.5.1.1 Ermittlung des Höchstdruckes p_{max}	131
8.5.1.2 Bestimmung der Kompressorgröße	132
8.5.1.3 Volumen des Druckluftbehälters	132
8.5.1.4 Schaltintervall des Kompressors	133
8.5.1.5 Motorschaltspiele des Kompressors	134
8.5.2 Rechenbeispiele für Schraubenkompressoren	135
8.5.2.2 Bestimmung der Kompressorgröße	135
8.5.2.1 Beispiel zu Ermittlung des Höchstdruckes p_{max}	135
8.5.2.3 Dimensionierung des Druckluftbehälters	136
8.5.2.4 Schaltintervall des Kompressors	136
8.5.3 Resümee zur Kompressorauswahl	137
8.6 Hinweise zur Kompressorauslegung	138
8.6.1 Leistung und Arbeitsdruck	138
8.6.3 Kompressorverbundsysteme	139
8.6.2 Variierender Arbeitsdruck der Verbraucher	139
 Teil 9	
Das Druckluftnetz	
9.1 Der Druckluftbehälter	140
9.1.1 Druckluftspeicherung	140
9.1.2 Pulsationsdämpfung	140
9.1.3 Kondensatabscheidung	141
9.1.4 Betrieb von Druckluftbehältern	141
9.1.5 Installation von Druckluftbehältern	141
9.1.6 Sicherheitsvorschriften für Druckluftbehälter	142
9.1.6.1 Einteilung in Prüfgruppen	142
9.1.6.3 Anmelde- und Überwachungspflicht	143
9.1.6.4 Sachverständige und Sachkundige nach § 31 und § 32 DruckbehV	143
9.1.6.2 Herstellung von Druckluftbehältern	143
9.1.6.5 Prüfung von Druckluftbehältern	144
9.1.6.6 Prüfungsarten	146
9.1.6.7 Weitere Auszüge aus der Druckluftbehälter - Verordnung	146
9.1.7 Armaturen am Druckluftbehälter	147
9.1.7.1 Sicherheitsventil	148

Kapitel	Seite
9.2 Das Rohrleitungsnetz	149
9.2.1 Aufbau eines Rohrleitungsnetzes	149
9.2.1.1 Die Hauptleitung	149
9.2.1.2 Die Verteilerleitung - Ringleitung	150
9.2.1.3 Die Verteilerleitung - Stichleitung	151
9.2.1.4 Die Anschlußleitung	151
9.2.1.5 Anschluß an eine Sammelleitung bei Mehrfachanlagen ...	152
9.3 Planungshinweise für Rohrleitungsnetze	153
9.3.1 Allgemeine Planungshinweise	153
9.3.2 Rohrleitungsnetz ohne Drucklufttrockner	154
9.3.3 Druckluftnetz mit Drucklufttrockner	155
9.4 Druckabfall Δp	156
9.4.1 Art der Strömung	156
9.4.2 Die Reynoldssche Zahl Re	156
9.4.3 Druckabfall im Rohrleitungsnetz	157
9.5 Dimensionierung von Rohrleitungen	158
9.5.1 Maximaler Druckabfall Δp	158
9.5.2 Nennweite von Rohrleitungen Gegenüberstellung [DN – Zoll]	159
9.5.2 Gleichwertige Rohrlänge	160
9.5.3 Rechnerische Ermittlung des Rohrinneendurchmessers d_i	161
9.5.4 Graphische Ermittlung des Rohrinneendurchmessers d_i	162
9.5.5 Ermittlung des Rohrinneendurchmessers d_i mit Hilfe eines Spaltendiagramms	163
9.6 Werkstoffauswahl für Rohrleitungen	164
9.6.1 Gewinderohre	164
9.6.2 Nahtlose Stahlrohre	165
9.6.3 Edelstahlrohre	165
9.6.4 Kupferrohre	166
9.6.5 Kunststoffrohre	167
9.7 Kennzeichnung von Rohrleitungen	168
 Teil 10	
Der Betriebsraum	
10.1 Kühlung des Kompressors	169
10.2 Kompressoraufstellung	170
10.2.1 Allgemeine Hinweise zum Betriebsraum	170
10.2.2 Zulässige Umgebungstemperatur	170
10.2.3 Brandschutzvorschriften für Betriebsräume	171
10.2.4 Entsorgung des anfallenden Kondensates	171
10.2.5 Aufstellungshinweise für den Kompressor	172
10.2.6 Platzbedarf eines Kompressors	172
10.2.7 Aufstellungsbedingungen von Druckluftbehältern	173

Kapitel	Seite
10.3 Be- und Entlüftung einer Kompressorstation	174
10.3.1 Einflußgrößen auf den Kühlluftstrom \dot{V}_K eines Kompressors	174
10.3.2 Festlegung der Einflußgrößen auf den Kühlluftstrom \dot{V}_K eines Kompressors	175
10.3.3 Allgemeine Hinweise für die Lüftung von Kompressorräumen	176
10.3.4 Natürliche Be- und Entlüftung	177
10.3.4.1 Erforderliche Abluftöffnung bei natürlicher Belüftung	177
10.3.5 Künstliche Be- und Entlüftung	178
10.3.5.1 Erforderliche Ventilatorleistung bei künstlicher Belüftung	178
10.3.5.2 Erforderliche Zuluftöffnung bei künstlicher Belüftung	179
10.3.5.3 Beispiel für die künstliche Belüftung einer Kompressorstation	180
10.3.6 Kühlluftführung mit Zu- und Abluftkanälen	181
10.3.6.1 Zuluftkanäle	181
10.3.6.2 Entlüftung durch einen Kühlluftkanal	182
10.3.6.3 Erforderlicher Kühlluftstrom \dot{V}_A und Kanalquerschnitt A_K mit Kühlluftkanal	182
10.3.6.4 Hinweise zur Kanalbelüftung	183
10.3.6.5 Dimensionierung der Zuluftöffnung bei Entlüftung durch einen Abluftkanal	184
10.3.6.6 Varianten der kanalisierten Entlüftung	185
10.4 Beispiele für Aufstellungspläne	186
10.4.1 Aufstellungsbeispiel für einen Schraubenkompressor	186
10.4.2 Aufstellungsbeispiel für einen Kolbenkompressor	187
 Teil 11	
Wärmerückgewinnung	
11.1 Wärmebilanz einer Kompressorstation	188
11.2 Raumheizung	189
11.2.1 Raumheizung durch Kanäle	189
11.2.2 Funktion einer Raumheizung	190
11.2.3 Wirtschaftlichkeit einer Raumheizung	190
11.3 Die Duotherm Wärmeaustauscher	191
11.3.1 Duotherm BPT	191
11.3.2 Duotherm BSW	192
11.3.3 Wieviel Energie kann eingespart werden ?	193
11.4 Schlußbetrachtung zum Thema Wärmerückgewinnung	194
 Teil 12	
Schall	
12.1 Das Wesen des Schalls	195
12.1.1 Schallempfinden	195
12.2 Wichtige Begriffe der Akustik	196
12.2.1 Schalldruck	196
12.2.2 Der Schallpegel	196
12.2.3 Der Schalleistungspegel	196

	Kapitel	Seite
	12.3 Das Schallempfinden des Menschen	197
	12.3.1 Der Lautstärkepegel	197
	12.3.2 Bewertete Schallpegel dB (A)	197
	12.3.3 Lautstärke im Vergleich	198
	12.4 Verhalten des Schalls	199
	12.4.1 Entfernung von der Schallquelle	199
	12.4.2 Reflexion und Absorption	199
	12.4.3 Dämpfung des Schalls	200
	12.4.5 Schallausbreitung in Rohren und Kanälen	200
	12.4.6 Schalldruckpegel mehrerer Schallquellen	201
	12.4.6.1 Mehrere Schallquellen mit gleichem Pegel	201
	12.4.6.2 Zwei Schallquellen mit unterschiedlichem Pegel	201
	12.5 Auswirkungen von Lärm	202
	12.6 Lärmschutzverordnungen	203
	12.6.1 UVV für lärmerzeugende Betriebe	203
	12.6.2 UVV Verdichter (VBG 16)	203
	12.6.3 Arbeitsstättenverordnung des Bundes	203
	12.6.4 Allgemeine Verwaltungsvorschrift des Bundes. TA-Lärm	204
	12.7 Geräuschemessung	205
	12.8 Schalldämmung bei Kompressoren	205
Teil 13	13.1 Zusammensetzung der Druckluftkosten	206
Kosten der Druckluft	13.1.1 Anteile der Kostenfaktoren	206
	13.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung für Energiekosten	207
Teil 14	14.1 Einführung	208
CE-Zertifizierung	14.1.1 EG-Maschinenrichtlinie	208
	14.1.2 Anwendungsbereiche	208
	14.2 Inverkehrbringen von Maschinen	209
	14.2.1 CE-Kennzeichnung	209
	14.2.2 EG-Konformitätserklärung	210
	14.2.3 EG-Herstellererklärung	212
Teil 15	A.1 Symbole	214
Anhang	A.1.1 Bildsymbole nach DIN 28004	214
	A.1.2 Schaltzeichen nach ISO 1219	216
Teil 16	16.1 Umrechnungstabelle	220
Umrechnungstabelle		

1. Grundlagen der Druckluft

1.1 Die Geschichte der Druckluft

Druckluft ist heute, neben dem elektrischen Strom, der in Industrie und Handwerk am häufigsten genutzte Energieträger. Doch während man den Umgang mit dem elektrischen Strom schon von Kindesbeinen an lernt, sind Bedeutung, Möglichkeiten und Vorteile des Energieträgers Druckluft noch immer zu wenig bekannt.

Das Wissen über die Druckluft ist mit dem Kenntnisstand des Menschen in den anderen technischen Anwendungen gewachsen. Ihre Fortentwicklung im Ablauf der Geschichte fand nur dort statt, wo sie Einsatzvorteile gegenüber anderen Technologien bot. Zu jeder Zeit fand die Druckluft ihre Anwendungen, so daß immer wieder kluge Leute über ihre Weiterentwicklung nachdachten.

1.1.1 Die Anfänge der Druckluft

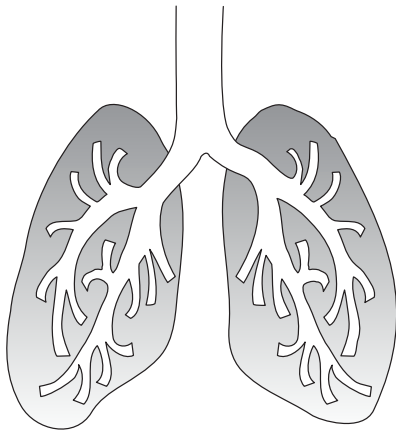


Bild 1.1:
Der erste Kompressor - die Lunge

Der erste Kompressor - die Lunge

Viele technische Anwendungsbereiche lassen sich aus der Frühzeit der Menschheit herleiten. Der erste Einsatz von Druckluft war das Blasen auf Zunder, um Feuer zu entfachen. Die zum Blasen verwendete Luft wurde in der Lunge komprimiert. Man könnte die Lunge als eine Art **natürlichen Kompressor** bezeichnen. Kapazität und Leistung dieses Kompressors sind äußerst beeindruckend. Die menschliche Lunge kann 100 l/min oder 6 m³ Luft pro Stunde verarbeiten. Dabei erzeugt sie einen Druck von 0,02 - 0,08 bar. Im gesunden Zustand ist der menschliche Kompressor in Bezug auf seine Zuverlässigkeit unübertroffen und seine Wartungskosten sind gleich Null.

Die Weiterentwicklung der „Lunge“

Als gänzlich unzureichend erwies sich die Lunge jedoch, als vor mehr als 5000 Jahren die Menschheit anfang, reine Metalle, wie Gold, Kupfer, Zinn und Blei zu schmelzen. Als es später galt, hochwertige Metalle, wie Eisen, aus Erz herzustellen, war die Weiterentwicklung der Drucklufttechnologie unumgänglich. Um Temperaturen von über 1000° C zu erzeugen, waren leistungsfähigere Hilfsmittel als die Lunge vonnöten. Zunächst nutzte man den Aufwind an Hügeln und Bergrücken. Später benutzten ägyptische und sumerische Goldschmiede ein Blasrohr. Sie brachten die Luft direkt in die Glut und konnten somit die Temperatur entscheidend erhöhen. Noch heute nutzen die Goldschmiede in aller Welt ein ähnliches Gerät. Es eignet sich allerdings nur zum Einschmelzen kleinerer Metallmengen.

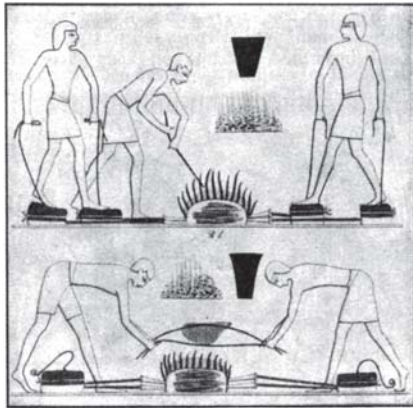


Bild 1.2:
Darstellung der Nutzung fußbetriebener Blasebälge
im antiken Ägypten

1.1.2 Erste Anwendungen der Druckluft Erkennen der Drucklufteigenschaften

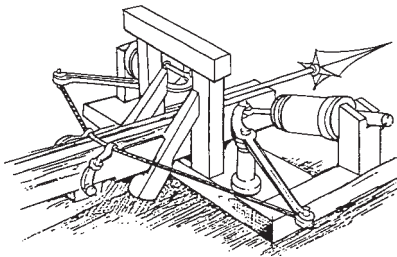


Bild 1.3:
Das Katapult des Ktesibios

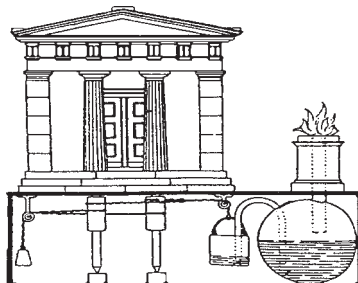


Bild 1.4:
Die Tempeltüren des Heron

Der erste mechanische Kompressor - der Blasebalg

Der erste mechanische Kompressor, der handbetriebene Blasebalg, wurde Mitte des dritten Jahrtausends v.Chr. entwickelt. Die sehr viel leistungsfähigeren fußbetriebenen Blasebälge gab es um 1500 v.Chr. Die Entwicklung wurde notwendig, als sich das Legieren von Kupfer und Zinn zur Herstellung von Bronze zu einem stabilen Herstellungsverfahren entwickelt hatte. Zu sehen ist die Erfindung auf einer Wandmalerei in einem alt-ägyptischen Grabmal. Das war die Geburt der Druckluft im heutigen Sinn.

Wasserorgel

Bevorratung und Pulsationsdämpfung

Die erste bewußte Ausnutzung der Kraft in der Luft ist uns von dem Griechen Ktesibios (ca. 285 bis 222 v.Chr.) überliefert. Er baute eine Wasserorgel und nutzte die Druckluft zur **Bevorratung** und zur **Verringerung von Schwankungen**.

Katapult

Speicherung von Energie

Eine weitere Eigenschaft der Druckluft, die **Speicherung von Energie**, nutzte Ktesibios für sein Katapult. Das Katapult des Griechen erzeugte mit Hilfe der in einem Zylinder zusammengepreßten Luft eine Spannung, die Geschosse fortschleuderte.

Tempeltüren

Ausdehnung und Verrichtung von Arbeit

Der im ersten Jahrhundert n.Chr. in Alexandria lebende Mechaniker Heron verstand es, die Türen eines Tempels automatisch zu öffnen, solange das Feuer auf dem Altar im Inneren des Gebäudes brannte. Das Geheimnis bestand in der **Ausdehnung** von Heißluft zur Verdrängung von Wasser aus einem Behälter in einen anderen. Die Möglichkeit zur **Verrichtung von Arbeit** durch Änderung des Luftzustandes wurde von Heron zumindest unbewußt erkannt.

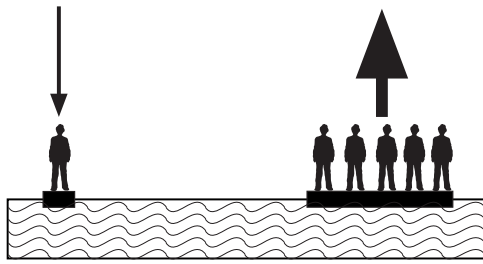


Bild 1.5 :
Druckluft als Kraftverstärker

Das Blaise Pascalsche Gesetz

Kraftverstärkung

Erst im 17. Jahrhundert beschäftigten sich eine Reihe von Gelehrten mit den Gesetzmäßigkeiten der Druckluftanwendung. 1663 veröffentlichte Blaise Pascal seine Erkenntnis der **Kraftverstärkung** durch Flüssigkeiten (Hydraulik), die sich auch auf die Drucklufttechnologie anwenden ließ. Er stellte fest, daß die an einer Öffnung eines geschlossenen Wasserbehälters aufgegebene Kraft eines Mannes an einer anderen Öffnung mit hundertfacher Größe die Kraft von 100 Männern erzeugte.

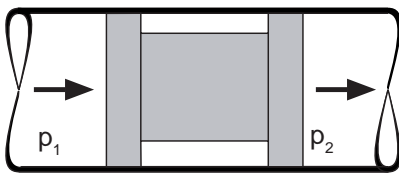


Bild 1.6 :
Druckluft als Transportmittel

Transport von Körpern durch Rohre

Pneumatisches Fördern

Anknüpfend an Heron beschrieb der französische Physiker Denis Papin im Jahre 1667 die Möglichkeit, Körper durch Rohre zu transportieren. Er nutzte die geringe Druckdifferenz in einem Rohr aus. Dabei stellte er fest, daß an einem in diesem Rohr befindlichen Körper Kräfte erzeugt wurden. Hierdurch war der Einsatzvorteil hoher Arbeitsgeschwindigkeiten durch Luft erkannt. Papin legte hiermit den Grundstein zur **pneumatischen Fördertechnik**.

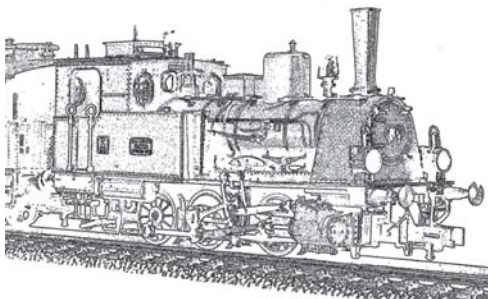


Bild 1.7 :
Pneumatische Bremsen in
einer Eisenbahn um 1870

Pneumatische Bremsen

Kraftübertragung

Mit Druckluft wurden bereits um 1810 Eisenbahnen angetrieben. 1869 stellte Westinghouse seine pneumatische Überdruckbremse vor. Drei Jahre später folgte sein Bremslüfter. Bei diesem System wurden die Bremsen **durch Überdruck** gelöst. D.h., daß bei Ausfall des Drucks, z.B. durch Platzen eines Schlauches, die volle Bremswirkung erzielt wird.

Die Möglichkeit des Fail-Safe-Verhaltens wurde hier erstmals ausgenutzt. Ein Bremssystem auf dieser Grundlage wird auch heute noch als LKW-Bremse verwendet.

Rohrpost

Fördern mit Druckluft

Die Idee der mit Druckluft angetriebenen Eisenbahnen wurde nicht vergessen. 1863 richtete Latimer Clark zusammen mit dem Ingenieur Rammel eine kleine pneumatische Eisenbahn in London ein. Die kleinen Wagen fuhren komplett in einer Treibröhre. Sie waren zur Beförderung von Postbeuteln und Paketen bestimmt. Diese Bahn war wesentlich wendiger als die schweren atmosphärischen Eisenbahnen von 1810. Das führte schließlich zur Entstehung der Rohrpost.

In der Folge entstanden Rohrpostnetze in Berlin, New York und Paris. Das Pariser Netz erreichte 1934 mit 437 km seine größte Ausdehnung. Auch heute findet man noch die Rohrpost in größeren Industriebetrieben.

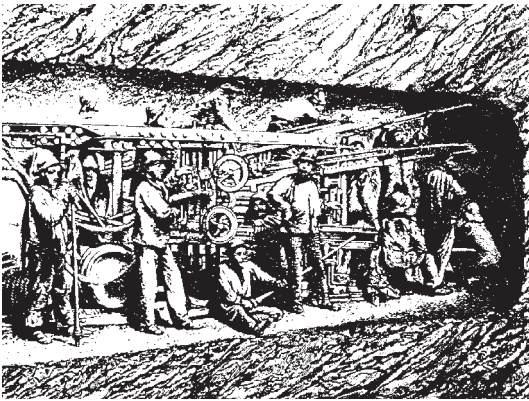


Bild 1.8 :
Druckluftbohrer beim Tunnelbau

Druckluftwerkzeuge

Transportieren von Energie

Beim Tunnelbau durch den Mont Cenis im Jahre 1857 nutzte man die neue Technik eines druckgetriebenen Bohrhammers für die Bearbeitung des Gesteins. Ab 1861 setzte man Stoßbohrmaschinen mit pneumatischem Antrieb beim Vortrieb des Tunnels ein, die von Kompressoren an den beiden Tunneleingängen mit Druckluft versorgt wurden. In beiden Fällen wurde die Druckluft über weite Strecken transportiert.

Als 1871 der Tunneldurchbruch erfolgte, lagen von beiden Seiten über 7000 m Rohrleitungen. Somit wurde zum ersten Mal die **Transportierbarkeit von Energie** als Einsatzvorteil der Druckluft einer breiten Öffentlichkeit nachgewiesen und bekannt gemacht. Hieraus entstanden immer leistungsfähigere und vielseitiger einsetzbare Druckluftwerkzeuge.

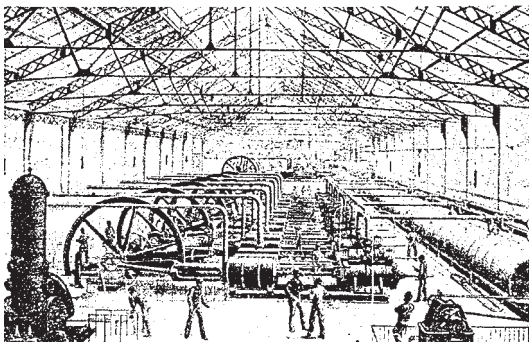


Bild 1.9 :
Druckluftstation in Paris 1888

Druckluftnetze

Zentrale Druckluftherzeugung und Signalübertragung

Die Erfahrung bei der Handhabung von Druckluft-Leitungsnetzen und die Entwicklung leistungsfähigerer Kompressoren führte dazu, daß Paris ein Druckluftnetz in den Abwasserkanälen erhielt. 1888 wurde es mit einer **zentralen Kompressorleistung** von 1500 kW in Betrieb genommen. Im Jahr 1891 betrug die installierte Leistung bereits 18000 kW.

Der umgreifende Erfolg des Druckluftnetzes begründete sich unter anderem in der Erfindung einer Uhr, welche jede Minute durch einen Impuls aus der Kompressorstation gestellt wurde. Man erkannte damals nicht nur die Möglichkeit der Transportierbarkeit von Energie, sondern auch von **Signalen über große Entfernungen eines Druckluftnetzes**.

Das Pariser Druckluftnetz ist bis heute einzigartig und noch immer in Betrieb.

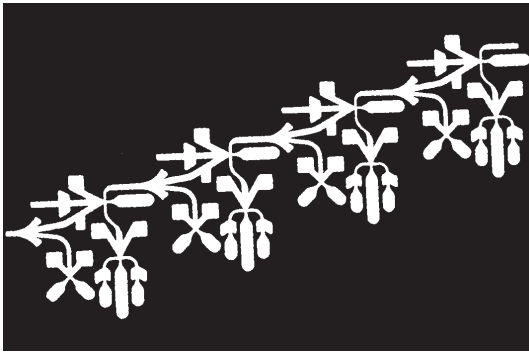


Bild 1.10 :
Vierstufiges Addierwerk mit Wandstrahlelementen

Signalverarbeitung

Druckluft zur Signalübertragung und Verarbeitung

In den 50er Jahren unseres Jahrhunderts entdeckte man in den USA die hohe Strömungsgeschwindigkeit der Druckluft für die Signalverarbeitung und die Signalübertragung. **Die Niederdruckpneumatik**, auch **Fluidik oder Pneumonik (Pneumatische Logik)** genannt, erlaubt mit Drücken von 1,001 bis 1,1 bar die Integration von logischen Schaltfunktionen in Form von strömungsmechanischen Elementen auf kleinstem Raum.

Die hohe Betriebssicherheit der fluidischen Logikelemente unter extremen Umweltbedingungen, erlaubte ihren Einsatz in der Raumfahrt- und Wehrtechnik der USA und der UdSSR. Speziell ihre Immunität gegenüber der elektromagnetischen Strahlung explodierender Atombomben verschafft der Fluidik Einsatzvorteile in einigen sensiblen Bereichen.

Dennoch wurde die Fluidik in den Bereichen der Signal und Informationsverarbeitung im Laufe der Zeit weitgehend von der Elektrotechnik und Mikroelektronik verdrängt.

1.2 Einheiten und Formelzeichen

Die **SI-Einheiten** (Système International d'Unités) wurden auf der 14. Generalkonferenz für Maße und Gewichte vereinbart. Sie sind seit dem 16.10.1971 verbindlich anzuwenden.

1.2.1 Basiseinheiten

Die **Basiseinheiten** sind definierte Einheiten der voneinander unabhängigen Basisgrößen als Grundlage des **SI-Systems**.

Basiseinheit	Formelzeichen	Zeichen	Name
Länge	l	[m]	Meter
Masse	m	[kg]	Kilogramm
Zeit	t	[s]	Sekunde
Stromstärke	I	[A]	Ampere
Temperatur	T	[K]	Kelvin
Lichtstärke	I	[cd]	Candela
Stoffmenge	n	[mol]	Mol

1.2.2 Einheiten der Drucklufttechnik

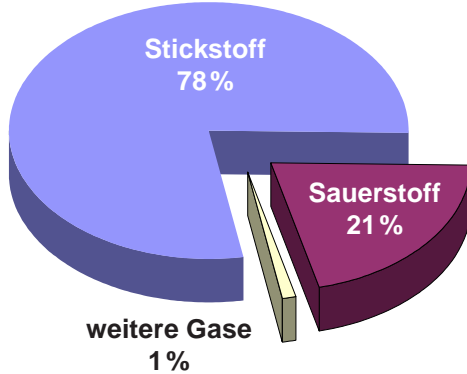
In der Technik werden von den Basiseinheiten abgeleitete Größen verwendet. In der folgenden Aufstellung sind die in der **Drucklufttechnik** am häufigsten verwendeten Einheiten aufgeführt.

Einheit	Formelzeichen	Zeichen	Name
Kraft	F	[N]	Newton
Druck	p	[Pa] [bar]	Pascal Bar 1 bar = 100 000 Pa
Fläche	A	[m ²]	Quadratmeter
Volumen	V	[m ³] [l]	Kubikmeter Liter 1 m³ = 1 000 l
Geschwindigkeit	v	[m / s]	Meter pro Sekunde
Masse	m	[kg] [t]	Kilogramm Tonne 1 t = 1 000 kg
Dichte	ρ	[kg / m ³]	Kilogramm pro Kubikmeter
Temperatur	T	[°C]	Grad Celsius
Arbeit	W	[J]	Joule
Leistung	P	[W]	Watt
Spannung	U	[V]	Volt
Frequenz	f	[Hz]	Hertz

1.3 Was ist Druckluft ?

1.3.1 Zusammensetzung der Luft

Die Luft in unserer Umgebung, der Atmosphäre, besteht aus:



78 % Stickstoff

21 % Sauerstoff

1 % weitere Gase
(z.B. Kohlendioxyd und Argon)

Bild 1.11:
Zusammensetzung der Luft

1.3.2 Eigenschaften der Druckluft

Druckluft ist verdichtete atmosphärische Luft.

Druckluft ist ein Träger von Wärmeenergie.

Druckluft kann bestimmte Entfernungen überbrücken (Rohrleitungen), gespeichert werden (Druckluftbehälter) und Arbeit leisten (Entspannung).

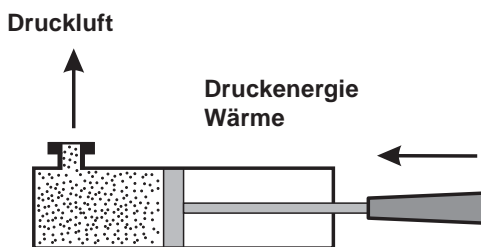


Bild 1.12:
Verdichten von Luft

1.3.3 Wie verhält sich Druckluft ?

Wie alle Gase besteht die Luft aus Molekülen. Die Moleküle sind durch Molekularkräfte aneinander gebunden. Wird die Luft in einen Behälter eingeschlossen (konstantes Volumen), dann prallen diese Moleküle auf die Behälterwände und erzeugen den **Druck p**.

Je höher die **Temperatur**, umso größer ist die Bewegung der Luftmoleküle und umso höher ist der erzeugte **Druck**.

Volumen (V) = konstant

Temperatur (T) = wird erhöht

Druck (p) = steigt

Boyle und Mariotte führten unabhängig voneinander Versuche mit eingeschlossenem Gasvolumen durch und erkannten folgenden Zusammenhang:

Das Gasvolumen ist dem Druck umgekehrt proportional.
(Boyle-Mariottesches Gesetz)

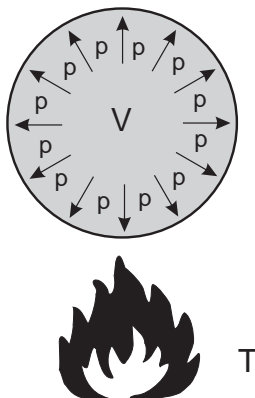


Bild 1.13:
Luft in einem geschlossenen Behälter

1.4 Physikalische Grundlagen

Der Zustand der Druckluft wird durch die 3 thermischen Zustandsgrößen bestimmt:

T = Temperatur

V = Volumen

p = Druck

$$\frac{p \times V}{T} = \text{konstant}$$

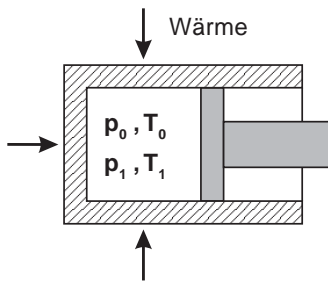
Das bedeutet:

Volumen konstant (isochor)

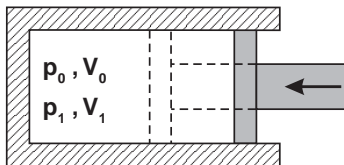
Druck und Temperatur variabel

Erhöht man die Temperatur bei konstantem Volumen, so steigt der Druck.

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{T_0}{T_1}$$



*konstantes Volumen
isochore Verdichtung*



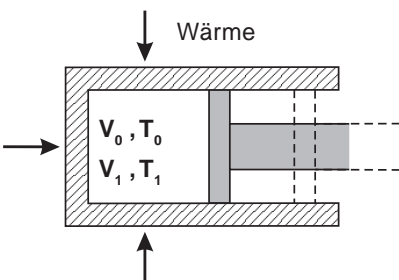
*konstante Temperatur
isotherme Verdichtung*

Temperatur konstant (isotherm)

Druck und Volumen variabel

Verkleinert man das Volumen bei konstanter Temperatur, so steigt der Druck.

$$p_0 \times V_0 = p_1 \times V_1 = \text{konstant}$$



*konstanter Druck
isobare Verdichtung*

Druck konstant (isobar)

Volumen und Temperatur variabel

Erhöht man die Temperatur bei konstantem Druck, so steigt das Volumen.

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{T_0}{T_1}$$

1.4.1 Temperatur

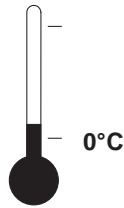
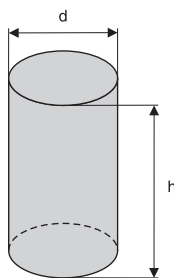


Bild 1.14:
Anzeige der Temperatur

Die Temperatur gibt den Wärmezustand eines Körpers an und wird in °C an Thermometern abgelesen oder in Kelvin (K) umgerechnet.

$$T \text{ [K]} = t \text{ [°C]} + 273,15$$

1.4.2 Volumen



Volumen (V)

Volumen V [l, m³]

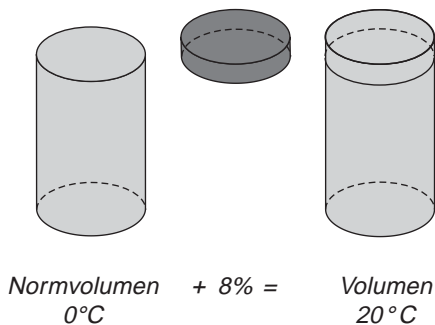
Druckluft im entspannten Zustand, freie Luft

Das Volumen ergibt sich z.B. aus den Abmessungen eines Zylinders. Es wird in l oder m³ gemessen und auf 20 °C und 1 bar bezogen.

Die Angaben in unseren Unterlagen beziehen sich immer auf den entspannten Zustand der Druckluft.

$$V_{\text{Zyl}} = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times h$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Zyl}} &= \text{Volumen} & [\text{m}^3] \\ d &= \text{Durchmesser} & [\text{m}] \\ h &= \text{Höhe} & [\text{m}] \end{aligned}$$



Normvolumen V_{Norm} [NI, Nm³]

Druckluft im entspannten Zustand bei Normbedingungen

Das Normvolumen ist auf den physikalischen Normzustand nach DIN 1343 bezogen. Es ist 8 % kleiner als das Volumen bei 20 °C.

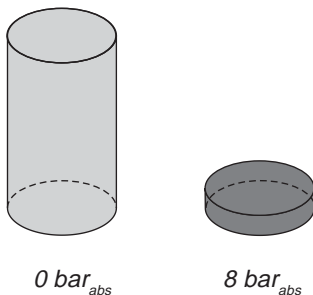
$$\begin{aligned} 760 \text{ Torr} &= 1,01325 \text{ bar}_{\text{abs}} = 101\,325 \text{ Pa} \\ 273,15 \text{ K} &= 0 \text{ °C} \end{aligned}$$

Betriebsvolumen V_{Betrieb} [BI, Bm³]

Druckluft im verdichteten Zustand

Das Volumen im Betriebszustand ist auf den tatsächlichen Zustand bezogen. Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit müssen als Bezugspunkte berücksichtigt werden.

Bei Nennung des Betriebsvolumens ist immer der Druck anzugeben, z.B. 1 m³ bei 7 barü bedeutet, daß 1 m³ entspannte Luft auf 7 barü = 8 bar abs. verdichtet ist und nur noch 1/8 des ursprünglichen Volumens einnimmt.



Grundlagen der Druckluft

1.4.3 Druck

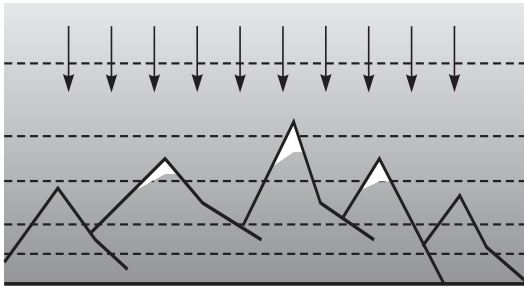


Bild 1.15:
Atmosphärischer Druck

Atmosphärischer Druck p_{amb} [bar]

Der atmosphärische Druck wird erzeugt durch das Gewicht der Lufthülle, die auf uns ruht. Er ist abhängig von der Dichte und der Höhe der Lufthülle.

In Meereshöhe gelten $1\,013\text{ mbar} = 1,01325\text{ bar}$
 $= 760\text{ mm/Hg [Torr]}$
 $= 101\,325\text{ Pa}$

Bei konstanten Bedingungen nimmt der atmosphärische Druck mit zunehmender Höhe des Meßortes ab.

Überdruck $p_{\text{ü}}$ [bar_ü]

Der Überdruck ist der Druck über dem atmosphärischen Druck. In der Drucklufttechnik wird der Druck meist als Überdruck angegeben, und zwar in bar ohne den Index „ü“.

Absolutdruck p_{abs} [bar]

Der absolute Druck p_{abs} ist die Summe aus dem atmosphärischen Druck p_{amb} und dem Überdruck $p_{\text{ü}}$.

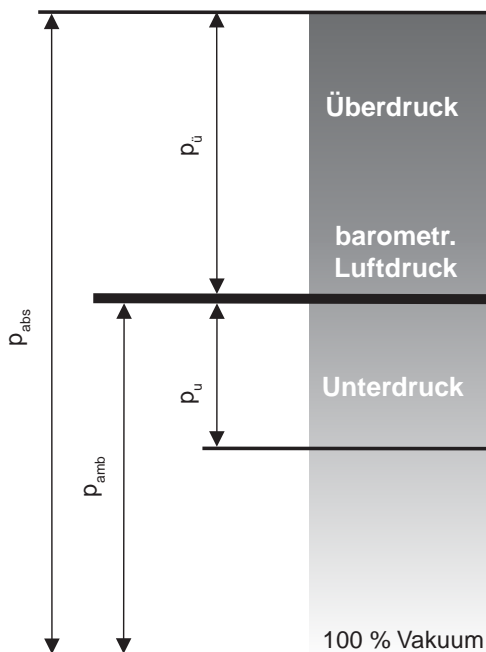
$$p_{\text{abs}} = p_{\text{amb}} + p_{\text{ü}}$$

Der Druck wird nach dem **SI-System** in Pascal [Pa] angegeben. In der Praxis ist z.Zt. noch die Bezeichnung „bar“ üblich. Die alte Bezeichnung atü (1 atü = 0,981 barü) gibt es nicht mehr.

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} \quad p = \frac{F}{A}$$

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

$$1\text{ bar} = 10195\text{ mmWS [mmWassersäule]}$$



p_{amb} = Atmosphärischer Luftdruck
 $p_{\text{ü}}$ = Überdruck
 p_{u} = Unterdruck
 p_{abs} = Absoluter Druck

Bild 1.16:
Darstellung der unterschiedlichen Drücke

1.4.3 Volumenstrom

Hubvolumenstrom

Ansaugleistung

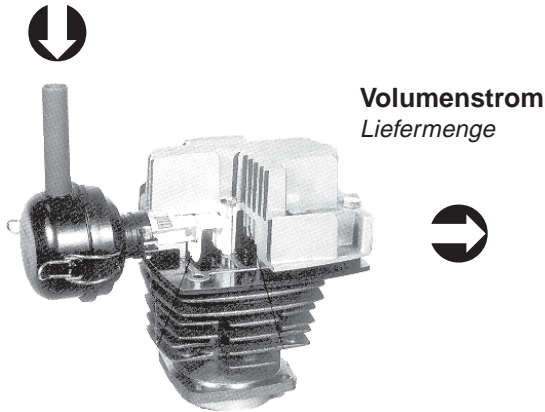


Bild 1.17:
Hubvolumenstrom und Volumenstrom

Volumenstrom \dot{V} [l/min, m³/min, m³/h]

Als Volumenstrom wird das Volumen (l oder m³) pro Zeiteinheit (Minuten oder Stunden) bezeichnet.

Man unterscheidet zwischen Hubvolumenstrom (Ansaugleistung) und Volumenstrom (Liefermenge) eines Kompressors.

Hubvolumenstrom \dot{V}_{Hub} [l/min, m³/min, m³/h]
Ansaugleistung

Der Hubvolumenstrom ist eine rechnerische Größe bei Kolbenkompressoren. Er ergibt sich aus dem Produkt von Zylinderinhalt (Hubraum), Kompressordrehzahl (Anzahl der Hübe) und Anzahl der ansaugenden Zylinder. Der Hubvolumenstrom wird angegeben in l/min, m³/min bzw. m³/h.

$$\dot{V}_{\text{Hub}} = A \times h \times n \times z$$

\dot{V}_{Hub}	=	Hubvolumenstrom	[l/min]
A	=	Zylinderfläche	[dm²]
h	=	Hub	[dm]
n	=	Anzahl der Hübe (Kompressordrehzahl)	[1/min]
z	=	Anzahl der ansaugenden Zylinder	

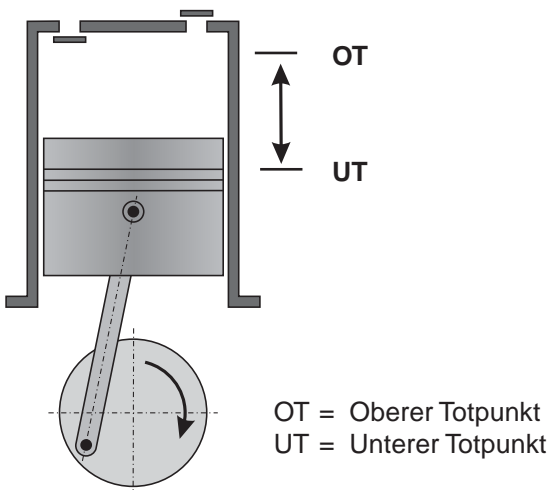


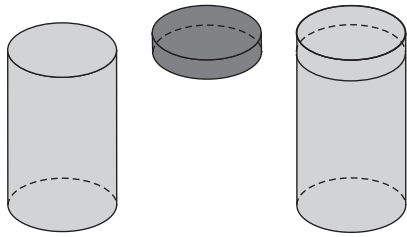
Bild 1.18:
Bewegung des Kolbens

Volumenstrom \dot{V} [l/min, m³/min, m³/h]
Liefermenge

Üblicherweise wird die Fördermenge eines Kompressors als Volumenstrom deklariert.

Im Gegensatz zum Hubvolumenstrom ist der Volumenstrom kein errechneter, sondern ein am Druckstutzen des Kompressors **gemessener** und auf den Ansaugzustand zurückgerechneter Wert. Der Volumenstrom ist abhängig vom Enddruck, bezogen auf die Ansaugbedingungen Druck und Temperatur. Deshalb muß bei der Umrechnung auf den Ansaugzustand der gemessene Volumenstrom auf den Ansaugdruck „entspannt“ und auf die Ansaugtemperatur „zurückgekühlt“ werden.

Der Volumenstrom wird gemessen nach VDMA 4362, DIN 1945, ISO 1217 oder PN2 CPTC2 und angegeben in l/min, m³/min bzw. m³/h. Der effektive Volumenstrom, also die tatsächlich nutzbare Liefermenge ist eine wesentliche Größe für die Auslegung eines Kompressors. Untereinander vergleichbar sind Volumenströme nur dann, wenn sie unter gleichen Bedingungen gemessen wurden. Es müssen also Ansaugtemperatur, Ansaugdruck, relative Luftfeuchte und Meßdruck übereinstimmen.



Volumenstrom $+ 8\% =$ Normvolumenstrom
 20°C 0°C

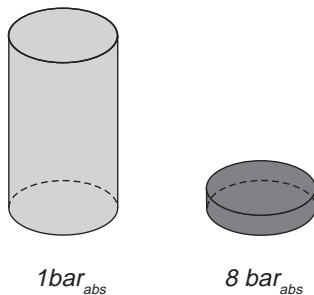
Bild 1.19:
Norm-Volumenstrom

Norm-Volumenstrom \dot{V}_{Norm} [NI/min, Nm³/min, Nm³/h]

Genau wie der Volumenstrom wird auch der Norm-Volumenstrom **gemessen**.

Er bezieht sich aber nicht auf den Ansaugzustand, sondern auf einen theoretischen Vergleichswert. Beim physikalischen Norm-Zustand sind die theoretischen Werte:

Temperatur	=	273,15 K	(0 °C)
Druck	=	1,01325 bar	(760 mm HG)
Luftdichte	=	1,294 kg/m ³	(trockene Luft)



1 bar_{abs}

8 bar_{abs}

Bild 1.20:
Betriebs-Volumenstrom

Betriebs-Volumenstrom \dot{V}_{Betrieb} [BI/min, Bm³/min, Bm³/h]

Der Betriebs-Volumenstrom gibt den effektiven Volumenstrom der verdichteten Luft an.

Um den Betriebs-Volumenstrom mit anderen Volumenströmen vergleichen zu können, muß neben der Dimension BI/min, Bm³/min bzw. Bm³/h immer der Druck der verdichteten Luft angegeben werden.

1.5 Bewegte Druckluft

Bei bewegter Druckluft ergeben sich andere Gesetzmäßigkeiten als bei der stationären Druckluft.

1.5.1 Strömungsverhalten

Der Volumenstrom wird berechnet aus der Fläche und der Geschwindigkeit.

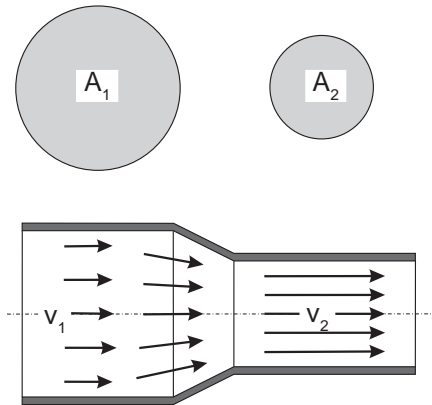


Bild 1.21:
Strömungsverhalten

$$\dot{V} = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

\dot{V} = Volumenstrom
 A_1, A_2 = Querschnitt
 v_1, v_2 = Geschwindigkeit

Aus der Formel ergibt sich:

Die Strömungsgeschwindigkeit ist umgekehrt proportional zum Querschnitt.

1.5.2 Strömungsarten

Strömungen können laminar bzw. gleichgerichtet (Ideal) oder turbulent (Rückströmungen und Verwirbelungen) sein.

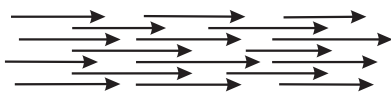


Bild 1.22:
Laminare Strömung

Laminare Strömung (gleichmäßige Strömung)

geringer Druckabfall
geringer Wärmeübergang



Bild 1.23:
Turbulente Strömung

Turbulente Strömung (wirblige Strömung)

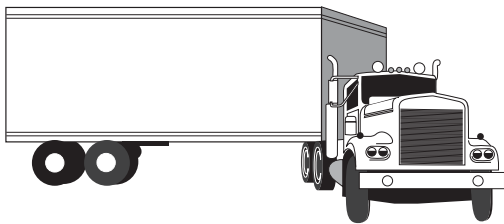
hoher Druckabfall
großer Wärmeübergang

2. Einsatzbereiche der Druckluft

2.1 Vorteile der Druckluft

Die Pneumatik tritt auf allen Einsatzgebieten immer mehr in Konkurrenz mit entsprechenden Geräten aus der Mechanik, der Hydraulik und der Elektrik. Aber die pneumatischen Geräte haben gegenüber den anderen Technologien grundlegende Vorteile:

Leicht transportabel



Luft steht überall in beliebiger Menge zu Verfügung. Da die Abluft ins Freie entweicht, sind Rückleitungen nicht notwendig. Elektrische und hydraulische Systeme erfordern eine Rückführung zur Quelle.

Druckluft lässt sich in Rohrleitungen über große Entfernungen transportieren. Das ermöglicht die Einrichtung von zentralen Erzeugerstationen, die über Ringleitungen die Verbrauchsstellen mit konstantem Arbeitsdruck versorgen. Die in der Druckluft gespeicherte Energie ist auf diese Weise weit verteilbar.

Gut speicherbar



Eine Speicherung der Druckluft in dafür vorgesehenen Behältern ist problemlos möglich. Steht in einem Druckluftnetz ein Speicherbehälter zur Verfügung, arbeitet der Kompressor nur, wenn der Druck unter einen kritischen Wert sinkt. Darüberhinaus ermöglicht das vorhandene Druckpolster die Beendigung eines begonnenen Arbeitsvorgangs, auch wenn das Energienetz ausfällt.

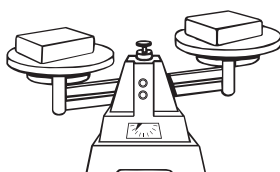
Transportable Druckluftflaschen machen auch den Einsatz an Orten ohne Rohrleitungssystem (z.B. unter Wasser) möglich.

Sauber und trocken

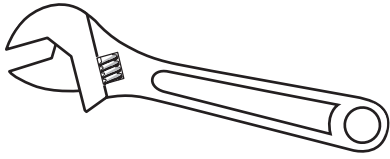


Druckluft hinterlässt bei Leitungsdefekten keine Verunreinigungen und Ölpfützen. Saubere Montage- und Bedienungsmöglichkeiten sind z.B. in den Bereichen der Lebensmittel-, Leder-, Textil- und der Verpackungsindustrie von äußerster Wichtigkeit.

Leicht



Pneumatische Geräte sind im Regelfall wesentlich leichter als vergleichbare Maschinen und Bauelemente mit elektrischem Antrieb. Das macht sich besonders bei Hand- und Schlagwerkzeugen (Druckluftschauber und Druckluflthämmer) positiv bemerkbar.



Betriebssicher

Aufbereitete Druckluft arbeitet auch bei großen Temperaturschwankungen und extremen Temperaturen einwandfrei. Sie ist auch bei sehr hohen Temperaturen, wie z.B. bei der Betätigung von Schmiedepressen und Schmelzofentüren einsetzbar.

Undichte Druckluftgeräte und Leitungen beeinträchtigen die Sicherheit und Funktionsfähigkeit der Anlage nicht.

Druckluftanlagen und Bauteile zeigen im allgemeinen einen sehr geringen Verschleiß. Daraus folgt eine hohe Lebensdauer und eine geringe Ausfallwahrscheinlichkeit.



Unfallsicher

Druckluftelemente sind in Bezug auf Brand-, Explosions- und Elektrogefahrenmomente sehr sicher. Auch in feuer-, explosions- und schlagwettergefährdeten Bereichen können pneumatische Bauelemente ohne teure und voluminöse Schutzeinrichtungen betrieben werden. In feuchten Räumen oder im Freien ist der Einsatz von pneumatischen Geräten ebenfalls gefahrlos möglich.

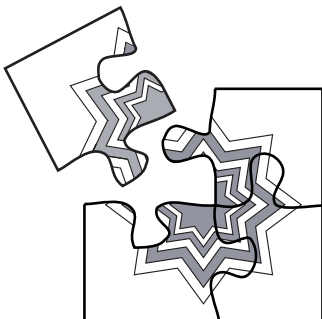


Rationell und wirtschaftlich

Pneumatik ist 40 - 50 mal wirtschaftlicher als Muskelkraft. Das ist besonders bei der Mechanisierung und der Automatisierung ein wesentlicher Punkt.

Pneumatische Bauelemente sind preiswerter, als die entsprechenden hydraulischen Bauteile.

Es ist kein regelmäßiger Medienwechsel, wie z.B. bei der Hydraulik erforderlich. Das verringert die Kosten und den Wartungsaufwand und erhöht die Laufzeiten.



Einfach

Aufbau und Funktion der Druckluftgeräte sind sehr einfach. Aus diesem Grund sind sie sehr robust und nicht störanfällig.

Die pneumatischen Bauelemente sind einfach zu montieren und können nach Gebrauch problemlos wiederverwendet werden. Durch den einfachen Aufbau ergeben sich niedrige Montagezeiten. Die Monteure brauchen keine aufwendige Spezialausbildung.

Geradlinige Bewegungen können ohne aufwendige mechanische Bauteile wie Hebel, Exzenter, Kurvenscheiben, Schraubenspindeln u.ä. erzeugt werden.

Überlastsicher

Druckluftgeräte und pneumatische Arbeitselemente können ohne Schaden zu nehmen bis zum Stillstand belastet werden. Aus diesem Grund gelten sie als überlastsicher.

Ein Druckluftnetz kann, im Gegensatz zu einem Stromnetz, bedenkenlos durch Entnahme überlastet werden. Fällt der Druck zu stark, kann die verlangte Arbeit nicht mehr ausgeführt werden. Es treten aber keine Schäden am Netz und an den Arbeitselementen auf.

Schnelles Arbeitsmedium

Die sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten ermöglichen einen schnellen Funktionsablauf der Arbeitsvorgänge. Daraus folgen kurze Ansprechzeiten und schnelle Umwandlungen der Energie in Arbeit.

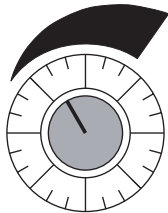
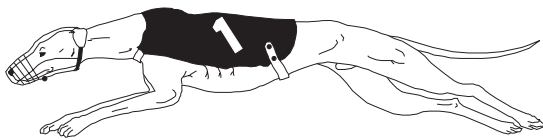
Die Druckluft erreicht Strömungsgeschwindigkeiten über 20 m/s. Die Hydraulik hingegen läßt nur 5 m/s zu.

Die pneumatischen Zylinder erreichen lineare Kolbengeschwindigkeiten von 15 m/s.

Maximale Steuergeschwindigkeiten in der Signalverarbeitung liegen zwischen 30 und 70 m/s bei Betriebsdrücken zwischen 6 und 8 bar. Bei Drücken unter 1 bar lassen sich sogar Signalgeschwindigkeiten von 200 bis 300 m/s erreichen.

Stufenlos regelbar

Verfahrgeschwindigkeiten und ausgeübte Kräfte sind mit einfachen Mitteln stufenlos regelbar. Sowohl bei linearen als auch bei rotierenden Bewegungen ist die stufenlose Regelung der Kräfte, Drehmomente und Geschwindigkeiten problemlos durch verstellbare Drosseln realisierbar.



2.2 Druckbereiche

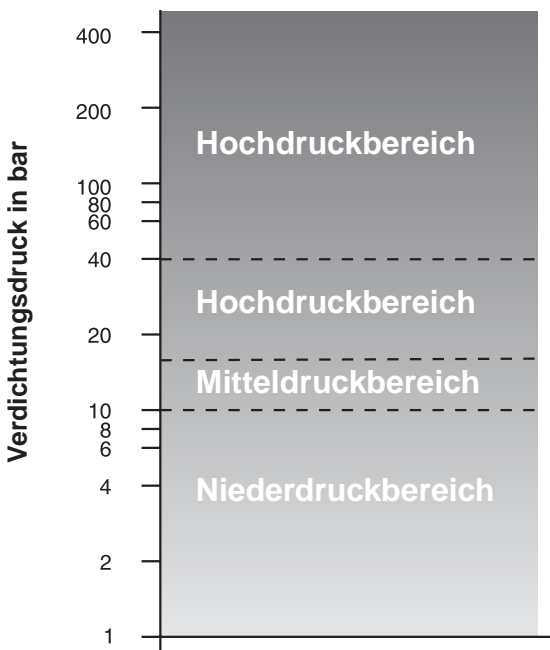


Bild 2.1 :
Druckbereiche

Niederdruckbereich bis 10 bar

Die meisten Anwendungsbereiche der Druckluft in Industrie und Handwerk liegen im Druckbereich bis maximal 10 bar.

Verwendete Kompressoren :

- ein- und zweistufige Kolbenkompressoren
- einstufige Schraubenkompressoren öleinspritzgekühlt
- zweistufige Schraubenkompressoren
- Rotationsverdichter

Mitteldruckbereich bis 15 bar

LKW- und andere Schwerfahrzeugreifen werden mit Druckluft aus 15 bar Kompressoren gefüllt. Darüberhinaus gibt es einige Spezialmaschinen die mit solchen Drücken arbeiten.

Verwendete Kompressoren :

- zweistufige Kolbenkompressoren
- einstufige Schraubenkompressoren (bis 14 bar)
öleinspritzgekühlt

Hochdruckbereich bis 40 bar

Die in diesem Druckbereich verwendeten Kompressoren dienen im allgemeinen zum Anlassen von großen Dieselmotoren, zum Abdrücken von Rohrleitungen und zum Blasen von Kunststoffbehältern.

Verwendete Kompressoren :

- zwei- und dreistufige Kolbenkompressoren
- mehrstufige Schraubenkompressoren

Hochdruckbereich bis 400 bar

Ein Beispiel für den Drucklufteinsatz im Hochdruckbereich ist die Speicherung von Atemluft in Taucherflaschen. Hochdruckkompressoren werden in Kraft-, Walz- und Hüttenwerken und bei Dichtigkeitsprüfungen eingesetzt. Derartige Kompressoren finden auch bei der Verdichtung von Nutzgasen, wie z.B. Sauerstoff, Anwendung.

Verwendete Kompressoren :

- drei- und vierstufige Kolbenkompressoren

2.3.3 Antrieb mit Druckluft

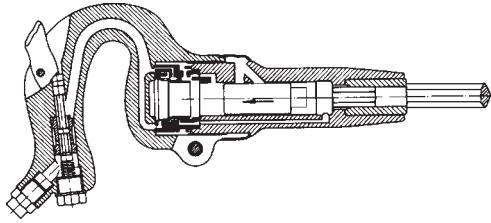


Bild 2.4:
Ventilloser Pneumatikhammer

Pneumatische Antriebe findet man in allen Bereichen von Industrie und Handwerk. Sie führen sowohl rotierende als auch lineare Bewegungen aus. Besonders die lineare Bewegung mit Hilfe von Zylindern ist als besonders wirtschaftlich und rationell anzusehen. Die Nutzarbeit wird durch Druckabfall und Volumenänderung der Druckluft verrichtet.

Sehr wichtig im Bereich der pneumatischen Antriebe sind die schlagenden Druckluftmaschinen und -werkzeuge (z.B. der Drucklufthammer). Die Energie der Druckluft wird in kinetische Energie eines freifliegenden Kolbens umgesetzt. Auch Vibratoren und Rüttler gehören in diesen Bereich.

Darüber hinaus werden eine Vielzahl von Ventilen und Schiebern, Werkzeugen, Verstellungen, Vorschüben und Fahrzeugen pneumatisch angetrieben.

2.3.4 Spritzen mit Druckluft

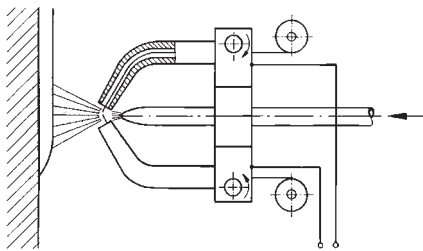


Bild 2.5:
Lichtbogen-Metall-Spritzanlage

Beim **Spritzen** wird die Energie der expandierenden Druckluft zum Mitreißen von Materialien oder Flüssigkeiten durch eine Strahldüse genutzt. Dieses Verfahren dient zum Auftragen oder Zerstäuben verschiedener Stoffe.

Oberflächenbehandlungsverfahren, wie Sand-, Kies- oder Kugelstrahlen und das Lackieren mit Sprüh pistolen gehören in diesen Bereich. Spritzbeton und Mörtel werden ebenfalls auf diese Weise aufgetragen.

Unter zusätzlicher Einwirkung großer Hitze kann die Druckluft auch zum Auftragen von flüssigen Metallen verwendet werden. Hier ist z.B. das Lichtbogenspritzen erwähnenswert.

Ein weiterer Bereich ist das Vernebeln von Flüssigkeiten durch Spritzdüsen, z.B. das Versprühen von Unkrautvertilgungsmitteln und Insektiziden.

2.3.5 Blasen mit Druckluft

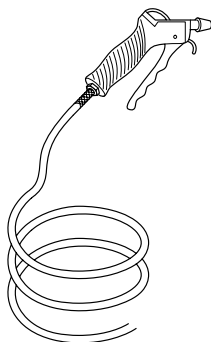


Bild 2.6:
Ausblaspistole mit einem PA-Spiralschlauch

Beim **Blasen** dient die Druckluft selber als Arbeitsmedium, bzw. Werkzeug. Die vom Druckabfall erzeugte Strömungsgeschwindigkeit und/oder die Volumenausdehnung verrichten die Nutzarbeit.

Anzuführen ist hier z.B. das Blasen von Glasflaschen, das Ausblasen und Reinigen von Werkzeugen und Formen, das Fixieren von leichten Werkstücken zur Bearbeitung oder zum Transport und das Wegblasen von Bearbeitungsresten. Außerdem wird Druckluft in dieser Form zum Abführen von Wärme eingesetzt.

2.3.6 Prüfen und Kontrollieren mit Druckluft

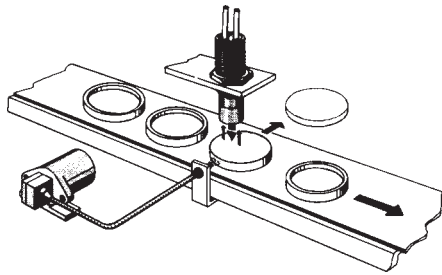


Bild 2.7:
Reflexdüse mit Impulsauswerfer

Beim **pneumatischen Prüf- und Kontrollverfahren** benutzt man die auftretenden Druckveränderungen an der Meßstelle zur Feststellung von Abständen, Gewichten und Formveränderungen. Auf diese Weise kann man durchlaufende Gegenstände zählen, richtige Positionierung prüfen und das Vorhandensein von Werkstücken feststellen.

Diese Verfahren sind Bestandteil vieler Sortier-, Positionier- und Bearbeitungssysteme.

2.3.7 Steuern und Regeln mit Druckluft

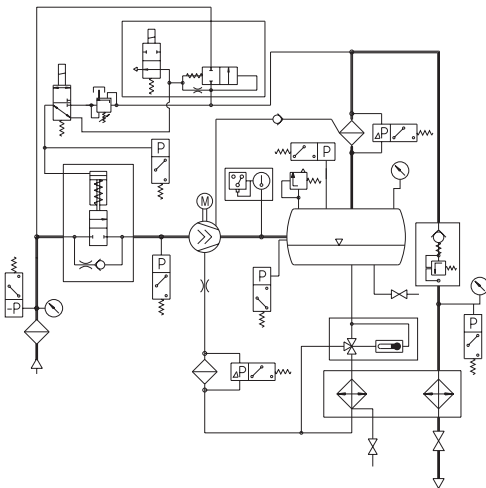


Bild 2.8:
Fließschema eines BOGE Schraubenkompressors,
luftgekühlte Ausführung, mit stufenloser
Leistungsregelung

Jede Art von pneumatischer Anwendung muß auf irgendeine Art und Weise gesteuert oder geregelt werden. Sie muß ihre Einsatzbefehle erhalten.

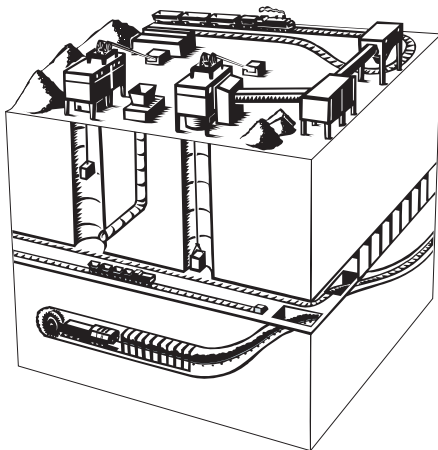
Im allgemeinen geschieht dies durch Druckschalter, Wegeventile u.ä. Diese Steuermechanismen werden wiederum auf vielfältige Arten betätigt, z.B. durch mechanische Schalter, über Nocken, Kurven oder von Hand. Elektrische und magnetische Schalter sind ebenfalls weit verbreitet. Die von pneumatischen Prüf- und Kontrollverfahren ermittelten Ergebnisse können direkt über Wegeventile oder Druckschalter weiterverarbeitet werden.

Von großer Bedeutung ist die Pneumatik bei der Kontrolle von Fließprozessen von Flüssigkeiten und Gasen. Dabei werden ferngesteuerte Ventile, Schieber und Klappen der industriellen Großanlagen gesteuert.

Auch in den Bereichen der Informationsverarbeitung und der Logischen Schaltungen ist die Pneumatik (Fluidik) im Einsatz. Diese Logikpläne sind mit den integrierten Schaltkreisen der Elektronik zu vergleichen. Sie benötigen erheblich mehr Platz, zeichnen sich aber durch eine höhere Betriebssicherheit in bestimmten Einsatzgebieten aus. Wenn die Anforderungen an die Logikelemente nicht zu hoch sind, ist die Fluidik eine Alternative.

2.4 Fachgebietsbezogene Anwendungsbeispiele

Anhand einer Aufzählung soll hier die Vielzahl der Anwendungsgebiete in Industrie, Handwerk und täglichem Leben aufgezeigt werden. Eine Aufführung aller Möglichkeiten der Pneumatik ist zwangsläufig unvollständig, da sich durch die Entwicklung und Wandlung ständig neue Einsatzgebiete ergeben und alte verschwinden. Darum ist hier nur eine unvollständige Zusammenfassung der typischen Anwendungen in den verschiedenen Industriezweigen zu finden. Auf eine Aufführung des allgemeinen Maschinenbaus wurde verzichtet, da die Anwendungen dort alle Bereiche berühren, und eine Aufzählung der Typischen Anwendungen den Rahmen sprengt.



Baugewerbe

- Bohr- und Abbruchhämmer (Handrammen)
- Betonverdichter
- Transporteinrichtungen für Ziegeleien und Kunststeinfabriken
- Förderanlagen für Beton und Mörtel

Bergbau

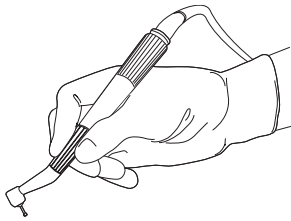
- Gesteinsbohrhämmer und Vorschubeinrichtungen
- Lademaschinen, Pendel- und Sprengwagen
- Preßlufthämmer und pneumatische Meißel
- Bewetterungsanlagen

Chemische Industrie

- Rohstoff für Oxidationsvorgänge
- Prozeßanlagenregelung
- Ferngesteuerte Ventile und Schieber in den Verfahrenskreisläufen

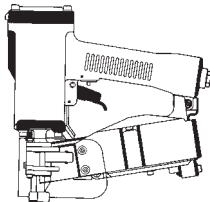
Energiewirtschaft

- Ein- und Ausfahren von Reaktorbrennstäben
- Ferngesteuerte Ventile und Schieber in Dampf- und Kühlwasserkreisläufen
- Belüftungsanlagen für Kesselhäuser



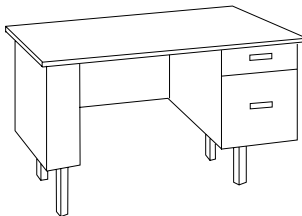
Gesundheitswesen

- Antriebe für Zahnarztbohrer
- Atemluft in der Medizintechnik
- Narkosegasabsaugung



Handwerksbetriebe

- Klammergeräte und Nagler
- Farbenspritzpistole
- Bohrmaschinen und Schrauber
- Winkelschleifer



Holzverarbeitende Industrie

- Walzenverstellung für Gattersägen
- Bohrvorschubeinrichtungen
- Rahmen-, Leim- und Furnierpressen
- Anschlag- und Transportsteuerung von Holzplatten
- Entfernen von Holzresten aus dem Arbeitsbereich
- Automatische Palettennagler

Hüttenwesen und Gießereien

- Kohlenstoffreduktion in der Stahlerzeugung
- Rüttelformmaschinen
- Bündleinrichtungen für Halbzeuge
- Kühlmittel für heiße Werkzeuge und Anlagen



Kunststoffindustrie

- Granulatförderung in Transportröhren
- Schneid- und Schweißvorrichtungen
- Ausblasen von Werkstücken aus Fertigungsformen
- Verschlussmechanismen für Gußformen
- Form- und Klebevorrichtungen



Land- und Forstwirtschaft

- Pflanzenschutz und Unkrautbekämpfung
- Futtermittel und Korntransport in und aus Silos
- Dosiereinrichtungen
- Belüftungsanlagen von Gewächshäusern



Nahrungs- und Genußmittelindustrie

- Abfüllvorrichtungen für Getränke
- Verschluß- und Prüfvorrichtungen
- Sammelpacker und Palletieranlagen
- Etikettiermaschinen
- Wiegeeinrichtungen



Papierverarbeitende Industrie

- Walzenverstell- und Andrückeinrichtungen
- Schneide-, Präge- und Presseinrichtungen
- Papierbahnenüberwachung

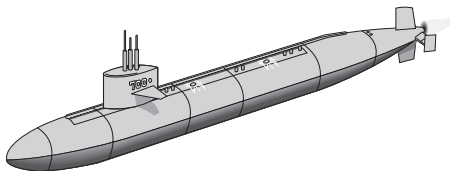


Textilindustrie

- Fadenwächter
- Klemm- und Fixiereinrichtungen an Nähmaschinen
- Nähadel- und Systemkühlung
- Abstapeleinrichtungen
- Ausblasen von Stoffresten und Nähstaub

Umwelttechnik

- Bilden von Ölbarrieren im Wasser
- Anreichern von Gewässern mit Sauerstoff
- Eisfreihalten von Schleusen
- Schieberbetätigung in Kläranlagen
- Druckerhöhung in der Trinkwasserversorgung
- Mammutpumpe in der Unterwasserförderung



Verkehrswesen

- Druckluftbremsen in LKW 's und Schienenfahrzeugen
- Stellen von Signalen, Weichen und Schranken
- Fahrbahnmarkierungsgeräte
- Starthilfe für große Dieselmotoren
- Ausblasen von Tauchtanks in U-Booten