

Inhalt

1.	Thermodynamik der trockenen und feuchten Luft	1
	Prof. Dipl.-Ing. Werner Charchut, Wuppertal	
1.1	Kinetische Gastheorie	1
1.2	Größen, Grundbegriffe und Normen	2
1.2.1	Zustandsgrößen und Zustandsänderungen	2
1.2.2	Mengen-, Volumen- und Stromangaben	4
1.2.3	Druckangaben	5
1.2.4	Normzustand von Stoffen	6
1.2.5	Zustandsgleichung der trockenen Luft	6
1.3	Energiewandlung bei Zustandsänderungen der Luft	7
1.4	Wärmeübergang	9
1.4.1	Wärmekapazität	9
1.4.2	Entropie	10
1.5	Zustandsänderung der Luft	12
1.5.1	Spezielle Zustandsänderung	12
1.5.2	Allgemeine Zustandsänderung	14
1.6	Druckluftherzeugung	16
1.6.1	Leistungsbedarf	16
1.6.2	Volumetrischer Wirkungsgrad	17
1.7	Druckluftverwertung	18
1.8	Feuchte Luft	19
2.	Druckluftherzeugung	23
2.1	Kompressorbauarten	23
	Dipl.-Ing. (FH) Erwin Ruppelt, Weidach	
2.2	Kolbenkompressoren	25
2.2.1	Liefermenge im Bereich von 3 bis 200 Nm ³ /h	25
	Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Schubart, Kaeser Kompressoren, Coburg	
2.2.1.1	Grundlagen	25
2.2.1.2	Bauformen und Einsatzbereiche	28
2.2.1.3	Bauteile	39
2.2.1.4	Antriebsarten	55
2.2.1.5	Regelungs- und Steuerungsarten von Kolbenkompressoren	58
2.2.1.6	Kühlung	61
2.2.1.7	Aufstellung der Kompressoren	63
2.2.1.8	Zubehör	67
2.2.2	Liefermenge 200 bis 5000 m ³ /h	70
	Ing. Otto Reichetzeder, LMF, Leobersdorf, Österreich	
2.2.2.1	Grundlagen	70
2.2.2.1.1	Geschichtliches	70
2.2.2.1.2	Allgemeiner Aufbau	70

2.2.2.2	Bauformen und Einsatzbereiche	75
2.2.2.3	Bauteile	86
2.2.2.4	Antriebsarten	96
2.2.2.5	Steuerungs- und Regelungsarten	97
2.2.2.6	Kühlung	100
2.2.2.7	Aufstellung	105
2.2.2.8	Zubehör	108
2.2.3	Nachverdichter	112
	Ing. Otto Reichetseder, LMF, Leobersdorf, Österreich	
2.3.3.1	Grundlagen	112
2.2.3.2	Bauformen	112
2.2.3.3	Bauteile	115
2.2.3.4	Antriebsarten, Steuerung und Regelung	115
2.2.3.5	Kühlung	117
2.2.3.6	Aufstellung	117
2.3	Rotationskompressoren	117
2.3.1	Einwellige Rotationsverdichter	117
	Dipl.-Ing. Dieter Reinger und Dr.-Ing. Martin Rothstein, Mannesmann Demag Verdichter Wittig, Schopfheim	
2.3.1.1	Grundlagen	117
2.3.1.1.1	Einleitung	117
2.3.1.1.2	Spezifizierung	117
2.3.1.1.3	Aufbau und Funktionsprinzip	118
2.3.1.1.4	Einfluß der Auslaßsteuerecke	119
2.3.1.1.5	Zellenvolumenverlauf	120
2.3.1.1.6	Zellendruckverlauf	120
2.3.1.1.7	Leistungsbedarf	120
2.3.1.1.8	Wirkungsgrade	121
2.3.1.2	Bauformen und Einsatzbereiche	123
2.3.1.2.1	Trockenlaufende Rotationsverdichter	124
2.3.1.2.2	Frischölgeschmierte Rotationsverdichter	124
2.3.1.2.3	Öleingespritzte Rotationsverdichter	126
2.3.1.2.4	Einsatzbereiche von Rotationsverdichtern	129
2.3.1.3	Bauteile	130
2.3.1.4	Antriebsarten	131
2.3.1.5	Steuerungs- und Regelungsarten	131
2.3.1.6	Kühlung	133
2.3.1.7	Aufstellung	134
2.3.2.1	Drehkolbengebläse	135
	Dipl.-Ing. Peter Werhahn, Kaeser Kompressoren, Coburg	
2.3.2.1.1	Grundlagen	135
2.3.2.1.2	Betriebsverhalten	136
2.3.2.1.2.1	Liefermenge	136
2.3.2.1.2.2	Temperaturerhöhung	137
2.3.2.1.2.3	Verfahren zur Bestimmung der inneren Dichtheit	138
2.3.2.1.2.4	Antriebsleistung	138
2.3.2.1.2.5	Diagramme und Formeln zur Auslegung	138
2.3.2.1.3	Drehkolbengebläse-Aggregate	138

2.3.2.1.3.1	Grundaufbau	138
2.3.2.1.3.2	Ansaugfilter	141
2.3.2.1.3.3	Schalldämpfer	141
2.3.2.1.3.4	Schalldämmhauben	142
2.3.2.1.4	Zubehör	143
2.3.2.1.4.1	Druckabsicherung	143
2.3.2.1.4.2	Anlaufentlastung	143
2.3.2.1.4.3	Rückschlagklappe	143
2.3.2.1.5	Steuerungs- und Regelungsarten	143
2.3.2.1.5.1	Abblasregelung	143
2.3.2.1.5.2	Polumschaltung	143
2.3.2.1.5.3	Frequenzumrichtung	144
2.3.2.1.6	Sonderbauformen	144
2.3.2.1.6.1	Dreiflüglige Gebläse mit Überströmkanälen	144
2.3.2.1.6.2	Voreinlaßkühlung	144
2.3.2.1.6.3	Gasdichte Ausführungen	145
2.3.2.1.6.4	Brüdenverdichter	145
2.3.2.2	Schraubenverdichter	145
	Dipl.-Wirtsch.-Ing. Armin Schmidt, Ploenzke AG, Kiedrich	
2.3.2.2.1	Grundlagen	145
2.3.2.2.2	Einsatzbereiche	146
2.3.2.2.3	Bauarten	148
2.3.2.2.4	Bauteile	149
2.3.2.2.5	Antriebsarten	150
2.3.2.2.6	Steuerungs- und Regelungsarten	152
2.3.2.2.7	Kühlung	153
2.3.2.2.8	Aufstellung	154
2.3.2.2.9	Wärmerückgewinnung	154
3.	Druckluftaufbereitung	155
	Dipl.-Ing. (FH) Erwin Ruppelt, Weidach	
3.1	Luft- und Druckqualität	156
	Dirk Kronsbein und Leonore Karsten, Ultrafilter, Haan	
3.1.1	Verunreinigungen der angesaugten Luft	157
3.1.2	Verunreinigungen der komprimierten Luft	158
3.1.3	Qualitätsklassen nach ISO 8573	161
3.2	Druckluftaufbereitung durch den Kompressor und das Druckluftnetz	164
	Dipl.-Ing. (FH) Erwin Ruppelt, Weidach	
3.2.1	Ansaugluftfilter	164
3.2.1.1	Luftvorfiltration	164
3.2.1.2	Naßluftfilter	166
3.2.1.3	Ölbadfilter	166
3.2.1.4	Papiersternpatronen	167
3.2.1.5	Stofftaschenluftfilter	169
3.2.2	Ölabscheider	169
3.2.3	Nachkühler	171
3.2.4	Kessel	173

3.2.5	Zyklonabscheider	174
3.2.6	Wassersack	175
3.2.7	Rohrleitung	175
3.3	Druckluft-Trocknung	178
	Dipl.-Ing. Norbert Hochgräfer, Hankison GmbH, Moers	
3.3.1	Überverdichtung	181
3.3.2	Kühlung der Druckluft durch Eiswasser oder Sole	181
3.3.3	Absorptionstrockner	181
3.3.4	Adsorptionstrockner	183
3.3.4.1	Kaltregenerierte Adsorptionstrockner	184
3.3.4.2	Warmregenerierte Adsorptionstrockner	186
3.3.5	Kältetrockner	191
3.3.5.1	Kältetrockner mit direkter Kühlung	194
3.3.5.2	Kältetrockner mit indirekter Kühlung	196
3.3.5.3	Kältemittel und Umweltverträglichkeit	197
3.3.6	Trocknung durch Kombination mehrerer Systeme	198
3.3.7	Neue Technologien	200
3.4	Filtration	202
	Dirk Kronsbein und Leonore Karsten, Ultrafilter, Haan	
3.4.1	Grundlagen und Geschichtliches	202
3.4.2	Filtrationsarten	205
3.4.3	Filtermedien	209
3.4.4	Reinigung durch Adsorption	216
3.4.5	Kombinierte Filtration	217
3.4.6	Einsatzbereiche	219
3.4.7	Kostenvergleich	221
4.	Kondensatentsorgung	229
4.1	Kondensatableitung	229
	Werner Brinkhoff, BEKO, Neuss	
4.1.1	Kondensatmengen	229
4.1.1.1	Allgemeines	229
4.1.1.2	Berechnung der Kondensatmenge	229
4.1.1.3	Jahreskondensatmenge	233
4.1.2	Kondensatverunreinigungen	234
4.1.2.1	Angesaugte Schadstoffe	234
4.1.2.2	Kompressorenöl	234
4.1.2.3	pH-Wert und Aggressivität des Kondensates	234
4.1.2.4	Kompressorenantrieb	236
4.1.2.5	Korrosionsanteile	236
4.1.2.6	Sonstige Kondensatverunreinigungen	236
4.1.3	Kondensatabscheidung	236
4.1.4	Kondensatableiter	237
4.1.4.1	Manuelles Ableiten	237
4.1.4.2	Schwimmergesteuerte Ableiter	237
4.1.4.3	Zeitabhängig gesteuerte Magnetventile	239
4.1.4.4	Elektronisch niveaugeregelte Kondensatableiter	242
4.1.4.5	Installation von Kondensatableitern	246

4.2	Kondensataufbereitung	246
	Werner Brinkhoff, BEKO, Neuss	
4.2.1	Grundlagen der Kohlenwasserstoffverbindungen	246
4.2.2	Kompressorenöle	247
4.2.2.1	Entwicklung der Kompressorenöle	247
4.2.2.2	Entwicklung spezieller Schraubenkompressorenöle	248
4.2.2.3	Kolbenkompressoren und Schmieröle	249
4.2.2.4	Schmierung von Rotationskompressoren	249
4.2.3	Die Kompressorenölklassen im Überblick	250
4.2.3.1	Motoreneöle	250
4.2.3.2	Spezielle Schraubenkompressorenöle	250
4.2.3.3	Kompressorenöle nach VDL-Klassifikation	250
4.2.3.4	Turbinenöle	250
4.2.3.5	Hydrauliköle	250
4.2.3.6	Synthetische Öle	250
4.2.4	Besondere Einflüsse auf das Demulgierverhalten der Kompressorenöle	250
4.2.5	Gesetzliche Grundlagen zur Behandlung ölhaltiger Druckluftkondensate	251
4.2.5.1	Systeme und Möglichkeiten für die gesetzeskonforme Behandlung ölhaltiger Druckluftkondensate	251
4.2.5.2	Prüfzeichen und Zulassung	253
4.2.6	Verfahren zur Aufbereitung ölhaltiger Luftkompressorenkondensate	253
4.2.6.1	Theorie der Öl-Wasser-Trennung	254
4.2.6.2	Die Funktionsweise von Öl-Wasser-Trennern	257
4.2.6.3	Mögliche Betriebsstörungen	264
4.2.7	Emulsionsspaltanlagen	266
4.2.7.1	Ultrafiltration	266
4.2.7.2	Chemische Spaltverfahren	267
4.2.7.3	Adsorptionsverfahren	268
4.2.8	Schlußwort	270
5.	Druckluftverteilung	271
	Karl-Heinz Feldmann, Metapipe, Dortmund	
5.1	Rohrleitungen	271
	Karl-Heinz Feldmann, Metapipe, Dortmund	
5.1.1	Grundlagen	271
5.1.1.1	Der Zusammenhang Druckluftqualität/Rohrqualität	271
5.1.1.2	Vermeidung teurer Leckagen	273
5.1.1.3	Druckabfälle sind kostspielig	273
5.1.1.4	Komponenten der Druckluftverteilung	274
5.1.2	Rohrdimensionierung	277
5.1.2.1	Anschlußwerte von heute – Druckverluste von morgen	277
5.1.2.2	Schritte zur richtigen Dimensionierung	279
5.1.2.3	Strömungsarten, -formen und -verhalten	280
5.1.3	Verlegung und Kennzeichnung von Rohrleitungen	284
5.1.3.1	Leitungsverlegung und -führung	284
5.1.3.2	Kennzeichnung von Rohrleitungen	285
5.1.4	Rohrleitungsmaterialien	285
5.1.5	Sanierung von Altsystemen	288
5.1.5.1	Feststellung von Leckagen und deren Beseitigung	288

5.1.5.2	Orten von Druckabfällen und ständige Überwachung der Leistungsfähigkeit eines Druckluftnetzes	291
5.1.5.3	Beseitigung von Engpässen mit Hilfe eines Computers	294
5.2	Regelungstechnik/Regelarmaturen	297
	Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Kuhl, Samsomatic, Frankfurt a. Main	
5.2.1	Grundlagen	297
5.2.1.1	Klärung der Aufgabenstellung	303
5.2.1.2	Berechnung des kv-Wertes und des Geräuschpegels	304
5.2.1.3	Auswahl des Regelsystems	307
5.2.2	Anwendungsbeispiele	309
5.2.2.1	Überströmregelung	309
5.2.2.2	Nachdruckregelung	313
5.2.2.3	Durchflußregelung	316
5.2.2.4	Druckregelung mit Durchflußbegrenzung oder Durchflußregelung mit Druckbegrenzung	319
5.2.2.5	Temperaturregelung	321
5.2.3	Schlußbemerkung	323
6.	Druckluftbetriebene Maschinen	325
6.1	Druckluftmotoren	325
	Dipl.-Ing. Gerd Zinn, Deprag, Amberg	
6.1.1	Einsatzbereiche	325
6.1.2	Bauarten und Wirkungsweise	325
6.1.2.1	Lamellenmotor	326
6.1.2.2	Kolbenmotor	327
6.1.2.3	Zahnradmotoren	328
6.1.2.4	Turbine	330
6.1.3	Leistungsbereiche	331
6.1.4	Kennlinien	332
6.1.4.1	Drehmoment	332
6.1.4.2	Leistung	334
6.1.4.3	Einfluß des Betriebsdruckes	334
6.1.4.4	Luftverbrauch	334
6.1.4.5	Verluste	335
6.1.4.5.1	Reibungsverluste	335
6.1.4.5.2	Strömungsverluste	335
6.1.4.5.3	Leckverluste	335
6.1.5	Steuerung und Regelung	336
6.1.5.1	Steuerung	336
6.1.5.2	Drehzahlregelung	336
6.1.6	Dimensionierung	338
6.1.7	Einsatzbeispiele	338
6.2	Druckluftwerkzeuge in der Fertigung	339
	Ing. Karl Neunert, Deprag, Amberg †	
6.2.1	Grundlagen und Geschichtliches	339
6.2.2	Bauformen	341
6.2.3	Einsatzbereiche	343

6.2.3.1	Bohr- und Gewindeschneidmaschinen	345
6.2.3.2	Schleifmaschinen	350
6.2.3.3	Fräsmaschinen	357
6.2.3.4	Blechbearbeitungsmaschinen	357
6.2.3.5	Sägen	359
6.2.4	Druckluftqualität	361
6.2.5	Schmierung	362
6.3	Druckluftwerkzeuge für die Montage	363
	Dr. Rolf Pfeiffer, Deprag, Amberg	
6.3.1	Grundlagen	363
6.3.2	Handwerkzeuge	364
6.3.2.1	Klassifizierungsmöglichkeiten	364
6.3.2.2	Steuerungsprinzipien	365
6.3.2.3	Bauformen	367
6.3.2.4	Antriebsmedium	370
6.3.3	Schraubautomaten	372
6.3.3.1	Allgemeines	372
6.3.3.2	Standardkomponenten	373
6.3.3.3	Schraubenzuführung	375
6.3.3.4	Beispiele	377
6.3.4	Prozeßbeschreibung	377
6.3.4.1	Grundlagen	377
6.3.4.2	Drehmomentmessung	379
6.3.4.3	Anzugsverfahren	381
6.3.4.4	Qualitätssicherung	386
6.4	Webmaschinen	388
	Horst Häusler, Lindauer Dornier GmbH, Lindau	
6.4.1	Grundlagen und Geschichtliches	388
6.4.2	Weben mit Druckluft	390
6.4.3	Maschinensteuerung	391
6.4.4	Druckluftqualität	394
6.4.5	Dimensionierung	394
6.5	Pneumatische Förderungsanlagen	396
	Dipl.-Ing. K. Schwab und Dipl.-Ing. W. Brosowski, Krupp Polysius, Beckum	
6.5.1	Einleitung	396
6.5.2	Förderprinzip und geschichtlicher Werdegang	397
6.5.3	Vor- und Nachteile der pneumatischen Förderung	398
6.5.4	Einteilung der pneumatischen Förderung	399
6.5.4.1	Einteilung nach der Bauform	399
6.5.4.2	Einteilung nach dem Druckniveau	399
6.5.4.3	Einteilung nach dem Förderzustand	399
6.5.5	Aufbau einer pneumatischen Förderanlage	400
6.5.5.1	Materialeinschleusung	400
6.5.5.1.1	Saugdüse	400
6.5.5.1.2	Injektor	402
6.5.5.1.3	Zellenradschleuse	403
6.5.5.1.4	Durchblassschleuse	405

6.5.5.1.5	Wirbelschichtschleuse	406
6.5.5.1.6	Schneckenpumpe	407
6.5.5.1.7	Druckgefäß	408
6.5.5.1.8	Förderanlagen besonderer Art	411
6.5.5.2	Rohrleitung und Zubehör	413
6.5.5.3	Abscheidervorrichtung und Filter	418
6.5.5.4	Lufterzeuger	422
6.5.6	Auslegung pneumatischer Förderanlagen	422
6.6	Sonderanwendungen	424
	Dipl.-Volkswirt Robert Krötz, Hattingen	
6.6.1	Druckluft im Dienste der Umwelt	424
6.6.1.1	Druckluft in der Gewässersanierung	424
6.6.1.2	Druckluft in der Bodensanierung	427
7.	Planung einer Kompressorenstation	435
	Dipl.-Ing. (FH) Erwin Ruppelt, Weidach	
7.1	Größenbestimmung von Kompressoren	435
7.1.1	Auslegung des Druckes	435
7.1.2	Auslegung der Fördermenge	436
7.1.2.1	Einsatz von Altkompressoren zur Ermittlung der Luftverbrauchsmenge	436
7.1.2.2	Ermittlung der Fördermenge durch Berechnung bei Neuplanung	436
7.1.3	Aufteilung der Fördermenge auf einzelne Kompressoren	441
7.1.4	Übergeordnete Steuerung der Kompressoren	446
7.2	Größenbestimmung der Druckluftaufbereitung	450
7.2.1	Zyklonabscheider	450
7.2.2	Trockner	453
7.2.2.1	Kältetrockner	453
7.2.2.2	Adsorptionstrockner	454
7.2.3	Filter	455
7.2.4	Zusammenfassung	458
7.3	Größenbestimmung der Kessel	458
7.3.1	Kessel zur Kompressorensteuerung	459
7.3.2	Kessel als Pufferbehälter	460
7.3.3	Installation des Kessels im Druckluftsystem	460
7.4	Kühlung der Kompressorenstation	463
7.4.1	Belüftung der Kompressorenstation	463
7.4.1.1	Umgebungsbedingungen	464
7.4.1.2	Natürliche Belüftung	465
7.4.1.3	Künstliche Belüftung	465
7.4.1.3.1	Belüftung mit externem Ventilator	465
7.4.1.3.2	Belüftung mit Lüftungskanal	465
7.4.2	Wasserkühlung der Kompressorenstation	469
7.4.2.1	Naturwasserkühlung	470
7.4.2.2	Kreislaufwasserkühlung	470
7.4.2.2.1	Hermetisch geschlossene Kühlwasserkreisläufe	470
7.4.2.2.2	Offene Kühlwasserkreisläufe	471
7.4.2.3	Frischwasserkühlung	472
7.4.2.4	Belüftung	473
7.5	Rohrverlegung in einer Kompressorenstation	473

7.5.1	Dimensionierung	474
7.5.2	Materialauswahl	475
7.5.3	Verlegung im Naßbereich	476
7.5.4	Trockenbereich	480
7.5.5	Kompressorenanbindung	481
7.6	Sicherheitsvorschriften	481
8.	Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Druckluftherzeugung	485
	Dipl.-Ing. (FH) Erwin Ruppelt, Weidach	
8.1	Anschaffungskosten	485
8.2	Energiekosten	488
8.2.1	Vergleichbarkeit der Angebote	488
8.2.1.1	Der Verdrängerkompressor	488
8.2.1.2	Dynamische Kompressoren	489
8.2.1.3	Liefermenge – Volumenstrom	490
8.2.1.3.1	Luftmenge/Luftgewicht/Normkubikmeter	492
8.2.1.3.2	Umrechnung von Normalvolumen auf das Normvolumen nach DIN 1343	492
8.2.1.4	Leistung	495
8.2.1.5	Druckangabe	496
8.2.1.6	Spezifischer Leistungsbedarf	497
8.2.1.7	Stromaufnahme	498
8.2.1.8	Wärmerückgewinnung	498
8.2.1.8.1	Wärmerückgewinnung bei öleingespritzten Schraubenkompressoranlagen	499
8.3	Wartungskosten	502
8.4	Betriebssicherheit	504
8.5	Wirtschaftlichkeitsberechnung	507
	Literaturhinweis	511
	Stichwortverzeichnis	514