

# druckluft kompendium



Hoppenstedt Bonnier Zeitschriften GmbH  
Havelstraße 9, D-64295 Darmstadt  
[www.hoppenstedt-zeitschriften.de](http://www.hoppenstedt-zeitschriften.de)

6., überarbeitete Auflage 2004

Das vorliegende Buch wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für evtl. Druckfehler keine Haftung.

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2004. Alle Rechte bei BOGE.

Herausgegeben von BOGE, Otto-Boge-Str. 1–7, 33739 Bielefeld

Verfasser der 1. bis 5. Auflage Ulrich Bierbaum (BOGE)

6. Auflage überarbeitet von Jürgen Hütter (BOGE)

Gedruckt auf 80gr holzfreiem Papier mit mineralölfreien Farben

Vertrieb: Hoppenstedt Bonnier Zeitschriften GmbH, 64295 Darmstadt

Druck: Druckhaus Darmstadt GmbH, 64295 Darmstadt

Printed in Germany.

ISBN: 3-935772-11-4



| <b>Inhalt</b>                        | <b>Kapitel</b>   | <b>Seite</b> |
|--------------------------------------|--|--------------|
| <b>Teil 1</b>                        |  |              |
| <b>Grundlagen der Druckluft</b>      | <b>1.1 Die Geschichte der Druckluft</b> .....            | <b>1</b>     |
|                                      | 1.1.1 Die Anfänge der Druckluft .....                    | 1            |
|                                      | 1.1.2 Erste Anwendungen der Druckluft .....              | 2            |
|                                      | <b>1.2 Einheiten und Formelzeichen</b> .....             | <b>6</b>     |
|                                      | 1.2.1 Basiseinheiten .....                               | 6            |
|                                      | 1.2.2 Einheiten der Drucklufttechnik .....               | 6            |
|                                      | <b>1.3 Was ist Druckluft?</b> .....                      | <b>7</b>     |
|                                      | 1.3.1 Zusammensetzung der Luft .....                     | 7            |
|                                      | 1.3.2 Eigenschaften der Druckluft .....                  | 7            |
|                                      | 1.3.3 Wie verhält sich Druckluft? .....                  | 7            |
|                                      | <b>1.4 Physikalische Grundlagen</b> .....                | <b>8</b>     |
|                                      | 1.4.1 Temperatur .....                                   | 9            |
|                                      | 1.4.2 Volumen .....                                      | 9            |
|                                      | 1.4.3 Druck .....  | 10           |
|                                      | 1.4.4 Volumenstrom .....                                 | 11           |
|                                      | <b>1.5 Bewegte Druckluft</b> .....                       | <b>13</b>    |
|                                      | 1.5.1 Strömungsverhalten .....                           | 13           |
|                                      | 1.5.2 Stömungsarten .....                                | 13           |
| <b>Teil 2</b>                        |  |              |
| <b>Einsatzbereiche der Druckluft</b> | <b>2.1 Vorteile der Druckluft</b> .....                  | <b>14</b>    |
|                                      | <b>2.2 Druckbereiche</b> .....                           | <b>17</b>    |
|                                      | <b>2.3 Anwendungsmöglichkeiten der Druckluft</b> .....   | <b>18</b>    |
|                                      | 2.3.1 Spannen und Klemmen mit Druckluft .....            | 18           |
|                                      | 2.3.2 Transport mit Druckluft .....                      | 18           |
|                                      | 2.3.3 Antrieb mit Druckluft .....                        | 19           |
|                                      | 2.3.4 Spritzen mit Druckluft .....                       | 19           |
|                                      | 2.3.5 Blasen mit Druckluft .....                         | 19           |
|                                      | 2.3.6 Prüfen und Kontrollieren mit Druckluft .....       | 20           |
|                                      | 2.3.7 Steuern und Regeln mit Druckluft .....             | 20           |
|                                      | <b>2.4 Fachgebietsbezogene Anwendungsbeispiele</b> ..... | <b>21</b>    |
| <b>Teil 3</b>                        |  |              |
| <b>Druckluftherzeuger</b>            | <b>3.1 Kompressoren (Verdichter)</b> .....               | <b>24</b>    |
|                                      | 3.1.1 Dynamische Verdichter ( Turboverdichter ) .....    | 24           |
|                                      | 3.1.2 Verdränger-Verdichter .....                        | 24           |
|                                      | <b>3.2 Kompressorbauarten</b> .....                      | <b>25</b>    |
|                                      | 3.2.1 Marktgerechte Kompressoren .....                   | 26           |
|                                      | 3.2.2 Hubkolbenkompressor .....                          | 27           |
|                                      | 3.2.3 Membrankompressor .....                            | 29           |
|                                      | 3.2.4 Freikolbenkompressor .....                         | 30           |
|                                      | 3.2.5 Vielzellenkompressor .....                         | 31           |
|                                      | 3.2.6 Flüssigkeitsringkompressor .....                   | 32           |
|                                      | 3.2.7 Schraubenkompressor .....                          | 33           |
|                                      | 3.2.8 Roots-Verdichter .....                             | 34           |
|                                      | 3.2.9 Axialverdichter .....                              | 35           |
|                                      | 3.2.10 Radialverdichter .....                            | 36           |

|                     | Kapitel  | Seite     |
|---------------------|--|-----------|
|                     | <b>3.3 Kolbenkompressoren</b> .....                | <b>37</b> |
|                     | 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        |
|                     | <b>3.4 Schraubenkompressoren</b> .....             | <b>42</b> |
|                     | 3.4.1 Allgemeines.....                             | 42        |
|                     | 3.4.2 Verdichtungsprozess.....                     | 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        |
|                     | <b>3.5 Baugruppen</b> .....                        | <b>48</b> |
|                     | 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        |
|                     | <b>3.6 Kompressorschmier- und kühlmittel</b> ..... | <b>50</b> |
| <b>Teil 4</b>       |  |           |
| <b>Regelung von</b> |  |           |
| <b>Kompressoren</b> |  |           |
|                     | <b>4.1 Druckdefinitionen</b> .....                 | <b>51</b> |
|                     | <b>4.2 Betriebszustände</b> .....                  | <b>52</b> |
|                     | 4.2.1 Stillstand ( $L_0$ ).....                    | 52        |
|                     | 4.2.2 Leerlauf ( $L_1$ ).....                      | 52        |
|                     | 4.2.3 Teillast.....                                | 53        |
|                     | 4.2.4 Lastlauf ( $L_2$ ).....                      | 53        |
|                     | <b>4.3 Regelung einzelner Kompressoren</b> .....   | <b>54</b> |
|                     | 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.....                      | 57        |
|                     | <b>4.4. Das ARS-Steuerungskonzept</b> .....        | <b>59</b> |
|                     | 4.4.1 Autotronic.....                              | 60        |
|                     | 4.4.2 Ratiotronic.....                             | 60        |
|                     | 4.4.3 Supertronic.....                             | 61        |

| Kapitel    | Seite   |
|------------|---|
| <b>4.5</b> | <b>Regelung von mehreren Kompressoren ..... 62</b>  |
| 4.5.1      | MCS 1 und MCS 2 ..... 62                            |
| 4.5.2      | MCS 3 ..... 63                                      |
| 4.5.3      | MCS 4 ..... 64                                      |
| 4.5.4      | MCS 5 ..... 65                                      |
| 4.5.5      | MCS 6 ..... 66                                      |
| 4.5.6      | MCS 7 ..... 67                                      |
| <br>       |   |
| <b>5.1</b> | <b>Warum Druckluftaufbereitung? ..... 68</b>        |
| 5.1.2      | Planungshinweise ..... 69                           |
| 5.1.3      | Folgen schlechter Aufbereitung ..... 70             |
| 5.1.4      | Luftverunreinigungen ..... 71                       |
| <b>5.2</b> | <b>Wasser in der Druckluft ..... 72</b>             |
| 5.2.1      | Luftfeuchtigkeit ..... 72                           |
| 5.2.2      | Taupunkte ..... 73                                  |
| 5.2.3      | Wassergehalt der Luft ..... 73                      |
| 5.2.4      | Kondensatmenge bei Komprimierung ..... 74           |
| 5.2.5      | Beispiel zur Kondensatmengenberechnung ..... 75     |
| 5.2.6      | Kondensatmenge an einem schwülen Sommertag ..... 76 |
| 5.2.7      | Drucktaupunktermittlung ..... 77                    |
| 5.2.8      | Drucktaupunkt nach der Entspannung ..... 78         |
| <b>5.3</b> | <b>Druckluftqualität ..... 79</b>                   |
| 5.3.1      | Qualitätsklassen nach DIN ISO 8573-1 ..... 79       |
| <b>5.4</b> | <b>Trocknungsmethoden ..... 80</b>                  |
| 5.4.1      | Betriebsbedingungen ..... 81                        |
| 5.4.2      | Kondensation durch Überverdichtung ..... 82         |
| 5.4.3      | Kondensation durch Kältetrocknung ..... 83          |
| 5.4.4      | Diffusion durch Membrantrocknung ..... 84           |
| 5.4.5      | Sorption durch Adsorption ..... 85                  |
| 5.4.6      | Sorption durch Adsorption ..... 86                  |
| 5.4.6.1    | Kaltregeneration ..... 87                           |
| 5.4.6.2    | Interne Warmregeneration ..... 88                   |
| 5.4.6.3    | Externe Warmregeneration ..... 89                   |
| 5.4.6.4    | Vakuumregeneration ..... 90                         |
| 5.4.7      | Anordnung des Kälte-Drucklufttrockners ..... 91     |
| 5.4.7.1    | Trockner vor dem Druckluftbehälter ..... 91         |
| 5.4.7.2    | Trockner hinter dem Druckluftbehälter ..... 92      |
| <b>5.5</b> | <b>Druckluftfilter ..... 93</b>                     |
| 5.5.1      | Grundbegriffe der Filtertechnik ..... 93            |
| 5.5.1.1    | Filterabscheidegrad $\eta$ [ % ] ..... 93           |
| 5.5.1.2    | Druckabfall $\Delta p$ ..... 94                     |
| 5.5.1.3    | Betriebsdruck ..... 94                              |
| 5.5.2      | Zyklonabscheider ..... 95                           |
| 5.5.3      | Vorfilter ..... 96                                  |
| 5.5.4      | Microfilter ..... 97                                |
| 5.5.5      | Aktivkohlefilter ..... 99                           |
| 5.5.6      | Aktivkohle-Adsorber ..... 100                       |
| 5.5.7      | Sterilfilter ..... 101                              |

**Teil 5**  
**Druckluftaufbereitung**

|  | <b>Kapitel</b>   | <b>Seite</b>   |
|--|--|--|
| <b>Teil 6</b><br><b>Kondensatentsorgung</b>                        | <b>6.1 Kondensat</b> .....   | <b>102</b>   |
|  | <b>6.2 Kondensatableiter</b> .....   | <b>103</b>   |
|  | 6.2.1 Kondensatableiter mit handbetätigtem Ventil .....                    | 104  |
|  | 6.2.2 Kondensatableiter mit Schwimmersteuerung .....                       | 104  |
|  | 6.2.3 Kondensatableiter<br>mit zeitabhängig öffnendem Magnetventil .....   | 105  |
|  | 6.2.4 Kondensatableiter<br>mit elektronischer Füllstandsmessung .....      | 106  |
|  | 6.2.5 Kondensatableiter mit Niveauschwimmer<br>zur Füllstandsmessung ..... | 107  |
|  | <b>6.3 Kondensataufbereitung</b> .....                                     | <b>108</b>   |
|  | 6.3.1 Statische Öl-Wasser-Trennung .....                                   | 109  |
|  | <b>Teil 7</b><br><b>Druckluftbedarf</b>                                    | <b>7.1 Druckluftverbrauch von Pneumatikgeräten</b> ..... |
| 7.1.1 Druckluftverbrauch von Düsen .....                           |  | 110  |
| 7.1.1.1 Druckluftverbrauch von zylindrischen Düsen .....           |  | 111  |
| 7.1.1.2 Druckluftverbrauch von Farbspritzpistolen .....            |  | 112  |
| 7.1.1.3 Druckluftverbrauch von Strahldüsen .....                   |  | 113  |
| 7.1.2 Druckluftverbrauch von Zylindern .....                       |  | 114  |
| 7.1.3 Druckluftverbrauch von Werkzeugen .....                      |  | 115  |
| <b>7.2 Ermittlung des Druckluftbedarfs</b> .....                   |  | <b>117</b>   |
| 7.2.1 Mittlere Einschaltdauer .....                                |  | 117  |
| 7.2.2 Gleichzeitigkeitsfaktor .....                                |  | 118  |
| 7.2.3 Festlegung des Druckluftbedarfs .....                        |  | 119  |
| 7.2.3.1 Automatische Druckluftverbraucher .....                    |  | 119  |
| 7.2.3.2 Allgemeine Druckluftverbraucher .....                      |  | 120  |
| 7.2.3.3 Gesamtdruckluftverbrauch .....                             |  | 120  |
| 7.2.4 Zuschläge für Verluste und Reserven .....                    |  | 121  |
| 7.2.5 Benötigte Liefermenge $L_B$ .....                            |  | 121  |
| <b>7.3 Druckluftverluste</b> .....                                 |  | <b>122</b>   |
| 7.3.1 Kosten der Druckluftverluste .....                           |  | 122  |
| 7.3.2 Bestimmung der Leckagemenge .....                            |  | 123  |
| 7.3.2.1 Leckagebestimmung durch Behälterentleerung .....           |  | 123  |
| 7.3.2.2 Leckagebestimmung durch Einschaltdauerermessung .....      | 124  |  |
| 7.3.3 Grenzwerte für Leckagemengen .....                           | 125  |  |
| 7.3.4 Maßnahmen zur Minimierung der Druckluftverluste .....        | 125  |  |
| 7.3.5 Sanierung eines Druckluftnetzes .....                        | 126  |  |
| <b>Teil 8</b><br><b>Größenbestimmung<br/>der Kompressorstation</b> | <b>8.1 Die Kompressorbauart</b> .....                                      | <b>127</b>   |
|  | 8.1.1 Schraubenkompressoren .....  | 127  |
|  | 8.1.2 Kolbenkompressoren .....   | 127  |
|  | <b>8.2 Höchstdruck <math>p_{max}</math></b> .....                          | <b>128</b>   |
|  | 8.2.1 Einflußgrößen auf den Ausschaltdruck $p_{max}$ .....                 | 128  |
|  | <b>8.3 Volumenbestimmung eines Druckluftbehälters</b> .....                | <b>129</b>   |
|  | 8.3.1 Empfehlungen für das Druckluftbehältervolumen .....                  | 129  |
|  | 8.3.2 Normreihe und Betriebsdrücke<br>für Druckluftbehältergrößen .....    | 129  |
|  | 8.3.3 Druckluftbehältervolumen für Kompressoren .....                      | 130  |

| Kapitel  | Seite      |
|--|------------|
| <b>8.4 Schaltintervall des Kompressors</b> .....                 | <b>131</b> |
| 8.4.1 Kompressorstillstandszeit .....                            | 131        |
| 8.4.2 Kompressorlaufzeit .....                                   | 131        |
| 8.4.3 Ermittlung der Motorschaltspiele .....                     | 132        |
| <b>8.5 Beispiele zur Kompressorauslegung</b> .....               | <b>133</b> |
| 8.5.1 Rechenbeispiel für Kolbenkompressoren .....                | 133        |
| 8.5.1.1 Ermittlung des Höchstdruckes $p_{max}$ .....             | 133        |
| 8.5.1.2 Bestimmung der Kompressorgröße .....                     | 134        |
| 8.5.1.3 Volumen des Druckluftbehälters .....                     | 134        |
| 8.5.1.4 Schaltintervall des Kompressors .....                    | 135        |
| 8.5.1.5 Motorschaltspiele des Kompressors .....                  | 136        |
| 8.5.2 Rechenbeispiele für Schraubenkompressoren .....            | 137        |
| 8.5.2.1 Beispiel zu Ermittlung des Höchstdruckes $p_{max}$ ..... | 137        |
| 8.5.2.2 Bestimmung der Kompressorgröße .....                     | 137        |
| 8.5.2.3 Dimensionierung des Druckluftbehälters .....             | 138        |
| 8.5.2.4 Schaltintervall des Kompressors .....                    | 138        |
| 8.5.3 Resümee zur Kompressorauswahl .....                        | 139        |
| <b>8.6 Hinweise zur Kompressorauslegung</b> .....                | <b>140</b> |
| 8.6.1 Leistung und Arbeitsdruck .....                            | 140        |
| 8.6.2 Variierender Arbeitsdruck der Verbraucher .....            | 141        |
| 8.6.3 Kompressorverbundsysteme .....                             | 141        |
| <br>   |            |
| <b>Teil 9</b>  |            |
| <b>Das Druckluftnetz</b>   |            |
| <br>   |            |
| <b>9.1 Der Druckluftbehälter</b> .....                           | <b>142</b> |
| 9.1.1 Druckluftspeicherung .....                                 | 142        |
| 9.1.2 Pulsationsdämpfung .....                                   | 142        |
| 9.1.3 Kondensatabscheidung .....                                 | 143        |
| 9.1.4 Betrieb von Druckluftbehältern .....                       | 143        |
| 9.1.5 Installation von Druckluftbehältern .....                  | 143        |
| 9.1.6 Sicherheitsvorschriften für Druckluftbehälter .....        | 144        |
| 9.1.6.1 Anmelde- und Überwachungspflichten .....                 | 144        |
| 9.1.6.2 ZÜS und befähigte Personen .....                         | 144        |
| 9.1.6.3 Prüfung vor Inbetriebnahme .....                         | 145        |
| 9.1.6.4 Anmeldepflichten .....                                   | 145        |
| 9.1.6.5 Wiederkehrende Prüfungen .....                           | 145        |
| 9.1.7 Armaturen am Druckluftbehälter .....                       | 147        |
| 9.1.7.1 Sicherheitsventil .....                                  | 148        |
| <b>9.2 Das Rohrleitungsnetz</b> .....                            | <b>149</b> |
| 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        |
| <b>9.3 Planungshinweise für Rohrleitungsnetze</b> .....          | <b>153</b> |
| 9.3.1 Allgemeine Planungshinweise .....                          | 153        |
| 9.3.2 Rohrleitungsnetz ohne Drucklufttrockner .....              | 154        |
| 9.3.3 Druckluftnetz mit Drucklufttrockner .....                  | 155        |



| Kapitel  | Seite      |
|--|------------|
| <b>9.4 Druckabfall <math>\Delta p</math></b> .....   | <b>156</b> |
| 9.4.1 Art der Strömung .....   | 156        |
| 9.4.2 Die Reynoldssche Zahl $Re$ .....   | 156        |
| 9.4.3 Druckabfall im Rohrleitungsnetz .....  | 157        |
| <b>9.5 Dimensionierung von Rohrleitungen</b> .....   | <b>158</b> |
| 9.5.1 Maximaler Druckabfall $\Delta p$ .....   | 158        |
| 9.5.2 Nennweite von Rohrleitungen<br>Gegenüberstellung [ DN – Zoll ] .....                       | 159        |
| 9.5.3 Gleichwertige Rohrlänge .....  | 160        |
| 9.5.4 Rechnerische Ermittlung<br>des Rohrinne­durchmessers $d_i$ .....                           | 161        |
| 9.5.5 Graphische Ermittlung<br>des Rohrinne­durchmessers $d_i$ .....                             | 162        |
| 9.5.6 Ermittlung des Rohrinne­durchmessers $d_i$<br>mit Hilfe eines Spaltendiagramms .....       | 163        |
| <b>9.6 Werkstoffauswahl für Rohrleitungen</b> .....  | <b>164</b> |
| 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        |
| <b>9.7 Kennzeichnung von Rohrleitungen</b> .....   | <b>168</b> |
| <br>   |            |
| <b>Teil 10</b>   |            |
| <b>Der Betriebsraum</b>  |            |
| <b>10.1 Kühlung des Kompressors</b> .....  | <b>169</b> |
| <b>10.2 Kompressoraufstellung</b> .....  | <b>170</b> |
| 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        |
| <b>10.3 Be- und Entlüftung einer Kompressorstation</b> .....                                     | <b>174</b> |
| 10.3.1 Einflußgrößen auf den Kühlluftstrom $\dot{V}_k$<br>eines Kompressors .....                | 174        |
| 10.3.2 Festlegung der Einflußgrößen auf den<br>Kühlluftstrom $\dot{V}_k$ eines Kompressors ..... | 175        |
| 10.3.3 Allgemeine Hinweise für die Lüftung<br>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<br>bei künstlicher Belüftung .....                     | 178        |
| 10.3.5.2 Erforderliche Zuluftöffnung bei künstlicher Belüftung .....                             | 179        |
| 10.3.5.3 Beispiel für die künstliche Belüftung<br>einer Kompressorstation .....                  | 180        |
| 10.3.6 Kühlluftführung mit Zu- und Abluftkanälen .....   | 181        |
| 10.3.6.1 Zuluftkanäle .....  | 181        |

| <b>Kapitel</b>  | <b>Seite</b> |
|---|--------------|
| 10.3.6.2 Entlüftung durch einen Kühlluftkanal .....   | 182          |
| 10.3.6.3 Erforderlicher Kühlluftstrom $\dot{V}_A$<br>und Kanalquerschnitt $A_K$ mit Kühlluftkanal ..... | 182          |
| 10.3.6.4 Hinweise zur Kanalbelüftung .....  | 183          |
| 10.3.6.5 Dimensionierung der Zuluftöffnung<br>bei Entlüftung durch einen Abluftkanal .....              | 184          |
| 10.3.6.6 Varianten der kanalisierten Entlüftung .....   | 185          |
| <b>10.4 Beispiele für Aufstellungspläne .....</b>   | <b>186</b>   |
| 10.4.1 Aufstellungsbeispiel<br>für einen Schraubenkompressor .....                                      | 186          |
| 10.4.2 Aufstellungsbeispiel für einen Kolbenkompressor .....  | 187          |
| <br>  |              |
| <b>Teil 11</b>  |              |
| <b>Wärmerückgewinnung</b>   |              |
| <b>11.1 Wärmebilanz einer Kompressorstation .....</b>   | <b>188</b>   |
| <b>11.2 Raumheizung .....</b>   | <b>189</b>   |
| 11.2.1 Raumheizung durch Kanäle .....   | 189          |
| 11.2.2 Funktion einer Raumheizung .....   | 190          |
| 11.2.3 Wirtschaftlichkeit einer Raumheizung .....   | 190          |
| <b>11.3 Die Duotherm Wärmeaustauscher .....</b>   | <b>191</b>   |
| 11.3.1 Duotherm BPT .....   | 191          |
| 11.3.2 Duotherm BSW .....   | 192          |
| 11.3.3 Wieviel Energie kann eingespart werden? .....  | 193          |
| <b>11.4 Schlußbetrachtung zum Thema<br/>Wärmerückgewinnung .....</b>                                    | <b>194</b>   |
| <br>  |              |
| <b>Teil 12</b>  |              |
| <b>Schall</b>   |              |
| <b>12.1 Das Wesen des Schalls .....</b>   | <b>195</b>   |
| 12.1.1 Schallempfinden .....  | 195          |
| <b>12.2 Wichtige Begriffe der Akustik .....</b>   | <b>196</b>   |
| 12.2.1 Schalldruck .....  | 196          |
| 12.2.2 Der Schallpegel .....  | 196          |
| 12.2.3 Der Schalleistungspegel .....  | 196          |
| <b>12.3 Das Schallempfinden des Menschen .....</b>  | <b>197</b>   |
| 12.3.1 Der Lautstärkepegel .....  | 197          |
| 12.3.2 Bewertete Schallpegel dB ( A ) .....   | 197          |
| 12.3.3 Lautstärke im Vergleich .....  | 198          |
| <b>12.4 Verhalten des Schalls .....</b>   | <b>199</b>   |
| 12.4.1 Entfernung von der Schallquelle .....  | 199          |
| 12.4.2 Reflexion und Absorption .....   | 199          |
| 12.4.3 Dämpfung des Schalls .....   | 200          |
| 12.4.4 Schallausbreitung in Rohren und Kanälen .....  | 200          |
| 12.4.5 Schalldruckpegel mehrerer Schallquellen .....  | 201          |
| 12.4.5.1 Mehrere Schallquellen mit gleichem Pegel .....   | 201          |
| 12.4.5.2 Zwei Schallquellen mit unterschiedlichem Pegel .....   | 201          |
| <b>12.5 Auswirkungen von Lärm .....</b>   | <b>202</b>   |
| <b>12.6 Geräuschmessung .....</b>   | <b>203</b>   |
| <b>12.7 Schalldämmung bei Kompressoren .....</b>  | <b>203</b>   |

# Inhaltsverzeichnis

---

|   | <b>Kapitel</b>  | <b>Seite</b> |
|---|---|--------------|
| <b>Teil 13</b><br><b>Kosten der Druckluft</b> | <b>13.1 Zusammensetzung der Druckluftkosten .....</b>             | <b>204</b>   |
|   | 13.1.1 Anteile der Kostenfaktoren .....                           | 204          |
|   | <b>13.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung für Energiekosten .....</b> | <b>205</b>   |
| <b>Teil 14</b><br><b>Anhang</b>               | <b>A.1 Symbole .....</b>  | <b>206</b>   |
|   | A.1.1 Bildsymbole nach DIN 28004 .....                            | 206          |
|   | A.1.2 Schaltzeichen nach ISO 1219 .....                           | 208          |
| <b>Teil 15</b><br><b>Umrechnungstabelle</b>   | <b>16.1 Umrechnungstabelle .....</b>                              | <b>212</b>   |