

## Inhaltsverzeichnis

---

|  | Seite |
|--|-------|
| <b>1 Grundlagen</b> .....  | 1     |
| 1.1 Vom Aufbau der Materie .....                                       | 1     |
| 1.2 Erwärmung unterschiedlicher Stoffe .....                           | 3     |
| 1.3 Die Temperatur .....   | 7     |
| 1.4 Die Wärmeenergie .....   | 7     |
| 1.5 Das Rechnen mit Wärmemengen .....                                  | 8     |
| 1.6 Die Mischungsregel .....   | 10    |
| 1.7 Die gewollte Abkühlung – das Grundprinzip der Kälteerzeugung ..... | 12    |
| 1.8 Der Druck .....  | 14    |
| 1.9 Dichte, Volumen, Masse .....                                       | 15    |
| 1.10 Energie .....   | 16    |
| 1.11 Allgemeine Gasgesetze .....                                       | 18    |
| 1.12 Die Enthalpie .....   | 23    |
| 1.13 Die Erwärmung im geschlossenen Behälter .....                     | 26    |
| 1.14 Die Hauptsätze der Thermodynamik .....                            | 27    |
| <b>2 Der Kältekreislauf</b> .....                                      | 30    |
| 2.1 Die Verdampfung des Kältemittels; Wärmeaufnahme .....              | 30    |
| 2.2 Die Verflüssigung des Kältemittels .....                           | 31    |
| 2.3 Der Verdichtungsprozess .....                                      | 33    |
| 2.4 Der Expansionsprozess .....  | 36    |
| 2.5 Die Zusammenführung zum Kältekreislauf .....                       | 37    |
| 2.5.1 Entropie .....   | 41    |
| 2.5.2 Carnot'scher Kreisprozess im T,S-Diagramm .....                  | 46    |
| 2.5.3 Das lg p, h-Diagramm des Kältekreislaufes .....                  | 49    |
| <b>3 Der praktische Verdichtungsprozess</b> .....                      | 56    |
| 3.1 Das p,V-Diagramm des realen Kolbenverdichters .....                | 56    |
| 3.2 Berechnung der Größen eines Kolbenverdichters .....                | 58    |
| 3.3 Funktionsweisen verschiedener Verdichterbauarten .....             | 62    |
| 3.3.1 Offener Kolbenverdichter .....                                   | 62    |
| 3.3.2 Halbhermetischer Kolbenverdichter .....                          | 64    |
| 3.3.3 Vollhermetischer Kolbenverdichter .....                          | 65    |
| 3.3.4 Schraubenverdichter .....  | 66    |
| 3.3.5 Aggregate .....  | 66    |

## Inhaltsverzeichnis

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.4      | Funktionsvoraussetzungen von Verdichtern .....                     | 68         |
| 3.4.1.   | Ölversorgung .....   | 68         |
| 3.4.2    | Sicherheitskette .....   | 69         |
| 3.4.2.1  | Öldruck-Überwachung .....  | 69         |
| 3.4.2.2  | Kurbelwannen-Heizung .....   | 70         |
| 3.4.2.3  | Druckgas-Überhitzungsschutz .....                                  | 70         |
| 3.4.2.4  | Überdrucksicherung / Sicherheitsventile .....                      | 70         |
| 3.4.2.5  | Unterdrucksicherung .....  | 71         |
| 3.4.2.6  | Absaugschaltung (Pump-down) .....                                  | 71         |
| 3.4.2.7  | Thermistor-Vollschutz .....  | 71         |
| 3.4.2.8  | Ölstandsüberwachung .....  | 72         |
| 3.4.3    | Leistungsregelung .....  | 72         |
| 3.4.3.1  | Verdampferdruck-Regelung .....                                     | 72         |
| 3.4.3.2  | Heißgas-Bypass .....   | 72         |
| 3.4.3.3  | Zylinder-Abschaltung .....   | 73         |
| 3.4.3.4  | Verbundanlagen .....   | 74         |
| 3.4.3.5  | Drehzahl-Regelung .....  | 75         |
| 3.4.3.6  | Leistungsregelung an Schraubenverdichtern .....                    | 76         |
| <b>4</b> | <b>Kältemittel</b> .....   | <b>78</b>  |
| 4.1      | Zusammensetzung .....  | 79         |
| 4.2      | Halogenierung und Teilhalogenierung .....                          | 81         |
| 4.3      | Die Bezeichnung der Kältemittel (Nomenklatur) .....                | 82         |
| 4.4      | Umweltprobleme .....   | 83         |
| 4.4.1    | Klima/Klimaänderung .....  | 83         |
| 4.4.2    | Ozonabbau in der Stratosphäre .....                                | 88         |
| 4.4.3    | Die Beurteilung von Kältemitteln unter ökologischen Aspekten ..... | 93         |
| 4.5      | Einige wichtige Kältemittel .....                                  | 95         |
| 4.5.1    | Azeotrope und zeotrope Kältemittel-Gemische .....                  | 96         |
| 4.5.2    | Kältemittel-Beschreibungen .....                                   | 96         |
| 4.6      | Die Darstellung der Zustände von Kältemitteln .....                | 98         |
| <b>5</b> | <b>Wärmeaustausch und Wärmeaustauscher</b> .....                   | <b>102</b> |
| 5.1      | Berechnung des Wärmeaustausches .....                              | 102        |
| 5.1.1    | Wärmedurchgang und Wärmeleitung .....                              | 102        |
| 5.1.2    | Wärmeübergang durch Konvektion .....                               | 104        |
| 5.1.3    | Der Wärmeübertragungs-Widerstand .....                             | 105        |
| 5.1.4    | Die Wärmedurchgangszahl: Der k-Wert .....                          | 110        |

## Inhaltsverzeichnis

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2      | Kondensatoren .....  | 114        |
| 5.2.1    | Luftgekühlte Kondensatoren .....   | 116        |
| 5.2.2    | Wassergekühlte Kondensatoren .....   | 118        |
| 5.2.3    | Auslegung von Kondensatoren .....  | 119        |
| 5.2.4    | Wärmerückgewinnung/Abwärmenutzung .....  | 123        |
| 5.2.4.1  | Heizung über Luft .....  | 123        |
| 5.2.4.2  | Heizung über Warmwasser .....  | 124        |
| 5.2.4.3  | Wassererwärmung .....  | 124        |
| 5.2.4.4  | Berechnung der Amortisation .....  | 124        |
| 5.3      | Verdampfer .....   | 126        |
| 5.3.1    | Verdampfer zur Kühlung von Luft .....  | 127        |
| 5.3.1.1  | Das Abtauen von Verdampfern für Luft .....   | 127        |
| 5.3.2    | Verdampfer zur Kühlung von Flüssigkeiten .....                                     | 128        |
| 5.3.2.1  | Koaxial-Verdampfer .....   | 128        |
| 5.3.2.2  | Bündelrohr-Verdampfer .....  | 128        |
| 5.3.2.3  | Platten-Verdampfer .....   | 128        |
| 5.3.2.4  | Überflutete Bündelrohr-Verdampfer .....  | 129        |
| 5.3.2.5  | Kompakt-Wärmeaustauscher .....   | 129        |
| 5.3.3    | Voraussetzungen für den einwandfreien Betrieb<br>von Flüssigkeitsverdampfern ..... | 130        |
| 5.3.4    | Sicherheitsmaßnahmen an Flüssigkeitsverdampfern .....                              | 131        |
| 5.3.5    | Energieeinsparung bei der Erzeugung von Kaltwasser –<br>passive Kühlung .....      | 132        |
| <b>6</b> | <b>Kältemittel-Einspritzung</b> .....  | <b>135</b> |
| 6.1      | Das Kapillarrohr .....   | 135        |
| 6.2      | Das automatische Expansionsventil .....  | 135        |
| 6.3      | Das thermostatische Expansionsventil .....   | 137        |
| 6.4      | Die Überhitzung als Regelsignal .....  | 137        |
| 6.5      | Das thermostatische Expansionsventil<br>mit äußerem Druckausgleich .....           | 140        |
| 6.6      | Die Mehrfach-Einspritzung .....  | 141        |
| 6.7      | Die Überflutung .....  | 141        |
| 6.8      | Die Dimensionierung von Expansionsventilen .....                                   | 142        |
| 6.9      | Einige Sekundärregler .....  | 142        |
| 6.9.1    | Verdampferdruckregler .....  | 142        |
| 6.9.2    | Der Startregler .....  | 144        |

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>7</b> | <b>Rohrleitungen an Kälteanlagen</b> .....                          | 145 |
| 7.1      | Anforderungen .....   | 145 |
| 7.2      | Die verschiedenen Kältemittel-Leitungen .....                       | 146 |
| 7.3      | Einbauten in Kältemittel führende Leitungen .....                   | 146 |
| 7.3.1    | Ölrückführung .....   | 146 |
| 7.3.2    | Schauglas .....   | 147 |
| 7.3.3    | Wärmeaustauscher .....  | 147 |
| 7.3.4    | Absperrventile .....  | 148 |
| 7.3.5    | Flüssigkeitsabscheider .....  | 148 |
| 7.3.6    | Kältemittel-Trockner .....  | 149 |
| 7.3.7    | Kältemittel-Sammler .....   | 149 |
| 7.4      | Auslegung und Berechnung von Rohrleitungen .....                    | 150 |
| 7.4.1    | Die Durchflussgleichung .....                                       | 151 |
| 7.4.2    | Die Kontinuitätsgleichung .....                                     | 153 |
| 7.4.3    | Die Energiegleichung von Bernoulli .....                            | 156 |
| 7.4.4    | Die Strömung realer Fluide .....                                    | 159 |
| 7.4.4.1  | Berechnung der Verlust-Energie .....                                | 160 |
| 7.4.4.2  | Widerstände in Querschnittsänderungen,<br>Bögen und Armaturen ..... | 161 |
| 7.4.4.3  | Der Strömungswiderstand .....                                       | 163 |
| <b>8</b> | <b>Anhang</b> .....   | 165 |
| 8.1      | Größen und Einheiten .....  | 165 |
| 8.2      | Wichtige physikalische und technische Größen .....                  | 169 |
| 8.3      | Tabellen .....  | 172 |
| 8.4      | Aufgaben .....  | 193 |
| 8.5      | Lösungen .....  | 198 |
|          | <b>Bildverzeichnis</b> .....  | 222 |
|          | <b>Stichwortverzeichnis</b> .....                                   | 225 |