

## 1 Grundlagen

1.1	Vom Aufbau der Materie .....	1
1.2	Erwärmung unterschiedlicher Stoffe .....	3
1.3	Die Temperatur .....	7
1.4	Die Wärmemenge.....	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 .....	17
1.11	Allgemeine Gasgesetze .....	19
1.12	Die Enthalpie .....	25
1.13	Die Erwärmung in einem Behälter .....	27
1.14	Die Hauptsätze der Thermodynamik .....	28

## 2 Der Kältekreislauf

2.1	Die Verdampfung des Kältemittels; Wärmeaufnahme .....	31
2.2	Die Verflüssigung des Kältemittels .....	32
2.3	Der Verdichtungsvorgang .....	34
2.4	Der Expansionsvorgang .....	37
2.5	Die Zusammenführung zum Kältekreislauf .....	38
2.5.1	Der Carnot-Prozess in der Kältetechnik .....	38
2.5.2	Ablauf und Schema des Kältekreislaufs .....	40
2.5.3	Entropie .....	44
2.5.4	Der Kreisprozess im $T,S$ -Diagramm .....	49
2.5.5	Das $\log p,h$ -Diagramm des Kältekreislaufs .....	52

## 3 Der praktische Verdichtungsvorgang

3.1	Druck und Volumenverlauf in einem Kolbenverdichter .....	58
3.2	Berechnung der Größen eines Kolbenverdichters .....	61
3.3	Funktionsweisen verschiedener Verdichterbauarten .....	66
3.3.1	Offener Kolbenverdichter .....	66
3.3.2	Halbhermetischer Kolbenverdichter .....	68
3.3.3	Vollhermetischer Kolbenverdichter .....	69
3.3.4	Schraubenverdichter .....	70
3.3.5	Scroll-Verdichter .....	72
3.3.6	Turbo-Verdichter .....	72
3.4	Funktionsvoraussetzungen von Verdichtern .....	74
3.4.1	Leistungsregelung .....	74

3.4.1.1	Verdampferdruck-Regelung .....	75
3.4.1.2	Heißgas-Bypass .....	75
3.4.1.3	Zylinder-Abschaltung .....	76
3.4.1.4	Drehzahlregelung .....	76
3.4.1.5	Leistungsregelung an Schraubenverdichtern .....	77
3.4.1.6	Leistungsregelung an Turbo-Verdichtern .....	77
3.4.1.7	Leistungsregelung durch Verbund-Kälteanlagen .....	78
3.4.2	Ölversorgung .....	81
3.4.3	Sicherheitskette .....	82
3.4.3.1	Öldruck-Überwachung .....	83
3.4.3.2	Ölstand-Überwachung .....	83
3.4.3.3	Kurbelwannen-Heizung .....	83
3.4.3.4	Druckgas-Überhitzungsschutz .....	84
3.4.3.5	Überdrucksicherung / Sicherheitsventile .....	84
3.4.3.6	Unterdrucksicherung .....	85
3.4.3.7	Absaugabschaltung (Pump-down) .....	85
3.4.3.8	Thermistor-Vollschutz .....	85

#### 4 Wärmeaustausch und Wärmeaustauscher

4.1	Berechnung des Wärmeaustausches .....	86
4.1.1	Wärmedurchgang und Wärmeleitung .....	86
4.1.2	Wärmeübergang durch Konvektion .....	88
4.1.3	Der Wärmeübertragungs-Widerstand .....	89
4.1.4	Die Wärmedurchgangszahl .....	94
4.2	Kondensatoren .....	98
4.2.1	Luftgekühlte Kondensatoren .....	99
4.2.2	Wassergekühlte Kondensatoren .....	101
4.2.3	Auslegung von Kondensatoren .....	103
4.2.4	Unterkühlung und saugseitige Überhitzung .....	106
4.3	Verdampfer .....	108
4.3.1	Verdampfer zur Kühlung von Luft .....	108
4.3.2	Verdampfer zur Kühlung von Flüssigkeiten .....	111
4.3.2.1	Koaxial-Verdampfer .....	111
4.3.2.2	Bündelrohr-Verdampfer .....	111
4.3.2.3	Überflutete Bündelrohr-Verdampfer .....	112
4.3.2.4	Platten-Wärmeaustauscher .....	113
4.3.3	Voraussetzungen für den einwandfreien Betrieb von Flüssigkeitsverdampfern .....	114
4.3.4	Sicherheitsmaßnahmen an Flüssigkeitsverdampfern .....	114

<b>5</b>	<b>Energiesparen</b>	
5.1	Energiebedarf zur Kälteerzeugung .....	116
5.2	Begriffsklärungen zur Energieeffizienz .....	117
5.2.1	Energiesparteknik, Energieeffizienz, Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung .....	117
5.2.2	Kältemaschine oder Wärmepumpe? .....	118
5.3	Energiesparteknik .....	119
5.3.1	Sauberhalten von Wärmetauschern .....	119
5.3.2	Drehzahlregelung .....	121
5.3.2.1	Drehzahlregelung von Verdichtern .....	121
5.3.2.2	Drehzahlregelung von Lüftern und Pumpen .....	122
5.3.3	Elektronische Expansionsventile .....	124
5.3.4	Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Außentemperatur .....	125
5.3.5	Economizer / Booster .....	126
5.3.6	Freien Kühlung / Winterentlastung .....	128
5.3.6.1	Das Prinzip der freien Kühlung .....	128
5.3.6.2	Selbst entleerende und glykolbetriebene Trockenkühler .....	130
5.3.6.3	Die Auslegung der Trockenkühler .....	133
5.3.6.4	Der eigene Energiebedarf von Trockenkühlern .....	133
5.3.6.5	Die Geräusentwicklung von Trockenkühlern .....	133
5.3.7	Adiabate Kühlung für Trockenkühler und Kondensatoren im Sommer .....	134
5.4	(Ab-)Wärmenutzung .....	138
5.4.1	Heizung über Warmwasser .....	139
5.4.2	Brauchwasser-Erwärmung .....	139
5.4.3	Nutzung vorhandener Wärmespeicher .....	140
5.4.4	Die Kältemaschine als Wärmepumpe .....	141
<b>6</b>	<b>Leistungsbewertung als Qualitätskriterium</b>	
6.1	Theoretische und reale Leistungszahl .....	144
6.2	Leistungszahl unter Teillastbedingungen .....	146
<b>7</b>	<b>Kältemittel-Einspritzung und Druckregelung</b>	
7.1	Das Kapillarrohr .....	147
7.2	Das automatische Expansionsventil .....	149
7.3	Das thermostatische Expansionsventil .....	149
7.4	Die Überhitzung als Regelsignal .....	150
7.5	Das thermostatische Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich .....	152
7.6	Das elektronische Expansionsventil .....	152

7.7	Die Mehrfach-Einspritzung .....	154
7.8	Die Niveauregelung bei überfluteten Verdampfern .....	154
7.9	Die Dimensionierung von Expansionsventilen .....	155
7.10	Einige Sekundärregler .....	156
7.10.1	Verdampferdruckregler .....	156
7.10.2	Der Startregler .....	157
<b>8</b>	<b>Rohrleitungen an Kälteanlagen</b>	
8.1	Anforderungen an Kältemittel-Rohrleitungen .....	158
8.2	Die verschiedenen Kältemittel-Rohrleitungen .....	159
8.3	Einbauten in Kältemittel führende Leitungen .....	160
8.3.1	Ölrückführung .....	160
8.3.2	Schauglas .....	160
8.3.3	Wärmeaustauscher .....	161
8.3.4	Absperrventile .....	161
8.3.5	Flüssigkeitsabscheider .....	162
8.3.6	Kältemittel-Trockner .....	163
8.3.7	Kältemittel-Sammler .....	163
8.4	Auslegung und Berechnung von Rohrleitungen .....	164
8.4.1	Die Durchflussgleichung .....	164
8.4.2	Die Kontinuitätsgleichung .....	166
8.4.3	Die Energiegleichung von Bernoulli .....	169
8.4.4	Die Strömung realer Fluide .....	172
8.4.5	Der Strömungswiderstand .....	176
<b>9</b>	<b>Kältemittel</b>	
9.1	Funktion von Kältemitteln .....	179
9.2	Anforderungen an Kältemittel .....	180
9.3	Zusammensetzung von Kältemitteln .....	184
9.3.1	Entwicklung und geschichtlicher Hintergrund .....	184
9.3.2	Auswirkungen auf die Umwelt .....	185
9.4	Die Chemie der Kältemittel .....	187
9.4.1	Die chemischen Bausteine von Kältemitteln .....	188
9.4.2	Halogenierung und Teilhalogenierung von Kohlenwasserstoffen .....	189
9.4.3	Bezeichnung der Kältemittel und Molekülstrukturen .....	190
9.4.3.1	Bezeichnung und Molekülstruktur der organischen Kältemittel .....	191
9.4.3.2	Bezeichnung von organischen Kältemittel-Gemischen .....	193
9.4.3.3	Bezeichnung der anorganischen Kältemittel .....	194
9.5	Anforderungen an einsetzbare Kältemittel .....	195
9.5.1	H-FKW-Kältemittel und Kältemittelgemische .....	195

9.5.2	Beispiele synthetisch hergestellter Kältemittel .....	196
9.5.3	Beispiele für anorganische Verbindungen .....	203
9.5.4	Beispiele natürlicher Kältemittel: Kohlenstoffdioxid und Kohlenwasserstoffe (KW) .....	205
9.6	Die Darstellung von Zuständen von Kältemitteln .....	211
9.7	Kältemaschinenöle .....	214
9.8	Klimarelevante Auswirkungen von Kältemittel .....	216
9.8.1	Klima und Klimaänderung .....	217
9.8.2	Kennwerte für die ökologische Beurteilung von Kältemitteln .....	219
9.8.2.1	Ozonabbau in der Stratosphäre .....	220
9.8.2.2	Ozonabbaupotenzial und Treibhauspotenzial von Kältemitteln .....	226
9.8.2.3	POCP-Werte verschiedener Kältemittel .....	231
<b>10 Anhang</b>		
10.1	Größen und Einheiten .....	233
10.1.1	SI-Basis-Einheiten .....	233
10.1.2	Abgeleitete SI-Einheiten .....	234
10.1.3	Schreibweisen physikalischer Größen .....	236
10.1.4	Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten .....	238
10.1.5	Einheiten außerhalb des SI-Systems .....	239
10.2	Formelzeichen wichtiger physikalischer Größen aus der Kältetechnik (Auswahl) .....	241
10.3	Physikalische Größen und Einheiten (Auswahl) .....	244
10.4	Diagramme und Tabellen (Übersicht) .....	248
10.5	Aufgaben .....	283
10.6	Lösungen .....	291
10.7	Abbildungsverzeichnis .....	321
10.8	Stichwortverzeichnis .....	325