

	Seite
<b>1 Grundlagen</b>	
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
<b>2 Der Kältekreislauf</b>	
2.1 Die Verdampfung des Kältemittels; Wärmeaufnahme .....	31
2.2 Die Verflüssigung des Kältemittels .....	32
2.3 Der Verdichtungs Vorgang .....	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
<b>3 Der praktische Verdichtungs Vorgang</b>	
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 Drehzahl-Regelung .....	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	Absaugschaltung (Pump-down) .....	85
3.4.3.8	Thermistor-Vollschutz .....	85
<b>4</b>	<b>Wärmeaustausch und Wärmeaustauscher</b>	
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 (Verdampfer) .....	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
4.3.1.1	Das Abtauen von Verdampfern für Luft .....	109
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	Abwärmenutzung .....	116
5.1.1	Heizung über Luft .....	116
5.1.2	Heizung über Warmwasser .....	117
5.1.3	Brauchwasser-Erwärmung .....	117
5.2	Energieeinsparung durch freie Kühlung (Winterentlastung) .....	118
5.2.1	Das Prinzip der freien Kühlung .....	118
5.2.2	Selbst entleerende und glykolbetriebene Trockenkühler .....	119
5.2.3	Die Auslegung der Trockenkühler .....	122
5.2.3.1	Der eigene Energiebedarf von Trockenkühlern .....	122

5.2.3.2	Die Geräuschentwicklung von Trockenkühlern .....	122
5.3	Die Kältemaschine als Wärmepumpe .....	123
<b>6</b>	<b>Kältemittel-Einspritzung</b>	
6.1	Das Kapillarrohr .....	126
6.2	Das automatische Expansionsventil .....	126
6.3	Das thermostatische Expansionsventil .....	128
6.4	Die Überhitzung als Regelsignal .....	129
6.5	Das thermostatische Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich .....	130
6.6	Das elektronische Expansionsventil .....	131
6.7	Die Mehrfach-Einspritzung .....	133
6.8	Die Niveauregelung bei überfluteten Verdampfern .....	134
6.9	Die Dimensionierung von Expansionsventilen .....	134
6.10	Einige Sekundärregler .....	135
6.10.1	Verdampferdruckregler .....	135
6.10.2	Der Startregler .....	136
<b>7</b>	<b>Kältemaschinen und Kälteanlagen</b>	
7.1	Leistungsbewertung als Qualitätskriterium .....	138
7.1.1	Theoretische und reale Leistungszahl .....	138
7.1.2	Der ESEER-Kennwert .....	140
7.2	Funktionsprinzip einer luftgekühlten Kältemaschine .....	141
7.3	Kältemaschine mit variabler Kondensationstemperatur .....	142
7.4	Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Außentemperatur .....	143
7.5	Aggregate .....	144
<b>8</b>	<b>Rohrleitungen an Kälteanlagen</b>	
8.1	Anforderungen an Kältemittel-Rohrleitungen .....	145
8.2	Die verschiedenen Kältemittel-Rohrleitungen .....	146
8.3	Einbauten in Kältemittel führende Leitungen .....	147
8.3.1	Ölrückführung .....	147
8.3.2	Schauglas .....	147
8.3.3	Wärmeaustauscher .....	148
8.3.4	Absperrventile .....	148
8.3.5	Flüssigkeitsabscheider .....	149
8.3.6	Kältemittel-Trockner .....	150
8.3.7	Kältemittel-Sammler .....	150
8.4	Auslegung und Berechnung von Rohrleitungen .....	151
8.4.1	Die Durchflussgleichung .....	151
8.4.2	Die Kontinuitätsgleichung .....	153
8.4.3	Die Energiegleichung von Bernoulli .....	156
8.4.4	Die Strömung realer Fluide .....	159
8.4.4.1	Berechnung der Verlust-Energie .....	159
8.4.5	Der Strömungswiderstand .....	163
8.4.5.1	Widerstände in Querschnittsänderungen, Bögen und Armaturen .....	163

## 9 Kältemittel

9.1	Funktion von Kältemitteln .....	166
9.2	Anforderungen an Kältemittel .....	167
9.3	Zusammensetzung von Kältemitteln .....	171
9.3.1	Entwicklung und geschichtlicher Hintergrund .....	171
9.3.2	Auswirkungen auf die Umwelt .....	172
9.4	Die Chemie der Kältemittel .....	174
9.4.1	Die chemischen Bausteine von Kältemitteln .....	175
9.4.2	Halogenierung und Teilhalogenierung von Kohlenwasserstoffen .....	176
9.4.3	Bezeichnung der Kältemittel und Molekülstrukturen .....	177
9.4.3.1	Bezeichnung und Molekülstruktur der organischen Kältemittel .....	178
9.4.3.2	Bezeichnung von organischen Kältemittel-Gemischen .....	180
9.4.3.3	Bezeichnung der anorganischen Kältemittel .....	181
9.5	Kältemittelvergleich und Kältemiteleigenschaften .....	182
9.5.1	Anforderungen an einsetzbare Kältemittel (Beispiele) .....	182
9.5.1.1	H-FKW-Kältemittel und Kältemittelgemische .....	182
9.5.1.2	Beispiele synthetisch hergestellter Kältemittel .....	183
9.5.1.3	Beispiele für anorganische Verbindungen .....	189
9.5.1.4	Beispiele natürlicher Kältemittel: Kohlenstoffdioxid und Kohlenwasserstoffe (KW) .....	191
9.6	Die Darstellung von Zuständen von Kältemitteln .....	197
9.7	Kältemaschinenöle .....	200
9.8	Klimarelevante Auswirkungen von Kältemittel .....	202
9.8.1	Klima und Klimaänderung .....	203
9.8.2	Kennwerte für die ökologische Beurteilung von Kältemitteln .....	205
9.8.2.1	Ozonabbau in der Stratosphäre .....	206
9.8.2.2	Ozonabbaupotenzial und Treibhauspotenzial von Kältemitteln .....	212
9.8.2.3	POCP-Werte verschiedener Kältemittel .....	217

## 10 Anhang

10.1	Größen und Einheiten .....	219
10.1.1	SI-Basis-Einheiten .....	219
10.1.2	Abgeleitete SI-Einheiten .....	220
10.1.3	Schreibweisen physikalischer Größen .....	222
10.1.4	Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten .....	224
10.1.5	Einheiten außerhalb des SI-Systems .....	225
10.2	Formelzeichen wichtiger physikalischer Größen aus der Kältetechnik (Auswahl) .....	227
10.3	Physikalische Größen und Einheiten (Auswahl) .....	230
10.4	Diagramme und Tabellen (Übersicht) .....	234
10.5	Aufgaben .....	267
10.6	Lösungen .....	274
10.7	Abbildungsverzeichnis .....	303
10.8	Stichwortverzeichnis .....	307