

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Grundlagen	13
1.1 Vom Aufbau der Materie	13
1.2 Erwärmung unterschiedlicher Stoffe	15
1.3 Die Temperatur	18
1.4 Die Wärmemenge	19
1.5 Das Rechnen mit Wärmemengen	20
1.6 Die Mischungsregel	21
1.7 Die erwünschte Abkühlung – das Grundprinzip der Kälteerzeugung	24
1.8 Der Druck	25
1.9 Dichte, Volumen, Masse	26
1.10 Kraft, Arbeit	28
1.11 Energie	28
1.12 Leistung	31
1.13 Allgemeine Gasgesetze	31
1.14 Die Enthalpie	37
1.15 Die Erwärmung in einem Behälter	39
1.16 Die Hauptsätze der Thermodynamik	40
1.17 Aufgaben zu diesem Kapitel	42
2 Der Kältemittelkreislauf	43
2.1 Die Verdampfung des Kältemittels; Wärmeaufnahme	43
2.2 Die Verflüssigung des Kältemittels	44
2.3 Der Verdichtungsvorgang	45
2.4 Der Expansionsvorgang	48
2.5 Die Zusammenführung zum Kältemittelkreislauf	49
2.5.1 Der Carnot-Prozess in der Kältetechnik	49
2.5.2 Ablauf und Schema des Kältemittelkreislaufs	51
2.5.3 Entropie	55
2.5.4 Der Kreisprozess im T,S-Diagramm	59
2.5.5 Das log p,h-Diagramm des Kältemittelkreislaufs	61
2.6 Aufgaben zu Kapitel 2	68

3	Der praktische Verdichtungsvorgang	69
3.1	Druck- und Volumenverlauf in einem Kolbenverdichter	69
3.2	Auslegung eines Kolbenverdichters	72
3.3	Funktionsweisen verschiedener Verdichterbauarten	77
3.3.1	Offener Kolbenverdichter	77
3.3.2	Halbhermetischer Kolbenverdichter	79
3.3.3	Vollhermetischer Kolbenverdichter	80
3.3.4	Schraubenverdichter	80
3.3.5	Scroll-Verdichter	82
3.3.6	Turbo-Verdichter	83
3.4	Funktionsvoraussetzungen von Verdichtern	85
3.4.1	Leistungsregelung	85
3.4.2	Ölversorgung	91
3.4.3	Sicherheitskette	93
3.5	Aufgaben zu Kapitel 3	96
4	Wärmeübertragung und Wärmeübertrager	97
4.1	Berechnung der Wärmeübertragung	97
4.1.1	Wärmedurchgang und Wärmeleitung	97
4.1.2	Wärmeübergang durch Konvektion	99
4.1.3	Der Wärmeübertragungswiderstand	100
4.1.4	Die Wärmedurchgangszahl	105
4.2	Kondensatoren	107
4.2.1	Luftgekühlte Kondensatoren	110
4.2.2	Wassergekühlte Kondensatoren	112
4.2.3	Auslegung von Kondensatoren	113
4.2.4	Unterkühlung und saugseitige Überhitzung	115
4.3	Verdampfer	117
4.3.1	Verdampfer zur Kühlung von Luft	117
4.3.2	Verdampfer zur Kühlung von Flüssigkeiten	119
4.3.3	Voraussetzungen für den einwandfreien Betrieb von Flüssigkeitsverdampfern ..	122
4.3.4	Sicherheitsmaßnahmen an Flüssigkeitsverdampfern	123
4.4	Aufgaben zu Kapitel 4	124
5	Energieeinsparung/Maßnahmen	125
5.1	Energiebedarf zur Kälteerzeugung	125
5.2	Begriffsklärungen zur Energieeffizienz	126
5.2.1	Energiesparteknik, Energieeffizienz, Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung	126
5.2.2	Kältemaschine oder Wärmepumpe?	127

5.3	Energiespartechnik	128
5.3.1	Saubere Wärmeübertrager	128
5.3.2	Drehzahlregelung	129
5.3.3	Elektronische Expansionsventile	134
5.3.4	Leistungsaufnahme in Abhängigkeit zur Außentemperatur	135
5.3.5	Economizer/Booster	135
5.3.6	Freie Kühlung/Winterentlastung	138
5.3.7	Hydraulische Weiche	144
5.3.8	Adiabate Kühlung für Trockenkühler und Kondensatoren im Sommer	146
5.4	(Ab-)Wärmenutzung	149
5.4.1	Heizung über Warmwasser	150
5.4.2	Brauchwassererwärmung	151
5.4.3	Nutzung vorhandener Wärmespeicher	151
5.4.4	Die Kältemaschine als Wärmepumpe	152
5.5	Aufgaben zu Kapitel 5	154
6	Leistungsbewertung als Qualitätskriterium	155
6.1	Theoretische und reale Leistungszahl	155
6.2	Leistungszahl unter Teillastbedingungen	156
7	Kältemitteleinspritzung und Druckregelung	159
7.1	Das Kapillarrohr	159
7.2	Das automatische Expansionsventil	160
7.3	Das thermostatische Expansionsventil	161
7.4	Die Überhitzung als Regelsignal	162
7.5	Das thermostatische Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich	163
7.6	Das elektronische Expansionsventil	164
7.7	Die Mehrfacheinspritzung	166
7.8	Niveauregelung bei überfluteten Verdampfern	166
7.9	Dimensionierung von Expansionsventilen	167
7.10	Sekundärregler	168
7.10.1	Verdampferdruckregler	168
7.10.2	Der Startregler	169
8	Rohrleitungen an Kälteanlagen	171
8.1	Anforderungen an Kältemittelrohrleitungen	171
8.2	Die verschiedenen Kältemittelrohrleitungen	172
8.3	Einbauten in Kältemittel führenden Leitungen	173

8.3.1	Ölrückführung	173
8.3.2	Schauglas	173
8.3.3	Wärmeübertrager	174
8.3.4	Absperrventile	174
8.3.5	Flüssigkeitsabscheider	175
8.3.6	Kältemittelrockner	176
8.3.7	Kältemittelsammler	176
8.4	Auslegung und Berechnung von Rohrleitungen	177
8.4.1	Die Durchflussgleichung	177
8.4.2	Die Kontinuitätsgleichung	179
8.4.3	Die Energiegleichung von Bernoulli	181
8.4.4	Die Strömung realer Fluide	184
8.4.5	Der Strömungswiderstand	188
8.5	Aufgaben zu Kapitel 8	190
9	Kältemittel	191
9.1	Funktion von Kältemitteln	191
9.2	Anforderungen an Kältemittel	192
9.3	Die Chemie der Kältemittel	195
9.3.1	Entwicklung und geschichtlicher Hintergrund	195
9.3.2	Die chemischen Bausteine von Kältemitteln	196
9.3.3	Halogenierung und Teilhalogenierung von Kohlenwasserstoffen	198
9.3.4	Bezeichnung der Kältemittel und Molekülstrukturen	199
9.4	Anforderungen an einsetzbare Kältemittel	204
9.4.1	H-FKW-Kältemittel und Kältemittelgemische	204
9.4.2	Beispiele synthetisch hergestellter Kältemittel	205
9.4.3	Beispiele für anorganische Verbindungen	208
9.4.4	Beispiele natürlicher Kältemittel	211
9.4.5	Gefahrenpotenzial durch brennbare Kältemittel	217
9.5	Die Darstellung von Zuständen von Kältemitteln	221
9.6	Kältemaschinenöle	224
9.7	Klimarelevante Auswirkungen von Kältemitteln	225
9.7.1	Klima und Klimaänderung	226
9.7.2	Kennwerte für die ökologische Beurteilung von Kältemitteln	229
9.8	Aufgaben zu diesem Kapitel	242
10	Übungsaufgaben	243
10.1	Aufgaben	243
10.1.1	Aufgaben zu Kapitel 1	243
10.1.2	Aufgaben zu Kapitel 2	245

10.1.3	Aufgaben zu Kapitel 3	246
10.1.4	Aufgaben zu Kapitel 4	247
10.1.5	Aufgaben zu Kapitel 5	248
10.1.6	Aufgaben zu Kapitel 8	250
10.1.7	Aufgaben zu Kapitel 9	251
10.2	Lösungen	253
11	Anhang	281
11.1	Größen und Einheiten	281
11.1.1	SI-Basis-Einheiten	281
11.1.2	Abgeleitete SI-Einheiten	282
11.1.3	Schreibweisen physikalischer Größen	284
11.1.4	Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten	284
11.1.5	Einheiten außerhalb des SI-Systems	286
11.2	Formelzeichen wichtiger physikalischer Größen aus der Kältetechnik (Auswahl)	287
11.3	Physikalische Größen und Einheiten (Auswahl)	290
11.4	Diagramme und Tabellen	294
11.4.1	log p,h-Diagramme	294
11.4.2	Volumetrischer Kältegewinn	300
11.4.3	Mollier-h,x-Diagramm für feuchte Luft	304
11.4.4	Nassdampftabellen	305
11.4.5	Stoffwerte brennbarer Kältemittel	309
11.5	Material- und Stoffdaten	310
11.6	Stichwortverzeichnis	320
11.7	Literaturverzeichnis	326