

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	Drehzahl-Regelung	76

Inhaltsverzeichnis

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-Vollschatz	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 (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
5 Energiesparen	
5.1 Abwärmennutzung	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 Geräuschenwicklung von Trockenkühlern	122
5.3	Die Kältemaschine als Wärmepumpe	123
6	Kältemittel-Einspritzung	
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
7	Kältemaschinen und Kälteanlagen	
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
8	Rohrleitungen an Kälteanlagen	
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 Kältemitteleigenschaften	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