

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 im geschlossenen 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 Verdichtungsprozess	34
2.4	Der Expansionsprozess	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 Kältekreislaufes	52

3 Der praktische Verdichtungsprozess

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	Aggregate	72
3.4	Funktionsvoraussetzungen von Verdichtern	73
3.4.1	Leistungsregelung	73
3.4.1.1	Verdampfungsdruck-Regelung	73

3.4.1.2	Heißgas-Bypass	73
3.4.1.3	Zylinder-Abschaltung	74
3.4.1.4	Verbund-Kälteanlagen	75
3.4.1.5	Drehzahl-Regelung	77
3.4.1.6	Leistungsregelung an Schraubenverdichtern	77
3.4.2	Ölversorgung	79
3.4.3	Sicherheitskette	80
3.4.3.1	Öldruck-Überwachung	81
3.4.3.2	Ölstands-Überwachung	81
3.4.3.3	Kurbelwannen-Heizung	81
3.4.3.4	Druckgas-Überhitzungsschutz	82
3.4.3.5	Überdrucksicherung / Sicherheitsventile	82
3.4.3.6	Unterdrucksicherung	83
3.4.3.7	Absaug-schaltung (Pump-down)	83
3.4.3.8	Thermistor-Vollschutz	83

4 Wärmeaustausch und Wärmeaustauscher

4.1	Berechnung des Wärmeaustausches	84
4.1.1	Wärmedurchgang und Wärmeleitung	84
4.1.2	Wärmeübergang durch Konvektion	86
4.1.3	Der Wärmeübertragungs-Widerstand	87
4.1.4	Die Wärmedurchgangszahl	92
4.2	Kondensatoren	96
4.2.1	Luftgekühlte Kondensatoren	97
4.2.2	Wassergekühlte Kondensatoren	99
4.2.3	Auslegung von Kondensatoren	101
4.2.4	Unterkühlung und saugseitige Überhitzung	104
4.3	Verdampfer	106
4.3.1	Verdampfer zur Kühlung von Luft	106
4.3.1.1	Das Abtauen von Verdampfern für Luft	108
4.3.2	Verdampfer zur Kühlung von Flüssigkeiten	109
4.3.2.1	Koaxial-Verdampfer	109
4.3.2.2	Platten-Verdampfer	109
4.3.2.3	Bündelrohr-Verdampfer	109
4.3.2.4	Überflutete Bündelrohr-Verdampfer	109
4.3.2.5	Kompakt-Wärmeaustauscher	110
4.3.3	Voraussetzungen für den einwandfreien Betrieb von Flüssigkeitsverdampfern	111
4.3.4	Sicherheitsmaßnahmen an Flüssigkeitsverdampfern	111

5 Wärmerückgewinnung

5.1.1	Heizung über Luft	113
5.1.2	Heizung über Warmwasser	114
5.1.3	Brauchwasser-Erwärmung	114

5.2	Energieeinsparung durch freie Kühlung (Winterentlastung)	115
5.2.1	Das Prinzip der freien Kühlung	115
5.2.2	Selbst entleerende und glykolbetriebene Trockenkühler	116
5.2.3	Die Auslegung der Trockenkühler	119
5.2.3.1	Der Energiebedarf von Trockenkühlern	119
5.2.3.2	Die Geräusentwicklung von Trockenkühlern	119
5.3	Die Kältemaschine als Wärmepumpe	120

6 Kältemittel-Einspritzung

6.1	Das Kapillarrohr	123
6.2	Das automatische Expansionsventil	123
6.3	Das thermostatische Expansionsventil	125
6.4	Die Überhitzung als Regelsignal	126
6.5	Das thermostatische Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich	128
6.6	Die Mehrfach-Einspritzung	129
6.7	Die Überflutung	129
6.8	Die Dimensionierung von Expansionsventilen	130
6.9	Einige Sekundärregler	131
6.9.1	Verdampferdruckregler	131
6.9.2	Der Startregler	132

7 Rohrleitungen an Kälteanlagen

7.1	Anforderungen an Kältemittel-Rohrleitungen	133
7.2	Die verschiedenen Kältemittel-Rohrleitungen	134
7.3	Einbauten in Kältemittel führende Leitungen	135
7.3.1	Ölrückführung	135
7.3.2	Schauglas	135
7.3.3	Wärmeaustauscher	136
7.3.4	Absperrventile	136
7.3.5	Flüssigkeitsabscheider	137
7.3.6	Kältemittel-Trockner	138
7.3.7	Kältemittel-Sammler	138
7.4	Auslegung und Berechnung von Rohrleitungen	139
7.4.1	Die Durchflussgleichung	139
7.4.2	Die Kontinuitätsgleichung	141
7.4.3	Die Energiegleichung von Bernoulli	144
7.4.4	Die Strömung realer Fluide	147
7.4.4.1	Berechnung der Verlust-Energie	147
7.4.5	Der Strömungswiderstand	151
7.4.5.1	Widerstände in Querschnittsänderungen, Bögen und Armaturen	151

8 Kältemittel

8.1	Funktion von Kältemitteln	154
8.2	Anforderungen an Kältemittel	155
8.3	Zusammensetzung von Kältemitteln	159
8.3.1	Entwicklung und geschichtlicher Hintergrund	159
8.3.2	Auswirkungen auf die Umwelt	160
8.4	Die Chemie der Kältemittel	162
8.4.1	Die chemischen Bausteine von Kältemitteln	162
8.4.2	Halogenierung und Teilhalogenierung von Kohlenwasserstoffen	163
8.4.3	Bezeichnung der Kältemittel und Molekülstrukturen	164
8.4.3.1	Bezeichnung und Molekülstruktur der organischen Kältemittel	165
8.4.3.2	Bezeichnung von organischen Kältemittel-Gemischen	167
8.4.3.3	Bezeichnung der anorganischen Kältemittel	168
8.5	Kältemittelvergleich und Kältemittelleigenschaften	169
8.5.1	Einsetzbare Kältemittel (Beispiele)	169
8.5.1.1	H-FKW-Kältemittel und Kältemittelgemische	169
8.6	Die Darstellung von Zuständen von Kältemitteln	173
8.7	Kältemaschinenöle	176
8.8	Klimarelevante Auswirkungen von Kältemittel	178
8.8.1	Klima und Klimaänderung	178
8.8.2	Kennwerte für die ökologische Beurteilung von Kältemitteln	181
8.8.2.1	Ozonabbau in der Stratosphäre	182
8.8.2.2	Ozonabbaupotenzial und Treibhauspotenzial von Kältemitteln	187
8.8.2.3	POCP-Werte verschiedener Kältemittel	190

9 Anhang

9.1	Größen und Einheiten	192
9.1.1	SI-Basiseinheiten	192
9.1.2	Abgeleitete SI-Einheiten	193
9.1.3	Schreibweisen physikalischer Größen	195
9.1.4	Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten	197
9.1.5	Einheiten außerhalb des SI-Systems	198
9.2	Formelzeichen wichtiger physikalischer Größen aus der Kältetechnik (Auswahl)	200
9.3	Physikalische Größen und Einheiten (Auswahl)	203
9.4	Diagramme und Tabellen (Übersicht)	207
9.5	Aufgaben	229
9.6	Lösungen	235
9.7	Abbildungsverzeichnis	264
	Stichwortverzeichnis	267