

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 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

3 Der praktische Verdichtungs Vorgang

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	Absaugschaltung (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

5 Energiesparen

5.1	Energiebedarf zur Kälteerzeugung	116
5.2	Begriffsklärungen zur Energieeffizienz	117
5.2.1	Energiespartechnik, Energieeffizienz, Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung	117
5.2.2	Kältemaschine oder Wärmepumpe?	118
5.3	Energiespartechnik	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 Geräuscentwicklung 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

6 Leistungsbewertung als Qualitätskriterium

6.1	Theoretische und reale Leistungszahl	144
6.2	Leistungszahl unter Teillastbedingungen	146

7 Kältemittel-Einspritzung und Druckregelung

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
8 Rohrleitungen an Kälteanlagen		
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
9 Kältemittel		
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
 10 Anhang		
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