

Inhaltsverzeichnis

1	Verdampfer.	1
1.1	Grundlegendes.	1
1.2	Energetische Vorgänge im Verdampfer.	2
2	Verdampferarten.	4
3	Verdampfer für Flüssigkeitskühlung – „trockene Verdampfung“ . . .	5
3.1	Bündelrohrverdampfer.	5
3.2	Koaxialverdampfer.	9
3.3	Plattenverdampfer.	9
3.3.1	Aufbau und Funktion des Plattenverdampfers.	11
3.3.1.1	Plattenverdampfer mit gedichteten Platten.	12
3.3.1.2	Plattenverdampfer mit geschweißten Modulen.	12
3.3.1.3	Dichtungsbefestigung.	13
3.3.1.4	Plattenstrukturen.	14
3.3.2	Druckprüfung.	15
3.3.3	Führung der Stoffe im Plattenverdampfer.	15
3.3.3.1	Parallelschaltung.	16
3.3.3.2	Reihenschaltung.	16
3.3.4	Werkstoff.	17
3.3.5	Plattenverdampfer in Kälteanlagen.	17
3.3.6	Plattenwärmetauscher als Ölkühler.	19
3.4	Glattrohrverdampfer.	20
3.5	Rührwerk.	21
3.6	Eisspeicher.	21
4	Verdampfer für Flüssigkeitskühlung – „überflutete Verdampfung“	22
4.1	Rohrbündelverdampfer.	23
4.2	Steilrohrverdampfer.	24
4.3	Berieselungsverdampfer.	25
5	Luftkühler.	27
5.1	Luftkühler aus Glattrohr.	27
5.2	Plattenverdampfer.	28
5.3	Luftkühler mit Lamellen.	28
5.4	Verdampfungstemperatur unter und Lufttemperatur über 0 °C.	30
5.5	Verdampfungs- und Lufttemperatur unter 0 °C.	31
5.6	Verdampfungs- und Lufttemperatur über 0 °C.	31
5.7	Leitwände bei Wandanordnung.	32
5.8	Zusammenfassung.	33
6	Plattenkühler mit Eutektikum.	34
7	Anordnung der Luftkühler für „stille Kühlung“	36
8	Zwangselüftete Luftkühler.	42
9	Grundlegendes zu Hochleistungskühlern.	48

10	Hochleistungskühler mit Kältemittel betrieben	48
11	Anordnung von Hochleistungskühlern	51
12	Befestigung von Luftkühlern	54
13	Hochleistungskühler zur Luftkühlung	56
13.1	Trocken arbeitende Luftkühler.	56
13.2	Nass arbeitende Luftkühler.	57
14	Wärmestrom der Lüfter	60
15	Abtauen von Luftkühlern	62
15.1	Abtauen durch Nachlauf des Lüfters	63
15.2	Abtauen durch elektrische Heizung.	64
15.2.1	Grundlegendes	64
15.2.2	Einschalten des Abtauvorganges	65
15.2.2.1	Temperaturdifferenz.	65
15.2.2.2	Vorbestimmte Abtauzeit.	65
15.2.2.3	Mikroprozessor	66
15.2.3	Abtau-Begrenzungsverfahren	69
15.2.3.1	Thermische Begrenzung	69
15.2.3.2	Zeitbegrenzung	69
15.2.4	Abtauen und Pump-down	69
15.3	Abtauen durch Heiß- und Kaltdampf	70
15.3.1	Abtauen durch Heißdampfbypassregler	73
15.3.2	Abtauen durch Umkehrventile.	74
15.4	Abtauen durch Thermobank	77
15.5	Abtauen durch warmes Wasser	78
16	Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz	80
16.1	Berücksichtigung örtlich veränderlicher Temperaturen der Stoffströme im Kühler.	80
16.2	Einfluss der Strömungsrichtung der Stoffe auf die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.	80
16.2.1	Gleichstrom – beide Stoffe strömen gleich	80
16.2.2	Gegenstrom – beide Stoffe strömen entgegengesetzt.	81
16.2.3	Kreuzstrom – beide Stoffe strömen über Kreuz	81
16.3	Kühler und die mittlere Temperaturdifferenz	85
16.4	Definition der logarithmischen Temperaturdifferenz	87
17	Einfache Kühlerberechnungen.	89
17.1	Grundlegendes	89
17.2	Betrachtungen zum Abtauen	89
17.3	Die Kühlerleistung.	90
17.3.1	Die Kühlerfläche	91
17.3.2	Der Wärmedurchgangskoeffizient von Kühlern.	92
18	Kühlraumtemperatur und relative Feuchte.	107
19	Praktische Bestimmung von Luftkühlern.	112
19.1	Grundlegendes	112

20	Bestimmung von Flüssigkeitskühlern	118
20.1	Grundlegendes	118
20.2	Auswahl der Kühler	120
20.3	Parallel- oder Reihenbetrieb von Flüssigkeitskühlern	123
20.3.1	Parallelbetrieb mit gleichem Kühlmittelstrom	123
20.3.2	Parallelbetrieb mit variablem Kühlmittelstrom	124
20.3.3	Reihenschaltung mit gleichem Kühlmittelstrom	124
20.3.4	Reihenschaltung mit variablem Kühlmittelstrom	124
20.4	Bestimmung von Koaxialkühlern	125
20.5	Bestimmung von Bündelrohrverdampfern <i>APL Apparatebau GmbH, D-41541 Dormagen</i>	129
21	Abstimmen der Kälteleistung auf Verdampfer und Kältemittelverdichter	130
21.1	Umrechnung der Kühlerleistung – Arbeitsüberhitzung	136
21.2	Betriebspunkt der Kälteanlage in der Praxis	138
21.3	Angebotsleistung einer Kälteanlage	140
22	Einfache Entfeuchtung im Kühlraum	141
23	Einfache Befeuchtung im Kühlraum	143
23.1	Befeuchtungseinrichtungen	143
23.2	Luftbefeuchter	144
23.2.1	Adiabate Befeuchtung	144
23.2.2	Zerstäubung durch Düsen	146
23.2.3	Befeuchtung durch Ultraschall	148
24	Verflüssiger	150
24.1	Grundlegendes zum Verflüssiger	150
24.2	Energetische Vorgänge im Verflüssiger	151
24.3	Wärmestrom in den Verflüssigungszonen	153
24.4	Bauarten von Verflüssigern	154
24.5	Luftgekühlte Verflüssiger	155
24.5.1	Statisch belüftete Verflüssiger	155
24.5.2	Lamellenverflüssiger mit Axiallüfter	157
24.5.3	Aufstellen von Verflüssigern	162
24.5.4	Lamellenverflüssiger mit Radiallüfter	162
24.5.5	Verschmutzung	164
24.5.6	Ausbreitung von Schall	165
25	Wassergekühlte Verflüssiger	166
25.1	Gegenstrom-Doppelrohrverflüssiger	167
25.2	Gegenstrom-Bündelrohrverflüssiger	169
25.3	Koaxialverflüssiger	171
25.4	Röhrenkesselverflüssiger	175
25.5	Verdunstungsverflüssiger mit Radiallüfter	176
25.5.1	Arbeitsweise des Verdunstungsverflüssigers	177
25.5.2	Anwendung des Verdunstungsverflüssigers	177
25.5.2.1	Ein- und Ausschalten der Lüfter	178
25.5.2.2	Modulierende Klappen	178
25.5.2.3	Umluftbetrieb	178
25.5.2.4	Trockener Betrieb	178
25.5.3	Schaltungen von Verdunstungsverflüssigern	179
25.6	Hybride Trockenkühler (Verflüssiger)	181

25.6.1	Allgemeines	181
25.6.2	Aufbau	181
25.6.3	Funktion	183
25.6.4	Hybrider Trockenkühler als Verflüssiger	184
25.6.5	Auswahl eines hybriden Trockenkühlers	187
25.6.5.1	Grundlagen zur Auswahl eines geeigneten Kühlsystems	188
25.6.5.2	Grundlagen für die Berechnung der Jahreskosten	189
25.6.5.3	Bestimmen des Betriebsverhaltens der Kälteanlage	190
25.6.5.4	Jahreskosten des hybriden Trockenkühlers HTK 1.8/3.9	192
25.6.5.5	Jahreskosten des hybriden Trockenkühlers HTK 2.4/3.75	193
25.6.5.6	Vergleich der Jahreskosten für die beiden Trockenkühler	194
25.6.5.7	Variable Kälteleistung durch die Temperatur der Luft	195
25.6.5.8	Verkürzte Abschreibungszeit	195
26	Druckregelung von Verflüssigern	196
26.1	Regelung luftgekühlter Verflüssiger	198
26.1.1	Kältemittelseitige Regelung	198
26.1.2	Luftseitige Regelung	201
26.1.2.1	Druckgesteuerte Lüfter	201
26.1.2.2	Drehfrequenzgeregelter Lüfter	203
26.2	Regelung von wassergekühlten Verflüssigern (Frischwasserbetrieb)	204
26.3	Regelung bei Kühlturbetrieb	205
26.4	Regelung für hybride Trockenkühler	206
27	Flüssigkeitssammler	208
27.1	Anordnung von Flüssigkeitssammlern in Kälteanlagen mit luftgekühlten Verflüssigern	210
27.2	Anordnung der Verflüssigungsleitung für luftgekühlte Verflüssiger	212
27.3	Probleme bei Flüssigkeitssammlern in Kälteanlagen mit wassergekühltem Verflüssiger	212
27.4	Anordnung der Verflüssigungsleitung für wassergekühlte Verflüssiger	213
27.5	Minimale Füllmasse im Flüssigkeitssammler	214
28	Kältemittelfüllmasse für Kälteanlagen	215
28.1	Füllungsgrad	216
28.2	Füllungsgrad in Rohrleitungen	217
28.3	Füllungsgrad im Verflüssiger	217
28.4	Füllungsgrad im Unterkühler	217
28.5	Füllungsgrad im Verdampfer	218
28.5.1	Überflutete Verdampfer	218
28.5.2	Trockenexpansionsverdampfer	219
29	Verflüssigerleistung und mittlere Temperaturdifferenz	222
30	Einfache Berechnung von Verflüssigern	225
30.1	Verflüssigerleistung	225
30.2	Wärmedurchgangskoeffizient	225
31	Praktische Bestimmung von Verflüssigern	231
31.1	Luftgekühlte Verflüssiger	231
31.2	Aufstellung luftgekühlter Verflüssiger	233

31.3	Wassergekühlte Verflüssiger	234
31.3.1	Verschmutzungsfaktor	234
31.3.2	Wasserwege im Verflüssiger	235
31.3.3	Wasserstrom	237
31.3.4	Frischwasserbetrieb	238
31.3.5	Kühlturbetrieb	239
31.3.6	Zusatzwasserstrom im Kühlturbetrieb	239
31.3.7	Überlegungen zur Bestimmung wassergekühlter Verflüssiger	240
31.4	Praktische Verflüssigungstemperatur	242
32	Bestimmung von Verflüssigern nach dem Herstellerkatalog	243
32.1	Luftgekühlte Verflüssiger	243
32.2	Wassergekühlte Verflüssiger	246
32.3	Koaxialverflüssiger	248
32.4	Verdunstungsverflüssiger	249
32.4.1	Frischwasserstrom	249
32.4.2	Änderung der Drehfrequenz	249
32.4.3	Verdunstungsbetrieb ohne Wasserstrom	250
32.4.4	Berechnung	250
33	Kühlturm	253
33.1	Bauarten	256
33.2	Aufstellung	256
33.3	Leistungsangaben	256
33.4	Leistung der Lüfter	257
33.5	Wasseraufbereitung	257
33.6	Ablaufregelung	258
33.7	Winterbetrieb	258
33.8	Bemessung nach <i>E. W. Gohl GmbH</i>	258
34	Hubkolbenverdichter	261
34.1	Wechselstrom-Tauchkolbenverdichter	262
34.2	Anordnung der Zylinder	265
34.3	Antriebe für offene Kältemittelverdichter	265
34.3.1	Direktkupplung	265
34.3.2	Flanschglocke	266
34.3.3	Keilriemenantrieb	267
34.4	Verdichtergehäuse	268
34.5	Kolben, Kolbenringe und Kolbenstange	269
34.6	Zylinderkopf	272
34.7	Ventilplatte und Arbeitsventile	273
34.8	Wellenabdichtung	276
34.9	Kurbelwelle	277
34.10	Kurbelschleife	280
34.11	Schmierölhaushalt	282
34.12	Dichtungen	286
34.13	Zylinderkühlung	286
34.14	Anlaufentlastung	286
34.15	Gleichstromausführung	287
34.16	Heizung im Kurbelwellengehäuse	288
34.17	Geregelte Kälteleistung	289
34.17.1	Aussetzbetrieb	290
34.17.2	Saugdrosselung	290
34.17.3	Gedrosseltes Überströmen	291

34.17.4	Saugstromregelung	292
34.17.5	Rückströmen (Zylinderentlastung)	295
34.18	Hermetische Kolbenverdichter	298
34.18.1	Kapsel	298
34.18.2	Halb hermetische Kolbenverdichter	300
34.18.3	Halb hermetische Kolbenverdichter <i>Bock Kältemaschinen GmbH</i>	301
34.18.4	Halb hermetische Kolbenverdichter <i>HTK GmbH</i>	304
35	Geräuschkämpfer	306
36	Rotationskolbenverdichter	309
36.1	Rollkolbenverdichter	309
36.2	Umlaufverdichter	312
36.3	Spiralkältemittelverdichter (Scroll)	313
36.3.1	Grundsätzlicher Aufbau und Funktion	314
36.3.1.1	Ansaugen – erste Umlaufbahn	317
36.3.1.2	Verdichten – zweite Umlaufbahn	318
36.3.1.3	Ausschieben – dritte Umlaufbahn	319
36.3.2	Arbeitsweise	324
36.3.3	Kälteleistung	325
37	Schraubenverdichter	330
37.1	Grundlagen	331
37.1.1	Verdichtung	332
37.1.2	Verstellung des variablen inneren Volumverhältnisses	334
37.1.3	Regelung der Kälteleistung	334
37.1.4	Schmierölsystem	336
37.1.5	Schmierölkreislauf	336
37.1.6	Kühlung des Schmieröles	337
37.1.6.1	Installationshinweise für Kühler von Schmieröl	339
37.1.6.2	Wassergekühlte Kühler für Schmieröl	339
37.1.6.3	Luftgekühlte Kühler für Schmieröl	339
37.1.6.4	Kühlung des Schmieröles durch direkte Einspritzung von Kältemittel	340
37.1.6.5	Kühlung des Schmieröles durch Thermosifon	341
37.1.7	Economizer „ECO“	342
37.2	Schraubenverdichter in offener Bauart	342
37.2.1	Gehäuse	342
37.2.2	Läufer	342
37.2.3	Lagerung	343
37.2.4	Gleitringdichtung	343
37.2.5	Geregelte Kälteleistung, Vi-Verstell- und Anzeigeeinrichtung	343
37.3	Offener Schraubenverdichter mit Standard-Flanschmotor	346
37.4	Halb hermetischer Schraubenverdichter	346
37.4.1	Schmierölkreislauf	347
37.4.2	Leistungsverhalten	349
37.4.3	Liefergrad	349
37.4.4	Kältezah l	350
38	Turboverdichter	352
38.1	Betriebseigenschaften	352
38.2	Auswahl von Kältemitteln	352
38.3	Stufenzahl	353

38.4	Berechnung der Stufenzahl	354
38.5	Geregelte Kälteleistung	355
38.6	Funktion des Turboverdichters – vereinfacht	356
38.7	Vergleich der Kältemittelverdichter	357
39	Antriebsmotor für Kältemittelverdichter	358
39.1	Motoranlauf	359
39.2	Motorleistung und Verdichterkälteleistung	361
39.3	Motorschutz	362
40	Verflüssigungssätze	363
41	Kälteleistung von Kältemittelverdichtern (Tauchkolbenbauart)	366
41.1	Drehfrequenz	366
41.2	Verdampfungstemperatur	367
41.3	Verflüssigungstemperatur	368
41.4	Kältemittel und Verdichterleistung	370
41.5	Einsatzgrenzen für Kältemittelverdichter	371
42	Verdichternutzkälteleistung	374
42.1	Verdichterkälteleistung und Wärmestrom der Saugleitung	374
42.2	Leistungsangabe nach EN 12900	374
42.3	Parameter für die Kälteleistung	375
42.4	Wärmestrom in der Saugleitung	376
42.5	Nutzkälteleistung (Luftkühler)	376
42.6	Berechnung der Verdichternutzkälteleistung	378
43	Schmieröl in Kältemittelverdichtern	380
43.1	Allgemeines	380
43.1.1	Löslichkeit von Kältemittel in Schmieröl	382
43.1.2	Viskosität von Schmieröl im Verdampfer	382
43.2	Rückführung von Schmieröl	383
43.2.1	Direktverdampfung	383
43.2.2	Überflutete Kühler	384
43.2.3	Flüssigkeitsschichten	384
43.3	Schmieröl im Kurbelwellengehäuse	386
43.4	Kältemittelmasse und Schmieröl	389
43.5	Maßnahmen	389
43.5.1	Heizung im Kurbelwellengehäuse	389
43.5.2	Abpumpschaltung	389
44	Kältemittelverdichter im Verbundbetrieb	390
44.1	Allgemeines	390
44.1.1	Kälteleistung	391
44.1.2	Geregelte Kälteleistung	391
44.1.3	Not- bzw. Reservebetrieb	391
44.2	Schmieröl- und Dampfausgleich, kombiniert	391
44.2.1	Dampfausgleich	392
44.2.2	Kontrolle des Ölstands	392
44.2.3	Saugsammeleleitung	393
44.2.4	Drucksammeleleitung	393
44.3	Abpumpschaltung	394
44.4	Ölabscheider	394

44.4.1	Arbeitsweise	395
44.4.2	Montage	395
44.4.3	Auswahl	396
44.4.4	Auswahl für Verbundkälteanlagen	397
44.5	Regelsystem für Schmieröl	401
44.5.1	Verlegen der Rückleitung zwischen Ölsammler und Regler	404
44.5.2	Verbundkälteanlagen mit Kapseln	406
44.6	Flüssigkeitsabscheider	409
44.6.1	Allgemeines	409
44.6.2	Anwendung	410
44.6.3	Kältemittelaufnahme	411
44.6.4	Minimale Verdampfungstemperatur	411
44.6.5	Maximale Leistung	412
44.6.6	Flüssigkeitsabscheider im Verbundbetrieb	412
44.6.7	Auswahl	413
44.6.8	Montagetipps	415
45	Druckdifferenzen in Kälteanlagen	415
45.1	Bemessung und Installation	416
45.2	Luftgekühlte Wärmetauscher	417
45.3	Druckdifferenzen einer einstufig arbeitenden Kälteanlage im $lg\ p,h$ -Diagramm	417
45.4	Druckdifferenz und Angebot	419
46	Aqua Turbo Wasserkühlmaschine	420
46.1	Grundsätzliches	420
46.2	Bauweise	420
46.3	Eigenschaften-Kälteleistung	421
46.4	Geregelte Kälteleistung	422
46.5	Kältezahl der Aqua Turbo Wasserkühlmaschine	422
46.6	Arbeitsweise	423
46.7	Hydraulische Einbindung der Wasserkühlmaschine in den Kalt- und Kühlwasserkreislauf	424
47	Binäreis – ein zweiphasiger Kälteträger	425
47.1	Grundlegendes	425
47.2	Binäreis	425
47.3	Erzeugung von Binäreis	425
47.3.1	FLO-ICE-Verfahren	426
47.3.2	Vakuumeis-Verfahren	427
47.4	Einsatzgebiete für Binäreisanlagen	429
47.5	Vor- und Nachteile von Binäreis	430
47.5.1	Vorteile	430
47.5.2	Nachteile von Binäreis	432
47.6	Anwendungen	433
47.6.1	Grundsaltungen	433
47.6.2	Eis- und Pufferspeicher	434
47.6.2.1	Eisspeicher	434
47.6.2.2	Pufferspeicher	434
47.6.3	Binäreis in der Klimatechnik	435
47.6.4	Supermarkt	436
47.6.5	Lebensmittelindustrie	436

48	Steuern und Regeln in der Kälteanlage	437
48.1	Steuerung	439
48.2	Steuerung einer elektrischen Abtauung in einem Luftkühler (Zeitplansteuerung)	440
48.3	Regelung	441
48.3.1	Regelgröße	443
48.3.2	Stellgröße	443
48.3.3	Störgröße	443
48.3.4	Führungsgröße	443
48.3.5	Regelstrecke	443
48.3.6	Regler	444
48.3.7	Stellglied	444
48.3.8	Regelkreis	444
48.4	Regeleinrichtungen	445
48.4.1	Unstetig wirkende Regeleinrichtungen	445
48.4.1.1	Regelverhalten einer unstetigen Zweipunktregelstrecke in einem Kühlraum bei einem Einstellverhältnis 0,5	446
48.4.1.2	Regelung im einfachen Kältemittelkreislauf	447
48.4.2	Stetig wirkende Regeleinrichtungen	448
48.4.2.1	Proportionalregler	448
48.4.2.2	Integralregler	450
48.4.2.3	Proportional-Integral-Regler	452
48.4.2.4	Regeleinrichtungen	453
48.5	Regelstrecke	454
48.5.1	Regelstrecke mit Verzögerung erster Ordnung	454
48.5.2	Regelstrecke mit Verzögerung zweiter Ordnung	455
48.5.3	Regelstrecke ohne Ausgleich	456
48.6	Regelkreis	456
48.6.1	Verknüpfter Regelkreis	457
48.6.1.1	Folgeschaltung von Störgrößen	458
48.6.1.2	Kaskadenregelung mit dem elektronischen Expansionsventil	459
48.7	Regelung von Kältemittelverdichtern	461
48.7.1	Kolbenverdichter	461
48.7.1.1	Ein-Aus-Regelung	461
48.7.1.2	Regelung der Drehfrequenz	462
48.7.1.3	Aufteilung auf Kältemittelverdichter	462
48.7.1.4	Regelbare Kälteleistung bei Kolbenverdichtern	462
48.7.2	Umlaufkältemittelverdichter	466
48.7.2.1	Zellenverdichter	466
48.7.2.2	Schraubenverdichter	466
48.7.3	Turboverdichter	467
48.7.3.1	Saugdrosselregelung	467
48.7.3.2	Vordrallregelung	467
48.7.3.3	Diffusorregelung	467
48.7.3.4	Bypassregelung	467
48.8	Regelung von Verflüssigern	467
48.8.1	Verflüssigungsdruckregelung	468
48.8.2	Regelung von wassergekühlten Verflüssigern	468
48.8.2.1	Druckgeregelte Kühlwasserregler	468
48.8.2.2	Temperaturgeregelter Kühlwasserregler	469
48.8.3	Regelung von luftgekühlten Verflüssigern	470
48.8.3.1	Regelung des Luftstromes durch Lüfter	470
48.8.3.2	Regelung des Luftstromes durch Klappen	471
48.8.3.3	Kältemittelseitige Regelung	471

48.9	Regelung von Verdampfern	472
48.9.1	Regelung der Flüssigkeitszufuhr	473
48.9.2	Regelung überfluteter Verdampfer	473
48.9.2.1	Niederdruckschwimmerregler – mechanisch arbeitend	473
48.9.2.2	Hochdruckschwimmerregler – mechanisch arbeitend	474
48.9.2.3	Elektronischer Schwimmerregler	475
48.9.2.4	Elektronische Regelung für überfluteten Betrieb	476
48.9.2.5	Pilot-ND-Schwimmerregelung mit Expansionsventil	479
48.9.2.6	Pilot-HD-Schwimmerregelung mit Expansionsventil	480
48.10	Hochdruckschwimmerregler	480
48.10.1	Aufbau	481
48.10.2	Bemessen des Schwimmerreglers	483
48.11	Regelung für trockenen Betrieb	485
48.11.1	Automatisches Expansionsventil	485
48.11.2	Thermostatisches Expansionsventil	485
48.11.3	Elektronisches Expansionsventil	486
48.11.4	Regelung der Verdampfungstemperatur	487
48.11.5	Druckregler	487
48.12	Regelung der Kühlguttemperatur	489
48.12.1	Unstetige Regelung	489
48.12.2	Stetige Regelung	491
48.12.3	Stellglieder	492
49	Grundlagen der Strömung	493
49.1	Grundlagen für die Berechnung	494
49.1.1	k_v -Wert	496
49.1.2	Inkompressibler Volumstrom	498
49.1.3	Kompressibler überkritischer Volumstrom	498
49.1.4	Kompressibler unterkritischer Volumstrom	498
49.2	Berechnung der Kälteleistung mit dem k_v -Wert	500
50	Magnetventile	505
50.1	Grundsätzlicher Aufbau	505
50.2	Funktion	505
50.3	Direkte Steuerung	507
50.4	Servosteuerung	508
50.4.1	Servosteuerung mit Membrane	508
50.4.2	Servosteuerung mit Kolben	509
50.5	Funktionsstörungen	512
50.5.1	Magnetventil öffnet trotz erregter Spule nicht	512
50.5.2	Magnetventil schließt trotz unterbrochenem Stromkreis nicht	512
50.5.3	Magnetisierbare Verunreinigungen im Kältemittel	513
50.5.4	Verunreinigung hängend eingebauter Magnetventile	513
51	Stellantriebe	513
51.1	Elektrischer Stellantrieb	513
51.2	Elektrisches/hydraulisches Schnellschließsystem	516
51.3	Pneumatischer Stellantrieb	518
51.4	Elektrischer Stellantrieb <i>Danfoss GmbH</i>	518
51.4.1	Grundsätzliches	518
51.4.2	Funktion	519
51.4.3	Berechnung	519

52	Handgeregeltes Expansionsventil	520
52.1	Aufgaben und Funktion	520
52.2	Arbeitsweise in der Kälteanlage	521
53	Automatisches Expansionsventil	523
53.1	Grundsätzlicher Aufbau	524
53.2	Funktion	525
53.3	Arbeitsweise in der Kälteanlage	527
53.4	Automatisches Expansionsventil mit Bypass	528
54	Thermostatisches Expansionsventil	528
54.1	Grundsätzlicher Aufbau	529
54.2	Funktion	530
54.2.1	Arbeitsüberhitzung	532
54.2.2	Expansionsventil mit innerem Druckausgleich	541
54.2.3	Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich	545
54.2.4	Expansionsventil mit Druckbegrenzung	548
54.2.5	Anbringen von Fühlern	549
54.3	Arbeitsweise in der Kälteanlage	552
54.4	Ventilleistung	554
54.5	Nacheinspritzventil	559
54.6	Flüssigkeitsverteiler	561
54.6.1	Staudruckverteiler	561
54.6.2	Venturiverteiler	563
54.6.3	Verteiler in Kälteanlagen	565
54.6.4	Auswahl des Flüssigkeitsverteilers	566
54.6.5	Auswahl eines Flüssigkeitsverteilers für Heißdampf	568
55	Elektronisches Expansionsventil	569
55.1	Einspritzung durch Pulsweitenmodulation	569
55.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	569
55.1.2	Regelgerät	570
55.1.3	Regelsystem in Kälteanlagen	572
55.1.4	Ventilleistung	573
55.1.5	Leistungsbestimmung des elektronischen Expansionsventils AKV	574
55.2	Einspritzung durch stetige Regelung	577
55.2.1	Funktion	577
55.2.2	Regelkreis Kühler-Expansionsventil	578
55.2.3	Anforderungen an das praktische Regelverhalten	579
55.2.3.1	Elektronisches Expansionsventil bei schnellen Änderungen der Kälteleistung	579
55.2.3.2	Elektronisches Expansionsventil bei geringer Kühlerleistung	581
55.2.3.3	Elektronische Expansionsventile zur Anpassung an andere Betriebsbedingungen	582
55.2.3.4	Elektronisches Expansionsventil zur Erzielung kleiner Temperaturdifferenzen im Kühler	582
55.2.4	Grundsätzlicher Aufbau des elektronischen Regelventils TQ/PHTQ	583
55.2.5	Elektronisches Regelsystem in Kälteanlagen	584
55.2.6	Leistungsbestimmung des Expansionsventils TQ	585
56	Druckregelung	586
56.1	Verdampfungsdruckregler	586
56.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	586

56.1.2	Funktion des direkt gesteuerten Reglers	586
56.1.3	Verdampfungsdruckregler in Kälteanlagen	590
56.1.4	Leistungsbestimmung eines Verdampfungsdruckreglers	591
56.2	Saugdruckregler	593
56.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	594
56.2.2	Funktion des direkt gesteuerten Reglers	594
56.2.3	Saugdruckregler in Kälteanlagen	597
56.2.4	Leistungsbestimmung eines Saugdruckreglers	597
56.3	Leistungsregler	599
56.3.1	Grundsätzlicher Aufbau	599
56.3.2	Funktion des Leistungsreglers	600
56.3.3	Betriebspunkt der Reglerleistung	605
56.3.4	Leistungsregler in Kälteanlagen	606
56.3.5	Bestimmen der isentropen Verdichtungsendtemperatur	608
56.3.6	Leistungsregler im Regelkreis	608
56.3.7	Bestimmen des Leistungsreglers	610
56.4	Verflüssigungsdruckregler	612
56.4.1	Grundsätzlicher Aufbau	612
56.4.2	Funktion des direkt gesteuerten Reglers	612
56.4.3	Verflüssigungsdruckregler in Kälteanlagen	614
56.4.4	Bestimmung des Verflüssigungsdruckreglers	615
56.5	Druckgesteuerter Kühlwasserregler	616
56.5.1	Grundsätzlicher Aufbau	616
56.5.2	Funktion des druckgesteuerten Kühlwasserreglers	616
56.5.3	Druckgesteuerte Kühlwasserregler in Kälteanlagen	617
56.5.4	Bestimmen eines druckgesteuerten Kühlwasserreglers	620
56.6	Elektrisch betätigte Regler für die Verdampfungsleistung (<i>Siemens HVAC Products</i>)	622
56.6.1	Elektrisch betätigte Regelventile für Heißdampfbypass	622
56.6.2	Grundsätzlicher Aufbau	623
56.6.3	Montagetipps	624
56.6.4	Regler MVL661 für Regelung der Verdampfungsleistung	625
56.6.5	Regelung der Verdampfungsleistung durch Heißdampfbypass und Verteilventil	626
56.6.6	Regelung für Wärmenutzung	627
56.6.7	Regelventil für Regelung des Saugdruckes	627
56.6.8	Bestimmen eines Regelventils für Heißdampfbypass	629
57	Temperaturregelung	632
57.1	Saugseitige Temperaturregelung	632
57.1.1	Pilotgesteuerter Temperaturregler	635
57.1.2	Servogesteuerte Temperaturregler	635
57.1.3	Das Hauptventil	636
57.1.4	Die thermostatische Pilotregelung	638
57.2	Elektronische Temperaturregelung	640
57.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	640
57.2.1.1	Verdampfungsdruckventil KVQ	640
57.2.1.2	Regelgerät EKC 367	641
57.2.2	Funktion des elektronischen Regelsystems	641
57.2.3	Elektronisches Regelsystem in Kälteanlagen	642
57.2.4	Bestimmen des Verdampfungsdruckventils	644
57.2.5	Elektronisches Temperaturregelsystem CVQ	645
57.2.5.1	Pilotventil CVQ	646
57.2.5.2	Regelgerät EKC 361	647

57.3	Thermostate	648
57.3.1	Grundsätzlicher Aufbau	648
57.3.2	Funktion	649
57.3.2.1	Fühler mit Dampffüllung	650
57.3.2.2	Fühler mit Adsorptionsfüllung	651
57.3.2.3	Fühler mit Massenfällung	652
57.3.2.4	Die thermische Differenz	653
57.3.3	Thermostate in Kälteanlagen	653
57.3.4	Thermostate mit neutraler Zone	655
57.3.4.1	Grundsätzlicher Aufbau	655
57.3.4.2	Funktion	655
57.3.4.3	Thermostate mit neutraler Zone in Kälteanlagen	656
58	Absperrventile	657
58.1	Handbetätigtes Absperrventil	657
58.1.1	Absperrventil mit Membran	657
58.1.2	Grundsätzlicher Aufbau	657
58.1.3	Kugelabsperrventil	658
58.1.4	Handbetätigtes Absperrventil in Kälteanlagen	659
58.2	Rückschlagventil	662
58.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	662
58.2.2	Rückschlagventil in Kälteanlagen	663
59	Sichern von Kälteanlagen	668
59.1	Sicherheitsventile	668
59.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	669
59.1.2	Bemessen von Sicherheits- und Überströmventilen	671
59.1.2.1	Sicherheitsventile zum Schutz von Behältern	671
59.1.2.2	Sicherheitsventile zum Schutz von Kältemittelverdichtern	672
59.1.2.3	Sicherheitsventile in Kälteanlagen	672
59.2	Sicherheitsdruckwächter	674
59.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	674
59.2.2	Funktion	674
59.2.3	Sicherheitsdruckwächter in Kälteanlagen	676
59.3	Patronen-Druckschalter	677
59.4	Niederdruckschalter	678
59.4.1	Grundsätzlicher Aufbau	678
59.4.2	Niederdruckschalter in Kälteanlagen	678
59.5	Druckdifferenzschalter	679
59.5.1	Grundsätzlicher Aufbau	680
59.5.2	Druckdifferenzschalter in Kälteanlagen	680
60	Zubehör – Kontrollieren und Überwachen	683
60.1	Filtertrockner	683
60.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	683
60.1.2	Funktion	683
60.1.3	Filtertrockner in Kälteanlagen	684
60.2	Schauglas	686
60.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	686
60.2.2	Funktion	686
60.2.3	Schauglas in Kälteanlagen	687
60.3	Überhitzer (Wärmewechsler)	688
60.3.1	Grundsätzlicher Aufbau	688
60.3.2	Funktion	689

60.3.3	Überhitzer in Kälteanlagen	692
61	Kältemittel führende Rohrleitungen	695
61.1	Grundlagen	695
61.2	Planung	696
61.2.1	Druckdifferenz	697
61.2.2	Rückführung von Schmieröl	698
61.2.3	Schutz des Kältemittelverdichters	699
61.3	Berechnung Kältemittel führender Rohrleitungen	699
61.4	Rohrmaterial	701
61.5	Druckdifferenz	701
61.6	Geschwindigkeit	702
61.7	Kältemittelstrom	703
61.8	Berechnung der Saugleitung	704
61.9	Doppelsteigleitung	707
61.10	Berechnung der Druckleitung	711
61.11	Berechnung der Flüssigkeitsleitung	714
61.12	Berechnung der Verflüssigerleitung	718
61.13	Anordnung der Rohrleitungen	719
61.14	Schlussbemerkung	727
61.15	Tabellen	728
61.16	Berechnungsvordrucke	749
61.17	Berechnungen	752
62	Lösungen zu den Übungen	756
62.1	Kapitel 17	756
62.2	Kapitel 30	759
62.3	Kapitel 56	761
62.4	Kapitel 61	767
	Literaturverzeichnis	776
	Bildnachweis	777
	Stichwortregister	778