

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	Plattenwärmeübertrager 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	Zwangsbelüftete 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

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 Kühlmittelvolumenstrom	123
20.3.2	Parallelbetrieb mit variablem Kühlmittelvolumenstrom	124
20.3.3	Reihenschaltung mit gleichem Kühlmittelvolumenstrom	124
20.3.4	Reihenschaltung mit variablem Kühlmittelvolumenstrom.	124
20.4	Bestimmung von Koaxialkühlern.	125
20.5	Bestimmung von Bündelrohrverdampfern <i>APL Apparatebau GmbH</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	Wasservolumenstrom	237
31.3.4	Frischwasserbetrieb	238
31.3.5	Kühlturbetrieb	239
31.3.6	Zusatzwasservolumenstrom 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	Frischwasservolumenstrom	249
32.4.2	Änderung der Drehfrequenz	249
32.4.3	Verdunstungsbetrieb ohne Wasservolumenstrom	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>HKT GmbH</i>	304
35	Geräuschdämpfer	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 Volumenverhältnisses	334
37.1.3	Regelung der Kälteleistung	334
37.1.4	Schmierölsystem	336
37.1.5	Schmierölkreislauf	336
37.1.6	Kühlung des Schmierölvolumenstromes	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	Lager	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	Halbhermetischer Schraubenverdichter	346
37.4.1	Schmierölkreislauf	347
37.4.2	Leistungsverhalten	349
37.4.3	Liefergrad	349
37.4.4	Kältezahll	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	Turboverdichter Turbocor	357
38.7.1	Verdichterentwicklung	358
38.7.2	Einsatz- und Anwendungsbereich / Abmessungen und Gewicht	359
38.7.3	Aufbau und Funktion	360
38.7.4	Verdichtermagnetlager	361
38.7.5	Verdichtermotor und geregelte Kälteleistung	363
38.7.6	Zweistufige Zentrifugalverdichtung	367
38.7.7	Auswahl des Kältemittels	368
38.7.8	Leistungs- und Steuerelektronik	368
38.7.9	Energieeffizienz	371
38.7.10	Vorteile des Verdichters – Zusammenfassung	373
38.8	Vergleich der Kältemittelverdichter	373
39	Antriebsmotor für Kältemittelverdichter	374
39.1	Motoranlauf	375
39.2	Motorleistung und Verdichterkälteleistung	377
39.3	Motorschutz	378
40	Verflüssigungssätze	379
41	Kälteleistung von Kältemittelverdichtern (Tauchkolbenbauart)	382
41.1	Drehfrequenz	382
41.2	Verdampfungstemperatur	383
41.3	Verflüssigungstemperatur	384
41.4	Kältemittel und Verdichterleistung	386
41.5	Einsatzgrenzen für Kältemittelverdichter	387
42	Verdichternutzkälteleistung	390
42.1	Verdichterkälteleistung und Wärmestrom der Saugleitung	390
42.2	Leistungsangabe nach <i>EN 12900</i>	390
42.3	Parameter für die Kälteleistung	391
42.4	Wärmestrom in der Saugleitung	392
42.5	Nutzkälteleistung (Luftkühler)	392
42.6	Berechnung der Verdichternutzkälteleistung	394
43	Schmieröl in Kältemittelverdichtern	396
43.1	Allgemeines	396
43.1.1	Löslichkeit von Kältemittel in Schmieröl	398
43.1.2	Viskosität von Schmieröl im Verdampfer	399
43.2	Rückführung von Schmieröl	399
43.2.1	Direktverdampfung	399
43.2.2	Überflutete Kühler	400
43.2.3	Flüssigkeitsschichten	400
43.3	Schmieröl im Kurbelwellengehäuse	402
43.4	Kältemittelmasse und Schmieröl	404
43.5	Maßnahmen	404
43.5.1	Heizung im Kurbelwellengehäuse	404

43.5.2	Abpumpschaltung	404
44	Kältemittelverdichter im Verbundbetrieb	405
44.1	Allgemeines	405
44.1.1	Kälteleistung	406
44.1.2	Geregelte Kälteleistung	406
44.1.3	Not- bzw. Reservebetrieb	406
44.2	Schmieröl- und Dampfausgleich, kombiniert	406
44.2.1	Dampfausgleich	407
44.2.2	Kontrolle des Ölstands	407
44.2.3	Saugsmelleitung	408
44.2.4	Drucksammelleitung	408
44.3	Abpumpschaltung	409
44.4	Ölabscheider	409
44.4.1	Arbeitsweise	410
44.4.2	Montage	410
44.4.3	Auswahl	411
44.4.4	Auswahl für Verbundkälteanlagen	412
44.5	Regelsystem für Schmieröl	416
44.5.1	Verlegen der Rückleitung zwischen Ölsammler und Regler	419
44.5.2	Verbundkälteanlagen mit Kapseln	421
44.6	Flüssigkeitsabscheider	424
44.6.1	Allgemeines	424
44.6.2	Anwendung	425
44.6.3	Kältemittelaufnahme	426
44.6.4	Minimale Verdampfungstemperatur	426
44.6.5	Maximale Leistung	427
44.6.6	Flüssigkeitsabscheider im Verbundbetrieb	427
44.6.7	Auswahl	428
44.6.8	Montagetipps	430
45	Druckdifferenzen in Kälteanlagen	430
45.1	Bemessung und Installation	431
45.2	Luftgekühlte Wärmeübertrager	432
45.3	Druckdifferenzen einer einstufig arbeitenden Kälteanlage im $lg\ p, h$ -Diagramm	432
45.4	Druckdifferenz und Angebot	434
46	Aqua Turbo Wasserkühlmaschine	435
46.1	Grundsätzliches	435
46.2	Bauweise	435
46.3	Eigenschaften-Kälteleistung	436
46.4	Geregelte Kälteleistung	437
46.5	Kältezahl der Aqua Turbo Wasserkühlmaschine	437
46.6	Arbeitsweise	438
46.7	Hydraulische Einbindung der Wasserkühlmaschine in den Kalt- und Kühlwasserkreislauf	439
47	Binäreis – ein zweiphasiger Kälteträger	440
47.1	Grundlegendes	440
47.2	Binäreis	440
47.3	Erzeugung von Binäreis	440
47.3.1	FLO-ICE-Verfahren	441
47.3.2	Vakuumeis-Verfahren	442
47.4	Einsatzgebiete für Binäreisanlagen	444

47.5	Vor- und Nachteile von Binäreis	445
47.5.1	Vorteile	445
47.5.2	Nachteile von Binäreis	447
47.6	Anwendungen	448
47.6.1	Grundsaltungen	448
47.6.2	Eis- und Pufferspeicher	449
47.6.2.1	Eisspeicher	449
47.6.2.2	Pufferspeicher	449
47.6.3	Binäreis in der Klimatechnik	450
47.6.4	Supermarkt	451
47.6.5	Lebensmittelindustrie	451
48	Steuern und Regeln in der Kälteanlage	452
48.1	Steuerung	454
48.2	Steuerung einer elektrischen Abtauung in einem Luftkühler (Zeitplansteuerung)	455
48.3	Regelung	456
48.3.1	Regelgröße	458
48.3.2	Stellgröße	458
48.3.3	Störgröße	458
48.3.4	Führungsgröße	458
48.3.5	Regelstrecke	458
48.3.6	Regler	459
48.3.7	Stellglied	459
48.3.8	Regelkreis	459
48.4	Regeleinrichtungen	460
48.4.1	Unstetig wirkende Regeleinrichtungen	460
48.4.1.1	Regelverhalten einer unstetigen Zweipunktregelstrecke in einem Kühlraum bei einem Einstellverhältnis 0,5	461
48.4.1.2	Regelung im einfachen Kältemittelkreislauf	462
48.4.2	Stetig wirkende Regeleinrichtungen	463
48.4.2.1	Proportionalregler	463
48.4.2.2	Integralregler	465
48.4.2.3	Proportional-Integral-Regler	467
48.4.2.4	Regeleinrichtungen	468
48.5	Regelstrecke	469
48.5.1	Regelstrecke mit Verzögerung erster Ordnung	469
48.5.2	Regelstrecke mit Verzögerung zweiter Ordnung	470
48.5.3	Regelstrecke ohne Ausgleich	471
48.6	Regelkreis	471
48.6.1	Verknüpfter Regelkreis	472
48.6.1.1	Folgeschaltung von Störgrößen	473
48.6.1.2	Kaskadenregelung mit dem elektronischen Expansionsventil	474
48.7	Regelung von Kältemittelverdichtern	476
48.7.1	Kolbenverdichter	476
48.7.1.1	Ein-Aus-Regelung	476
48.7.1.2	Regelung der Drehfrequenz	477
48.7.1.3	Aufteilung auf Kältemittelverdichter	477
48.7.1.4	Regelbare Kälteleistung bei Kolbenverdichtern	477
48.7.2	Umlaufkältemittelverdichter	481
48.7.2.1	Zellenverdichter	481
48.7.2.2	Schraubenverdichter	481
48.7.3	Turboverdichter	482
48.7.3.1	Saugdrosselregelung	482

48.7.3.2	Vordrallregelung	482
48.7.3.3	Diffusorregelung	482
48.7.3.4	Bypassregelung	482
48.8	Regelung von Verflüssigern	482
48.8.1	Verflüssigungsdruckregelung	483
48.8.2	Regelung von wassergekühlten Verflüssigern	483
48.8.2.1	Druckgeregelte Kühlwasserregler	483
48.8.2.2	Temperaturgeregelter Kühlwasserregler	484
48.8.3	Regelung von luftgekühlten Verflüssigern	485
48.8.3.1	Regelung des Luftvolumenstromes durch Lüfter	485
48.8.3.2	Regelung des Luftvolumenstromes durch Klappen	486
48.8.3.3	Kältemittelseitige Regelung	486
48.9	Regelung von Verdampfern	487
48.9.1	Regelung der Flüssigkeitszufuhr	488
48.9.2	Regelung überfluteter Verdampfer	488
48.9.2.1	Niederdruckschwimmerregler – mechanisch arbeitend	488
48.9.2.2	Hochdruckschwimmerregler – mechanisch arbeitend	489
48.9.2.3	Elektronischer Schwimmerregler	490
48.9.2.4	Elektronische Regelung für überfluteten Betrieb	491
48.9.2.5	Pilot-ND-Schwimmerregelung mit Expansionsventil	495
48.9.2.6	Pilot-HD-Schwimmerregelung mit Expansionsventil	496
48.10	Hochdruckschwimmerregler	496
48.10.1	Aufbau	497
48.10.2	Bemessen des Schwimmerreglers	499
48.11	Regelung für trockenen Betrieb	501
48.11.1	Automatisches Expansionsventil	501
48.11.2	Thermostatisches Expansionsventil	501
48.11.3	Elektronisches Expansionsventil	502
48.11.4	Regelung der Verdampfungsstemperatur	503
48.11.5	Druckregler	503
48.12	Regelung der Kühlguttemperatur	505
48.12.1	Unstetige Regelung	505
48.12.2	Stetige Regelung	507
48.12.3	Stellglieder	508
49	Grundlagen der Strömung	509
49.1	Grundlagen für die Berechnung	510
49.1.1	k_V -Wert	512
49.1.2	Inkompressibler Volumenstrom	514
49.1.3	Kompressibler überkritischer Volumenstrom	514
49.1.4	Kompressibler unterkritischer Volumenstrom	514
49.2	Berechnung der Kälteleistung mit dem k_V -Wert	516
50	Magnetventile	521
50.1	Grundsätzlicher Aufbau	521
50.2	Funktion	521
50.3	Direkte Steuerung	523
50.4	Servosteuerung	524
50.4.1	Servosteuerung mit Membrane	524
50.4.2	Servosteuerung mit Kolben	525
50.5	Funktionsstörungen	528
50.5.1	Magnetventil öffnet trotz erregter Spule nicht	528
50.5.2	Magnetventil schließt trotz unterbrochenem Stromkreis nicht	528
50.5.3	Magnetisierbare Verunreinigungen im Kältemittel	529

50.5.4	Verunreinigung hängend eingebauter Magnetventile	529
51	Stellantriebe	529
51.1	Elektrischer Stellantrieb	529
51.2	Elektrisches/hydraulisches Schnellschließsystem	532
51.3	Pneumatischer Stellantrieb.	534
51.4	Motorgesteuerte Regelventile <i>Danfoss GmbH</i>	534
51.4.1	Grundsätzliches.	534
51.4.2	Funktion.	535
51.4.3	Berechnung	536
51.5	Kühlstellenregelung <i>Danfoss GmbH</i>	536
51.5.1	Vorteile (Auszug) der Kühlstellenregelung.	536
51.5.2	Arbeitsweise	537
51.5.3	Funktionen	537
51.5.4	Anwendungen.	537
51.5.5	Kühlbetrieb	538
51.5.6	Temperaturregelung.	538
51.5.7	Temperaturüberwachung.	538
51.5.8	Abtauung.	539
51.5.9	Heißdampfabtauung	539
51.5.10	Regelung von zwei Kältemittelverdichtern.	539
51.5.11	Lüfter	540
51.5.12	Beleuchtungsfunktion	540
52	Handgeregeltes Expansionsventil	541
52.1	Aufgaben und Funktion	541
52.2	Arbeitsweise in der Kälteanlage	542
53	Automatisches Expansionsventil	544
53.1	Grundsätzlicher Aufbau	545
53.2	Funktion.	546
53.3	Arbeitsweise in der Kälteanlage	548
53.4	Automatisches Expansionsventil mit Bypass	549
54	Thermostatisches Expansionsventil	549
54.1	Grundsätzlicher Aufbau	550
54.2	Funktion.	551
54.2.1	Arbeitsüberhitzung.	553
54.2.2	Expansionsventil mit innerem Druckausgleich	562
54.2.3	Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich.	566
54.2.4	Expansionsventil mit Druckbegrenzung	569
54.2.5	Anbringen von Fühlern.	570
54.3	Arbeitsweise in der Kälteanlage	573
54.4	Ventilleistung	575
54.5	Nacheinspritzventil	580
54.6	Flüssigkeitsverteiler.	582
54.6.1	Staudruckverteiler.	582
54.6.2	Venturiverteiler.	584
54.6.3	Verteiler in Kälteanlagen	586
54.6.4	Auswahl des Flüssigkeitsverteilers	587
54.6.5	Auswahl eines Flüssigkeitsverteilers für Heißdampf.	589
55	Elektronisches Expansionsventil	590
55.1	Einspritzung durch Pulsweitenmodulation.	590
55.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	590

55.1.2	Regelgerät	591
55.1.3	Regelsystem in Kälteanlagen	593
55.1.4	Ventilleistung	594
55.1.5	Leistungsbestimmung des elektronischen Expansionsventils AKV	595
55.2	Einspritzung durch stetige Regelung.	598
55.2.1	Funktion.	598
55.2.2	Regelkreis Kühler-Expansionsventil	599
55.2.3	Anforderungen an das praktische Regelverhalten.	600
55.2.3.1	Elektronisches Expansionsventil bei schnellen Änderungen der Kälteleistung.	600
55.2.3.2	Elektronisches Expansionsventil bei geringer Kühlerleistung . . .	602
55.2.3.3	Elektronische Expansionsventile zur Anpassung an andere Betriebsbedingungen.	603
55.2.3.4	Elektronisches Expansionsventil zur Erzielung kleiner Temperaturdifferenzen im Kühler.	603
55.2.4	Grundsätzlicher Aufbau des Expansionsventils ETS mit Schrittmotor	604
55.2.5	Elektrisch betriebene Expansionsventile in Kälteanlagen	605
55.2.6	Leistungen des Expansionsventils ETS	606
56	Druckregelung.	607
56.1	Verdampfungsdruckregler	607
56.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	607
56.1.2	Funktion des direkt gesteuerten Reglers.	608
56.1.3	Verdampfungsdruckregler in Kälteanlagen	611
56.1.4	Leistungsbestimmung eines Verdampfungsdruckreglers.	612
56.2	Saugdruckregler	614
56.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	615
56.2.2	Funktion des direkt gesteuerten Reglers.	615
56.2.3	Saugdruckregler in Kälteanlagen	618
56.2.4	Leistungsbestimmung eines Saugdruckreglers	618
56.3	Leistungsregler	620
56.3.1	Grundsätzlicher Aufbau	620
56.3.2	Funktion des Leistungsreglers	621
56.3.3	Betriebspunkt der Reglerleistung	626
56.3.4	Leistungsregler in Kälteanlagen	627
56.3.5	Bestimmen der isentropen Verdichtungsendtemperatur.	629
56.3.6	Leistungsregler im Regelkreis.	629
56.3.7	Bestimmen des Leistungsreglers	631
56.4	Verflüssigungsdruckregler	633
56.4.1	Grundsätzlicher Aufbau	633
56.4.2	Funktion des direkt gesteuerten Reglers.	633
56.4.3	Verflüssigungsdruckregler in Kälteanlagen	635
56.4.4	Bestimmung des Verflüssigungsdruckreglers	636
56.5	Druckgesteuerter Kühlwasserregler	637
56.5.1	Grundsätzlicher Aufbau	637
56.5.2	Funktion des druckgesteuerten Kühlwasserreglers	637
56.5.3	Druckgesteuerte Kühlwasserregler in Kälteanlagen	638
56.5.4	Bestimmen eines druckgesteuerten Kühlwasserreglers	641
56.6	Elektrisch betätigte Regler für die Verdampfungsleistung (<i>Siemens AG</i>)	643
56.6.1	Elektrisch betätigte Regelventile für Heißdampfbypass	643
56.6.2	Grundsätzlicher Aufbau	644

56.6.3	Montagetipps	645
56.6.4	Regler MVL661 für Regelung der Verdampfungsleistung	646
56.6.5	Regelung der Verdampfungsleistung durch Heißdampfbypass und Verteilventil.	647
56.6.6	Regelung für Wärmenutzung	648
56.6.7	Regelventil für Regelung des Saugdruckes	648
56.6.8	Bestimmen eines Regelventils für Heißdampfbypass	650
57	Temperaturregelung	653
57.1	Saugseitige Temperaturregelung	653
57.1.1	Pilotgesteuerter Temperaturregler	656
57.1.2	Servogesteuerte Temperaturregler	656
57.1.3	Das Hauptventil.	657
57.1.4	Die thermostatische Pilotregelung	659
57.2	Elektronische Temperaturregelung	661
57.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	661
57.2.1.1	Verdampfungsdruckventil KVS.	661
57.2.1.2	Regelgerät EKC 368.	662
57.2.2	Funktion des elektronischen Regelsystems	663
57.2.3	Elektronisches Regelsystem in Kälteanlagen.	664
57.3	Thermostate	665
57.3.1	Grundsätzlicher Aufbau	665
57.3.2	Funktion.	666
57.3.2.1	Fühler mit Dampffüllung	666
57.3.2.2	Fühler mit Adsorptionsfüllung.	668
57.3.2.3	Fühler mit Massenfüllung.	669
57.3.2.4	Die thermische Differenz	670
57.3.3	Thermostate in Kälteanlagen.	670
57.3.4	Thermostate mit neutraler Zone	672
57.3.4.1	Grundsätzlicher Aufbau	672
57.3.4.2	Funktion.	672
57.3.4.3	Thermostate mit neutraler Zone in Kälteanlagen	673
58	Absperrventile	674
58.1	Handbetätigtes Absperrventil	674
58.1.1	Absperrventil mit Membran.	674
58.1.2	Grundsätzlicher Aufbau	674
58.1.3	Kugelabsperrentil	675
58.1.4	Handbetätigtes Absperrventil in Kälteanlagen	676
58.2	Rückschlagventile	679
58.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	679
58.2.2	Rückschlagventile in Kälteanlagen	680
59	Sichern von Kälteanlagen.	685
59.1	Sicherheitsventile	685
59.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	686
59.1.2	Bemessen von Sicherheits- und Überströmventilen	688
59.1.2.1	Sicherheitsventile zum Schutz von Behältern	688
59.1.2.2	Sicherheitsventile zum Schutz von Kältemittelverdichtern	689
59.1.2.3	Sicherheitsventile in Kälteanlagen.	689
59.2	Sicherheitsdruckwächter.	691
59.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	691
59.2.2	Funktion.	691
59.2.3	Sicherheitsdruckwächter in Kälteanlagen.	693

59.3	Patronen-Druckschalter	694
59.4	Niederdruckschalter	695
59.4.1	Grundsätzlicher Aufbau	695
59.4.2	Niederdruckschalter in Kälteanlagen	695
59.5	Druckdifferenzschalter	696
59.5.1	Grundsätzlicher Aufbau	697
59.5.2	Druckdifferenzschalter in Kälteanlagen	697
60	Zubehör – Kontrollieren und Überwachen	700
60.1	Filtertrockner	700
60.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	700
60.1.2	Funktion	700
60.1.3	Filtertrockner in Kälteanlagen	701
60.2	Schauglas	703
60.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	703
60.2.2	Funktion	703
60.2.3	Schauglas in Kälteanlagen	704
60.3	Überhitzer (Wärmeübertrager)	705
60.3.1	Grundsätzlicher Aufbau	705
60.3.2	Funktion	706
60.3.3	Überhitzer in Kälteanlagen	709
61	Kältemittel führende Rohrleitungen	712
61.1	Grundlagen	712
61.2	Planung	713
61.2.1	Druckdifferenz	714
61.2.2	Rückführung von Schmieröl	715
61.2.3	Schutz des Kältemittelverdichters	716
61.3	Berechnung Kältemittel führender Rohrleitungen	716
61.4	Rohrmaterial	718
61.5	Druckdifferenz	718
61.6	Geschwindigkeit	719
61.7	Kältemittelvolumenstrom	720
61.8	Berechnung der Saugleitung	721
61.9	Doppelsteigleitung	724
61.10	Berechnung der Druckleitung	728
61.11	Berechnung der Flüssigkeitsleitung	731
61.12	Berechnung der Verflüssigerleitung	735
61.13	Anordnung der Rohrleitungen	736
61.14	Schlussbemerkung	744
61.15	Tabellen	745
61.16	Berechnungsvordrucke	766
62	Lösungen zu den Übungen	773
62.1	Kapitel 17	773
62.2	Kapitel 30	776
62.3	Kapitel 56	778
62.4	Kapitel 61	784
	Bildnachweis	793
	Literaturverzeichnis	794
	Stichwortregister	796