SVK ASF ATF

Schweizerischer Verband
für Kältetechnik

Kältesystem-Monteurin
Kältesystem-Monteur
Kälteplanerin
Kälteplaner
EFZ

Kältetechnik
für das 3. und 4. Lehrjahr

dieses Lehrmittel gehört:

Impressum

Hinweise zum Lehrmittel:

Im gesamten Lehrmittel wird die männliche Form verwendet. Dies dient der einfacheren Lesbarkeit und soll keinesfalls die weiblichen Fachpersonen (von denen es in der Kältebranche leider immer noch nicht viele gibt) diskriminieren.

Verfasser:

Visconsil AG

Brambergstr. 18a
3176 Neuenegg

Tel.: +41 31 742 10 00
Fax: +41 31 742 10 01
E-Mail: visconsil@bluewin.ch

im Auftrag:

SVK ASF ATF
Schweizerischer Verband für Kältetechnik

Schweizerischer Verein für Kältetechnik
Eichistrasse 1
6055 Alpnach Dorf

Tel.: +41 41 670 30 45
Fax: +41 41 670 30 46
E-Mail: info@svk.ch
Internet: www.svk.ch

Essenz:

In diesen blauen Feldern findet sich jeweils die Kernaussage zum Thema

mathematische Formeln:

diese braunen Felder beinhalten jeweils benötigte Formeln.

Erläuterungen zu Bildern finden sich in solchen hellbraunen Feldern

Dieses Lehrmittel dient als Unterstützung im Fachkundeunterricht „Kältetechnik“ oder bei kältetechnischen Seminaren und Kursen. Es eignet sich weniger als autodidaktische Lernhilfe für Personen, welche keinerlei kältetechnische Vorbildung besitzen.

Artikelnummer: **0918-128**
Titelbild: Hirscha

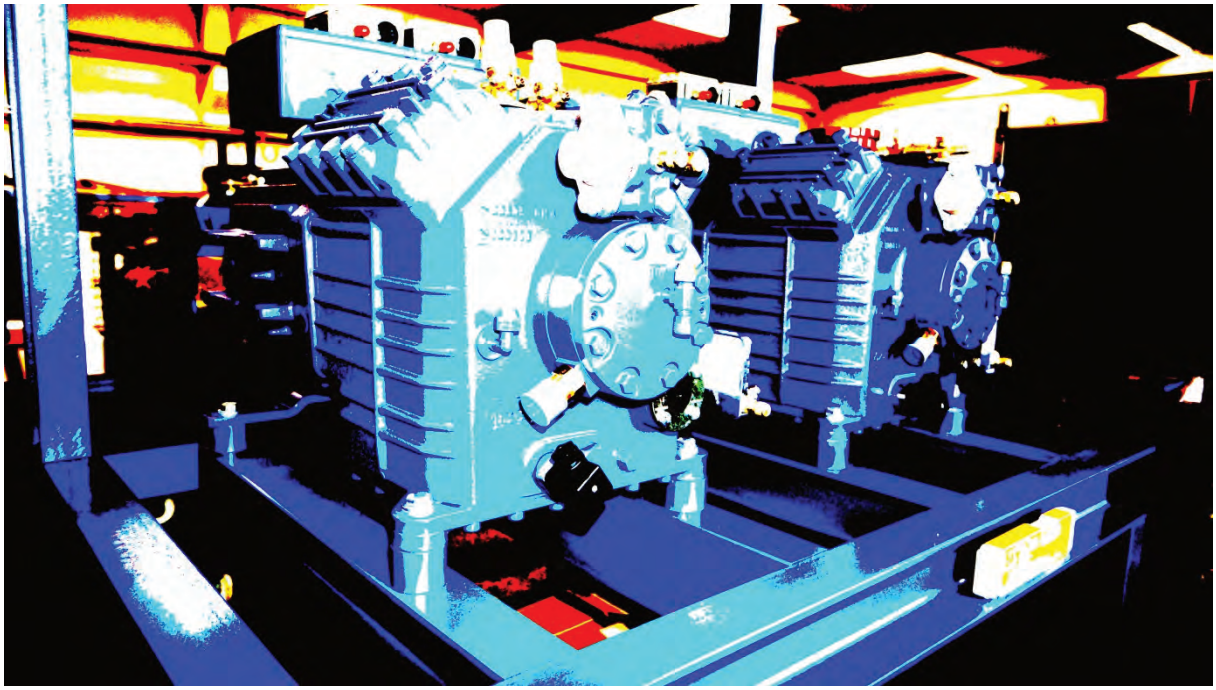
Unterstützt durch:

Bundesamt für Energie BFE

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI

Alle in diesem Lehrmittel abgebildeten Blockschemas dienen dem Verständnis. Sie enthalten jeweils nur die für das entsprechende Kapitel relevanten Apparate und Einrichtungen, um die Funktion möglichst verständlich aufzuzeigen. Insbesondere fehlen Sicherheitseinrichtungen, welche bei der technischen Umsetzung natürlich geplant und vorhanden sein müssen.



Inhaltsverzeichnis

1 h, x - Diagramm 17

1.1 Luft; Atmosphäre ... 17

1.1.1 Feuchtigkeitaufnahme der Luft 21
1.1.2 Luft in der kalorischen Rechnung (Kältebedarfsrechnung) 21
1.1.3 Klima, Definition 22
1.1.4 Hitze - Index 23
1.1.5 Windchill - Temperatur (WCT) 24
1.1.6 Psychrometertafel 26

1.2 Aufbau des h, x – Diagramms ... 27

1.2.1 Isothermen 28
1.2.2 Absolute Feuchte: effektiver Wassergehalt 28
1.2.3 Dampfdruckskala 28
1.2.4 Taupunkttemperatur (Sättigungstemperatur) 29
1.2.5 Linien mit konstanter relativer Feuchte 29
1.2.6 Isenthalpen 30
1.2.7 Feuchtkugeltemperatur 30
1.2.8 Isochoren 32

1.3 h, x – Diagramm nach Mollier ... 35

1.3.1 Bereich: -35°C bis +70°C 35
1.3.2 Bereich +30°C bic +240°C 36
1.3.3 Bereich -50°C bis 0°C 37
1.3.4 Verlauf der ISO-Linien im h, x – Diagramm 38

1.4 Psychrometrisches Diagramm nach Carrier ... 38

1.5 Zusatndsänderungen im h, x - Diagramm ... 39

1.5.1 Isothermer Vorgang 40
1.5.2 Adiabater Vorgang 40
1.5.3 Wärmeinhalt der Luft 41

2 Regeltechnik 43

2.1 Steuerung / Regulierung ... 43

2.1.1 Steuerung 43
2.1.2 Regulierung 44
2.1.3 geführte Regulierung 46
2.1.4 Steuerung / Regulierung 47

2.2 Regel- und steuertechnische Definitionen ... 48

2.3 regeltechnische Übertragungsglieder 50
2.3.1 P-Regler 50
2.3.2 P-Regler im Kältekreislauf 53
2.3.3 I-Regler 54
2.3.4 PI-Regler 55
2.3.5 D-Glied 56
2.3.6 Totzeit-Glied 56
2.3.7 Sprungantworten der regeltechnischen Übertragungsglieder 57
2.3.8 Unterscheidungsmerkmale der Regler 58
2.3.9 Regelglieder im Vergleich 60
2.3.10 Vergleich mechanischer / elektronischer Regler 61
2.3.11 Kälteanlage mit Kommunikation 62
2.3.12 adaptive (selbstlernende) Regulierung 63
2.3.13 Trendanalyse 64

3 Kälteöl 66

3.1 Öl im Kältekreislauf 67
3.2 Mischungslücke 68
3.3 Ersatz des Kälteöles 70
3.4 Öldruck- und Ölstandüberwachung 71
3.4.1 Öldrucküberwachung 71
3.4.2 Aufbau des mechanischen Öldifferenzdruckpressostaten 72
3.4.3 Ölstandüberwachung 73
3.5 Gebräuchliche Kälteöle 74
3.5.1 Kälteöle für Kältemittel der Gruppe H-FKW 74
3.5.2 Kälteöle für Kältemittel der Gruppe KW 74
3.5.3 Kälteöle für Kältemittel der Gruppe FCKW und H-FCKW 74
3.5.4 Kälteöle für Ammoniak (nicht mischbar) 75
3.5.5 Kälteöle für Ammoniak (mischbar) 75
3.5.6 Kälteöle für Kohlendioxyd (R744) 75
3.6 Physikalische und chemische Kenndaten von Kälteölen 75
3.6.1 Beständigkeit gegenüber Kältemittel 75
3.6.2 Chemische Stabilität 76
3.6.3 Thermische Stabilität 77
3.6.4 Prüfung von Kältemaschinenölen auf Ammoniakbeständigkeit 77
3.6.5 Viskosität 78

4 Ölhaushalt 80

4.1 Ölabscheider 81

4.1.1 Demisterabscheider 81
4.1.2 Zyklon- oder Zentrifugalabscheider 82
4.1.3 Glasabscheider (Coalescent-Abscheider) 83
4.1.4 Ölabscheider im System (ohne Niveauregulierung) 84
4.1.5 Ölabscheider in der Verbundanlage (ohne Niveauregulierung) 84

4.2 Ölniveauregulierung ... 85

4.2.1 Verbundanlage mit Ölniveauregulierung (ND - Schwimmer) 86
4.2.2 Verbundanlage mit Ölniveauregulierung (HD - Schwimmer) 88
4.2.3 Verbundanlage mit Ölniveauregulierung (NDS) ohne Δp-Ventil 89

4.3 Schraubenverdichter mit Ölabscheider und Ölkühler ... 91

5 Hauptkomponenten: Berechnungsgrundlagen 92

5.1 Wärmefluss ... 93

5.2 Verdichter ... 94

5.2.1 Teillastverhalten 95
5.2.2 Verdichterbetrieb unterhalb seiner Einsatzgrenzen 98
5.2.3 Verdichterbetrieb oberhalb seiner Einsatzgrenzen 99

5.3 Verflüssiger ... 100

5.3.1 Wärmetausch 102
5.3.2 Temperaturverlauf durch den luftgekühlten Verflüssiger 103
5.3.3 Lufttemperatur nach der Enthitzung 104
5.3.4 Abhängigkeit des c-Wertes von Form und Verlauf der Nassdampfkurve 106
5.3.5 Vorgehen zur Ermittlung des Temperaturverlaufs 107
5.3.6 Flächenverhältnis Innen- zu Aussenfläche 108
5.3.7 Flächenanteile für Enthitzung & Kondensation 109

5.4 Drosselorgan ... 110

5.5 Verdampfer ... 112

5.5.1 Verdampfer normaler Grösse 113
5.5.2 Verdampfer mit kleiner Fläche 114
5.5.3 Verdampfer mit grosser Fläche 115

6 Nebenkomponenten 116

6.1 Filtertrockner ... 116

6.1.1 Filtertrockner für HFO-Kältemittel 118
6.1.2 Kapillartrockner 119
6.1.3 Einwegtrockner 119
6.1.4 Filtergehäuse 120
6.1.5 Filtertrockner für den Fahrzeugmarkt 120
6.1.6 Montage 120

6.1.7 Filter in der Saugleitung 121

6.2 Schauglas ... 123

6.3 Sammler ... 125

6.3.1 Rohrbündelverflüssiger 126
6.3.2 Anordnung des Sammlers 126
6.3.3 Berechnung der benötigten Unterkühlung 127
6.3.4 Unterkühlung durch Sammler und Flüssigkeitsleitung 128
6.3.5 Massnahmen zum Vergrössern der Unterkühlung 129
6.3.6 Berechnung der geometrischen Werte 131
6.3.7 Berechnung des benötigten Sammlervolumens 132

6.4 Magnetventil ... 134

6.4.1 direkt angetriebene Magnetventile 135
6.4.2 Motorventile 135
6.4.3 Servo gesteuerte Magnetventile 136
6.4.4 Pilot gesteuerte Magnetventile 138
6.4.5 Dreiwegeventile 139
6.4.6 Vierwegeventile 141

6.5 Sekundärregler ... 144

6.6 Verdampferdruckregler ... 145

6.6.1 Arbeitsweise des Verdampferdruckreglers 146
6.6.2 Aufgabe des Verdampferdruckreglers 147
6.6.3 mögliche Ziele 147
6.6.4 Funktion des Verdampferdruckreglers 149
6.6.5 Temperaturregulierung 150
6.6.6 Verdampferdruckregler im log p, h-Diagramm 151
6.6.7 Anlage mit zwei Kühlstellen unterschiedlicher Temperatur 152

6.7 Verflüssigerdruckregler ... 153

6.7.1 Arbeitsweise des Verflüssigerdruckreglers 154
6.7.2 Aufgabe des Verflüssigerdruckreglers 155
6.7.3 mögliche Ziele 156
6.7.4 Funktion des Verflüssigerdruckreglers 157
6.7.5 Verflüssigerdruckregler nach dem Verflüssiger 158
6.7.6 Verflüssigerdruckregler vor dem Verflüssiger 159
6.7.7 Verflüssigerdruckregler als Dreiwegeventil 160
6.7.8 Auswirkungen der Verflüssigerdruckregulierung auf den COP 161
6.7.9 Berechnung der neuen Laufzeit nach Anhebung von tc 163

6.8 Differenzdruckregler ... 164

6.9 Startregler ... 165

6.9.1 Funktion des Startreglers 167

6.10 Leistungsregler ... 168
6.10.1 Leistungsregler mit Nachspritzventil 168
6.10.2 Funktion des Leistungsreglers 169
6.10.3 Leistungsregler ohne Nachspritzventil 171
6.11 Rückschlagventil ... 172
6.12 Wassersparventil ... 173
6.13 Sekundärregler: Zusammenfassung ... 174

7 Hydrodynamik (Strömungslehre) 175

7.1 Grundlagen ... 177
7.1.1 Satz von Bernoulli 177
7.1.2 Bernoulli'sche Gleichung 178
7.1.3 erweiterte Bernoulli'sche Gleichung 178
7.2 Reibungsbedingte Druckdifferenzen (Grundlagen) ... 180
7.2.1 Reynold'sche Zahl 180
7.2.2 dynamischer Druck 181
7.2.3 Rauigkeit 182
7.2.4 gleichwertiger Durchmesser 182
7.2.5 Rohrreibungsbeiwert λ (Lambda) 183
7.2.6 Strömungsgeschwindigkeit 184
7.2.7 Bestimmen der Druckdifferenz in durchströmten Leitungen 185
7.3 Vorgehen zum Bestimmen der Reibungsverluste ... 186
7.4 Reibungsbedingte Druckdifferenzen in Kälteleitungen ... 187
7.4.1 Dichte des Saugdampfes 188
7.4.2 Dichte des Heissdampfes 189
7.4.3 Dichte des Kondensates 189
7.4.4 Dichte des flüssigen Kältemittels 190
7.5 Auslegung der Kälteleitung über die Geschwindigkeit ... 191
7.5.1 Druckdifferenz in der Saudampfleitung 191
7.5.2 Druckdifferenz in der Heissdampfleitung 192
7.5.3 Druckdifferenz in der Flüssigkeitsleitung 192
7.5.4 Bestimmung der Leitungsdimension 192
7.6 Einzelwiderstände ... 193
7.6.1 kv-Wert 193
7.6.2 Zeta-Wert 194
7.6.3 Gleichwertige Länge 194
7.7 geodätische Druckdifferenzen ... 195

7.8 benötigte Unterkühlung in der Flüssigkeitsleitung 196

7.9 Bestimmung der Doppelsteigleitung 197

7.10 Druckdifferenzen in der Kälteanlage 197

8 Hydraulik 198

8.1 Wärmetransport über ein Sekundärsystem 199

8.2 Sekundärmedien 199

8.2.1 Stockpunkt 200
8.2.2 Wärmeleitwert λ 200
8.2.3 Viskosität 200
8.2.4 spezifische Wärmekapazität 200
8.2.5 Stabilität 200
8.2.6 toxikologische Eigenschaften 200
8.2.7 Wasser als Sekundärmedium 201
8.2.8 Sole als Sekundärmedium 201
8.2.9 Alkohol als Sekundärmedium: Glykol; Ethanol; Methanol; etc. 201
8.2.10 Kohlendioxyd (CO_2) als Kälteträger 203
8.2.11 Binäreis; Flo-Ice 204
8.2.12 Kältemittel als Kälteträger 206

8.3 Ausdehnung und Kontraktion des Sekundärmediums 207

8.4 Typen von Sekundärsystemen 208

8.5 offenes System 209

8.6 geschlossenes System 210

8.6.1 Ausdehnungsgefäss; Expansionsgefäss 211
8.6.2 Vordruck des Gaspolsters im Expansionsgefäss 212
8.6.3 Dimensionierung des Expansionsgefässes 213
8.6.4 Einbauort des Expansionsgefässes 214
8.6.5 automatische Expansionsgefässe 215

8.7 sensibel arbeitende Systeme 216

8.8 latent arbeitende Systeme 218

8.9 Kavitation 219

8.10 Netzkennlinie 220

8.11 Pumpenkennlinie 222

8.12 Netzkennlinie & Pumpenkennlinie 222

8.13 hydraulische Weiche 223

8.14 hydraulische Grundschaltungen 224

8.14.1 Sekundärsystem mit Speicher 225
8.14.2 Sekundärsystem mit Speicher und geregelter Kühlstelle 226
8.14.3 Sekundärsystem mit zwei individuell geregelten Kühlstellen 227
8.14.4 Sekundärsystem mit geregelter Erzeuger- wie Verbraucherseite 227

8.15 hydraulischer Abgleich ... 228

8.15.1 Einregulierung durch Drosselung 229
8.15.2 Einregulierung durch verändern der Pumpendrehzahl 229

9 Arbeitspunkt von Kälteanlagen 230

9.1 Leistungskurve der Wärmetauscher ... 230

9.2 Leistungskurve des Verdichters ... 230

9.3 gewünschtes Leistungsverhalten der Anlage ... 231

9.4 Bestimmen des Arbeitspunktes ... 233

9.5 Verhalten des thermostatischen Expansionsventils ... 234

9.6 Verhalten der Anlage bei Kältemittelmangel ... 238

9.7 Auffüllen nach teilweisem Kältemittelverlust ... 240

10 Anlagen und Systeme 242

10.1 Standartanlage ... 243

10.2 Standartanlage mit mehreren Kühlstellen ... 244

10.3 Anlage mit IWT ... 245

10.4 Anlage mit aktivem Unterkühler ... 246

10.5 Verbundanlage ... 248

10.6 Anlagen mit AWN ... 250

10.6.1 AWN / WRG: Unterschiede 251
10.6.2 AWN Speicher mit innenliegendem Register 252
10.6.3 AWN über externes Register 253
10.6.4 AWN über externes Register mit Hochhaltung 253
10.6.5 AWN in Parallelschaltung 254
10.6.6 AWN mit mehreren Registern 255
10.6.7 AWN für Brauchwasser mit Zwischenkreislauf 256
10.6.8 AWN an Rückkühlnetz 257
10.6.9 Auslegung des AWN-Speichers 258

10.7 Heissdampfverbund ... 266

10.8 Anlagen mit Heissdampfabtauung ... 267

10.8.1 Heissdampf-Bypass Abtauung 267

10.8.2 Heissdampfabtauung wechselseitig 268
10.8.3 Heissdampfabtauung Umkehrbetrieb 269
10.8.4 Abtauung mittels Thermobank 270

10.9 Anlage mit Latentspeicher ... 271

10.10 Free cooling über ein Sekundärsystem ... 273

10.11 Free cooling über das Kältesystem ... 274

10.12 Schraubenverdichter mit Economizer ... 276

10.12.1 Economizerbetrieb 277

10.13 Scrollverdichter mit Economizer ... 278

10.14 Scrollverdichter mit Zusatzventilen ... 278

10.15 zweistufige Anlagen ... 280

10.15.1 Berechnung von zweistufigen Systemen 281
10.15.2 Intern zweistufige Verdichtung (ohne Economizer) 282
10.15.3 Intern zweistufige Verdichtung (mit Economizer) 283
10.15.4 extern zweistufige Verdichtung 284
10.15.5 extern zweistufige Verdichtung (mit Economizer) 285
10.15.6 Boosteranlage 286
10.15.7 zweistufige Anlage mit zweistufiger Entspannung 287
10.15.8 Kaskadenanlage 288

10.16 Leistungsziffern der Systeme (Vergleich) ... 290

10.16.1 einstufiger Prozess (Referenzprozess) 291
10.16.2 einstufiger Prozess mit IWT 292
10.16.3 einstufiger Prozess mit aktiver Unterkühlung (10K) 293
10.16.4 einstufiger Prozess mit aktiver Unterkühlung (30K) 294
10.16.5 direkt zweistufiger Prozess mit Zwischenentspannung 295
10.16.6 zweistufiger Prozess / einstufige Entspannung und Economizer 296
10.16.7 einstufiger Prozess mit separater Unterkühlung 297
10.16.8 Kaskade ohne Unterkühlung 298

10.17 Transkritisch arbeitende Anlagen ... 299

10.17.1 idealer Enthitzungsdruck 299
10.17.2 Drosselung bei transkritischen Prozessen 301
10.17.3 Stillstandsverhalten von transkritisch arbeitenden Anlagen 302

10.18 Anlagen mit isentroper Entspannung ... 304

10.18.1 Isenthalpe Drosselung 305
10.18.2 Isentrope Drosselung 306
10.18.3 Energie der isentropen Entspannung wird nicht zurückgewonnen 307
10.18.4 Energie der isentropen Entspannung wird zurückgewonnen 308
10.18.5 Expander – Verdichtereinheit 312

10.19 Anlagen mit Parallelverdichtung ... 313

10.20 transkritische Systeme ... 314

10.20.1 transkritische Pluskühlanlage 314
10.20.2 transkritische Pluskühlanlage mit Parallelverdichtung 316
10.20.3 transkritische Minuskühlanlage 317
10.20.4 transkritische Boosteranlage 319
10.20.5 transkritische Boosteranlage mit Economizer 321

11 alternative Kältesysteme 323

11.1 Verdunstungskälte ... 323

11.2 Sorptionskälte ... 327

11.2.1 Kühlbetrieb der Sorptionsanlage 327
11.2.2 Regenerationsbetrieb der Sorptionsanlage 327
11.2.3 Adsorption 328
11.2.4 Zeolith / Wasser - Adsorbtionsanlage 329
11.2.5 Absorption 331
11.2.6 Kontinuierlich arbeitende Absorptionsanlage 331
11.2.7 Ammoniak / Wasser - Absorptionsanlage 332
11.2.8 Wasser / Lithiumbromid - Absorptionskälteanlage 332
11.2.9 Sorptionstechnik: Vor- und Nachteile 334

11.3 thermoelektrische Kühlung ... 335

11.3.1 Aufbau des Thermoelementes 335

11.4 magnetische Kühlung ... 337

11.4.1 magnetische Kältemaschine 338

12 Akustik 339

12.1 wichtige Definitionen der Akustik ... 340

12.1.1 Schall 340
12.1.2 Amplitude 341
12.1.3 Frequenz 341
12.1.4 Hörschwelle 341
12.1.5 Schallleistung 341
12.1.6 Schalldruck 342
12.1.7 Dezibel (dB) 342
12.1.8 Sone 344
12.1.9 Schalldruck und Schalldruckpegel 345

12.2 Berechnungen mit Schallpegeln ... 346

12.2.1 Summe gleicher Schallpegel 346
12.2.2 Summe verschiedener Schallpegel 346

12.2.3 Durchschnittswert von Schallpegeln 346

12.3 Schallübertragung ... 347

12.3.1 Raumschall 347
12.3.2 Massnahmen gegen Raumschall 347
12.3.3 Körperschall 348
12.3.4 Massnahmen gegen Körperschall 349
12.3.5 Korkelemente 350
12.3.6 Gummi- und Weichelemente 350
12.3.7 Stahlfederelemente 351
12.3.8 Resonanz 351

12.4 Bestimmung der Körperschalldämmung ... 353

13 Dampftafeln und Diagramme 354

13.1 Dampftafeln ... 354

13.1.1 R744 Dampftafel -56,5°C – -50°C 354
13.1.2 R744 Dampftafel -50°C – -40°C 355
13.1.3 R744 Dampftafel -40°C – -30°C 356
13.1.4 R744 Dampftafel -30°C – -20°C 357
13.1.5 R744 Dampftafel -20°C – -10°C 358
13.1.6 R744 Dampftafel -10°C – 0°C 359
13.1.7 R744 Dampftafel 0°C – 10°C 360
13.1.8 R744 Dampftafel 10°C – 21°C 361
13.1.9 R744 Dampftafel 21°C – 31°C 362
13.1.10 R600a Dampftafel -20°C – -10°C 363
13.1.11 R600a Dampftafel -10°C – 0°C 364
13.1.12 R600a Dampftafel 0°C – 10°C 365
13.1.13 R600a Dampftafel 10°C – 20°C 366
13.1.14 R600a Dampftafel 20°C – 30°C 367
13.1.15 R600a Dampftafel 30°C – 40°C 368
13.1.16 R600a Dampftafel 40°C – 50°C 369
13.1.17 R600a Dampftafel 50°C – 60°C 370
13.1.18 R600a Dampftafel 60°C – 70°C 371
13.1.19 R600a Dampftafel 70°C – 80°C 372
13.1.20 R290 Dampftafel -50°C – -40°C 373
13.1.21 R290 Dampftafel -40°C – 30°C 374
13.1.22 R290 Dampftafel -30°C – -20°C 375
13.1.23 R290 Dampftafel -20°C – -10°C 376
13.1.24 R290 Dampftafel -10°C –0°C 377
13.1.25 R290 Dampftafel 0°C – 10°C 378
13.1.26 R290 Dampftafel 10°C – 20°C 379
13.1.27 R290 Dampftafel 20°C – 30°C 380

13.1.28 R290 Dampftafel 30°C – 40°C 381
13.1.29 R290 Dampftafel 40°C – 50°C 382
13.1.30 R290 Dampftafel 50°C – 60°C 383
13.1.31 R290 Dampftafel 60°C – 70°C 384
13.1.32 R290 Dampftafel 70°C – 80°C 385
13.1.33 R134a Dampftafel -30°C – -20°C 386
13.1.34 R134a Dampftafel -20°C – -10°C 387
13.1.35 R134a Dampftafel -10°C – 0°C 388
13.1.36 R134a Dampftafel 0°C – 10°C 389
13.1.37 R134a Dampftafel 10°C – 20°C 390
13.1.38 R134a Dampftafel 20°C – 30°C 391
13.1.39 R134a Dampftafel 30°C – 40°C 392
13.1.40 R134a Dampftafel 50°C – 60°C 393
13.1.41 R134a Dampftafel 60°C – 70°C 394
13.1.42 R134a Dampftafel 70°C – 80°C 395

13.2 Log p, h-Diagramme 396

13.2.1 R744 log p, h-Diagramm 397
13.2.2 R600a log p, h-Diagramm 398
13.2.3 R290 log p, h-Diagramm 399
13.2.4 R134a log p, h-Diagramm 400

14 Formelsammlung 401

14.1 griechisches Alphabet und Verwendung 401

14.2 verwendete Abkürzungen und Symbole 402

14.3 Bedeutung der Farben in der Formelsammlung 404

14.4 SI-Einheitssystem 405

14.4.1 Kraft 405
14.4.2 Energie, Arbeit 405
14.4.3 Leistung 405
14.4.4 Druck 405

14.5 Geometrie 405

14.5.1 Kreisfläche 405
14.5.2 Kreisumfang 405
14.5.3 Zylinderoberfläche 405
14.5.4 Zylindervolumen 405
14.5.5 Sammleroberfläche 405
14.5.6 Sammlervolumen 406

14.6 kalorische Berechnung 406

14.6.1 Kühlgut 406

14.6.2 Luftwechsel 406
14.6.3 Transmission 407
14.6.4 Begehung 408
14.6.5 Beleuchtung 408
14.6.6 Verdampferabwärme 408
14.6.7 andere Wärmequellen 408
14.6.8 Kälteleistung, Kältebedarf 408

14.7 log p, h-Diagramm ... 409

14.7.1 Wärmeaufnahme und -abgabe 409
14.7.2 Wärme- und Kälteleistungen 409

14.8 Kälteleitungen ... 410

14.8.1 Auslegung nach Geschwindigkeit 410
14.8.2 Auslegung nach Druckdifferenz 410
14.8.3 geodätische Druckdifferenz 410

14.9 Ausdehnung ... 410

14.10 Gasgesetzte ... 411

14.11 Thermodynamik ... 411

14.12 Akustik ... 412

14.12.1 Summe gleicher Schallpegel 412
14.12.2 Summe verschiedener Schallpegel 412

14.13 Verdichter ... 412

14.14 Drosselorgan ... 412

14.15 Verflüssiger, Verdampfer ... 413

14.16 Leistungsziffern ... 413

14.17 zweistufige Anlagen ... 414

14.18 Kaskadenanlage ... 414

14.19 Elektrotechnik ... 415

15 Tabellen 416

15.1 Kühlgüter Lebensmittel fest ... 416

15.2 Kühlgüter Lebensmittel flüssig ... 417

15.3 feste Stoffe: Dichte, Wärmeleitwert, c-Wert, α-Wert ... 418

16 Stichwortverzeichnis 421