

Breidenbach

Der Kälteanlagenbauer

**Band 1: Grundkenntnisse
Aufgaben/Lösungen
Stichwortregister**

**3., vollkommen neubearbeitete und
erweiterte Auflage**

r

**Verlag C.F.Müller
Karlsruhe**

Inhaltsverzeichnis

Geleitworte.	V
Vorworte.	VII
1. Hinweise für die Benutzung des Buches.	1
2. Warum kühlen wir?.	3
3. Veränderungen der Lebensmittel.	3
3.1 Veränderungen durch Mikroorganismen.	3
3.2 Veränderungen durch chemische Umsetzungen.	5
3.3 Veränderungen durch physikalische Einflüsse.	6
4. Alte Verfahren der Haltbarmachung von Lebensmitteln.	6
5. Kühlanlagen schon im Altertum.	7
5.1 Der Natureishandel blühte auf.	7
6. Neue Erkenntnisse.	8
7. Kälteanlagen überall.	8
8. Thermodynamik für Kälteanlagenbauer.	9
9. Basiseinheiten.	9
9.1 Vorsätze für Einheiten.	11
9.2 Griechische Groß-und Kleinbuchstaben.	11
10. Abgeleitete Einheiten.	12
11. Masse als Basisgröße.	12
12. Dichte.	13
13. Kräfte.	14
14. Geschwindigkeit	15
14.1 Gradlinige Bewegung.	15
14.2 Mittlere Geschwindigkeit bei Kurbeltrieben.	15
14.3 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung.	16
14.4 Geschwindigkeits-Zeitgesetz.	16
15. Dynamisches (Newtonsches) Grundgesetz.	18
15.1 Maßeinheiten der Kraft.	18
16. Druck und Druckausbreitung.	19
16.1 Druck auf feste Unterlagen.	19
16.2 Hydraulischer Druck.	19
16.3 Schweredruck in Flüssigkeiten (hydrostatischer Druck).	21
16.4 Hydrostatisches Paradoxon.	22
16.5 Auftrieb in Flüssigkeiten.	23
16.6 Druckmessung.	23

17.	Manometer und Mano-Vakuummeter.	25
17.1	Manometerarten.	26
17.2	Zusammenfassung: Atmosphären-, Über-Druck.	26
17.3	Manometeranzeige.	27
18.	Wärmeenergie-Wirkungen.	29
18.1	Zustandsformen der Stoffe.	29
18.11	Feste Stoffe.	29
18.12	Flüssigkeiten.	30
18.13	Gase.	30
19.	Unterschied zwischen Wärmeenergie und Temperatur.	31
19.1	Zustandsgröße-Temperatur.	32
20.	Temperaturskala.	32
21.	Längenausdehnung fester Körper.	33
22.	Volumenausdehnung fester Körper.	36
23.	Volumenausdehnung von Flüssigkeiten.	37
23.1	Flüssigkeiten (außer Wasser).	37
23.2	Anomalie des Wassers.	39
23.2.1	Relative Volumzunahme.	39
	Wir erweitern unser Wissen und Können.	40
24.	Die Celsius-Temperatur.	41
24.1	Schreibweise bei Temperaturdifferenzen und Bereichen.	41
25.	Temperaturmeßverfahren.	42
25.1	Flüssigkeitsthermometer.	42
25.2	Bimetallthermometer.	43
25.3	Elektrisches Widerstandsthermometer.	43
25.4	Thermoelement.	44
26.	Wasser als Energiequelle.	44
27.	Energie und ihre Einheiten.	45
27.1	Leistung.	46
27.2	Verdampfungsleistung in Kälteanlagen.	46
28.	Spezifische Wärmekapazität von festen und flüssigen Stoffen.	47
29.1	Wir verrichten Arbeiten.	51
29.2	Auch Maschinen können arbeiten.	51
29.3	Arbeit und Energie.	51
29.4	Potentielle,-Spannungs-und Wärmeenergie.	51
29.5	Chemische Energie.	51
29.6	Potentielle Energie.	51
29.7	Kinetische Energie.	51
30.	Energie und Energieumwandlungen.	E
30.1	Grundlagen zur Umwandlung mechanischer Energie in Wärmeenergie	E
30.2	Ergänzungen zum Begriff der Energie.	E
31.	Brennwert-Verbrennungsenergie.	i
31.1	Wärmeenergie, Temperaturerhöhung und Brennstoffmasse	

32.	Wärmebedarf	63
32.1	Wärmeleitung	63
32.2	Wärmekonvektion.	63
32.3	Wärmestrahlung.	63
33	Wärmestromleitung	64
33.1	Wärmestromleitung durch eine ebene Wand.	64
33.2	Wärmestromleitung in Wasser.	65
33.3	Wärmestromleitung in Luft	65
33.4	Wärmestromleitung durch eine mehrfach geschichtete ebene Wand	66
33.5	Wärmeübergang.	69
33.6	Newton'sches Gesetz des Wärmeüberganges.	70
34.	Wärmedurchgang.	71
35.	Wärmeströmung.	73
35.1	Wärmeströmung in Wasser.	74
35.2	Wärmeströmung in Luft	75
36.	Wärmestrahlung	79
36.1	Reflexion, Absorption und Durchlässigkeit	80
36.2	Abhängigkeit der Gesamtstrahlung von der Temperatur.	80
37.	Schmelzpunkt und Schmelzenthalpie.	82
37.1	Schmelzen von Eis.	82
37.2	Schmelzenthalpie von Eis.	82
38.	Siedepunkt und Verdampfungsenthalpie.	84
38.1	Siedepunkt-Sieden von Wasser.	84
38.2	Verdampfungsenthalpie.	84
39.	Vergleich zwischen Schmelz- und Verdampfungsenthalpie.	86
40.	Abhängigkeit der Siedetemperatur des Wassers vom Atmosphärendruck - Dampfdruckkurve von Wasser.	87
41.	Verdunstung von Flüssigkeiten.	88
42.	Sublimieren von festen Stoffen.	89
43.	Siedeverzug	89
44.	Wasserdampf.	90
45.	Siedepunkt des Wassers bei variablem Druck.	92
46.	Mischungstemperatur.	92
46.1	Temperaturgleichgewicht zwischen zwei unterschiedlichen erwärmten Flüssigkeiten.	92
46.2	Messung der Mischungstemperatur.	93
46.3	Temperaturerhöhung, erwärmte Masse und zugeführte Wärmeenergie	94
47.	Verdampfung und Verflüssigung bei gleicher Temperatur(Wärmepumpe)	95
47.1	Verflüssigung bei höherer Temperatur als bei der Verdampfung.	96
48.	Wärmestrom des Kühlgutes.	97
48.1	Wärmestrom beim Abkühlen des Kühlgutes.	97
48.2	Wärmestrom beim Gefrieren des Kühlgutes.	97
48.3	Wärmestrom beim Unterkühlen des Kühlgutes.	98
48.4	Wärmestrom durch Atmung des Kühlgutes.	98

49.	Hauptteile der Kälteanlage . . . . .	.100
50.	Der Kältemittelkreislauf . . . . .	.101
51.	Zustandsänderungen von Gasen. . . . .	.106
51.1	Wärmeausdehnung von Gasen. . . . .	.106
51.2	Volumenausdehnung von Gasen. . . . .	.108
51.3	Volumenausdehnung von Gasen bei konstantem Druck. . . . .	.109
51.4	Verhalten der Gase bei konstanter Temperatur. . . . .	.110
52.	Das vereinigte Gasgesetz. . . . .	.112
53.	Normzustand. . . . .	.112
53.1	Normvolum. . . . .	.112
53.2	Spezifisches Volum. . . . .	.112
54.	Gasdichte. . . . .	.113
55.	Gaskonstante R, allgemeine Zustandsgleichung. . . . .	.113
56.	Innere Energie und Enthalpie. . . . .	.117
57.	Spezifische Wärmekapazität von Gasen. . . . .	.117
57.1	Mittlere spezifische Wärmekapazität von Gasen. . . . .	.119
58.	Isobare. . . . .	.120
59.	Isochore. . . . .	.122
60.	Isotherme. . . . .	.123
61.	Isentrope. . . . .	.126
62.	Polytrope. . . . .	.129
63.	Kreisprozesse. . . . .	.131
63.1	Begriff des Kreisprozesses. . . . .	.131
63.2	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik. . . . .	.132
63.3	Carnot-Prozeß im Arbeitsdiagramm. . . . .	.133
63.4	Wirkliche Kreisprozesse. . . . .	.134
64.	Das Indikator diagramm. . . . .	.134
65.	Das Wärmediagramm. . . . .	.135
66.	Arbeitsvorgänge bei der Verwendung von Kaltdämpfen. . . . .	.140
67.	Das h, log p-Diagramm. . . . .	.146
68.	Grundlegendes über das h, log p-Diagramm. . . . .	.14C
69.	Berechnungen im h, log p-Diagramm. . . . .	.15(
69.1	Kälte,-Wärmezahl nach Carnot . . . . .	.15(
69.2	Kältezahl, praktisch. . . . .	.151
69.3	Kältezahl des isentropen Vergleichsprozesses. . . . .	.15"
69.4	Kältezahl des isentropen Vergleichsprozesses mit Unterkühlung durch die Kühlmittel Luft bzw. Wasser. . . . .	.15!

69.5	Kältezah! des isentropen Vergleichsprozesses mit Unterkühlung durch Kühlmittel und einem zusätzlichen Wärmeaustauscher. . . . .	.159
69.6	Kältezah! des indizierten Vergleichsprozesses. . . . .	.161
69.7	Effektiver Gütegrad . . . . .	.162
70.	Der Kolbenverdichter und seine Berechnungsgrundlagen. . . . .	.163
70.1	Liefergrad und volumetrischer Kältegewinn. . . . .	.165
70.2	Volumetrischer Gütegrad. . . . .	.165
70.3	Wandungsgütegrad. . . . .	.166
70.4	Lässigkeitsgrad. . . . .	.166
70.5	Erfahrungswerte und das DKV-Arbeitsblatt 3-01. . . . .	.166
71.	Theoretischer volumetrischer Kältegewinn. . . . .	.167
72.	Antriebsleistung des offenen Kältemittelverdichters bei isentroper Verdichtung. . . . .	.168
72.1	Antriebsleistung des halb- und hermetischen Kältemittelverdichters . . . . .	.170
73.	Praxisbezogene Darstellungen von Kälteprozessen im h, log p-Diagramm	.171
73.1	Heißdampfbypaß . . . . .	.171
73.2	Heißdampfbypaß zur Aufrechterhaltung des Saugdrucks. . . . .	.172
73.3	Kältemittelmangel in einer Kälteanlage. . . . .	.173
73.4	Fremdgase in einer Kälteanlage. . . . .	.173
73.5	Wärmeaustauscher (Wärmewechslers) in der Kälteanlage. . . . .	.174
73.6	Zu hoher Verflüssigungsdruck in einer Kälteanlage. . . . .	.174
73.7	Druckdifferenz in der Saugleitung einer Kälteanlage. . . . .	.175
74.	Zweistufige Verdichterkälteanlagen. . . . .	.192
74.1	Zweistufige Verdichterkälteanlage mit Kühlmittelzwischenkühlung und Unterkühlung durch Saugdämpfe. . . . .	.192
74.2	Zweistufige Verdichterkälteanlage mit einstufiger Entspannung und Kältemittelzwischenkühlung. . . . .	.193
74.3	Zweistufige Verdichterkälteanlage mit zweistufiger Entspannung und Kältemittelzwischenkühlung. . . . .	.199
74.4	Betriebsverhalten von zweistufigen Verdichterkälteanlagen. . . . .	.202
75.	Kaskaden-Kälteanlagen. . . . .	.202
76.	Pumpen-Kälteanlagen. . . . .	.206
77.	Psychrometrie. . . . .	.211
77.1	Physikalische Eigenschaften trockener Luft . . . . .	.212
77.2	Das spezifische Volum trockener Luft . . . . .	.212
77.3	Die spezifische Wärmekapazität trockener Luft . . . . .	.212
78.	Enthalpie trockener Luft . . . . .	.212
79.	Physikalische Eigenschaften des Wasserdampfes. . . . .	.213
79.1	Spezifisches Volum des Wasserdampfes. . . . .	.213
79.2	Dichte des Wasserdampfes. . . . .	.213
79.3	Spezifisches Volum des Luft-Wasserdampfgemisches. . . . .	.214
79.4	Spezifische Wärmekapazität des Wasserdampfes. . . . .	.215
	Enthalpie des Wasserdampfes. . . . .	.215
	Gaskonstante des Wasserdampfes. . . . .	.215
	Physikalische Eigenschaften der Luft-Wasserdampf-Gemische. . . . .	.216

83.	Gasmischungen	216
83.1	Verhalten der Einzelgase in der Gasmischung	217
83.2	Da/ton'sches Gesetz	218
84.	Gesättigte und überhitzte Luft-Wasserdampf-Gemische	218
85.	Der Taupunkt	219
86.	Absolute Feuchte	219
87.	Relative Feuchte und das Sättigungsverhältnis	220
88.	Isentrope Sättigung	220
89.	Feuchtkugeltemperatur	222
90.	Praxis des h, x-Diagramms in der Kältetechnik	223
91.	Kältemittel	238
91.1	Thermodynamische Eigenschaften	238
91.1.1	Druck	239
91.1.2	Temperatur	240
91.1.3	Spez. Volum und Dichte	240
91.1.4	Enthalpie	241
92.	Allgemeingültiges über fluorierte Kältemittel	243
92.1	Herstellung	243
92.2	Bezeichnung der chlorierten und fluorierten Methanderivate	243
93.	Physikalische Eigenschaften	244
93.1	Mischbarkeit	244
93.2	Neigung zu Undichtigkeiten	245
93.3	Geruch	246
93.4	Verhalten gegen Feuchtigkeit	246
93.5	Giftigkeit	247
93.6	Brennbarkeit	248
93.7	Lecksuche-Einsatzbereich	249
94.	Verordnungen-Vorschriften-Kennzeichnungen	251
94.1	Druckbehälterverordnung	251
94.1.1	Was sind Druckgase?	251
94.1.2	Prüfungen müssen sein	252
94.1.3	Farben, Kennzeichen	252
94.2	Vollgefüllt ist überfüllt	252
94.3	Ventile	25c
94.3.1	Faltenbalgventil	25^
94.3.2	Doppelventil	25<
95.	Sicherheit beim Umgang mit FCKW	25i
95.1	Maximale Arbeitsplatzkonzentration	25i
96.	Ammoniak-R717	25
96.1	Herstellung	25
96.2	Eigenschaften von Ammoniak	25
96.3	Gefährungsgrad	26
96.4	Betriebsverhalten	26
96.5	Erste Hilfe	2i
96.6	Vorschriften zur Sicherheit und Umweltschutz	2f
96.6.1	Lagerung von flüssigem Ammoniak	2(

96.6.2	Wassergefährdung durch Ammoniak	266
96.6.3	Emissionen von dampfförmigem Ammoniak	266
97.	Begriffe, Formelzeichen und Einheiten, graphische Symbole.	266
97.1	Begriffe.	266
97.2	Formel- und Einheitenzeichen im Kälteanlagenbau.	271
97.3	Bildzeichen und Kennbuchstaben für Messen, Steuern, Regeln (DIN 19227)	274
97.4	Graphische Symbole für RI-Fließbilder (DIN 8972 T2).	274
98.	Wesentliche Gesetze, Rechtsvorschriften und Normen für die Kältetechnik	279
98.1	TRB-Regelwerk	279
98.2	DIN-Normen.	280
98.3	AD-Merkblätter.	288
99.	Anhang	291
99.1	Überprüfung einer Versuchs-Kälteanlage	291
99.1.1	Beschreibung der Anlage und des Meßgerätes.	291
99.1.1.1	Die Versuchsanlage.	291
99.1.1.2	Zur Temperaturmessung.	291
99.1.1.3	Alle zu messenden Temperaturen.	291
99.1.2	Die Bedeutung der gemessenen Temperaturen und deren Aufgabe	291
99.1.2.1	Die Druckdampfüberhitzung.	291
99.1.2.2	Die Verflüssigungstemperatur.	292
99.1.2.3	Die Unterkühlungstemperatur.	292
99.1.2.4	Die Verdampfungstemperatur.	292
99.1.2.5	Die Überhitzungstemperatur.	292
99.1.2.6	Die Saugstutzen­temperatur.	292
99.1.3	Besondere Hinweise für die Überprüfung von Kälteanlagen.	292
99.1.3.1	Wenn die Funktion der Anlage in Frage gestellt ist.	292
99.1.3.2	Luftgekühlte Verflüssiger.	292
99.1.3.3	Die Leistung der Anlage.	293
99.2	Zusammenstellung energetischer Werte für einen Kältemittelverdichter	294
99.3	DKV 3-01 Arbeitsblatt	294
99.4	Chemische Zeichen und ihre Schreibweise.	296
99.5	Chemisch-physikalische Kennwerte wichtiger Elemente.	298
99.6	Dichte.	301
99.6.1	Metalle und Legierungen.	301
99.6.2	Bau- und Dämmstoffe.	301
99.6.3	Lager- und Kühlgut	302
99.6.4	Flüssigkeiten bei +20 °C.	303
99.7	Belegungsmassen m_B von Kühlgütern.	303
99.7.1	Belegungskoeffizienten.	304
99.8	Spezifische Enthalpie in kJ/kg von Kühlgütern.	305
99.8.1	Lagerungsbedingungen und Stoffeigenschaften von Kaltlager­gütern	307
99.9	Kühlraumberechnung: Wärmeeinströmung von außen nach DIN 4701	330
99.10	Kältebedarf für Bierbuffetkühlung.	331
99.11	Umgebungstemperaturen im mitteleuropäischen Raum für die Kühlraum- berechnung.	331
99.12	Personen-Wärmestrom.	332
99.13	Luftwechselraten für Kühl- und Tiefkühlräume.	332
[99.14	Wärmedurchgangskoeffizienten für übliche Dämmstoffe	333
t 99.14.1	Graphische Darstellung der Dämmdicken	334
l 99.15	Zustandsgrößen feuchter Luft bei 1013 hPa	335
l 99.16	Wasserdampf­tafel	340
199.17	Wärmeleitkoeffizienten.	341
199.17.1	Metalle.	341
§»§9.17.2	Baustoffe, Mauerwerk und Gesteine.	341
PB9.17.3	Feuerfeste Steine.	341
189.17.4	Füllstoffe.	341

99.17.5	Holzarten.	342
99.17.6	Dämmstoffe.	342
99.18	Physikalische Daten für Kältemittel.	343
99.19	Dampf tafeln für R12, R22, R502 und R717.	346
100	Lösungen zu den Aufgaben.	391
	Literaturnachweis.	417
	Bildnachweis.	418
	Stichwortregister.	419

Beilagen: Diagramme R12, R22, R502, R717

Breidenbach

Der Kälteanlagenbauer

**Band 2: Kälteanwendung
Stichwortregister**

**3., vollkommen neubearbeitete und
erweiterte Auflage**

ffi

**Verlag C.F.Müller
Karlsruhe**

Inhaltsverzeichnis

Geleitworte. . . . .	.V
Vorworte. . . . .	.VII
1 Verdampfer. . . . .	.1
1.1 Grundlegendes zum Verdampfer. . . . .	.1
1.2 Energetische Vorgänge im Verdampfer. . . . .	.2
2 Verdampferarten. . . . .	.3
3 Verdampfer für »trockene Verdampfung«. . . . .	.4
3.1 Koaxialverdampfer. . . . .	.8
3.2 Glattröhreverdampfer. . . . .	.8
3.3 Rührwerke. . . . .	.9
3.4 Eisspeicher. . . . .	.9
3.5 Überflutete Verdampfer für Flüssigkeitskühlung. . . . .	.10
4 Luftkühler. . . . .	.11
4.1 Glattröhreverdampfer. . . . .	.11
4.2 Plattenverdampfer. . . . .	.12
4.3 Kühlraumverdampfer in Lamellenausführung. . . . .	.12
5 Verdampfer mit Verdampfungstemperatur unter und Lufttemperatur über 0°C. . . . .	.13
6 Verdampfer mit Verdampfungs- und Lufttemperatur unter 0° C. . . . .	.14
7 Verdampfer mit Verdampfungs- und Lufttemperatur über 0° C. . . . .	.15
8 Zusammenfassung. . . . .	.16
9 Verdampfer mit Luftleitwänden bei Wandanordnung. . . . .	.16
10 Plattenverdampfer nach der Eutektik-Methode. . . . .	.17
11 Verdampferanordnung - stille Kühlung in Kühlräumen. . . . .	.19
11.1 Verdampferanordnung - stille Kühlung in Gefrier- und Tiefkühlräumen. . . . .	.21
12 Zwangsbelüftete Verdampfer — Luftkühler. . . . .	.24
13 Grundlegendes zu den Hochleistungsverdampfern. . . . .	.31
Hochleistungsverdampfer und Kühlmittel. . . . .	.32
Verdampferanordnung mit Hochleistungsverdampfern. . . . .	.34
16 Verdampferbefestigung. . . . .	.36
Ventilatorbelüftete Verdampfer zur Luftabkühlung. . . . .	.38
1.1 Trockene Luftkühler. . . . .	.38
Nasse Luftkühler. . . . .	.39
IF Ventilatorwärmestrom Q_H im Kühlraum. . . . .	.40

19	Verdampferabtauungen	42
19.1	Abtauen durch Ventilatornachlauf	43
19.2	Abtauen mit elektrischer Widerstandsheizung	44
19.2.1	Abtau-Einleitungsverfahren	45
19.2.1.1	Temperaturdifferenz	45
19.2.1.2	Vorbestimmte Abtauzeit	45
19.2.1.3	Mikroprozessoren	45
19.2.2	Abtau-Begrenzungsverfahren	48
19.2.2.1	Thermische Begrenzung	48
19.2.2.2	Zeitliche Begrenzung	49
19.2.3	Abtauen und Pump-down-Schaltung	49
19.3	Abtauen des Reifes mit Heiß- bzw. Kalt-Dampf	50
19.3.1	Heiß- bzw. Kaltdampf abtauen mit Heißdampf-Bypass-Regler	52
19.3.2	Abtauen mit Umkehrventilen	53
19.4	Abtauen mit Thermobank	55
19.5	Abtauen mit Warmwasser	56
20	Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz	57
20.1	Berücksichtigung örtlich veränderlicher Temperaturen der Stoffströme im Verdampfer	57
20.2	Einfluß der Führung der Stoffströme auf die mittlere log. Temperaturdifferenz AT_m	57
20.2.1	Gleichstrom - beide Stoffströme fließen gleich	57
20.2.2	Gegenstrom - beide Stoffströme fließen entgegengesetzt	58
20.2.3	Kreuzstrom - beide Stoffströme kreuzen sich	58
20.3	Verdampfer und mittlere Temperaturdifferenz	60
20.4	Definition der log. Temperaturdifferenz	62
21	Einfache Verdampferberechnungen	63
21.1	Grundlegende Betrachtungen zur Verdampferbestimmung	63
21.2	Betrachtungen zum Abtauvorgang	64
21.3	Verdampferleistung	65
21.3.1	Verdampferkühloberfläche	65
21.3.2	γ -Wert bei Verdampfern	66
	Wir erweitern unser Wissen und Können	73
22	Kühlraumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit	76
23	Praktische Bestimmung von Verdampfern zur Raumkühlung	81
23.1	Allgemeine Erläuterungen	81
23.2	Beispiel	82
24	Praktische Bestimmung von Verdampfern für Flüssigkeitskühlung	86
24.1	Grundlegendes	86
24.2	Auswahl der Verdampfer	88
24.3	Parallel- oder Reihenschaltung von Flüssigkeitsverdampfern	91
24.3.1	Parallelbetrieb mit konstantem Wasserstrom	91
24.3.2	Parallelbetrieb mit veränderlichem Wasserstrom	92
24.3.3	Reihenschaltung mit konstantem Wasserstrom	92
24.3.4	Reihenschaltung mit veränderlichem Wasserstrom	92
24.4	Praktische Bestimmung von Flüssigkeits-Koaxial-Verdampfern	93
24.5	Praktische Bestimmung von Bündelrohr-Flüssigkeitsverdampfern <i>Dunham-Bush</i>	96
24.6	Praktische Bestimmung eines Wasserkühlers Type LQI	98
25	Abstimmung von Verdampfer- und Verdichterleistung	104
25.1	Kühlraum für Frischfleisch	106
25.2	Kühlraum für frische Fische	107

25.3	Kühlraum für Bier. . . . .	.108
25.4	Grundlagen der Norm-Leistungsangaben. . . . .	.111
25.4.1	Norm-Temperaturbedingungen für die Kühlerleistung. . . . .	.111
25.4.2	Angabe der Norm-Leistung. . . . .	.112
25.4.3	Umrechnung der Kühlerleistung. . . . .	.112
25.5	Betriebspunkt der Kälteanlage in der Praxis. . . . .	.114
25.6	Angebotsleistung einer Kälteanlage. . . . .	.116
26	Entfeuchtungseinrichtungen in Kühlräumen. . . . .	.117
26.1	Einfache Entfeuchtungseinrichtungen. . . . .	.117
27	Befeuchtungseinrichtungen in Kühlräumen. . . . .	.118
27.1	Einfache Befeuchtungseinrichtungen. . . . .	.118
27.2	Luftbefeuchter. . . . .	.119
28	Verflüssiger. . . . .	.120
28.1	Grundlegendes zum Verflüssiger. . . . .	.120
28.2	Energetische Vorgänge im Verflüssiger. . . . .	.121
28.3	Wärmestrom in den Verflüssigungszonen. . . . .	.123
29	Verflüssigerarten. . . . .	.124
30	Luftgekühlte Verflüssiger. . . . .	.125
30.1	Statisch belüftete Verflüssiger. . . . .	.125
30.2	Lamellenverflüssiger mit Axialventilatoren. . . . .	.127
30.2.1	Aufstellung der Verflüssiger. . . . .	.131
30.3	Lamellenverflüssiger mit Radialventilatoren. . . . .	.132
30.3.1	Verschmutzung. . . . .	.134
30.3.2	Aufstellung. . . . .	.134
30.3.3	Schallentwicklung. . . . .	.134
31	Wassergekühlte Verflüssiger. . . . .	.135
31.1	Gegenstrom-Doppelrohrverflüssiger. . . . .	.135
31.2	Gegenstrom-Bündelrohrverflüssiger. . . . .	.138
31.3	Koaxial-Verflüssiger. . . . .	.139
31.4	Röhrenkesselverflüssiger aus Glatt- und Rillenrohren. . . . .	.143
31.5	Verdunstungsverflüssiger mit Radialventilator. . . . .	.144
31.5.1	Arbeitsweise des Verdunstungsverflüssigers. . . . .	.144
31.5.2	Anwendung des Verdunstungsverflüssigers. . . . .	.145
31.5.3	Schaltungsmöglichkeiten von Verdunstungsverflüssigern . . . . .	.146
	Druckregelungen an Verflüssigern. . . . .	.148
A	Regelung bei wassergekühlten Verflüssigern (Frischwasserbetrieb) . . . . .	.150
.1.1	Regelung bei Kühlturbetrieb. . . . .	.150
1,2	Regelung bei luftgekühlten Verflüssigern. . . . .	.151
(L2.1	Kältemittelseitige Regelung. . . . .	.151
12.2	Luftseitige Regelung. . . . .	.153
	Flüssigkeitsbehälter. . . . .	.156
	Probleme bei Flüssigkeitsbehältern in Kühlanlagen mit wassergekühlten Verflüssigern. . . . .	.157
	Probleme bei Flüssigkeitsbehältern in Kälteanlagen mit luftgekühlten Verflüssigern. . . . .	.158
	Anordnung der Verflüssigerleitung bei wassergekühlten Verflüssigern . . . . .	.160
	Anordnung der Verflüssigerleitung bei luftgekühlten Verflüssigern. . . . .	.160
	Verflüssiger und mittlere Temperaturdifferenz. . . . .	.160

35	Einfache Verflüssigerberechnung . . . . .	.163
35.1	Verflüssigerleistung . . . . .	.163
35.2	/c-Wert bei Verflüssigern . . . . .	.163
	Wir erweitern unser Wissen und Können . . . . .	.166
36	Praktische Verflüssigerbestimmung . . . . .	.167
36.1	Luftgekühlte Verflüssiger . . . . .	.167
36.1.1	Anwendungsbeispiele luftgekühlter Verflüssiger . . . . .	.169
36.2	Wassergekühlte Verflüssiger . . . . .	.170
36.2.1	Mit Leitungswasser gekühlte Verflüssiger . . . . .	.170
36.2.2	Mit Kühlturmwasser gekühlte Verflüssiger . . . . .	.172
36.3	Abstimmung von Verflüssiger-und Verdichterleistung . . . . .	.174
37	Bestimmung luftgekühlter Verflüssiger nach Herstellerkatalog . . . . .	.175
37.1	Anwendungsbeispiel . . . . .	.177
38	Bestimmung wassergekühlter Verflüssiger nach Herstellerkatalog . . . . .	.179
38.1	Anwendungsbeispiel . . . . .	.180
38.2	Verschmutzungsfaktoren bei wassergekühlten Verflüssigern . . . . .	.182
38.3	Wasserwege im Verflüssiger . . . . .	.183
38.4	Bestimmung von wassergekühlten Koaxial-Verflüssigern nach Herstellerkatalog . . . . .	.187
39	Bestimmung von Verdunstungsverflüssigern nach Herstellerkatalog . . . . .	.189
40	Kühlturm . . . . .	.192
41	Kühlturmbauten . . . . .	.195
42	Aufstellung von Kühltürmen . . . . .	.195
43	Leistungsangaben . . . . .	.196
44	Leistungsdaten des Ventilators . . . . .	.196
45	Wasseraufbereitung . . . . .	.196
46	Ablaufregelung . . . . .	.197
47	Kühlturm-Winterbetrieb . . . . .	.197
48	Bemessen eines Kühlturms nach Fa. <i>Gohl</i> . . . . .	.197
49	Kältemittelverdichter . . . . .	.200
49.1	Einteilung der Verdichterbauarten . . . . .	.200
49.2	Übersicht über die heute am meisten verwendeten Kältemittelverdichter . . . . .	.201
50	Hubkolbenverdichter — Grundlegendes . . . . .	.201
50.1	Arbeitsweise des Wechselstrom-Tauchkolbenverdichters . . . . .	.201
50.2	Möglichkeiten der Zylinderanordnungen . . . . .	.204
50.3	Riemenantrieb des offenen Kältemittelverdichters . . . . .	.205
50.4	Direktantrieb des offenen Kältemittelverdichters . . . . .	.206
50.5	Verdichtergehäuse . . . . .	.206
50.6	Kolben, Kolbenringe und Kolbenstange . . . . .	.207
50.7	Zylinderkopf . . . . .	.20S
50.8	Ventilplatte und Arbeitsventile . . . . .	.20E
50.9	Kältemittelverdichter-Wellenabdichtung . . . . .	.212

50.10	Kurbelwelle	213
50.10.1	SCOTCH-Joch, Kurbelschleife	215
51	Kältemittelverdichterschmierung	217
52	Dichtungen	221
53	Kältemittelverdichterkühlung	221
54	Anlaufentlastung	222
55	Gleichstrom-Kältemittelverdichter	223
56	Heizung im Kurbelwellengehäuse	223
57	Leistungsregelungen von Kolbenverdichtern	224
57.1	Aussetzbetrieb	225
57.2	Saugdrosselung	225
57.3	Gedrosseltes Überströmen	226
57.4	Saugstromregelung	226
57.5	Regelung durch Rückströmen	229
58	Geräuschdämpfer	231
59	Hermetische Kolbenverdichter	233
60	Rotationskolbenverdichter	236
60.1	Rollkolbenverdichter	237
60.2	Umlauf- und Zellenverdichter	239
60.3	Spiralverdichter	239
60.3.1	Aufbau	240
60.3.2	Arbeitsweise	248
60.3.3	Kälteleistungen	249
61	Schraubenverdichter	254
61.1	Aufbau	254
81.1.1	Offener Schraubenverdichter	255
81.1.2	Halbhermetischer Schraubenverdichter	255
61.2	Arbeitsweise	256
61.3	Läuferprofil	257
61.4	Ölkreislauf	257
61.5	Leistungsverhalten	258
61.5.1	Liefergrad	259
61.5.2	Kältegrad	260
81.6	Leistungsregelung	261
62	Turboverdichter	264
62.1	Betriebseigenschaften	264
62.2	Auswahl des Kältemittels	264
62.3	Stufenzahl	265
1-62.4	Leistungsregelung	266
£42.5	Vergleich der Kältemittelverdichter	267
	Antriebsmotor für Kältemittelverdichter	268
M	Motoranlauf	269
12	Motorleistung im Vergleich zur Verdichterleistung	270
13	Motorschutz	272
	Der Verflüssigungssatz	273

65	Kälteleistung von Kältemittelverdichtern	276
65.1	Drehfrequenz	276
65.2	Verdampfungstemperatur.	276
65.3	Verflüssigungstemperatur.	278
65.4	Kältemittel und Verdichterleistung.	279
65.5	Einsatzgrenzen von Kältemittelverdichtern.	279
65.5.1	Zulässige Temperaturen bei hermetischen Kältemittelverdichtern.	280
65.5.2	Drehfrequenzen.	282
66	Nutzkälteleistung von Kältemittelverdichtern	283
66.1	Verdichtung und Wärmestrom in der Saugleitung.	283
66.2	Leistungsangaben nach DIN 8928 von Kältemittelverdichtern.	283
66.3	Beziehungen für die Kälteleistung.	284
66.4	Wärmestrom in der Saugleitung.	284
66.5	Nutzkälteleistung.	284
66.6	Praktische Berechnung.	289
67	Ölprobleme bei Kältemittelverdichtern.	290
67.1	Allgemeines.	291
67.2	Ölrückführung.	291
67.3	Direkte oder trockene Verdampfung.	291
67.4	Kältemittellöslichkeit.	292
67.5	Ölviskosität.	292
67.6	Ölrückführung.	293
67.7	Überflutete Verdampfer.	293
67.8	Zwei Flüssigkeitsschichten.	293
67.9	Verhalten des Öls im Kurbelwellengehäuse.	295
67.10	Ölverdünnung.	295
67.11	Maßnahmen.	297
67.12	Verhältnis von Druck und Temperatur.	298
67.13	Öl- und Kältemittelmasse.	298
68	Verbundbetrieb von Kältemittelverdichtern.	299
68.1	Allgemeines.	299
68.2	Kälteleistung.	299
68.3	Leistungsregelung.	300
68.4	Not- und Reservebetrieb.	300
68.5	Kombinierter Öl- und Dampfausgleich.	300
68.6	Dampfausgleich.	301
68.7	Ölstandskontrolle.	301
68.8	Saugsmelleitung.	301
68.9	Drucksammelleitung.	302
68.10	Abpumpschaltung.	302
68.11	Ölabscheider.	302
68.11.1	Arbeitsweise des Ölabscheiders.	301
68.11.2	Montage des Ölabscheiders.	301
68.12	Auswahl des Ölabscheiders.	301
68.12.1	Auswahl der Ölabscheider für Verbundkälteanlagen.	301
68.13	Ölregelsystem AC&R	301
68.14	Verlegen der Ölrückleitung zwischen Ölbehälter und Ölreglern.	31
68.15	Verbundkälteanlagen mit Kapseln.	31«
69	Flüssigkeitsabscheider in der Kälteanlage.	31*
69.1	Allgemeines.	31
69.2	Anwendung.	31
69.3	Kältemittelaufnahme im Flüssigkeitsabscheider.	31
69.4	Minimale Verdampfungstemperatur.	31
69.5	Maximale Leistung des Flüssigkeitsabscheiders.	31
69.6	Flüssigkeitsabscheider in Verbundanlagen.	31

	Vorteile der Flüssigkeitsabscheider.	318
	Auswahl der Flüssigkeitsabscheider.	319
	Montagehinweise.	320
	Druckdifferenzen und ihre Auswirkung auf die Kälteanlage.	321
	Beachtenswerte Punkte bei der Bemessung und Installation.	321
	Beispiel 1.	321
1.3	Beispiel 2.	322
1.4	Luftgekühlte Wärmetauscher.	322
1.5	Druckdifferenzen einer Kälteanlage, einstufig arbeitend, dargestellt im	
ft*	<i>h</i> , <i>lg</i> p-Diagramm.	323
1.6	Beispiel 3.	323
3.7	Druckdifferenzen und Angebot.	324
\$1	Steuern und Regeln in der Kälteanlage.	324
71*1	Steuern.	326
71.1.1	Steuerung einer elektrischen Verdampferabtauung - Zeitplansteuerung	327
71.2	Regeln.	328
71.2.1	Regelgröße <i>x</i>	330
11.2.2	Stellgröße <i>l</i>	330
11.2.3	Störgröße <i>z</i>	330
11.2.4	Führungsgröße <i>w</i>	330
1.2.5	Regelstrecke <i>s</i>	330
1.2.6	Regler.	330
1.2.7	Stellglied.	331
191.2.8	Regelkreis.	331
1.3	Regeleinrichtungen.	331
1.3.1	Unstetig wirkende Regeleinrichtungen.	331
1.3.2	Regelverhalten einer unstetigen Zweipunktregelstrecke eines Kühlraumes	
	bei einem Einstellverhältnis = 0,5.	332
1.4	Stetig wirkende Regeleinrichtungen.	334
1.4.1	Proportionalregler.	334
1.4.2	Integralregler.	335
1.4.3	Proportional-integral-Regler.	337
1.4.4	Regeleinrichtungen.	338
1.5	Regelstrecken.	338
1.5.1	Regelstrecken mit Verzögerung erster Ordnung.	339
1.5.2	Regelstrecken mit Verzögerung zweiter Ordnung.	340
1.5.3	Regelstrecken ohne Ausgleich.	340
1.6	Regelkreise.	341
1.6.1	Verknüpfte Regelkreise.	341
1.6.1.1	Folgeschaltung von Störgrößen.	342
1.6.1.2	Elektronisches Regelventil.	343
1.7	Leistungskriterien von Kälteanlagenkomponenten.	344
1.7.1	Kältemittelverdichter.	344
1.7.2	Verflüssiger.	345
1.7.3	Verdampfer.	345
1.8	Regelung des Kältemittelverdichters.	346
1.8.1	Ein-Aus-Regelung.	346
1.8.2	Drehfrequenz-Regelung.	347
1.8.3	Aufteilung auf mehrere Kältemittelverdichter.	347
1.8.4	Leistungsregelung an Kolbenverdichtern.	347
1.9	Leistungsregelungen an Umlaufkältemittelverdichtern.	351
1.9.1	Zellenverdichter.	351
	Schraubenverdichter.	351
1.9.3	Turboverdichter.	351
10	Saugdruckregelung.	352
11	Verflüssigungsdruckregelung.	352
11.1	Regelung von wassergekühlten Verflüssigern.	353

71.11.2	Regelung von luftgekühlten Verflüssigern	354
71.12	Kältemittelseitige Regelung	355
71.13	Verdampferregelung	356
71.13.1	Regelung der Flüssigkeitszufuhr.	356
71.13.2	Regelung überfluteter Verdampfer.	356
71.13.3	Hochdruckschwimmerregler.	361
71.13.4	Elektronische Regelsysteme überfluteter Verdampfer.	365
71.14	Regelungen der Flüssigkeitszufuhr bei Verdampfern mit trockener Verdampfung (Überhitzungsbetrieb)	372
71.14.1	Automatisches Drosselventil	372
71.14.2	Thermostatisches Drosselventil	372
71.14.3	Regelung der Verdampfungstemperatur	373
71.14.4	Druckregler	373
71.15	Regelung der Kühlguttemperatur	374
71.15.1	Stetige Regelung	376
71.15.2	Stellglieder.	377
72	Strömungstechnische Grundlagen.	378
72.1	Berechnungsgrundlagen.	379
72.1.1	ζ_{c_v} -Wert	380
72.1.2	Inkompressibler Volumstrom.	382
72.1.3	Kompressibler überkritischer Volumstrom.	382
72.1.4	Kompressibler unterkritischer Volumstrom.	382
72.2	Berechnung der Kälteleistung mit ζ_{c_v} -Wert	383
72.3	Berechnungsbeispiel von Kältemittellarmaturen mit ζ_{c_v} -Wert.	385
72.3.1	Bestimmung eines Magnetventils.	385
73	Magnetventile.	387
73.1	Grundsätzlicher Aufbau.	388
73.2	Funktion.	388
73.3	Direkte Steuerung.	389
73.4	Servosteuerung.	390
73.4.1	Servosteuerung mit Membrane.	390
73.4.2	Servosteuerung mit Kolben.	391
73.4.3	Zwang-Servosteuerung mit Kolben.	393
73.5	Funktionsstörungen.	394
73.5.1	Magnetventil öffnet trotz erregter Spule nicht.	394
73.5.2	Magnetventil schließt trotz unterbrochenem Stromkreis nicht.	394
73.5.3	Magnetisierbare Verunreinigungen im Kältemittel.	395
73.5.4	Verunreinigung hängend eingebauter Magnetventile.	395
74	Drosselventile.	395
74.1	Handregelventile in Kälteanlagen.	395
74.2	Druckgeregelter Drosselventile.	398
74.2.1	Grundsätzlicher Aufbau.	398
74.2.2	Funktion.	399
74.2.3	Druckgeregelter Drosselventile in Kälteanlagen.	401
74.2.4	Druckgeregelter Drosselventile mit Bypass.	402
75	Thermostatische Drosselventile.	402
75.1	Grundsätzlicher Aufbau der Drosselventile.	402
75.2	Funktion.	40;
75.2.1	Arbeitsüberhitzung.	40^
75.2.2	Thermostatisches Drosselventil mit innerem Druckausgleich.	412
75.2.3	Thermostatisches Drosselventil mit äußerem Druckausgleich.	41!
75.2.4	Druckbegrenzte Drosselventile.	41"
75.2.5	Die Fühlermontage bei thermostatischen Drosselventilen.	41!
75.2.6	Einfache Prüfanzordnung für thermostatische Drosselventile.	42
75.3	Thermostatische Drosselventile in Kälteanlagen.	42:

75.3.1	Bemessen der Ventilleistung	424
75.3.2	Berechnungsbeispiel eines thermostatischen Drosselventils.	427
75.4	Leistungsbestimmung von Nacheinspritzventilen.	428
75.4.1	Berechnungsbeispiel.	429
75.5	Kältemittelverteiler für Mehrfacheinspritzung.	431
75.6	Verteilerbauarten und ihre Arbeitsweisen.	431
75.6.1	Staudruckverteiler.	431
75.6.2	Flüssigkeitsverteiler nach dem Venturiprinzip.	433
75.7	Verteiler in Kälteanlagen.	434
75.7.1	Verteilerauswahl.	435
75.8	Elektronisches Drosselventil.	438
75.8.1	Grundsätzlicher Aufbau.	438
75.8.2	Leistungen.	439
75.8.3	Elektronisches Drosselventil in Kälteanlagen.	442
75.9	Kühlstellenregelsystem AK 10.	445
75.9.1	Grundsätzlicher Aufbau.	445
75.9.2	Leistungen.	447
75.9.3	Kühlstellenregelsystem AK 10 in Kälteanlagen.	448
76	Elektronische Regler.	451
76.1	Elektronisches Einspritzventil.	451
76.1.1	Ventilleistung.	451
76.1.2	Funktion.	452
76.1.3	Regelkreis-Verdampfer-Drosselventil	453
76.1.4	Anforderung des praktischen Einsatzes an das Regelverhalten.	454
76.1.5	Grundsätzlicher Aufbau des elektronischen Regelventils Typ TQ bzw. PHTQ.	457
76.1.6	Elektronisches Regelsystem TQ in Kälteanlagen.	458
76.1.7	Leistungsbestimmung des Regelsystems TQ.	461
77	Druckregler.	463
77.1	Verdampfungsdruckregler.	463
77.1.1	Grundsätzlicher Aufbau.	464
77.1.2	Verdampfungsdruckregler in Kälteanlagen.	467
77.1.3	Leistungsbestimmung eines Verdampfungsdruckreglers.	468
77.2	Saugdruckregler.	469
77.2.1	Grundsätzlicher Aufbau.	469
77.2.2	Saugdruckregler in Kälteanlagen.	472
77.2.3	Leistungsbestimmung eines Saugdruckreglers.	472
	Wir erweitern unser Wissen und Können.	474
577.3	Leistungsregler.	475
fTF-3.1	Angleichen von Verdampfer- an Verdichterleistung.	475
177.3.2	Grundsätzlicher Aufbau.	475
£77.3.3	Betriebspunkt der Reglerleistung.	480
|77.3.4	Funktion des Leistungsreglers.	482
117.3.5	Leistungsregler in Kälteanlagen.	482
117.3.6	Bestimmen der Verdichtungsendtemperatur.	483
?3.7	Regelkreis und Leistungsregler.	484
13.8	Bestimmen eines Leistungsreglers.	485
P4	Verflüssigungs-, Sammeldruckregler.	487
54.1	Grundsätzlicher Aufbau.	487
X.2	Funktion des direktgesteuerten Reglers.	488
13	Verflüssigungs- und Sammeldruckregler in Kälteanlagen.	490
t.4	Bestimmen eines Verflüssigungs- und Sammeldruckreglers.	490
	Druckgesteuerte Wasserregler.	492
5.1	Grundsätzlicher Aufbau.	492
5.2	Funktion des druckgesteuerten Wasserreglers.	492

77.5.3	Druckgesteuerte Wasserregler in Kälteanlagen.	493
77.5.4	Bestimmen eines druckgesteuerten Wasserreglers.	495
77.6	Regelung der Verdampferleistung durch elektrisch betätigte Regelventile der Fa. <i>Staeefa</i>	497
77.6.1	Elektrisch betätigte Regelventile für Heißdampfbypass.	497
77.6.2	Grundsätzlicher Aufbau.	498
77.6.3	Betriebsdaten und Montagetips.	498
77.6.4	Regelung der Verdampferleistung durch Heißdampfbypass.	500
77.6.5	Regelung der Verdampferleistung durch Heißdampfbypass und Verteilventil.	500
77.6.6	Regelung in Wärmenutzungsanlagen.	501
77.6.7	Elektrisch betätigte Regelventile für Saugdruckregelung.	501
77.6.8	Bestimmen eines Regelventils für Heißdampfbypass.	503
78	Temperaturregler.	504
78.1	Temperaturregler in Saugleitungen.	504
78.1.1	Direktgesteuerter Temperaturregler.	508
78.1.2	Pilotgesteuerter Temperaturregler.	509
78.1.3	Servoprinzip.	509
78.1.4	Hauptregler.	510
78.1.5	Thermostatische Regelung.	510
78.2	Elektronische Temperaturregelung.	510
78.2.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
78.2.2	Funktion des elektronischen Regelsystems.	510
78.2.3	Elektronisches Regelsystem in Kälteanlagen.	510
78.2.4	Bestimmen eines Regelventils.	510
78.2.5	Elektronische Temperaturregelung.	510
78.3	Thermostate.	510
78.3.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
78.3.2	Funktion.	510
78.3.3	Thermostate in Kälteanlagen.	510
78.4	Thermostate mit neutraler Zone.	510
78.4.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
78.4.2	Funktion.	510
78.4.3	Thermostate mit neutraler Zone in Kälteanlagen.	510
79	Absperrn.	510
79.1	Handbetätigte Absperrventile.	510
79.1.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
79.1.2	Kugelabsperrventile.	510
79.1.3	Handbetätigte Absperrventile in Kälteanlagen.	510
79.2	Rückschlagventile.	510
79.2.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
79.2.2	Rückschlagventile in Kälteanlagen.	510
80	Sichern von Kälteanlagen.	510
80.1	Sicherheitsventile.	510
80.1.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
80.1.2	Sicherheitsventile in Kälteanlagen.	510
80.2	Sicherheitsdruckwächter und -begrenzer.	510
80.2.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
80.2.2	Funktion.	510
80.2.3	Sicherheitsdruckwächter und -begrenzer in Kälteanlagen.	510
80.3	Druckschalter.	510
80.3.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
80.3.2	Druckschalter in der Kälteanlage.	510
80.4	Druckdifferenzschalter.	510
80.4.1	Grundsätzlicher Aufbau.	510
80.4.2	Druckdifferenzschalter in Kälteanlagen.	510

81	Zubehör-Kontrollieren, Überwachen.	552
81.1	Filtertrockner.	552
81.1.1	Grundsätzlicher Aufbau.	552
81.1.2	Funktion.	553
81.1.3	Filtertrockner in Kälteanlagen.	555
81.2	Schaugläser.	557
81.2.1	Grundsätzlicher Aufbau.	557
81.2.2	Funktion.	557
81.2.3	Schaugläser in Kälteanlagen.	558
81.3	Überhitzer (Wärmewechslers).	559
81.3.1	Grundsätzlicher Aufbau.	559
81.3.2	Funktion.	559
81.3.3	Überhitzer in Kälteanlagen.	562
82	Praxisgerechte Bestimmung kältemittelführender Rohrleitungen.	565
82.1	Grundlagen.	565
82.2	Planungsgrundlagen.	566
82.2.1	Druckdifferenz.	566
82.2.2	Ölrückführung.	568
82.2.3	Verdichterschutz.	568
82.3	Bestimmen von kältemittelführenden Rohrleitungen.	569
82.4	Rohrmaterial.	570
82.5	Berechnung der Druckdifferenz.	570
82.6	Strömungsgeschwindigkeit in Rohrleitungen.	571
82.7	Formeln für den Volumstrom.	571
82.8	Bemessen der Saugleitung.	576
82.8.1	Beispiel der Berechnung einer Saugleitung.	577
82.8.2	Ölrückführung und Minimalleistung.	579
82.9	Doppelsteigerohre in Saugleitungen.	581
82.9.1	Bemessen von Doppelsteigerohren in Saugleitungen.	582
82.9.2	Temperaturdifferenz von Doppelsteigerohren in Saugleitungen.	584
82.10	Bemessung der Druckleitung.	584
82.10.1	Beispiel der Berechnung einer Druckleitung.	585
82.11	Flüssigkeitsleitung.	588
82.11.1	Bemessen der Flüssigkeitsleitung.	588
82.12	Schlußbemerkung.	592
	Wir erweitern unser Können und Wissen.	608
182.13	Rohranordnungen	611
	Druckleitung.	613
	Lösungen.	618
	Literatur- und Bildnachweis.	635
	Stichwortregister.	637