



SVK ASF ATF

Schweizerischer Verband
für Kältetechnik

Kältetechnik für das 1. und 2. Lehrjahr EFZ

- Kältesystem-Monteurin / -Monteur
- Kältesystem-Planerin / -Planer

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

Essenz:

In diesen blauen Feldern
findet sich jeweils die
Kernaussage zum Thema.

mathematische Formeln:

diese braunen Felder
beinhalten jeweils
benötigte Formeln.

im Auftrag:



SVK ASF ATF
Schweizerischer Verband
für Kältetechnik

Schweizerischer Verein für Kältetechnik
Eichstrasse 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

Erläuterungen zu Bildern finden sich in
solchen hellbraunen Feldern.

Die meisten Fachbegriffe können im
Begriffsverzeichnis hinten im Lehrmit-
tel nachgeschlagen werden.

Dieses Lehrmittel dient als
Unterstützung im Fachkunde-
unterricht „Kältetechnik“ oder
bei kältetechnischen Semina-
ren und Kursen. Es eignet sich
weniger als autodidaktische
Lernhilfe für Personen, welche
keinerlei kältetechnische Vor-
bildung besitzen.

mit Unterstützung von:

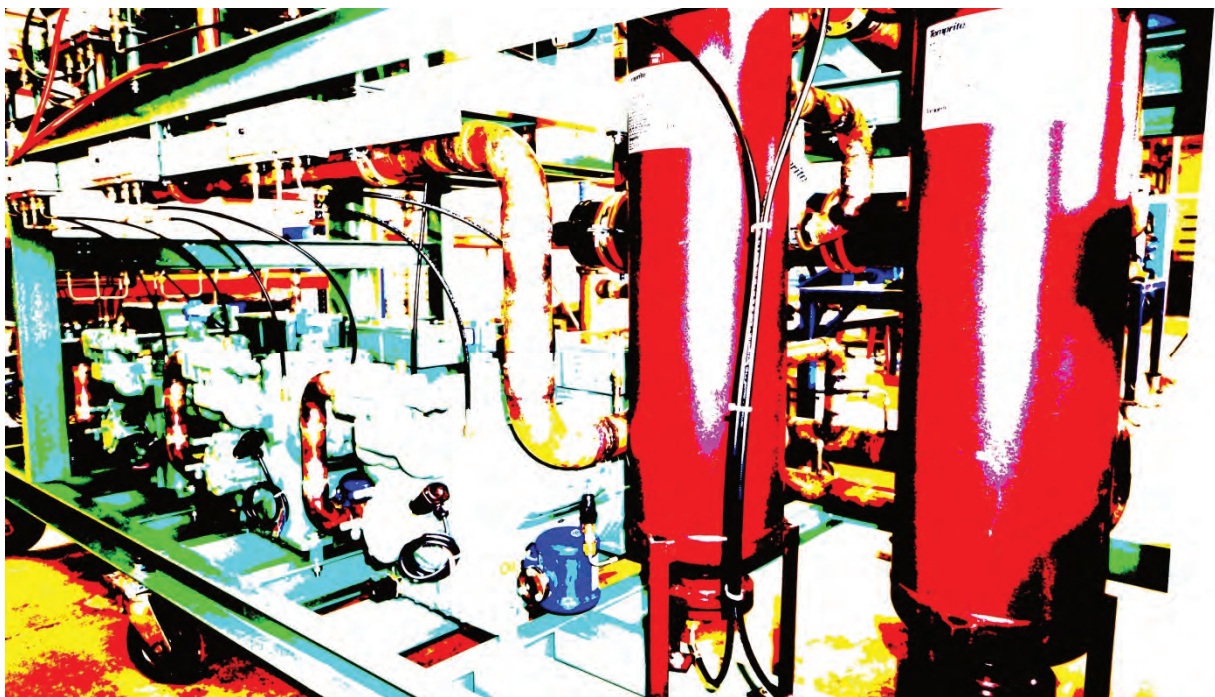


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
**Staatssekretariat für Bildung,
Forschung und Innovation SBF**

Artikelnummer: 1808-208
Titelbild: Hirscha

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	Werkstoffe der Kältetechnik	21
1.1	Aufbau der Materie	21
1.1.1	Atomaufbau	22
1.1.2	Periodensystem der Elemente	24
1.1.3	Oktettregel	26
1.1.4	Ionenbindung	29
1.1.5	Elektronenpaarbindung	31
1.1.6	metallische Bindung	32
1.1.7	Gitterstruktur von Molekülen	34
1.2	Redoxvorgänge.....	35
1.2.1	Reduktionsmittel	36
1.2.2	Oxidationsmittel	36
1.2.3	Oxidation \Leftrightarrow Reduktion: Redox - Vorgang	36
1.2.4	Reduktion	37
1.2.5	Oxidation	37
1.2.6	Oxidationszahl	37
1.2.7	Elektrochemische Spannungsreihe	37
1.2.8	elektrochemisches Potential von Metallen	38
1.3	Beanspruchung von Werkstoffen	39
1.3.1	physikalische Beanspruchungen von Werkstoffen	40
1.3.2	chemische Beanspruchungen von Werkstoffen	42
1.4	Eigenschaften von Werkstoffen.....	45
1.4.1	elastische Verformbarkeit	45
1.4.2	plastische Verformbarkeit	46
1.4.3	Zähigkeit	46
1.4.4	Sprödigkeit	46
1.4.5	Elastizität	46
2	Eisen	47
2.1	Entdeckung und historische Bedeutung von Eisen	47
2.2	Vorkommen von Eisen.....	48
2.3	Eigenschaften von Eisen	48
2.4	biologische Bedeutung von Eisen.....	49
2.5	Isotope des Eisens	49

2.6	Verwendung von Eisen	49
2.7	Abbau des Eisens.....	50
3	Kupfer	52
<hr/>		
3.1	historische Bedeutung von Kupfer.....	52
3.2	Vorkommen von Kupfer.....	53
3.3	Eigenschaften von Kupfer	53
3.4	biologische Bedeutung und Toxizität von Kupfer	53
3.5	Isotope von Kupfer	54
3.6	Verwendung von Kupfer	54
3.7	Gewinnung von Kupfer	55
4	Aluminium	56
<hr/>		
4.1	Entdeckung von Aluminium	56
4.2	Vorkommen von Aluminium.....	56
4.3	Eigenschaften von Aluminium.....	57
4.4	biologische Bedeutung von Aluminium.....	57
4.5	Isotope des Aluminiums	58
4.6	Verwendung von Aluminium	58
4.7	Gewinnung von Aluminium	59
5	Legierungen	59
<hr/>		
5.1	Stahl	60
	5.1.1 Einsatzhärten	60
	5.1.2 Einsatzhärten auf molekularer Ebene	61
5.2	Chromstahl.....	62
5.3	Chromnickelstahl.....	62
5.4	Messing.....	62
5.5	Bronze.....	63
5.6	Rotguss.....	64
6	Geschichte der Kältetechnik	65
<hr/>		
6.1	Schutz vor Verderb von Lebensmitteln.....	65

6.2	Kältetechnik im Zeitraffer.....	67
7	Kühlen von Lebensmitteln (Gewerbekälte)	76
7.1	Abkühlung (sensible Wärme)	77
7.2	Erstarrung (latente Wärme)	77
7.3	Atmungswärme.....	77
7.4	Ausführung der Verdampfer.....	78
7.5	Kühlgut der Gewerbekälte	80
7.5.1	Normalkühlung (Pluskühlung)	81
7.5.2	Normalkühlung: geeignete Lebensmittel	81
7.5.3	Tiefkühlung (Minuskühlung)	87
7.5.4	Tiefkühlung: geeignete Lebensmittel	88
7.5.5	Gefrieren / Schockfrosten	94
8	Industriekälte (Prozesskälte)	95
9	Kältetechnik zu Komfortzwecken (Klimakälte)	96
10	Kältetechnik zu Heizzwecken (Wärmepumpe)	97
11	Zuordnung der Anlagen	99
12	Werkzeuge der Kältetechnik	101
12.1	Manometer.....	101
12.2	Manometerbrücke.....	102
12.2.1	Manometerbrücke mit 2 Absperrventilen	102
12.2.2	Manometerbrücke mit 4 Absperrventilen	102
12.3	Vakuummeter (Torrmeter)	103
12.4	Vakuumpumpe	104
12.5	Füllzylinder, Füllstation.....	105
12.6	Waage	106
12.7	Lecksuchgerät	107
12.8	Phasenprüfer.....	108
12.9	Spannungsprüfer, Messspitze	108
12.10	Multimeter (elektrisch)	109
12.11	Rohrabschneider	110

12.12	Entgrater	110
12.13	Bördelapparat	111
12.14	Biegeapparat	112
12.15	Biegefeder	113
12.16	Expander	113
12.17	Aushalser	114
12.18	Reinigungsbürsten & Tape	114
12.19	Lamellenkamm	115
12.20	Spiegel	116
12.21	Lötanlage	116
	12.21.1 Lötten	117
	12.21.2 Acetylen, der Energieträger	117
	12.21.3 Acetylenzersetzung	119
	12.21.4 Sauerstoff	120
	12.21.5 Gasflaschen in allen Grössen	121
	12.21.6 Druckminderer	121
13	Kupferrohre für die Kältetechnik	122

13.1	Zollrohre	122
13.2	Millimeterrohre	123

14	Leitungsmontage	124
-----------	------------------------	------------

14.1	Schneiden von Kupferrohr	124
14.2	Reinigen und entgraten von Kupferrohren	125
	14.2.1 Vorbereiten des Kupferrohres zum Verschrauben	125
	14.2.2 Vorbereiten des Kupferrohres zum Lötten	126
14.3	Verbinden von Kälteleitungen	128
	14.3.1 Lötten von Kälteleitungen	128
	14.3.2 Silberlot	130
	14.3.3 Phosporlot	131
	14.3.4 Voraussetzungen für eine gute Lötverbindung	132
	14.3.5 Formieren	132
	14.3.6 Schweissen von Kälteleitungen	134
	14.3.7 Arbeitsgase der Kältetechnik	135
14.4	Biegen von Kupferrohren	136
14.5	Leitungsführung	137

14.5.1	Ölrücktransport zum Verdichter	138
14.5.2	Über- und Unterbogen	139
14.5.3	Doppelsteigleitung	141
14.5.4	Anschluss von Verdampfer	142
14.5.5	zusammenführen von Saugleitungen	142
14.5.6	Heissdampf- Steigleitung	142
14.5.7	Saugkollektor bei Verbundanlagen	142
14.5.8	Längenausdehnung	144
14.5.9	Volumenausdehnung	145
14.5.10	Ausdehnung von Gasen und Flüssigkeiten	146
14.5.11	Montagefehler	148
14.5.12	Verzweigungen der Flüssigkeitsleitung	148
15	Inbetriebsetzung von Kälteanlagen	149
15.1	Dichtheitsprobe	149
15.1.1	Druckprobe mit trockenem Stickstoff	149
15.1.2	Vakuumdichtheitsprobe	150
15.1.3	Druckprobe mit Helium	151
15.1.4	Lecksuchspray	151
15.1.5	Seifenwasser zur Lecksuche	152
15.1.6	Halogen-Absuchlampe	152
15.1.7	UV-Lampe / additives Absuchverfahren	153
15.1.8	Leckdetektor, elektronisch	154
15.1.9	Lecksuche an Ammoniakanlagen (NH ₃ / R717)	156
15.2	Evakuieren des Kältesystems	157
15.3	Füllen von Kälteanlagen	160
15.3.1	Füllen mit Kältemittel	160
15.3.2	Füllen mit Kältemittel nach einer Leckage	162
15.3.3	Füllen mit Kälteöl	162
15.4	Kontrollen vor dem Start.....	163
15.5	erster Start.....	163
16	Periodische Wartung von Kälteanlagen	164
16.1	Auszuführende Wartungsarbeiten	166
16.2	Einzelne Schritte der Wartung	168
16.2.1	Konsultieren IB-Protokoll, Vergleich Ist- / Sollwerte neu / alt	168
16.2.2	Reinigung der Wärmetauscher	169
16.2.3	Kontrolle Kältemittelfüllstand / Leckagen	169
16.2.4	Reglage auf kleinstes mögliches p_c/p_o - Verhältnis	170

16.2.5	Kontrolle der Verdichtung	171
16.2.6	Kontrolle der Lüfter und Ventilatoren	173
16.2.7	Kontrolle und Reglage der Abtauungen	174
16.2.8	Überprüfung der Stromaufnahme elektrischer Komponenten	175
16.2.9	Überprüfung der Dämmung	176
16.2.10	Kontrolle adaptiver Regler	177
16.2.11	Kontrolle aller nicht adaptiver Regler	179
16.3	Ziele der Wartung	180
17	Dämmmaterialien für die Kältetechnik	181
<hr/>		
17.1	Unterschiede zwischen Wärme- und Kältedämmung	182
17.1.1	Bedingungen für Dämmschichten der Kältetechnik	183
17.2	Zellgase in Dämmmaterialien	183
17.2.1	Luft als Zellgas	184
17.2.2	Halogenisierte Kohlenwasserstoffe als Zellgase	186
17.2.3	Kohlenwasserstoffe als Zellgase	186
17.2.4	Kohlendioxid als Zellgas	186
17.2.5	Vakuum: „nichts“ als Zellgas	186
17.3	Dämmstoffe	187
17.3.1	PUR-Schaum	187
17.3.2	PUR-Ortschaum	189
17.3.3	PIR-Schaum	189
17.3.4	Polystyrol	190
17.3.5	Schaumglas	192
17.3.6	Kork	193
17.3.7	Zusammenfassung Dämmstoffe	194
17.4	Erkennen einer durchfeuchteten Dämmung	194
18	Ökologie	195
<hr/>		
18.1	Lebensräume des Ökosystems	197
18.2	Atmosphäre	198
18.3	Treibhauseffekt	200
18.3.1	Funktion des Treibhauseffektes	200
18.3.2	Treibhauseffekt von Kältemitteln	200
18.3.3	Energiebilanz der Erde	201
18.4	Ozonschicht	202
18.4.1	Funktion der Ozonschicht	203
18.4.2	Abbau der Ozonschicht durch FCKW	204

18.5	umweltrelevante Begriffe	204
18.5.1	ODP	204
18.5.2	Treibhauseffekt	204
18.5.3	H-GWP	205
18.5.4	GWP	205
18.5.5	TEWI	205
19	Messen	207
20	SI-System	208
20.1	Basiseinheiten	210
20.2	abgeleitete Einheiten	210
20.3	Ableitungen	211
20.3.1	Kraft	211
20.3.2	Energie, Arbeit	211
20.3.3	Leistung	211
20.3.4	Druck	211
20.4	Druckmessung	212
20.5	Temperaturmessung	213
20.5.1	Feststoffthermometer	214
20.5.2	Flüssigkeitsthermometer	215
20.5.3	Gasdruckthermometer	216
20.5.4	Dampfdruckthermometer	216
20.5.5	Thermoelement, Thermocouple, Thermophil	217
20.5.6	Widerstandsthermometer	220
20.5.7	Seegerkegel	223
20.5.8	Temperaturlogger	224
21	Kälteanlage und Wärmetransport	225
21.1	Kältemittel: Transportgebilde für die Wärme	227
21.1.1	Leistungsabhängige Einteilung der Kältemittel	227
21.1.2	Temperaturabhängige Einteilung der Kältemittel	228
21.2	Übertragungskette der Wärme	229
22	Energie	230
22.1	Energieformen	230
22.2	Energieformen und deren Berechnung	233
22.2.1	potentielle Energie	233

22.2.2	kinetische Energie	233
22.2.3	Druckenergie	233
22.2.4	elektrische Energie	233
22.2.5	Wärmeenergie	234
23	Elektrotechnik (Grundlagen)	235
23.1	Wesen des elektrischen Stroms	235
23.1.1	metallischer Festkörper	235
23.1.2	Aufbau eines einzelnen Atoms	235
23.1.3	Verhalten der Elektronen	235
23.2	Wirkung des elektrischen Stromes.....	236
23.2.1	Lichtwirkung	237
23.2.2	Wärmewirkung	237
23.2.3	magnetische Kraftwirkung	237
23.2.4	Druckwirkung	237
23.2.5	chemische Wirkung	237
23.3	Stromkreis als Kreislauf der Elektrizität.....	238
23.4	elektrische Spannung	239
23.5	elektrischer Strom	240
23.6	Messung der elektrischen Spannung (Potential)	241
23.7	Messung des elektrischen Stroms (Stromstärke).....	242
23.8	Stromarten.....	243
23.8.1	Gleichstrom (DC)	243
23.8.2	Wechselstrom (AC), einphasig	244
23.8.3	Wechselstrom (AC), zweiphasig	245
23.8.4	Wechselstrom (AC), dreiphasig	245
23.9	Gleichstromquellen (DC).....	248
23.9.1	Zink-Kohle Batterie	249
23.9.2	Alkali-Mangan Batterie	249
23.9.3	Blei Akku	251
23.9.4	Nickel-Cadmium Akku (NiCd)	252
23.9.5	Nickel-Metallhydrid-Akku (NiMH)	252
23.9.6	Lithium-Ionen Akku (Li-Ionen)	254
23.9.7	Fotovoltaik / Fotozellen	255
23.10	Wechselstromquellen, einphasig (AC).....	259
23.11	Wechselstromquellen, dreiphasig (3AC).....	260
23.12	Drehstrom-Faktor	261

23.13	Elektromotoren	262
23.13.1	Elemente zum Erzeugen einer Drehbewegung	263
23.13.2	Gleichstrommotor (DC-Motor)	264
23.13.3	Asynchronmotor, einphasig (AC-Motor)	265
23.13.4	Spaltnotor	269
23.13.5	Asynchronmotor, dreiphasig (3AC-Motor)	271
23.13.6	Drehstrommotor am Einphasennetz	273
23.13.7	Bürstenloser Gleichstrommotor (EC-Motor)	274
23.13.8	Reluktanzmotor	275
23.14	Anlaufverhalten von Asynchronmotoren.....	277
23.14.1	Stern-Dreieck-Anlauf	278
23.14.2	Teilwicklungsanlauf (part-winding)	279
23.14.3	Widerstandsanlauf	280
23.14.4	Sanftanlasser	280
23.14.5	Frequenzumrichter (FU)	280
23.15	Transformatoren	281
23.15.1	Ringkern- oder Toroidaltransformator	282
23.15.2	Trenntransformator	283
23.15.3	Spartransformator	283
23.15.4	Schalttransformator, Schaltnetzteil	284
24	Wärme	285
24.1.1	Enthalpie	286
24.1.2	Temperatur	287
24.2	Entropie	288
24.3	Hauptsätze der Wärmelehre	290
24.4	Aggregatzustandswechsel	290
24.5	Phasendiagramm.....	292
24.5.1	Unterkühlung	293
24.5.2	Überhitzung	296
24.5.3	Messung von Überhitzung und Unterkühlung im Kältesystem	298
24.5.4	Verdampfen / Verdunsten	299
24.5.5	Volumenänderungsarbeit	300
24.5.6	Volumenänderungsarbeit in einer Kolbenmaschine:	301
24.6	Gasgesetze	302
24.7	Dampfgesetze	305
24.7.1	Volumenänderungsarbeit Vergleich Gase / Dämpfe	305
24.7.2	Joule-Thomson Effekt auf Kältemittel übertragen	306

24.8	Mischen von Flüssigkeiten	307
24.9	Wärmedehnung von festen und flüssigen Körpern	308
24.9.1	Anomalie des Wassers	309
24.10	Dampfdruckkurve	310
24.10.1	Dampfdruckkurven diverser Kältemittel im Vergleich:	313
24.11	Tripelpunkt	314
24.12	kritischer Punkt	315
24.13	Kältesystem	316
24.14	Prinzip der Kälteanlage (Zusammenfassung)	319
25	Kältebedarfsrechnung (kalorische Berechnung)	322
<hr/>		
25.1	Kältebedarfsrechnung bei Komfortkühlanlagen („Klimaanlagen“)	324
25.2	Kältebedarfsrechnung bei Industriekälteanlagen (Prozesskühlung)	326
25.3	Kältebedarfsrechnung für Gewerbekühlanlagen	328
25.3.1	Kühlgutabkühlung	330
25.3.2	Kühlguterstarrung	331
25.3.3	Kühlgutatmung	332
25.3.4	Transmissionsverluste (Verluste durch Wärmeleitung)	333
25.3.5	Transmissionsverluste durch eine gekrümmte Wand	340
25.3.6	Luftwechselperluste	341
25.3.7	Begehungsverluste	350
25.3.8	Beleuchtungsverluste	350
25.3.9	Verdampferabwärme	351
25.3.10	weitere Wärmequellen	351
25.3.11	Umrechnung vom Kältebedarf auf die Kälteleistung	351
26	Kältemittel	352
<hr/>		
26.1	Erwünschte Eigenschaften von Kältemitteln	352
26.1.1	Physikalische (kältetechnische) Anforderungen	352
26.1.2	Chemische Anforderungen	352
26.1.3	Thermodynamische Anforderungen	352
26.1.4	Ökologische Anforderungen	353
26.1.5	Toxikologische Anforderungen	353
26.1.6	Wirtschaftliche Anforderungen	353
26.1.7	Anforderungen: Kompromisse müssen eingegangen werden	353
26.2	erste Kältemittel	354
26.3	halogenisierte Kältemittel	355

26.3.1	Einsatzgebiete reiner Kohlenwasserstoffe (KW):	355
26.3.2	Halogenisieren	356
26.4	Ashrae - Schlüssel	357
26.5	organischen Kältemittel, Einteilung	358
26.6	Kältemittelmischungen	359
26.7	anorganische Kältemittel	363
26.7.1	Ammoniak	363
26.7.2	Kohlendioxyd	365
26.8	Tabelle der wichtigsten Kältemittel, alte wie neue	367
26.9	Sicherheitseinteilung der Kältemittel	368
26.10	Alkane / Alkene	368
26.11	Paradigmenwechsel in Bezug auf Kältemittel	369
26.12	Kältemittelgruppen	370
27	Toxikologie	372
27.1	Einwirkung von Fremdstoffen auf den Körper	372
27.1.1	Aufnahme über die Atmung:	372
27.1.2	Aufnahme über die Haut:	373
27.1.3	Aufnahme über den Mund:	373
27.1.4	Allergien	374
27.2	toxische Auswirkungen	375
27.2.1	lokale Reaktionen	376
27.2.2	systemische Wirkungen	376
27.2.3	Auswirkungen von Kältemitteln	377
27.3	Risikoabschätzung & Prävention	379
27.3.1	Physikalisch-chemischer Zustand des Stoffes	379
27.3.2	Arbeitsplatz	380
27.3.3	Persönlicher Schutz	380
27.3.4	Einhalten der MAK-Werte:	380
27.3.5	Sicherheitsdatenblatt:	381
27.4	Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln	382
28	Thermodynamik	383
28.1	Zustandsänderungen	385
28.1.1	Zustandsänderungen im Prozess	386
28.1.2	Isobare Zustandsänderung	386

28.1.3	Isotherme Zustandsänderung	387
28.1.4	Isochore Zustandsänderung	387
28.1.5	Isentrope Zustandsänderung	387
28.2	allgemeine Gasgesetze	388
28.2.1	Gesetz von Avogadro	388
28.2.2	Gasgesetz nach Gay Lussac	389
28.2.3	Gasgesetz nach Boyle-Mariotte	389
28.2.4	Gasgesetz nach Amontons	390
28.2.5	vereinigtes Gasgesetz	390
28.2.6	Dichte berechnen über das vereinigte Gasgesetz	391
28.2.7	allgemeine Gaskonstante	392
28.2.8	allgemeine Zustandsgleichung der idealen Gase	394
28.2.9	Partialdruckgesetz nach Dalton	395
28.2.10	Anwendung der Gesetze für ideale Gase	398
28.3	Kreisprozesse	399
28.3.1	Otto-Prozess	400
28.3.2	Diesel-Prozess	401
28.3.3	Carnot-Prozess	402
29	log p, h - Diagramm	404
29.1	Nassdampfkurve	406
29.2	Isobare	407
29.3	Isenthalpe	407
29.4	Isotherme	408
29.5	Isentrope	408
29.6	Isochore	409
29.7	x-Linie	409
29.8	Darstellung im Diagramm	410
29.9	reales log p, h-Diagramm	412
29.10	Joule-Thomson Effekt	413
29.11	Berechnungen im log p, h-Diagramm	415
29.11.1	verwendete Abkürzungen	415
29.11.2	indizierter Wirkungsgrad	416
29.11.3	Leistungsziffer	416
29.11.4	Leistungsberechnungen	417
29.11.5	energetische Betrachtungen	418
29.11.6	Berechnung des Kältemittelmassenstroms	419

29.11.7	Bestimmung der Verdichter - Wellenleistung	420
29.11.8	Bestimmung der Verflüssigerleistung	421
29.11.9	Bestimmung eines Enthitzungsregisters (AWN)	422
29.11.10	Bestimmung der Kälteleistung (Wärmepumpe)	423
29.11.11	Bestimmung der Verdichterkälteleistung	424
29.11.12	Bestimmung der Leistung des IWT	425
30	Hauptkomponenten	426
31	Verdichter	427
31.1	Liefergrad	429
31.2	statische Verdichtung	430
31.3	dynamische Verdichtung	430
31.4	Verdichter im log p, h-Diagramm	431
31.5	offene Verdichter	432
31.6	halbhermetische Verdichter	433
31.7	hermetische Verdichter	434
31.8	Schmierung von Kältemittelverdichtern	435
31.8.1	Schleuderschmierung	435
31.8.2	Zentrifugalschmierung	436
31.8.3	Pumpenschmierung	436
31.8.4	Überlagerungsschmierung	437
31.9	Saugdampfkühlung	437
31.9.1	Vor- und Nachteile der Saugdampfkühlung:	438
31.9.2	Saugdampfkühlung im log p, h-Diagramm	439
31.10	Hubkolbenverdichter	440
31.10.1	Zungenventil	441
31.10.2	Ringventil	441
31.10.3	Diskusventil	441
31.10.4	Varianten von Hubkolbenverdichtern	442
31.11	Scrollverdichter	445
31.11.1	Umgebungsbedingungen = $\frac{p_c}{p_o}$ - Verhältnis	446
31.11.2	Unterverdichtung	446
31.11.3	Überverdichtung	446
31.11.4	Digital Scroll-Verdichter	447
31.11.5	Scroll-Verdichter mit Ventilen	448
31.11.6	Scrollverdichter mit Economizer	449

31.11.7	Scrollverdichter mit und ohne Economizer: Vergleich	451
31.12	Schraubenverdichter	453
31.12.1	Weg des Kältemittels durch den Schraubenverdichter	455
31.12.2	Schieberregulierung beim Schraubenverdichter	456
31.12.3	Schraubenverdichter mit Economizer	457
31.12.4	Leistungsregulierung des Schraubenverdichters	458
31.13	Rollkolbenverdichter	459
31.14	Turboverdichter	460
31.14.1	Magnetlagerung	461
32	Verflüssiger	463
<hr/>		
32.1	Berechnung der Verflüssigerleistung	464
32.1.1	Wärmefluss durch den luftgekühlten Verflüssiger	465
32.1.2	Wärmefluss durch den flüssigkeitsgekühlten Verflüssiger	466
32.2	luftgekühlte Verflüssiger	467
32.3	Verdunstungsverflüssiger (Evaporativkondensator)	468
32.3.1	Abschlammung	469
32.3.2	Filtration des Netzwassers	470
32.3.3	Enthärtung durch Ionentauscher	470
32.3.4	Aufbereitung durch Osmose	471
32.3.5	Aufbereitung durch Destillation	471
32.4	Verflüssiger oder Rückkühler	472
32.5	wassergekühlte / flüssigkeitsgekühlte Verflüssiger	473
32.5.1	Plattenverflüssiger	473
32.5.2	Rohrbündelverflüssiger	474
32.5.3	Koaxialverflüssiger	477
32.6	Temperaturdifferenz über den Verflüssiger	478
32.6.1	Phasen der Stoffströmungen im Verflüssiger	479
32.7	anschiessen von Verflüssigern	480
32.7.1	Gleichstrom	480
32.7.2	Gegenstrom	480
32.7.3	Kreuzstrom	480
32.8	Verflüssigerbauarten	481
32.9	Abwärmenutzung (AWN)	482
32.9.1	Aufteilung der Kühlgut- und Antriebswärme	484
32.9.2	Speicherung der Wärme	484

32.9.3	AWN: Energetische Betrachtungen	485
32.9.4	Speicher für die AWN	487
32.9.5	Opferanode	488
32.9.6	Fremdstromanode	489
33	Drosselorgan	490
33.1	Übersicht über die Drosselorgane	491
33.2	Kapillarrohr	492
33.3	automatisches Expansionsventil	494
33.4	thermostatisches Expansionsventil	495
33.4.1	minimales stabiles Signal	497
33.4.2	Überhitzungsfaktor	498
33.4.3	Fühlermontage	499
33.4.4	Regeln zur Fühlermontage	500
33.4.5	Aufbau des thermostatischen Expansionsventils	500
33.4.6	thermostatisches Expansionsventil mit äusserem Druckausgleich	501
33.4.7	thermostatisches Expansionsventil mit MOP	502
33.4.8	Universalfüllung des Expansionsventilfühlers	502
33.4.9	MOP - Füllung des Expansionsventilfühlers	502
33.4.10	MOP-Füllung mit Ballast des Expansionsventilfühlers	503
33.5	elektronische Expansionsventile	504
33.5.1	Stellglied des elektronischen Expansionsventils	504
33.5.2	Regler des elektronischen Expansionsventils	508
33.5.3	Fühler der Expansionsventilregelung	511
33.6	Schwimmerventile für überflutete Verdampfung	512
33.6.1	Niederdruckschwimmer	512
33.6.2	Hochdruckschwimmer	513
34	Verdampfer	514
34.1	Berechnung der Verdampferleistung	515
34.1.1	Wärmefluss durch den Verdampfer (Luftabkühlung)	516
34.2	Verdampfer für die Luftabkühlung	517
34.2.1	statischer Verdampfer (natürliche Konvektion)	518
34.2.2	Ventilatorverdampfer (erzwungene Konvektion)	519
34.2.3	Ventilatorverdampfer «Innengerät»	520
34.2.4	Coanda Effekt	521
34.3	Verdampfer für die Flüssigkeitsabkühlung	523
34.3.1	Plattenverdampfer	523

34.3.2	Plattenverdampfer als Zweistufenverdampfer	525
34.3.3	Rohrbündelverdampfer	527
34.3.4	Koaxialverdampfer	529
34.3.5	Wärmefluss durch den Verdampfer (Flüssigkeitsabkühlung)	530
34.3.6	Temperaturdifferenz über den Verdampfer	531
34.3.7	Phasen der Stoffströmungen im Verdampfer	532
34.4	anschiessen von Verdampfern	533
34.4.1	Gleichstrom	533
34.4.2	Gegenstrom	533
34.4.3	Kreuzstrom	533
34.5	Verdampfer für die trockene Verdampfung	534
34.6	Mehrfacheinspritzung	535
34.6.1	Mehrfachverteiler	535
34.6.2	Venturiverteiler	536
34.6.3	Heissdampfabtauung bei Strömungsverteilern	536
34.6.4	CAL – Verteiler	537
34.7	Verdampfer für überflutete Expansion	538
34.7.1	überflutete Verdampfung mit Hochdruckschwimmer	538
34.7.2	überflutete Verdampfung mit Niederdruckschwimmer	539
34.7.3	Ölhaushalt in überfluteten Anlagen	539
34.7.4	Anlage für überflutete Verdampfung (ND/HD-Schwimmer)	540
34.7.5	Anlage mit für überflutete Verdampfung (ND-Schwimmer)	541
34.8	Abtauen.....	542
34.8.1	Manuelle Abtauung durch Abschalten der Anlage	542
34.8.2	Zyklische Abtauung	542
34.8.3	Stillstandsabtauung	544
34.8.4	Umluftabtauung	544
34.8.5	Elektrische Abtauung	545
34.8.6	Heissdampfabtauung	546
34.8.7	Kaltdampfabtauung	548
34.9	Regulierung der Abtauung	548
34.9.1	Zeitgesteuerte Abtauung	548
34.9.2	Zeitgesteuerte Abtauung mit Abtaubegrenzung	549
34.9.3	Bedarfsabtauung	551
34.9.4	Zusammenfassung Abtaumethoden	555
35	Filtertrockner	556

36	Schauglas	558
-----------	------------------	------------

37	Systeme von Kälteanlagen	560
37.1	Einfachstanlage	560
37.2	reale Einfachstanlage	562
37.2.1	Elektrische Schaltung der realen Einfachstanlage	563
37.3	Standartanlage	566
37.3.1	Pump-down Schaltung	566
37.3.2	Elektrische Schaltung der Standartanlage	567
37.3.3	Merkmale der Standartanlage	571
37.3.4	Beispiele von Standartanlagen	571
37.4	Standartanlage mit mehreren Kühlstellen	572
37.4.1	Pump-down Schaltung der Standartanlage mit mehreren Kühlstellen	572
37.4.2	Teillastbetrieb der Standartanlage mit mehreren Kühlstellen	573
37.4.3	Elektrische Schaltung der erweiterten Standartanlage	574
37.5	Verbundanlage	577
37.5.1	Teillastbetrieb der Verbundanlage	578
37.5.2	Teillastbetrieb der Verbundanlage mit Drehzahlregulierung	578
37.6	Boosteranlage	582
38	Kältesysteme im log p, h-Diagramm	584
38.1	Standartanlage im log p, h-Diagramm	584
38.2	Anlage mit Verdampferdruckregler im log p, h-Diagramm	585
38.3	Heissdampfverbund im log p, h-Diagramm	588
38.4	Kaskadenanlagen	590
38.5	Transkritische Systeme im log p, h – Diagramm	591
38.5.1	Kohlendioxid als Kältemittel für den transkritischen Betrieb	592
38.5.2	Transkritischer Prozess mit einstufiger Entspannung	592
38.5.3	Transkritischer Prozess mit zweistufiger Entspannung	596
39	Begriffsverzeichnis	599
40	Stichwortverzeichnis	703