

Inhalt	Contents	
Vorwort	Foreword	9
1. Grundlagen der Thermodynamik	1. Fundamentals of thermodynamics	12
1.1 Einführung	1.1 Introduction	12
1.2 Temperatur	1.2 Temperature	12
1.3 Druck	1.3 Pressure	16
1.3.1 Druckeinheiten	1.3.1 Units of pressure	16
1.3.2 Druckmessung	1.3.2 Measuring pressure	16
1.3.3 Manometer, Überdruck und absoluter Druck	1.3.3 Pressure gauge, overpressure and absolute pressure	18
1.4 Enthalpie, Aggregatzustandsänderungen, Begriffe	1.4 Enthalpy, changes in physical state, terms	21
1.5 Nassdampftabelle, Dampfdruckkurve	1.5 Table of thermophysical data, vapour pressure curve	24
1.6 Dichte und spezifisches Volumen	1.6 Density and specific volume	27
2. Funktion der Kälteanlage	2. Function of a refrigeration system	29
3. Kältetechnische Kenngrößen	3. Refrigeration parameters	34
3.1 Leistung, Energieeffizienz, Leistungszahlen (EER, COP), Arbeitszahl, SEER, SEPR, Sauggasüberhitzung, Flüssigkeitsunterkühlung	3.1 Power, energy efficiency, performance coefficients (EER, COP), energy performance ratio, SEER, SEPR, suction gas superheating, liquid subcooling	34
3.1.1 Arbeit, Wärme	3.1.1 Work, heat	34
3.1.2 Leistung	3.1.2 Power	34
3.1.3 Leistungszahlen (EER und COP)	3.1.3 Performance coefficients (EER and COP)	35
3.1.4 Saisonaler EER (SEER), COP/EER (SEPR), saisonaler COP (SCOP)	3.1.4 Seasonal EER (SEER), COP/EER (SEPR), seasonal COP (SCOP)	36
3.1.5 Jahresarbeitszahl	3.1.5 Seasonal performance factor	37
3.2 Sauggasüberhitzung	3.2 Suction gas superheat	37
3.2.1 Gründe für die Überhitzung, Definition	3.2.1 Reasons for superheating, definition	37
3.2.2 Wie wird Überhitzung erreicht?	3.2.2 How is superheating achieved?	41
3.2.3 Beispiel für Überhitzung	3.2.3 Superheating example	42
3.3 Flüssigkeitsunterkühlung	3.3 Liquid subcooling	43

3.3.1	Gründe für die Unterkühlung, Definition	3.3.1	Reasons for subcooling, definition	43
3.3.2	Wie wird Unterkühlung erreicht?	3.3.2	How is subcooling achieved?	44
3.3.3	Beispiel für Unterkühlung	3.3.3	Subcooling example	46
4.	Hauptkomponenten des Kältemittelkreislaufs	4.	Main components in a refrigerant circuit	48
4.1	Verdampfer	4.1	Evaporator	48
4.1.1	Einführung, Verdampferleistung	4.1.1	Introduction, evaporator capacity	48
4.1.2	Trockene und überflutete Verdampfung	4.1.2	Dry and flooded evaporation	49
4.1.3	Verdampferbauarten	4.1.3	Evaporator designs	53
4.2	Drosselorgane/Expansionsorgane	4.2	Expansion devices	56
4.2.1	Kapillarrohr	4.2.1	Capillary tube	57
4.2.2	Thermostatische Expansionsventile	4.2.2	Thermostatic expansion valves	58
4.2.3	Elektronische Expansionsventile	4.2.3	Electronic expansion valves	65
4.2.4	Schwimmerventile	4.2.4	Float valves	67
4.3	Verflüssiger	4.3	Condenser	69
4.3.1	Zonen im Verflüssiger	4.3.1	Condenser sections	69
4.3.2	Verflüssigerbauarten	4.3.2	Condenser designs	71
4.4	Verdichter	4.4	Compressor	78
4.4.1	Verdichterkenndaten	4.4.1	Compressor parameters	78
4.4.2	Leistungsangaben	4.4.2	Performance data	81
4.4.3	Verdichtereinsatzgrenzen	4.4.3	Compressor application limits	85
4.4.4	Verdichterbauarten	4.4.4	Compressor designs	87
4.4.5	Verdichterleistungsregelung	4.4.5	Compressor load control	97
5.	Weitere Komponenten des Kältemittelkreislaufs	5.	Additional components in a refrigerant circuit	105
5.1	Filtertrockner	5.1	Filter dryer	105
5.1.1	Allgemeines	5.1.1	General	105
5.1.2	Aufgaben des Filtertrockners	5.1.2	Filter dryer function	107
5.1.3	Bauarten	5.1.3	Designs	107
5.1.4	Anwendungshinweise	5.1.4	Application notes	109

5.2	Schauglas	5.2	Sight glass	110
5.3	Ölabscheider	5.3	Oil separator	111
5.3.1	Allgemeines	5.3.1	General	111
5.3.2	Funktion	5.3.2	Function	112
5.4	Flüssigkeitssammler	5.4	Liquid receiver	114
5.5	Flüssigkeitsabscheider	5.5	Suction accumulator	115
5.6	Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässige Druckbeanspruchung	5.6	Safety devices for protection against excessive pressure	117
5.6.1	Allgemeines	5.6.1	General	117
5.6.2	Bauarten	5.6.2	Designs	117
5.6.3	Aufbau und Einstellung eines Druckwächters	5.6.3	Design and adjustment of a pressure limiter	119
5.7	Magnetventil	5.7	Solenoid valve	121
5.8	Rückschlagventil	5.8	Check valve	123
6.	Kältemittel	6.	Refrigerants	125
6.1	Einteilung und Bezeichnung der Kältemittel	6.1	Refrigerant classification and designations	125
6.1.1	Einteilung nach dem molekularen Aufbau	6.1.1	Classification according to molecular structure	125
6.1.2	Kältemittelgemische	6.1.2	Refrigerant mixtures (blends)	126
6.1.3	Natürliche Kältemittel	6.1.3	Natural refrigerants	129
6.2	Eigenschaften von Kältemitteln	6.2	Refrigerant properties	129
6.2.1	Übersicht über häufig verwendete Kältemittel	6.2.1	Overview of frequently used refrigerants	129
6.2.2	Sicherheitsklassifikation von Kältemitteln	6.2.2	Safety classes of refrigerants	130
6.2.3	Drucklage	6.2.3	Pressure level	131
6.2.4	Verdichtungsendtemperatur/Heißgas-temperatur	6.2.4	Discharge temperature	132
6.2.5	Leistungsfähigkeit und Effizienz	6.2.5	Performance and efficiency	133
6.2.6	Chemische Eigenschaften	6.2.6	Chemical properties	135
6.2.7	Einsatzbereiche der Kältemittel	6.2.7	Application ranges of refrigerants	136
6.3	Umweltverträglichkeit, Gesetzgebung	6.3	Environmental compatibility, legislation	137

6.3.1	ODP (ozone depletion potential, Ozon- abbaupotenzial)	6.3.1	ODP (ozone depletion potential)	137
6.3.2	GWP (global warming potential, Treibhaus- potenzial)	6.3.2	GWP (global warming potential)	139
7.	Kältemaschinenöl	7.	Refrigeration compressor oil	143
7.1	Aufgabe des Kältemaschinenöls	7.1	Function of refrigeration compressor oil	143
7.2	Wichtige Eigenschaften	7.2	Important properties	143
7.3	Einteilung der Kältemaschinenöle	7.3	Classification of refrigeration compressor oils	145
7.3.1	Übersicht über die verwendeten Öle	7.3.1	Overview of oils used	145
7.3.2	Mineralöl (MO)	7.3.2	Mineral oil (MO)	145
7.3.3	Alkylbenzolöl (AB)	7.3.3	Alkylbenzene oil (AB)	146
7.3.4	Polyolesteröl (POE)	7.3.4	Polyolester oil (POE)	146
7.3.5	Polyalkylenglykolöl (PAG)	7.3.5	Polyalkylene glycol oil (PAG)	146
7.3.6	Polyvinyletheröl (PVE)	7.3.6	Polyvinyl ether oil (PVE)	146
7.3.7	Polyalphaolefine (PAO)	7.3.7	Poly-alpha-olefins (PAO)	147
8.	Einführung in das lg p, h-Diagramm	8.	Introduction to the lg p-h diagram	148
8.1	Aufbau des lg p, h-Diagramms	8.1	Structure of the lg p-h diagram	148
8.2	Achsenbeschreibung	8.2	Description of axes	148
8.2.1	Druck (y-Achse)	8.2.1	Pressure (y-axis)	148
8.2.2	Spezifische Enthalpie (x-Achse)	8.2.2	Specific enthalpy (x-axis)	149
8.3	Siedelinie, Taulinie und kritischer Punkt K	8.3	Bubble line, dew line and critical point K	149
8.4	Isobaren (p = konstant)	8.4	Isobars (p = constant)	150
8.5	Isenthalpen (h = konstant)	8.5	Isenthalpic lines (h = constant)	151
8.6	Isothermen (t = konstant)	8.6	Isotherms (t = constant)	151
8.7	Beispiel	8.7	Example	152
8.8	Isovaporen (x = konstant)	8.8	Lines of constant vapour quality (x = constant)	156
8.9	Isochoren (p = konstant bzw. v = konstant)	8.9	Isochoric lines (p = constant resp. v = constant)	157
8.10	Isentropen (s = konstant)	8.10	Isentropic lines (s = constant)	158

8.11	Arbeiten mit dem lg p, h-Diagramm	8.11	Working with the lg p-h diagram	160
8.12	Druckabfall von Wärmeübertragern	8.12	Pressure drop in heat exchangers	161
9.	Inbetriebnahme/Service	9.	Commissioning/service	163
9.1	Allgemeines	9.1	General	163
9.2	Arbeitsschritte bei einer Inbetriebnahme	9.2	Commissioning steps	164
9.2.1	Sichtprüfung	9.2.1	Visual inspection	164
9.2.2	Druckprüfung	9.2.2	Pressure testing	164
9.2.3	Dichtheitsprüfung	9.2.3	Tightness testing	167
9.2.4	Evakuieren	9.2.4	Evacuation	168
9.2.5	Befüllen, Ermitteln der erforderlichen Füllmenge	9.2.5	Charging refrigerant, determining the necessary volume	171
9.2.6	Probelauf, Überprüfung und Einstellung der Sicherheitseinrichtungen	9.2.6	Test run, checking and adjusting the safety devices	173
9.2.7	Dokumentation, Kennzeichnung	9.2.7	Documentation, marking	173
9.3	Instandhaltung/Instandsetzung	9.3	Maintenance/repairs	174
9.4	Absaugen und Umfüllen von Kältemittel	9.4	Removal and recovery of refrigerant	175
9.5	Dichtheitsprüfmethode	9.5	Tightness testing methods	176
9.5.1	Druckabfallprüfung (Druckstandsprobe)	9.5.1	Pressure drop test (constant pressure level test)	176
9.5.2	Druckanstiegsprüfung (Vakuumprüfung)	9.5.2	Pressure rise test (vacuum test)	177
9.5.3	Blasentauchprüfung	9.5.3	Bubble immersion test	177
9.5.4	Lecksuche durch Seifenblasentest	9.5.4	Leak detection using soap bubble test	178
9.5.5	Lecksuche mit Indikatorflüssigkeiten	9.5.5	Leak detection using indicator liquids	178
9.5.6	Lecksuche mit Halogenlecksuchgeräten	9.5.6	Leak detection using halogen leak detectors	179
9.5.7	Lecksuche mit Helium oder Wasserstoff	9.5.7	Leak detection using helium or hydrogen	181
10.	Fehlersuche	10.	Troubleshooting	182
10.1	Grundvoraussetzungen für die Fehlersuche	10.1	Fundamental troubleshooting requirements	182
10.2	Vorgehensweise bei der Fehlersuche	10.2	Troubleshooting procedure	182
10.2.1	Fehlerbeschreibung	10.2.1	Fault description	183

10.2.2	Kältemittel	10.2.2	Refrigerant	183
10.2.3	Anlagenaufbau	10.2.3	Plant design	184
10.2.4	Sichtprüfung	10.2.4	Visual inspection	185
10.3	Messinstrumente und Messungen bei der Fehlersuche	10.3	Measuring instruments and measurements for troubleshooting	187
10.3.1	Manometer	10.3.1	Pressure gauge	187
10.3.2	Thermometer	10.3.2	Thermometer	188
10.3.3	Messungen	10.3.3	Measurements	188
10.3.4	Anhaltswerte für Messergebnisse	10.3.4	Guide values for measurement results	190
10.4	Typische Fehler und mögliche Ursachen	10.4	Typical faults and possible causes	190
10.4.1	Allgemeines	10.4.1	General	190
10.4.2	Symptome bei der Sichtprüfung	10.4.2	Symptoms during visual inspection	191
10.4.3	Symptome bei der messtechnischen Überprüfung	10.4.3	Symptoms during measurements	194
11.	Anhang	11.	Appendix	199
11.1	Formelzeichen und Indizes	11.1	Formula symbols and indexes	199
11.2	Messstellen	11.2	Measuring points	205
11.2.1	Messstellenkodierung	11.2.1	Measuring point coding	205
11.2.2	Messstellenbezeichnungen	11.2.2	Measuring point designations	206
11.2.3	Fließschema	11.2.3	Flow chart	208
11.3	Bildzeichen	11.3	Pictographs	209
12.	Bildquellen	12.	Image sources	214
Notizen		Notes		216