

1	Einleitung	1
2	Betrachtungen zur Ökologie und Ökonomie	3
2.1	Auswirkungen auf die Umwelt	3
2.2	Betrachtungen zur Ökonomie – Entwicklung der Energiekosten	5
2.3	Woher die Erdwärme kommt	7
3	Was ist eine Wärmepumpe und wie funktioniert sie?	9
3.1	Warum heißt die Wärmepumpe „Wärmepumpe“?	9
3.2	Aufbau einer Wärmepumpe und deren Komponenten	10
3.3	Der technische Kältekreislauf und die Funktion der Wärmepumpe	11
3.3.1	Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Unterkühlung und Überhitzung	14
3.3.2	Technischer Kältekreislauf einer Wärmepumpe mit Heißgasnutzung	14
3.3.3	Beispiel zum prinzipiellen Aufbau einer Wärmepumpe	15
3.4	Der Regler	16
3.5	Der Kältekreislauf im p-h-Diagramm	18
3.6	Das Kältemittel	19
3.7	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	23
3.7.1	Wasser-Wasser-Wärmepumpe ohne Systemtrennung	24
3.7.2	Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Systemtrennung	25
3.8	Sole-Wasser-Wärmepumpe	25
3.8.1	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	26
3.8.2	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren	27
3.9	Wärmepumpe mit Direktverdampfer	28
3.10	Luft-Wasser-Wärmepumpe	29
3.10.1	Kompaktanlagen	30
3.10.2	Splitanlagen	31
3.11	Boiler-Wärmepumpen	32
3.12	Boiler-Wärmepumpen mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft	32
3.13	Kühlen mit einer Wärmepumpe	32
3.13.1	Die „freie Kühlung“	33
3.13.2	Reversibel arbeitende Wärmepumpe zum aktiven Kühlen	34
3.13.3	Regelung beim Kühlbetrieb	35
3.14	Gasbetriebene Wärmepumpen	36
3.14.1	Gasmotor-Wärmepumpe	36
3.14.2	Absorptionswärmepumpen	37
3.14.3	Gegenüberstellung der beiden gasbetriebenen Wärmepumpen	38
3.14.4	Zeolith-Gas-Adsorptionswärmepumpe	39
3.15	Luft-Luft-Wärmepumpen	42
3.16	Weitere Einsatzmöglichkeiten für Wärmepumpen	43
4	Leistung einer Wärmepumpe	47
4.1	Leistungszahl	47
4.1.1	Leistungszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe	50
4.1.2	Leistungszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpe	50
4.1.3	Vergleich der Leistungszahl ϵ einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe	51
4.1.4	Leistungszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpe	52
4.2	Das Jahres-Verhalten verschiedener Wärmepumpen	53
4.2.1	Das Jahres-Verhalten einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	53
4.2.2	Das Jahres-Verhalten einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage	55

4.2.3	Das Jahres-Verhalten einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	57
4.2.4	Vergleichende Betrachtungen zum Jahres-Verhalten der verschiedenen Wärmepumpenanlagen	60
4.3	Jahresarbeitszahl	60
4.3.1	Die Jahresarbeitszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	61
4.3.2	Die Jahresarbeitszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage	63
4.3.3	Die Jahresarbeitszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	63
4.3.4	Berechnung der Jahresarbeitszahl gem. VDI 4650	64
4.4	Primärenergiefaktor f_p und Energieaufwandszahl e_p	65
5	Projektierung einer Wärmepumpenanlage	67
5.1	Die Aufgaben eines Architekten und Beraters	68
5.1.1	Beratung und Planung durch den Architekten und Berater	68
5.1.2	Beratung und Planung durch den Architekten und Berater und Sonderwünsche	69
5.1.2.1	Beheizung von Schwimmbädern	69
5.1.2.2	Beheizung von Nebengebäuden	69
5.1.3	Betreuung und Bauüberwachung durch den Architekten und Berater	69
5.2	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe	70
5.2.1	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für einen Neubau	70
5.2.2	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für den Baubestand	74
5.2.3	Wärmepumpen im Baubestand	74
5.2.3.1	Wärmepumpen im Baubestand mit Fußbodenheizung und Heizkörpern	75
5.2.3.2	Wärmepumpen im Baubestand mit Heizkörpern	76
5.2.3.3	Rettet den Ruf der Wärmepumpen!	77
5.2.4	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für Industriehallen	78
5.2.5	Berechnungsbeispiel der Heizleistung eines Einfamilienhauses gem. Wärmegesetz	81
5.2.6	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für ein Schwimmbad	83
5.2.7	Wärmepumpen im gewerblichen Einsatz	83
5.2.8	Wärmepumpen in Wohnsiedlungen und Wärmepumpengroßanlagen	85
5.2.8.1	Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlagen	85
5.2.8.2	Sole-Wasser-Wärmepumpenanlagen	86
5.2.8.3	Luft-Wasser-Wärmepumpenanlagen	88
5.2.8.4	Schlussbetrachtungen zu Wärmepumpen in Wohnsiedlungen und Wärmepumpengroßanlagen	89
5.2.9	Wärmepumpen für stark gedämmte Häuser und Passivhäuser	89
5.3	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	90
5.3.1	Hydrologische und geologische Bedingungen	91
5.3.2	Die Wasserqualität	92
5.3.3	Förder- und Schluckbrunnen	93
5.3.4	Eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe auch bei Eisen/Mangan im Wasser	94
5.3.5	Projektierungsbeispiel einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe	95
5.4	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage	96
5.4.1	Berechnung der Kälteleistung	96
5.4.2	Erdsonden	97
5.4.2.1	Projektierung von Erdsonden	98
5.4.2.2	Erstellen von Erdsonden	102
5.4.3	Projektierungsbeispiel einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdsonden	103
5.4.4	Projektierung von Erdkollektoren	106
5.4.5	Projektierungsbeispiel einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdkollektoren	108
5.4.6	Energimatten – Eine Alternative zu Erdkollektoren?	110

5.4.7	Projektierung von Energiekörpern	110
5.4.8	Grabenkollektor	111
5.4.9	Dachabsorber, Energiezäune, Massivabsorber, etc.	111
5.4.10	Seeabsorber/Flussabsorber	112
5.5	Projektierung einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	114
5.5.1	Auslegung einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage auf Tiefsttemperatur	115
5.5.2	Ermittlung des Bivalenzpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	115
5.5.3	Projektierungsbeispiel einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	115
5.6	Gegenüberstellung von Wasser-Wasser-Wärmepumpen, Sole-Wasser-Wärmepumpen und Luft-Wasser-Wärmepumpen.	126
5.7	Qualitätsmerkmale einer Wärmepumpe	126
5.8	Projektierung der Elektroinstallation einer Wärmepumpe	127
5.9	Beantragungen und Genehmigungen von Wärmepumpenanlagen	127
5.10	Förderungen von Wärmepumpenanlagen	129
5.11	Bedeutung einer Flächenheizung für Wärmepumpen	129
6	Grundwasserschutz	131
6.1	Gesetzliche Bestimmungen	131
6.2	Geo-Protector	132
6.2.1	Sole-Wasser-Wärmepumpen und deren Gefährdungspotenziale	133
6.2.2	Die Funktion des Geo-Protectors	134
6.2.3	Umweltrelevante und wirtschaftliche Betrachtungen	135
6.2.4	Kosten-Nutzen-Betrachtungen	136
6.2.5	Empfehlungen zur Realisierung der neuen Grundwasserschutzeinrichtung (Geo-Protector)	136
6.3	CO₂-Sonden	137
7	Hydraulik	139
7.1	Die Primärpumpe	140
7.1.1	Die Unterwasserpumpe und deren Überwachung	140
7.1.2	Projektierungsbeispiel einer Wasserversorgung mit Unterwasserpumpe und Rohrleitungen	145
7.1.3	Die Sole-Umwälzpumpe	147
7.1.4	Projektierungsbeispiel des Sole-Kreislaufnetzes mit einer Sole-Umwälzpumpe und Rohrleitungen	148
7.2	Die Sekundärpumpe oder Ladepumpe	150
7.2.1	Beispiel: Ermittlung der Sekundärpumpe oder Ladepumpe	152
7.3	Der Pufferspeicher	156
7.4	Die Warmwasserbereitung	159
7.4.1	Warmwasserbereitung über Durchlauferhitzer	159
7.4.2	Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab in einem separaten Warmwasserspeicher	159
7.4.3	Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe über einen Warmwasserspeicher	160
7.4.4	Warmwasserbereitung mit einer Wärmepumpe und einer zusätzlichen Solaranlage	161
7.4.5	Hygienische Warmwasserbereitung im Durchlaufprinzip	162
7.5	Dimensionierung der Warmwasserleitung	163
7.6	Elektrotechnik und Wärmepumpen	163
7.6.1	Elektrische Einspeisung	163
7.6.2	Steuerspannungen	163
7.6.3	Wächter und Sensoren	164

8	Leitfaden zur Projektierung einer Wärmepumpenanlage	165
9	Darstellung verschiedener Wärmepumpenanlagen	167
9.1	Eine einfache Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	168
9.2	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung	169
9.3	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung, Solaranbindung und Kachelofen	170
9.4	Wärmepumpengerätetypen	170
9.4.1	Einzelwärmepumpengeräte	170
9.4.2	Kompaktanlagen	171
10	Wirtschaftliche Betrachtungen	173
10.1	Lohnt sich eine Wärmepumpe?	173
10.2	Einsparmöglichkeiten für Kommunen und Länder	176
10.3	Betrachtungen zu Amortisationen verschiedener Heizungsanlagen	176
10.4	Billig oder gut? – Ich bin zu arm, um billig zu kaufen!	178
11	Gesetze und Einrichtungen zum Schutz der Umwelt und Personen	181
11.1	Normen und Richtlinien	181
11.2	Schutz des Erdreiches sowie des Grund- und Oberflächenwassers	184
12	Inbetriebnahme von Wärmepumpenanlagen	185
12.1	Inbetriebnahme einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	186
12.2	Inbetriebnahme einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage	187
12.3	Inbetriebnahme einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	187
12.4	Trockenheizen und Aufheizen	187
13	Häufige Fehler bei Wärmepumpen	189
13.1	Fehler beim Brunnenbau	189
13.2	Fehler bei Erdsonden/Erdkollektoren	189
13.3	Fehler bei der Hydraulik	190
13.4	Fehler in der Installation	190
13.5	Fehlermeldungen und deren mögliche Ursachen	191
13.6	Fehler beim Betrieb	192
14	Schlussbetrachtungen und Aussichten	193
15	Übungsaufgaben	195
15.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe	205
15.2	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	207
15.3	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren	208
15.4	Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage	209
15.5	Berechnung des Bivalenzpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpe	211
15.6	Berechnung verschiedener Energieaufwandszahlen	211
15.6.1	Berechnung der Energieaufwandszahl eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschließlich Warmwasserbereitung	211
15.6.2	Berechnung der Energieaufwandszahl eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit elektrischer Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab	211
16	Fragen	213
17	Beispiele Wärmepumpenanlagen	215
17.1	Ein besonderes Beispiel kommunaler Weitsicht in Dorsten-Wulfen	217

18	Lösungen zu den Übungsaufgaben aus Kapitel 15	219
18.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Aufgabe 15.1)	219
18.2	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden (Aufgabe 15.2)	227
18.3	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren (Aufgabe 15.3)	233
18.4	Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage (Aufgabe 15.4)	240
18.5	Berechnung des Bivalenzpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (Aufgabe 15.5)	255
18.6	Berechnung verschiedener Energieaufwandszahlen (Aufgabe 15.6)	257
18.6.1	Berechnung der Energieaufwandszahl e_p eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschließlich Warmwasserbereitung	257
18.6.2	Berechnung der Energieaufwandszahl e_p eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit elektrischer Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab.....	257
19	... und Antworten	259
20	Stichwortverzeichnis	263
21	Bildquellenverzeichnis	267
22	Tabellenquellenverzeichnis	274
23	Adressen	276