

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	6
2.3	Woher die Erdwärme kommt	8
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	15
3.3.3	Beispiel zum prinzipiellen Aufbau einer Wärmepumpe	16
3.4	Der Regler	17
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	26
3.8.1	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	27
3.8.2	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren	28
3.9	Erweiterte Wärmepumpen	29
3.9.1	Wärmepumpe mit Direktverdampfer	29
3.9.2	Wärmepumpe mit Direktkondensation	30
3.10	Luft-Wasser-Wärmepumpe	31
3.10.1	Luft-Wasser-Kompaktanlagen	32
3.10.2	Splitanlagen	33
3.10.3	Abluftwärmepumpe	34
3.11	Wärmepumpen mit Invertertechnik	34
3.12	Boiler-Wärmepumpen	35
3.13	Boiler-Wärmepumpen mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft	35
3.14	Kühlen mit einer Wärmepumpe	35
3.14.1	Die „freie Kühlung“	36
3.14.2	Reversibel arbeitende Wärmepumpe zum aktiven Kühlen	37
3.14.3	Regelung beim Kühlbetrieb	38
3.15	Gasbetriebene Wärmepumpen	39
3.15.1	Gasmotor-Wärmepumpe	39
3.15.2	Absorptionswärmepumpen	40
3.15.3	Gegenüberstellung der beiden gasbetriebenen Wärmepumpen	42
3.15.4	Zeolith-Gas-Adsorptionswärmepumpe	43
3.15.5	Hybrid-Wärmepumpe	46
3.15.6	Eis-Wärmepumpe	47
3.16	Luft-Luft-Wärmepumpen	48
3.17	Weitere Einsatzmöglichkeiten für Wärmepumpen	49
4	Leistung einer Wärmepumpe COP und ϵ	52
4.1	Leistungszahl ϵ und COP	52
4.1.1	Leistungszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe	55
4.1.2	Leistungszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpe	56
4.1.3	Vergleich der Leistungszahl ϵ einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe	57
4.1.4	Leistungszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpe	57

4.2	Das Jahres-Verhalten verschiedener Wärmepumpen	59
4.2.1	Das Jahres-Verhalten einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	59
4.2.2	Das Jahres-Verhalten einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage	61
4.2.3	Das Jahres-Verhalten einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	63
4.2.4	Vergleichende Betrachtungen zum Jahres-Verhalten der verschiedenen Wärmepumpenanlagen	65
4.3	Leistungszahl SCOP und ESCOP	66
4.3.1	Leistungszahl SCOP	66
4.3.2	Leistungszahl ESCOP	67
4.4	Jahresarbeitszahl JAZ	67
4.4.1	Die Jahresarbeitszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	68
4.4.2	Die Jahresarbeitszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage	69
4.4.3	Die Jahresarbeitszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	70
4.4.4	Berechnung der Jahresarbeitszahl gem. VDI 4650	71
4.5	Primärenergiefaktor f_p und Energieaufwandszahl e_p	72
5	Projektierung einer Wärmepumpenanlage	74
5.1	Die Aufgaben eines Architekten und Beraters	75
5.1.1	Beratung und Planung durch den Architekten und Berater	75
5.1.2	Beratung und Planung durch den Architekten und Berater und Sonderwünsche ...	76
5.1.3	Betreuung und Bauüberwachung durch den Architekten und Berater	76
5.2	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe	77
5.2.1	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für einen Neubau	77
5.2.2	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für den Baubestand	81
5.2.3	Wärmepumpen im Baubestand	82
5.2.4	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für Industriehallen	86
5.2.5	Berechnungsbeispiel der Heizleistung eines Einfamilienhauses gem. Wärmegesetz	89
5.2.6	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für ein Schwimmbad	91
5.2.7	Wärmepumpen im gewerblichen Einsatz	91
5.2.8	Wärmepumpen in Wohnsiedlungen und Wärmepumpengroßanlagen	94
5.2.9	Wärmepumpen für stark gedämmte Häuser und Passivhäuser	98
5.3	Projektierung von Wärmepumpenanlagen	99
5.3.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	99
5.3.2	Projektierungsbeispiel einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe	104
5.3.3	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe	105
5.3.4	Projektierung einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	130
5.4	Gegenüberstellung von Wasser-Wasser-Wärmepumpen, Sole-Wasser-Wärmepumpen und Luft-Wasser-Wärmepumpen	143
5.5	Qualitätsmerkmale einer Wärmepumpe	144
5.6	Projektierung der Elektroinstallation einer Wärmepumpe	144
5.7	Beantragungen und Genehmigungen von Wärmepumpenanlagen	145
5.8	Förderungen von Wärmepumpenanlagen	147
5.9	Bedeutung einer Flächenheizung für Wärmepumpen	147
6	Grundwasserschutz	148
6.1	Gesetzliche Bestimmungen	148
6.2	Geo-Protector	149
6.2.1	Sole-Wasser-Wärmepumpen und deren Gefährdungspotenziale	150
6.2.2	Die Funktion des Geo-Protectors	151
6.2.3	Umweltrelevante und wirtschaftliche Betrachtungen	152
6.2.4	Die Notwendigkeit, den Grundwasserschutz zu verbessern	153

6.2.5	Kosten-Nutzen-Betrachtungen	153
6.2.6	Empfehlungen zur Realisierung der neuen Grundwasserschutzeinrichtung (Geo-Protector)	154
6.3	CO ₂ -Sonden	155
6.4	Wärmepumpen und Stromversorgung	156
6.4.1	Wärmepumpen und Ökostrom	156
6.4.2	Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen	156
7	Hydraulik	163
7.1	Die Primärpumpe	164
7.2	Die Sekundärpumpe oder Ladepumpe	175
7.2.1	Beispiel: Ermittlung der Sekundärpumpe oder Ladepumpe	177
7.3	Der Pufferspeicher	182
7.4	Die Warmwasserbereitung	185
7.4.1	Warmwasserbereitung über Durchlauferhitzer	185
7.4.2	Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab in einem separaten Warmwasserspeicher	185
7.4.3	Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe über einen Warmwasserspeicher	186
7.4.4	Warmwasserbereitung mit einer Wärmepumpe und einer zusätzlichen Solaranlage	188
7.4.5	Hygienische Warmwasserbereitung im Durchlaufprinzip	190
7.4.6	Warmwasserbereitung mit einem Kombispeicher	190
7.5	Dimensionierung der Warmwasserbereitung	190
7.5.1	Dimensionierung des Warmwasserspeichers	190
7.5.2	Dimensionierung der Warmwasserleitung	192
7.6	Elektrotechnik und Wärmepumpen	192
7.6.1	Elektrische Einspeisung	192
7.6.2	Steuerspannungen	193
7.6.3	Wächter und Sensoren	193
7.7	Wärmepumpen im Netz	193
7.7.1	Wärmepumpen und Gebäudeleitsystem	194
8	Leitfaden zur Projektierung einer Wärmepumpenanlage	195
9	Darstellung verschiedener Wärmepumpenanlagen	197
9.1	Eine einfache Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	198
9.2	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung	199
9.3	Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung, Solaranbindung und Kachelofen	200
9.4	Wärmepumpengerätetypen	201
9.4.1	Einzelwärmepumpengeräte	201
9.4.2	Kompaktwärmepumpenanlagen	201
10	Wirtschaftliche Betrachtungen	203
10.1	Lohnt sich eine Wärmepumpe?	203
10.2	Einsparmöglichkeiten für Kommunen und Länder	203
10.3	Betrachtungen zu Amortisationen verschiedener Heizungsanlagen	204
11	Gesetze und Einrichtungen zum Schutz der Umwelt und von Personen	205
11.1	Normen und Richtlinien	205
11.2	Schutz des Erdreiches sowie des Grund- und Oberflächenwassers	212
11.3	Energielabel	213
12	Inbetriebnahme von Wärmepumpenanlagen	214
12.1	Inbetriebnahme einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	215
12.2	Inbetriebnahme einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage	215
12.3	Inbetriebnahme einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	216

12.4	Trockenheizen und Aufheizen	216
12.5	Parametrisierung und Einstellungen am Regler.....	216
12.5.1	Theoretische Betrachtungen zur Wiedereinschaltverzögerung & Mindestlaufzeit... ..	219
13	Häufige Fehler bei Wärmepumpen	224
13.1	Fehler beim Brunnenbau	224
13.2	Fehler bei Erdsonden/Erdkollektoren.....	224
13.3	Fehler bei der Warmwasserbereitung.....	225
13.4	Fehler bei der Hydraulik	225
13.5	Fehler in der Installation.....	226
13.6	Fehlermeldungen und deren mögliche Ursachen	227
13.7	Fehler beim Betrieb	228
14	Schlussbetrachtungen	229
14.1	Aussichten	229
14.2	Ausbildung.....	230
15	Übungsaufgaben	232
15.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe	243
15.2	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden	245
15.3	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren	245
15.4	Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage	246
15.5	Berechnung des Bivalenzpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpe.....	247
15.6	Berechnung verschiedener Energie-Aufwandszahlen	247
15.6.1	Berechnung der Energie-Aufwandszahl eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschließlich Warmwasserbereitung.....	247
15.6.2	Berechnung der Energie-Aufwandszahl eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit el. Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab	247
16	Fragen	248
17	Beispiele Wärmepumpenanlagen	249
17.1	Ein besonderes Beispiel kommunaler Weitsicht in Dorsten-Wulfen	251
17.2	Kaltes Nahwärmenetz.....	253
18	Lösungen zu den Übungsaufgaben aus Kapitel 15	255
18.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Aufgabe 15.1).....	255
18.2	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden (Aufgabe 15.2).....	262
18.3	Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren (Aufgabe 15.3) .	268
18.4	Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage (Aufgabe 15.4).....	274
18.5	Berechnung des Bivalenzpunktes einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (Aufgabe 15.5) .	287
18.6	Berechnung verschiedener Energieaufwandszahlen (Aufgabe 15.6).....	289
18.6.1	Berechnung der Energie-Aufwandszahl e_p eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschließlich Warmwasserbereitung.....	289
18.6.2	Berechnung der Energie-Aufwandszahl e_p eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit el. Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab.....	289
19	... und Antworten	292
20	Stichwortverzeichnis	297
21	Bildquellenverzeichnis	301
22	Tabellenquellenverzeichnis	308
23	Literatur- und Quellenverzeichnis	309