

# Inhalt

	Seite
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b> .....
<b>2</b>	<b>Betrachtungen zur Ökologie und Ökonomie .....</b> .....
<b>2.1</b>	<b>Auswirkungen auf die Umwelt .....</b> .....
<b>2.2</b>	<b>Betrachtungen zur Ökonomie – Entwicklung der Energiekosten .....</b> .....
<b>2.3</b>	<b>Woher die Erdwärme kommt .....</b> .....
<b>3</b>	<b>Was ist eine Wärmepumpe und wie funktioniert sie? .....</b> .....
<b>3.1</b>	<b>Warum heißt die Wärmepumpe „Wärmepumpe“? .....</b> .....
<b>3.2</b>	<b>Aufbau einer Wärmepumpe und deren Komponenten .....</b> .....
<b>3.3</b>	<b>Der technische Kältekreislauf und die Funktion der Wärmepumpe .....</b> .....
<b>3.4</b>	<b>Der Regler .....</b> .....
<b>3.5</b>	<b>Der Kältekreislauf im p-h-Diagramm .....</b> .....
<b>3.6</b>	<b>Das Kältemittel .....</b> .....
<b>3.7</b>	<b>Eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe .....</b> .....
<b>3.8</b>	<b>Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe .....</b> .....
<b>3.8.1</b>	<b>Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden .....</b> .....
<b>3.8.2</b>	<b>Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren .....</b> .....
<b>3.9</b>	<b>Wärmepumpen mit Direktverdampfer .....</b> .....
<b>3.10</b>	<b>Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe .....</b> .....
<b>3.10.1</b>	<b>Kompaktanlagen .....</b> .....
<b>3.10.2</b>	<b>Splitanlagen .....</b> .....
<b>3.11</b>	<b>Boiler-Wärmepumpen .....</b> .....
<b>3.12</b>	<b>Boiler-Wärmepumpen mit Wärmerückgewinnung aus der Fortluft .....</b> .....
<b>3.13</b>	<b>Kühlen mit einer Wärmepumpe .....</b> .....
<b>3.13.1</b>	<b>Die „freie Kühlung“ .....</b> .....
<b>3.13.2</b>	<b>Reversibel arbeitende Wärmepumpe zum aktiven Kühlen .....</b> .....
<b>3.14</b>	<b>Gasmotor-Wärmepumpe .....</b> .....
<b>3.15</b>	<b>Absorptionswärmepumpen .....</b> .....
<b>4</b>	<b>Leistung einer Wärmepumpe .....</b> .....
<b>4.1</b>	<b>Leistungszahl .....</b> .....
<b>4.1.1</b>	<b>Leistungszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe .....</b> .....
<b>4.1.2</b>	<b>Leistungszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpe .....</b> .....
<b>4.1.3</b>	<b>Vergleich der Leistungszahl <math>\epsilon</math> einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe .....</b> .....
<b>4.1.4</b>	<b>Leistungszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpe .....</b> .....
<b>4.2</b>	<b>Jahresarbeitszahl .....</b> .....
<b>4.2.1</b>	<b>Die Jahresarbeitszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage .....</b> .....
<b>4.2.2</b>	<b>Die Jahresarbeitszahl einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage .....</b> .....
<b>4.2.3</b>	<b>Die Jahresarbeitszahl einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage .....</b> .....
<b>4.2.4</b>	<b>Berechnung der Jahresarbeitszahl gem. VDI 4650 .....</b> .....
<b>4.2.5</b>	<b>Beispielberechnung der Jahresarbeitszahl einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage .....</b> .....
<b>4.3</b>	<b>Energieaufwandszahl <math>e_p</math> .....</b> .....

<b>5</b>	<b>Projektierung einer Wärmepumpenanlage</b>	47
5.1	<b>Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe</b>	48
5.1.1	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für einen Neubau	48
5.1.2	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für den Baubestand	51
5.1.3	Wärmepumpen im Baubestand mit Fußbodenheizung und Heizkörpern	51
5.1.4	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für Industriehallen	52
5.1.5	Berechnungsbeispiel der Heizleistung eines Einfamilienhauses gem. Wärmegesetz	55
5.1.6	Ermittlung der Leistung einer Wärmepumpe für ein Schwimmbad	57
5.1.7	Wärmepumpen im gewerblichen Einsatz	57
5.1.8	Wärmepumpen in Wohnsiedlungen und Wärmepumpengroßanlagen	59
5.1.8.1	Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage(n)	59
5.1.8.2	Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage(n)	60
5.1.8.3	Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage(n)	62
5.1.9	Wärmepumpen für hoch isolierte Häuser und Passivhäuser	63
5.2	<b>Projektierung von Wärmepumpenanlagen</b>	64
5.2.1	Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage	64
5.2.1.1	Geologische Bedingungen	65
5.2.1.2	Die Wasserqualität	66
5.2.1.3	Förder- und Schluckbrunnen	67
5.2.1.4	Eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe auch bei Eisen/Mangan im Wasser	68
5.2.2	Projektierungsbeispiel einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe	69
5.3	<b>Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe</b>	70
5.3.1	Berechnung der Kälteleistung	70
5.3.2	Erdsonden	71
5.3.2.1	Projektierung von Erdsonden	72
5.3.2.2	Erstellen von Erdsonden	75
5.3.3	Projektierungsbeispiel einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdsonden	76
5.3.4	Projektierung von Erdkollektoren	79
5.3.5	Projektierung von Energiekörben	81
5.3.6	Projektierungsbeispiel einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdkollektoren	81
5.4	<b>Projektierung einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage</b>	84
5.4.1	Projektierungsbeispiel einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage	84
5.5	<b>Gegenüberstellung von Wasser-Wasser-Wärmepumpen, Sole-Wasser-Wärmepumpen und Luft-Wasser-Wärmepumpen</b>	85
5.6	Qualitätsmerkmale einer Wärmepumpe	85
5.7	<b>Projektierung der Elektroinstallation einer Wärmepumpe</b>	86
5.8	<b>Beantragungen und Genehmigungen von Wärmepumpenanlagen</b>	86
5.9	<b>Förderungen von Wärmepumpenanlagen</b>	88

<b>6</b>	<b>Hydraulik</b>	89
6.1	<b>Die Primärpumpe</b>	90
6.1.1	Die Unterwasserpumpe und deren Überwachung	90
6.1.2	Projektierungsbeispiel einer Wasserversorgung mit Unterwasserpumpe und Rohrleitungen	95
6.1.2.1	Die Solepumpe	97
6.1.2.2	Projektierungsbeispiel des Sole-Kreislaufnetzes mit einer Sole-Umwälzpumpe und Rohrleitungen	98
6.2	<b>Die Sekundärpumpe oder Ladepumpe</b>	100
6.2.1	Beispiel: Ermittlung der Sekundärpumpe oder Ladepumpe(n)	102
6.3	<b>Der Pufferspeicher</b>	106
6.4	<b>Die Warmwasserbereitung</b>	108
6.4.1	Warmwasserbereitung über Durchlauferhitzer	108
6.4.2	Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab in einem separaten Warmwasserspeicher	108
6.4.3	Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe über einen Warmwasserspeicher	109
6.4.4	Warmwasserbereitung mit einer Wärmepumpe und einer zusätzlichen Solaranlage	111
6.4.5	Hygienische Warmwasserbereitung im Durchlaufprinzip	112
6.5	<b>Dimensionierung der Warmwasserleitung</b>	112
7	<b>Leitfaden zur Projektierung einer Wärmepumpenanlage</b>	113
8	<b>Darstellung verschiedener Wärmepumpenanlagen</b>	115
8.1	<b>Eine einfache Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage</b>	116
8.2	<b>Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung</b>	117
8.3	<b>Eine Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit freier Kühlung, Solaranbindung und Kachelofen</b>	118
8.4	<b>Wärmepumpengerätetypen</b>	118
8.4.1	Einzelwärmepumpengeräte	118
8.4.2	Kompaktanlagen	119
9	<b>Wirtschaftliche Betrachtungen</b>	121
9.1	<b>Lohnt sich eine Wärmepumpe?</b>	121
9.2	<b>Ermittlung der Energiekosten</b>	124
9.3	<b>Billig oder gut? – Ich bin zu arm, um billig zu kaufen!</b>	127
10	<b>Gesetze, Richtlinien und Normen</b>	129
11	<b>Inbetriebnahme von Wärmepumpenanlagen</b>	131
11.1	<b>Inbetriebnahme einer Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage</b>	132
11.2	<b>Inbetriebnahme einer Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage</b>	133
11.3	<b>Inbetriebnahme einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage</b>	133

<b>12</b>	<b>Häufige Fehler bei Wärmepumpen</b> .....	135
12.1	<b>Fehler beim Brunnenbau</b> .....	135
12.2	<b>Fehler bei Erdsonden/Erdkollektoren</b> .....	135
12.3	<b>Fehler bei der Hydraulik</b> .....	136
12.4	<b>Fehlermeldungen und deren mögliche Ursachen</b> .....	136
<b>13</b>	<b>Schlussbetrachtungen und Aussichten</b> .....	139
<b>14</b>	<b>Übungsaufgaben</b> .....	141
14.1	<b>Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe</b> .....	150
14.2	<b>Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden</b> .....	152
14.3	<b>Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren</b> .....	153
14.4	<b>Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage</b> .....	154
14.5	<b>Berechnung verschiedener Energieaufwandszahlen</b> .....	156
14.5.1	Berechnung der Energieaufwandszahl eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschließlich Warmwasserbereitung .....	156
14.5.2	Berechnung der Energieaufwandszahl eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit elektrischer Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab .....	156
<b>15</b>	<b>Fragen</b> .....	157
<b>16</b>	<b>Beispiele Wärmepumpenanlagen</b> .....	159
<b>17</b>	<b>Lösungen zu den Übungsaufgaben aus Kapitel 14</b> .....	161
17.1	<b>Projektierung einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Aufgabe 14.1)</b> .....	161
17.2	<b>Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden (Aufgabe 14.2)</b> .....	169
17.3	<b>Projektierung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren (Aufgabe 14.3)</b> .....	175
17.4	<b>Projektierung einer größeren Wärmepumpenanlage (Aufgabe 14.4)</b> .....	181
17.5	<b>Berechnung verschiedener Energieaufwandszahlen (Aufgabe 14.5)</b> .....	194
17.5.1	Berechnung der Energieaufwandszahl $e_p$ eines EFH mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes, einschließlich Warmwasserbereitung .....	194
17.5.2	Berechnung der Energieaufwandszahl $e_p$ eines EFH mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes mit elektrischer Warmwasserbereitung mittels Elektroheizstab .....	194
<b>18</b>	<b>... und Antworten</b> .....	197
<b>19</b>	<b>Bildquellenverzeichnis</b> .....	201
<b>20</b>	<b>Tabellenquellenverzeichnis</b> .....	206
<b>21</b>	<b>Adressen</b> .....	207
	<b>Inserentenverzeichnis</b> .....	208