

## **Kälte - Wärme - Klima - Aktuell**

Berichte aus den Fachbereichen Kälte, Wärme, Klima, Lüftung, Energie,  
Regelung, Gebäudeautomation, Schallschutz  
Band 55

# **Wärmepumpen**

**Band 5: Wärmequellen und Wärmespeicher**

**von Herbert Kirn**



**Verlag C. F. Müller Karlsruhe**

# INHALTSVERZEICHNIS

	Vorwort . . . . .	V
1.	<b>Einführung</b> . . . . .	1
1.1	Allgemeines . . . . .	1
1.2	Grundsätzlicher Aufbau einer Wärmepumpenanlage . . . . .	1
1.3	Die Leistungs- und Arbeitszahlen des Wärmepumpenprozesses, die Wirkungsgrade . . . . .	> . . . . . 1
1.4	Der einer Wärmequelle zu entziehende Wärmestrom (Kälteleistung der Wärmepumpe) . . . . .	3
1.5	Bedingungen, die Wärmequellenanlagen erfüllen sollten . . . . .	4
1.6	Das Leistungsdiagramm einer Wärmepumpe . . . . .	4
2.	Wärmequellen <b>und</b> Wärmequellenanlagen . . . . .	8
2.1	Unterscheidung zwischen Wärmequellen und Wärmequellen- anlagen . . . . .	8
2.1.1	Wärmequellen . . . . .	8
2.1.2	Wärmequellenanlagen . . . . .	8
2.2	Arten der Wärmequellen . . . . .	8
3.	Grundwasser . . . . .	9
3.1	Potential . . . . .	9
3.1.1	Allgemeines . . . . .	9
3.1.2	Ballungsgebiete . . . . .	9
3.2	Die Priorität der Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser . . . . .	10
3.2.1	Wo darf Grundwasser als Wärmequelle genutzt werden? . . . . .	10
3.2.2	Die wasserrechtliche Erlaubnis . . . . .	11
3.3	Schema einer Brunnenanlage nach behördlicher Vorschrift . . . . .	12
3.4	Die Förderpumpe . . . . .	13
3.4.1	Allgemeines . . . . .	13
3.4.2	Der zu fördernde Grundwasserstrom . . . . .	13
3.4.3	Die Leistung der Förderpumpe . . . . .	15
3.5	Der Grundwasserbrunnen . . . . .	23
3.5.1	Wechselwirkungen zwischen Schluck- und Förderbrunnen . . . . .	23
3.5.2	Der Schluckbrunnen und die thermische Anomalie . . . . .	23
3.5.3	Der kritische Abstand von Förder- und Schluckbrunnen . . . . .	30
3.5.4	Die Rückströmung . . . . .	34
3.5.5	Brunnenalterung . . . . .	38
3.5.5.1	Ursachen für eine Brunnenalterung . . . . .	39
3.5.5.2	Maßnahmen gegen eine schnelle Brunnenalterung . . . . .	40
3.5.6	Brunnenregenerierung . . . . .	42
4.	<b>Oberflächenwasser</b> . . . . .	44
4.1	Einteilung und wasserrechtliche Erlaubnis . . . . .	44

4.2	Fließende Gewässer . . . . .	44
4.2.1	Wärmebilanz und Potential . . . . .	44
4.2.2	Wärmeaustauscher/Verdampfer. . . . .	45
4.2.3	Berechnung der zu fördernden Wasserströme. . . . .	47
4.3	Stehende Gewässer. . . . .	48
4.3.1	Potential . . . . .	48
4.3.2	Wärmeaustauscher. . . . .	49
<b>5.</b>	<b>Uferfiltrat</b> . . . . .	<b>54</b>
<b>6.</b>	<b>Abwasser.</b> . . . . .	<b>55</b>
6.1	Potential . . . . .	55
6.2	Wärmeaustauscher bei der Wärmequelle Abwasser . . . . .	57
<b>7.</b>	<b>Erdreich.</b> . . . . .	<b>59</b>
7.1	Potential . . . . .	59
7.2	Einfluß des Durchmessers der Wärmeaustauscherrohre im Erdreich auf den Wärmewiderstand Erdreich/Rohr sowie das Temperaturfeld im Erdreich . . . . .	61
7.3	Ausführung des Erdreich-Wärmeaustauschers. . . . .	64
7.4	Die beheizbare Wohnfläche. . . . .	70
7.5	Meßergebnisse in ausgeführten Anlagen. . . . .	71
7.5.1	Untersuchung von <i>Ginschel</i> . . . . .	72
7.5.2	Untersuchung von <i>Specht</i> . . . . .	73
7.5.3	Untersuchung von <i>Genkinger</i> . . . . .	78
7.5.4	Untersuchung von v. <i>Cube</i> . . . . .	79
7.6	Folgerungen aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen und den eingangs angestellten Überlegungen . . . . .	81
<b>8.</b>	<b>Erdsonden</b> . . . . .	<b>83</b>
8.1	Erdsonden in Erdreich, das Grundwasser führt . . . . .	83
8.2	Erdsonden in trockenem Erdreich . . . . .	84
<b>9.</b>	<b>Die Außenluft</b> . . . . .	<b>87</b>
9.1	Potential . . . . .	87
9.2	Bauweisen der Außenluft-Wärmequellenanlagen . . . . .	88
9.2.1	Außenluft-Wärmequellenanlage mit erzwungener Luftbewegung . . . . .	88
9.2.1.1	Aufbau . . . . .	88
9.2.1.2	Aufstellung . . . . .	88
9.2.1.3	Anforderungen an die Wärmequellenanlagen . . . . .	91
9.2.1.4	Aufbau des Verdampfers. . . . .	91
9.2.1.5	Die Bemessung der Ventilatorantriebsleistung. . . . .	93
9.2.1.6	Abtauen des Außenluft-Wärmeaustauschers (Verdampfer). . . . .	102
9.2.1.7	Die Steuerung des Abtauvorganges. . . . .	103
9.2.1.8	Abtauverfahren . . . . .	104

9.2.1.8.1	Abtauen mit Außenluft . . . . .	104
9.2.1.8.2	Umkehrbetrieb des Verdichters. . . . .	104
9.2.1.8.3	Heißgasabtauung . . . . .	105
9.2.1.8.4	Abtauen mittels elektrischer Heizwiderstände. . . . .	106
9.2.1.9	Auswirkungen des Wärmeentzuges aus der Außenluft auf die Umwelt . . . . .	106
9.2.2	Außenluft-Wärmequellenanlage mit natürlicher Luftbewegung (Freiflächenwärmequellenanlage). . . . .	106
9.2.2.1	Allgemeines. . . . .	106
9.2.2.2	Wärmeaustauscher nach dem Schwerkraftprinzip. . . . .	108
9.2.2.3	Wärmeaustauscher nach dem Prinzip windbewegter Außenluft. . . . .	110
9.2.2.4	Mischformen. . . . .	111
9.2.2.4.1	Die Energiesäule. . . . .	111
9.2.2.4.2	Der Energiezaun. . . . .	114
9.2.2.4.3	Rippenrohrpakete. . . . .	116
9.2.2.5	Energetische Betrachtung der Außenluft-Wärme- quellenanlagen mit natürlicher Luftbewegung. . . . .	117
9.2.2.5.1	Allgemeines. . . . .	117
9.2.2.5.2	Wärmeaufnahme aus der Umgebung durch Energiezäune, Energistapel u. ä. . . . .	118
10.	Sonnenstrahlung . . . . .	122
10.1	Eigenschaften und Potential der Sonnenstrahlung. . . . .	122
10.1.1	Globale Betrachtungen. . . . .	122
10.1.2	Die Verhältnisse in Mitteleuropa. . . . .	124
10.2	Die Strahlungsgesetze. . . . .	129
10.3	Der Einstrahlwinkel $\alpha$ . . . . .	132
10.4	Der Wirkungsgrad. . . . .	133
10.5	Die Leerlufttemperatur. . . . .	136
10.6	Aufbau der Sonnenkollektoren. . . . .	137
10.6.1	Flachkollektoren. . . . .	137
10.6.2	Sonnenkollektoren, die Sonnenstrahlung konzentrieren. . . . .	138
10.7	Das Ergänzungssystem zur zusätzlichen Wärmebereit- stellung. . . . .	138
10.7.1	Zeitliche Verfügbarkeit der Sonnenenergie. . . . .	138
10.7.2	Die Wärmepumpe als Zusatzheizaggregat. . . . .	140
10.8	Schaltbilder von Solaranlagen. . . . .	140
10.8.1	Solaranlage ohne Zusatzaggregat. . . . .	140
10.8.2	Kombination der Sonnenkollektoren mit einer Wärmepumpe. . . . .	141
10.8.3	Schaltbilder von Anlagen, die außen Sonnenstrahlung auch Umgebungswärme nutzen. . . . .	143
10.8.3.1	Nutzung der Wärmequellen Sonnenstrahlung und Außenluft. . . . .	143
10.8.3.2	Kombination der Sonnenkollektoren mit einem Erdreich- Wärmeaustauscher. . . . .	145

<b>11.</b>	<b>Absorberanlagen (Freiflächenwärmequellenanlagen)</b>	. . . . .	146
11.1	Allgemeines	. . . . .	146
11.2	Absorber, die auf Dächern angebracht sind	. . . . .	146
11.2.1	Absorberflächen in räumlichem Abstand über dem konventionellen Dach	. . . . .	146
11.2.2	Absorberflächen, die gleichzeitig auch die Dachhaut bilden	. . . . .	149
11.3	Absorberwandelemente	. . . . .	150
11.3.1	Allgemeines	. . . . .	150
11.3.2	Energetische Betrachtung der Wandelemente (Fassadenelemente)	. . . . .	151
11.4	Nächtliche Wärmeverluste der Absorberelemente durch Strahlung	. . . . .	160
11.5	Wärmegewinne durch Strahlung und Konvektion bei Freiflächen-Wärmeaustauschern nach Erfahrungswerten	. . . . .	162
11.6	Ergänzung der Wärmequellenanlage durch Wärmespeicher	. . . . .	164
11.7	Zusammenfassung der Erkenntnisse über Absorber-Wärmequellenanlagen	. . . . .	165
<b>12.</b>	<b>Wärmespeicher</b>	. . . . .	166
12.1	Berechnung von Wärmespeichern, die fühlbare Wärme speichern	. . . . .	166
12.1.1	Speichervolumen und Dämmschichtdicke	. . . . .	166
12.1.2	Temperaturverlauf	. . . . .	169
12.2	Berechnung von Wärmespeichern, die fühlbare und latente Wärme speichern	. . . . .	170
12.3	Aufbau von Latentspeichern auf der Basis Wasser/Eis	. . . . .	174
12.4	Wärmespeicher im Erdreich	. . . . .	182
12.5	Der chemische Wärmespeicher	. . . . .	184
12.6	Pufferspeicher	. . . . .	185
12.6.1	Zweck und Einbindung des Pufferspeichers in die Heizungsanlage	. . . . .	185
12.6.2	Berechnung des Pufferspeichers	. . . . .	186
12.6.2.1	Die Heizleistung $\beta_c$ der Wärmepumpe	. . . . .	186
12.6.2.2	Die Wärmebilanz des Speichers	. . . . .	187
12.6.2.3	Der Tageswärmebedarf $\beta_d$	. . . . .	187
12.6.2.4	Das Speichervolumen $V^A$	. . . . .	187
12.7	Entkopplungs- bzw. Trennspeicher	. . . . .	190
<b>13.</b>	<b>Anhang</b>		
13.1	Literaturverzeichnis	. . . . .	192
13.2	Sachwort-Register	. . . . .	195