

**Wärmepumpen Band 7**  
**Herausgegeben von Herbert Kim**

**Anton Frank, Helmut Hohendorf,  
Hans Moderegger, Gerhard Trenkowitz**

# **Anwendung der Wärmepumpe in Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft**



**Verlag C.F. Müller GmbH Karlsruhe**

# Inhaltsverzeichnis

	Vorwort . . . . .	V
	Einleitung . . . . .	1
<b>1.</b>	<b>Grundlagen der Berechnung . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	Wärmepumpenprozesse. . . . .	3
1.1.1	Kaltdampf-Kompressionsprozeß. . . . .	3
1.1.2	Absorptionsprozeß. . . . .	10
1.1.3	Dampfstrahl-Kälteprozeß . . . . .	16
1.1.4	Kaltluft-Kälteprozeß. . . . .	18
1.1.5	Thermoelektrischer Kälteprozeß . . . . .	18
1.2	Ermittlung der Energiekosten. . . . .	18
1.2.1	Vollast-Energieverbrauch. . . . .	18
1.2.2	Ausnutzung der zugeführten Energie. . . . .	20
1.2.3	Abhängigkeit des Energieverbrauchs vom Betriebsverhalten. . . . .	22
1.2.4	Ermittlung des Energieverbrauchs in der Heizperiode. . . . .	28
1.2.5	Ermittlung der Energieverbrauchskosten. . . . .	32
1.3	Ermittlung der Investitionen. . . . .	34
1.4	Berechnung der Wirtschaftlichkeit. . . . .	37
1.4.1	Näherungsverfahren. . . . .	38
1.4.2	Statisches Verfahren. . . . .	38
1.4.3	Dynamisches Verfahren. . . . .	41
<b>2.</b>	<b>Grundlagen der Wärmepumpen-Anwendungstechnik . . . . .</b>	<b>46</b>
2.1	Einsatzmöglichkeiten. . . . .	46
2.1.1	Nutzung der Abwärme kältetechnischer Anlagen. . . . .	46
2.1.2	Wärmerückgewinnung aus Abwärme. . . . .	49
2.1.3	Wärmegewinnung aus Umweltwärme. . . . .	52
2.1.4	Prozesse mit gekoppelten Kühl- und Heizaufgaben. . . . .	53
2.1.4.1	Destillations- und Eindampfprozesse. . . . .	53
2.1.4.2	Trocknungsprozesse. . . . .	55
2.2	Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen. . . . .	58
2.2.1	Kältemittel und Arbeitsstoffpaare. . . . .	58
2.2.2	Einsatzbereich der Verdichter. . . . .	61
2.2.3	Einsatzbereich der Apparate. . . . .	62
2.2.3.1	Verdampfer zur Wärmeaufnahme aus Flüssigkeiten. . . . .	62
2.2.3.2	Verdampfer zur Wärmeaufnahme aus Luft und Gasen. . . . .	62
2.2.3.3	Verflüssiger zur Wärmeabgabe an Flüssigkeiten. . . . .	63
2.2.3.4	Verflüssiger zur Wärmeabgabe an Luft und Gase. . . . .	63
2.3	Anforderungen an die Wärmequelle. . . . .	63
2.4	Anforderungen an die Nutzwärme-Anlage. . . . .	64
2.5	Leistungsregelung der Kompressions-Wärmepumpen. . . . .	64

2.5.1	Parallelschaltung (Verbundschaltung) mehrerer Verdichter. . . . .	64
2.5.2	Drehzahlregelung der Verdichter. . . . .	65
2.5.3	Leistungsregelung der Verdichter. . . . .	65
2.5.4	Heißgas-Bypass-Regelung. . . . .	67
2.6	Leistungsregelung der Absorptions-Wärmepumpen. . . . .	67
2.7	Leistungsregelung der Dampfstrahl-Wärmepumpen. . . . .	67
2.8	Leistungsaufteilung auf mehrere Wärmepumpen. . . . .	67
2.8.1	Hintereinanderschaltung. . . . .	67
2.8.2	Parallelschaltung. . . . .	68
2.9	Bewertung der Leistungsregelung. . . . .	69
<b>3.</b>	<b>Trocknungstechnik. . . . .</b>	<b>70</b>
3.1	Vorbemerkungen. . . . .	70
3.2	Wärmerückgewinnungssysteme bei Trocknungsprozessen. . . . .	71
3.2.1	Rekuperatoren. . . . .	73
3.2.2	Regeneratoren. . . . .	73
3.2.3	Wärmeträgerzwischenkreislauf. . . . .	74
3.3	Holztrocknung. . . . .	74
3.4	Malztrocknung. . . . .	77
3.5	Großwärmepumpe zur Folientrocknung. . . . .	80
3.5.1	Aufgabenstellung. . . . .	80
3.5.2	Aufgabenlösung. . . . .	80
3.5.3	Beschreibung des ausgeführten Systems. . . . .	83
3.5.4	Wirtschaftlichkeitsberechnung. . . . .	87
3.6	Sonstige Trocknungsprozesse. . . . .	90
<b>4.</b>	<b>Eindampf-und Destillationsprozesse. . . . .</b>	<b>92</b>
4.1	Vorbemerkungen. . . . .	92
4.2	Beispiel: Wasserdestillationsanlage mit Wärmepumpe. . . . .	93
4.3	Brüdenverdichtung. . . . .	94
4.3.1	Vergleich Wärmepumpe-Brüdenverdichtung. . . . .	95
4.3.2	Arten der Brüdenverdichtung. . . . .	96
4.3.3	Leistungsbedarf der mechanischen Brüdenverdichtung. . . . .	97
4.3.4	Verdichter zur mechanischen Brüdenverdichtung. . . . .	99
4.4	Anwendungsbeispiele der Brüdenverdichtung. . . . .	102
4.4.1	Milchindustrie. . . . .	102
4.4.2	Salzgewinnung. . . . .	104
4.4.3	Zuckerfabriken. . . . .	104
4.4.4	Würzekochung in Brauereien. . . . .	106
<b>5.</b>	<b>Fleischverarbeitung. . . . .</b>	<b>109</b>
5.1	Wärmepumpen im Schlachthof. . . . .	109
5.2	Fallstudie. . . . .	111
5.2.1	Aufgabenstellung. . . . .	111
5.2.2	Auslegung der Wärmepumpe. . . . .	112

5.2.3	Technische Daten der Wärmepumpe. . . . .	113
5.2.4	Einbindung der Wärmepumpe in die Gesamtanlage. . . . .	113
5.2.5	Wirtschaftlichkeitsberechnung. . . . .	115
5.3	Schlachthof Bozen. . . . .	116
5.3.1	Kühlanlagen. . . . .	116
5.3.2	Brauchwarmwasserversorgung. . . . .	117
5.4	Schlachthof Hannover-Laatzten. . . . .	118
<b>6.</b>	<b>Getränke-Industrie. . . . .</b>	<b>121</b>
6.1	Wärmepumpe zur Mineralwasserkühlung und Hausheizung. . . . .	121
6.2	Abwärmenutzung in einer Brauerei. . . . .	122
7.	Landwirtschaft. . . . .	125
7.1	Wärmequellen. . . . .	125
7.1.1	Milchkühlung. . . . .	125
7.1.2	Abwärme aus der Tierhaltung. . . . .	127
7.1.2.1	Animalische Wärme. . . . .	127
7.1.2.2	Luftentfeuchtung. . . . .	129
7.1.2.3	Beheizen von Wohnräumen mit Stallwärme. . . . .	130
7.1.3	Gärwärme. . . . .	132
7.1.3.1	Erzeugen von Biogas. . . . .	132
7.1.3.1.2	Nutzung der Gärwärme aus Stallmist und sonstigen organischen Stoffen. . . . .	132
7.1.4	Umweltwärme. . . . .	133
7.1.4.1	Erdwärme. . . . .	133
7.1.4.2	Sonnenwärme. . . . .	135
7.1.4.3	Außenluft. . . . .	135
7.2	Beispiel der Abwärmenutzung aus Stallluft und Milchkühlung. . . . .	135
7.2.1	Ausgangslage. . . . .	135
7.2.2	Lösung. . . . .	136
7.2.3	Meßwerte und Kosten des Betriebes mit Wärmepumpe. . . . .	137
7.3	Beispiel der Abwärmenutzung aus der Tierhaltung. . . . .	138
7.3.1	Abwärmenutzung in einem Betrieb für Kälbermast. . . . .	138
7.3.1.1	Grundlagen. . . . .	138
7.3.1.2	Wärmebedarf und Wärmehaushalt. . . . .	138
7.3.1.3	Wärmebilanz und Minderung der Energiekosten. . . . .	140
7.3.2	Wärmeversorgung (Beheizen) von Schweineställen aus der Stall-Abluft. . . . .	141
7.3.2.1	Ausgangslage. . . . .	141
7.3.2.2	Lösung. . . . .	141
7.4	Wärmerückgewinnung in der Weinwirtschaft bzw. Kellerei. . . . .	144
7.5	Wärmepumpen im Gartenbaubetrieb. . . . .	146
<b>8.</b>	<b>Lebensmittelvertrieb. . . . .</b>	<b>150</b>
8.1	Wärmerückgewinnung im Supermarkt. . . . .	150

8.1.1	Der luftbeaufschlagte Zusatzverflüssiger . . . . .	150
8.1.2	Der wassergekühlte Vorschaltverflüssiger . . . . .	151
8.1.3	Einspeisung der Verflüssigerwärme in das Zentralheizungsnetz . . . . .	151
8.1.4	Nachgeschaltete Wärmepumpe . . . . .	152
8.2	Abwärmenutzung bei Herstellung und Verteilung von Tiefkühlkost . . . . .	155
<b>9.</b>	<b>Chemie und Industrie . . . . .</b>	<b>156</b>
9.1	Vorbemerkungen . . . . .	156
9.2	Energiekonzept für einen Galvanikbetrieb . . . . .	156
9.2.1	Vorgehen . . . . .	156
9.2.2	Bestandsaufnahme . . . . .	156
9.2.3	Problemlösung . . . . .	157
9.3	Hochtemperatur-Wärmepumpe bei der Reifenherstellung . . . . .	159
9.4	Auskopplung von Abwärme in einer Zuckerfabrik . . . . .	161
9.5	Beispiel des Einsatzes einer Wärmepumpe in einem Kraftwerk . . . . .	163
9.6	Ein neues Energiekonzept für Kläranlagen . . . . .	164
9.7	Wärmerückgewinnung der Transformatorenverluste . . . . .	166
<b>10.</b>	<b>Sportstätten . . . . .</b>	<b>169</b>
10.1	Vorbemerkungen . . . . .	169
10.2	Beheizung von Freischwimmbädern . . . . .	169
10.2.1	Der maximale tägliche Wärmebedarf von Freischwimmbädern . . . . .	170
10.2.2	Beispiel einer Wärmepumpe für ein Freischwimmbad . . . . .	172
10.3	Beheizung von Hallenbädern . . . . .	173
10.3.1	Auslegungsgrößen für Hallenbäder . . . . .	175
10.3.2	Beispiel einer Hallenbad-Wärmepumpe . . . . .	175
10.4	Wärmepumpe für Sportzentrum . . . . .	176
10.5	Eisbahnen . . . . .	178
10.5.1	Eissporthalle Leverkusen . . . . .	181
10.5.2	Eissporthalle mit Eisschnellaufzug Frankfurt/Main . . . . .	184
10.5.3	Kunsteisbahn Aarau . . . . .	185
<b>11.</b>	<b>Großbauten . . . . .</b>	<b>187</b>
<b>11.1</b>	<b>Vorbemerkungen . . . . .</b>	<b>187</b>
11.2	Wärmequelle . . . . .	187
11.3	Der Einsatz von Wärmepumpen für Wohnblöcke . . . . .	187
<b>11.4</b>	<b>Die Kälte/Wärme-Versorgung von Universitäten . . . . .</b>	<b>189</b>
<b>11.5</b>	<b>Die Wärmerückgewinnung in Krankenhäusern . . . . .</b>	<b>191</b>
11.6	Die Wärmepumpe in Wasserwerken . . . . .	194
11.7	Gaswärmepumpe und Notstrom-Generator für ein Schloß in Wiesbaden . . . . .	195

<b>12.</b>	<b>Besondere Einsatzgebiete von Wärmepumpen</b> . . . . .	198
12.1	Vergleich BHKW / Wärmepumpenheizwerk . . . . .	198
12.1.1	Grundlagen . . . . .	198
12.1.2	Leistungsbereich . . . . .	198
12.1.3	Temperaturniveau . . . . .	198
12.1.4	Wärmelastdichte . . . . .	199
12.1.5	Vorteile / Nachteile . . . . .	199
12.2	Wärmepumpenheizkraftwerk . . . . .	200
12.2.1	Grundlagen . . . . .	200
12.2.2	BHKW und Wärmepumpe . . . . .	200
12.2.3	Einwellenanlagen . . . . .	200
12.3	Einbindung der Wärmepumpe in Fernwärmesysteme. . . . .	202
12.3.1	Grundlagen . . . . .	202
12.3.2	Temperaturverlauf . . . . .	202
12.3.3	Kalte Fernwärme . . . . .	202
12.3.4	Wärmepumpe am Netzende . . . . .	205
12.3.5	Wärmepumpe zwischen Vor-und Rücklauf eines Fernheiznetzes. . .	206
12.4	Nahwärmesysteme . . . . .	208
	Stichwortverzeichnis . . . . .	210