

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>Autorenporträt</b> .....	11
<b>Aufbau des Buchs</b> .....	13
<b>1 Grundlagen</b> .....	15
1.1 Definitionen und Begriffe .....	15
1.1.1 Klassifizierung von Wärmepumpen .....	15
1.1.2 Hochtemperatur-Wärmepumpe .....	15
1.1.3 Kältemittel .....	17
1.1.4 Funktionsweise einer Wärmepumpe .....	18
1.1.5 COP .....	20
1.2 Wärmebedarf in der Industrie .....	22
1.2.1 Schweiz .....	23
1.2.2 Deutschland .....	23
1.2.3 Frankreich .....	23
1.2.4 USA .....	24
1.2.5 Technisches Potential für industrielle Wärmepumpen in Europa .....	24
1.3 Abwärmenutzung und industrielle Prozesse .....	25
1.4 Hemmnisse für die Verbreitung industrieller HTWP .....	29
<b>2 Marktübersicht</b> .....	31
2.1 HTWP-Produkte auf dem Markt .....	31
2.1.1 Friothersm .....	35
2.1.2 Kobe Steel .....	35
2.1.3 Viking Heat Engines .....	38
2.1.4 Ochsner .....	38
2.1.5 Frigopol .....	38
2.1.6 Hybrid Energy .....	39
2.1.7 Combitherm .....	39
2.1.8 Mayekawa .....	39
2.1.9 ENGIE Kältetechnik .....	39
2.1.10 Star Refrigeration .....	40
2.1.11 GEA Grasso .....	40
2.1.12 Johnson Controls .....	40
2.1.13 Oilon .....	41
2.1.14 Viessmann .....	41
2.1.15 Siemens .....	41

2.2	Leistungszahlen von Wärmepumpen .....	42
2.3	Neue Wärmepumpen-Technologien .....	44
2.4	Fazit zur Marktübersicht .....	44
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung .....</b>	<b>47</b>
3.1	Trend der Forschungsaktivitäten .....	47
3.2	Forschungsprojekte .....	48
3.2.1	Österreich .....	48
3.2.2	Deutschland .....	55
3.2.3	Schweiz .....	57
3.2.4	Frankreich .....	58
3.2.5	Norwegen .....	60
3.2.6	Niederlande .....	61
3.2.7	Japan .....	61
3.2.8	China .....	63
3.2.9	Korea .....	63
3.3	Fazit zum Stand der Forschung .....	63
<b>4</b>	<b>Kältemittel für Hochtemperatur-Wärmepumpen .....</b>	<b>67</b>
4.1	Auswahlkriterien .....	67
4.1.1	Thermische Eignung .....	70
4.1.2	Umweltverträglichkeit .....	72
4.1.3	Sicherheit .....	73
4.1.4	Verfügbarkeit .....	74
4.1.5	Effizienz .....	75
4.2	Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) .....	79
4.3	Hydrofluorolefine (HFO) .....	80
4.4	Hydrochlorfluorolefine (HCFO) .....	81
4.5	Wasser (R718) .....	81
4.6	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) .....	82
4.7	Ammoniak (NH <sub>3</sub> ) .....	82
4.8	Kohlenwasserstoffe (KW) .....	82
4.9	Novec 649 .....	83
4.10	Fazit zu den Kältemitteln .....	83

---

<b>5</b>	<b>Integration von HTWP in industrielle Prozesse</b> .....	<b>85</b>
5.1	Einführung .....	85
5.2	„Feasibility-Check“ zur Wärmepumpen-Integration in einen industriellen Prozess .....	86
5.3	Detailanalyse .....	88
5.3.1	Welche Abwärmequellen stehen zur Verfügung? .....	88
5.3.2	Welcher Prozess soll erwärmt werden? .....	88
5.3.3	Wie hoch ist die erforderliche Wärmenutzungstemperatur? .....	89
5.3.4	Wie gross ist der Wärmebedarf? .....	89
5.3.5	Wie ist die Betriebsweise des Prozesses? .....	89
5.3.6	Checkliste für die Auslegung einer Wärmepumpen-Integration .....	89
5.4	Beispiele der Hochtemperatur-Wärmepumpen-Integration in der Industrie. ...	90
5.4.1	HTWP-Integration in industrielle Prozesse .....	90
5.4.2	HTWP-Integration kombiniert mit Fernwärmesystemen .....	94
5.5	Wärmepumpen-Integration mittels Pinch-Analyse .....	96
5.5.1	Einführung .....	97
5.5.2	Verbundkurven und Pinch-Temperatur .....	97
5.5.3	Wirtschaftlichkeitskurven .....	100
5.5.4	Die drei Pinch-Hauptregeln .....	100
5.5.5	Die korrekte Platzierung der Wärmepumpe relativ zum Pinch .....	101
5.5.6	Grand Composite Curve .....	102
5.5.7	Spezialfall: Wärmepumpe in Pockets .....	104
5.5.8	Praxisbeispiele der Wärmepumpen-Integration mit der Pinch-Analyse .....	105
5.6	Abschätzung der Wirtschaftlichkeit .....	<b>107</b>
5.6.1	Investitionskosten .....	108
5.6.2	Kapitalkosten .....	109
5.6.3	Betriebskosten .....	110
5.6.4	Energiekosten .....	110
5.6.5	Beispiel: Wirtschaftlichkeit einer HTWP im Vergleich zu einem Gaskessel. ...	112
5.6.6	Beispiel: Kostenvergleich einer HTWP zu einem Ölkessel mit Kaltwassersatz ..	115
5.6.7	Bewertung der Wirtschaftlichkeit .....	115
5.7	Förderprogramme .....	117
5.7.1	Förderungen in Deutschland .....	117
5.7.2	Förderungen in Österreich .....	118
5.7.3	Förderprogramme in der Schweiz .....	119
	<b>Abkürzungsverzeichnis / Nomenklatur</b> .....	<b>121</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>123</b>