

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort von Dr. Martin Sabel, Geschäftsführer Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.</b>	5
<b>Vorwort der Autoren</b>	7
Die Wärmepumpe auf dem Prüfstand – Zur aktuellen und künftigen Wärmeversorgung	
<b>I. Grundlagen der Wärmepumpentechnik</b>	17
<b>1 Einleitung und Wärmepumpenmarkt</b>	18
<b>2 Physikalische Grundlagen</b>	23
2.1 Aggregatzustandsänderungen	24
2.2 Kältekreis	26
2.2.1 Das log-p-h-Diagramm	27
2.2.2 Verdampfungsprozess und Überhitzung (kalte Seite, Wärmequellenanlage WQA) im log-p-h-Diagramm	32
2.2.3 Verdichtungsprozess (Druckerhöhung) im log-p-h-Diagramm	33
2.2.4 Verflüssigungsprozess, Heißgasenthitzung und Unterkühlung (heiße Seite, Wärmenutzungsanlage WNA) im log-p-h-Diagramm	34
2.2.5 Entspannungsprozess (Druckreduzierung) im log-p-h-Diagramm	35
2.2.6 Zusammenfassung Kältekreislauf	36
2.2.7 Erhöhung von Betriebssicherheit und Effizienz im Kältekreislauf	37
<b>3 Kältetechnische Hauptkomponenten einer Wärmepumpe</b>	41
3.1 Verdichter	41
3.1.1 Rollkolbenverdichter	41
3.1.2 Scrollverdichter	42
3.1.3 Hubkolbenverdichter	45
3.1.3.1 Halbhermetische Hubkolbenverdichter	45
3.1.3.2 Offene Hubkolbenverdichter	47
3.1.4 Schraubenverdichter	47
3.1.4.1 Zweirotorschraubenverdichter	50
3.1.5 Turboverdichter	51
3.1.5.1 Ölfreie magnetgelagerte Turboverdichter	52
3.1.5.2 Turboverdichter mit Getriebe	53
3.2 Expansionsventil	54
3.3 Verdampfer und Verflüssiger (Wärmeübertrager)	57
3.4 Weitere kältetechnische Komponenten einer Wärmepumpe	61

3.4.1	Kältemittelrohrleitungen (Saug-, Druck-, Flüssigkeitsleitung) .....	61
3.4.2	Kältemittelschauglas .....	61
3.4.3	Magnetventil .....	62
3.4.4	Filtertrockner .....	63
3.4.5	Vierwege-Umschaltventil .....	66
3.4.6	Kugelabsperrentil .....	67
3.4.7	Rückschlagventil .....	67
3.4.8	Druckschalter und Thermostat .....	68
3.5	Elektrische Komponenten (Frequenzumrichter, Softstartgerät, Mikroprozessor, EC-Motor, Heizschwert) .....	70
3.5.1	Schütz für Direktstart .....	70
3.5.2	Softstartgerät (Sanftanlaufgerät) .....	70
3.5.3	Frequenzumrichter (FU) .....	72
3.5.4	EC-Regelung .....	73
3.5.5	Elektrischer Zusatzheizer/Heizstab .....	74
<b>4</b>	<b>Kältemittel</b> .....	75
4.1	Gewünschte Eigenschaften von Kältemitteln .....	75
4.2	Klassifizierung von Kältemitteln und Begriffsdefinitionen .....	75
4.3	Eingesetzte Kältemittel bei Wärmepumpenanwendungen .....	81
4.4	Aufstellung von Wärmepumpen mit Bezug auf Brennbarkeit und Toxizität .....	84
<b>5</b>	<b>Effizienzkennzahlen bei Wärmepumpensystemen</b> .....	88
5.1	Bilanzgrenzen gemäß VDI 4650 Blatt 1 .....	88
5.2	Leistungszahl COP .....	89
5.3	Berechnete (SCOP) und gemessene (SPF) Jahresarbeitszahl .....	92
5.4	Jahreszeitbedingte Raumheizungsenergieeffizienz $\eta_s$ (ETAs) .....	99
5.5	TER-Wert bei 4-Leiter-Systemen .....	101
<b>II.</b>	<b>Randbedingungen</b> .....	105
<b>1</b>	<b>Vernetzung</b> .....	106
1.1	„Brennstoff“ Strom .....	106
1.2	Konnektivität und Fernanalyse .....	107
1.3	Wärmepumpe im Zusammenspiel mit Photovoltaik und Stromspeicher .....	108
1.4	Strom-Community und -Clouds .....	118
<b>2</b>	<b>Gesetzlicher Rahmen in Deutschland</b> .....	120
2.1	CO <sub>2</sub> -Steuer .....	120

2.2	Gebäudeenergiegesetz – GEG .....	121
2.3	Ökodesign-Richtlinie ErP .....	126
2.4	Gütesiegel EHPA, keymark und SG Ready .....	129
2.5	Bundesförderung für effiziente Gebäude – BEG (Bundesrepublik Deutschland) .....	132
2.6	Schulungen und Fortbildungsmaßnahmen und mögliche Förderungen .....	136

### **III. Praxisnahe Anlagenplanung und Betrachtung von Wärmequellen .....**

<b>1</b>	<b>Betriebsweisen von Wärmepumpen .....</b>	<b>142</b>
1.1	Monovalent .....	142
1.2	Monoenergetisch .....	142
1.3	Bivalent-parallel, bivalent-alternativ und bivalent-teilparallel .....	142
1.4	Reversibler Betrieb .....	145
1.5	Hybridanlage mit weiterem Wärmeerzeuger .....	145
<b>2</b>	<b>Luft-Wasser-Wärmepumpen .....</b>	<b>150</b>
2.1	Varianten der Luft-Wasser-Wärmepumpe (Monoblock-, Split-, Innen-, Außen-, On-off-, Inverter-, Warmwasserwärmepumpe) .....	150
2.2	Aufstellung .....	159
2.3	Schall .....	164
2.4	Aufstellhinweise für Wärmepumpen mit Kältemittel Propan (R290) ..	170
<b>3</b>	<b>Luft-Luft-Wärmepumpe (Einsatz im Passivhaus) .....</b>	<b>173</b>
<b>4</b>	<b>Sole-Wasser-Wärmepumpen .....</b>	<b>176</b>
4.1	Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmesonde .....	177
4.2	Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmekollektor .....	181
4.3	Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Grabenkollektor, Spiralkollektor oder Erdwärmekörben .....	184
4.4	Aufstellung .....	190
<b>5</b>	<b>Wasser-Wasser-Wärmepumpen .....</b>	<b>191</b>
5.1	Grundwassernutzung und Kühlwassernutzung .....	191
5.2	Aufstellung .....	196
5.3	Auslegung von Brunnenkreis und Zwischenkreis .....	196
<b>6</b>	<b>Elektrische Versorgung .....</b>	<b>197</b>

<b>IV.</b>	<b>Praxisnahe Auslegung der Sekundärseite – Möglichkeiten und Grenzen</b>	201
<b>1</b>	<b>Heizbetrieb und Grobauswahl des Wärmepumpentyps</b>	202
1.1	Dimensionierung einer Wärmepumpe	203
1.1.1	Ablaufmatrix Planung und Wärmepumpendimensionierung – aus der Praxis	203
1.1.2	Planung und Wärmepumpendimensionierung – nach VDI 4645	207
1.2	Effizienz im Heizbetrieb	219
1.3	Heizwasserpufferspeicher und Hydraulik	224
<b>2</b>	<b>Kühlbetrieb</b>	229
2.1	Natürliche Kühlung (passive Kühlung)	231
2.2	Aktive Kühlung	233
<b>3</b>	<b>Trinkwassererwärmung</b>	235
3.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	235
3.2	Hinweise zur Hydraulik	235
3.3	Varianten zentral	237
3.4	Varianten dezentral	243
<b>4</b>	<b>Hydraulikvarianten</b>	248
4.1	Wärmepumpe mit Parallelpuffer	250
4.2	Wärmepumpe mit Reihenspuffer und Überströmventil	251
4.3	Elektroschema einer Wärmepumpe mit PV und Batterie	252
4.4	Wärmepumpe mit thermischer Solaranlage	254
4.5	Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Wohnungsstationen	255
4.6	Hybridanlage: Wärmepumpe mit Öl- oder Gasbrennwertkessel	256
4.7	Wärmepumpe mit Parallelpuffer und natürlicher Kühlung	257
4.8	Wärmepumpe mit Parallelpuffer und aktiver Kühlung	258
4.9	Bivalente Wärmepumpe mit Festbrennstoffkessel und Parallelpuffer	259
<b>5</b>	<b>Ganzheitliches Wärmepumpensystem: die Speicherwärmepumpe</b>	260
<b>V.</b>	<b>Zukunftsfähige Wärmenetze in Neubau und Bestand</b>	267
<b>1</b>	<b>Einleitende Informationen</b>	268
<b>2</b>	<b>Definition Fernwärme – Nahwärme – kalte Nahwärme</b>	271
2.1	Fernwärme	271

2.2	Klassische Nahwärme .....	271
2.3	Kalte Nahwärme .....	272
<b>3</b>	<b>Aufbau kalter Nahwärmenetze .....</b>	<b>274</b>
<b>4</b>	<b>Vorteile der kalten Nahwärme .....</b>	<b>276</b>
<b>5</b>	<b>Planungsschritte eines kalten Nahwärmenetzes .....</b>	<b>277</b>
5.1	Energetische Analyse – Angebot vs. Bedarf .....	277
5.2	Verfügbarkeit geeigneter Wärmequellen .....	278
5.2.1	Geothermie .....	278
5.2.2	Solarthermische Systeme .....	279
5.2.3	Grundwasser .....	280
5.2.4	Umgebungsluft .....	280
5.2.5	Aquathermie .....	281
5.2.6	Eisspeicher .....	282
5.2.7	Weitere Energiequellen .....	284
<b>6</b>	<b>Hydraulische Auslegung und Druckverluste .....</b>	<b>285</b>
<b>7</b>	<b>Systemlösungen – Material für kalte Nahwärmenetze .....</b>	<b>286</b>
<b>8</b>	<b>Verlegung von Rohrleitungen für kalte Nahwärmenetze im Rohrgraben .....</b>	<b>291</b>
<b>9</b>	<b>Verbindungstechniken bei PE-Rohren für Anwendungen bei kalter Nahwärme .....</b>	<b>293</b>
9.1	Heizelementstumpfschweißen (HS) .....	293
9.2	Heizwendelschweißen .....	293
9.3	Elektroschweißübergangsmuffen und -formstücke .....	294
9.4	Vorgefertigte Einheiten im Schachteinbau .....	295
<b>10</b>	<b>Qualitätssicherung .....</b>	<b>296</b>
10.1	Rückverfolgbarkeit und Dokumentation .....	296
10.2	Zerstörungsfreie Prüfung .....	296
<b>VI.</b>	<b>Effizienz im Wärmepumpenbetrieb .....</b>	<b>297</b>
<b>1</b>	<b>Systembetrachtung .....</b>	<b>298</b>
1.1	Hydraulischer Abgleich .....	298
1.2	Regelungseinstellung .....	302
1.3	Heiz- und Kühlwasseraufbereitung .....	303

1.3.1	Heizwasseraufbereitung .....	303
1.3.1.1	Maßgebliche Komponenten .....	303
1.3.1.2	Maßnahmen zur Heizwasseraufbereitung .....	305
1.3.1.3	Messtechnik zur Analyse des Heizungswassers .....	309
1.3.1.4	Welche Fehler sollten unbedingt vermieden werden? .....	309
1.3.2	Geschlossene Kühlanlagen .....	310
1.3.2.1	Anforderungen an Kühlanlagen .....	310
1.3.2.2	Füll- und Umlaufwasser für die Aufbereitung .....	311
1.3.2.3	Kreislaufwasseraufbereitung im Bypassverfahren .....	311
1.4	Inbetriebnahme und Einweisung .....	312
1.5	Wartung und Optimierung .....	315
1.6	Qualitätssicherung .....	318
<b>2</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>320</b>
<b>VII.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>323</b>
<b>1</b>	<b>Normenhinweise .....</b>	<b>324</b>
<b>2</b>	<b>Wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Wärmepumpen .....</b>	<b>328</b>
<b>3</b>	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>340</b>
<b>4</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>344</b>