

Inhaltsverzeichnis

Vorwort von Dr. Martin Sabel, Geschäftsführer Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.	5
Vorwort der Autoren	7
Die Wärmepumpe auf dem Prüfstand – Zur aktuellen und künftigen Wärmeversorgung	
I. Grundlagen der Wärmepumpentechnik	17
1 Einleitung und Wärmepumpenmarkt	18
2 Physikalische Grundlagen	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 (heße 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
3 Kältetechnische Hauptkomponenten einer Wärmepumpe	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	Kugelabsperrventil	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
4	Kältemittel	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
5	Effizienzkennzahlen bei Wärmepumpensystemen	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 η_S (ETAs)	99
5.5	TER-Wert bei 4-Leiter-Systemen	101
II.	Randbedingungen	105
1	Vernetzung	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
2	Gesetzlicher Rahmen in Deutschland	120
2.1	CO ₂ -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	141
1	Betriebsweisen von Wärmepumpen	142
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
2	Luft-Wasser-Wärmepumpen	150
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
3	Luft-Luft-Wärmepumpe (Einsatz im Passivhaus)	173
4	Sole-Wasser-Wärmepumpen	176
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 Erdwärmekörpern	184
4.4	Aufstellung	190
5	Wasser-Wasser-Wärmepumpen	191
5.1	Grundwassernutzung und Kühlwassernutzung	191
5.2	Aufstellung	196
5.3	Auslegung von Brunnenkreis und Zwischenkreis	196
6	Elektrische Versorgung	197

IV.	Praxisnahe Auslegung der Sekundärseite – Möglichkeiten und Grenzen	201
1	Heizbetrieb und Grobauswahl des Wärmepumpentyps	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
2	Kühlbetrieb	229
2.1	Natürliche Kühlung (passive Kühlung)	231
2.2	Aktive Kühlung	233
3	Trinkwassererwärmung	235
3.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	235
3.2	Hinweise zur Hydraulik	235
3.3	Varianten zentral	237
3.4	Varianten dezentral	243
4	Hydraulikvarianten	248
4.1	Wärmepumpe mit Parallelpuffer	250
4.2	Wärmepumpe mit Reihenpuffer 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
5	Ganzheitliches Wärmepumpensystem: die Speicherwärmepumpe	260
V.	Zukunftsfähige Wärmenetze in Neubau und Bestand	267
1	Einleitende Informationen	268
2	Definition Fernwärme – Nahwärme – kalte Nahwärme	271
2.1	Fernwärme	271

2.2	Klassische Nahwärme	271
2.3	Kalte Nahwärme	272
3	Aufbau kalter Nahwärmenetze	274
4	Vorteile der kalten Nahwärme	276
5	Planungsschritte eines kalten Nahwärmenetzes	277
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
6	Hydraulische Auslegung und Druckverluste	285
7	Systemlösungen – Material für kalte Nahwärmenetze	286
8	Verlegung von Rohrleitungen für kalte Nahwärmenetze im Rohrgraben	291
9	Verbundungstechniken bei PE-Rohren für Anwendungen bei kalter Nahwärme	293
9.1	Heizelementstumpfschweißen (HS)	293
9.2	Heizwendelschweißen	293
9.3	Elektroschweißübergangsmuffen und -formstücke	294
9.4	Vorgefertigte Einheiten im Schachteinbau	295
10	Qualitätssicherung	296
10.1	Rückverfolgbarkeit und Dokumentation	296
10.2	Zerstörungsfreie Prüfung	296
VI.	Effizienz im Wärmepumpenbetrieb	297
1	Systembetrachtung	298
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
2	Zusammenfassung	320
VII.	Anhang	323
1	Normenhinweise	324
2	Wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Wärmepumpen	328
3	Stichwortverzeichnis	340
4	Quellenverzeichnis	344