

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 15

1 Einleitung und Wärmepumpenmarkt 16

2 Physikalische Grundlagen 22

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 31

2.2.3 Verdichtungsprozess (Druckerhöhung) im log-p-h-Diagramm 32

2.2.4 Verflüssigungsprozess, Heißgasenthitzung und Unterkühlung
(heiße Seite, Wärmenutzungsanlage WNA) im log-p-h-Diagramm ... 33

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 36

3 Kältetechnische Hauptkomponenten einer Wärmepumpe 41

3.1 Verdichter 41

3.2 Expansionsventil 46

3.3 Verdampfer und Verflüssiger (Wärmeübertrager) 49

3.4 Weitere kältetechnische Komponenten einer Wärmepumpe 52

3.4.1 Kältemittelrohrleitungen (Saug-, Druck-, Flüssigkeitsleitung) 52

3.4.2 Kältemittelschauglas 53

3.4.3 Magnetventil 54

3.4.4 Filtertrockner 54

3.4.5 Vierwege-Umschaltventil 57

3.4.6 Kugelabsperrventil 58

3.4.7 Rückschlagventil 59

3.4.8 Druckschalter und Thermostat 59

3.5 Elektrische Komponenten (Frequenzumrichter, Softstartgerät,
Mikroprozessor, EC-Motor, Heizschwert) 61

3.5.1	Schütz für Direktstart	61
3.5.2	Softstartgerät (Sanftanlaufgerät)	61
3.5.3	Frequenzumrichter (FU)	62
3.5.4	EC-Regelung	65
3.5.5	Elektrischer Zusatzheizer/Heizstab	66
4	Kältemittel	67
4.1	Gewünschte Eigenschaften von Kältemitteln	67
4.2	Klassifizierung von Kältemitteln und Begriffsdefinitionen	67
4.3	Eingesetzte Kältemittel bei Wärmepumpenanwendungen	74
5	Effizienzkennzahlen bei Wärmepumpensystemen	78
5.1	Bilanzgrenzen gemäß VDI 4650 Blatt 1	78
5.2	Leistungszahl COP	79
5.3	Berechnete (SCOP) und gemessene (SPF) Jahresarbeitszahl	84
5.4	Jahreszeitbedingte Raumheizungsenergieeffizienz η_s (ETAs)	90
II.	Randbedingungen	93
1	Vernetzung	94
1.1	„Brennstoff“ Strom	94
1.2	Konnektivität und Fernanalyse	96
1.3	Wärmepumpe im Zusammenspiel mit Photovoltaik und Stromspeicher	97
1.4	Strom-Community und -Clouds	107
2	Gesetzlicher Rahmen in Deutschland	110
2.1	CO ₂ -Steuer	110
2.2	Gebäudeenergiegesetz – GEG	111
2.3	Ökodesign-Richtlinie ErP	115
2.4	Gütesiegel EHPA, keymark und SG Ready	118
2.5	Bundesförderung für effiziente Gebäude – BEG (Bundesrepublik Deutschland)	121
III.	Praxisnahe Anlagenplanung und Betrachtung von Wärmequellen	127
1	Betriebsweisen von Wärmepumpen	128
1.1	Monovalent	128
1.2	Monoenergetisch	128

1.3	Bivalent-parallel, bivalent-alternativ und bivalent-teilparallel	128
1.4	Reversibler Betrieb	131
1.5	Hybridanlage mit weiterem Wärmeerzeuger	131
2	Luft-Wasser-Wärmepumpen	135
2.1	Varianten der Luft-Wasser-Wärmepumpe (Monoblock-, Split-, Innen-, Außen-, On-off-, Inverter-, Warmwasserwärmepumpe)	135
2.2	Aufstellung	143
2.3	Schall	147
2.4	Luft-Luft-Wärmepumpe (Einsatz im Passivhaus)	151
3	Sole-Wasser-Wärmepumpen	155
3.1	Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmesonde	156
3.2	Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmekollektor	160
3.3	Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Grabenkollektor, Spiralkollektor oder Erdwärmekörpern	163
3.4	Aufstellung	167
4	Wasser-Wasser-Wärmepumpen	168
4.1	Grundwassernutzung und Kühlwassernutzung	168
4.2	Aufstellung	171
4.3	Auslegung von Brunnenkreis und Zwischenkreis	171
5	Elektrische Versorgung	172
IV.	Praxisnahe Auslegung der Sekundärseite – Möglichkeiten und Grenzen	175
1	Heizbetrieb und Grobauswahl des Wärmepumpentyps	176
1.1	Ablaufmatrix Planung und Wärmepumpendimensionierung	176
1.2	Effizienz im Heizbetrieb	181
1.3	Heizwasserpufferspeicher und Hydraulik	184
2	Kühlbetrieb	190
2.1	Natürliche Kühlung (passive Kühlung)	192
2.2	Aktive Kühlung	194
3	Trinkwassererwärmung	196
3.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	196
3.2	Hinweise zur Hydraulik	196

3.3	Varianten zentral	199
3.4	Varianten dezentral	203
4	Hydraulikvarianten	209
4.1	Wärmepumpe mit Parallelpuffer	211
4.2	Wärmepumpe mit Reihenspuffer und Überströmventil	212
4.3	Elektroschema einer Wärmepumpe mit PV und Batterie	213
4.4	Wärmepumpe mit thermischer Solaranlage	215
4.5	Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Wohnungsstationen	216
4.6	Hybridanlage: Wärmepumpe mit Öl- oder Gasbrennwertkessel	217
4.7	Wärmepumpe mit Parallelpuffer und natürlicher Kühlung	218
4.8	Wärmepumpe mit Parallelpuffer und aktiver Kühlung	219
4.9	Bivalente Wärmepumpe mit Festbrennstoffkessel und Parallelpuffer	220
5	Ganzheitliches Wärmepumpensystem: die Speicherwärmepumpe	221
V.	Effizienz im Wärmepumpenbetrieb	227
1	Systembetrachtung	228
1.1	Hydraulischer Abgleich	228
1.2	Regelungseinstellung	229
1.3	Inbetriebnahme und Einweisung	230
1.4	Wartung und Optimierung	234
1.5	Qualitätssicherung	236
2	Zusammenfassung	237
VI.	Anhang	239
1	Normenhinweise	240
2	Wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Wärmepumpen	244
3	Stichwortverzeichnis	256
4	Quellenverzeichnis	260
	Alphabetisches Firmenverzeichnis	266
	Inserentenverzeichnis	270