

Marek Miara u. a.

# Wärmepumpen

Heizen – Kühlen – Umweltenergie nutzen



BINE-Fachbuch

Constanze Bongs, Danny Günther, Sebastian Helmling, Thomas Kramer,  
Marek Miara, Thore Oltersdorf, Jeannette Wapler

## **Wärmepumpen**



BINE-Fachbuch

# Wärmepumpen

Heizen – Kühlen – Umweltenergie nutzen

Die Autoren:

Constanze Bongs

Danny Günther

Sebastian Helmling

Thomas Kramer

Marek Miara

Thore Oltersdorf

Jeannette Wapler

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**

Leibniz-Institut für  
Informationsinfrastruktur

**Fraunhofer IRB**  **Verlag**

 **BINE**  
Informationsdienst

BINE Informationsdienst berichtet über Themen der Energieforschung: Neue Materialien, Systeme und Komponenten, innovative Konzepte und Methoden. BINE-Leser werden so über Erfahrungen und Lerneffekte beim Einsatz neuer Technologien in der Praxis informiert. Denn erstklassige Informationen sind die Grundlage für richtungweisende Entscheidungen, sei es bei der Planung energetisch optimierter Gebäude, der Effizienzsteigerung industrieller Prozesse oder bei der Integration erneuerbarer Energien in bestehende Systeme.

Weitere Informationen finden Sie unter: [www.bine.info](http://www.bine.info)

Für weitere Fragen steht Ihnen zur Verfügung:

Uwe Milles (Redaktion)

BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn

Kaiserstraße 185–197, 53113 Bonn

Tel. +49 2 28 92379-0, E-Mail: [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de), [www.bine.info](http://www.bine.info)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9046-4 | ISBN (E-Book): 978-3-8167-9047-1

Layout: Dietmar Zimmermann | Umschlaggestaltung: Martin Kjer | Herstellung: Tim Oliver Pohl

Satz: Mediendesign Späth GmbH, Birenbach | Druck: DZA Druckerei zu Altenburg GmbH, Altenburg

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Titelbild: © Viessmann Werke GmbH & Co. KG

Umschlagrückseite (v. l.): Bosch Thermotechnik GmbH, Buderus Deutschland. Abgebildete Personen:

Ulf Stuckenberg und Buderus-Außendienstmitarbeiter Dirk Sydekum / Bundesverband Wärmepumpen / Schandog HK-Technik GmbH

© by FIZ Karlsruhe

Verlag und Vertrieb:

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 7 11 9 70-25 00

Telefax +49 7 11 9 70-25 08

[irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

Hinweis zu den Abbildungen: Soweit nachfolgend keine anderen Quellen genannt werden, stammen die Abbildungen von den Autoren.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	9
<b>1 Wärmepumpen – ein effizienter Weg zur Behaglichkeit</b> .....	11
<b>2 Thermodynamisches Heizen mit Wärmepumpen</b> .....	13
2.1 Geschichte .....	13
2.2 Übersicht zur Marktsituation in verschiedenen Ländern und Zukunftsszenarien .....	14
2.2.1 Allgemeine Trends .....	15
2.2.2 Charakteristik der Marktsituation in ausgewählten Ländern .....	16
2.3 Funktion der Wärmepumpe .....	17
2.3.1 Der ideale Wärmepumpenprozess im $\log(p)$ -h-Diagramm .....	19
2.3.2 Der ideale Wärmepumpenprozess im T-s-Diagramm .....	20
2.3.3 Unterschied zwischen realem und idealem Wärmepumpenprozess .....	22
2.3.4 Charakteristik der Wärmepumpe .....	23
2.4 Effizienzkennzahlen .....	24
2.5 Wärmepumpensysteme .....	27
2.5.1 Verdichter, Expansionsventile und periphere Komponenten .....	27
2.5.2 Leistungsregelung .....	35
2.5.3 Möglichkeiten unterschiedlicher Fluidkreise (1-, 2-, 3-Kreis-Systeme) .....	37
2.6 Thermisch angetriebene Wärmepumpen .....	39
2.7 Großwärmepumpen .....	42
2.8 Von Passivhausanwendung bis Altbauanierung – Lösungen für spezifische Anforderungen .....	45
2.8.1 Neubau .....	45
2.8.2 Altbau – Sanierung .....	46
2.9 Kältemittelauswahl .....	48
2.9.1 Die Entwicklung der Kältemittel – ein chronologischer Rückblick .....	48
2.9.2 Einteilung von Kältemitteln in Normen, Richtlinien und Vorschriften .....	50
2.9.3 Bezeichnung von Kältemitteln und chemische Einteilung .....	51
2.9.4 Zusammenfassung .....	55
<b>3 Wärmepumpenheizungen</b> .....	56
3.1 Begriffe und Benennungen .....	56
3.2 Wärmequellen .....	57
3.2.1 Anforderungen und Auswahl .....	57
3.2.2 Wärmequelle Erdreich .....	59
3.2.3 Wärmequelle Grundwasser .....	72
3.2.4 Wärmequelle Außenluft .....	74

3.2.5	Details zum Luftkühler/Verdampfer	77
3.2.6	Anwendungsgebiete von Außenluft-Wärmepumpen	77
3.2.7	Wärmequelle Abluft	77
3.3	Schallproblematik und Lösungsvorschläge	78
3.4	Kombination der Wärmepumpen mit thermischen Solaranlagen	80
3.4.1	»Konventionelles« System	80
3.4.2	Solarwärme als Wärmequelle der Wärmepumpe	81
3.4.3	Solarwärme als Wärmequelle der Wärmepumpe – Anlagenbeispiele	81
3.4.4	Systembewertung	83
3.5	Wärmenutzungsanlage	83
3.5.1	Raumheizung	84
3.5.2	Trinkwassererwärmung	88
3.6	Raumkühlung	90
3.7	Dimensionierung und Betriebsarten von Wärmepumpen	91
3.7.1	Dimensionierung der Wärmepumpe	91
3.7.2	Betriebsarten	93
3.7.3	Dimensionierung, Betriebsart und Anteil an Heizarbeit	98
3.7.4	Auslegungsbeispiele für monovalenten, bivalenten und monoenergetischen Betrieb	99
<b>4</b>	<b>Bewertung der Wärmepumpen</b>	<b>101</b>
4.1	Wirtschaftliche Bewertung	101
4.1.1	Berechnung der Wärmegestehungskosten	101
4.1.2	Annuitätenmethode	102
4.1.3	Kapitalgebundene Kosten	102
4.1.4	Verbrauchsgebundene Kosten	103
4.1.5	Betriebsgebundene Kosten	104
4.1.6	Sonstige Kosten	105
4.1.7	Kostenvergleich verschiedener Heizungssysteme	105
4.2	Energetische Bewertung	109
4.2.1	Energieflussbilder und Primärenergieeinsparung	109
4.2.2	Effizienz und Effektivität (warum die Arbeitszahlen nicht die ganze Wahrheit sagen)	112
4.3	Schadstoffemissionen und Treibhauseffekt	115
4.3.1	Schadstoffemissionen	115
4.3.2	Treibhausgas-Emissionen	116
4.3.3	Einflüsse der Kältemittel	119
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Monitoringprojekten</b>	<b>122</b>
5.1	Einführung – Bedeutung von Monitoringprojekten	122

5.2	Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus unterschiedlichen Monitoringprojekten . . .	122
5.3	Studien aus unterschiedlichen Ländern (Auszug) . . . . .	123
5.3.1	Schweiz: Feldstudie FAWA . . . . .	123
5.3.2	Großbritannien: »A field trial of heat pumps« . . . . .	123
5.3.3	Europa: »SEPEMO-BUILD« . . . . .	124
5.3.4	Deutschland: Monitoringprojekte des Fraunhofer ISE . . . . .	125
5.4	Best Practice . . . . .	129
<b>6</b>	<b>Wärmepumpen im Smart Grid – Wärmepumpe und PV</b> . . . . .	<b>132</b>
6.1	Herausforderung Energiewende . . . . .	132
6.2	Vision Smart Grid & Smart Market . . . . .	133
6.3	Die Wärmepumpe im intelligenten Versorgungssystem . . . . .	134
6.4	Wärmepumpen und Photovoltaik . . . . .	136
<b>7</b>	<b>Die Effizienz der eigenen Anlage testen</b> . . . . .	<b>137</b>
7.1	Wärmemengenzähler . . . . .	138
7.2	Elektrozähler . . . . .	138
7.3	Anwendungsbeispiele . . . . .	139
7.4	Ermittlung der Arbeitszahl (AZ) . . . . .	140
7.5	Weitere Hinweise . . . . .	141
<b>8</b>	<b>Forschungsausblick</b> . . . . .	<b>142</b>
8.1	Übersicht zur Forschungsförderung von Wärmepumpen in Deutschland . . . . .	142
8.2	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben . . . . .	143
8.3	Forschungsberichte . . . . .	148
<b>9</b>	<b>Liste der Normen und Richtlinien</b> . . . . .	<b>151</b>
<b>10</b>	<b>Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>155</b>
10.1	Zitierte Literatur . . . . .	155
10.2	Abbildungsverzeichnis . . . . .	159
10.3	BINE Informationsdienst . . . . .	161
<b>11</b>	<b>Weiterführende Literatur</b> . . . . .	<b>162</b>
<b>12</b>	<b>Organisationen</b> . . . . .	<b>164</b>
<b>13</b>	<b>Autoren</b> . . . . .	<b>165</b>

