

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



Leibniz-Institut für
Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB  Verlag



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 richtungsweisende 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

Für weitere Fragen steht Ihnen zur Verfügung:

Uwe Milles (Redaktion)

BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn

Kaiserstraße 185–197, 53113 Bonn

Tel. +49 2 28 923 79-0, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de, 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 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

www.baufachinformation.de

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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Wärmepumpen – ein effizienter Weg zur Behaglichkeit	11
2 Thermodynamisches Heizen mit Wärmepumpen	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 Altbausanierung – 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
3 Wärmepumpenheizungen	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
4	Bewertung der Wärmepumpen	101
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
5	Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Monitoringprojekten	122
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: »SEPOMO-BUILD«	124
5.3.4	Deutschland: Monitoringprojekte des Fraunhofer ISE	125
5.4	Best Practice	129
6	Wärmepumpen im Smart Grid – Wärmepumpe und PV	132
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
7	Die Effizienz der eigenen Anlage testen	137
7.1	Wärmemengenzähler	138
7.2	Elektrozähler	138
7.3	Anwendungsbeispiele	139
7.4	Ermittlung der Arbeitszahl (AZ)	140
7.5	Weitere Hinweise	141
8	Forschungsausblick	142
8.1	Übersicht zur Forschungsförderung von Wärmepumpen in Deutschland	142
8.2	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	143
8.3	Forschungsberichte	148
9	Liste der Normen und Richtlinien	151
10	Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis	155
10.1	Zitierte Literatur	155
10.2	Abbildungsverzeichnis	159
10.3	BINE Informationsdienst	161
11	Weiterführende Literatur	162
12	Organisationen	164
13	Autoren	165

