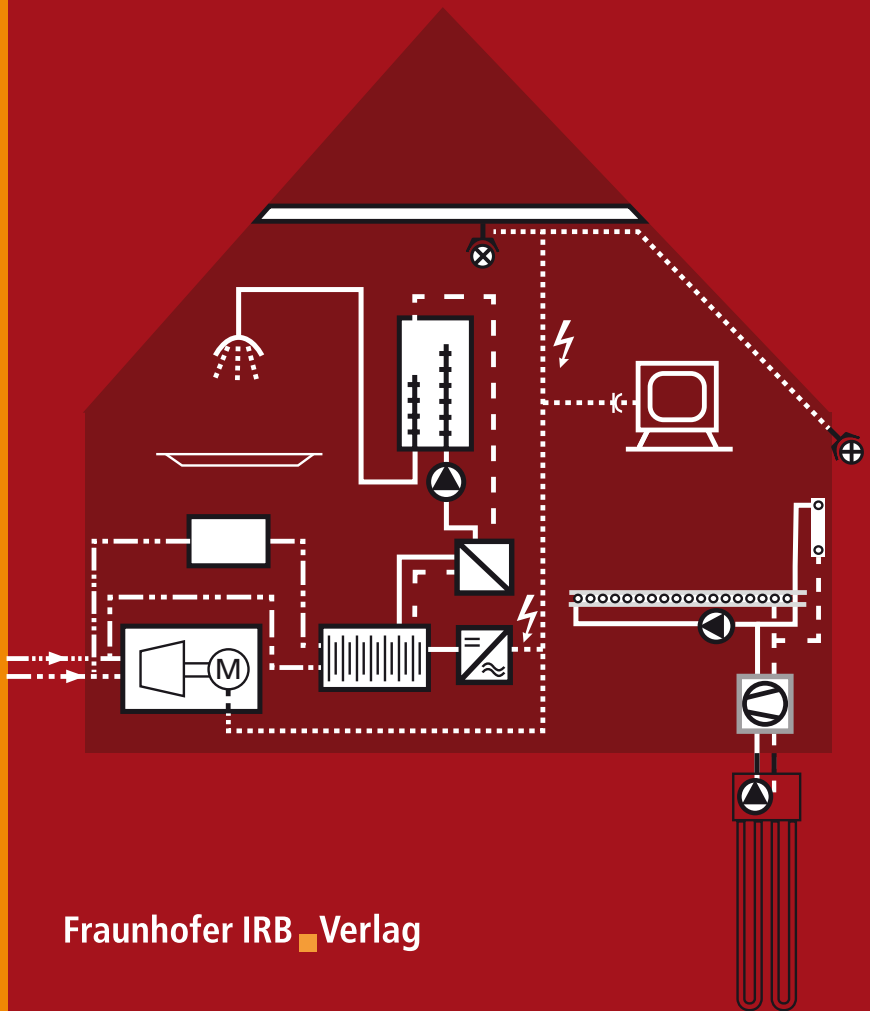


Eric Theiß

Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik

Energieeffiziente Systemtechnologien
der Kraft- und Wärmetechnik

Anlagenkonzepte, Anwendungen und Praxistipps



Fraunhofer IRB  Verlag

Eric Theiß

Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik

Eric Theiß

Rationelle Energieanwendungen in der Gebäudetechnik

Energieeffiziente Systemtechnologien
der Kraft- und Wärmetechnik

Anlagenkonzepte, Anwendungen, Praxistipps

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-8269-8

ISBN (E-Book): 978-3-8167-8837-9

Herstellung: Sonja Frank und Dietmar Zimmermann

Layout: Dietmar Zimmermann

Umschlagskonzeption: Elisabeth Theiß

Satz: Manuela Gantner

Druck: Gulde Druck GmbH & Co. KG

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

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.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2012

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart

Telefon 0711 9 70-25 00

Telefax 0711 9 70-25 08

E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de

<http://www.baufachinformation.de>

Vorwort

Angesichts einer zunehmenden Verknappung der Energiere Ressourcen sowie der ständig steigenden Energiepreise gewinnen die Technologien der rationellen Energieanwendung zunehmend an Bedeutung. Zudem wird der rationelle Umgang aus ökologischen und ökonomischen Betrachtungen immer wichtiger und hat mittlerweile auch im Bewusstsein der Bevölkerung einen hohen Stellenwert erreicht.

Aufgrund der steigenden Energiepreise und knapper werdenden Rohstoffen wird anhaltend nach technisch neuen Möglichkeiten gesucht, um die bestehenden konventionellen und energieintensiven Systeme zu überdenken und mit innovativen Ansätzen Lösungen zu entwickeln, die bei gleicher Funktionalität erheblich weniger Energie erfordern.

Band 1 der Rationellen Energieanwendungen in der Gebäudetechnik befasst sich mit der Energieeinsparung und Steigerung des Nutzerkomforts in der Kraft- und Wärmetechnik.

Die Reduzierung des Energiebedarfs in Gebäuden sowie die Energiebedarfsdeckung erfordern den Einsatz innovativer architektonischer und gebäudetechnischer Konzepte, die in ganzheitlichen Ansätzen zusammenzuführen sind.

Ein ganzheitliches Denken zur sinnvollen Energienutzung sollte aber von dem Grundsatz hergeleitet werden, dass erst dann über die zusätzlich Integration regenerativer Energien nachgedacht werden sollte, nachdem die Maßnahmen des solaren Bauens (Gebäudeausrichtung, Bauphysik, passiver Solargewinn, etc.) ausgeschöpft wurden. Erst im Anschluss daran sollte der Bedarf der klima- und kältetechnischen Komponenten auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß reduziert und der Zusatznutzen mit den finanziellen Möglichkeiten (Förderungs-, Steuer- und Marktanreizprogramm) abgestimmt werden.

Die Gebäude der Zukunft werden nicht nur mit regenerativen Energien versorgt, sondern die rationellen Energieanwendungen werden zunehmend die Technologien der Energiespeicher für elektrischen Strom und Wärme einschließen. Bei der »Rationellen Energieumwandlung und Energieanwendung« handelt es sich im eigentlichen Sinne um keine Energieform. Sie wird aufgrund ihres enormen Potenzials besonders in den Industrieländern der Energie gleichgesetzt, weil zur Gewährleistung der erforderlichen Energiedienstleistungen weniger Primärenergie einzusetzen ist.

Während es in der Energiewirtschaft überwiegend um den Anteil der regenerativen Energien an der Stromerzeugung geht, spielen im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) die Kälte- und Wärmebereitstellung die Hauptrolle. So sollte z. B. aus wirtschaftlichen Aspekten die Errichtung von Energiepfehlern vor allem in der Entwurfsphase, d. h. vor der Gebäudegründung, untersucht werden.

Aufgrund statistischer Erhebungen zeigt sich, dass auch zunehmend der Altbaubereich durch Sanierungen und Modernisierungen betroffen wird, wobei hier spezielle Lösungen zu suchen sind, die wirtschaftlich, energetisch und technisch realisierbar sein müssen. Gerade im Altbau-, Umbau- und Erweiterungsbereich liegt der Tenor primär in der Reduzierung des Energiebedarfs. Neben den bauphysikalischen Aspekten spielt hier insbesondere die optimierte Anwendung der regenerativen Energien eine besondere Rolle. Die Art und der Umfang der Nutzung sind jedoch von den jeweiligen Randbedingungen abhängig.

Die meisten technischen Lösungen sind hierbei auf die Neubauten zugeschnitten. Diese betreffen einerseits die Abstimmung auf den Leistungsbedarf und andererseits im größeren Umfang deren Integration und Bereitstellung in das Gebäudegesamtsystem.

Mit den Inhalten dieses Fachbuchs wurde beabsichtigt, dass dem Leser die aktuellen marktreifen rationellen Technologien, Prototypen und Innovationen, aber auch die derzeit noch vorliegenden Schwierigkeiten in der Testphase vor Einführung der Serienreife vermittelt werden. Im Fokus stehen neueste Lösungsansätze und Forschungsergebnisse, Objektbeschreibungen über ausgeführte Anlagen und Referenzprojekte. Der Trend zeigt auch, dass Immobilien mit der Kennzeichnung als »Green« oder »Eco« gefragt sind, wobei sich diese Objekte durch die hohen Anforderungen an die Energieeffizienz und den Nutzerkomfort sowie gleichzeitig durch die ausbalancierten Lebenszykluskosten auszeichnen.

Für die hochgesteckten Ziele im Bereich des Klimaschutzes, der Energieeffizienzsteigerung und der Ressourcenschonung kann die technische Gebäudeausrüstung, insbesondere die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung sowie die Klima- und Raumlufttechnik einen wesentlichen Beitrag leisten.

Das Ziel des Themenspektrums in diesem Fachbuch soll es sein, das Bewusstsein zur Energieeffizienz zu fördern. Hierzu zählen insbesondere die Aspekte wie Nachhaltigkeit und dass in der Gebäudekonzipierung im Einklang mit der Auswahl der technischen Gebäudeausrüstung ökologische, ökonomische und Ressourcen sparende sowie energieeffiziente Maßnahmen umgesetzt werden.

Aufgrund dieses Hintergrundes werden auch die den jeweiligen Technologien zugeordneten Parameter unter Zugrundelegung der aktuellen Regelwerke, Verordnungen, Richtlinien sowie der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen dargestellt. Zudem werden zur Vertiefung die für die einzelnen Technologien relevanten Systemfindungen durch Beispiele und Anlagenbeschreibung erläutert sowie um eine Auflistung von Referenzprojekten ergänzt.

Das Glossar der einzelnen Technologiebereiche und die Zusammenfassung der wichtigsten Kontaktadressen schließen die Thematik ab.

Sämtliche Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt und dürfen ohne schriftliche Genehmigung des Verlages nicht in irgendeiner Form reproduziert, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Verwendung der ausgedruckten Grafiken für Studien- und Diplomarbeiten sowie Dissertationen ist bei Angabe der Quelle erlaubt.

Erstellung der Abbildungen, Grafiken und Tabellen: Dipl.-Design. Elisabeth Theiß

München, im September 2011

Inhaltsverzeichnis

1.0	Grundlagen	13
1.1	Allgemein	13
1.1.1	Baukörper und technische Systeme der Energieverwendung	13
1.1.2	Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Energieeinsparung	13
1.1.3	Gesetzliche Rahmenbedingungen	14
1.1.3.1	Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)	14
1.1.3.2	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)	14
1.1.3.3	Zentrale Stromerzeugung	16
1.1.4	Energiearten	16
1.1.4.1	Energiewertigkeit der Wärme	17
1.1.4.2	Energiebegriffe und Umwandlungen	17
1.1.4.3	Energiebilanz für technische Systeme	22
1.1.5	Energieeffizienz: Energieprofil von Gebäuden	23
1.1.5.1	Energieeinsparverordnung (EnEV)	25
1.1.5.2	Neuerungen in der EnEV 2007	26
1.1.5.3	Neuerungen in der EnEV 2009	26
1.1.5.4	Anwendung der EnEV auf den Gebäudebestand	27
1.1.6	Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs)	28
1.1.6.1	Nutzungskosten	30
1.1.6.2	Ver- und Entsorgungskosten	30
1.1.6.3	Reinigung, Wartung, Instandsetzung	30
1.1.6.4	Veränderte Randbedingungen	31
1.1.6.5	Objektbeispiel	31
1.2	Maßnahmen zur Energieeinsparung	32
1.2.1	Energetische Bewertung und Nutzerverhalten	33
1.2.1.1	Energieeinsparung durch Raumtemperaturabsenkung	33
1.2.1.2	Nachtabenkung	33
1.2.1.3	Wärmedämmung und Anlagentechnik	34
1.2.1.4	Gestalterischer Freiraum durch bessere Anlagentechnik (Kompensationsprinzip)	38
1.2.2	Gebäudestandards und Energiespargebäude	41
1.2.2.1	Niedrigenergiehaus	41
1.2.2.2	Nullenergiehaus	45
1.2.2.3	Passivenergiehaus	46
1.2.3	Energieoptimierte Gebäudehülle	48
1.2.3.1	Energieoptimiertes Bauen (EnOB)	49
1.2.3.2	Solararchitektur	50
1.2.3.3	Green-Building-Architektur	50
1.2.3.4	LowEx-Gebäude	50
1.2.4	Bauphysik	51

1.2.4.1	Wärmeschutz und Energieeinsparung nach DIN 4108	52
1.2.4.2	Innovative Wärmedämmungen	52
1.2.4.3	Thermochemische Speicherung	53
1.2.5	Passive Sonnennutzung	56
1.2.5.1	Nutzung der Sonnenenergie ohne technische Umwandlungsprozesse	57
1.2.6	Bauteilaktivierung	58
1.2.6.1	Aktivierbare Speichermasse	59
1.2.6.2	Hybridsysteme	61
1.2.6.3	LowEx-TGA-Systeme	61
1.3	Contracting	62
1.3.1	Contractinggesellschaftsform	62
1.3.2	Energiesparcontracting (Performancecontracting)	65
1.3.3	Wärmecontracting ohne Eigenkapital	65
1.3.4	Anlagencontracting	66
1.3.5	Betriebsführungs- und/oder Instandhaltungscontracting	67
1.3.6	Referenzprojekte	67
1.4	Förderprogramme	67
1.4.1	ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm (Darlehen für Umweltschutzmaßnahmen)	67
1.4.2	Förderungen im Marktanreizprogramm	68
1.4.3	Zusätzliche Förderungsmöglichkeiten	68
1.4.3.1	Förderbedingungen der KfW (Anpassung an die EnEV)	68
1.4.3.2	Förderungen nach dem EEWärmeG	70
1.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	70
2.0	Regelwerke	75
2.1	Begriffsbestimmungen, Definitionen	75
2.1.1	Normen und Richtlinien in der Europäischen Gemeinschaft	75
2.1.2	Nationales Recht (Bundesrecht)	75
2.1.3	Landesrecht	75
2.2	Regelwerksystematik	76
2.2.1	Normenkenntnis als Notwendigkeit	76
2.2.2	Entstehung der Normen	76
2.2.3	Die Bedeutung des Farbdrucks bei der Normung	77
2.2.4	Gesetzeslage der Normung	77
2.2.4.1	Anerkannte Regel der Technik	78
2.2.4.2	Stand der Technik	78
2.2.4.3	Stand von Wissenschaft und Technik	79
2.2.4.4	Einhaltung der Normen und Vorschriften	79
2.3	Richtlinien und Verordnungen	80
2.3.1	VDI-Richtlinien (Technische Regeln)	80
2.3.2	VDE-Bestimmungen	80
2.3.3	VdS-Richtlinien	80
2.3.4	Sonstige Richtlinien und Merkblätter	81

2.4	Verzeichnis der Normen in Kapitel 1 bis 5	81
2.5	Verzeichnis der Richtlinien und Verordnungen in Kapitel 1 bis 5	88
3.0	Energetische Potenziale in der Wärmetechnik	95
3.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	95
3.1.1	Energetische Bewertung von Gebäuden nach DIN V 18599 (Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs)	95
3.1.1.1	Allgemeine Bilanzierungsverfahren: Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger (DIN V 18599-1)	96
3.1.1.2	Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen (DIN V 18599-2)	96
3.1.1.3	Endenergiebedarf von Heizsystemen (DIN V 18599-5)	97
3.1.1.4	Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen (DIN V 18599-8)	98
3.1.2	Verfahren zur Berechnung der Normheizlast nach DIN EN 12831	99
3.2	Komponenten-Optimierungen	100
3.2.1	Verbrennungsregelungen	100
3.2.1.1	Brennverhalten – Betriebsbedingungen	101
3.2.1.2	Brennerlaufzeiten	102
3.2.1.3	Lambda-Control-System (LCS)	102
3.2.1.4	Das SCOT-Control-Verfahren	103
3.2.2	Pumpenregelungen	104
3.2.2.1	Regelungsmöglichkeiten von Pumpen und energetisch Effekte	105
3.2.2.2	Optimierung der Pumpensteuerungen	106
3.2.2.3	Innovative Umwälzpumpentechnologie	108
3.2.3	Hydraulischer Abgleich	112
3.2.3.1	Zortström-Hydraulik	113
3.2.3.2	Hydraulischer Nullpunkt	114
3.2.4	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik/Gebäudeleittechnik	120
3.2.4.1	Die »Weltnorm« DIN EN ISO 16484	120
3.2.4.2	Energieeffiziente Gebäudeautomation	122
3.2.4.3	Vier Effizienzklassen der Gebäudeautomationssysteme	122
3.2.4.4	Gebäudeautomation und Feldbustechnologie	123
3.2.4.5	Normierte Standardbussysteme	126
3.2.4.6	Referenzprojekte	129
3.2.5	Wärmespeichersysteme	130
3.2.5.1	Latentwärmespeicher	130
3.2.5.2	Thermochemische Speicher	132
3.2.5.3	Adsorptionswärmespeicher	133
3.2.5.4	Innovation der thermochemischen Speicherung mit einem Absorptionsverfahren	134
3.2.6	Wärme- und Kälteschutz	134
3.2.6.1	Wärmeverteilungs-dämmung	135
3.2.6.2	Kältetechnische Verteilungs-dämmung	135

3.3	Brennwerttechnologie	136
3.3.1	Gas-Brennwerttechnologie	137
3.3.1.1	Einflussgrößen der Brennwertnutzung	137
3.3.1.2	Optimale Brennwertnutzung	146
3.3.2	Öl-Brennwerttechnologie	150
3.3.2.1	Öl-Brennwerttechnologie und Solarthermie	150
3.3.3	Objektbeispiel und Referenzprojekte	152
3.3.4	Förderungen und normative Rahmenbedingungen	153
3.3.5	Wirtschaftlichkeit	154
3.4	Kraft-Wärme-Kopplung	155
3.4.1	Grundlagen	155
3.4.1.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	158
3.4.1.2	KWK-Systemvarianten	159
3.4.1.3	Technik und Betriebsweise	160
3.4.1.4	Wirkungsgradverbesserung	161
3.4.1.5	Innovative KWK-Technologien	161
3.4.2	Kleinst-Kraft-Wärme-Kopplung	161
3.4.2.1	Grundlagen	161
3.4.2.2	Verbrennungsmotorische Kleinst-Kraft-Wärme-Kopplung	164
3.4.2.3	Stirlingmotorische Kleinst-Kraft-Wärme-Kopplung	169
3.4.2.4	Mikrogasturbinen-KWK	183
3.4.2.5	Kleinst-Brennstoffzellen-KWK	192
3.4.2.6	Brennstoffzellen-Innovationen	208
3.4.3	Blockheizkraftwerke	211
3.4.3.1	Verbrennungsmotor-BHKW	212
3.4.3.2	Stirling-BHKW	217
3.4.3.3	Organic Rankine Cycle-BHKW	217
3.4.3.4	Kalina-Technologie	221
3.4.3.5	Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke	221
3.4.4	Förderungen und normative Rahmenbedingungen	228
3.4.5	Wirtschaftlichkeit	233
3.4.5.1	Wirtschaftlichkeit eines Blockheizkraftwerks (BHKW)	233
3.4.5.2	Wirtschaftlichkeit einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	233
3.4.5.3	Wirtschaftlichkeit von Kleinst-KWK-Anlagen	234
3.5	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)	236
3.5.1	Grundlagen	236
3.5.2	Objektbeispiel	237
3.5.3	Kleinst-KWKK-Anlagen	239
3.5.4	Förderprogramme	240
4.0	Energetische Potenziale in der Sanitärtechnik	241
4.1	Abwasserwärmerückgewinnung	241
4.1.1	Referenzprojekte	242
4.2	Druckluftwärmerückgewinnungsanlagen	244

4.2.1	Objektbeispiel	246
4.3	Förderungen	248
4.4	Wirtschaftlichkeit	248
5.0	Wärmepumpentechnologie	249
5.1	Grundlagen	249
5.1.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	249
5.1.2	EnEV und Wärmepumpeneinsatz bei Sanierungen	251
5.1.3	Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresaufwandszahlen	253
5.1.3.1	Gütesiegel	253
5.1.3.2	RAL-Gütesicherung »Geothermische Anlagen«	254
5.1.4	Leistungsbetrachtungen	254
5.1.4.1	Leistungs- und Arbeitszahl	254
5.1.4.2	Leistungsmessungen und Normbetriebspunkte nach DIN EN 255	256
5.1.4.3	Wärmequellenanlage	257
5.1.4.4	Wärmepumpenfunktionsprinzip	259
5.1.4.5	Scrollverdichter	261
5.1.4.6	Geräuschemissionen	261
5.1.5	Genehmigung	262
5.1.5.1	Bauliche Aspekte	262
5.1.5.2	Wasserrechtliche Aspekte	263
5.1.5.3	Wasserrechtliche Aspekte für oberflächennahe Geothermie	264
5.2	Konstruktionsvarianten	265
5.2.1	Elektrowärmepumpe	265
5.2.2	Gasmotorische Wärmepumpe	267
5.2.2.1	Gasmotorisch Kaltdampfanlage bzw. Wärmepumpe (Gas-Heat-Pump)	269
5.2.3	Absorptionswärmepumpe	270
5.2.3.1	Absorptionswärmepumpen (Heizen und Kühlen mit einem System)	271
5.2.3.2	Absorptionswärmepumpe und Eisspeicher	272
5.3	Betriebsvarianten	273
5.3.1	Energiequelle Luft und Umweltenergie	273
5.3.1.1	Monovalenter Wärmepumpenbetrieb	274
5.3.1.2	Monoenergetische Betriebsweise	274
5.3.1.3	Effizienter Betrieb der bivalenten Wärmepumpe	275
5.3.1.4	Bivalente alternative Betriebsweise	275
5.3.2	Energiequelle Grund- oder Brunnenwasser sowie Umweltenergie wie Luft, Sonne, Wärmerückgewinnung	275
5.3.2.1	Bivalente-parallele Betriebsweise	276
5.3.2.2	Bivalent-teilparalleler Betrieb	276
5.3.3	Geregelter Wärmepumpenverdichter	277
5.4	Systemvarianten (Wärmequelle/Wärmesenke)	278
5.4.1	Luft/Wasser-Wärmepumpe (L/W-WP)	278
5.4.2	Luft/Luft-Wärmepumpe (L/L-WP)	279
5.4.3	Wasser/Luft-Wärmepumpe (W/L-WP)	279

5.4.4	Wasser/Wasser-Wärmepumpe (W/W-WP)	280
5.4.5	Sole/Wasser-Wärmepumpe	280
5.4.6	Erdreich/Luft-Wärmepumpe	280
5.4.7	Erdreich/Wasser-Wärmepumpe	280
5.4.8	Objektbeispiele – Referenzprojekte	281
5.4.8.1	Grund-/Brunnenwassernutzung	281
5.4.8.2	Abwärmenutzung	282
5.4.8.3	Massivabsorber (Fundamentplatten)	285
5.5	Oberflächennahe Geothermie	285
5.5.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen	286
5.5.2	Wärmequellenerschließung	286
5.5.2.1	Erdwärme-Flächenkollektoren	287
5.5.2.2	Erdwärmesonden	288
5.5.2.3	CO ₂ -Erdwärmesonden	291
5.5.2.4	Energiepfähle (Gründungspfähle)	293
5.6	Wärmepumpen-Innovationen	295
5.6.1	Diffusions-Absorptionswärmepumpe (DAWP)	295
5.6.1.1	Kombination einer Diffusions-Absorptionswärmepumpe mit einem Brennwertwärmeerzeuger	298
5.6.2	Vuilleumier-Wärmepumpe	299
5.6.3	Zeolith-Wärmepumpe	301
5.7	Anlagenvarianten (Hybridsysteme)	303
5.7.1	Wärmepumpe und Solarthermie	303
5.8	Förderungen und normative Rahmenbedingungen	309
5.8.1	Förderung für Wärmepumpen und RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung	310
5.8.2	Förderungen im Marktanreizprogramm	310
5.9	Wirtschaftlichkeit	312
6.0	Glossar	317
7.0	Literaturverzeichnis	333
7.1	Online-Berichte	333
7.2	Fachbücher	333
7.3	Fachartikel	333
8.0	Kontaktadressen (Weiterführende Weblinks)	335
8.1	Architekten	335
8.2	Institute	336
8.3	Vereine/Verbände	337
8.4	Produkt- und Systemhersteller	338
8.5	Sonstige Informationsquellen und Weblinks	341