

Elmar Bollin (Hrsg.)

# Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden

Komponenten, Systeme, Anlagenbeispiele

Mit 196 Abbildungen und 18 Tabellen

Mit Beiträgen von

Martin Becker, Ekkehard Boggasch,

Elmar Bollin, Mathias Fraaß, Alfred Karbach,

Peter Ritzenhoff und Dieter Striebel

PRAXIS



**VIEWEG+**  
**TEUBNER**

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung in die Nutzung erneuerbarer Energiequellen</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Allgemeines zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen   | 1         |
| 1.2      | Charakteristika erneuerbarer Energiequellen   | 2         |
| 1.3      | Bedeutung der Automation bei der Nutzung regenerativer Energiequellen zur Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden | 3         |
| 1.4      | Beispiel einer solarthermischen Trinkwassererwärmung im Einfamilienhaus   | 4         |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen der Nutzung regenerativer Energiequellen in Gebäuden</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1      | Energieangebot regenerativer Energiequellen   | 7         |
| 2.1.1    | Das solare Strahlungsangebot am Gebäude   | 7         |
| 2.1.2    | Potenziale oberflächennaher Geothermie  | 19        |
| 2.1.3    | Potenzial der Umgebungswärme  | 24        |
| 2.1.4    | Sensorik für Klimamessung (meteorologische Messtechnik)   | 25        |
| 2.2      | Gebäudeenergiebedarf  | 28        |
| 2.2.1    | Gebäudewärmebedarf  | 29        |
| 2.2.2    | Gebäudekältebedarf  | 33        |
| 2.2.3    | Frischluftbedarf in Gebäuden  | 35        |
| 2.2.4    | Trinkwasserbedarf in Gebäuden   | 37        |
| 2.3      | Besonderheiten der Nutzung erneuerbarer Energieträger   | 39        |
| 2.3.1    | Einfluss des variablen Energieangebots  | 40        |
| 2.3.2    | Angebot und Bedarf  | 44        |
| 2.3.3    | Multivalente Energiebereitstellung  | 47        |
| 2.3.4    | Ertrags- und Funktionskontrolle   | 48        |
| <b>3</b> | <b>Energiebereitstellung aus regenerativen Energiequellen</b>   | <b>50</b> |
| 3.1      | Solarthermische Wandler   | 50        |
| 3.1.1    | Einführung  | 50        |
| 3.1.2    | Der Sonnenkollektor   | 52        |
| 3.1.3    | Zeitverhalten des Sonnenkollektors  | 53        |
| 3.1.4    | Wichtige Kenndaten von Sonnenkollektoren  | 54        |
| 3.1.5    | Hydraulisches Verhalten des Sonnenkollektors  | 56        |
| 3.2      | Systeme zur Erdwärmegewinnung   | 60        |
| 3.2.1    | Allgemeines   | 60        |
| 3.2.2    | Erdwärmekollektoren   | 60        |
| 3.2.3    | Erdwärmesonden  | 62        |
| 3.3      | Kältemaschinen und Wärmepumpen  | 66        |
| 3.3.1    | Allgemeines   | 66        |
| 3.3.2    | Definition eines kältetechnischen Gesamtsystems aus automatisierungstechnischer Sicht                             | 66        |
| 3.3.3    | Grundlagen von Kompressions-Kältemaschinen  | 68        |
| 3.3.4    | Grundlagen von Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen   | 72        |
| 3.3.5    | Energetische Kenngrößen von Kälteanlagen und Wärmepumpen  | 82        |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>4</b> | <b>Speichersysteme</b>   | 87  |
| 4.1      | Funktion von Wärmespeichern  | 87  |
| 4.2      | Möglichkeiten zur Speicherung von Wärme  | 88  |
| 4.2.1    | Speicher für fühlbare (sensible) Wärme   | 89  |
| 4.2.2    | Latentwärmespeicher  | 90  |
| 4.2.3    | Sorptionsspeicher  | 92  |
| 4.3      | Speicher mit Wasser als Speichermedium   | 92  |
| 4.3.1    | Strömungs- und Schichtungsvorgänge im Speicher   | 92  |
| 4.3.2    | Be- und Entladeeinrichtung   | 94  |
| 4.3.3    | Wärmeverluste  | 95  |
| 4.3.4    | Dimensionierung von Pufferspeichern  | 95  |
| 4.3.5    | Hydraulische Einbindung des Verdrängungsspeichers  | 97  |
| 4.3.6    | Steuerung der Be- und Entladung  | 98  |
| 4.3.7    | Kombispeicher  | 99  |
| <b>5</b> | <b>Automation von Systemen zur Wärme- und Kältebereitstellung<br/>aus regenerativen Energiequellen</b> | 101 |
| 5.1      | Solare Trinkwassererwärmung  | 101 |
| 5.1.1    | Kleinanlagen zur solaren Trinkwassererwärmung  | 102 |
| 5.1.2    | Großanlagen zur solaren Trinkwassererwärmung   | 102 |
| 5.1.2.1  | Kollektorkreisregelung   | 103 |
| 5.1.2.2  | Speicherladeregelung   | 107 |
| 5.1.2.3  | Speicherentladeregelungen  | 108 |
| 5.1.2.4  | Überwachungs- und Servicefunktionen  | 113 |
| 5.1.3    | Ausgeführtes Beispiel einer solarthermischen Großanlage  | 114 |
| 5.2      | Solarunterstützte Gebäudeheizung   | 121 |
| 5.3      | Raumverhalten  | 123 |
| 5.3.1    | Einleitung   | 123 |
| 5.3.2    | Energiefluss in der Raumbeheizung  | 124 |
| 5.3.2.1  | Nutzen und Bedarf  | 124 |
| 5.3.2.2  | Aufwand und Energieeffizienz   | 126 |
| 5.3.3    | Modellierung des Raumverhaltens  | 127 |
| 5.3.3.1  | Raumkennlinie und Raumtemperaturregelung   | 127 |
| 5.3.3.2  | Einknotenmodell  | 129 |
| 5.3.3.3  | Zweiknotenmodell   | 132 |
| 5.3.3.4  | Wirksame Wärmekapazität  | 134 |
| 5.3.3.5  | Mehrknottenmodell  | 137 |
| 5.3.3.6  | Geometrische Raummodelle   | 139 |
| 5.3.4    | Thermische Bauteilaktivierung  | 146 |
| 5.3.4.1  | Thermisch aktivierbares Bauteil  | 146 |
| 5.3.4.2  | Betonkernaktivierung   | 147 |
| 5.3.4.3  | Bauteilkühlung   | 148 |
| 5.3.5    | Low Cost Bus (LCB)   | 149 |
| 5.3.5.1  | Aufbau   | 149 |
| 5.3.5.2  | CAFM-Funktionalität  | 150 |
| 5.3.5.3  | Energieeinsparung durch verbesserte Regelung   | 151 |
| 5.3.5.4  | Energieeinsparung durch Interaktion mit den Nutzern  | 152 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 5.4      | Solare Kühlung .....  | 154        |
| 5.4.1    | DEC-Systeme .....   | 158        |
| 5.4.2    | Solarbetriebene Absorptionskältemaschinen .....   | 160        |
| 5.4.2.1  | Solare Absorptionskühlung als ausgeführtes Anlagenbeispiel ..                                   | 161        |
| 5.4.2.2  | Solarbetriebene Adsorptionsmaschine .....   | 168        |
| 5.5      | Wärmepumpen-Systeme zur Gebäudebeheizung .....  | 170        |
| 5.5.1    | Systemabgrenzung Wärmepumpe, Wärmepumpenanlage und<br>Wärmepumpenheizungsanlage .....           | 170        |
| 5.5.2    | Energetische Bewertung von Wärmepumpen und Wärmepumpenanlagen                                   | 172        |
| 5.5.3    | Komponenten einer Wärmepumpenanlage (WPA) .....   | 177        |
| 5.5.3.1  | Wärmequellen .....  | 177        |
| 5.5.3.2  | Wärmepumpe (WP) .....   | 179        |
| 5.5.3.3  | Betriebsarten einer Wärmepumpenheizungsanlage (WPHA) ..   | 180        |
| 5.5.4    | Automatisierung von Wärmepumpen und Wärmepumpenheizungs-<br>anlagen .....                       | 181        |
| 5.5.4.1  | Automatisierungsebenen .....  | 181        |
| 5.5.4.2  | Automatisierung von Wärmepumpensystemen .....   | 183        |
| 5.6      | Geothermische Systeme zur Gebäudeheizung und -kühlung (Anlagenbeispiel) ..                      | 185        |
| 5.6.1    | Konzeption und Aufbau .....   | 185        |
| 5.6.2    | Regelstrategien .....   | 185        |
| 5.6.3    | Betriebserfahrungen .....   | 189        |
| 5.7      | Automationsstrategien für thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) .....                              | 191        |
| 5.7.1    | Allgemeines .....   | 191        |
| 5.7.2    | Übersicht zu typischen Steuerungs-/Regelungsstrategien für<br>TAB-Systeme .....                 | 192        |
| 5.7.2.1  | Beaufschlagung der TAB mit konstanter Vorlauftemperatur ...                                     | 193        |
| 5.7.2.2  | Steuerung der Vorlauftemperatur als Funktion der Außen-<br>temperatur .....                     | 193        |
| 5.7.2.3  | Regelung nach der Temperatur in TAB-System .....  | 194        |
| 5.7.2.4  | Steuerung des Massenstromes .....   | 196        |
| 5.7.2.5  | Vorausschauende und prognosegesteuerte Strategien .....   | 198        |
| <b>6</b> | <b>Funktionsüberwachung und Ertragskontrolle .....</b>  | <b>199</b> |
| 6.1      | Monitoring .....  | 200        |
| 6.1.1    | Kennzahlen für die Bewertung des Anlagenbetriebs .....  | 203        |
| 6.2      | Systemsimulations- und Prognosewerkzeuge .....  | 206        |
| 6.3      | Insitu-Überwachungen .....  | 210        |
| 6.3.1    | Insitu-Überwachung als Teil der Automatisierung .....   | 210        |
| 6.3.2    | Insitu-Überwachung mit PC-Ankopplung und Software für Daten-<br>erfassung und -auswertung ..... | 211        |
| 6.4      | Busgestütztes Energiemanagement eines Verbundes regenerativer Energie-<br>anlagen .....         | 212        |
| <b>7</b> | <b>Automationsgeräte und deren Anbindung an die Gebäudeautomation .....</b>                     | <b>221</b> |
| 7.1      | Einführung in die Automatisierungstechnik .....   | 221        |
| 7.2      | Kompakte Automationsgeräte .....  | 227        |
| 7.2.1    | Einfacher kompakter Solarregler .....   | 227        |

---

|                                  |   |            |
|----------------------------------|---|------------|
| 7.2.2                            | Vielseitiger kompakter Solarregler .....  | 228        |
| 7.2.3                            | Freiprogrammierbarer solarer Universalregler .....  | 229        |
| 7.2.4                            | Wärmepumpen-Kompaktregler .....   | 231        |
| 7.3                              | Einbindung in eine übergeordnete Gebäudeautomation und ins Gebäude-<br>management .....                       | 234        |
| 7.3.1                            | Integration von regenerativen Anlagen in die Gebäudeautomation .....  | 236        |
| 7.3.1.1                          | Anwendungsbeispiel: Automation eines Energiesystem-<br>Verbundes im Technikum G der Hochschule Biberach ..... | 236        |
| 7.3.1.2                          | Anwendungsbeispiel: Herstellerneutrales Gebäude-<br>automationssystem auf LabVIEW Basis .....                 | 239        |
| <b>Sachwortverzeichnis .....</b> |   | <b>243</b> |