

---

Elmar Bollin  
Herausgeber

# Regenerative Energien im Gebäude nutzen

Wärme- und Kälteversorgung,  
Automation, Ausgeführte Beispiele

2., überarbeitete Auflage

Mit Beiträgen von Martin Becker, Ekkehard Boggasch,  
Elmar Bollin, Mathias Fraaß, Alfred Karbach, Peter  
Ritzenhoff und Dieter Striebel

 Springer Vieweg

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung in die Nutzung erneuerbarer Energiequellen</b> . . . . .	<b>1</b>
	Elmar Bollin	
1.1	Allgemeines zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen . . . . .	1
1.2	Charakteristika erneuerbarer Energiequellen . . . . .	3
1.3	Bedeutung der Automation bei der Nutzung regenerativer Energiequellen zur Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden . . . . .	4
1.4	Beispiel einer solarthermischen Trinkwassererwärmung im Einfamilienhaus . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Nutzung regenerativer Energiequellen in Gebäuden</b> . . .	<b>9</b>
	Peter Ritzenhoff und Alfred Karbach	
2.1	Energieangebot regenerativer Energiequellen . . . . .	9
2.1.1	Das solare Strahlungsangebot am Gebäude . . . . .	10
2.1.2	Potenziale oberflächennaher Geothermie . . . . .	24
2.1.3	Potenzial der Umgebungswärme . . . . .	29
2.1.4	Sensorik für Klimamessung (meteorologische Messtechnik) . . .	31
2.2	Gebäudeenergiebedarf . . . . .	32
2.2.1	Gebäudewärmebedarf . . . . .	34
2.2.2	Gebäudekältebedarf . . . . .	39
2.2.3	Frischluftebedarf in Gebäuden . . . . .	42
2.2.4	Trinkwasserbedarf in Gebäuden . . . . .	43
2.3	Besonderheiten der Nutzung erneuerbarer Energieträger . . . . .	44
2.3.1	Einfluss des variablen Energieangebots . . . . .	45
2.3.2	Angebot und Bedarf . . . . .	49
2.3.3	Multivalente Energiebereitstellung . . . . .	51
2.3.4	Ertrags- und Funktionskontrolle . . . . .	53
	Literatur . . . . .	55

<b>3</b>	<b>Energiebereitstellung aus regenerativen Energiequellen</b> . . . . .	<b>57</b>
	Elmar Bollin, Dieter Striebel, Martin Becker und Peter Ritzenhoff	
3.1	Solarthermische Wandler . . . . .	57
3.1.1	Einführung . . . . .	57
3.1.2	Der Sonnenkollektor . . . . .	60
3.1.3	Zeitverhalten des Sonnenkollektors . . . . .	61
3.1.4	Wichtige Kenndaten von Sonnenkollektoren . . . . .	63
3.1.5	Hydraulisches Verhalten des Sonnenkollektors . . . . .	64
3.2	Systeme zur Erdwärmegewinnung . . . . .	68
3.2.1	Allgemeines . . . . .	68
3.2.2	Erdwärmekollektoren . . . . .	69
3.2.3	Erdwärmesonden . . . . .	70
3.3	Kältemaschinen und Wärmepumpen . . . . .	73
3.3.1	Allgemeines . . . . .	73
3.3.2	Definition eines kältetechnischen Gesamtsystems aus automatisierungstechnischer Sicht . . . . .	73
3.3.3	Grundlagen von Kompressions-Kältemaschinen . . . . .	75
3.3.4	Grundlagen von Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen . .	80
3.3.5	Energetische Kenngrößen von Kälteanlagen und Wärmepumpen .	91
	Literatur . . . . .	95
<b>4</b>	<b>Speichersysteme</b> . . . . .	<b>97</b>
	Dieter Striebel	
4.1	Funktion von Wärmespeichern . . . . .	97
4.2	Möglichkeiten zur Speicherung von Wärme . . . . .	99
4.2.1	Speicher für fühlbare (sensible) Wärme . . . . .	99
4.2.2	Latentwärmespeicher . . . . .	101
4.2.3	Sorptionsspeicher . . . . .	102
4.3	Speicher mit Wasser als Speichermedium . . . . .	103
4.3.1	Strömungs- und Schichtungsvorgänge im Speicher . . . . .	103
4.3.2	Be- und Entladeeinrichtung . . . . .	104
4.3.3	Wärmeverluste . . . . .	105
4.3.4	Dimensionierung von Pufferspeichern . . . . .	106
4.3.5	Hydraulische Einbindung des Verdrängungsspeichers . . . . .	108
4.3.6	Steuerung der Be- und Entladung . . . . .	109
4.3.7	Kombispeicher . . . . .	110
	Literatur . . . . .	112

<b>5</b>	<b>Automation von Systemen zur Wärme- und Kältebereitstellung aus regenerativen Energiequellen</b> . . . . .	<b>113</b>
	Elmar Bollin, Mathias Fraaß, Alfred Karbach, Martin Becker und Dieter Striebel	
5.1	Solare Trinkwassererwärmung . . . . .	113
5.1.1	Kleinanlagen zur solaren Trinkwassererwärmung . . . . .	114
5.1.2	Großanlagen zur solaren Trinkwassererwärmung . . . . .	115
5.1.2.1	Kollektorkreisregelung . . . . .	116
5.1.2.2	Speicherladeregelung . . . . .	120
5.1.2.3	Speicherentladeregelungen . . . . .	122
5.1.2.4	Überwachungs- und Servicefunktionen . . . . .	126
5.1.3	Ausgeführtes Beispiel einer solarthermischen Großanlage . . . . .	127
5.2	Solarunterstützte Gebäudeheizung . . . . .	135
5.3	Raumverhalten . . . . .	137
5.3.1	Einleitung . . . . .	137
5.3.2	Energiefluss in der Raumbeheizung . . . . .	138
5.3.2.1	Nutzen und Bedarf . . . . .	138
5.3.2.2	Aufwand und Energieeffizienz . . . . .	140
5.3.3	Modellierung des Raumverhaltens . . . . .	141
5.3.3.1	Raumkennlinie und Raumtemperaturregelung . . . . .	142
5.3.3.2	Einknotenmodell . . . . .	144
5.3.3.3	Zweiknotenmodell . . . . .	147
5.3.3.4	Wirksame Wärmekapazität . . . . .	149
5.3.3.5	Mehrknottenmodell . . . . .	153
5.3.3.6	Geometrische Raummodelle . . . . .	155
5.3.4	Thermische Bauteilaktivierung . . . . .	161
5.3.4.1	Thermisch aktivierbares Bauteil . . . . .	161
5.3.4.2	Betonkernaktivierung . . . . .	163
5.3.4.3	Bauteilkühlung . . . . .	164
5.3.5	Low Cost Bus (LCB) . . . . .	165
5.3.5.1	Aufbau . . . . .	165
5.3.5.2	CAFM-Funktionalität . . . . .	166
5.3.5.3	Energieeinsparung durch verbesserte Regelung . . . . .	167
5.3.5.4	Energieeinsparung durch Interaktion mit den Nutzern . . . . .	169
5.4	Solare Kühlung . . . . .	170
5.4.1	DEC-Systeme . . . . .	174
5.4.2	Solarbetriebene Absorptionskältemaschinen . . . . .	175
5.4.2.1	Solar Absorptionskühlung als ausgeführtes Anlagenbeispiel . . . . .	176
5.4.2.2	Solarbetriebene Adsorptionsmaschine als ausgeführtes Anlagenbeispiel . . . . .	184

5.5	Wärmepumpen-Systeme zur Gebäudebeheizung . . . . .	187
5.5.1	Systemabgrenzung Wärmepumpe, Wärmepumpenanlage und Wärmepumpenheizungsanlage . . . . .	187
5.5.2	Energetische Bewertung von Wärmepumpen und Wärmepumpenanlagen . . . . .	190
5.5.3	Komponenten einer Wärmepumpenanlage (WPA) . . . . .	195
5.5.3.1	Wärmequellen . . . . .	195
5.5.3.2	Wärmepumpe (WP) . . . . .	197
5.5.3.3	Betriebsarten einer Wärmepumpenheizungsanlage (WPHA) . . . . .	198
5.5.4	Automatisierung von Wärmepumpen und Wärmepumpenheizungsanlagen . . . . .	200
5.5.4.1	Automatisierungsebenen . . . . .	200
5.5.4.2	Automatisierung von Wärmepumpensystemen . . . . .	202
5.6	Geothermische Systeme zur Gebäudeheizung und -kühlung (Anlagenbeispiel) . . . . .	204
5.6.1	Konzeption und Aufbau . . . . .	204
5.6.2	Regelstrategien . . . . .	205
5.6.3	Betriebserfahrungen . . . . .	208
5.7	Automationsstrategien für thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) . . . . .	210
5.7.1	Allgemeines . . . . .	210
5.7.2	Übersicht zu typischen Steuerungs-/Regelungsstrategien für TAB-Systeme . . . . .	212
5.7.2.1	Beaufschlagung der TAB mit konstanter Vorlauftemperatur . . . . .	213
5.7.2.2	Steuerung der Vorlauftemperatur als Funktion der Außentemperatur . . . . .	213
5.7.2.3	Regelung nach der Temperatur in TAB-System . . . . .	214
5.7.2.4	Steuerung des Massenstromes . . . . .	216
5.7.2.5	Vorausschauende und prognosegesteuerte Strategien . . . . .	217
	Literatur . . . . .	219
<b>6</b>	<b>Funktionsüberwachung und Ertragskontrolle . . . . .</b>	<b>221</b>
	Alfred Karbach und Ekkehard Boggasch	
6.1	Monitoring . . . . .	222
6.1.1	Kennzahlen für die Bewertung des Anlagenbetriebs . . . . .	226
6.2	Systemsimulations- und Prognosewerkzeuge . . . . .	229
6.3	In-situ-Überwachungen . . . . .	232
6.3.1	In-situ-Überwachung als Teil der Automatisierung . . . . .	233
6.3.2	In-situ-Überwachung mit PC-Ankopplung und Software für Datenerfassung und -auswertung . . . . .	234

---

6.4	Busgestütztes Energiemanagement eines Verbundes regenerativer Energieanlagen . . . . .	234
	Literatur . . . . .	242
<b>7</b>	<b>Automationsgeräte und deren Anbindung an die Gebäudeautomation . . .</b>	<b>245</b>
	Elmar Bollin und Martin Becker	
7.1	Einführung in die Automatisierungstechnik . . . . .	245
7.2	Kompakte Automationsgeräte . . . . .	251
7.2.1	Einfacher kompakter Solarregler . . . . .	251
7.2.2	Vielseitiger kompakter Solarregler . . . . .	252
7.2.3	Freiprogrammierbarer solarer Universalregler . . . . .	254
7.2.4	Wärmepumpen-Kompaktregler . . . . .	256
7.3	Einbindung in eine übergeordnete Gebäudeautomation und ins Gebäudemanagement . . . . .	259
7.3.1	Integration von regenerativen Anlagen in die Gebäudeautomation	260
7.3.1.1	Anwendungsbeispiel: Automation eines Energiesystem- Verbundes im Technikum G der Hochschule Biberach . .	261
7.3.1.2	Anwendungsbeispiel: Herstellerneutrales Gebäudeautomationssystem auf LabVIEW Basis . . . . .	265
	Literatur . . . . .	268
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>269</b>