

- 1 Einführung und Aufbau p. 1
- 1.1 Energiesystem p. 1
- 1.2 Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energien p. 11
- 1.3 Aufbau und Vorgehen p. 13
- 1.4 Konventionelle Vergleichssysteme p. 23
- 2 Grundlagen des regenerativen Energieangebots p. 37
- 2.1 Energiebilanz der Erde p. 37
- 2.2 Solare Strahlung p. 47
- 2.3 Windenergie p. 62
- 2.4 Lauf- und Speicherwasserangebot p. 79
- 2.5 Photosynthetisch fixierte Energie p. 93
- 2.6 Erdwärme p. 103
- 3 Passive Sonnenenergienutzung p. 115
- 3.1 Physikalische Grundlagen p. 115
- 3.2 Systemtechnische Beschreibung p. 117
- 3.3 Potenziale und Nutzung p. 135
- 4 Solarthermische Wärmenutzung p. 137
- 4.1 Physikalische Grundlagen p. 137
- 4.2 Systemtechnische Beschreibung p. 144
- 4.3 Ökonomische und ökologische Analyse p. 174
- 4.4 Potenziale und Nutzung p. 190
- 5 Photovoltaische Stromerzeugung p. 197
- 5.1 Physikalische Grundlagen p. 197
- 5.2 Systemtechnische Beschreibung p. 206
- 5.3 Ökonomische und ökologische Analyse p. 249
- 5.4 Potenziale und Nutzung p. 261
- 6 Stromerzeugung aus Windenergie p. 267
- 6.1 Physikalische Grundlagen p. 267
- 6.2 Systemtechnische Beschreibung p. 281
- 6.3 Ökonomische und ökologische Analyse p. 312
- 6.4 Potenziale und Nutzung p. 326
- 7 Stromerzeugung aus Wasserkraft p. 333
- 7.1 Physikalische Grundlagen p. 333
- 7.2 Systemtechnische Beschreibung p. 337
- 7.3 Ökonomische und ökologische Analyse p. 360
- 7.4 Potenziale und Nutzung p. 372
- 8 Nutzung von Umgebungsluft und oberflächennaher Erdwärme p. 381
- 8.1 Physikalische Grundlagen p. 383
- 8.2 Systemtechnische Beschreibung p. 390
- 8.3 Ökonomische und ökologische Analyse p. 422
- 8.4 Potenziale und Nutzung p. 436
- 9 Nutzung tiefer Erdwärme p. 443
- 9.1 Hydrothermale Erdwärmebereitstellung p. 443
- 9.2 Wärmebereitstellung mit tiefen Sonden p. 476
- 9.3 Geothermische Stromerzeugung p. 487
- 10 Zusammenfassender Vergleich p. 519

- 10.1 Bereitstellung elektrischer Energie p. 519
- 10.2 Bereitstellung thermischer Energie p. 549
- Anhang A Nutzung der Energien des Meeres p. 575
- Anhang B Solarthermische Stromerzeugung p. 591
- Anhang C Energetische Nutzung von Biomasse p. 629
- Anhang D Energieeinheiten p. 635
- Literatur p. 637
- Sachwortverzeichnis p. 665
- 1 Einführung und Aufbau p. 1
- 1.1 Energiesystem Martin Kaltschmitt p. 1
- 1.1.1 Energiebegriffe p. 2
- 1.1.2 Weltweiter Energieverbrauch p. 5
- 1.1.3 Energieverbrauch in Deutschland p. 7
- Primär-, End- und Nutzenergieverbrauch p. 7
- Verbrauch an elektrischer Energie p. 10
- 1.2 Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energien Martin Kaltschmitt p. 11
- 1.2.1 Erneuerbare Energien p. 11
- 1.2.2 Untersuchte Möglichkeiten p. 12
- 1.3 Aufbau und Vorgehen Martin Kaltschmitt p. 13
- 1.3.1 Physikalische Grundlagen p. 14
- 1.3.2 Systemtechnische Beschreibung p. 14
- 1.3.3 Ökonomische und ökologische Analyse p. 15
- Definition von Referenzanlagen p. 15
- Ökonomische Analyse p. 16
- Ökologische Analyse p. 18
- 1.3.4 Potenziale und Nutzung p. 20
- Potenziale p. 20
- Nutzung p. 23
- 1.4 Konventionelle Vergleichssysteme Moritz Nill and Wolfgang Streicher and Martin Kaltschmitt p. 23
- 1.4.1 Randbedingungen p. 24
- 1.4.2 Techniken zur Strombereitstellung p. 25
- 1.4.2.1 Systemtechnische Beschreibung p. 26
- Dampfkraftwerke p. 26
- Gasturbinenkraftwerke p. 26
- Gas- und Dampfturbinen-(GuD)-Kraftwerke p. 26
- 1.4.2.2 Ökonomische und ökologische Analyse p. 27
- Referenzanlagen p. 27
- Ökonomische Analyse p. 28
- Ökologische Analyse p. 29
- 1.4.3 Techniken zur Wärmbereitstellung p. 31
- 1.4.3.1 Systemtechnische Beschreibung p. 31
- Brennstoffversorgung und -lagerung p. 31
- Heizkessel und Brenner p. 31
- Brauchwarmwasser-Bereitung p. 32
- 1.4.3.2 Ökonomische und ökologische Analyse p. 32

- Referenzanlagen p. 32
- Ökonomische Analyse p. 33
- Ökologische Analyse p. 34
- 2 Grundlagen des regenerativen Energieangebots p. 37
- 2.1 Energiebilanz der Erde Martin Kaltschmitt and Andreas Wiese p. 37
- 2.1.1 Erneuerbare Energiequellen p. 37
- Sonnenenergie p. 37
- Geothermische Energie p. 40
- Energie aus Planetengravitation und -bewegung p. 41
- 2.1.2 Atmosphäre p. 42
- 2.1.3 Bilanz der Energieströme p. 43
- 2.2 Solare Strahlung Martin Kaltschmitt and Wolfgang Streicher p. 47
- 2.2.1 Grundlagen des solaren Strahlungsangebots p. 47
- Optische Fenster p. 47
- Strahlungsschwächung p. 47
- Strahlungsspektrum p. 48
- Direkt-, Diffus- und Globalstrahlung p. 49
- Direktstrahlung auf geneigte, ausgerichtete Flächen p. 50
- Diffusstrahlung auf geneigte, ausgerichtete Flächen p. 52
- Reflexionsstrahlung auf geneigte, ausgerichtete Flächen p. 52
- Globalstrahlung auf geneigte, ausgerichtete Flächen p. 53
- 2.2.2 Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik p. 53
- Strahlungsmessung p. 53
- Strahlungsverteilung p. 54
- Zeitliche Variationen p. 54
- 2.3 Windenergie Martin Kaltschmitt and Andreas Wiese p. 62
- 2.3.1 Grundlagen der Windentstehung p. 63
- Mechanismen p. 63
- Globale Luftzirkulationssysteme p. 64
- Lokale Luftzirkulationssysteme p. 66
- Einfluss der Geländestruktur p. 69
- Windleistung p. 70
- 2.3.2 Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik p. 71
- Windrichtungs- und -geschwindigkeitsmessung p. 71
- Windverteilung p. 71
- Zeitliche Variationen p. 74
- Häufigkeitsverteilung p. 77
- 2.4 Lauf- und Speicherwasserangebot Martin Kaltschmitt and Klaus Jorde p. 79
- 2.4.1 Grundlagen des Wasserangebots p. 79
- Wasservorräte der Erde p. 79
- Wasserkreislauf p. 79
- Niederschlag p. 81
- Vom Niederschlag zum Abfluss p. 81
- Leistung und Arbeitsvermögen des Wassers p. 83
- 2.4.2 Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik p. 85
- Messung wassertechnischer Kenngrößen p. 85

- Niederschlagsverteilung und -variationen p. 87
- Flusssysteme, Abflusshöhe und -verlauf p. 89
- Speicher p. 92
- 2.5 Photosynthetisch fixierte Energie Iris Lewandowski p. 93
- 2.5.1 Produktion organischer Masse durch Photosynthese p. 93
 - Aufbau und Zusammensetzung der Pflanze p. 93
 - Photosynthese p. 93
 - Einfluss verschiedener Wachstumsfaktoren p. 96
- 2.5.2 Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik p. 101
 - Räumliche Angebotscharakteristik p. 101
 - Zeitliche Angebotscharakteristik p. 101
- 2.6 Erdwärme Ernst Huenges and Martin Kaltschmitt p. 103
- 2.6.1 Grundlagen p. 103
 - Erdaufbau p. 103
 - Temperaturgradient p. 105
 - Wärmehalt und Verteilung der Quellen p. 105
 - Terrestrische Wärmestromdichte p. 106
 - Wärmebilanz an der Erdoberfläche p. 107
 - Geothermische Systeme und Ressourcen p. 107
- 2.6.2 Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik p. 110
 - Flacher Untergrund p. 110
 - Tiefer Untergrund p. 112
- 3 Passive Sonnenenergienutzung Wolfgang Streicher p. 115
- 3.1 Physikalische Grundlagen p. 115
- 3.2 Systemtechnische Beschreibung p. 117
 - 3.2.1 Definitionen p. 117
 - Begriffe p. 117
 - Kennzahlen p. 117
 - 3.2.2 Systemkomponenten p. 119
 - Transparente Abdeckungen p. 119
 - Verschattungseinrichtungen p. 122
 - Absorber und Speicher p. 126
 - 3.2.3 Funktionale Systeme p. 128
 - Direktgewinnsysteme p. 129
 - indirekte Gewinnsysteme p. 129
 - Abgekoppelte Systeme p. 132
 - Wintergärten p. 133
- 3.3 Potenziale und Nutzung p. 135
 - 3.3.1 Potenziale p. 136
 - 3.3.2 Nutzung p. 136
- 4 Solarthermische Wärmenutzung p. 137
- 4.1 Physikalische Grundlagen Wolfgang Streicher p. 137
 - 4.1.1 Absorption, Emission und Transmission p. 137
 - 4.1.2 Optische Eigenschaften von Absorbern p. 138
 - 4.1.3 Optische Eigenschaften von Abdeckungen p. 139
 - 4.1.4 Energiebilanz p. 140

- Allgemeine Energiebilanz p. 140
- Energiebilanz des Kollektors p. 140
- 4.1.5 Wirkungsgrad und solarer Deckungsgrad p. 142
- 4.2 Systemtechnische Beschreibung Wolfgang Streicher p. 144
- 4.2.1 Kollektoren p. 144
 - Bauteile von Kollektoren p. 144
 - Montage p. 146
 - Kollektorbauarten und Anwendungsbereiche p. 147
 - Daten und Kennlinien p. 150
 - Kollektorverschaltung p. 152
- 4.2.2 Weitere Systemelemente p. 153
 - Speicher p. 153
 - Mess- und Regeleinrichtungen p. 158
 - Wärmeträger-Medium p. 159
 - Leitungen p. 160
 - Wärmeübertrager p. 161
 - Pumpen p. 162
- 4.2.3 Energiewandlungskette und Verluste p. 162
 - Energiewandlungskette p. 162
 - Verluste p. 163
- 4.2.4 Anlagenkonzepte p. 164
 - Anlagen ohne Umlauf p. 165
 - Offene Naturumlaufsysteme p. 165
 - Geschlossene Naturumlaufsysteme p. 166
 - Offene Zwangsumlaufsysteme p. 166
 - Geschlossene Zwangsumlaufsysteme p. 167
- 4.2.5 Anwendungen solarthermischer Anlagen p. 167
 - Solare Freibadbeheizung p. 167
 - Kleinanlagen p. 168
 - Solare Nahwärmesysteme p. 171
 - Sonstige Anwendungen p. 173
- 4.3 Ökonomische und ökologische Analyse Moritz Nill and Wolfgang Streicher and Martin Kaltschmitt p. 174
 - 4.3.1 Referenzanlagen p. 174
 - 4.3.2 Ökonomische Analyse p. 177
 - Investitionen p. 177
 - Betriebskosten p. 180
 - Wärmegestehungskosten p. 181
 - 4.3.3 Ökologische Analyse p. 183
 - 4.3.3.1 Lebenszyklusanalyse p. 184
 - Solarthermische Wärmebereitstellung p. 184
 - Versorgungssysteme p. 186
 - 4.3.3.2 Weitere Umwelteffekte p. 188
 - Herstellung p. 188
 - Normalbetrieb p. 188
 - Störfall p. 189

- Betriebsende p. 190
- 4.4 Potenziale und Nutzung Martin Kaltschmitt and Sven Schneider p. 190
- 4.4.1 Potenziale p. 190
- Theoretisches Potenzial p. 190
- Technische Angebotspotenziale (Wärmeerzeugungspotenziale) p. 190
- Technische Endenergiepotenziale (Nachfragepotenziale) p. 191
- 4.4.2 Nutzung p. 195
- 5 Photovoltaische Stromerzeugung p. 197
- 5.1 Physikalische Grundlagen Martin Kaltschmitt and Fritz Pfisterer p. 197
- 5.1.1 Bändermodell p. 197
- 5.1.2 Leiter, Nichtleiter und Halbleiter p. 198
- Leiter p. 198
- Nichtleiter p. 199
- Halbleiter p. 199
- 5.1.3 Leitungsmechanismen in Halbleitern p. 199
- Eigenleitung p. 199
- Störstellenleitung p. 200
- 5.1.4 Photoeffekt