Inhaltsverzeichnis

1 Energie und Klimaschutz ... 13
1.1 Der Begriff Energie ... 13
1.2 Entwicklung des Energiebedarfs ... 18
1.2.1 Entwicklung des Weltenergiebedarfs ... 18
1.2.2 Entwicklung des Energiebedarfs in Deutschland ... 20
1.3 Reichweite konventioneller Energieträger ... 23
1.4 Der Treibhauseffekt ... 25
1.5 Kernenergie contra Treibhauseffekt ... 31
1.5.1 Kernspaltung ... 31
1.5.2 Kernfusion ... 35
1.6 Nutzung erneuerbarer Energien ... 35
1.6.1 Geothermische Energie ... 37
1.6.2 Planetenenergie ... 37
1.6.3 Sonnenenergie ... 38
1.6.3.1 Nutzung der direkten Sonnenenergie ... 38
1.6.3.2 Nutzung der indirekten Sonnenenergie ... 41
1.7 Energiewende und Klimaschutz ... 46
1.7.1 Szenarien für den globalen Klimawandel ... 46
1.7.2 Internationaler Klimaschutz ... 51
1.7.3 Energiewende und Klimaschutz in Deutschland ... 53
1.7.3.1 Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in Deutschland ... 53
1.7.3.2 Regenerative Energieversorgung in Deutschland ... 55
1.7.3.3 Umbau der Energieversorgung ... 66

2 Sonnenstrahlung ... 70
2.1 Einleitung ... 70
2.2 Der Fusionsreaktor Sonne ... 71
2.3 Sonnenstrahlung auf der Erde ... 75
2.4 Bestrahlungsstärke auf der Horizontalen ... 81
2.5 Sonnenposition und Einfallswinkel ... 84
2.6 Bestrahlungsstärke auf der geneigten Ebene ... 88
2.6.1 Direkte Strahlung auf der geneigten Ebene ... 88
2.6.2 Diffuse Strahlung auf der geneigten Ebene ... 89
2.6.3 Bodenreflexion ... 90
2.6.4 Strahlungsgewinn durch Neigung oder Nachführung ... 91
2.7 Berechnung von Abschattungsverlusten ... 94
2.7.1 Aufnahme der Umgebung ... 94
2.7.2 Bestimmung des direkten Abschattungsgrades ... 96
2.7.3 Bestimmung des diffusen Abschattungsgrades ... 97
2.7.4 Gesamtermittlung der Abschattungen ... 98
2.7.5 Optimaler Abstand bei aufgeständerten Solaranlagen ... 99

Bibliografische Informationen
http://d-nb.info/1243101601

digitalisiert durch DEUTSCHE NATIONAL BIBLIOTHEK

2.8 Solarstrahlungsmesstechnik und Sonnensimulatoren ... 103
2.8.1 Messung der globalen Bestrahlungsstärke ... 103
2.8.2 Messung der direkten und der diffusen Bestrahlungsstärke ... 105
2.8.3 Satellitenmessungen ... 105
2.8.4 Künstliche Sonnen ... 108

3 Nicht konzentrierende Solarthermie ... 109
3.1 Grundlagen ... 109
3.2 Solarthermische Systeme ... 112
3.2.1 Solare Schwimmbadbeheizung ... 112
3.2.2 Solare Trinkwassererwärmung ... 113
3.2.2.1 Schwerkraft- oder Thermosiphonanlagen ... 115
3.2.2.2 Anlagen mit Zwangsumlauf ... 116
3.2.3 Solare Heizungsunterstützung ... 119
3.2.4 Rein solare Heizung ... 120
3.2.5 Solare Nahwärmeversorgung ... 121
3.2.6 Solares Kühlen ... 122
3.3 Solarkollektoren ... 123
3.3.1 Speicherkollektoren ... 124
3.3.2 Flachkollektoren ... 126
3.3.3 Vakuumröhrenkollektoren ... 129
3.4 Kollektorabsorber ... 130
3.5 Kollektorleistung und Kollektorwirkungsgrad ... 133
3.6 Rohrleitungen ... 138
3.6.1 Leitungsaufheizverluste ... 141
3.6.2 Zirkulationsverluste ... 141
3.7 Speicher ... 143
3.7.1 Trinkwasserspeicher ... 144
3.7.2 Schwimmbecken ... 147
3.8 Anlagenauslegung ... 150
3.8.1 Nutzwärmebedarf ... 150
3.8.2 Solarer Deckungsgrad und Nutzungsgrad ... 151
3.8.3 Solare Trinkwasseranlagen ... 153
3.8.4 Anlagen zur solaren Heizungsunterstützung ... 154
3.8.5 Rein solare Heizung ... 156
3.9 Aufwindkraftwerke ... 156

4 Konzentrierende Solarthermie ... 159
4.1 Einleitung ... 159
4.2 Konzentration von Solarstrahlung ... 159
4.3 Konzentrierende Kollektoren ... 162
4.3.1 Linienkollektoren ... 163
4.3.1.1 Kollektorarten und Kollektorgeometrie ... 163
4.3.1.2 Kollektornutzleistung und Kollektorwirkungsgrad ... 165
4.3.1.3 Längenausdehnung ... 169
4.3.1.4 Parabolrinnenkollektorfelder ... 169
4.3.2 Punktkonzentratoren ... 172
4.4 Wärmekraftmaschinen ... 173
4.4.1 Carnot-Prozess ... 173
4.4.2 Clausius-Rankine-Prozess ... 173
4.4.3 Joule-Prozess ... 176
4.4.4 Stirling-Prozess ... 177

4.5 Konzentrierende solarthermische Anlagen ... 177
4.5.1 Parabolrinnenkraftwerke ... 177
4.5.2 Solarturmkraftwerke ... 182
4.5.2.1 Offener volumetrischer Receiver ... 183
4.5.2.2 Druck-Receiver ... 184
4.5.3 Dish-Stirling-Anlagen ... 185
4.5.4 Sonnenöfen und Solarchemie ... 186
4.6 Stromimport ... 187

5 Photovoltaik ... 190
5.1 Einleitung ... 190
5.2 Funktionsweise von Solarzellen ... 192
5.2.1 Atommodell nach Bohr ... 192
5.2.2 Photoeffekt ... 193
5.2.3 Funktionsprinzip einer Solarzelle ... 195
5.3 Herstellung von Solarzellen und Solarmodulen ... 202
5.3.1 Solarzellen aus kristallinem Silizium ... 202
5.3.2 Solarmodule mit kristallinen Zellen ... 207
5.3.3 Solarzellen aus amorphem Silizium ... 208
5.3.4 Solarzellen aus anderen Materialien ... 209
5.3.5 Modultests und Qualitätskontrolle ... 211
5.4 Elektrische Beschreibung von Solarzellen ... 213
5.4.1 Einfaches Ersatzschaltbild ... 213
5.4.2 Erweitertes Ersatzschaltbild (Eindiodenmodell) ... 214
5.4.3 Zweidiodenmodell ... 217
5.4.4 Zweidiodenmodell mit Erweiterungsterm ... 217
5.4.5 Weitere elektrische Zellparameter ... 219
5.4.6 Temperaturabhängigkeit ... 221
5.4.7 Parameterbestimmung ... 224
5.5 Elektrische Beschreibung von Solarmodulen ... 225
5.5.1 Reihenschaltung von Solarzellen ... 225
5.5.2 Reihenschaltung unter inhomogenen Bedingungen ... 227
5.5.3 Parallelschaltung von Solarzellen ... 232
5.5.4 Technische Daten von Solarmodulen ... 232
5.6 Solargenerator und Last ... 233
5.6.1 Widerstandslast ... 233
5.6.2 Gleichspannungswandler ... 235
5.6.3 Tiefsetzsteller ... 236
5.6.4 Hochsetzsteller ... 238
5.6.5 Weitere Gleichspannungswandler ... 239
5.6.6 MPP-Tracker ... 240
5.7 Akkumulatoren ... 242
5.7.1 Akkumulatorarten ... 242
5.7.2 Bleiakkumulator ... 243
5.7.3 Lithium-Ionen-Akkumulator ... 247
5.7.4 Andere Akkumulatortypen ... 251
5.7.5 Akkumulatorsysteme ... 252
5.7.6 Andere Speichermöglichkeiten ... 255
5.8 Wechselrichter ... 256
5.8.1 Wechselrichtertechnologie ... 256

5.8.1.1 Rechteckwechselrichter ... 257
5.8.1.2 Moderne Wechselrichtertopologien ... 260
5.8.2 Wechselrichter in der Photovoltaik ... 261
5.8.2.1 Funktionen und Aufgaben des Wechselrichters ... 261
5.8.2.2 Wechselrichterwirkungsgrade ... 263
5.8.2.3 Anlagenkonzepte ... 266
5.9 Photovoltaische Eigenverbrauchssysteme ... 267
5.9.1 Photovoltaische Eigenverbrauchssysteme mit Speicher ... 267
5.9.2 Photovoltaische Eigenverbrauchssysteme mit Heizung ... 271
5.10 Planung und Auslegung ... 273
5.10.1 Inselnetzsysteme ... 273
5.10.2 Rein netzgekoppelte Systeme ... 276
5.10.3 Eigenverbrauchssysteme ... 279
5.10.3.1 Eigenverbrauchssysteme ohne Speicher ... 279
5.10.3.2 Eigenverbrauchssysteme mit Batteriespeicher ... 283
5.10.3.3 Thermische Nutzung und Netzrückspeisung ... 290

6 Windkraft ... 292
6.1 Einleitung ... 292
6.2 Dargebot von Windenergie ... 293
6.2.1 Entstehung des Windes ... 293
6.2.2 Angabe der Windstärke ... 294
6.2.3 Windgeschwindigkeitsverteilungen ... 295
6.2.4 Einfluss der Umgebung und Höhe ... 297
6.3 Nutzung der Windenergie ... 300
6.3.1 Im Wind enthaltene Leistung ... 300
6.3.2 Widerstandsläufer ... 302
6.3.3 Auftriebsläufer ... 304
6.4 Bauformen von Windkraftanlagen ... 308
6.4.1 Windkraftanlagen mit vertikaler Drehachse ... 308
6.4.2 Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse ... 309
6.4.2.1 Anlagenaufbau ... 309
6.4.2.2 Rotorblätter ... 310
6.4.2.3 Windgeschwindigkeitsbereiche ... 312
6.4.2.4 Leistungsbegrenzung und Sturmabschaltung ... 313
6.4.2.5 Windnachführung ... 315
6.4.2.6 Turm, Fundament, Getriebe und Generator ... 316
6.4.2.7 Offshore-Windkraftanlagen ... 317
6.5 Elektrische Maschinen ... 318
6.5.1 Elektrische Wechselstromrechnung ... 319
6.5.2 Drehfeld ... 322
6.5.3 Synchronmaschine ... 326
6.5.3.1 Aufbau ... 326
6.5.3.2 Elektrische Beschreibung ... 327
6.5.3.3 Synchronisation ... 330
6.5.4 Asynchronmaschine ... 330
6.5.4.1 Aufbau und Betriebszustände ... 330
6.5.4.2 Ersatzschaltbilder und Stromortskurven ... 332
6.5.4.3 Leistungsbilanz ... 334
6.5.4.4 Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien und typische Generatordaten ... 335

6.6 Elektrische Anlagenkonzepte ... 337
6.6.1 Asynchrongenerator mit direkter Netzkopplung ... 337
6.6.2 Synchrongenerator mit direkter Netzkopplung ... 340
6.6.3 Synchrongenerator mit Umrichter und Zwischenkreis ... 341
6.6.4 Drehzahlregelbare Asynchrongeneratoren ... 343
6.6.5 Inselnetzanlagen ... 343
6.7 Netzbetrieb ... 344
6.7.1 Anlagenertrag ... 344
6.7.2 Netzanschluss ... 345

7 Wasserkraft ... 347
7.1 Einleitung ... 347
7.2 Dargebot der Wasserkraft ... 348
7.3 Wasserkraftwerke ... 352
7.3.1 Laufwasserkraftwerke ... 352
7.3.2 Speicherwasserkraftwerke ... 354
7.3.3 Pumpspeicherkraftwerke ... 355
7.3.4 Betonkugelspeicher und Lageenergiespeicher ... 358
7.4 Wasserturbinen ... 360
7.4.1 Turbinenarten ... 360
7.4.1.1 Kaplan-Turbine und Rohr-Turbine ... 361
7.4.1.2 Ossberger-Turbine ... 363
7.4.1.3 Francis-Turbine ... 363
7.4.1.4 Pelton-Turbine ... 364
7.4.2 Turbinenwirkungsgrad ... 364
7.5 Weitere technische Anlagen zur Wasserkraftnutzung ... 366
7.5.1 Gezeitenkraftwerke ... 366
7.5.2 Meeresströmungskraftwerke ... 367
7.5.3 Wellenkraftwerke ... 368

8 Geothermie ... 370
8.1 Geothermievorkommen ... 370
8.2 Geothermische Heizwerke ... 374
8.3 Geothermische Stromerzeugung ... 375
8.3.1 Kraftwerksprozesse ... 375
8.3.2 Geothermische Kraftwerke ... 377
8.4 Wärmepumpen ... 379
8.4.1 Kompressions-Wärmepumpen ... 379
8.4.2 Absorptions-Wärmepumpen ... 381
8.4.3 Adsorptions-Wärmepumpen ... 382
8.4.4 Einsatzgebiete, Planung und Ertragsberechnung ... 383

9 Nutzung der Biomasse ... 388
9.1 Vorkommen an Biomasse ... 388
9.1.1 Feste Bioenergieträger ... 390
9.1.2 Flüssige Bioenergieträger ... 394
9.1.2.1 Pflanzenöl ... 394
9.1.2.2 Biodiesel ... 395
9.1.2.3 Bioalkohole ... 395
9.1.2.4 Biomass-to-Liquid (BtL)-Brennstoffe ... 396
9.1.3 Gasförmige Bioenergieträger ... 397
9.1.4 Flächenerträge und Umweltbilanz ... 399

9.2 Biomasseanlagen ... 400
9.2.1 Biomasseheizungen ... 400
9.2.2 Biomassekraftwerke ... 403

10 Wasserstofferzeugung, Brennstoffzellen und Methanisierung ... 404
10.1 Wasserstofferzeugung und -speicherung ... 404
10.2 Brennstoffzellen ... 408
10.2.1 Einleitung ... 408
10.2.2 Brennstoffzellentypen ... 409
10.2.3 Wirkungsgrade und Betriebsverhalten ... 412
10.3 Methanisierung und Untertagespeicherung ... 414

11 Wirtschaftlichkeitsberechnungen ... 419
11.1 Einleitung ... 419
11.2 Energiegestehungskosten ... 420
11.2.1 Berechnungen ohne Kapitalverzinsung ... 420
11.2.1.1 Solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung ... 421
11.2.1.2 Solarthermische Kraftwerke ... 422
11.2.1.3 Photovoltaikanlagen ... 423
11.2.1.4 Windkraftanlagen ... 425
11.2.1.5 Wasserkraftanlagen ... 426
11.2.1.6 Geothermieanlagen ... 426
11.2.1.7 Holzpelletsheizungen ... 428
11.2.2 Berechnungen mit Kapitalverzinsung ... 429
11.2.2.1 Solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung ... 432
11.2.2.2 Solarthermische Kraftwerke ... 432
11.2.2.3 Photovoltaikanlagen ... 432
11.2.2.4 Windkraftanlagen ... 433
11.2.3 Vergütung für regenerative Energieanlagen ... 433
11.2.4 Zukünftige Entwicklung der Kosten für regenerative Energien ... 434
11.2.5 Kosten konventioneller Energiesysteme ... 436
11.3 Externe Kosten des Energieverbrauchs ... 438
11.3.1 Subventionen im Energiemarkt ... 439
11.3.2 Ausgaben für Forschung und Entwicklung ... 441
11.3.3 Kosten für Umwelt- und Gesundheitsschäden ... 442
11.3.4 Sonstige externe Kosten ... 443
11.3.5 Internalisierung der externen Kosten ... 443
11.4 Kritische Betrachtung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen ... 444
11.4.1 Unendliche Kapitalvermehrung ... 445
11.4.2 Die Verantwortung des Kapitals ... 446

12 Simulation und Downloads zum Buch ... 448
12.1 Allgemeines zur Simulation ... 448
12.2 Der Downloadbereich zum Buch ... 449
12.2.1 Start und Überblick ... 449
12.2.2 Abbildungen und Software-Links ... 450
12.2.3 Vermischtes ... 452

Literaturverzeichnis ... 453

Sachwortverzeichnis ... 462