

Volker Quaschnig

Energiesysteme

Technologie - Berechnung - Simulation

7., aktualisierte Auflage

mit 280 farbigen Bildern, 113 Tabellen und einer DVD

HANSER

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.....	24
1.5	Kernenergie contra Treibhauseffekt.....	29
1.5.1	Kernspaltung.....	29
1.5.2	Kernfusion.....	33
1.6	Nutzung erneuerbarer Energien.....	33
1.6.1	Geothermische Energie.....	35
1.6.2	Planetenergie.....	35
1.6.3	Sonnenenergie.....	36
1.6.3.1	Nutzung der direkten Sonnenenergie.....	36
1.6.3.2	Nutzung der indirekten Sonnenenergie.....	39
1.7	Künftiger Energiebedarf und Klimaschutz.....	43
1.7.1	Entwicklung des weltweiten Energiebedarfs.....	43
1.7.2	Internationaler Klimaschutz.....	45
1.7.3	Klimaschutz in Deutschland.....	47
2	Sonnenstrahlung.....	50
2.1	Einleitung.....	50
2.2	Der Fusionsreaktor Sonne.....	51
2.3	Sonnenstrahlung auf der Erde.....	55
2.4	Bestrahlungsstärke auf der Horizontalen.....	60
2.5	Sonnenposition und Einfallswinkel.....	63
2.6	Bestrahlungsstärke auf der geneigten Ebene.....	67
2.6.1	Direkte Strahlung auf der geneigten Ebene.....	67
2.6.2	Diffuse Strahlung auf der geneigten Ebene.....	68
2.6.3	Bodenreflexion.....	69
2.6.4	Strahlungsgewinn durch Neigung oder Nachführung.....	70
2.7	Berechnung von Abschattungsverlusten.....	73
2.7.1	Aufnahme der Umgebung.....	73
2.7.2	Bestimmung des direkten Abschattungsgrades.....	75
2.7.3	Bestimmung des diffusen Abschattungsgrades.....	76
2.7.4	Gesamtermittlung der Abschattungen.....	77
2.7.5	Optimaler Abstand bei aufgeständerten Solaranlagen.....	78

2.8	Solarstrahlungsmesstechnik und Sonnensimulatoren.....	81
2.8.1	Messung der globalen Bestrahlungsstärke.....	81
2.8.2	Messung der direkten und der diffusen Bestrahlungsstärke.....	83
2.8.3	Künstliche Sonnen.....	83
3	Nicht konzentrierende Solarthermie.....	85
3.1	Grundlagen.....	85
3.2	Solarthermische Systeme.....	88
3.2.1	Solare Schwimmbadbeheizung.....	88
3.2.2	Solare Trinkwassererwärmung.....	89
3.2.2.1	Schwerkraft- oder Thermosiphonanlagen.....	91
3.2.2.2	Anlagen mit Zwangsumlauf.....	92
3.2.3	Solare Heizungsunterstützung.....	94
3.2.4	Rein solare Heizung.....	95
3.2.5	Solare Nahwärmeversorgung.....	96
3.2.6	Solares Kühlen.....	97
3.3	Solarkollektoren.....	98
3.3.1	Speicherkollektoren.....	99
3.3.2	Flachkollektoren.....	101
3.3.3	Vakuumröhrenkollektoren.....	104
3.4	Kollektorabsorber.....	105
3.5	Kollektorleistung und Kollektorwirkungsgrad.....	108
3.6	Rohrleitungen.....	113
3.6.1	Leitungsaufheizverluste.....	115
3.6.2	Zirkulationsverluste.....	116
3.7	Speicher.....	117
3.7.1	Trinkwasserspeicher.....	118
3.7.2	Schwimmbecken.....	122
3.8	Anlagenauslegung.....	124
3.8.1	Nutzwärmebedarf.....	124
3.8.2	Solarer Deckungsgrad und Nutzungsgrad.....	126
3.8.3	Solare Trinkwasseranlagen.....	127
3.8.4	Anlagen zur solaren Heizungsunterstützung.....	129
3.8.5	Rein solare Heizung.....	130
3.9	Aufwindkraftwerke.....	131
4	Konzentrierende Solarthermie.....	133
4.1	Einleitung.....	133
4.2	Konzentration von Solarstrahlung.....	133
4.3	Konzentrierende Kollektoren.....	136
4.3.1	Linienkollektoren.....	137
4.3.1.1	Kollektorarten und Kollektorgeometrie.....	137
4.3.1.2	Kollektornutzleistung und Kollektorwirkungsgrad.....	139
4.3.1.3	Längenausdehnung.....	143
4.3.1.4	Parabolrinnenkollektorfelder.....	143
4.3.2	Punktkonzentratoren.....	146
4.4	Wärme­kraft­ma­schin­en.....	147
4.4.1	Carnot-Prozess.....	147
4.4.2	Clausius-Rankine-Prozess.....	147
4.4.3	Joule-Prozess.....	150
4.4.4	Stirling-Prozess.....	151

Inhaltsverzeichnis

4.5	Konzentrierende solarthermische Anlagen.....	151
4.5.1	Parabolrinnenkraftwerke.....	151
4.5.2	Solarturmkraftwerke.....	156
4.5.2.1	Offener volumetrischer Receiver.....	157
4.5.2.2	Druck-Receiver.....	158
4.5.3	Dish-Stirling-Anlagen.....	159
4.5.4	Sonnenöfen und Solarchemie.....	160
4.6	Stromimport.....	161
5	Photovoltaik.....	164
5.1	Einleitung.....	164
5.2	Funktionsweise von Solarzellen.....	166
5.2.1	Atommodell nach Bohr.....	166
5.2.2	Photoeffekt.....	167
5.2.3	Funktionsprinzip einer Solarzelle.....	169
5.3	Herstellung von Solarzellen und Solarmodulen.....	176
5.3.1	Solarzellen aus kristallinem Silizium.....	176
5.3.2	Solarmodule mit kristallinen Zellen.....	180
5.3.3	Solarzellen aus amorphem Silizium.....	181
5.3.4	Solarzellen aus anderen Materialien.....	182
5.4	Elektrische Beschreibung von Solarzellen.....	183
5.4.1	Einfaches Ersatzschaltbild.....	183
5.4.2	Erweitertes Ersatzschaltbild (Eindiodenmodell).....	184
5.4.3	Zweidiodenmodell.....	186
5.4.4	Zweidiodenmodell mit Erweiterungsterm.....	187
5.4.5	Weitere elektrische Zellparameter.....	188
5.4.6	Temperaturabhängigkeit.....	191
5.4.7	Parameterbestimmung.....	194
5.5	Elektrische Beschreibung von Solarmodulen.....	195
5.5.1	Reihenschaltung von Solarzellen.....	195
5.5.2	Reihenschaltung unter inhomogenen Bedingungen.....	196
5.5.3	Parallelschaltung von Solarzellen.....	200
5.5.4	Technische Daten von Solarmodulen.....	201
5.6	Solargenerator und Last.....	202
5.6.1	Widerstandslast.....	202
5.6.2	Gleichspannungswandler.....	203
5.6.3	Tiefsetzsteller.....	204
5.6.4	Hochsetzsteller.....	207
5.6.5	Weitere Gleichspannungswandler.....	208
5.6.6	MPP-Tracker.....	209
5.7	Akkumulatoren.....	211
5.7.1	Akkumulatorarten.....	211
5.7.2	Bleiakkumulator.....	212
5.7.3	Andere Akkumulatortypen.....	216
5.7.4	Akkumulatorsysteme.....	218
5.7.5	Andere Speichermöglichkeiten.....	221
5.8	Wechselrichter.....	222
5.8.1	Wechselrichtertechnologie.....	222
5.8.1.1	Rechteckwechselrichter.....	223
5.8.1.2	Andere Wechselrichter.....	227
5.8.2	Wechselrichter in der Photovoltaik.....	227

5.9	Neue Photovoltaiksysteme.....	231
5.10	Planung und Auslegung.....	233
5.10.1	Inselnetzsysteme.....	233
5.10.2	Netzgekoppelte Systeme.....	236
6	Windkraft.....	239
6.1	Einleitung.....	239
6.2	Dargebot von Windenergie.....	240
6.2.1	Entstehung des Windes.....	240
6.2.2	Angabe der Windstärke.....	241
6.2.3	Windgeschwindigkeitsverteilungen.....	242
6.2.4	Einfluss der Umgebung und Höhe.....	244
6.3	Nutzung der Windenergie.....	247
6.3.1	Im Wind enthaltene Leistung.....	247
6.3.2	Widerstandsläufer.....	249
6.3.3	Auftriebsläufer.....	251
6.4	Bauformen von Windkraftanlagen.....	255
6.4.1	Windkraftanlagen mit vertikaler Drehachse.....	255
6.4.2	Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse.....	256
6.4.2.1	Anlagenaufbau.....	256
6.4.2.2	Rotorblätter.....	257
6.4.2.3	Windgeschwindigkeitsbereiche.....	259
6.4.2.4	Leistungsbegrenzung und Sturmabschaltung.....	260
6.4.2.5	Windnachführung.....*	262
6.4.2.6	Turm, Fundament, Getriebe und Generator.....	263
6.4.2.7	Offshore-Windkraftanlagen.....	264
6.5	Elektrische Maschinen.....	265
6.5.1	Elektrische Wechselstromrechnung.....	266
6.5.2	Drehfeld.....	269
6.5.3	Synchronmaschine.....	273
6.5.3.1	Aufbau.....	273
6.5.3.2	Elektrische Beschreibung.....	274,
6.5.3.3	Synchronisation.....	277
6.5.4	Asynchronmaschine.....	277
6.5.4.1	Aufbau und Betriebszustände.....	277
6.5.4.2	Ersatzschaltbilder und Stromortskurven.....	279
6.5.4.3	Leistungsbilanz.....	281
6.5.4.4	Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien und typische Generatordaten.....	282
6.6	Elektrische Anlagenkonzepte.....	284
6.6.1	Asynchrongenerator mit direkter Netzkopplung.....	284
6.6.2	Synchrongenerator mit direkter Netzkopplung.....	287
6.6.3	Synchrongenerator mit Umrichter und Zwischenkreis.....	288
6.6.4	Drehzahlregelbare Asynchrongeneratoren.....	290
6.6.5	Inselnetzanlagen.....	290
6.7	Netzbetrieb.....	291
6.7.1	Anlagenertrag.....	291
6.7.2	Netzanschluss.....	292
7	Wasserkraft.....	294
7.1	Einleitung.....	294
7.2	Dargebot der Wasserkraft.....	295

7.3	Wasserkraftwerke.....	299
7.3.1	Laufwasserkraftwerke.....	299
7.3.2	Speicherwasserkraftwerke.....	301
7.3.3	Pumpspeicherkraftwerke.....	302
7.4	Wasserturbinen.....	305
7.4.1	Turbinenarten.....	305
7.4.1.1	Kaplan-Turbine und Rohr-Turbine.....	306
7.4.1.2	Ossberger-Turbine.....	307
7.4.1.3	Francis-Turbine.....	307
7.4.1.4	Pelton-Turbine.....	308
7.4.2	Turbinenwirkungsgrad.....	308
7.5	Weitere technische Anlagen zur Wasserkraftnutzung.....	310
7.5.1	Gezeitenkraftwerke.....	310
7.5.2	Meeresströmungskraftwerke.....	311
7.5.3	Wellenkraftwerke.....	312
8	Geothermie.....	314
8.1	Geothermievorkommen.....	314
8.2	Geothermische Heizwerke.....	318
8.3	Geothermische Stromerzeugung.....	319
8.3.1	Kraftwerksprozesse.....	319
8.3.2	Geothermische Kraftwerke.....	321
8.4	Wärmepumpen.....	323
8.4.1	Kompressions-Wärmepumpen.....	323
8.4.2	Absorptions-Wärmepumpen.....	325
8.4.3	Adsorptions-Wärmepumpen.....	326
8.4.4	Einsatzgebiete, Planung und Ertragsberechnung.....	327
9	Nutzung der Biomasse.....	331
9.1	Vorkommen an Biomasse.....	331
9.1.1	Feste Bioenergieträger.....	333
9.1.2	Flüssige Bioenergieträger.....	337
9.1.2.1	Pflanzenöl.....	337
9.1.2.2	Biodiesel.....	338
9.1.2.3	Bioalkohole.....	338
9.1.2.4	Biomass-to-Liquid (BtL)-Brennstoffe.....	339
9.1.3	Gasförmige Bioenergieträger.....	340
9.1.4	Flächenerträge und Umweltbilanz.....	342
9.2	Biomasseanlagen.....	343
9.2.1	Biomasseheizungen.....	343
9.2.2	Biomassekraftwerke.....	346
10	Wasserstoffherzeugung, Brennstoffzellen und Methanisierung.....	347
10.1	Wasserstoffherzeugung und -speicherung.....	347
10.2	Brennstoffzellen.....	350
10.2.1	Einleitung.....	350
10.2.2	Brennstoffzellentypen.....	351
10.2.3	Wirkungsgrade und Betriebsverhalten.....	354
10.3	Methanisierung.....	356

11	Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	358
11.1	Einleitung.....	358
11.2	Energiegestehungskosten.....	359
11.2.1	Berechnungen ohne Kapitalverzinsung.....	359
11.2.1.1	Solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung.....	360
11.2.1.2	Solarthermische Kraftwerke.....	361
11.2.1.3	Photovoltaikanlagen.....	362
11.2.1.4	Windkraftanlagen.....	362
11.2.1.5	Wasserkraftanlagen.....	363
11.2.1.6	Geothermieanlagen.....	364
11.2.1.7	Holzpelletsheizungen.....	365
11.2.2	Berechnungen mit Kapitalverzinsung.....	366
11.2.2.1	Solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung.....	369
11.2.2.2	Solarthermische Kraftwerke.....	369
11.2.2.3	Photovoltaikanlagen.....	369
11.2.2.4	Windkraftanlagen.....	370
11.2.3	Vergütung für regenerative Energieanlagen.....	370
11.2.4	Zukünftige Entwicklung der Kosten für regenerative Energien.....	370
11.2.5	Kosten konventioneller Energiesysteme.....	372
11.3	Externe Kosten des Energieverbrauchs.....	374
11.3.1	Subventionen im Energiemarkt.....	374
11.3.2	Ausgaben für Forschung und Entwicklung.....	376
11.3.3	Kosten für Umwelt- und Gesundheitsschäden.....	377
11.3.4	Sonstige externe Kosten.....	378
11.3.5	Internalisierung der externen Kosten.....	378
11.4	Kritische Betrachtung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	379
11.4.1	Unendliche Kapitalvermehrung.....	380
11.4.2	Die Verantwortung des Kapitals.....	381
12	Simulation und die DVD zum Buch.....	383
12.1	Allgemeines zur Simulation.....	383
12.2	Die DVD zum Buch.....	384
12.2.1	Start und Überblick.....	384
12.2.2	Abbildungen.....	385
12.2.3	Software.....	385
12.2.4	Vermischtes.....	386
	Literaturverzeichnis.....	388
	Sachwortverzeichnis.....	394