

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	32
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
2	Sonnenstrahlung	49
2.1	Einleitung	49
2.2	Der Fusionsreaktor Sonne.....	50
2.3	Sonnenstrahlung auf der Erde	54
2.4	Bestrahlungsstärke auf der Horizontalen	59
2.5	Sonnenposition und Einfallswinkel	62
2.6	Bestrahlungsstärke auf der geneigten Ebene	66
	2.6.1 Direkte Strahlung auf der geneigten Ebene	66
	2.6.2 Diffuse Strahlung auf der geneigten Ebene.....	67
	2.6.3 Bodenreflexion	68
	2.6.4 Strahlungsgewinn durch Neigung oder Nachführung	69
2.7	Berechnung von Abschattungsverlusten	72
	2.7.1 Aufnahme der Umgebung.....	72
	2.7.2 Bestimmung des direkten Abschattungsgrades	74
	2.7.3 Bestimmung des diffusen Abschattungsgrades	75
	2.7.4 Gesamtermittlung der Abschattungen.....	76
	2.7.5 Optimaler Abstand bei aufgeständerten Solaranlagen	77
2.8	Solarstrahlungsmesstechnik und Sonnensimulatoren	80
	2.8.1 Messung der globalen Bestrahlungsstärke	80

2.8.2	Messung der direkten und der diffusen Bestrahlungsstärke	82
2.8.3	Künstliche Sonnen.....	82
3	Nicht konzentrierende Solarthermie.....	84
3.1	Grundlagen	84
3.2	Solarthermische Systeme.....	87
3.2.1	Solare Schwimmbadbeheizung	87
3.2.2	Solare Trinkwassererwärmung.....	88
3.2.2.1	Schwerkraft- oder Thermosiphonanlagen	90
3.2.2.2	Anlagen mit Zwangsumlauf	91
3.2.3	Solare Heizungsunterstützung	93
3.2.4	Solare Nahwärmeversorgung.....	94
3.2.5	Solares Kühlen.....	94
3.3	Solarkollektoren.....	95
3.3.1	Speicherkollektoren	96
3.3.2	Flachkollektoren.....	98
3.3.3	Vakuumröhrenkollektoren.....	101
3.4	Kollektorabsorber	102
3.5	Kollektorleistung und Kollektorwirkungsgrad	105
3.6	Rohrleitungen	110
3.6.1	Leitungsaufheizverluste	112
3.6.2	Zirkulationsverluste.....	113
3.7	Speicher	114
3.7.1	Trinkwasserspeicher.....	115
3.7.2	Schwimmbecken	119
3.8	Anlagenauslegung.....	121
3.8.1	Nutzwärmebedarf	121
3.8.2	Solarer Deckungsgrad und Nutzungssgrad	123
3.8.3	Auslegung von solaren Trinkwasseranlagen	124
3.8.4	Auslegung von Anlagen zur solaren Heizungsunterstützung	126
3.9	Aufwindkraftwerke	127
4	Konzentrierende Solarthermie	130
4.1	Einleitung	130
4.2	Konzentration von Solarstrahlung	130
4.3	Konzentrierende Kollektoren.....	133
4.3.1	Linienkollektoren.....	134
4.3.1.1	Kollektorarten und Kollektorgeometrie	134
4.3.1.2	Kollektornutzleistung und Kollektorwirkungsgrad	136
4.3.1.3	Längenausdehnung	140
4.3.1.4	Parabolrinnenkollektorfelder	140
4.3.2	Punktkonzentratoren	143
4.4	Wärmekraftmaschinen	144
4.4.1	Carnot-Prozess	144
4.4.2	Claudius-Rankine-Prozess	144
4.4.3	Joule-Prozess	147
4.4.4	Stirling-Prozess	148
4.5	Konzentrierende solarthermische Anlagen.....	148
4.5.1	Parabolrinnenkraftwerke	148
4.5.2	Solarturmkraftwerke	153
4.5.2.1	Offener volumetrischer Receiver.....	154

4.5.2.2	Druck-Receiver.....	155
4.5.3	Dish-Stirling-Anlagen.....	156
4.5.4	Sonnenöfen und Solarchemie	157
4.6	Stromimport	158
5	Photovoltaik	161
5.1	Einleitung	161
5.2	Funktionsweise von Solarzellen	163
5.2.1	Atommodell nach Bohr	163
5.2.2	Photoeffekt	164
5.2.3	Funktionsprinzip einer Solarzelle	166
5.3	Herstellung von Solarzellen und Solarmodulen	173
5.3.1	Solarzellen aus kristallinem Silizium.....	173
5.3.2	Solarmodule mit kristallinen Zellen.....	177
5.3.3	Solarzellen aus amorphem Silizium	178
5.3.4	Solarzellen aus anderen Materialien.....	179
5.4	Elektrische Beschreibung von Solarzellen	180
5.4.1	Einfaches Ersatzschaltbild	180
5.4.2	Erweitertes Ersatzschaltbild (Eindiodenmodell).....	181
5.4.3	Zweidiodenmodell.....	183
5.4.4	Zweidiodenmodell mit Erweiterungsterm	184
5.4.5	Weitere elektrische Zellparameter	185
5.4.6	Temperaturabhängigkeit.....	188
5.4.7	Parameterbestimmung	191
5.5	Elektrische Beschreibung von Solarmodulen.....	192
5.5.1	Reihenschaltung von Solarzellen.....	192
5.5.2	Reihenschaltung unter inhomogenen Bedingungen	193
5.5.3	Parallelschaltung von Solarzellen	197
5.5.4	Technische Daten von Solarmodulen.....	198
5.6	Solargenerator und Last.....	199
5.6.1	Widerstandslast	199
5.6.2	Gleichspannungswandler	200
5.6.3	Tiefsetzsteller	201
5.6.4	Hochsetzsteller	204
5.6.5	Weitere Gleichspannungswandler	205
5.6.6	MPP-Tracker	206
5.7	Akkumulatoren	208
5.7.1	Akkumulatorarten	208
5.7.2	Bleiakkumulator	209
5.7.3	Andere Akkumulatortypen	213
5.7.4	Akkumulatorsysteme	215
5.7.5	Andere Speichermöglichkeiten	218
5.8	Wechselrichter.....	219
5.8.1	Wechselrichtertechnologie	219
5.8.1.1	Rechteckwechselrichter.....	220
5.8.1.2	Andere Wechselrichter	224
5.8.2	Wechselrichter in der Photovoltaik	224
5.9	Planung und Auslegung	229
5.9.1	Inselnetzsysteme	229
5.9.2	Netzgekoppelte Systeme	231

6	Windkraft	235
6.1	Einleitung	235
6.2	Dargebot von Windenergie.....	236
6.2.1	Entstehung des Windes.....	236
6.2.2	Angabe der Windstärke.....	237
6.2.3	Windgeschwindigkeitsverteilungen	238
6.2.4	Einfluss der Umgebung und Höhe	240
6.3	Nutzung der Windenergie.....	243
6.3.1	Im Wind enthaltene Leistung	243
6.3.2	Widerstandsläufer	245
6.3.3	Auftriebsläufer	247
6.4	Bauformen von Windkraftanlagen.....	251
6.4.1	Windkraftanlagen mit vertikaler Drehachse	251
6.4.2	Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse	252
6.4.2.1	Anlagenaufbau	252
6.4.2.2	Rotorblätter	253
6.4.2.3	Windgeschwindigkeitsbereiche	255
6.4.2.4	Leistungsbegrenzung und Sturmabschaltung	256
6.4.2.5	Windnachführung	258
6.4.2.6	Turm, Fundament, Getriebe und Generator.....	259
6.4.2.7	Offshore-Windkraftanlagen.....	260
6.5	Elektrische Maschinen	261
6.5.1	Elektrische Wechselstromrechnung	262
6.5.2	Drehfeld	265
6.5.3	Synchronmaschine	269
6.5.3.1	Aufbau	269
6.5.3.2	Elektrische Beschreibung	270
6.5.3.3	Synchronisation	273
6.5.4	Asynchronmaschine	273
6.5.4.1	Aufbau und Betriebszustände	273
6.5.4.2	Ersatzschaltbilder und Stromortskurven	275
6.5.4.3	Leistungsbilanz	277
6.5.4.4	Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien und typische Generatordaten	278
6.6	Elektrische Anlagenkonzepte	280
6.6.1	Asynchrongenerator mit direkter Netzkopplung	280
6.6.2	Synchrongenerator mit direkter Netzkopplung	283
6.6.3	Synchrongenerator mit Umrichter und Zwischenkreis	284
6.6.4	Drehzahlregelbare Asynchrongeneratoren	286
6.6.5	Inselnetzanlagen	286
6.7	Netzbetrieb	287
6.7.1	Anlagenertrag	287
6.7.2	Netzanschluss	288
7	Wasserwirtschaft	290
7.1	Einleitung	290
7.2	Dargebot der Wasserwirtschaft	291
7.3	Wasserwirtschaftswerke	295
7.3.1	Laufwasserwirtschaftswerke	295
7.3.2	Speicherwasserwirtschaftswerke	297
7.3.3	Pumpspeicherwirtschaftwerk	298
7.4	Wasserturbinen	301

7.4.1	Turbinenarten	301
7.4.1.1	Kaplan-Turbine und Rohr-Turbine	302
7.4.1.2	Ossberger-Turbine	303
7.4.1.3	Francis-Turbine	303
7.4.1.4	Pelton-Turbine	304
7.4.2	Turbinenwirkungsgrad	304
7.5	Weitere technische Anlagen zur Wasserkraftnutzung.....	306
7.5.1	Gezeitenkraftwerke.....	306
7.5.2	Meeresströmungskraftwerke.....	307
7.5.3	Wellenkraftwerke.....	308
8	Geothermie	310
8.1	Geothermievorkommen	310
8.2	Geothermische Heizwerke	314
8.3	Geothermische Stromerzeugung	315
8.3.1	Kraftwerksprozesse	315
8.3.2	Geothermische Kraftwerke	317
8.4	Wärmepumpen.....	319
8.4.1	Kompressions-Wärmepumpen	319
8.4.2	Absorptions-Wärmepumpen.....	321
8.4.3	Adsorptions-Wärmepumpen.....	322
8.4.4	Einsatzgebiete, Planung und Ertragsberechnung	323
9	Nutzung der Biomasse.....	327
9.1	Vorkommen an Biomasse	327
9.1.1	Feste Bioenergieträger	329
9.1.2	Flüssige Bioenergieträger	333
9.1.2.1	Pflanzenöl	333
9.1.2.2	Biodiesel	334
9.1.2.3	Bioalkohole	334
9.1.2.4	Biomass-to-Liquid (BtL)-Brennstoffe.....	335
9.1.3	Gasförmige Bioenergieträger	336
9.1.4	Flächenerträge und Umweltbilanz	338
9.2	Biomasseanlagen	339
9.2.1	Biomasseheizungen	339
9.2.2	Biomassekraftwerke	342
10	Brennstoffzellen und Wasserstofferzeugung.....	343
10.1	Wasserstofferzeugung und -speicherung	343
10.2	Brennstoffzellen.....	346
10.2.1	Einleitung	346
10.2.2	Brennstoffzellentypen	347
10.2.3	Wirkungsgrade und Betriebsverhalten	350
11	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	352
11.1	Einleitung	352
11.2	Energiegestehungskosten	353
11.2.1	Berechnungen ohne Kapitalverzinsung	353
11.2.1.1	Solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung	354
11.2.1.2	Solarthermische Kraftwerke	355
11.2.1.3	Photovoltaikanlagen	356

11.2.1.4 Windkraftanlagen	356
11.2.1.5 Wasserkraftanlagen.....	357
11.2.1.6 Geothermieranlagen.....	358
11.2.1.7 Holzpelletsheizungen.....	359
11.2.2 Berechnungen mit Kapitalverzinsung.....	360
11.2.2.1 Solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung	363
11.2.2.2 Solarthermische Kraftwerke	363
11.2.2.3 Photovoltaikanlagen	363
11.2.2.4 Windkraftanlagen	364
11.2.3 Vergütung für regenerative Energieanlagen	364
11.2.4 Zukünftige Entwicklung der Kosten für regenerative Energien.....	364
11.2.5 Kosten konventioneller Energiesysteme	366
11.3 Externe Kosten des Energieverbrauchs.....	368
11.3.1 Subventionen im Energiemarkt.....	368
11.3.2 Ausgaben für Forschung und Entwicklung	370
11.3.3 Kosten für Umwelt- und Gesundheitsschäden.....	371
11.3.4 Sonstige externe Kosten.....	372
11.3.5 Internalisierung der externen Kosten.....	372
11.4 Kritische Betrachtung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	373
11.4.1 Unendliche Kapitalvermehrung.....	374
11.4.2 Die Verantwortung des Kapitals.....	375
12 Simulation und die DVD zum Buch.....	377
12.1 Allgemeines zur Simulation.....	377
12.2 Die DVD zum Buch	378
12.2.1 Start und Überblick	378
12.2.2 Abbildungen	379
12.2.3 Software	379
12.2.4 Vermischtes.....	380
Literaturverzeichnis	382
Sachwortverzeichnis	388