

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	Planetenenergie	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	Vakuummöhrrenkollektoren	104
3.4	Kollektorabsorber	105
3.5	Kollektorleistung und Kollektorwirkungsgrad	108
3.6	Röhrleitungen	113
3.6.1	Leitungsaufheizverluste	115
3.6.2	Zirkulationsverluste.....	116
3.7	Speicher	117
3.7.1	Trinkwasserspeicher.....	118
3.7.2	Schwimmböcken	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	Parabolinnenkollektorfelder	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

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	Wasserstofferzeugung, Brennstoffzellen und Methanisierung	347
10.1	Wasserstofferzeugung 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	Geothermieranlagen	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