



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	30
1.5.1	Kernspaltung	30
1.5.2	Kernfusion	33
1.6	Nutzung erneuerbarer Energien	34
1.6.1	Geothermische Energie	35
1.6.2	Planetenenergie	36
1.6.3	Sonnenenergie	36
1.6.3.1	Nutzung der direkten Sonnenenergie.....	37
1.6.3.2	Nutzung der indirekten Sonnenenergie.....	39
1.7	Künftiger Energiebedarf, Energiewende und Klimaschutz.....	43
1.7.1	Entwicklung des weltweiten Energiebedarfs	43
1.7.2	Internationaler Klimaschutz	46
1.7.3	Energiewende und Klimaschutz in Deutschland.....	48
1.7.3.1	Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in Deutschland	48
1.7.3.2	Regenerative Energieversorgung in Deutschland	48
1.7.3.3	Umbau der Energieversorgung	53
2	Sonnenstrahlung.....	55
2.1	Einleitung	55
2.2	Der Fusionsreaktor Sonne.....	56
2.3	Sonnenstrahlung auf der Erde	60
2.4	Bestrahlungsstärke auf der Horizontalen	65
2.5	Sonnenposition und Einfallswinkel	68
2.6	Bestrahlungsstärke auf der geneigten Ebene	72
2.6.1	Direkte Strahlung auf der geneigten Ebene	72
2.6.2	Diffuse Strahlung auf der geneigten Ebene.....	73
2.6.3	Bodenreflexion	74
2.6.4	Strahlungsgewinn durch Neigung oder Nachführung	75
2.7	Berechnung von Abschattungsverlusten	78
2.7.1	Aufnahme der Umgebung.....	78
2.7.2	Bestimmung des direkten Abschattungsgrades	80
2.7.3	Bestimmung des diffusen Abschattungsgrades	81

2.7.4	Gesamtermittlung der Abschattungen.....	82
2.7.5	Optimaler Abstand bei aufgeständerten Solaranlagen	83
2.8	Solarstrahlungsmesstechnik und Sonnensimulatoren	86
2.8.1	Messung der globalen Bestrahlungsstärke	86
2.8.2	Messung der direkten und der diffusen Bestrahlungsstärke	88
2.8.3	Künstliche Sonnen.....	88
3	Nicht konzentrierende Solarthermie.....	90
3.1	Grundlagen	90
3.2	Solarthermische Systeme.....	93
3.2.1	Solare Schwimmbadbeheizung	93
3.2.2	Solare Trinkwassererwärmung.....	94
3.2.2.1	Schwerkraft- oder Thermosiphonanlagen	96
3.2.2.2	Anlagen mit Zwangsumlauf	97
3.2.3	Solare Heizungsunterstützung	99
3.2.4	Rein solare Heizung.....	100
3.2.5	Solare Nahwärmeversorgung.....	101
3.2.6	Solares Kühlen.....	102
3.3	Solarkollektoren.....	103
3.3.1	Speicherkollektoren	104
3.3.2	Flachkollektoren.....	106
3.3.3	Vakuumröhrenkollektoren	109
3.4	Kollektorabsorber	110
3.5	Kollektorleistung und Kollektorwirkungsgrad	113
3.6	Rohrleitungen	118
3.6.1	Leitungsaufheizverluste	121
3.6.2	Zirkulationsverluste.....	121
3.7	Speicher	123
3.7.1	Trinkwasserspeicher.....	124
3.7.2	Schwimmbecken	127
3.8	Anlagenauslegung.....	130
3.8.1	Nutzwärmebedarf	130
3.8.2	Solarer Deckungsgrad und Nutzungsgrad	131
3.8.3	Solare Trinkwasseranlagen.....	133
3.8.4	Anlagen zur solaren Heizungsunterstützung.....	134
3.8.5	Rein solare Heizung.....	136
3.9	Aufwindkraftwerke	136
4	Konzentrierende Solarthermie	139
4.1	Einleitung.....	139
4.2	Konzentration von Solarstrahlung	139
4.3	Konzentrierende Kollektoren.....	142
4.3.1	Linienkollektoren.....	143
4.3.1.1	Kollektorarten und Kollektorgeometrie.....	143
4.3.1.2	Kollektornutzleistung und Kollektorwirkungsgrad.....	145
4.3.1.3	Längenausdehnung.....	149
4.3.1.4	Parabolinnenkollektorfelder	149
4.3.2	Punktkonzentratoren	152
4.4	Wärmekraftmaschinen	153
4.4.1	Carnot-Prozess	153
4.4.2	Clausius-Rankine-Prozess.....	153

4.4.3	Joule-Prozess.....	156
4.4.4	Stirling-Prozess.....	157
4.5	Konzentrierende solarthermische Anlagen.....	157
4.5.1	Parabolrinnenkraftwerke	157
4.5.2	Solarturmkraftwerke.....	162
4.5.2.1	Offener volumetrischer Receiver.....	163
4.5.2.2	Druck-Receiver.....	164
4.5.3	Dish-Stirling-Anlagen.....	165
4.5.4	Sonnenöfen und Solarchemie	166
4.6	Stromimport	167
5	Photovoltaik	170
5.1	Einleitung	170
5.2	Funktionsweise von Solarzellen	172
5.2.1	Atommodell nach Bohr	172
5.2.2	Photoeffekt	173
5.2.3	Funktionsprinzip einer Solarzelle	175
5.3	Herstellung von Solarzellen und Solarmodulen	182
5.3.1	Solarzellen aus kristallinem Silizium.....	182
5.3.2	Solarmodule mit kristallinen Zellen.....	186
5.3.3	Solarzellen aus amorphem Silizium.....	187
5.3.4	Solarzellen aus anderen Materialien.....	188
5.3.5	Modultests und Qualitätskontrolle	189
5.4	Elektrische Beschreibung von Solarzellen.....	190
5.4.1	Einfaches Ersatzschaltbild	190
5.4.2	Erweitertes Ersatzschaltbild (Eindiodenmodell).....	191
5.4.3	Zweidiodenmodell.....	194
5.4.4	Zweidiodenmodell mit Erweiterungsterm	194
5.4.5	Weitere elektrische Zellparameter	196
5.4.6	Temperaturabhängigkeit.....	198
5.4.7	Parameterbestimmung	201
5.5	Elektrische Beschreibung von Solarmodulen.....	202
5.5.1	Reihenschaltung von Solarzellen.....	202
5.5.2	Reihenschaltung unter inhomogenen Bedingungen	204
5.5.3	Parallelschaltung von Solarzellen	208
5.5.4	Technische Daten von Solarmodulen	208
5.6	Solargenerator und Last.....	210
5.6.1	Widerstandslast	210
5.6.2	Gleichspannungswandler	211
5.6.3	Tiefsetzsteller	212
5.6.4	Hochsetzsteller.....	215
5.6.5	Weitere Gleichspannungswandler	215
5.6.6	MPP-Tracker	216
5.7	Akkumulatoren	218
5.7.1	Akkumulatorarten	218
5.7.2	Bleiakkumulator	219
5.7.3	Andere Akkumulatortypen.....	224
5.7.4	Akkumulatorsysteme	225
5.7.5	Andere Speichermöglichkeiten	229
5.8	Wechselrichter	229
5.8.1	Wechselrichtertechnologie	229

5.8.1.1	Rechteckwechselrichter.....	230
5.8.1.2	Moderne Wechselrichtertopologien	233
5.8.2	Wechselrichter in der Photovoltaik.....	234
5.8.2.1	Funktionen und Aufgaben des Wechselrichters	234
5.8.2.2	Wechselrichterwirkungsgrade	236
5.8.2.3	Anlagenkonzepte	239
5.9	Photovoltaische Eigenverbrauchssysteme.....	240
5.10	Planung und Auslegung.....	243
5.10.1	Inselnetzsysteme.....	243
5.10.2	Netzgekoppelte Systeme.....	246
5.10.3	Eigenverbrauchssysteme.....	249
6	Windkraft	255
6.1	Einleitung.....	255
6.2	Dargebot von Windenergie.....	256
6.2.1	Entstehung des Windes.....	256
6.2.2	Angabe der Windstärke.....	257
6.2.3	Windgeschwindigkeitsverteilungen	258
6.2.4	Einfluss der Umgebung und Höhe.....	260
6.3	Nutzung der Windenergie.....	263
6.3.1	Im Wind enthaltene Leistung	263
6.3.2	Widerstandsläufer.....	265
6.3.3	Auftriebsläufer	267
6.4	Bauformen von Windkraftanlagen.....	271
6.4.1	Windkraftanlagen mit vertikaler Drehachse	271
6.4.2	Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse.....	272
6.4.2.1	Anlagenaufbau.....	272
6.4.2.2	Rotorblätter	273
6.4.2.3	Windgeschwindigkeitsbereiche	275
6.4.2.4	Leistungsbegrenzung und Sturmabschaltung.....	276
6.4.2.5	Windnachführung.....	278
6.4.2.6	Turm, Fundament, Getriebe und Generator.....	279
6.4.2.7	Offshore-Windkraftanlagen.....	280
6.5	Elektrische Maschinen	281
6.5.1	Elektrische Wechselstromrechnung.....	282
6.5.2	Drehfeld	285
6.5.3	Synchronmaschine	289
6.5.3.1	Aufbau	289
6.5.3.2	Elektrische Beschreibung.....	290
6.5.3.3	Synchronisation	293
6.5.4	Asynchronmaschine	293
6.5.4.1	Aufbau und Betriebszustände.....	293
6.5.4.2	Ersatzschaltbilder und Stromortskurven	295
6.5.4.3	Leistungsbilanz.....	297
6.5.4.4	Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien und typische Generatordaten.....	298
6.6	Elektrische Anlagenkonzepte.....	300
6.6.1	Asynchrongenerator mit direkter Netzkopplung	300
6.6.2	Synchrongenerator mit direkter Netzkopplung	303
6.6.3	Synchrongenerator mit Umrichter und Zwischenkreis.....	304
6.6.4	Drehzahlregelbare Asynchrongeneratoren	306
6.6.5	Inselnetzanlagen	306

6.7	Netzbetrieb	307
6.7.1	Anlagenertrag.....	307
6.7.2	Netzanschluss.....	308
7	Wasserkraft	310
7.1	Einleitung	310
7.2	Dargebot der Wasserkraft	311
7.3	Wasserkraftwerke.....	315
7.3.1	Laufwasserkraftwerke.....	315
7.3.2	Speicherwasserkraftwerke	317
7.3.3	Pumpspeicherkraftwerke	318
7.4	Wasserturbinen	321
7.4.1	Turbinenarten	321
7.4.1.1	Kaplan-Turbine und Rohr-Turbine	322
7.4.1.2	Ossberger-Turbine	323
7.4.1.3	Francis-Turbine	323
7.4.1.4	Pelton-Turbine	324
7.4.2	Turbinenwirkungsgrad	324
7.5	Weitere technische Anlagen zur Wasserkraftnutzung.....	326
7.5.1	Gezeitenkraftwerke.....	326
7.5.2	Meeresströmungskraftwerke.....	327
7.5.3	Wellenkraftwerke.....	328
8	Geothermie	330
8.1	Geothermievorkommen	330
8.2	Geothermische Heizwerke.....	334
8.3	Geothermische Stromerzeugung	335
8.3.1	Kraftwerksprozesse	335
8.3.2	Geothermische Kraftwerke	337
8.4	Wärmepumpen.....	339
8.4.1	Kompressions-Wärmepumpen	339
8.4.2	Absorptions-Wärmepumpen.....	341
8.4.3	Adsorptions-Wärmepumpen.....	342
8.4.4	Einsatzgebiete, Planung und Ertragsberechnung.....	343
9	Nutzung der Biomasse.....	347
9.1	Vorkommen an Biomasse	347
9.1.1	Feste Bioenergieträger	349
9.1.2	Flüssige Bioenergieträger	353
9.1.2.1	Pflanzenöl	353
9.1.2.2	Biodiesel	354
9.1.2.3	Bioalkohole	354
9.1.2.4	Biomass-to-Liquid (BtL)-Brennstoffe.....	355
9.1.3	Gasförmige Bioenergieträger	356
9.1.4	Flächenerträge und Umweltbilanz	358
9.2	Biomasseanlagen	359
9.2.1	Biomasseheizungen.....	359
9.2.2	Biomassekraftwerke.....	362
10	Wasserstofferzeugung, Brennstoffzellen und Methanisierung	363
10.1	Wasserstofferzeugung und -speicherung	363

10.2	Brennstoffzellen.....	366
10.2.1	Einleitung	366
10.2.2	Brennstoffzellentypen.....	367
10.2.3	Wirkungsgrade und Betriebsverhalten	370
10.3	Methanisierung und Untertagespeicherung.....	372
11	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	375
11.1	Einleitung	375
11.2	Energiegestehungskosten	376
11.2.1	Berechnungen ohne Kapitalverzinsung.....	376
11.2.1.1	Solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung	377
11.2.1.2	Solarthermische Kraftwerke	378
11.2.1.3	Photovoltaikanlagen	379
11.2.1.4	Windkraftanlagen	379
11.2.1.5	Wasserkraftanlagen.....	380
11.2.1.6	Geothermieranlagen	381
11.2.1.7	Holzpelletsheizungen.....	382
11.2.2	Berechnungen mit Kapitalverzinsung.....	383
11.2.2.1	Solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung	386
11.2.2.2	Solarthermische Kraftwerke	386
11.2.2.3	Photovoltaikanlagen	386
11.2.2.4	Windkraftanlagen	387
11.2.3	Vergütung für regenerative Energieanlagen	387
11.2.4	Zukünftige Entwicklung der Kosten für regenerative Energien.....	387
11.2.5	Kosten konventioneller Energiesysteme	390
11.3	Externe Kosten des Energieverbrauchs.....	392
11.3.1	Subventionen im Energiemarkt.....	392
11.3.2	Ausgaben für Forschung und Entwicklung	394
11.3.3	Kosten für Umwelt- und Gesundheitsschäden.....	395
11.3.4	Sonstige externe Kosten.....	396
11.3.5	Internalisierung der externen Kosten.....	397
11.4	Kritische Betrachtung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	398
11.4.1	Unendliche Kapitalvermehrung.....	398
11.4.2	Die Verantwortung des Kapitals.....	399
12	Simulation und die DVD zum Buch.....	401
12.1	Allgemeines zur Simulation.....	401
12.2	Die DVD zum Buch	402
12.2.1	Start und Überblick	402
12.2.2	Abbildungen	403
12.2.3	Software	403
12.2.4	Vermischtes.....	404

Literaturverzeichnis	406
-----------------------------------	------------

Sachwortverzeichnis	413
----------------------------------	------------