
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Photovoltaik	7
2.1	Grundlagen	10
2.2	Funktionsprinzip	15
2.3	Beispielanlagen	26
2.4	Übungen	31
3	Solarthermie	33
3.1	Grundlagen	33
3.2	Funktionsprinzip	36
3.3	Beispielanlage	45
3.4	Übungen	50
4	Windenergie	53
4.1	Auswertung von Standortmessungen	56
4.2	Grundlagen	57
4.3	Funktionsprinzip	63
4.3.1	Leistungsregelung	73
4.3.2	Gitterteilung/Flügelzahl	74
4.3.3	Turbulenzen und dynamische Belastungen	76
4.3.4	Standicherheit und Turbulenzgutachten	82
4.3.5	Normen und Richtlinien	82
4.4	Beispielanlagen	83
4.4.1	Vertikalachsenrotor (DARRIEUS-Rotor)	83
4.4.2	Widerstandsläufer (SAVONIUS-Rotor)	84
4.4.3	Kleinstwindkraftanlage	86
4.4.4	Großanlage	87
4.5	Generatorbauweise und -betriebskennlinie	91
4.6	Übungen	99

5	Wasserkraft	103
5.1	Grundlagen	103
5.1.1	Wasserrad	106
5.1.2	Wasserturbine	108
5.2	Funktionsprinzip	116
5.2.1	Laufwasserkraftwerk	117
5.2.2	Speicherkraftwerk	118
5.2.3	Gezeitenkraftwerk	119
5.2.4	Wellenkraftwerk	122
5.2.5	Meereswärmekraftwerk	127
5.2.6	Osmosekraftwerk	129
5.3	Beispielanlagen	130
5.3.1	Pelton-Turbine	130
5.3.2	Francis-Turbine	131
5.3.3	Beispiele für Laufkraftwerke	131
5.3.4	Gezeitenkraftwerk	132
5.3.5	Pumpspeicherkraftwerk	133
5.4	Übungen	134
6	Erdwärme und Wärmepumpe	137
6.1	Grundlagen	137
6.1.1	Carnot-Prozess	138
6.1.2	Kältemittel	144
6.2	Funktionsprinzip	153
6.2.1	Erdkollektor und Rückwirkungen auf das Erdreich	155
6.2.2	Wärmeträgermedium	159
6.2.3	Anfahren der Anlage/Instationäre Betriebszustände/ Leistungsregelung	160
6.2.4	Nachhaltigkeit und Effizienz	161
6.2.5	Absorptionskälteanlage	163
6.3	Beispielanlagen	166
6.3.1	Messdaten einer Beispielanlage im Taunus	166
6.3.2	Messdaten einer Beispielanlage in Nordfriesland	167
6.3.3	Daten aus einer Herstelleranimation	168
6.3.4	Daten eines Kompressorherstellers	171
6.4	Übungen	172

7	Biomasse	175
7.1	Grundlagen	175
7.1.1	Biochemische Grundlagen	175
7.1.2	Verbrennung von Biomasse	183
7.1.3	Thermochemische Umwandlung	189
7.2	Funktionsprinzipien	200
7.2.1	Holzvergasersysteme	200
7.2.2	Verkokung	206
7.2.3	Hausfeuerungsanlagen	206
7.3	Anwendungsbeispiele	212
7.4	Übungen	222
8	Biogas	227
8.1	Anlagenbeschreibung	227
8.2	Fermentation	228
8.3	Gaszusammensetzung und Aufbereitung	233
8.4	Kraft-Wärme-Kopplung	239
8.5	Betriebliche Aspekte	241
8.6	Gasprognose	247
8.7	Anlagenbeispiel	250
8.8	Betriebsdatenüberwachung	252
8.9	Übungen	255
9	Biokraftstoffe	257
9.1	Biokraftstoffe der 1. Generation	258
9.1.1	Biodiesel (Rapsölmethylester, RME)	258
9.1.2	Bioethanol	260
9.1.3	Pflanzenöl	263
9.1.4	Dimethylether (DME)	264
9.1.5	Biogas	264
9.2	Biokraftstoffe der 2. Generation	265
9.2.1	Biomass-to-Liquid (BtL)-Kraftstoffe	265
9.2.2	Bioethanol der 2. Generation	274
9.3	Übungen	276
10	Geothermische Stromerzeugung	279
10.1	Grundlagen	279
10.1.1	Hochenthalpie-Lagerstätten	281
10.1.2	Niederenthalpie-Lagerstätten	283
10.2	Funktionsbeschreibung	288
10.2.1	Entspannungsverdampfung (Flash-Evaporation)	288
10.2.2	ORC- und KALINA-Prozess	290

10.3	Beispielanlage	292
10.4	Übungen	293
11	Solare Kraftwerke	295
11.1	Parabolrinnenkraftwerk	297
11.2	Solarturmkraftwerk/Zentralreceiverkraftwerke	300
11.3	Dish-Stirling-Anlage	301
11.4	Nicht konzentrierende Kraftwerkskonzepte	302
11.4.1	Solarteichkraftwerke	302
11.4.2	Aufwindkraftwerk/Thermikkraftwerke	304
11.4.3	Fallwindkraftwerk	306
11.5	Beispielanlage	306
11.6	Übungen	311
12	Kraft-Wärme-Kopplung	315
12.1	Verbrennungsmotoren	316
12.1.1	Pflanzenölmotor	316
12.1.2	Gasmotor	316
12.1.3	Kenngrößen zur Beurteilung von Motoren	317
12.2	Dampfturbinenkraftwerk	321
12.3	Gasturbinenprozess	323
12.4	Kombinierter Gas-Dampfturbinenprozess	324
12.5	STIRLING-Motor	326
12.5.1	Kinematik	326
12.5.2	Thermodynamik	329
12.6	ORC-Prozess	333
12.7	KALINA-Prozess	335
12.8	Brennstoffzellen	337
12.9	Thermoelektrischer Generator	352
12.10	Übungen	355
13	Wasserstoff als Energieträger	359
13.1	Thermochemische Umwandlung	359
13.2	Elektrolyse	362
13.3	Thermochemische Dissoziation	367
13.4	Photochemische Herstellung	367
13.5	Biowasserstoff	368
13.6	Übungen	369

14	Speichertechnologien	371
14.1	Thermische Speicher	372
14.2	Mechanische Speicher	374
14.2.1	Druckluftspeicher	374
14.2.2	Schwungradspeicher	379
14.3	Elektrische Energiespeicher	381
14.4	Chemische Speicher	383
14.5	Übungen	385
15	Anhang	387
15.1	Beispieldaten Wärmeverbrauch eines Einfamilienhaus	387
15.2	Beispieldaten elektr. Verbrauch eines Einfamilienhaushalts	388
15.3	Verbrauchsdaten exemplarischer Haushaltsgeräte	389
15.4	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung	390
15.4.1	Bilanz	390
15.4.2	Gewinn- und Verlustrechnung	394
15.4.3	Finanzplanung und Finanzkontrolle	396
15.4.4	Darlehens- und Tilgungsrechnung	398
15.5	Periodensystem der Elemente	400
15.6	Lösungen zu den Übungen	401
15.6.1	Lösungen zu Kap. 2	401
15.6.2	Lösungen zu Kap. 3	403
15.6.3	Lösungen zu Kap. 4	406
15.6.4	Lösungen zu Kap. 5	411
15.6.5	Lösungen zu Kap. 6	419
15.6.6	Lösungen zu Kap. 7	423
15.6.7	Lösungen zu Kap. 8	434
15.6.8	Lösungen zu Kap. 10	438
15.6.9	Lösungen zu Kap. 11	439
15.6.10	Lösungen zu Kap. 12	442
15.6.11	Lösungen zu Kap. 13	444
15.6.12	Lösungen zu Kap. 14	445
	Sachverzeichnis	447