

Manfred Kleemann • Michael Meliß

Regenerative Energiequellen

Mit 228 Abbildungen und 59 Tabellen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1988

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen	XV
1 Überblick über die Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energiequellen	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Geothermische Energie.	4
1.3 Gezeitenenergie.	8
1.4 Wasserkraft	11
1.5 Windenergie.	12
1.6 Wellenenergie.	12
1.7 Energie der Meeresströmung	14
1.8 Natürlich gespeicherte Sonnenwärme (Umweltwärme).	15
1.9 Biologische und chemische Energiewandlung.	17
1.10 Photoelektrische Energiewandlung.	18
1.11 Solarthermische Energiewandlung.	19
1.12 Diskussion des möglichen Beitrags zur Versorgung der Bundesrepublik Deutschland	21
2 Darbietung solarer Strahlungsenergie	28
2.1 Extraterrestrische Strahlung	28
2.2 Terrestrisch nutzbare Strahlung	33
2.2.1 Strahlungsbilanzen	33
2.2.2 Das allgemeine Transmissionsgesetz	35
2.2.3 Streuung in der Atmosphäre.	37
2.2.4 Absorption der Sonnenstrahlung.	38
2.2.5 Direkte Sonnenstrahlung	39
2.2.6 Himmelsstrahlung	41
2.2.7 Globalstrahlung	42
2.3 Messung solarer Strahlungsenergie.	45
2.4 Zusammenhang zwischen der Globalstrahlung auf horizontale Flächen und derjenigen auf geneigte Flächen.	46
3 Niedertemperaturkollektoren (NT-Kollektoren).	49
3.1 Aufbau und Funktionsweise des Flachkollektors.	49
3.2 Die optischen Eigenschaften des Absorbers und der Abdeckung	50
3.3 Bestimmung der Nutzwärme und des Wirkungsgrads.	54
3.4 Transmissionsverluste der Kollektorabdeckung.	55
3.4.1 Bestimmung des Reflexionskoeffizienten mit Hilfe der Brechungsindizes	55
3.4.2 Bestimmung des Transmissionskoeffizienten aus den Reflexionskoeffizienten ohne Absorption im Glas.	57

3.4.3	Bestimmung der Transmissionskoeffizienten bei alleiniger Berücksichtigung der Absorption.	58
3.4.4	Bestimmung des Transmissionskoeffizienten bei Reflexion und Absorption (Gesamttransmissionskoeffizient).	59
3.5	Das HWB-Kollektormodell.	60
3.6	Vergleich der drei Kollektorgleichungen.	62
3.7	Test von Niedertemperaturkollektoren.	62
4	Niedertemperaturanwendungen	65
4.1	Solarbeheizte Freischwimmbäder.	65
4.1.1	Günstige Voraussetzungen für die Solarenergienutzung bei Freischwimmbädern.	65
4.1.2	Berechnung des Wärmebedarfs ohne Beckenabdeckung.	65
4.1.2.1	Die Wärmebilanz eines Freibads.	65
4.1.2.2	Berechnung der Strahlungs- und Konvektionsverluste.	65
4.1.2.3	Berechnung der Verdunstungsverluste.	66
4.1.2.4	Transmissionsverluste an das Erdreich.	68
4.1.2.5	Berechnung des Wärmezugewinns aus der Sonneneinstrahlung ins Becken.	68
4.1.2.6	Berechnung des gesamten saisonalen Heizwärmebedarfs.	68
4.1.3	Reduktion des Wärmebedarfs durch eine Beckenabdeckung.	68
4.1.4	Berechnung der solaren Deckungsrate.	70
4.1.5	Wirtschaftlichkeit.	73
4.2	Brauchwasserbereitung und Heizung.	75
4.2.1	Thermosiphonanlagen.	75
4.2.1.1	Thermosiphonischer Massenstrom.	76
4.2.1.2	Effektive Rohrleitungslänge.	78
4.2.1.3	Dichte-Höhe-Diagramm und Auftriebsflächen.	79
4.2.1.4	Gestaltung von Thermosiphonsystemen.	79
4.2.2	Warmwassersysteme mit Zwangsumlauf (Pumpensysteme).	81
4.2.2.1	Einfluß von Kollektor und Speicher.	82
4.2.2.2	Einfluß anderer Systemparameter.	83
4.2.3	Vergleich von Thermosiphon- und Pumpensystem zur Warmwasserbereitung.	84
4.2.3.1	Technischer Vergleich.	84
4.2.3.2	Ökonomischer Vergleich.	84
4.2.4	Heizung mit NT-Kollektoren.	86
5	Konzentrierende Kollektoren	88
5.1	Geometrie der Parabel.	88
5.2	Aufbau eines konzentrierenden Kollektors.	89
5.3	Maximales Konzentrationsverhältnis und maximale Temperatur	91
5.3.1	Bestimmung des maximalen Konzentrationsverhältnisses.	91
5.3.2	Bestimmung der maximalen Absorbtemperatur.	93
5.3.3	Konzentrationsverhältnis und Temperatur für verschiedene Kollektoren.	95
5.4	Verluste am konzentrierenden Kollektor.	95
5.4.1	Unvollständige Reflexion des Spiegels.	96
5.4.2	Oberflächenfehler.	96
5.4.3	Orientierungsfehler.	97
5.4.4	Reflexion und Emission des Absorbers.	97

5.4.5	Konvektion am Absorber.	98
5.5	Nutzleistung und Wirkungsgrad.	99
5.6	Vergleich von konzentrierendem Kollektor und Flachkollektor . . .	100
6	Solarthermische Stromerzeugung mit konzentrierenden Kollektoren . . .	102
6.1	Unterscheidungsmerkmale für Farm- und Towerkraftwerke.	102
6.2	Beispiele solarthermischer Kraftwerke.	103
6.3	Konzentrationsverhältnis, Temperatur und Wirkungsgrad.	105
6.4	Das Solar-Farmkraftwerk.	106
6.4.1	Aufbau einer Farmanlage mit Parabolrinnen.	106
6.4.2	Das Kollektorfeld.	107
6.4.3	Der Speicher.	108
6.4.4	Der Arbeitskreislauf.	110
6.4.5	Das Energieflußbild.	112
6.4.6	Regelung der Anlage.	112
6.5	Das Solar-Towerkraftwerk.	113
6.5.1	Konzepte für Absorber, Turm und Spiegelfeld.	113
6.5.2	Aspekte der Felddauslegung.	115
6.5.3	Nachführung der Heliostaten.	119
6.5.4	Der Receiver.	120
6.5.5	Kreislaufkonzepte.	126
6.6	Systemvergleich und Kosten.	127
6.6.1	Systemvarianten.	127
6.6.2	Wirtschaftlichkeit.	127
7	Photovoltaische Energiewandlung	132
7.1	Einleitung.	132
7.2	Grundlagen.	132
7.2.1	Bändertheorie der Festkörper.	133
7.2.2	Die Solarzelle ohne Bestrahlung.	136
7.2.3	Absorption von Photonen.	138
7.2.4	Ladungsträger-Rekombination.	139
7.2.5	Die Solarzelle unter Bestrahlung.	140
7.2.6	Schottky-Zellen, MIS-Zellen.	141
7.2.7	Hetero-Zellen.	142
7.3	Verhalten einzelner Solarzellen.	142
7.3.1	Strom-Spannungskennlinie.	142
7.3.2	Ersatzschaltbild realer Solarzellen.	146
7.4	Heute gebräuchliche Solarzellen.	146
7.4.1	Silicium-Solarzellen.	146
7.4.2	Dünnschicht-Solarzellen.	148
7.4.3	Sonstige Solarzellen.	149
7.5	Konzentrierende Solarzellen.	150
7.6	Solarzellensysteme und Kosten.	152
8	Darbietung der Biomasse	156
8.1	Einleitung.	156
8.2	Biomasse: Definition und Potential.	157
8.2.1	Entstehung der Biomasse.	157

8.2.2	Erscheinungsformen der Biomasse.	159
8.2.3	Das Potential der Biomasse.	160
9	Techniken zur energetischen Nutzung der Biomasse	167
9.1	Physikalische Biokonversionsverfahren.	167
9.1.1	Verdichtung zu Biobrennstoffen.	167
9.1.2	Extraktion.	168
9.2	Thermochemische Biokonversionsverfahren.	169
9.2.1	Verbrennung.	169
9.2.2	Vergasung.	174
9.2.3	Verflüssigung.	177
9.2.3.1	Verflüssigung durch chemische Reduktion.	178
9.2.3.2	Pyrolyse.	178
9.2.3.3	Verflüssigung durch Methanolsynthese.	183
9.3	Biologische Biokonversionsverfahren.	184
9.3.1	Einführung.	184
9.3.2	Biogaserzeugung.	185
9.3.2.1	Verfahrenstechnische Grundlagen.	185
9.3.2.2	Einflußparameter.	187
9.3.2.3	Ausführung von Biogasanlagen.	191
9.3.2.4	Wirtschaftlichkeit von Biogas.	194
9.3.3	Äthanolherzeugung.	196
9.3.3.1	Ausgangsstoffe und Verfahren.	196
9.3.3.2	Der Fermentationsprozeß.	198
9.3.3.3	Energiebilanz des Gesamtprozesses.	200
9.3.3.4	Äthanol als Motorkraftstoff.	201
9.3.3.5	Wirtschaftlichkeit von Äthanol.	203
10	Darbietung der Windenergie	204
10.1	Entstehung des Winds und des allgemeinen Zirkulationssystems	204
10.2	Windgeschwindigkeit.	208
10.2.1	Windstärke.	208
10.2.2	Windrichtung.	208
10.2.3	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit.	209
10.2.4	Jahresgang der mittleren Windgeschwindigkeit.	212
10.2.5	Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit.	212
10.2.6	Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit.	213
10.2.7	Extremwerte der Windgeschwindigkeit.	215
10.2.8	Windströmung über Hindernisse.	217
10.3	Die Leistungsdichte des Winds.	218
10.4	Vergleich von Sonnenenergie- und Windenergieangebot.	219
10.5	Windmessung.	220
10.5.1	Staudruckmeßverfahren.	220
10.5.2	Hitzdrahtanemometer.	221
10.5.3	Schalenkreuzanemometer.	222
10.5.4	Windrichtungsanzeige.	223
11	Windenergiekonverter	224
11.1	Historische Entwicklung.	224
11.2	Idealer Leistungsbeiwert.	226

11.3	Leistungsbeiwert eines Widerstandsläufers.	228
11.4	Strömung um ein Profil.	231
11.5	Auftriebsbeiwert und Widerstandsbeiwert.	232
11.6	Geschwindigkeiten und Kräfte am Rotor.	233
11.7	Schnellaufzahl.	236
11.8	Blattanzahl und Blattumriß.	238
11.9	Einflüsse von Drall, Reibung und endlicher Blattanzahl.	241
11.10	Momentenbeiwert.	243
11.11	Profilauswahl.	245
11.12	Festlegung der Rotordrehzahl.	246
11.13	Regelung.	247
11.13.1	Langsamläufer.	247
11.13.2	Schnelläufer.	247
11.14	Gesamter Wirkungsgrad.	249
11.15	Darrieus-Rotor.	249
11.16	Wirtschaftlichkeit.	251
Literaturverzeichnis.		253
Sachverzeichnis.		260