

# Inhaltsübersicht

<b>1</b>	<b>Einführung und Aufbau</b>	<b>1</b>
1.1	Energiesystem	1
1.2	Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energien	11
1.3	Aufbau und Vorgehen	13
1.4	Konventionelle Vergleichssysteme	23
<b>2</b>	<b>Grundlagen des regenerativen Energieangebots</b>	<b>37</b>
2.1	Energiebilanz der Erde	37
2.2	Solare Strahlung	47
2.3	Windenergie	62
2.4	Lauf- und Speicherwasserangebot	79
2.5	Photosynthetisch fixierte Energie	93
2.6	Erdwärme	103
<b>3</b>	<b>Passive Sonnenenergienutzung</b>	<b>115</b>
3.1	Physikalische Grundlagen	115
3.2	Systemtechnische Beschreibung	117
3.3	Potenziale und Nutzung	135
<b>4</b>	<b>Solarthermische Wärmenutzung</b>	<b>137</b>
4.1	Physikalische Grundlagen	137
4.2	Systemtechnische Beschreibung	144
4.3	Ökonomische und ökologische Analyse	174
4.4	Potenziale und Nutzung	190
<b>5</b>	<b>Photovoltaische Stromerzeugung</b>	<b>197</b>
5.1	Physikalische Grundlagen	197
5.2	Systemtechnische Beschreibung	206
5.3	Ökonomische und ökologische Analyse	249
5.4	Potenziale und Nutzung	261
<b>6</b>	<b>Stromerzeugung aus Windenergie</b>	<b>267</b>
6.1	Physikalische Grundlagen	267
6.2	Systemtechnische Beschreibung	281
6.3	Ökonomische und ökologische Analyse	312
6.4	Potenziale und Nutzung	326

<b>7 Stromerzeugung aus Wasserkraft</b> .....	<b>333</b>
7.1 Physikalische Grundlagen.....	333
7.2 Systemtechnische Beschreibung.....	337
7.3 Ökonomische und ökologische Analyse.....	360
7.4 Potenziale und Nutzung.....	372
<b>8 Nutzung von Umgebungsluft und oberflächennaher Erdwärme</b> .....	<b>381</b>
8.1 Physikalische Grundlagen.....	383
8.2 Systemtechnische Beschreibung.....	390
8.3 Ökonomische und ökologische Analyse.....	422
8.4 Potenziale und Nutzung.....	436
<b>9 Nutzung tiefer Erdwärme</b> .....	<b>443</b>
9.1 Hydrothermale Erdwärmebereitstellung.....	443
9.2 Wärmebereitstellung mit tiefen Sonden.....	476
9.3 Geothermische Stromerzeugung.....	487
<b>10 Zusammenfassender Vergleich</b> .....	<b>519</b>
10.1 Bereitstellung elektrischer Energie.....	519
10.2 Bereitstellung thermischer Energie.....	549
<b>Anhang A: Nutzung der Energien des Meeres</b> .....	<b>575</b>
<b>Anhang B: Solarthermische Stromerzeugung</b> .....	<b>591</b>
<b>Anhang C: Energetische Nutzung von Biomasse</b> .....	<b>629</b>
<b>Anhang D: Energieeinheiten</b> .....	<b>635</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>637</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	<b>665</b>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung und Aufbau</b> .....	<b>1</b>
1.1 Energiesystem .....	1
MARTIN KALTSCHMITT	
1.1.1 Energiebegriffe .....	2
1.1.2 Weltweiter Energieverbrauch .....	5
1.1.3 Energieverbrauch in Deutschland .....	7
Primär-, End- und Nutzenergieverbrauch (7); Verbrauch an elektrischer Energie (10)	
1.2 Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energien .....	11
MARTIN KALTSCHMITT	
1.2.1 Erneuerbare Energien .....	11
1.2.2 Untersuchte Möglichkeiten .....	12
1.3 Aufbau und Vorgehen .....	13
MARTIN KALTSCHMITT	
1.3.1 Physikalische Grundlagen .....	14
1.3.2 Systemtechnische Beschreibung .....	14
1.3.3 Ökonomische und ökologische Analyse .....	15
Definition von Referenzanlagen (15); Ökonomische Analyse (16); Ökologische Analyse (18)	
1.3.4 Potenziale und Nutzung .....	20
Potenziale (20); Nutzung (23)	
1.4 Konventionelle Vergleichssysteme .....	23
MORITZ NILL, WOLFGANG STREICHER, MARTIN KALTSCHMITT	
1.4.1 Randbedingungen .....	24
1.4.2 Techniken zur Strombereitstellung .....	25
1.4.2.1 Systemtechnische Beschreibung .....	26
Dampfkraftwerke (26); Gasturbinenkraftwerke (26); Gas- und Dampfturbinen-(GuD)-Kraftwerke (26)	
1.4.2.2 Ökonomische und ökologische Analyse .....	27
Referenzanlagen (27); Ökonomische Analyse (28); Ökologische Analyse (29)	
1.4.3 Techniken zur Wärmbereitstellung .....	31
1.4.3.1 Systemtechnische Beschreibung .....	31
Brennstoffversorgung und -lagerung (31); Heizkessel und Brenner (31); Brauchwarmwasser-Bereitung (32)	

1.4.3.2	Ökonomische und ökologische Analyse .....	32
	Referenzanlagen (32); Ökonomische Analyse (33);	
	Ökologische Analyse (34)	
<b>2</b>	<b>Grundlagen des regenerativen Energieangebots.....</b>	<b>37</b>
2.1	Energiebilanz der Erde.....	37
	MARTIN KALTSCHMITT, ANDREAS WIESE	
2.1.1	Erneuerbare Energiequellen.....	37
	Sonnenenergie (37); Geothermische Energie (40); Energie	
	aus Planetengravitation und -bewegung (41)	
2.1.2	Atmosphäre.....	42
2.1.3	Bilanz der Energieströme .....	43
2.2	Solare Strahlung .....	47
	MARTIN KALTSCHMITT, WOLFGANG STREICHER	
2.2.1	Grundlagen des solaren Strahlungsangebots.....	47
	Optische Fenster (47); Strahlungsschwächung (47); Strahlungs-	
	spektrum (48); Direkt-, Diffus- und Globalstrahlung (49);	
	Direktstrahlung auf geneigte, ausgerichtete Flächen (50);	
	Diffusstrahlung auf geneigte, ausgerichtete Flächen (52);	
	Reflexionsstrahlung auf geneigte, ausgerichtete Flächen (52);	
	Globalstrahlung auf geneigte, ausgerichtete Flächen (53)	
2.2.2	Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik .....	53
	Strahlungsmessung (53); Strahlungsverteilung (54); Zeitliche	
	Variationen (54)	
2.3	Windenergie.....	62
	MARTIN KALTSCHMITT, ANDREAS WIESE	
2.3.1	Grundlagen der Windentstehung.....	63
	Mechanismen (63); Globale Luftzirkulationssysteme (64); Lokale	
	Luftzirkulationssysteme (66); Einfluss der Geländestruktur (69);	
	Windleistung (70)	
2.3.2	Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik .....	71
	Windrichtungs- und -geschwindigkeitsmessung (71);	
	Windverteilung (71); Zeitliche Variationen (74);	
	Häufigkeitsverteilung (77)	
2.4	Lauf- und Speicherwasserangebot .....	79
	MARTIN KALTSCHMITT, KLAUS JORDE	
2.4.1	Grundlagen des Wasserangebots .....	79
	Wasservorräte der Erde (79); Wasserkreislauf (79);	
	Niederschlag (81); Vom Niederschlag zum Abfluss (81);	
	Leistung und Arbeitsvermögen des Wassers (83)	
2.4.2	Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik .....	85
	Messung wassertechnischer Kenngrößen (85); Niederschlags-	
	verteilung und -variationen (87); Flusssysteme, Abflusshöhe	
	und -verlauf (89); Speicher (92)	

2.5	Photosynthetisch fixierte Energie .....	93
	IRIS LEWANDOWSKI	
2.5.1	Produktion organischer Masse durch Photosynthese .....	93
	Aufbau und Zusammensetzung der Pflanze (93); Photosynthese (93); Einfluss verschiedener Wachstumsfaktoren (96)	
2.5.2	Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik .....	101
	Räumliche Angebotscharakteristik (101); Zeitliche Angebotscharakteristik (101)	
2.6	Erdwärme .....	103
	ERNST HUENGENS, MARTIN KALTSCHMITT	
2.6.1	Grundlagen .....	103
	Erdaufbau (103); Temperaturgradient (105); Wärmehalt und Verteilung der Quellen (105); Terrestrische Wärmestromdichte (106); Wärmebilanz an der Erdoberfläche (107); Geothermische Systeme und Ressourcen (107)	
2.6.2	Räumliche und zeitliche Angebotscharakteristik .....	110
	Flacher Untergrund (110); Tiefer Untergrund (112)	
<b>3</b>	<b>Passive Sonnenenergienutzung .....</b>	<b>115</b>
	WOLFGANG STREICHER	
3.1	Physikalische Grundlagen .....	115
3.2	Systemtechnische Beschreibung .....	117
3.2.1	Definitionen .....	117
	Begriffe (117); Kennzahlen (117)	
3.2.2	Systemkomponenten .....	119
	Transparente Abdeckungen (119); Verschattungseinrichtungen (122); Absorber und Speicher (126)	
3.2.3	Funktionale Systeme .....	128
	Direktgewinnsysteme (129); Indirekte Gewinnsysteme (129); Abgekoppelte Systeme (132); Wintergärten (133)	
3.3	Potenziale und Nutzung .....	135
3.3.1	Potenziale .....	136
3.3.2	Nutzung .....	136
<b>4</b>	<b>Solarthermische Wärmenutzung .....</b>	<b>137</b>
4.1	Physikalische Grundlagen .....	137
	WOLFGANG STREICHER	
4.1.1	Absorption, Emission und Transmission .....	137
4.1.2	Optische Eigenschaften von Absorbern .....	138
4.1.3	Optische Eigenschaften von Abdeckungen .....	139
4.1.4	Energiebilanz .....	140
	Allgemeine Energiebilanz (140); Energiebilanz des Kollektors (140)	
4.1.5	Wirkungsgrad und solarer Deckungsgrad .....	142

4.2	Systemtechnische Beschreibung .....	144
	WOLFGANG STREICHER	
4.2.1	Kollektoren .....	144
	Bauteile von Kollektoren (144); Montage (146); Kollektor- bauarten und Anwendungsbereiche (147); Daten und Kennlinien (150); Kollektorverschaltung (152)	
4.2.2	Weitere Systemelemente .....	153
	Speicher (153); Mess- und Regeleinrichtungen (158); Wärmeträger-Medium (159); Leitungen (160); Wärmeübertrager (161); Pumpen (162)	
4.2.3	Energiewandlungskette und Verluste .....	162
	Energiewandlungskette (162); Verluste (163)	
4.2.4	Anlagenkonzepte .....	164
	Anlagen ohne Umlauf (165); Offene Naturumlaufsysteme (165); Geschlossene Naturumlaufsysteme (166); Offene Zwangsumlauf- systeme (166); Geschlossene Zwangsumlaufsysteme (167)	
4.2.5	Anwendungen solarthermischer Anlagen .....	167
	Solare Freibadbeheizung (167); Kleinanlagen (168); Solare Nahwärmesysteme (171); Sonstige Anwendungen (173)	
4.3	Ökonomische und ökologische Analyse .....	174
	MORITZ NILL, WOLFGANG STREICHER, MARTIN KALTSCHMITT	
4.3.1	Referenzanlagen .....	174
4.3.2	Ökonomische Analyse .....	177
	Investitionen (177); Betriebskosten (180); Wärmegestehungs- kosten (181)	
4.3.3	Ökologische Analyse .....	183
4.3.3.1	Lebenszyklusanalyse .....	184
	Solarthermische Wärmebereitstellung (184); Ver- sorgungssysteme (186)	
4.3.3.2	Weitere Umwelteffekte .....	188
	Herstellung (188); Normalbetrieb (188); Störfall (189); Betriebsende (190)	
4.4	Potenziale und Nutzung .....	190
	MARTIN KALTSCHMITT, SVEN SCHNEIDER	
4.4.1	Potenziale .....	190
	Theoretisches Potenzial (190); Technische Angebotspotenziale (Wärmeerzeugungspotenziale) (190); Technische Endenergie- potenziale (Nachfragepotenziale) (191)	
4.4.2	Nutzung .....	195
<b>5</b>	<b>Photovoltaische Stromerzeugung .....</b>	<b>197</b>
5.1	Physikalische Grundlagen .....	197
	MARTIN KALTSCHMITT, FRITZ PFISTERER	
5.1.1	Bändermodell .....	197

5.1.2	Leiter, Nichtleiter und Halbleiter .....	198
	Leiter (198); Nichtleiter (199); Halbleiter (199)	
5.1.3	Leitungsmechanismen in Halbleitern.....	199
	Eigenleitung (199); Störstellenleitung (200)	
5.1.4	Photoeffekt.....	