

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
	M. Kaltschmitt	
1.1	Prinzipielle Vorgehensweise	2
1.2	Definition der wesentlichen Grundbegriffe	4
1.3	Darstellung des Untersuchungsgebietes	8
1.4	Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen	11
1.4.1	Struktur des Energieverbrauchs	12
1.4.2	Gegenwärtiges Energieträgerpreisniveaus	15
2	Solarthermische und photovoltaische Nutzung der Sonnenenergie	19
	A. Wiese, M. Kaltschmitt	
2.1	Solares Strahlungsangebot	19
2.1.1	Theoretische Grundlagen	20
2.1.2	Räumliche und zeitliche Variationsbreite	21
2.2	Technische Flächenpotentiale	24
2.2.1	Potentialbestimmung auf Gebäuden	25
	Verfügbare Dachflächen (25); Restriktionen einer solartechnischen Nutzung (29); Solartechnisch nutzbare Dachflächenpotentiale (30)	
2.2.2	Bestimmung der solartechnischen Freiflächenpotentiale	32
	Potentiell verfügbare Flächen (32); Restriktionen einer solartechnischen Nutzung (33); Solartechnisch nutzbare Freiflächenpotentiale (34)	
2.3	Solare Energieerzeugung	35
2.3.1	Thermische Niedertemperaturwärmegewinnung	36
	Theoretische Grundlagen (36); Restriktionen einer solarthermischen Nutzung (38); Technische Endenergiepotentiale (40); Derzeitige Nutzung (51)	
2.3.2	Photovoltaische Stromerzeugung	52
	Theoretische Grundlagen (52); Technische Erzeugungspotentiale (54); Technische Endenergiepotentiale (57); Derzeitige Nutzung (62)	
2.4	Kosten einer solaren Energieerzeugung	64
2.4.1	Solarthermische Wärmegewinnung	64
	Systemkosten (64); Spezifische Energiebereitstellungskosten (66)	

2.4.2 Photovoltaische Stromerzeugung 68
 Systemkosten (68); Spezifische Stromgestehungskosten (70)

Nutzung der Windenergie 73
 M. Kaltschmitt, A. Wiese

3.1 Windtechnisches Energieangebot 73
 3.1.1 Charakteristische Eigenschaften des Windangebots 74
 3.1.2 Windgeschwindigkeitsverteilung innerhalb Deutschlands 78
 3.2 Windtechnisch nutzbare Flächenpotentiale 80
 3.2.1 Vorgehensweise zur Flächenbestimmung 80
 3.2.2 Flächenpotentiale gleicher mittlerer Windgeschwindigkeit 81
 3.2.3 Potentialmindernde Kriterien und restriktive Parameter 82
 3.2.4 Technisch nutzbare Flächenpotentiale 86
 3.3 Stromerzeugung aus Windenergie 87
 3.3.1 Theoretische und technische Grundlagen 88
 3.3.2 Nutzungstechniken und korrespondierender Flächenbedarf 92
 3.3.3 Technische Stromerzeugungspotentiale 94
 3.3.4 Technische Endenergiepotentiale 97
 Ansatz I (98); Ansatz II (99); Ansatz III (99); Ansatz IV (99); Vergleich der Ansätze (100)
 3.3.5 Derzeitige Nutzung 101
 3.4 Kosten der Windstromerzeugung 102
 3.4.1 Systemkosten 102
 3.4.2 Spezifische Stromgestehungskosten 104

Stromerzeugung aus Wasserkraft 107
 H.-B. Horlacher, A. Thewalt

4.1 Allgemeine Grundlagen 108
 4.1.1 Energieangebot des Wassers 108
 4.1.2 Technische Grundlagen 111
 Laufwasserkraftwerke (111); Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke (114);
 Nieder-, Mittel- und Hochdruckanlagen (114); Turbinentypen (115)
 4.2 Potentiale einer Stromerzeugung 117
 4.2.1 Grundlegende Definitionen 117
 Leistung und Arbeitsvermögen (117); Potentialbegriffe (118)
 4.2.2 Technische Erzeugungspotentiale 119
 Technisches Erzeugungspotential in den alten Bundesländern (119); Techni-
 sches Erzeugungspotential in den neuen Bundesländern (121); Technische
 Endenergiepotentiale (122)

4.2.3	Derzeitige Nutzung	122
	Regionale Nutzungsunterschiede (122); Zukünftiger Ausbau der Wasserkraft (123)	
4.3	Kosten einer Stromerzeugung aus Wasserkraft	124
4.3.1	Systemkosten	124
	Investitionen (124); Betriebs- und Unterhaltskosten (127)	
4.3.2	Spezifische Stromgestehungskosten	127
5	Energieträgerproduktion auf pflanzlicher Basis	129
	M. Kaltschmitt	
5.1	Allgemeine Grundlagen	129
5.1.1	Begriffsdefinitionen und prinzipielle Möglichkeiten	130
	Biomasse als Festbrennstoff (130); Flüssige Energieträger aus pflanzlichen Rohstoffen (131)	
5.1.2	Flächenpotentiale für einen Energiepflanzenanbau	132
5.2	Gewinnbares Energieträgeraufkommen	133
5.2.1	Feste Energieträger	134
	Getreideanbau zur Ganzpflanzennutzung (134); Anbau von Schilf- und Graspflanzen (136); Anbau schnellwachsender Baumarten (141); Vergleich des Biomasseaufkommens (142)	
5.2.2	Flüssige Energieträger	143
	Ölfruchtanbau zur Pflanzenölgewinnung (143); Getreide- und Zuckerrübenanbau zur Alkoholerzeugung (145); Vergleich des Energieträger- und Biomasseaufkommens (148)	
5.3	Technische Energiepotentiale	149
5.3.1	Feste Energieträger	149
	Getreideanbau zur Ganzpflanzennutzung (149); Anbau von Schilf- und Graspflanzen (151); Anbau schnellwachsender Baumarten (153); Vergleich der Energiepotentiale (154); Derzeitige Nutzung (155)	
5.3.2	Flüssige Energieträger	156
	Ölfruchtanbau zur Pflanzenölgewinnung (156); Getreide- und Zuckerrübenanbau zur Alkoholverwertung (157); Vergleich der Energiepotentiale (160); Derzeitige Nutzung (161)	
5.4	Kosten einer energetischen Nutzung von Energiepflanzen	162
5.4.1	Energieträgerkosten fester Energieträger	162
	Getreideanbau zur Ganzpflanzennutzung (162); Anbau von Schilf- und Graspflanzen (164); Anbau schnellwachsender Baumarten (165); Vergleich der Energieträgerkosten (167);	
5.4.2	Nutzenergiebereitstellungskosten fester Energieträger	167
	Getreideanbau zur Ganzpflanzennutzung (167); Anbau von Schilf- und Graspflanzen (169); Anbau schnellwachsender Baumarten (170); Vergleich der Nutzenergiebereitstellungskosten (170); Ölfruchtanbau zur Pflanzenölgewinnung (171)	

Inhaltsverzeichnis

5.4.3	Kosten flüssiger Energieträger	171
	Getreide- und Zuckerrübenanbau zur Alkoholgewinnung (173); Vergleich der Energieträgerkosten (174)	
	Energetische Nutzung forstwirtschaftlicher Reststoffe	177
	A. Wiese, M. Kaltschmitt	
6.1	Allgemeine Grundlagen	177
6.1.1	Anfall von organischen Reststoffen	178
6.1.2	Energetische Eigenschaften	179
6.1.3	Räumliche und zeitliche Variationsbreite	181
6.2	Technisch nutzbares Reststoffaufkommen	183
6.2.1	Prinzipielle Vorgehensweise	183
	Periodisch anfallende Reststoffe (184); Durchforstungsrückstände (185); Erntetechnisch bedingte Reststoffe (185)	
6.2.2	Abschätzung des gesamten Potentials	186
6.2.3	Restriktionen einer technischen Nutzung	187
6.2.4	Energetisch nutzbares Restholzaufkommen	190
6.3	Bestimmung der Energiepotentiale	190
6.3.1	Methodische Vorgehensweise	190
6.3.2	Technische Energiepotentiale	191
6.3.3	Derzeitige Nutzung	193
6.4	Kosten einer energetischen Nutzung	193
6.4.1	Energieträgerkosten	194
	Ansatz I (194); Ansatz II (196); Ansatz III (197)	
6.4.2	Nutzenergiebereitstellungskosten	197
	Ernterückstände der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion	201
	M. Kaltschmitt	
7.1	Allgemeine Grundlagen	201
7.1.1	Eingrenzung des energetisch nutzbaren Reststoffaufkommens	202
7.1.2	Energetische Eigenschaften	203
7.1.3	Räumliche und zeitliche Variationsbreite	204
7.2	Technisch nutzbares Strohaufkommen	207
7.2.1	Prinzipielle Vorgehensweise	207
7.2.2	Darstellung des gesamten Strohaufkommens	209
7.2.3	Restriktionen einer energetischen Nutzung	210
7.2.4	Energetisch nutzbares Strohaufkommen	212
7.3	Bestimmung der Energiepotentiale	213
7.3.1	Methodische Vorgehensweise	214
7.3.2	Technische Energiepotentiale	214
7.3.3	Derzeitige Nutzung	216

7.4	Kosten einer energetischen Nutzung	217
7.4.1	Energieträgerkosten	217
	Ansatz I (217); Ansatz II (219); Ansatz III (221)	
7.4.2	Nutzenergiebereitstellungskosten	222
8	Energetische Nutzung von Reststoffen der Tierhaltung	225
	M. Kaltschmitt, A. Wiese	
8.1	Allgemeine Grundlagen	225
8.1.1	Zusammensetzung und Eigenschaften von Biogas	226
8.1.2	Biochemische Umsetzung der Biomasse	227
8.1.3	Einflußfaktoren auf das Gasaufkommen	229
8.1.4	Ausgangsstoffe für die Biogaserzeugung	230
8.1.5	Nutztierbestand in Deutschland	231
8.2	Substrataufkommen und korrespondierender Energieinhalt,	234
8.2.1	Vorgehensweise zur Bestimmung des Substrataufkommens	234
8.2.2	Aufkommen an organischer Masse	235
8.2.3	Vorgehensweise zur Bestimmung des theoretischen Gaspotentials	236
8.2.4	Theoretisches Biogasaufkommen	237
8.3	Technische Energiepotentiale	238
8.3.1	Verfahrenstechnische Umsetzung des Substrats	239
8.3.2	Restriktionen einer technischen Nutzung	241
8.3.3	Technische Energiepotentiale	244
8.3.4	Derzeitige Nutzung	248
8.4	Kosten einer Biogaserzeugung	249
8.4.1	Biogastgestehungskosten	250
	Kleinstanlagen (250); Kleinanlagen (251); Mittlere Anlagen (252); Großanlagen (253); Vergleich der Biogastgestehungskosten (255)	
8.4.2	Nutzenergiebereitstellungskosten	256
	Wärmebereitstellungskosten (257); Stromgestehungskosten (258); Kraft-Wärme-Kopplung (259)	
9	Organische Reststoffe aus Haushalten, Industrie, Gewerbe und kommunalen Einrichtungen	263
	A. Wiese, A. Sihler	
9.1	Allgemeine Grundlagen	263
9.1.1	Systematik und Abgrenzung	263
9.1.2	Energetische Eigenschaften	265
9.1.3	Räumliche und zeitliche Variationsbreite	266

Inhaltsverzeichnis

9.2	Technisch nutzbares Aufkommen	269
9.2.1	Vorgehensweise zur Potentialbestimmung Feststoffaufkommen (270); Abwasseraufkommen (272)	269
9.2.2	Restriktionen einer energetischen Nutzung	273
9.2.3	Energetisch nutzbares Reststoffaufkommen	274
9.3	Bestimmung der Energiepotentiale	276
9.3.1	Technische Nutzungsmöglichkeiten Deponiegas (277); Anaerober Abbau organischer Stoffe (279); Klärgas (280)	276
9.3.2	Methodische Vorgehensweise Gas- und Brennstoffenergiepotentiale (281); Deponiegasenergiepotentiale (282)	281
9.3.3	Technische Energiepotentiale	284
9.3.4	Derzeitige Nutzung	286
9.4	Kosten einer energetischen Nutzung	287
9.4.1	Energieträgerkosten Deponiegas (287); Klärgas (288); Sonstiges Biogas (288); Festbrennstoffe (288); Vergleich (288)	287
9.4.2	Strom- und Wärmegestehungskosten	289
Nutzung der Erdwärme		293
R. Schulz, M. Kaltschmitt		
10.1	Allgemeine Grundlagen	294
10.1.1	Die Wärmequellen	294
10.1.2	Klassifikation der geothermischen Energiesysteme Untiefe geothermische Nutzung (295); Hydrothermale Systeme mit niedriger Enthalpie (295); Hydrothermale Systeme mit hoher Enthalpie (296); Hot-Dry-Rock-Systeme (296); Gegenüberstellung (296)	295
10.1.3	Klassifikation der Nutzungsarten	297
10.2	Geothermische Energiepotentiale	298
10.2.1	Gesamte Vorratsbasis	299
10.2.2	Nutzungstechniken Energie des flachen Untergrunds (300); Energie der warmwasserführenden Aquifere (301); Energie des heißen Gesteins (303)	300
10.2.3	Ressourcen und Reserven Energie der warmwasserführenden Aquifere (305); Energie des flachen Untergrunds (310); Energie des heißen Gesteins (311)	304
10.2.4	Derzeitige Nutzung	312
10.3	Kosten einer geothermischen Energienutzung	314
10.3.1	Stromgestehungskosten	314
10.3.2	Wärmegestehungskosten	315
10.3.3	Beispiele	317

11 Zusammenfassender Vergleich	319
M. Kaltschmitt, A. Wiese, J. Frisch	
11.1 Potentiale und Energiebedarf	319
11.1.1 Energieangebot der Atmosphäre	319
Photovoltaische Stromerzeugung (320); Windtechnische Stromerzeugung (320); Stromerzeugung aus Wasserkraft (321); Vergleich der Stromerzeugungspotentiale (321); Stromerzeugungspotentiale und Stromaufkommen (323); Endenergiepotentiale und Endenergieverbrauch (325)	
11.1.2 Pflanzliche Energieträger	328
Erzeugung fester Energieträger (328); Erzeugung flüssiger Energieträger (329); Vergleich der Energiepotentiale (330); Energiepotentiale und Endenergieverbrauch (330)	
11.1.3 Regeneratives Reststoffangebot	330
Forstwirtschaftliche Reststoffe (331); Ernterückstände der Pflanzenproduktion (331); Reststoffe der Tierhaltung (331); Sonstige organische Reststoffe (332); Vergleich der Energiepotentiale (332); Energiepotentiale und Endenergieverbrauch (333)	
11.1.4 Sonstige Optionen	334
Solare Niedertemperaturwärmegewinnung (334); Nutzung der Erdwärme (335); Energiepotentiale und Endenergieverbrauch (335)	
11.1.5 Gesamtpotentialvergleich	336
Variante I (337); Variante II (337); Variante III (338); Vergleich der Varianten (339)	
11.2 Regenerative Energiekosten und Energiepreisniveau	339
11.2.1 Energieangebot der Atmosphäre	340
11.2.2 Pflanzliche Energieträger	341
11.2.3 Regeneratives Reststoffangebot	342
11.2.4 Sonstige Optionen	342
11.3 Schlußfolgerungen	343
 Literatur	 349
 Energieeinheiten	 361
 Stichwortverzeichnis	 363