

**Karl-Heinz Müller**

**János Giber**

## **ERNEUERBARE (ALTERNATIVE) ENERGIEN**

Theoretische Potentiale, reale Zukunft der Energieversorgung

Unter der Mitwirkung von:

**Ferenc Réti, Gábor Dobos und Nikolas Adrian Müller**

Shaker Media  
Aachen 2007

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. EINLEITUNG (PROGNOSEN, SZENARIEN) .....</b>	<b>1</b>
1.1 Solarzellen .....	10
1.2 Windenergie.....	12
1.3 Biomasse-Energie.....	13
1.4 Geothermische Energie .....	16
1.5 Wärme <i>produktion</i> mittels erneuerbarer Energien.....	17
1.6 Problemstellung.....	18
1.7 Angaben zu Preisen und Kosten.....	18
<b>2. SOLARENERGIE, ELEKTRISCHE ENERGIEPRODUKTION MIT SOLARZELLEN (PHOTOVOLTAIK, PV) .....</b>	<b>19</b>
2.1 Globale Leistungsdichte (Intensität, I), Solarkonstante, Leistungsfluss bzw. Energiefluss der Sonnenstrahlung am obersten Rand der Stratosphäre .....	20
2.2 Gleichgewicht der globalen Strahlungsbilanz in dem Erde- Atmosphäre (E-A)-System .....	21
2.3 Lokale Leistungsdichte bzw. Energiedichte an der Erdoberfläche.....	23
2.4 Technische Grundlagen .....	29
2.5 Derzeitige und prognostizierte PV-Kapazitäten, - Kosten, - Programme.....	34
<b>3. WINDENERGIE, WINDKRAFTWERKE.....</b>	<b>37</b>
3.1 Abschätzung des globalen Windenergiopotentials.....	37
3.2 Mechanischer und elektrischer Wirkungsgrad einer Windkraftanlage (WKA) .....	39
3.3 Technische Probleme, Umweltfreundlichkeit bzw. Landschaftsverträglichkeit .....	49
3.4 Windkarten, örtliche Verteilung, installierte Kapazitäten.....	51
<b>4. BIOMASSE, BIOMASSE-KRAFTWERKE .....</b>	<b>61</b>
4.1 Photosynthese, deren CO <sub>2</sub> -Verbrauch und die jährliche Biomasse-Produktion .....	62
4.2 Biomassegut der Erde, insbesondere das energetisch verwendbare Holzgut der Waldgebiete .....	65
4.3 Analyse von Biomassekraftwerken .....	67
4.4 Andere energetisch nutzbare Biomasse-Ressourcen.....	69
4.5 Warum ist die Biomasse (wieder) aktuell und wirtschaftlich geworden?.....	70

<b>5. BIOGAS, BIORAUMKRAFTSTOFFE .....</b>	<b>73</b>
5.1 Biogasproduktion und deren energetische Anwendung .....	73
5.1.1 Aufarbeitung von Klärschlamm .....	74
5.1.2 Hausmülldeponie als Biogas- Dauerreaktor.....	75
5.1.3 Energetische Nutzung von Biogas .....	76
5.2 Biokraftstoffe.....	76
5.2.1 Biodiesel .....	78
5.2.2 Bioalkohol (100 %-iges Ethanol, Et-OH, CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -OH) .....	79
5.2.3 Zukunft der Biotreibstoffe (bzw. Zusatzstoffe).....	83
<b>6. GEOTHERMISCHE ENERGIE .....</b>	<b>87</b>
6.1 Aufbau des Erdinneren, Quelle und Menge der geothermischen Energie .....	87
6.2 Grundsätzliche Verfahren zur Erdwärmegewinnung .....	96
6.2.1 Hydrothermale (konvektive) Quellen.....	96
6.2.2 Hot-dry-rock- (HDR) Verfahren .....	99
6.2.3 Wärmesonden kombiniert mit Wärmepumpen .....	101
6.3 Erzeugung elektrischer Energie auf geothermaler Basis.....	103
6.4 Detaillierte Angaben zu geothermischen Karten und Anlagen — weltweit.....	105
6.4.1 Nutzung geothermischer Potentiale in Deutschland .....	105
6.4.2 Deutschlands geothermische Elektrizitätsproduktion... .....	109
6.4.3 Geothermische Potentiale in anderen Regionen der Welt .....	111
<b>7. WÄRMEPRODUKTION MIT ERNEUERBAREN ENERGIEN, SONNENKOLLEKTOREN, SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKE .....</b>	<b>114</b>
7.1 Solarkollektoren (Sonnenkollektoren) SK .....	114
7.1.1 Eingestrahlte Intensität (Bestrahlungsstärke) [W/m <sup>2</sup> , Index s: Strahlung] und Wärmeaufnahme .....	114
7.1.2 Sonnenkollektoren (SK) - Typen .....	119
7.1.3 Wirkungsgrad der Sonnenkollektoren.....	122
7.1.4 Rechenbeispiele .....	124
7.2 Solarthermische (ST) Kraftwerke .....	128

<b>8. BRENNSTOFFZELLEN (BZ) AUF METHAN-(ERDGAS-, BIOGAS-) BASIS (KWK, DEA FÜR HAUSHALTE UND KLEINKRAFTWERKE) .....</b>	<b>129</b>
8.1 Physikalisch-chemische bzw. technische Grundlagen der BZ-n (komplexe BZ-Systeme) .....	129
8.2 Probleme bei der industriellen Fertigung von Brennstoffzellen in konstruktiver, technischer und wirtschaftlicher Hinsicht .....	131
8.3 Beschreibung einiger wichtiger BZ-Systeme.....	135
8.3.1 Das MCFC (molten-carbonate) BZ-System.....	135
8.3.2 PEM-Brennstoffzellensysteme für den Haushalt .....	138
8.3.3 Das tubulare SOFC-HCP-Kleinkraftwerk (Siemens-Westinghouse) .....	143
<b>9. WASSERSTOFFTECHNOLOGIE (WT), WASSERSTOFFWIRTSCHAFT .....</b>	<b>150</b>
9.1 Begriff bzw. Definition .....	150
9.2 Industrielle Möglichkeiten zur Herstellung, Speicherung und zum Transport von Wasserstoff .....	152
9.2.1 Industrielle Produktion .....	152
9.2.2 Speichermöglichkeiten des Wasserstoffs .....	154
9.3 Wasserstoff als Energieträger.....	155
<b>10. ALTERNATIVEN UND ZUKUNFT DER ENERGIEVERSORGUNG .....</b>	<b>157</b>
10.1 Versorgungsgrad und Reserven der fossilen bzw. nuklearen Primärenergiearten.....	157
10.2 Geographische Verteilung der traditionellen Primärenergiereserven, Export – Import .....	159
10.3 Die Rolle der erneuerbaren Energiesorten in der Energieversorgung.....	161
10.4 Was ist in den nächsten 50 Jahren zu erwarten? .....	161
10.5 Fazit und Schlussfolgerung .....	163
<b>ANLAGEN .....</b>	<b>165</b>
A.1 Maßeinheiten, Umrechnungsfaktoren .....	166
A.2 Energiegehalt ( <i>gross heat of combustion</i> ) und Heizwerte ( <i>net heat of combustion</i> ) von einigen Stoffen .....	168
A.3 Primär- bzw. elektrischer Energieverbrauch; installierte elektrische Kapazitäten — weltweit.....	170
A.4 Energieproduktion der OECD- (EU28 <sup>x</sup> -) Länder.....	172

A.5 Elektrische Energie ( <i>Produktion, Export, Import</i> ) .....	173
A.6 Elektrische Energieproduktion durch fossile Energieträger .	174
A.7 Elektrische Energieproduktion auf nuklearer Basis .....	175
A.8 Elektrische Energieproduktion durch Wasserkraftwerke.....	177
A.9 Kohleproduktion, Export, Import.....	178
A.10 Die größten Kohlereserven.....	179
A.11 Erdölproduktion, Nettoexport, Nettoimport.....	180
A.12 Die größten Erdölreserven.....	181
A.13 Erdgasproduktion, Nettoexport, Nettoimport.....	182
A.14 Die größten Ergasreserven.....	183
A.15 Die größten Uranreserven.....	184
A.16 Benzin- und Dieselverbrauch / Jahr.....	185
A.17 Abkürzungen .....	187
<b>ALLGEMEINE LITERATUR.....</b>	<b>188</b>