

Akademie der Wissenschaften
zu Berlin

Sonnenenergie

Herausforderung für Forschung, Entwicklung
und internationale Zusammenarbeit

von

Jochen Diekmann, Alfred Gierer,
Hans-Jürgen Krupp, Klaus Pinkau,
Hans-Joachim Queisser, Fritz Peter Schäfer,
Helmut Schaefer, Karl Stephan,
Dieter Weiß, Horst Tobias Witt

Walter de Gruyter • Berlin • New York • 1991

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XIII
Vorbemerkung und Danksagung	XV
Abkürzungsverzeichnis	XIX
Einleitung	1
Kapitel I: Möglichkeiten der direkten Sonnenenergienutzung	7
1 Einleitung	7
2 Passive Solartechniken	10
3 Aktive Solartechniken im Niedertemperaturwärmebereich	12
3.1 Kollektorarten	12
3.2 Freibäder	13
3.3 Brauchwasser	14
3.4 Raumwärme	16
3.5 Weitere Einsatzmöglichkeiten	17
3.6 Ausblick	18
4 Solarthermische Prozeßwärme- und Stromerzeugung	19
4.1 Überblick	19
4.2 Rinnenkollektoren	20
4.3 Schüsselkollektoren	22
4.4 Solarturmanlagen	24
4.5 Aufwindkraftwerke	27
4.6 Solarteiche	28
5 Photovoltaik	28
5.1 Einführung	28
5.2 Technische Aspekte	29
5.3 Preiserwartungen	31
5.4 Marktentwicklung	33
5.5 Anwendungsbereiche	35

5.5.1	Raumfahrt	35
5.5.2	Kleinstanwendungen.	35
5.5.3	Autarke Photovoltaikanlagen	36
5.5.4	Kleine und mittelgroße netzverbundene Anlagen	37
5.5.5	Photovoltaik-Kraftwerke	39
5.6	Forschung und Entwicklung	42
6	Sonstige Verfahren zur direkten Sonnenenergienutzung	44
6.1	Photochemische Umwandlung.	44
6.2	Photoelektrochemische Umwandlung.	45
6.3	Biologische Umwandlung	46
7	Solare Wasserstoffenergiewirtschaft	47
7.1	Einführung: Sonnenenergie und Wasserstoff	47
7.2	Szenarien der langfristigen Energieversorgung	50
7.3	Import von Solar-Wasserstoff.	54
7.4	Import von Solar-Strom	55
8	Schlußfolgerungen	56
	Literatur.	57
Kapitel II: Forschungsaspekte der Photovoltaik		63
1	Physikalische Prinzipien der Photovoltaik	63
1.1	Der photovoltaische Effekt	63
1.2	Theoretische Grundlagen.	64
1.2.1	Absorption.	64
1.2.2	Strom-Spannungs-Kennlinie.	66
1.2.3	Der maximale Wirkungsgrad	67
1.2.4	Optimierungsprinzipien.	69
1.3	Anforderungen an Solarzellenmaterialien.	69
1.3.1	Physikalisch-chemische Forderungen.	69
1.3.2	Technisch-ökonomische Forderungen.	71
1.3.3	Ökologische Forderungen	72
2	Materialforschung zur Optimierung — der Stand der Technik	73
2.1	Einkristallines und polykristallines Silizium.	73
2.2	Amorphes Silizium für Dünnschichtzellen.	74
2.3	Andere Materialien für Dünnschichtzellen.	75
3	Empfehlungen	76
3.1	Grundlagenforschung	77
3.1.1	Neue Materialien für Solarzellen	77

3.1.2	Steigerung der Wirkungsgrade: Silizium als Leittechnologie	78
3.2	Technologieentwicklung	80
3.3	Unterstützung der Markteinführung	80
4	Schlußfolgerungen	81
	Literatur	83
Kapitel III: Biomimetische Verfahren der Sonnenenergienutzung		85
1	Einleitung	85
2	Der Mechanismus der Photosynthese als Vorbild für biomimetische Verfahren der Sonnenenergienutzung	86
2.1	Der Gesamtprozeß der Photosynthese.	86
2.2	Die Primärreaktionen in den Reaktionszentren und der anschließende Elektronentransport	88
2.3	Der Elektronentransport zwischen den Reaktionszentren	91
2.4	Wasseroxidation	91
2.5	NADP ⁺ -Reduktion.	92
2.6	Protonentransport und Phosphorylierung	93
2.7	Lichtabsorption und Energieleitung	93
2.8	Reduktion von Kohlendioxid	94
2.9	Effizienz der Photosynthese.	95
2.10	Photosynthetische Bakterien.	96
3	Biomimetische Systeme	97
3.1	Diskussion der Photosyntheseprinzipien	97
3.2	Klassifikationen biomimetischer Verfahren.	99
3.3	Kultivierung biologischer Systeme.	101
3.3.1	Wasserstoff-Produktion	101
3.3.1.1	Grünalgen	101
3.3.1.2	Cyanobakterien	103
3.3.1.3	Photosynthetische Bakterien	104
3.3.1.4	Perspektiven.	104
3.3.2	Stickstoff-Fixierung	105
3.4	Künstliche Systeme	105
3.4.1	Essentielle Reagentien eines künstlichen Photosystems	105
3.4.1.1	Sensibilisatoren	106
3.4.1.2	Relaisverbindungen	107

3.4.2	Vorstufen zu biomimetischen Systemen.	107
3.4.2.1	Ladungstrennung in homogener Lösung	107
3.4.2.2	Kovalente Donator-Akzeptor-Komplexe in homogener Lösung	108
3.4.2.3	Ladungstrennung in Micellensystemen.	109
3.4.2.4	Ladungstrennung in Vesikelsystemen	109
3.4.3	Wasserspaltung in künstlichen Systemen.	111
3.4.3.1	Wasserstoffentwicklung in quasi-homogenen und Membransystemen.	111
3.4.3.2	Sauerstoffentwicklung in quasi-homogenen und Membransystemen.	114
3.4.3.3	Zyklische Wasserspaltung in quasi-homogenen und Membransystemen.	116
3.4.3.4	Wasserspaltung in mikroheterogenen Systemen	117
3.4.3.5	Wasserspaltung in makroheterogenen Systemen	120
3.4.4	Photochemische Kohlendioxid-Reduktion.	121
3.4.5	Photochemische Stickstoff-Reduktion.	121
3.5	Kombination von biologischen und künstlichen Systemen.	122
3.5.1	Kopplung von Enzymen mit künstlichen Photosystemen.	122
3.5.2	Immobilisierte Zellen und Membranen.	123
3.5.3	Künstliche Proteine.	124
3.6	Übersicht über Arbeitsgruppen.	126
4	Schlußfolgerungen.	128
	Literatur.	132
Kapitel IV: Dezentrale Sonnenenergienutzung in Entwicklungsländern. 136		
1	Überblick	136
2	Energieprobleme in der Dritten Welt	140
3	Multilaterale und bilaterale Ansätze zur Förderung erneuerbarer Energiequellen in Entwicklungsländern.	141
4	Forschungs- und technologiepolitische Zusammenarbeit (BMFT).	143
4.1	Ziele und Schwerpunkte.	143
4.2	Erfahrungen.	147

5	Entwicklungspolitische Zusammenarbeit (BMZ)	149
5.1	Ziele und Schwerpunkte.	149
5.2	Konzeption und Maßnahmen des Sonderenergiepro- grammes.	150
5.3	Erfahrungen und Schlußfolgerungen	152
5.3.1	Technikreife.	152
5.3.2	Wirtschaftlichkeit	155
5.3.3	Umweltaspekte.	156
5.3.4	Entwicklungsstrategische Faktoren	157
5.3.5	Verbreitungsförderung und Zusammenarbeit mit der Industrie.	159
5.4	Ausblick.	161
6	Chancen der Photovoltaik in einzelnen Anwendungsbereichen	162
6.1	Überblick	162
6.2	Telekommunikation	163
6.3	Hausstromversorgung.	163
6.4	Wasserpumpen.	165
6.5	Kühlung.	167
6.6	Stationsversorgung	167
6.7	»Zentrale« Dorfversorgung.	168
6.8	Allgemeine Probleme und Herausforderungen	169
7	Schlußfolgerungen	170
	Literatur.	172
	 Kapitel V: Transport und Speicherung von Sonnenenergie	 178
1	Einleitung	178
2	Elektrische Energie als Sekundärenergieträger.	180
2.1	Fernübertragung von Elektrizität	180
2.2	Pumpspeicher.	183
2.3	Elektrochemische Speicher	184
2.4	Supraleiter und deren Anwendungsmöglichkeiten	187
2.5	Energiespeicherung mit supraleitenden Spulen	190
3	Wasserstoff als Sekundärenergieträger	192
3.1	Wasserstofferzeugung.	192
3.2	Wasserstoffspeicherung.	194
3.3	Exkurs: Speicherung von Energie in Metallhydriden	196

3.4	Wasserstoff transport	198
3.5	Verwendung von Wasserstoff.	201
4	Aspekte des Systemvergleichs: Strom- vs. Wasserstoffimport	206
5	Schlußfolgerungen	210
	Literatur.	212

Kapitel VI:	Chancen einer Kooperation mit arabischen Ländern und der Sowjetunion zur langfristigen Nutzung von Sonnenenergie.	214
-------------	---	-----

1	Einleitung	214
2	Szenarien und Perspektiven der Langzeitentwicklung	218
3	Überlegungen zu einer Kooperation mit arabischen Ländern	222
3.1	Denkbare Kooperationsformen.	222
3.2	Vor- und Zwischenstufen extensiver Sonnenenergie- nutzung.	224
3.3	Entwicklungspolitische und ökologische Rahmenbe- dingungen.	225
3.4	Interkulturelle Aspekte.	226
3.5	Politische Vorgaben einer europäisch-arabischen Ko- operation.	229
3.5.1	Generelle Probleme.	229
3.5.2	Koranische Offenbarung und politische Macht	230
3.5.3	Vorstaatliche Solidargruppen versus Staat	231
3.5.4	Sozio-ökonomischer Wandel und politische Revolu- tion.	232
3.5.5	Schiitische Revolution.	233
3.5.6	Palästina-Komplex.	234
3.5.7	Bewertung politischer Faktoren.	235
3.6	Sozio-ökonomische Perspektiven arabischer Länder	236
3.7	Strategische Aspekte.	239
3.8	Kooperation mit dem Maghreb.	242
4	Überlegungen zu einer Kooperation mit der Sowjetunion . . .	245
4.1	Entwicklung der sowjetischen Energiewirtschaft	246
4.2	Sowjetisches Interesse an der Nutzung von Sonnen- energie.	248
4.2.1	Allgemeine Probleme sowjetischer Wissenschaft	248
4.2.2	Solartechnische Forschungseinrichtungen.	250

4.2.2.1	Zentrale Einrichtungen	250
4.2.2.2	Einrichtungen in den Unionsrepubliken	252
4.2.3	Aktuelle Tendenzen in der Bewertung von Solartechniken	255
4.3	Sowjetisches und westeuropäisches Interesse an einer Zusammenarbeit zur Nutzung von Sonnenenergie . .	256
4.4	Politisch-ökonomische Perspektiven einer Kooperation mit der Sowjetunion	258
5	Schlußfolgerungen	262
	Empfehlungen	265
	Mitglieder der Arbeitsgruppe	271
	Mitglieder des Rates der Akademie der Wissenschaften zu Berlin	273
	Sachregister	277