
Kamprath-Reihe

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Friedrich Hadamovsky

Dipl.-Ing. Dieter Jonas

Solarstrom – Solarwärme

Technik der Photovoltaik
und Solarthermie

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	5
1	Erneuerbare Energien – Notwendigkeiten für die Zukunft	11
1.1	Die Energiesituation und ihre Folgen	11
1.2	Nutzung erneuerbarer Energien	17
2	Strahlungsquelle Sonne	21
2.1	Energiequelle Sonne	21
2.2	Sonnenspektrum	22
2.3	Einflußfaktoren auf die Globalstrahlung	22
2.4	Optimale Nutzung der Sonnenenergie	24
3	Solarstrom	27
3.1	Solarstromerzeugung	27
3.2	Grundlagen der Photovoltaik	27
3.2.1	Photoeffekt	27
3.2.2	Eigenschaften von Halbleitern	27
3.2.2.1	Leitungsmechanismus	27
3.2.2.2	Halbleitercharakteristika	30
3.2.2.3	Bandstruktur	30
3.2.2.4	Rekombination	31
3.2.2.5	Absorption	32
3.2.3	Entstehung der Photospannung	34
3.3	Solarzellen	35
3.3.1	Strom-Spannungs-Charakteristik und Kenndaten	35
3.3.2	Grundstruktur	36
3.3.3	Konstruktion und Technologie	37
3.3.3.1	Kristalline Zellen mit pn-Übergang	37
3.3.3.2	MIS-Zellen	40
3.3.3.3	Amorphe Siliziumzellen	41
3.3.3.4	Hocheffiziente Siliziumzellen	44
3.3.3.5	Galliumarsenidzellen	46
3.3.3.6	Tandemzellen	47
3.3.3.7	CIS-Zellen	48
3.3.3.8	Photochemische Zellen	48
3.3.3.9	Ausblick	49
3.3.4	Industrielle Solarzellen	50
3.4	Solarmodule und Solargeneratoren	52
3.5	Solarstromsysteme	58
3.5.1	Einteilung	58
3.5.2	Autonome Systeme	60
3.5.2.1	Solarstromanlagen zur Direktversorgung	60
3.5.2.2	Autonome Solarstromanlagen mit Speicherung	60
3.5.2.3	Autonome Solarstromanlagen mit Speicherung und Wechselrichter	66
3.5.2.4	Komponenten autonomer Solaranlagen	67
3.6	Anwendung autonomer Solarstromanlagen	83
3.6.1	Vorbemerkung und Übersicht	83
3.6.2	Wochenend- und Ferienhäuser, Berghütten	83
3.6.3	Wohnmobile und Wohnwagen	84
3.6.4	Verkehrswesen	84

3.6.5	Werbung	87
3.6.6	Sicherungstechnik	88
3.6.7	Landwirtschaft und Fischzucht	88
3.6.8	Garten	90
3.6.9	Umwälz- und Förderpumpen	90
3.6.10	Bildung	92
3.6.11	Transportable PV-Kleinsysteme	92
3.6.12	Boote und Yachten	93
3.6.13	Solarautos	94
3.6.14	Photovoltaik-Fassaden	95
3.7	Photovoltaische Systeme mit Netzparallelbetrieb	95
3.7.1	Vorbemerkung	95
3.7.2	Grundaufbau und Komponenten einer netzgekoppelten PV-Anlage	96
3.7.3	Planung und Projektion	101
3.7.4	Installation und Montage	103
3.7.5	PV-Großanlagen mit Netzkopplung	105
3.7.6	Computerprogramme	106
3.7.7	Rechtsvorschriften	106
3.7.8	Antragsverfahren und Förderung	107
3.8	Ökonomische Betrachtungen	107
3.9	Zur Perspektive der Photovoltaik	110
4	Thermische Nutzung der Solarenergie	113
4.1	Energiebedarf	113
4.2	Umwandlung von Licht in Wärme	114
4.2.1	Elektromagnetische Wellen und deren Umwandlung in Wärme	115
4.2.2	Absorptionsvermögen	116
4.2.3	Emissionsvermögen	116
4.2.3.1	Absorberbeschichtung	116
4.2.4	Transmissionsvermögen	118
4.2.4.1	Transparente Kollektorabdeckung	119
4.3	Wirkungsgrad von Solarkollektoren	121
4.3.1	Optischer Wirkungsgrad	122
4.3.2	Thermischer Wirkungsgrad	123
4.3.3	Gesamtwirkungsgrad bei Kollektoren	126
4.3.4	Stillstandstemperatur	129
4.4	Thermische Solaranlagen zur Schwimmbadwassererwärmung	130
4.4.1	Funktionsprinzip	131
4.4.2	Bestimmung der Absorberfeldgröße	133
4.4.3	Anordnung des Absorberfeldes	135
4.4.4	Absorbermaterialien und Bauformen	137
4.4.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu solartechnischen Anlagen	138
4.4.5.1	Amortisationsmethode	140
4.4.5.2	Annuitätenmethode	140
4.4.5.3	Barwertmethode	141
4.4.5.4	Wirtschaftlichkeitsberechnung	142
4.4.5.5	Zusammenfassung	146
4.5	Thermische Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung	146
4.5.1	Funktionsprinzip	147
4.5.2	Kollektorbauarten	148
4.5.2.1	Vakuum-Röhrenkollektor	148
4.5.2.2	Flachkollektor	151
4.5.2.3	Speicherkollektor	157
4.5.2.4	Flachkollektor mit beidseitig beleuchtetem Absorber	158
4.5.3	Einbindung von mehreren Kollektoren in eine Solaranlage	160
4.5.3.1	Wärmeträgervolumenstrom	162

4.5.3.2	Solarwärmetauscher	163
4.5.3.3	Druckverluste im Solarkreislauf	167
4.5.3.4	Umwälzpumpe	172
4.5.3.5	Wärmeträgerflüssigkeit, Frostschutz	174
4.5.4	Komponenten der Sicherheitsgruppe	177
4.5.4.1	Dimensionierung des Ausdehnungsgefäßes	179
4.5.5	Regelung des Solarkreislaufs	182
4.5.5.1	Temperaturfühler	182
4.5.5.2	Temperaturdifferenzregelung	183
4.5.6	Solarspeicher	186
4.5.6.1	Anforderungen an Solarspeicher	186
4.5.6.2	Reduzierung der Wärmeverluste durch Wärmedämmung	188
4.5.6.3	Speichervolumen und Speicherausführung	188
4.5.6.4	Begrenzung der Speichertemperatur	191
4.5.6.5	Pufferspeicher	191
4.5.6.6	Warmwassermischer	192
4.5.6.7	Legionellen im Brauchwasserspeicher und Zirkulationsleitungen	192
4.5.7	Anschluß von Waschmaschine und Geschirrspüler an das Brauchwasserleitungsnetz	194
4.5.8	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	195
4.5.8.1	Solaranlagen für Ein- und Zweifamilienhäuser	195
4.5.8.2	Solartechnische Großanlagen	198
4.6	Thermische Solaranlagen zur Heizungsunterstützung	200
4.6.1	Funktionsprinzip Solaranlage zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung	201
4.6.2	Solar unterstützte Nahwärmeversorgung	202
4.7	Dimensionierung von thermischen Solaranlagen	203
4.7.1	Computer-Berechnungsverfahren	205
4.7.1.1	f-Chart-Methode	205
4.8	Montage, Inbetriebnahme, Wartung	208
4.8.1	Rechtsvorschriften	208
4.8.2	Inbetriebnahme	211
4.8.3	Wartung	214
4.9	Förderung von solarthermischen Anlagen	214
Anhang 1 Fördermittel der Bundesländer und Städte für Photovoltaikanlagen		217
Anhang 2 Fördermittel der Bundesländer und Städte für thermische Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung		219
Anhang 3 Technische Regeln – Photovoltaik		222
Anhang 4 Technische Regeln – Thermie		224
Adressenverzeichnis		227
Literatur- und Quellenverzeichnis		228
Quellenverzeichnis der Bilder		232
Glossar		233
Stichwortverzeichnis		243
