

Andreas Wagner

Photovoltaik Engineering

Handbuch für Planung, Entwicklung und
Anwendung

2., bearbeitete Auflage
mit 104 Abbildungen

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Symbolverzeichnis	XI
1 Einführung	1
1.1 Eine kurze Geschichte der Photovoltaik	1
1.2 Photovoltaische Anwendungstechnik	3
2 Solares Strahlungsangebot	5
2.1 Spektrum des Sonnenlichtes	5
2.2 Astronomische Gegebenheiten	6
2.3 Einstrahlung auf die Horizontale	22
2.4 Einstrahlung auf die geneigte Fläche.....	25
3 Solargenerator	33
3.1 Ersatzschaltbild und Kennlinie der Solarzelle	33
3.1.1 Ideale Solarzelle	33
3.1.2 Ersatzschaltbilder mit konzentrierten Elementen	35
3.2 Effektive Solarzellen-Kennlinie	38
3.2.1 Kennlinien-Gleichung	38
3.2.2 Berechnung der Gleichungsparameter.....	41
3.2.3 Approximationsfunktion für die Steigung M	43
3.2.4 Berechnungsbeispiel zur effektiven Solarzellen-Kennlinie.....	44
3.3 Verlustwiderstände	46
3.3.1 Serien-Innenwiderstand R_s	46
3.3.2 R_s -Messung unter freiem Himmel	48

3.3.3 R_s -Messung aus nur einer Solarzellen-Kennlinie	49
3.3.4 Parallel-Innenwiderstand R_p	54
3.4 Messung der Kennlinie	55
3.4.1 Ausgewählte Prinzipschaltbilder zur Kennlinienmessung	55
3.4.2 Realisierung eines Kennlinien-Messgerätes	60
3.5 Qualitätskontrolle vor Ort	64
3.5.1 Peakleistungsmessung	64
3.5.2 Innenwiderstandsmessung	68
3.6 Matchverluste	69
3.6.1 Verlustbegrenzung durch Bypass-Diode	69
3.6.2 Internes Mismatching	75
3.7 Verluste durch Staub-Belag	87
4 Komponenten von PV-Systemen	91
4.1 Inselssysteme und Netzeinspeisesysteme	91
4.2 Batterie	92
4.3 Laderegler	99
4.4 Wechselrichter	102
4.5 Verbraucher	108
5 Dimensionierung von PV-Inselanlagen	109
5.1 Dimensionierung des Solargenerators	109
5.2 Dimensionierung der Batterie	111
5.3 Definition der Systemverfügbarkeit	113
5.4 Verfügbarkeit als Zielgröße der Dimensionierung	116
5.5 Einfluss der Batteriegröße auf die Verfügbarkeit	118
5.6 Dimensionierung ausgewählter Anwendungen	123
5.6.1 Solare Heimsysteme	124
5.6.2 Dorfstromversorgungsanlagen	129
5.6.3 Medizin-Kühlschrank	133
5.6.4 Wochenendhaus	137
5.6.5 Einfamilien-Wohnhaus	144
6 Energieversorgung mit PV-Anlagen	147
6.1 Jahres-Energieertrag von PV-Systemen	147
6.2 Kosten pro Kilowattstunde	148
6.2.1 Aufzinsungsfaktor und Abzinsungsfaktor	148
6.2.2 Barwertfaktor und Wiedergewinnungsfaktor	150
6.3 Kosten-Annuitäten-Methode	152

6.4 Ländliche Elektrifizierung mit Solar-Home-Systemen	153
6.5 PV-Inselsystem vs. Netzerweiterung.....	154
6.6 Einfamilien-Wohnhaus	161
6.7 Netzeinspeisanlage.....	163
7 Energie-Ertragsgutachten.....	167
7.1 Selbstverpflichtung der Ertragsgutachter.....	167
7.1.1 Wetterdaten.....	168
7.1.2 Systemkomponenten.....	168
7.1.3 Standort, Vor-Ort-Termin, Verschattung	169
7.1.4 Berechnungsverfahren	169
7.1.5 Darstellung der Ergebnisse	170
7.2 Vergleichendes Gutachten von drei PV-Anlagen.....	171
7.2.1 Wohnhaus Iserlohn Sümmern, Brucknerstraße	171
7.2.2 Wohnhaus Iserlohn Sümmern, Uhlenburg	181
7.2.3 Kreuzkirche Sümmern, Kirschblütenweg.....	184
7.2.4 Zusammenfassung	193
Anhänge.....	195
A.1 Solares Strahlungsangebot.....	196
A.1.1 Spektrum des Sonnenlichtes	196
A.1.2 Astronomische Gegebenheiten	202
A.1.3 Deklination Januar bis Juni.....	210
A.1.4 Deklination Juli bis Dezember.....	211
A.1.5 Zeitgleichung Januar bis Juni	212
A.1.6 Zeitgleichung Juli bis Dezember	213
A.1.7 Einstrahlung auf die Horizontale	214
A.1.8 Einstrahlung auf geneigte Fläche.....	238
A.1.9 Jährliche Schwankung der Globalstrahlung	240
A.2 Solargenerator.....	242
A.2.1 Effektive Solarzellen-Kennlinie	242
A.2.2 PV-Modul-Datensammlung.....	244
A.3 Ursachen für Minder-Leistung.....	288
A.4 Mathcad Grundlagen.....	291
A.5 Qualitätskontrolle	294
A.5.1 Ermittlung der Kennwerte	294
A.5.2 Peakleistung.....	295
A.5.3 Serien-Innenwiderstand R_s	297
A.5.4 Parallel-Innenwiderstand R_p	299
A.6 Matchverluste	300

A.7 Anlagenkomponenten	307
A.7.1 Bleibatterie.....	307
A.7.2 Wechselrichter	308
A.8 Systemdimensionierung.....	320
A.8.1 Täglicher Energiebedarf	320
A.8.2 Dimensionierung der Batterie.....	320
A.8.3 Dimensionierung des Solargenerators	321
A.8.4 Mittlere Verfügbarkeit.....	322
A.9 Energieversorgung mit PV-Anlagen.....	325
A.9.1 Energieertrag	325
A.9.2 Kosten pro Kilowattstunde	325
A.9.3 Kosten-Annuitäten-Methode	326
A.10 CO ₂ -Emission	328
Literatur	329
Literaturverzeichnis	329
Weiterführende Literatur	334
Zeitschriften.....	334
Simulations-Software	334
Sachverzeichnis	335