

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 Inselsysteme und Netzeinspeisesysteme	91
4.2 Batterie	92
4.3 Laderegler	99
4.4 Wechselrichter	102
4.5 Verbraucher	108
5 Dimensionierung von PV-Insulanlagen	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 Netzeinspeiseanlage	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