

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

VIII Inhaltsverzeichnis

3.3.3 R_s -Messung aus nur einer Solarzellen-Kennlinie	49
3.3.4 Einfluss der Bestrahlungsstärke auf den R_s	54
3.3.5 Parallel-Innenwiderstand R_p	56
3.4 Messung der Kennlinie	57
3.4.1 Ausgewählte Prinzipschaltbilder zur Kennlinienmessung	57
3.4.2 Realisierung eines Kennlinien-Messgerätes	62
3.5 Qualitätskontrolle vor Ort	66
3.5.1 Peakleistungsmessung	66
3.5.2 Innenwiderstandsmessung	70
3.6 Matchverluste	71
3.6.1 Verlustbegrenzung durch Bypass-Diode	71
3.6.2 Internes Mismatching	77
3.7 Verluste durch Staub-Belag	89
4 Komponenten von PV-Systemen	93
4.1 Inselsysteme und Netzeinspeisesysteme	93
4.2 Batterie	94
4.3 Laderegler	101
4.4 Wechselrichter	104
4.5 Verbraucher	110
5 Dimensionierung von PV-Inselanlagen	111
5.1 Dimensionierung des Solargenerators	111
5.2 Dimensionierung der Batterie	114
5.3 Definition der Systemverfügbarkeit	115
5.4 Verfügbarkeit als Zielgröße der Dimensionierung	118
5.5 Einfluss der Batteriegröße auf die Verfügbarkeit	120
5.6 Dimensionierung ausgewählter Anwendungen	125
5.6.1 Solare Heimsysteme	126
5.6.2 Dorfstromversorgungsanlagen	131
5.6.3 Medizin-Kühlschrank	135
5.6.4 Wochenendhaus	139
5.6.5 Einfamilien-Wohnhaus	146
5.6.6 Relaisfunkstation	149
6 Energieversorgung mit PV-Anlagen	155
6.1 Jahres-Energieertrag von PV-Systemen	155
6.2 Kosten pro Kilowattstunde	156
6.2.1 Aufzinsungsfaktor und Abzinsungsfaktor	156

6.2.2 Barwertfaktor und Wiedergewinnungsfaktor	158
6.3 Kosten-Annuitäten-Methode	160
6.4 Ländliche Elektrifizierung mit Solar-Home-Systemen	161
6.5 PV-Inselsystem vs. Netzerweiterung.....	162
6.6 Einfamilien-Wohnhaus	169
6.7 Netzeinspeiseanlage.....	171
7 Energie-Ertragsgutachten	175
7.1 Selbstverpflichtung der Ertragsgutachter.....	175
7.1.1 Wetterdaten.....	176
7.1.2 Systemkomponenten.....	176
7.1.3 Standort, Vor-Ort-Termin, Verschattung	177
7.1.4 Berechnungsverfahren	177
7.1.5 Darstellung der Ergebnisse.....	178
7.2 Vergleichendes Gutachten von drei PV-Anlagen	179
7.2.1 Wohnhaus Iserlohn Sümmern, Brucknerstraße	179
7.2.2 Wohnhaus Iserlohn Sümmern, Uhlenburg	189
7.2.3 Kreuzkirche Sümmern, Kirschblütenweg.....	192
7.2.4 Zusammenfassung	201
Anhang	203
A.1 Solares Strahlungsangebot	204
A.1.1 Spektrum des Sonnenlichtes	204
A.1.2 Astronomische Gegebenheiten	210
A.1.3 Deklination Januar bis Juni.....	218
A.1.4 Deklination Juli bis Dezember.....	219
A.1.5 Zeitgleichung Januar bis Juni	220
A.1.6 Zeitgleichung Juli bis Dezember	221
A.1.7 Einstrahlung auf die Horizontale	222
A.1.8 Einstrahlung auf geneigte Fläche.....	266
A.1.9 Jährliche Schwankung der Globalstrahlung	268
A.2 Solargenerator	272
A.2.1 Effektive Solarzellen-Kennlinie	272
A.2.2 PV-Modul-Datensammlung.....	274
A.3 Ursachen für Minder-Leistung	389
A.4 Mathcad Grundlagen.....	392
A.5 Qualitätskontrolle	395
A.5.1 Ermittlung der Kennwerte	395
A.5.2 Peakleistung.....	396
A.5.3 Serien-Innenwiderstand R_s	398

X Inhaltsverzeichnis

A.5.4 Parallel-Innenwiderstand R_p	400
A.6 Matchverluste	401
A.7 Anlagenkomponenten	408
A.7.1 Bleibatterie.....	408
A.7.2 Wechselrichter	409
A.8 Systemdimensionierung.....	422
A.8.1 Täglicher Energiebedarf	422
A.8.2 Dimensionierung der Batterie.....	422
A.8.3 Dimensionierung des Solargenerators	423
A.8.4 Mittlere Verfügbarkeit	424
A.9 Energieversorgung mit PV-Anlagen.....	427
A.9.1 Energieertrag	427
A.9.2 Kosten pro Kilowattstunde	427
A.9.3 Kosten-Annuitäten-Methode	428
A.10 CO ₂ -Emission	430
Literatur	431
Literaturverzeichnis	431
Weiterführende Literatur	436
Zeitschriften.....	436
Simulations-Software	437
Sachverzeichnis	439