

Dipl.-Ing. Rudolf Pötter, Essen

Untersuchung netzunabhängiger Photovoltaikanlagen mit Speichersystemen

Reihe **6**: Energietechnik

Nr. **376**

RVC⁰⁰

HLuHB Darmstadt



14210776

Inhaltsverzeichnis	V
Formelzeichen	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Aufgabenstellung.....	3
2 Ganglinien der Last und der Strahlung	5
2.1 Lastganglinien.....	5
2.1.1 Aufbau des Meßwerterfassungssystems.....	5
2.1.2 Messung der Lastganglinie eines Privathaushaltes.....	5
2.1.3 Lastganglinien eines Bürogebäudes.....	8
2.1.4 Vergleich der Lastganglinien eines Privathaushaltes und eines Bürogebäudes.....	9
2.2 Ganglinie der Strahlung.....	11
2.2.1 Solarkonstante.....	11
2.2.2 Sonnenstand.....	11
2.2.3 Modelle zur Berechnung der terrestrischen Bestrahlungsstärke auf geneigte Flächen.....	14
2.2.4 Berechnung der diffusen und direkten Bestrahlungsstärke auf die horizontale Fläche.....	14
2.2.5 Berechnung der diffusen und direkten Bestrahlungsstärke auf die geneigte Fläche.....	15
2.2.6 Berechnung der diffusen und direkten Bestrahlungsstärke auf die horizontale Fläche mit einer zeitabhängigen Albedo.....	16
2.2.7 Vergleich der beiden Berechnungsverfahren mit Messungen.....	17
2.2.8 Regression der Ganglinie der Bestrahlungsstärke.....	19
2.2.9 Vereinfachte Berechnung der Jahressumme der Bestrahlung.....	22
2.3 Exergie der Solarstrahlung.....	25
2.3.1 Einleitung.....	25
2.3.2 Spektrale Entropiedichte.....	26
2.3.3 Berechnung der Entropie für verdünnte Schwarzkörperstrahlung.....	26
2.3.4 Vereinfachte Formel zur Berechnung der Strahlungsentropie.....	27
2.3.5 Spektren der Solarstrahlung.....	28
2.3.6 Entropie der Strahlung.....	29

2.3.7	Energie und Entropie der atmosphärischen Eigenstrahlung	30
2.3.8	Exergie der Solarstrahlung	32
2.3.9	Jahressumme der Exergie	33
3	Solargenerator	35
3.1	Strom-Spannungs-Kennlinie	35
3.2	Modell zur Beschreibung des thermischen Verhaltens	35
3.3	Berechnung der MPP-Leistung eines Solargenerators	37
3.4	Weitere Daten zu Solargeneratoren	39
4	Elektronische Stromrichter	40
5	Energiespeicher für Elektrizität	42
5.1	Mögliche Energiespeicher	42
5.2	Wasserstoffspeicher-System	43
5.2.1	Aufbau des Wasserstoff-Speichersystems	43
5.2.2	Thermodynamik des Wasserelektrolyseurs und der H ₂ /O ₂ -Brennstoffzelle	44
5.2.3	Aufbau und Wirkungsweise eines Niedertemperatur-Elektrolyseurs	45
5.2.4	Kompression der Produktgase Wasserstoff und Sauerstoff	49
5.2.5	Aufbau und Wirkungsweise einer Brennstoffzelle mit alkalischem Elektrolyten	50
5.2.6	Alterung und Kosten der Anlagenkomponenten des Wasserstoff-Systems	53
5.3	Blei-Akkumulator	55
5.3.1	Thermodynamik des Blei-Akkumulators	55
5.3.2	Modelle zur Beschreibung des elektrischen Verhaltens von Blei- Akkumulatoren	57
5.3.3	Alterung und Kosten des Blei-Akkumulators	61
6	Simulation von PV-Anlagen	63
6.1	Berechnungsmethoden	63
6.1.1	Grundlagen	63
6.1.2	Schematischer Ablauf und Größen der dynamischen Optimierung	65
6.1.3	Bestimmung der zulässigen Ladegradfelder und der optimalen Entscheidungsvektoren	66

6.1.4	Simulationsrechnung unter Vorgabe der optimalen Entscheidungsvektoren	68
6.1.5	Verbesserung durch Einführung eines Mindestladegrades des Akkumulators	70
6.1.6	Daten für die Wirtschaftlichkeitsrechnung von PV-Anlagen	71
6.2	Untersuchung einer netzgekoppelten PV-Anlage	72
6.3	PV-Anlage mit einem Energiespeicher	75
6.3.1	Energetische Untersuchung nach der analytischen Methode	75
6.3.2	Abhängigkeit des Speicheranteils von dem Solarvielfachen bei sinusförmigen Last- und Leistungsganglinien	78
6.3.3	Energetische Untersuchung auf der Basis gemessener Ganglinien (numerische Methode)	79
6.3.4	Wirtschaftliche Auslegung einer PV-Anlage mit Akkumulator	82
6.3.5	Vereinfachte Auslegung einer PV-Anlage mit einem Blei-Akkumulator als Energiespeicher auf der Basis von Monatssummen	84
6.4	PV-Anlage mit zwei Energiespeichern	87
6.4.1	Lösung bei Beschreibung der Ganglinien durch analytische Funktionen	87
6.4.2	Berechnung einer PV-Anlage mit zwei Energiespeichern	90
6.4.3	Bestimmung der Betriebsfahrweise auf der Basis der dynamischen Optimierung für eine ausgewählte Anlagenkonfiguration zur Elektrizitätsversorgung des Bürogebäudes (gemessene Ganglinien)	92
6.4.4	Einfluß der Anlagenkonfiguration und des Standortes auf das Solarvielfache zur Elektrizitätsversorgung des Bürogebäudes	99
6.4.5	Vergleich der Energieflüsse einer PV-Anlage zur Versorgung eines Privathaushaltes mit denen zur Versorgung eines Bürogebäudes	105
6.4.6	Einfluß der Anlagenkonfiguration und des Standortes auf das Solarvielfache zur Elektrizitätsversorgung des Privathaushaltes	107
6.4.7	Wirtschaftliche Auslegung einer PV-Anlage mit Akkumulator und H ₂ -System	109
7	Zusammenfassung	113
	Literatur	117