

Jean-Darius Deloud

**Modellbildung und
Solarstrahlungsabschätzung
als Hilfsmittel zur Analyse
photovoltaischer Systeme
*Vergleich Deutschland - Kongo***



**Verlag
Dr. Köster**

Berlin

Inhaltsverzeichnis

1 Liste der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen	1
2 Einleitung	3
2.1 Problemstellung	4
3 Potential und bisherige Nutzung von Energieressourcen in Kongo	9
3.1 Fossile Energieträger	12
3.1.1 Holz	12
3.1.1.1 Nutzholz	12
3.1.1.2 Vernichtung des Waldpotentials durch Brandrodung	13
3.1.1.3 Holzkohle und Brennholz	14
3.1.2 Petrochemische Produkte	16
3.2 Regenerative Energiequellen	20
3.2.1 Windkraft	20
3.2.2 Biomasse	21
3.2.3 Meereswärme	21
3.2.4 Wasserkraft	22
4 Elektrische Energieversorgung	23
4.1 Entwicklung der elektrischen Energieversorgung	24
4.2 Verbrauchsstruktur der elektrischen Energie	27
4.3 Ausbauplanung	29
4.4 Perspektiven	30

5 Berechnung der Solarstrahlung unter Berücksichtigung regionaler Klimamerkmale	33
5.1 Verfügbarkeit der Strahlungsdaten	33
5.2 Kurzbeschreibung ausgewählter Strahlungsmodelle	35
5.2.1 Ångström-Modell	35
5.2.2 Liu-Jordan-Modell	36
5.2.3 <i>Sonnenschein</i> -Modell	38
5.3 Klimamerkmale und Relevanz vorhandener Klimadaten	41
5.4 Parametrisierungsverfahren zur Solarstrahlungsabschätzung	47
5.4.1 Grundbegriffe und Definitionen der sphärischen Trigonometrie	49
5.4.1.1 Ermittlung des Sonnenstandes am Himmelsgewölbe	49
5.4.2 Extraterrestrische Sonnenstrahlung	56
5.4.2.1 Solarkonstante I_M	56
5.4.2.2 Extraterrestrische Bestrahlung E_h auf die horizontale Fläche	57
5.4.3 Einfluß der Erdatmosphäre auf die Sonnenstrahlung	58
5.4.3.1 Aufbau und Zusammensetzung der Erdatmosphäre	58
5.4.3.2 Relative optische Luftmasse m_r	59
5.4.3.3 Theoretischer Ansatz zur Berechnung der Strahlungsextinktion	60
5.4.3.4 Strahlungsextinktion durch Ozon	61
5.4.3.5 Strahlungsextinktion durch Rayleigh-Streuung	64
5.4.3.6 Strahlungsextinktion durch Wasserdampf	65
5.4.3.7 Strahlungsextinktion im Aerosol	68
5.4.3.8 Gesamte Transmission durch die Erdatmosphäre	70
5.4.4 Einfluß der Bewölkung auf die Sonnenstrahlung	72
5.4.4.1 Zusammenhang zwischen Bewölkung und Sonnenscheindauer	72
5.4.5 Globale Bestrahlungsstärke I_{gk} bei einem wolkenlosen Himmel	73
5.4.5.1 Direkte Bestrahlungsstärke I_{dh}	73
5.4.5.2 Diffuse Bestrahlungsstärke I_{dk} bei klarem und wolkenlosem Himmel	74
5.4.6 Globale Bestrahlungsstärke I_{gb} bei einem vollständig bedeckten Himmel	76
5.4.7 Solare Bestrahlung	77
5.4.7.1 Globale Bestrahlung G_h	77
5.4.7.2 Solare Bestrahlung G_p auf eine beliebig geneigte und orientierte Fläche	78
5.4.7.3 Wahl des Aufstellwinkels	79

5.5 Kurzbeschreibung des Computerprogramms	80
5.6 Prüfung des Strahlungsmodells am Beispiel Berlins	82
5.7 Anwendung auf Brazzaville (4°15'S, 15°15'E, 314 m)	85
6 Einsatz des Strahlungsmodells bei der Abschätzung der Energieausbeute einer Photovoltaikanlage	87
6.1 Standortbeschreibung	88
6.2 Anlagenbeschreibung	90
6.2.1 Solargeneratoren	91
6.2.1.1 Monokristallines Generatorfeld	91
6.2.1.2 Polykristallines Generatorfeld	92
6.2.2 Converter	93
6.2.3 Stromrichter	94
6.2.4 Batterie	95
6.2.5 Ladestation	96
6.2.6 Steuerung und Schutztechnik	96
6.3 Computergestützte Meßtechnik	97
6.3.1 Datenerfassung und -verarbeitung	98
6.3.1.1 Meteorologische Daten	99
6.3.1.2 Elektrischen Daten und Netzimpulse	106
6.3.1.3 Slotmonitoring und Datenkontrolle	107
6.3.2 Datensicherung	108
6.3.3 Datenauswertung und -dokumentation	110
6.3.3.1 Kurzbeschreibung des Auswerteprogramms	110
6.3.3.2 Erläuterungen zu den praktischen Messungen	111
6.4 Bereinigung der Meßdaten mit Hilfe des Strahlungsmodells	112

6.5 Meßergebnisse	114
7 Anwendung des Strahlungsmodells als Hilfsmittel bei der Berechnung von solaren Stromversorgungen	117
7.1 Solarenergievergleich zwischen Deutschland und Kongo	117
7.2 Energieertragsvergleich zwischen Deutschland und Kongo	123
7.3 Anwendungsmöglichkeiten der Photovoltaik in Kongo	124
7.3.1 Fallbeispiel: Solarelektrische Energieversorgung einer Gesundheitsstation in einem ländlichen Gebiet	125
8 Zusammenfassung	129
9 Literaturverzeichnis	131
10 Anhang	141
10.1 Verzeichnis der Abbildungen	141
10.2 Abbildungen	145
10.3 Verzeichnis der Tabellen	150
10.4 Tabellen	153
10.5 Beispiele der Datenauswertung an der Versuchsanlage in Berlin-Zehlendorf	162
10.6 Programmlisting (Strahlungsmodell)	171