



Fakultät für Ingenieurwissenschaften

Masterstudiengang

Modellierung und Simulation einer PV-Freiflächenanlage  
mit der PV\_LIB-Toolbox in Matlab

Master Projekt

von

Jonathan Huth

Betreuung: Prof. Michael Zehner, M. Sc. Andreas Boschert

# Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Definieren des PV-Systems .....	4
3	Verarbeitung der meteorologischen Daten .....	5
4	Berechnung der Leistungsabgabe.....	6
4.1	DC-Output .....	6
4.2	AC-Output .....	7
5	Zusammenfassung der getroffenen Annahmen.....	8
6	Abbildungsverzeichnis .....	9
7	Verweise .....	10

# 1 Einleitung

Im Zuge des Energiemeteorologie-Projekts „Helios“ das zum Ziel hat zeitlich und räumlich hochauflösende Kurzfristprognosen für solare Einstrahlung im Zusammenhang mit Wolkenbewegungen zu entwickeln, soll ein digitaler Zwilling für die PV-Anlage in Buttenwiesen erstellt werden. Das Modell dient dazu die Verbindung zwischen Strahlungsprognosen und einem realen System herzustellen und dadurch das Verständnis der Zusammenhänge von Wolkenbewegungen und den daraus resultierenden solaren Einstrahlungswerten zu verbessern. Das Modell wird mit Hilfe der PV-Lib in Matlab entworfen und soll anhand der Strahlungsdaten die Leistungsabgabe des Systems darstellen.

Das Matlab-Projekt ist in 5 Skripte aufgeteilt,

- StartScript
- Initialize\_PVData
- Calculate\_WeatherData
- PVScript
- InverterScript

wovon das „StartScript“ dazu dient, die anderen 4 Skripte in richtiger Reihenfolge zu starten und zusätzlich das CSV-File der Strahlungsdaten, sowie den auszuwertenden Block des PV-Felds zu definieren. Die Inhalte der restlichen Dateien werden im weiteren Verlauf dieser Dokumentation erläutert.

## 2 Definieren des PV-Systems

Als erstes wird das PV-System definiert, wofür folgende Daten benötigt werden:

- Verwendete PV-Module
- Verwendete Inverter
- Geografische Daten der Anlage (Koordinaten, Höhenlage)
- Geometrische Daten (Azimuth-/Modulwinkel)
- Anzahl der Module und Inverter (aus Systemplan auslesbar)

Für die PV-Module und Inverter sind bereits Parameter in der PV-Lib hinterlegt, auf die lediglich zugegriffen wird. Die hinterlegten Parameter des verwendeten Moduls „Canadian Solar CS6P-240P“ basieren auf dem CEC (California Energy Commission) Modell und für den Inverter „AE 3TL 23-MV“ wird das SNL (Sandia National Laboratories) Inverter Modell verwendet. Die Datenbanken der Module werden als Variablentyp „Struct“ in das Programm integriert.

Die Koordinaten der Anlage sind aus Google Maps (1) genommen und auf das Koordinaten-Paar: Lat = 48.61°, Long = 10.77° vereinfacht. Für die Bestimmung der Höhenlage wurde das Webbasierte Programm Topographic-Map (2) verwendet und eine Höhe ü. N.N von 442m festgestellt. Aus diesen Werten wird anschließend mit Hilfe der PV-Lib ein „Location-Struct“ erstellt.

Der Modulwinkel, sowie die Anzahl der Module und Inverter sind in dem Systemplan notiert und können lediglich ausgelesen werden. Der Azimuth-Winkel wird anhand der Aufstellung der Modulreihen abgeleitet und ist für jedes Modul auf den gleichen Wert von 172° festgelegt worden. Weiterhin wurden für die Verschaltungen der Module mit den Invertern Annahmen getroffen, um das Programm übersichtlicher zu gestalten. Block A und B sind geometrisch identisch aufgebaut und die Verschaltung wird hier auf 32 in Serie geschaltete Module und drei parallele Reihen pro Inverter vereinfacht. Block C und D sind in zwei verschiedene Verschaltungen aufgeteilt. Block C besteht hierbei aus folgenden Gruppen:

- 40 Modulen in Serie und drei Reihen parallel
- 60 Module in Serie und 2 Reihen parallel

Und Block D aus Gruppen mit:

- 48 Modulen in Serie und zwei Reihen parallel
- 60 Module in Serie und zwei Reihen parallel

### 3 Verarbeitung der meteorologischen Daten

Als nächster Schritt werden folgende Daten:

- Gemessene Einstrahlungswerte (DNI, DHI, GHI)
- Gemessene Temperatur
- Zeitspanne der Messungen (Unix Time, Local Time)

aus einer bereitgestellten CSV-Datei ausgelesen und in einer Tabelle in Matlab gespeichert. Für das Auslesen der Daten wird die Funktion „readCSV\_GHI\_DNI\_DHI“ verwendet, die als Eingangsvariable den zuvor gesetzten Namen der verwendeten Datei nutzt. Die Zeitspanne der Messungen muss vor der Weiterverwendung umgewandelt werden, da die Funktionen der PV-Lib mit einer Darstellung der Zeit Matlabs namens „datetime“ arbeiten. Die Zeitspanne wird dann mit der Funktion „pvl\_maketimestruct“ in eine Variable gespeichert, die weiterhin für die Modellierungen der Sonnenposition, der Sonnenhöhe, sowie des Azimuth- und Zenithwinkels der Sonne mit Hilfe von der Funktion „pvl\_ephemeris“ und den Einstrahlungswinkel der Sonne mit Hilfe von „pvl\_getaoi“ verwendet wird. Die einfallende Bestrahlungsstärke wird mit Hilfe des King-diffuse Modell für Diffusstrahlung und der ebenen Bestrahlungsstärke geschätzt.

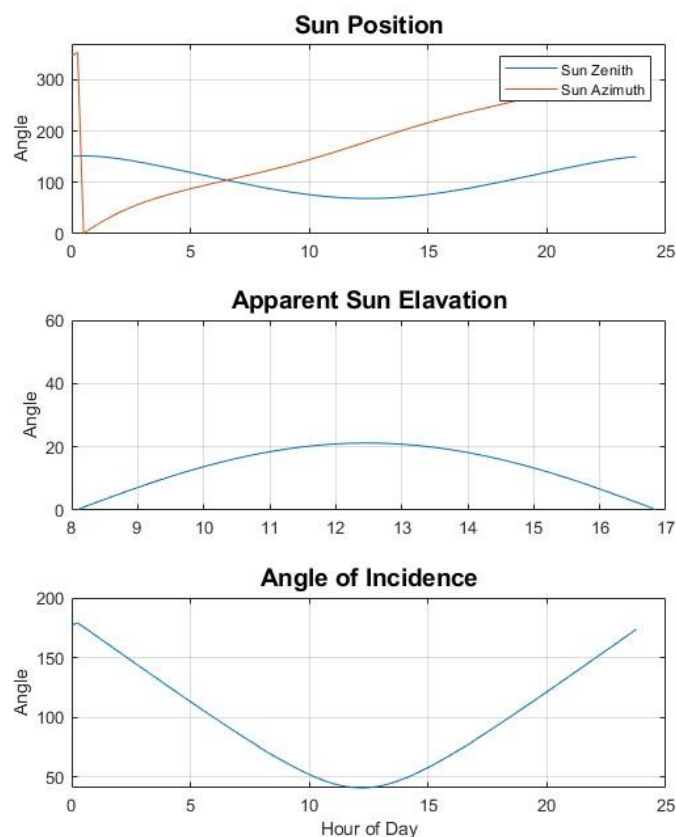


Abbildung 1: Sonnenposition, -höhe und Einstrahlungswinkel

## 4 Berechnung der Leistungsabgabe

### 4.1 DC-Output

Das nächste Skript verwendet die bisher berechneten und gesammelten Daten, um die Gleichstromausgabe des Systems pro Modul und Verschaltungsgruppe zu berechnen. Diese können für jeden Block separat über ein „switch-case“ gezielt ausgegeben werden, dessen Variable im ersten Skript initialisiert wird. Zusätzlich wird die Zelltemperatur benötigt, die anhand der Umgebungstemperatur, des Parameters NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) und der Bestrahlungsstärke mit folgender Formel modelliert wird:

$$T_c = T_a + E_{POA}/800 \cdot (T_{noct,adj} - 20)$$

Anhand der Zelltemperatur und der Bestrahlungsstärke können nun die Parameter:

- Lichtgenerierter Strom
- Dioden Sättigungsstrom
- Serien Widerstand
- Shunt Widerstand
- Modifizierter Idealitätsfaktor der Diode

des CEC-Modells für das „single-diode model“ zur Erstellung der IV-Kurve berechnet werden. Die Kurve wird nicht erstellt, jedoch werden die Werte der Spannung, des Stroms und der Leistung beim MPP (Maximum Power Point), die die Kennwerte für ein einzelnes Modul widerspiegeln, für die weiteren Berechnungen und die grafische Auswertung verwendet.

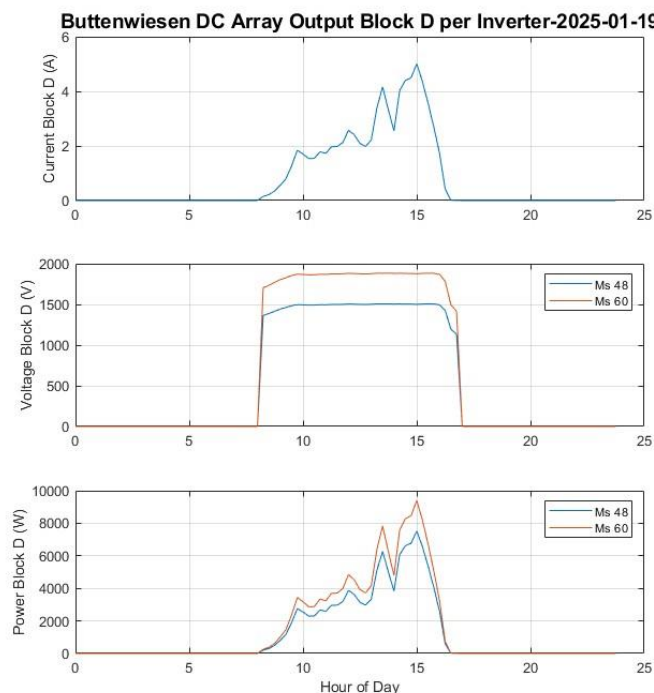


Abbildung 2: DC-Output Block D pro Inverter

## 4.2 AC-Output

Die letzte Datei ist ebenfalls mit einem „switch-case“, wie die Berechnung des DC-Outputs aufgebaut. Hier wird die Leistung eines einzelnen Inverters und die Leistung eines gesamten Blocks berechnet und grafisch ausgewertet. Die Eingangsparameter für das in der PV\_Lib integrierte SNL Inverter Modell sind zum einen die zu Beginn hinterlegten Parameter des Inverter Moduls „AE 3TL 23-MV“ als „struct“, sowie die Gleichstromkennwerte Spannung und Leistung einer verschalteten PV-Modulgruppe.

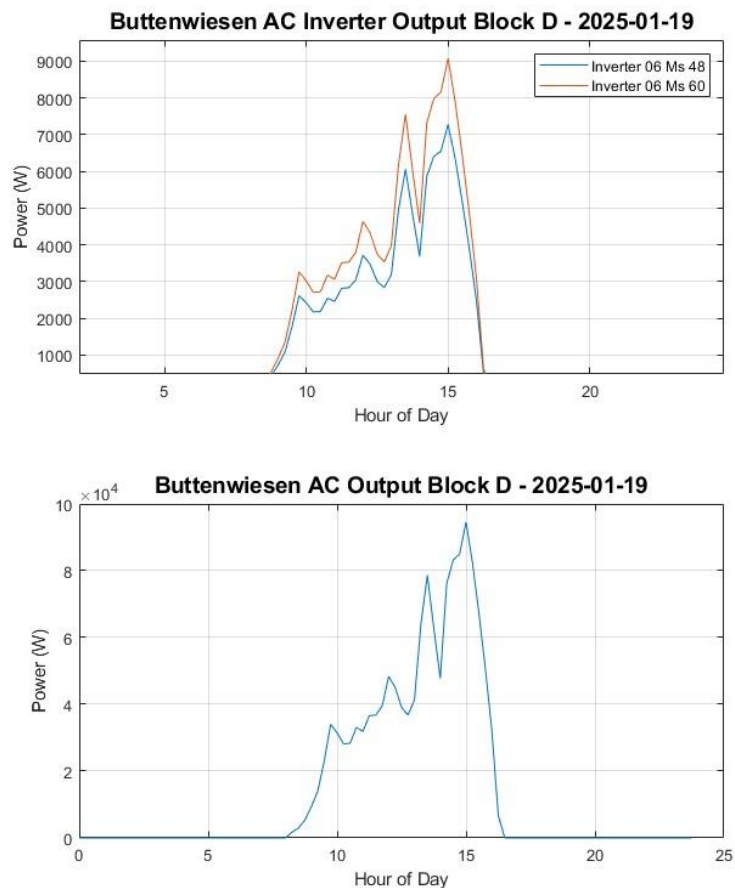


Abbildung 3: AC-Output Block D

## 5 Zusammenfassung der getroffenen Annahmen

- Zelltemperatur (Schätzung mit NOCT):
  - Windgeschwindigkeit & Transmissions-/Absorptionseffekte vernachlässigt
  - $T_{NOCT} = T_{NOCT,adj}$  (open-rack)
  - $T_c = T_a + E_{POA}/800 \cdot (T_{NOCT,adj} - 20)$
- Geometrie der Fläche
  - Verschaltung der Module mit den Invertern vereinfacht (pro Inverter)
    - Block A: 32 Module in Serie, 3 Reihen parallel
    - Block B: 32 Module in Serie, 3 Reihen parallel
    - Block C: 40 Module in Serie, 3 Reihen parallel & 60 Module in Serie, 2 Reihen parallel
    - Block D: 48 & 60 Module in Serie, 2 Reihen parallel
- Modell der Diffusstrahlung:
  - Kingdiffuse
- PV-Modell:
  - single-diode mit Parametern aus CEC-Berechnungen
- Inverter Modell:
  - SNL-Inverter (Sandia National Laboratories)
- Position der Sonne
  - Funktion: `pvl_ephemeris` & `pvl_getaoi`
- Geografische Daten:
  - Koordinaten: Lat = 48.61°, Long = 10.77°
  - Höhenlage ü. NN: 442m



## 6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sonnenposition, -höhe und Einstrahlungswinkel.....	5
Abbildung 2: DC-Output Block D pro Inverter .....	6
Abbildung 3: AC-Output Block D .....	7

## 7 Verweise

1. Google Maps. [Online] 2024.

[https://www.google.com/maps/place/86647+Buttenwiesen/@48.6117518,10.7745767,296m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x479ec9239496d051:0xb2cbb4c649aaa4de!8m2!3d48.6032092!4d10.7228289!16s%2Fm%2F02q1070?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI0MTAyOS4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/place/86647+Buttenwiesen/@48.6117518,10.7745767,296m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x479ec9239496d051:0xb2cbb4c649aaa4de!8m2!3d48.6032092!4d10.7228289!16s%2Fm%2F02q1070?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAyOS4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D).

2. Topographic Map. [Online] 2024. <https://de-de.topographic-map.com/map-3j8j18/Buttenwiesen/>.

3. Sandia National Laboratories. [Online] Sandia National Laboratories, 2024. <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/>.