

Umsetzung von ERA5-Land-Daten für Ertragsberechnungen auf PV-Anlagen

Einleitung

Ich möchte Interessierte einladen, meinen Gedankengängen nachzuvollziehen, damit sie verstehen, weshalb ich bei ERA5-Land gelandet bin.

Ich studierte vor fast 25 Jahren Photovoltaik mit einer DII-Arbeit über Heterojunction-Soalrzellen. Bis vor wenigen Monaten war es mir nur möglich, Ertragsrechnungen von PV-Anlagen klassisch über die direkte Sonnenbestrahlung zu ermitteln. Klassisch deshalb, weil ich ein mathematisches Modell verwendete – zwei Vektoren beschrieben die Ausrichtung der PV-Module, der dritte Vektor war der Sonnenvektor, und der Ertrag ergab sich vektoriell aus dem Spatprodukt.

Leider funktioniert dieses Verfahren nur bei direkter Sonnenstrahlung.

Ich erkannte, dass verschiedene nationale Organisationen Strahlungswerte zur Verfügung stellten. Ich suchte jedoch nach einer größeren Lösung und fand schließlich die frei zugänglichen Strahlungsdaten des Copernicus Climate Data Store (CDS).

ERA5-Land ist ein Reanalyse-Datensatz, bereitgestellt vom European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), mit einer räumlichen Auflösung von etwa 9 km und einer stündlichen zeitlichen Auflösung.

Die Satelliten erfassen unter anderem die sogenannte SSRD – Surface Solar Radiation Downwards. Dabei handelt es sich um die kurzwellige Strahlungsenergie, die auf eine horizontale Fläche an der Erdoberfläche trifft. Es ist ein modellgestützter Rechenwert, kein Messwert; die physikalische Einheit ist J/m^2 .

Für die weitere Verarbeitung ist es notwendig, diesen Wert in Wh/m^2 umzurechnen, damit er in eine mittlere stündliche Globalstrahlung (GHI) transformiert werden kann.

Herunterladen der stündlichen GHI-Zeitreihen

Mit meinem ersten Programm *era5land_ghi_timeseries.py* gelang es mir, die Zeitreihen von ERA5-Land herunterzuladen. Die Lizenzvereinbarungen zu finden und zu akzeptieren war hier meine erste große Herausforderung. Ich meldete mich als Forscher an; eine kommerzielle Nutzung ist jedoch ebenfalls erlaubt, erfordert bei der Ausgabe nur eine entsprechende Quellenangabe.

Ein Download für einen Monat (372 Messwerte) benötigt etwa drei bis fünf Minuten.

Wir müssen hier bedenken, dass die ERA5-Daten keine direkt gemessenen physikalischen Daten sind, sondern modellgestützt berechnete Werte.

Korrektur mit PVGIS

Der Datensatz von PVGIS ist selbsterklärend für die Anwendung auf PV-Anlagen geeignet. Die Zeitreihen sind jedoch derzeit nur für den Zeitraum 2005–2020 vollständig verfügbar, weshalb die Wahl auch deshalb auf ERA5-Land fiel, das monatlich aktualisiert wird.

Für die Jahre 2015–2020 lud ich die PVGIS-Daten herunter – was nur wenige Sekunden benötigte – und ermittelte in einem mathematischen Korrekturprozess eine Korrekturreihe mit 288 Faktoren (12 Monate $\times$ 24 Stunden). Dies erfolgte mit dem Programm *bias_correct_era5_to_pvgis.py*.

Diese Korrekturreihe ist jedoch nur auf Regionen mit vergleichbaren meteorologischen Bedingungen übertragbar. Der Zeitaufwand für die Erstellung der Korrekturreihe betrug etwa drei Stunden für sechs Jahre ERA5-Daten. Zusätzlich schrieb ich verschiedene Plausibilitätsprüfungen, um sicherzustellen, dass die Korrekturreihe zeitlich konsistent ist.

Anwendungen der ERA5-Land-Daten

PVGIS ist bis Ende 2020 verfügbar. Durch die Korrekturreihe können nun die ERA5-Daten verwendet werden. Für meine Beispiele wählte ich die Jahre 2020–2025.

Mein erstelltes Programm *apply_bias_factors.py* wandelt den ERA5-Datensatz in einen GHI-ähnlichen Datensatz um, der weiterverarbeitet werden kann.

Physikalisch ist es nun notwendig die globale horizontale Einstrahlung (GHI) physikalisch zu berechnen:

$$GHI = DNI \cdot \cos(\theta_z) + DHI$$

- **DNI** – Direct Normal Irradiance (Direktnormalstrahlung)
- **DHI** – Diffuse Horizontal Irradiance (diffuse horizontale Strahlung, mit Erbs-Modell)
- θ_z – Sonnenzenitwinkel

GHI setzt sich physikalisch aus Direkt- und Diffusanteil zusammen.

Ich fand ein elegantes Transformationsmodell nach Perez, das es zu meiner Studienzeit noch nicht gab. Vereinfacht besteht es aus:

- Direktanteil auf der Modulfläche
- diffuser Anteil (Perez-Modell)
- reflektierter Anteil (Albedo)

Ich führe diese zwei Absätze auszugsweise an, weil meine POA-Berechnung am Abend unerklärlicher Weise stark anstieg und mich lange beschäftigte. Der Grund liegt im Wechsel von direkter zu diffuser Strahlung am Abend, der durch die Winkelfunktion zusätzlich verstärkt wird. Es war notwendig, eine umfangreiche Funktion („twilight“) zu schreiben, die diesen Übergang mathematisch stabil darstellt.

Mit diesen Datenreihen war es dann möglich, den Energieertrag von PV-Anlagen mit beliebiger Ausrichtung zu ermitteln. Mein umfangreiches Programm nannte ich *ghi_to_poa_components.py*.

Mit einem einfachen Transferprogramm reichte ich die Daten anschließend an Excel weiter, wo ich klassisch die Auswertungen und Zwischenrechnungen vornahm.

Zusammenfassung

Mit dem Datensatz von ERA5-Land können in ganz Europa PV-Anlagen mit historischen Wetterdaten (Strahlungsdaten) analysiert werden. Bereits in der Planungsphase einer PV-Anlage – mit oder ohne Speicher – sind realistische Ertragswerte möglich, weil Großwetterlagen häufig nach ähnlichen Mustern ablaufen.

Wir müssen uns jedoch immer bewusst sein, dass die Ergebnisse keine Messreihen darstellen, sondern mathematische Modelle sind, die versuchen, die Wirklichkeit möglichst gut abzubilden.

Ich beschäftigte mich viele Wochen mit dieser Aufgabenstellung, und ich bin noch immer überrascht, dass mir eine vollständige Umsetzung gelungen ist. An dieser Stelle möchte ich jedoch anführen, dass ich seit mehr als 40 Jahren programmiere und meine D1-Diplomarbeit über neuronale Netze in C++ noch wesentlich umfangreicher war. Ein wenig Programmiererfahrung sollten Interessierte daher schon mitbringen.

Gerne übernehme ich auch konkrete Aufgabenstellungen.

Udo Zauner