

Fachvertiefung Energiesysteme – Sonneneinstrahlung und Photovoltaik Teil 2

Anne Glatt
12.05.2020

Agenda

- Kurzer Rückblick
- Fragen zu Übung 1
- Modellierung Photovoltaik Teil 2
- Übung 2
- Gruppenarbeit

Modellierung der Einstrahlung auf eine PV-Anlage:

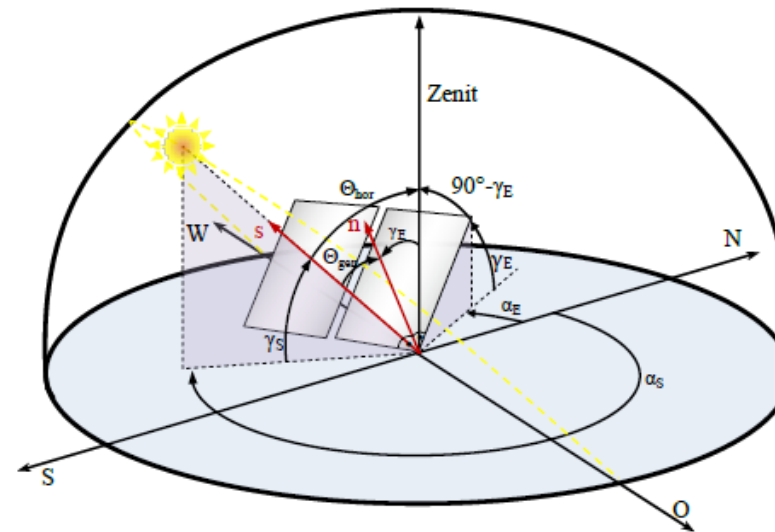
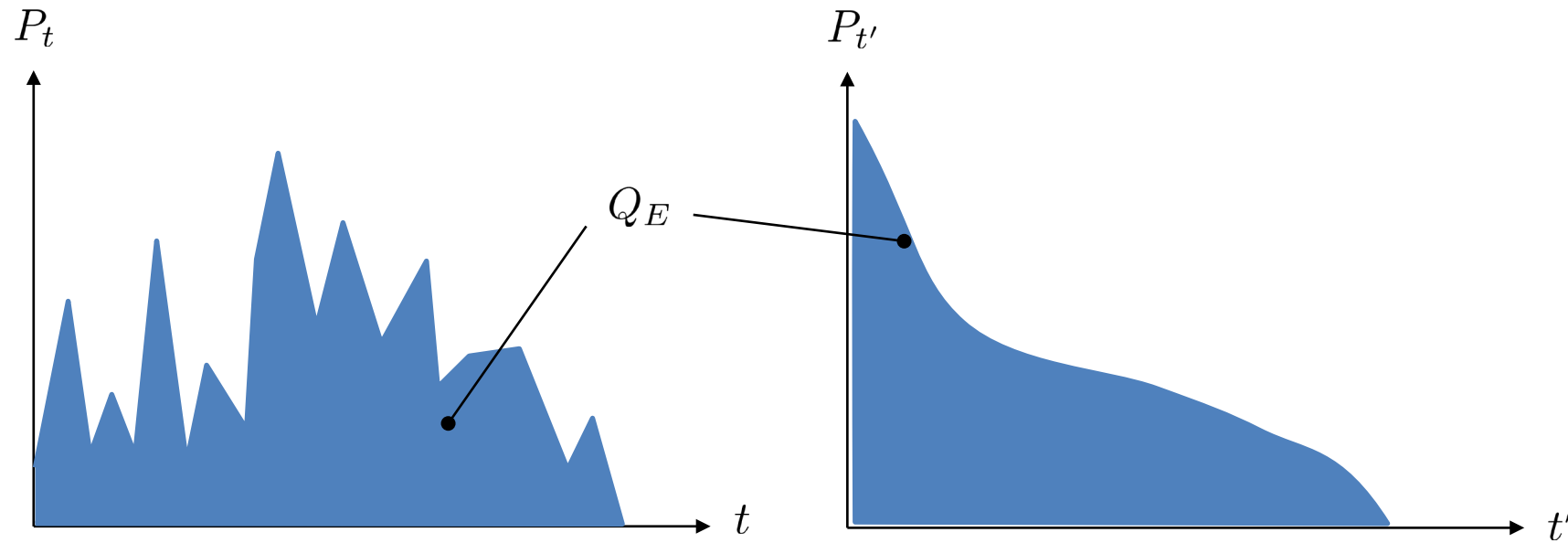
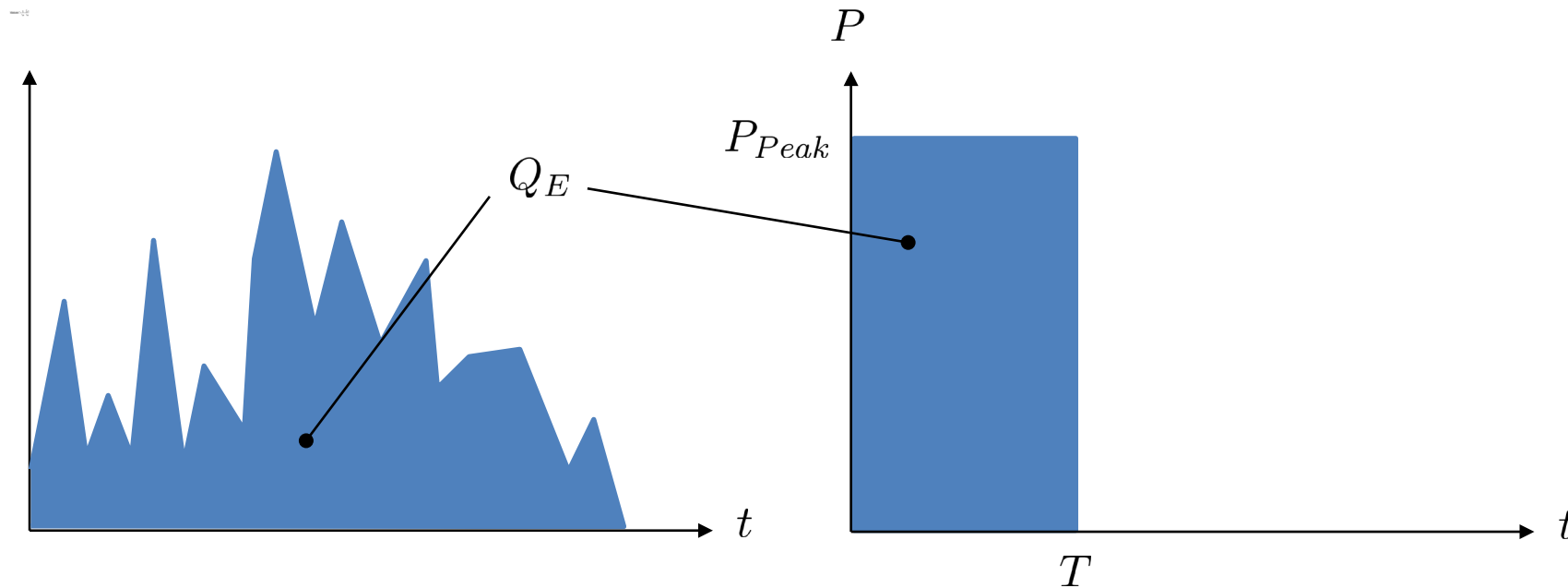


Abbildung 3.2.: Darstellung des Einfall- und Moduleinfallswinkel

Leistungsdauerlinie:



Volllaststunden: $T = \frac{Q_E}{P_{peak}} = \frac{\sum_{t=1}^T E_t}{P_{peak}}$



Fragen zu Aufgabe 1.1

- a. Erstellen Sie ein Modell, das für den gegebenen Sonnenstand und die Einstrahlungswerte (Diffus- und Direktstrahlung) auf eine horizontale Fläche den Ertrag der PV-Anlage nach Angabe der installierten Leistung in kW_{peak} und der Ausrichtung der Anlage (Azimut und Neigungswinkel) modelliert. Verwenden Sie dazu das isotrope Einstrahlungsmodell.

Literatur:

- Eicker (2012), Seite 33 (ev. 44)
- Blabensteiner (2011), Seite 14 (3.20) ff

Schreiben Sie dazu eine Funktion, die die viertelstündlichen Erträge eines Jahres in Abhängigkeit folgender Input-Parameter berechnet:

- Azimut und Höhenwinkel der PV-Anlage
- Größe der PV-Anlage (kW_{peak})
- Längen- und Breitengrad des Standortes
- Wirkungsgrade des PV-Moduls
- Strahlungsdaten (`Strahlung.mat`)
- Zeit in ¼-h (`time.mat`)

Output-Parameter:

- Vektor (Dimension: $8760 \times 4 \times 1$) der viertelstündlichen Erträge der Anlage (in kWh)

Fragen zu Aufgabe 1.1 a.

Frage: Zusammenhang mit Sonnenstand

Gegeben: **Einstrahlungswerte** auf eine **horizontale Fläche** in der Datei `Strahlung.mat`

- Direktstrahlung: `Strahlung.DirectHoriz`
- Diffusstrahlung: `Strahlung.DiffusHoriz`
- Globalstrahlung: `Strahlung.GlobalHoriz`

Gesucht: Ertrag der PV-Anlage nach der installierten Leistung und der Ausrichtung der Anlage

- Sonnenazimut und Sonnenhöhe mit der Funktion `SonnenstandTST.m` berechnen
- **direkte, diffuse und reflektierte Strahlung** auf die **geneigte Fläche** berechnen und summieren
- **isotropes Einstrahlungsmodell** verwenden (siehe Blabensteiner (2011), Gleichungen 3.20 – 3.23)
- In diese Gleichungen gehen Sonnenhöhe γ_s , Moduleinfachswinkel θ_{gen} (und in diesen auch Sonnenazimut α_s) ein \rightarrow Zusammenhang mit Sonnenstand
- Schreiben Sie dazu eine Funktion, die die viertelstündlichen Erträge eines Jahres in Abhängigkeit der gegebenen Input-Parameter berechnet \rightarrow `Jahreserzeugung.m`

Fragen zu Aufgabe 1.2 e.

- a. Erstellen Sie die Leistungsdauerlinie der PV-Erzeugung über das Jahr:
Sortieren Sie dazu die erzeugte Leistung vom Maximum bis zum Minimum.
- b. Plotten Sie die monatlichen Erträge der PV-Erzeugung (12 Werte).
- c. Ermitteln Sie jeweils die 5 Tage mit der minimalen und der maximalen PV-Erzeugung.
Geben Sie die Tage (Datum) und den energetischen Ertrag dieser Tage an.
- d. Stellen Sie in einem Diagramm die Anteile der Diffus-, Direkt- und der reflektierten Strahlung an jedem der 365 Tage dar (verwenden Sie dazu das File `plotStrahlungsanteile.m`).
- e. Berechnen Sie die durchschnittliche Stromproduktion für jede Stunde am Tag für die Monate Juni und Dezember. Erstellen Sie ein Diagramm mit Boxplots der Erzeugung für jede Stunde des Tages für die jeweiligen Monate.
 - Jeder Stundenwert besteht aus der Summe von vier Viertelstundenwerten.
 - Jeder Monat wird durch eine Matrix mit den Abmessungen *Stunden* x *Tage* dargestellt.
 - Der Input eines Boxplots ist eine Matrix.

Fragen zu Aufgabe 1.2 e.

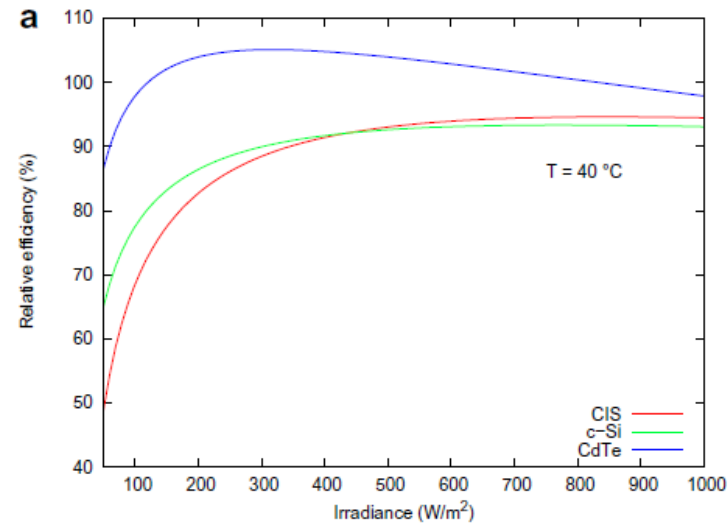
Gesucht: durchschnittliche Stromproduktion für jede Stunde am Tag für die Monate Juni und Dezember

- gemeint ist treffender ausgedrückt die **durchschnittliche Energie** für jede Stunde
- Ausschnitt der Variable `Eges` (siehe `Codegeruest_Uebung1.m`) jeweils für Juni und Dezember
- **Jeder Monat** (Juni und Dezember) soll jeweils durch eine **Matrix** mit den Abmessungen **Stunden x Tage** dargestellt werden → 24x30-Matrizen

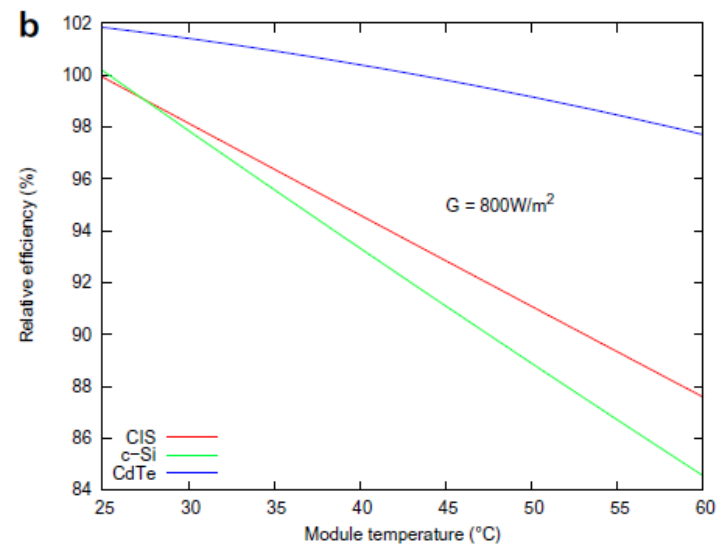
Gesucht: Diagramm mit Boxplots der Erzeugung für jede Stunde des Tages für jeweils Juni und Dezember

- `boxplot(X)`
- Diagramm soll für jede Stunde des Tages eine Box mit durchschnittlicher Energieerzeugung darstellen → 24 Boxen
- X-Achse: Stunden von 1 bis 24
- Y-Achse: Energieertrag
- Darstellung der **Transponierten der 24x30-Matrix**

Temperaturabhängigkeit



Source: Huld et.al.; Solar Energy; Seite 334



Modellierungsansatz siehe Huld et al, Seite 326

Wir betrachten nur c-Si Module (Crystalline silicon)

Temperaturabhängigkeit

Temperaturabhängiger Momentan-Wirkungsgrad:

$$\eta_{rel} = 1 + k_1 \ln(G') + k_2 \ln(G')^2 + T'(k_3 + k_4 \ln(G') + k_5 \ln(G')^2) + k_6 T'^2 \quad (2)$$

Mit $T' = T_{mod} - T_{mod_{STC}}$

$$T_{mod_{STC}} = 25^\circ C$$

$$T_{mod} = T_{amb} + c_T G \quad (3)$$

$$G' = G / G_{STC}$$

$$G_{STC} = 1000 W / m^2$$

STC... Standard Test Conditions

vgl. Huld et al (2010):

Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging

Temperaturabhängigkeit

Restliche Parameter:

G ... Einstrahlung

T_{amb} ... Umgebungstemperatur

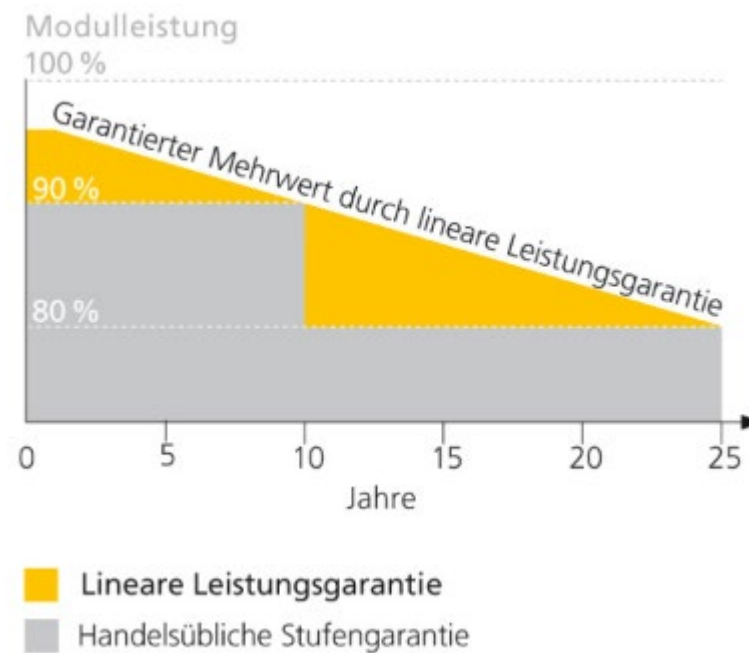
k_1, \dots, k_6 ... müssen über Messungen gefunden werden → Modell mit
Messdaten fitten

c_T ... beschreibt, wie sehr sich das Modul durch Einstrahlung erwärmt

- = Leistungsminderung des PV-Moduls im Laufe der Zeit
- Die meisten Hersteller geben eine Garantie an:
 - Für die ersten 10 Jahre wird ein Wirkungsgrad von 90% (vom ursprünglichen Wirkungsgrad aus betrachtet) garantiert
 - Darüber hinaus 80% des Wirkungsgrades
 - Garantie für 20 Jahre
 - Übliche Annahme: 0,5% pro Jahr
 - Aber: Degradation in vielen Fällen deutlich weniger (~0,1%)
 - Die Degradation wird für die ersten 20-25 Lebensjahre der Anlage untersucht.

Degradation

Beispielkurve für die Leistungsgarantie eines Herstellers (SolarFabrik, 2012):



Degradation

Kristalline Module (mono- sowie polykristalline Module):

- Anfangsdegradation von 1-2% in den ersten Tagen nach Inbetriebnahme
- Danach nur 0,1% pro Jahr

Dünnschichtzellen:

- Bis zu 25% in den ersten 1000 Betriebsstunden (Staebler-Wronski-Effekt)
- Danach kaum mehr

- a. Erweitern Sie das Modell, um die Berücksichtigung des Einflusses der Temperatur und der Einstrahlung auf den Wirkungsgrad des PV-Moduls (erweitern Sie Ihre Funktion aus [Aufgabe 1.1](#)).
- Siehe Huld et al. – Gleichung (2)
 - Annahmen:
 - Anlage am Dach – gut belüftet: $c_T = 0,026$ (für Gleichung (3))
 - Sonstige Verluste: $\eta_{\text{sonstige_Verluste}} = 0,8$
 - Modulwirkungsgrad: $\eta_{\text{Modul}} = 0,17$
 - Silizium-Zelle: Koeffizienten $k_x, x = 1, \dots, 6$ siehe Huld et al. - Table 1 – Seite 329
 - Verwenden Sie für die Berechnung des Sonnenstands das File `SonnenstandTST.m` und das Strahlungsfile `Strahlung.mat` sowie das File `Temperatur.mat`
 - Verwenden Sie die gruppenspezifischen Angaben aus [Aufgabe 1](#).
- b. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit jenen aus [Aufgabe 1](#). Wie verändert sich die Verteilung der Erzeugung über die Jahreszeiten und innerhalb des Tages im Vergleich zum vereinfachten Ansatz ohne Berücksichtigung von Temperatur- und Strahlungseinfluss auf den Wirkungsgrad? Stellen Sie dazu die monatlichen Erträge gegenüber sowie die durchschnittlichen stündlichen Werte.

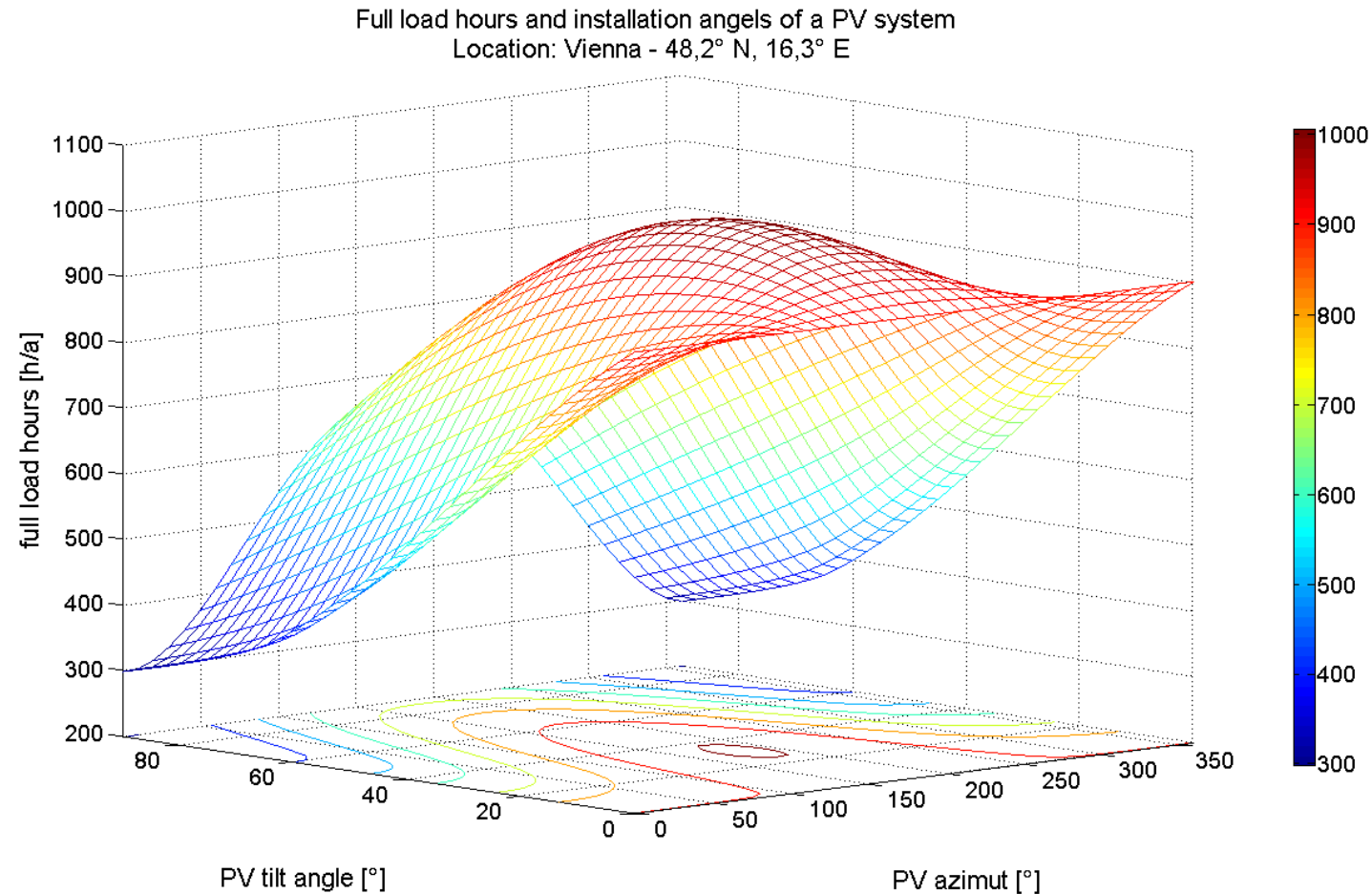
Aufgabe 2.1 – Einfluss von Temperatur und Strahlung

- Tragen Sie die gruppenspezifischen Parameter ins file `Parameter.m` ein:

Gruppe	Installierte Leistung	Ausrichtung			PV-Höhenwinkel	
A	1 kWp	Süden			30°	
B	1 kWp	Süden				20°
C	1 kWp		Westen		30°	
D	1 kWp		Westen			20°
F	1 kWp			Osten	30°	
G	1 kWp			Osten		20°

Einfluss des Aufstellwinkels

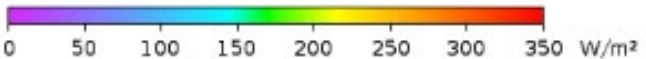
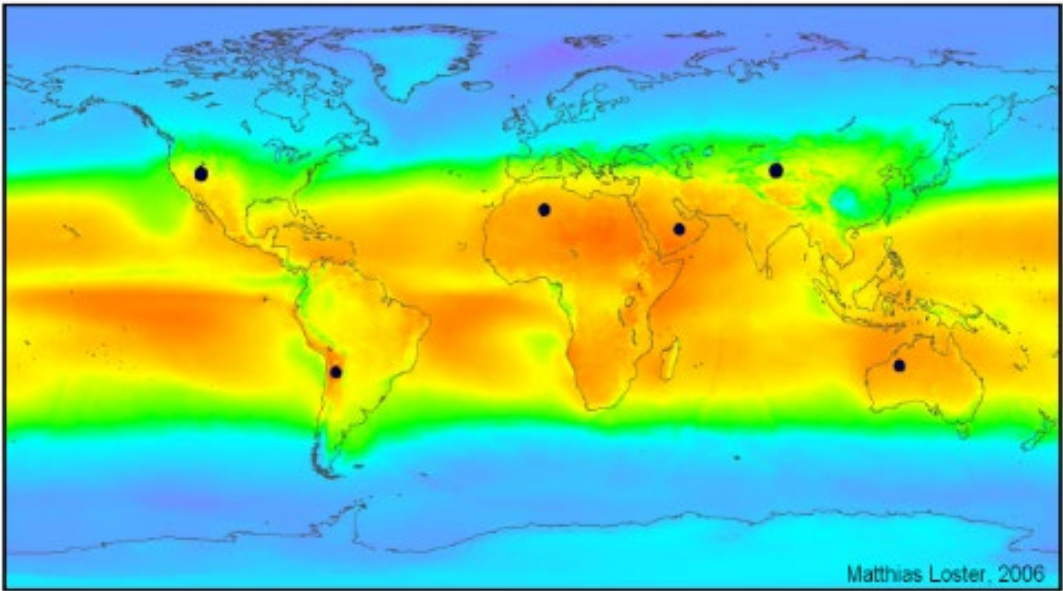
Diagramm Volllaststunden in Abhängigkeit von Höhenwinkel und Azimut



Aufgabe 2.2 – Einfluss des Aufstellwinkels

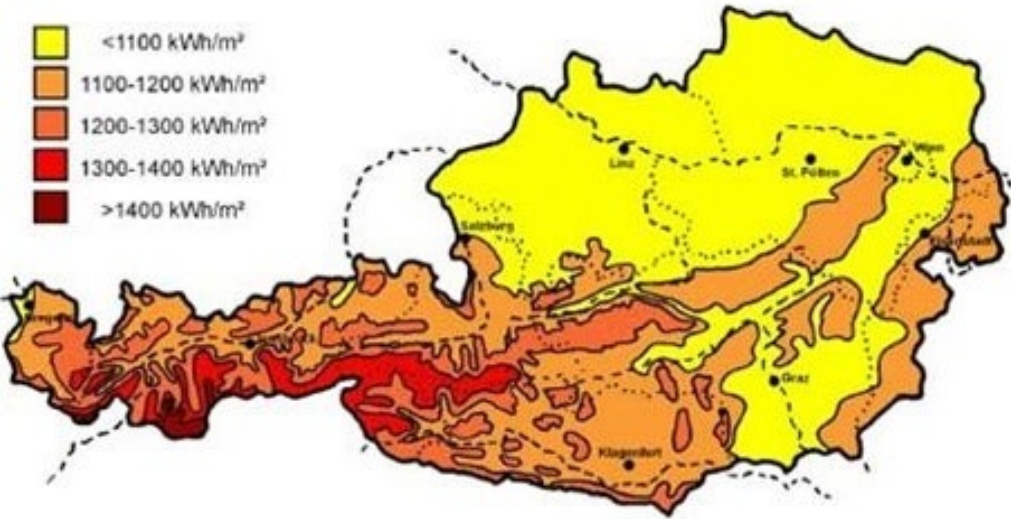
- a. Berechnen Sie die Erzeugung einer 1 kW_{peak} Anlage (in Wien) unter Abhängigkeit des Aufstellwinkels (mit Temperatureinfluss). Variieren Sie den Neigungswinkel der Anlage von 0° bis 90° in 2.5°-Intervallen und den Azimut der Anlage von 0° bis 360° in 10°-Schritten.
- b. Stellen Sie die Volllaststunden der Anlage in Abhängigkeit der Aufstellwinkel in einer 3D-Grafik dar. Verwenden Sie dazu einmal die Plot-Funktion `meshc` und einmal `contour`, um ISO-Ertragslinien darzustellen.
 - Bei welcher Winkelkombination erhalten Sie den höchsten Ertrag?
 - Zeichnen Sie diesen Punkt in den beiden Darstellungen ein!
- c. Wiederholen Sie die 3D-Berechnung und Darstellung einmal für den Monat Juni und einmal für Dezember.
 - Was beobachten Sie?
 - Welche Winkelkombinationen würden Sie für die diese beiden Monate empfehlen?

Sonneneinstrahlung weltweit



$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$

Mittlere jährliche Summe der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche



 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik - Abteilung für Klimatologie

Globalstrahlung in Wien:

<https://meteo.boku.ac.at/wetter/aktuell/>

Aufgabe 2.3 – Einfluss von Standorten

Vergleichen Sie die Erzeugung einer 1 kW_{peak} Anlage von 2 zusätzlichen (möglichst unterschiedlichen) Standorten in Europa mit der von Wien. Die Strahlungs- und Temperaturdaten sind für das Jahr 2005 auf <http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/helioclim-3-archives-for-free> verfügbar.

- a. Vergleichen Sie die Erzeugung der Standorte und zeigen Sie die wesentlichen Unterschiede zwischen den Standorten:
 - gesamte Jahreserzeugung und Volllaststunden
 - durchschnittliche Tagesproduktion (→ 24 Werte pro Standort)
- b. Stellen Sie die Volllaststunden der Anlagen in Abhängigkeit der Aufstellwinkel in einer Grafik dar. Welche Unterschiede erkennen Sie? Wo liegen jeweils die optimalen Winkelkombinationen für jeden Standort?
- c. Beschreiben Sie die Gründe, warum die Erzeugung aus PV-Anlagen an unterschiedlichen Standorten zeitliche (tageszeitliche und saisonale) Unterschiede aufweist.

Aufgabe 2.3 – Einfluss von Standorten

<http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/helioclim-3-archives-for-free:>

HELIOCLIM-3 DEMO

Max Extent | Back | Next | Search Address: 🔍

Coord: x = 765, y = 150 | lat = 45.24369, lon = 21.80273 | zoom = 3

HelioClim-3 Version: hc3v5 (recommended)

Add meteo data NEW: False

Latitude (in [-66°, 66°]): Select point in map

Longitude (in [-66°, 66°]): Select point in map

Altitude (in meters. Automatic if empty): Automatic

Start Date (from 2004-02-01): 2005-01-01

End Date (up to 2006-12-31): 2005-12-31

Time Step: 15 min

Time Reference: True Solar Time (meteo data not ...)

Compute Relief Shadows (if lat < 60°): True (recommended)

Plane mode ?: Fixed tilted plane

Tilt (in [0°, 90°]) ?: 30

Azimuth (0°:North, 90°:East, 180°:South ...) ?: 180

Albedo (in [0, 1]): 0.2

Output Format NEW ?: Unified csv (recommended)

Process

Aufgabe 2.3 – Einfluss von Standorten

- Plane Mode: Fixed tilted plane
 - Damit man anteilmäßig Diffus- und Direktstrahlung bekommt
 - Es werden nur die horizontalen Daten benötigt, da die Strahlung auf die geneigte Fläche vom Modell berechnet wird
 - Die inclined Daten können zum Vergleich der Daten mit dem Modell benutzt werden
- Add Meteo Data: False
 - Damit man TST auswählen kann (sonst nur UTC möglich)
- Time Reference: TST (True Solar Time)
- Zeitraum: 01.01.2005 - 31.12.2005
- Time Step: 15 min
- Koordinaten eingeben
- Auf „Process“ klicken
- .csv-Datei laden und speichern

Aufgabe 2.3 – Einfluss von Standorten

- Als .xlsx-Datei speichern
- Löschen Sie die ersten Zeilen, sodass in der ersten Zeile die Bezeichnungen der einzelnen Strahlungsarten stehen
- Löschen Sie auch die Spalten *Date* und *Time*, da diese in `time.mat` vorhanden sind

<

Aufgabe 2.3 – Einfluss von Standorten

- Nehmen Sie das file `Load_Strahlung.m`
- Ändern Sie in der Zeile `Strahlung = dataset(...)` den Dateinamen und Pfad auf Ihre .xlsx-Datei und dessen Speicherort auf Ihrem Computer
- Führen Sie `Load_Strahlung.m` aus und speichern Sie `Strahlung.mat`
- Das Skript führt auch eine kleine Fehlerkorrektur für nicht vorhandene Daten durch

Abgabe

1. Protokoll

- Das Protokoll beinhaltet:
 - Ergebnisse und Lösungsweg kommentieren
 - Ergebnisse, bevorzugt auch in graphischer Darstellung
 - Schlussfolgerungen
 - Überflüssigen Text vermeiden, max. 10-15 Seiten
- Das Erscheinungsbild und die wissenschaftliche Gestaltung des Protokolls wird in die Beurteilung miteinbezogen.
 - <https://www.wissenschaftliches-arbeiten.org/>
 - Kriterien: Inhaltsverzeichnis, Abbildung- und Tabellenbeschriftung, Verweise, Modellbeschreibung, Lesbarkeit...
- Eine LaTeX Vorlage finden Sie im TUWEL (nicht verpflichtend).
- Abgabe des Protokolls als pdf Datei.

2. Ausführbarer Matlab Code

Als Gruppenabgabe (Protokoll + Code gemeinsam als zip-Datei) ins TUWEL hochladen!

Deadline: 25.05.2020, 23:59 (keine spätere Abgabe möglich)

Fragen: glatt@eeg.tuwien.ac.at

Nächste Einheit 19.05.2020

Investitionsrechnung für Haushalte:

- Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung
- Siehe Vorlesung Reinhard Haas 28.04.2020 als Vorbereitung