

Fachvertiefung Energiesysteme – Sonneneinstrahlung und Photovoltaik Teil 1

Anne Glatt
05.05.2020

Agenda

1. Modellierung Photovoltaik Teil 1
2. Übung 1
3. Einführung in die Arbeit in Matlab
4. Gruppenarbeit

Beurteilung

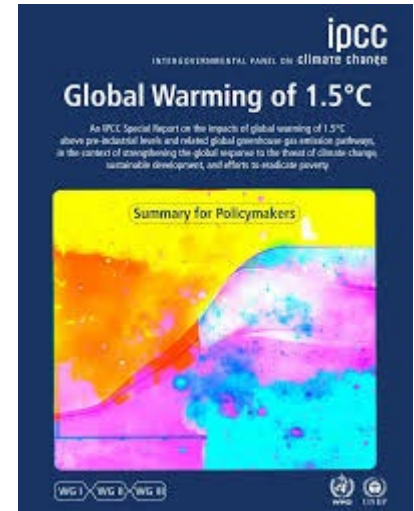
- Um eine positive Zeugnisnote für die Lehrveranstaltung zu erhalten, muss der EEG-Teil positiv absolviert werden.
- Der EEG-Teil macht 50% der Gesamtnote der Lehrveranstaltung aus.
- Um den EEG-Teil positiv zu absolvieren, müssen mindestens 50% der Punkte auf die Protokolle erreicht werden und alle einzelnen Protokolle positiv beurteilt sein.
- Benotet wird:
 - Die Richtigkeit der Ergebnisse im Protokoll
 - Gestaltung der Protokolle: Vollständigkeit der Ergebnisse, Abbildungen, Erklärungen und Interpretationen
 - Matlab-Code: Muss ausführbar, selbstständig erarbeitet und vollständig sein (beurteilt wird nicht die Effizienz oder „Schönheit“ des Codes, er muss die Aufgabenstellung richtig erfüllen können)

IPCC Special Report on Global Warming of 1.5°C:

- Bis 2030 müssen die Treibhausgasemissionen um 45% verringert werden im Vergleich zu 2010
- Bis 2050 sogar um 100%
- Energiegewinnung aus Kohle: Von 40% (heute) auf 1-7%
- Wind und Solar auf 67%

Mission 2030 in Österreich:

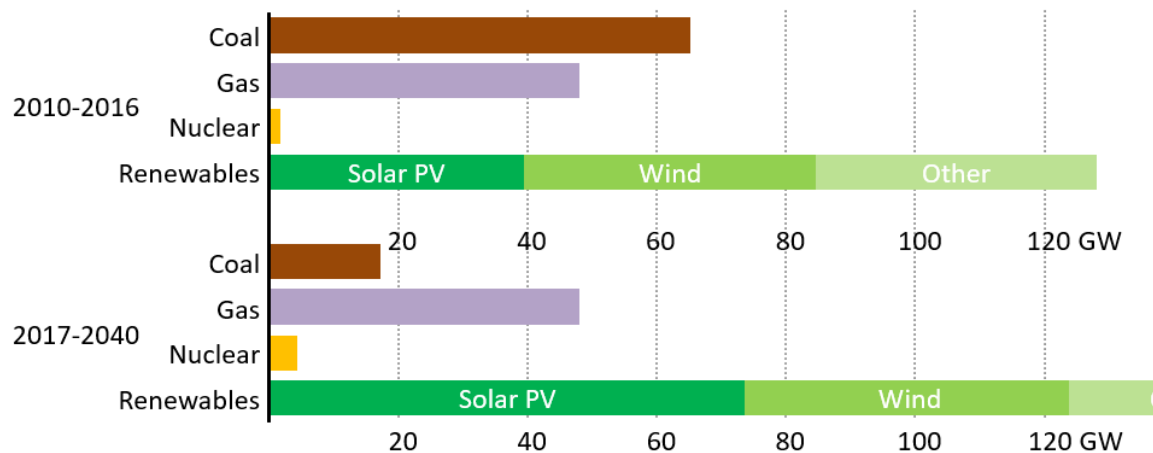
- Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 36% im Vergleich zu 2005
- Strom zu 100% aus erneuerbaren Energiequellen



Solar PV forges ahead in the global power mix

World
Energy
Outlook
2017

Global average annual net capacity additions by type



China, India & the US lead the charge for solar PV, while Europe is a frontrunner for onshore & offshore wind: rising shares of solar & wind require more flexibility to match power demand & supply

© OECD/IEA 2017

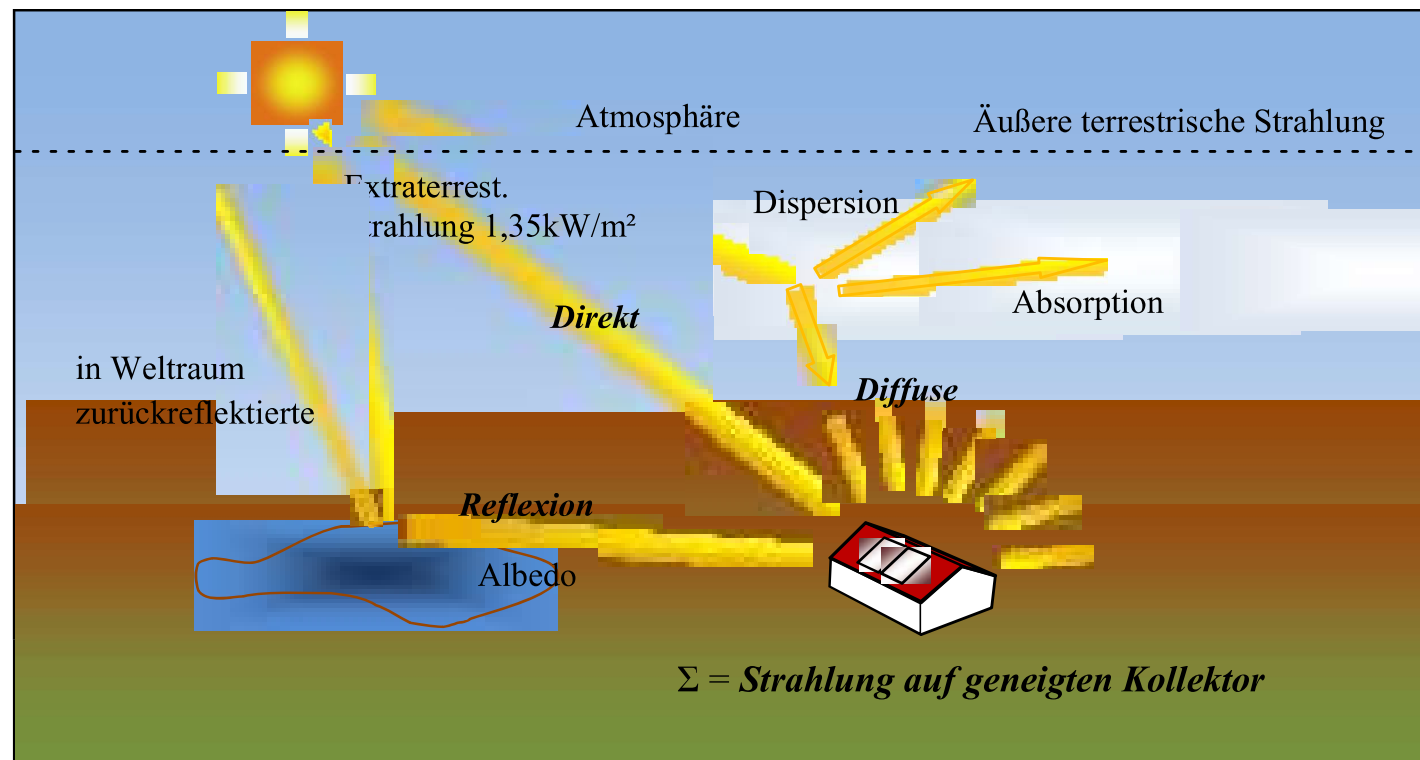
Slide generously provided by Dr. Fatih Birol

Welche Parameter benötigt man?

1. Sonnenstand: Einfallswinkel auf geneigte Fläche
2. PV-Anlage: Größe, Wirkungsgrad, Ausrichtung,...

Globalstrahlung besteht aus:

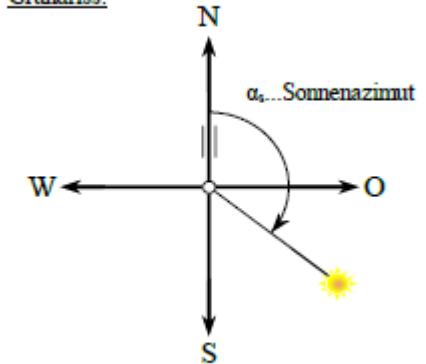
- Direktstrahlung: über den direkten Weg eintreffende Solarstrahlung
- Diffusstrahlung: entsteht durch Dispersion an Wolken, Wasser- und Staubteilchen
- Reflektierte Strahlung: jener Anteil, der über Reflexion eintrifft



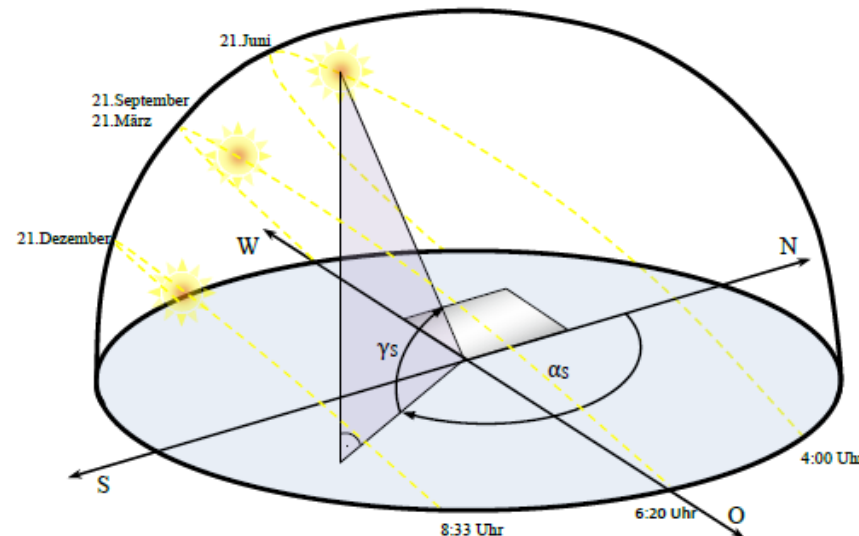
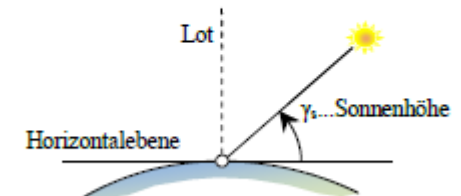
Sonnenstand

- Sonnenazimut (α_s): Winkel zwischen der geographischen Nordrichtung und dem Vertikalkreis durch den Sonnenmittelpunkt
 - Norden: 0°
 - Osten: 90°
 - Süden: 180°
 - Westen: 270°
- Sonnenhöhe (γ_s): Winkel zwischen dem Sonnenmittelpunkt und der Horizontalebene - vom Beobachter aus betrachtet

Grundriss:

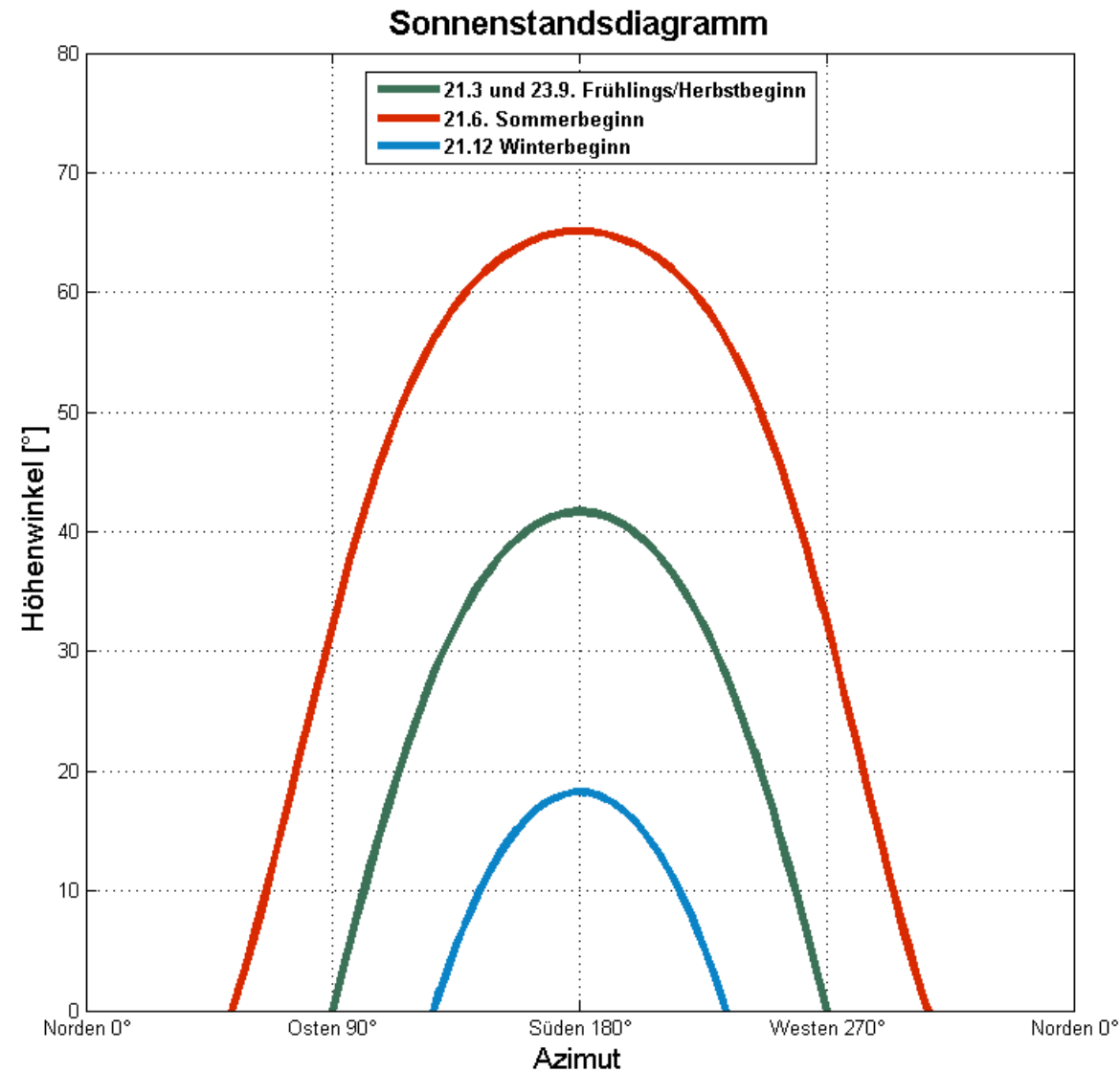


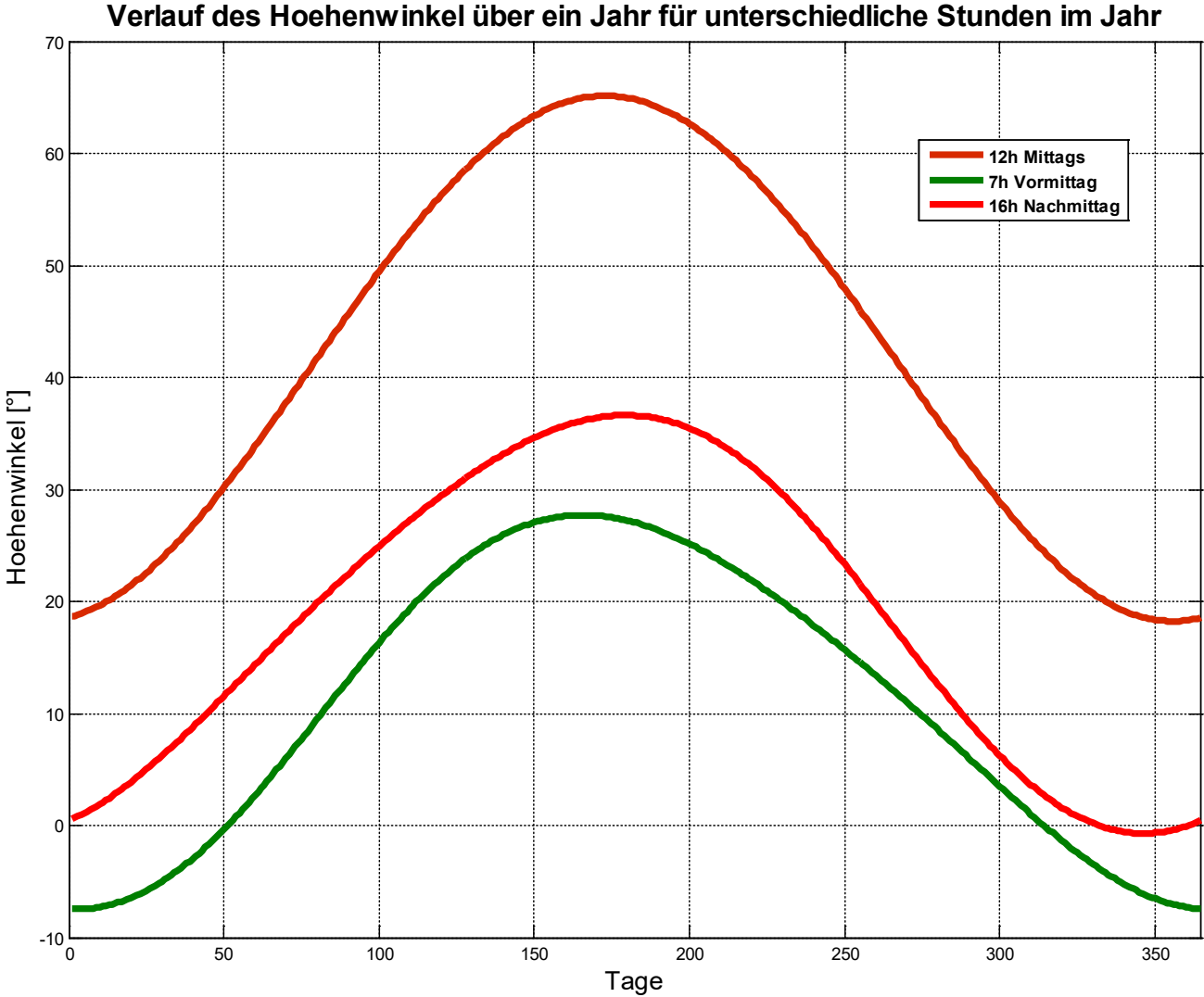
Aufriss:



Sonnenstand

Jahreszeitliche Abhängigkeit der Winkel in der nördlichen Hemisphäre





Sonnenstand: Azimut und Höhenwinkel

Azimut α_S und Höhenwinkel γ_S der Sonne sind definiert als:

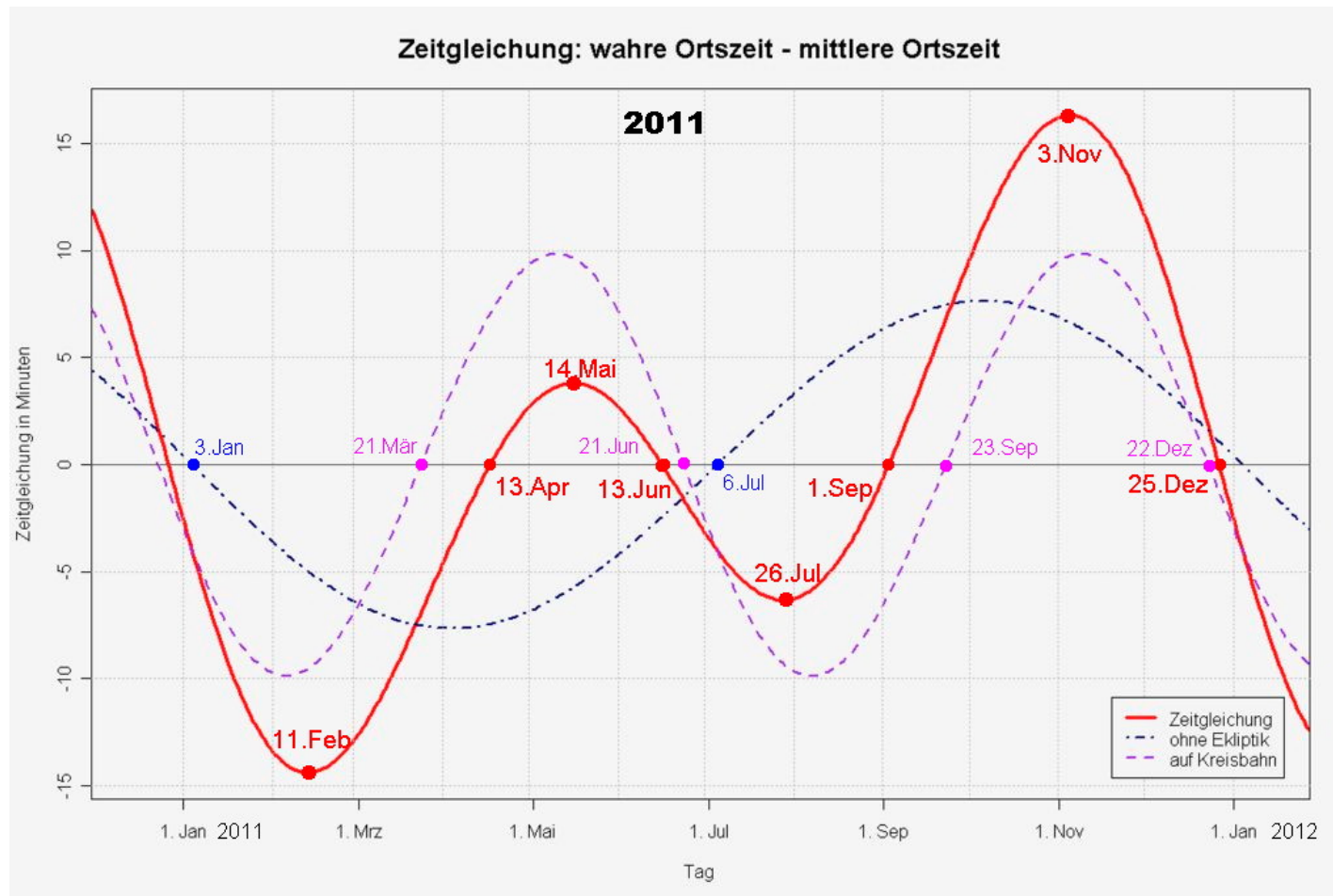
$$\alpha_S = 180^\circ + \arctan \left(\frac{-\cos(\delta) \cdot \sin(\sigma)}{-\cos(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\sigma) - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi)} \right)$$

$$\gamma_S = \arcsin(\sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) - \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\sigma))$$

→ Wie kommt man zu δ , σ und φ ?

Sonnenstand: Zeitgleichung

$$ZG = WOZ - MOZ$$



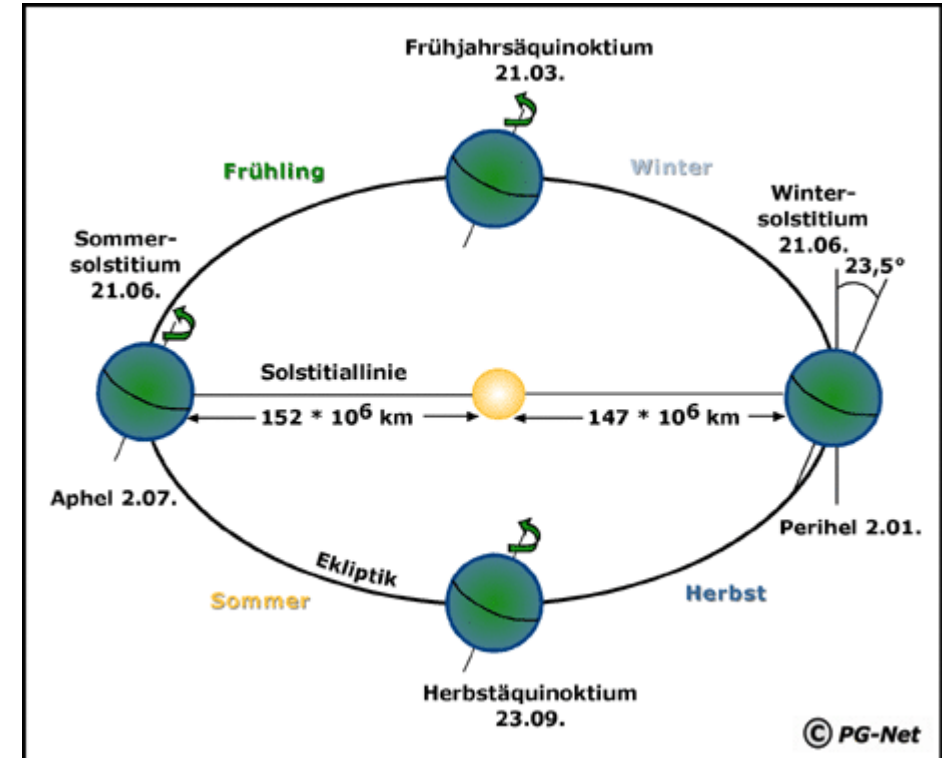
Quelle: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zeitgleichung_mit_Datumsangaben.jpg

Siehe: <http://www.soda-is.com/eng/education/times.html>

Sonnenstand: Zeitgleichung

2 Ursachen:

- **Elliptische Bahn** der Erde um die Sonne
 - Perihel (sonnennächster Punkt, am 4.1.2020): Erde hat von der Sonne aus gesehen die höchste Winkelgeschwindigkeit, legt einen größeren Winkel zurück und muss daher eine größere Drehung machen
 - Aphel (sonnenfernster Punkt, am 4.7.2020): niedrigste Winkelgeschwindigkeit, kleinerer Winkel innerhalb eines Tages zurückgelegt, kleinere Drehung
- **Geneigte Erdachse:** Winkel zwischen Erdachse und Normale auf die Erdbahn $\sim 23,45^\circ$
 - Zur Tag-/Nacht-Gleiche von der Sonne aus gesehen $\sim 23,45^\circ$
 - Zur Sonnenwende von der Sonne aus gesehen 0°



Sonnenstand: Zeitgleichung

Wahre Ortszeit:

$$WOZ = MEZ + z + \frac{1 \cdot [h]}{15^\circ} \cdot \lambda - 1 \cdot [h]$$

τ	...	Hilfswinkel in $[\circ]$
WOZ	...	wahre Ortszeit in [h]
MEZ	...	Mitteleuropäische Zeit (Normalzeit am Standort) in [h]
λ	...	Geo. Länge des Standortes in $[\circ]$
φ	...	Geo. Breite des Standortes in $[\circ]$

Zeitgleichung:

$$\begin{aligned} z = & 0,008 \cdot \cos(\tau) - 0,122 \cdot \sin(\tau) - \\ & - 0,052 \cdot \cos(2 \cdot \tau) - 0,157 \cdot \sin(2 \cdot \tau) - \\ & - 0,001 \cdot \cos(3 \cdot \tau) - 0,005 \cdot \sin(3 \cdot \tau) \end{aligned}$$

z ... Zeitgleichung in [h]

Hilfswinkel:

$$\tau = \frac{360^\circ}{365 \cdot [d]} \cdot n$$

Sonnenstand

Stundenwinkel σ (in $^\circ$):
$$\sigma = \frac{15}{1 \cdot [h]} \cdot WOZ$$

Ekliptikale Länge ω (in $^\circ$):

$$\omega = \frac{0,98630}{1 \cdot [d]} \cdot (n - 2,8749 \cdot [d]) + 1,9137 \cdot \sin \left(\frac{0,98630}{1 \cdot [d]} \cdot (n - 2,8749 \cdot [d]) \right) + 102,06$$

Sonnendeklination δ (in $^\circ$):
$$\delta = \arcsin(-0,3979 \cdot \sin(\omega))$$

Sonnenazimut und Höhenwinkel:

$$\alpha_S = 180^\circ + \arctan \left(\frac{-\cos(\delta) \cdot \sin(\sigma)}{-\cos(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\sigma) - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi)} \right)$$

$$\gamma_S = \arcsin(\sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) - \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\sigma))$$

Moduleinflallswinkel Θ_{gen}

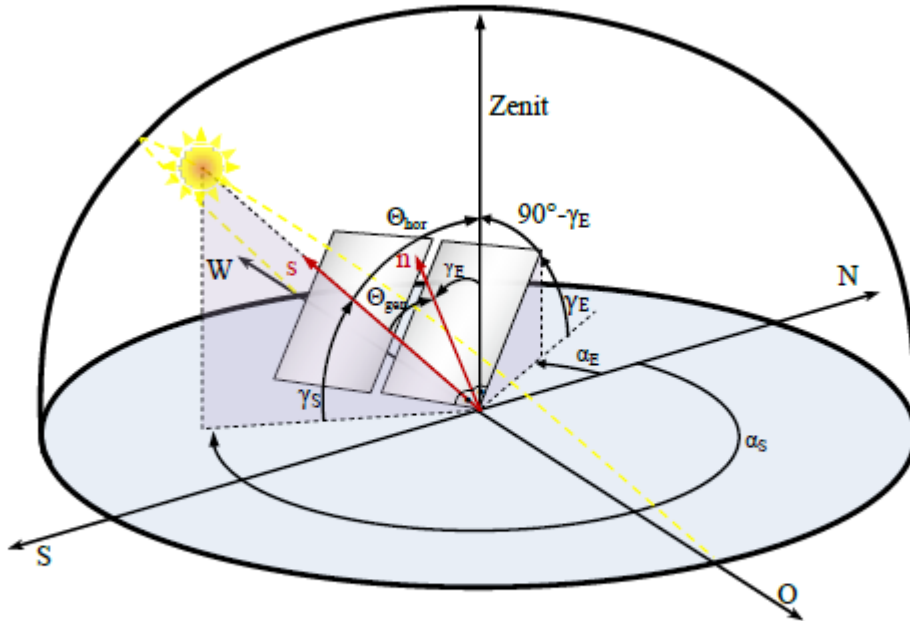


Abbildung 3.2.: Darstellung des Einfall- und Moduleinflallswinkel

α_S ... Sonnenazimut

γ_S ... Sonnenhöhe

α_E ... Modulazimut

γ_E ... Modulneigungswinkel

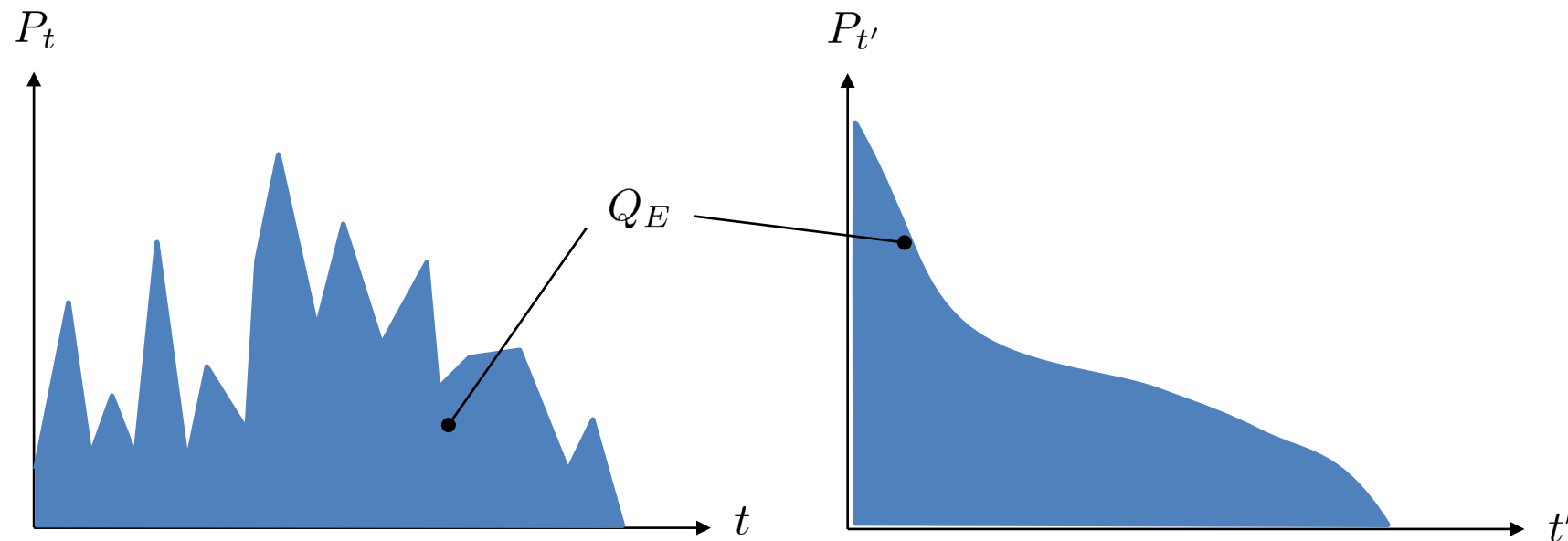
Θ_{gen} ... Moduleinflallswinkel
(Winkel zwischen
Sonnenvektor \vec{s} und
Flächennormale \vec{n} des
Moduls)

Moduleinfallswinkel Θ_{gen}

- Unter der Annahme Südausrichtung = 0°
 - $\Theta_{gen} = \arccos[-\cos(\gamma_S) * \sin(\gamma_E) * \cos(\alpha_S - \alpha_E) + \sin(\gamma_S) * \cos(\gamma_E)]$
- Unter der Annahme Südausrichtung = 180°
 - $\Theta_{gen} = \arccos[-\cos(\gamma_S) * \sin(\gamma_E) * \cos(\alpha_S - \alpha_E - 180^\circ) + \sin(\gamma_S) * \cos(\gamma_E)]$

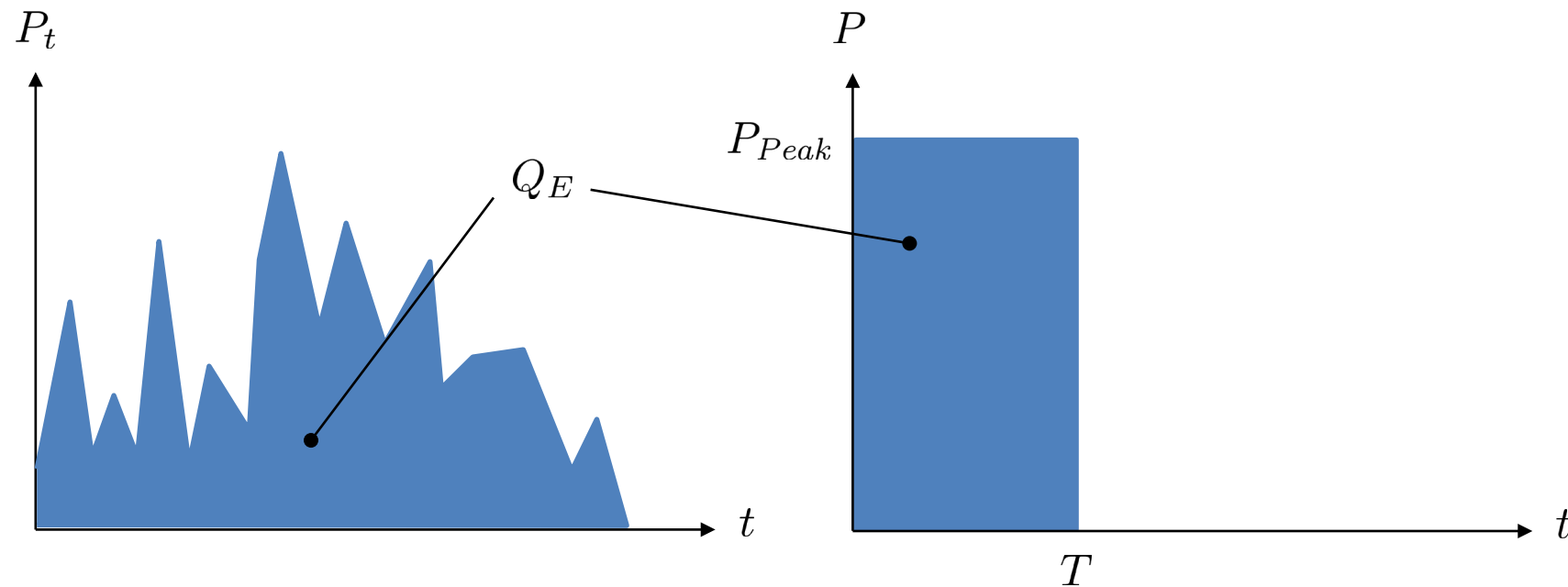
Leistungsdauerlinie

- Sortiert die produzierte Leistung (z.B. eines Jahres) nach der Größe
- Energieinhalt Q_E bleibt derselbe
- Leistung (W), nicht die Energie (Wh), wird sortiert



Volllaststunden

- Maß, um die Auslastung/Produktion einer Anlage zu bewerten.
- $$T = \frac{Q_E}{P_{peak}} = \frac{\sum_{t=1}^T E_t}{P_{peak}}$$



- 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)

Aufgabe 1.1

- b) Berechnen Sie mit Hilfe der Funktion aus a) den gesamten Jahresertrag 2005 und die Volllaststunden einer 1 kWp Anlage in Wien.
- Strahlungsdaten aus Datei `Strahlung.mat` (Koordinaten Wien: 48,2°N; 16,3°O)
 - Neigungswinkel der Anlage: 20° oder 30°
 - Azimut der Anlage: 90° (Osten), 180° (Süden) oder 270°(Westen)
 - Verwenden Sie für die Berechnung des Sonnenstands das File `SonnenstandTST.m`
 - 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°

Aufgabe 1.1 – Annahmen

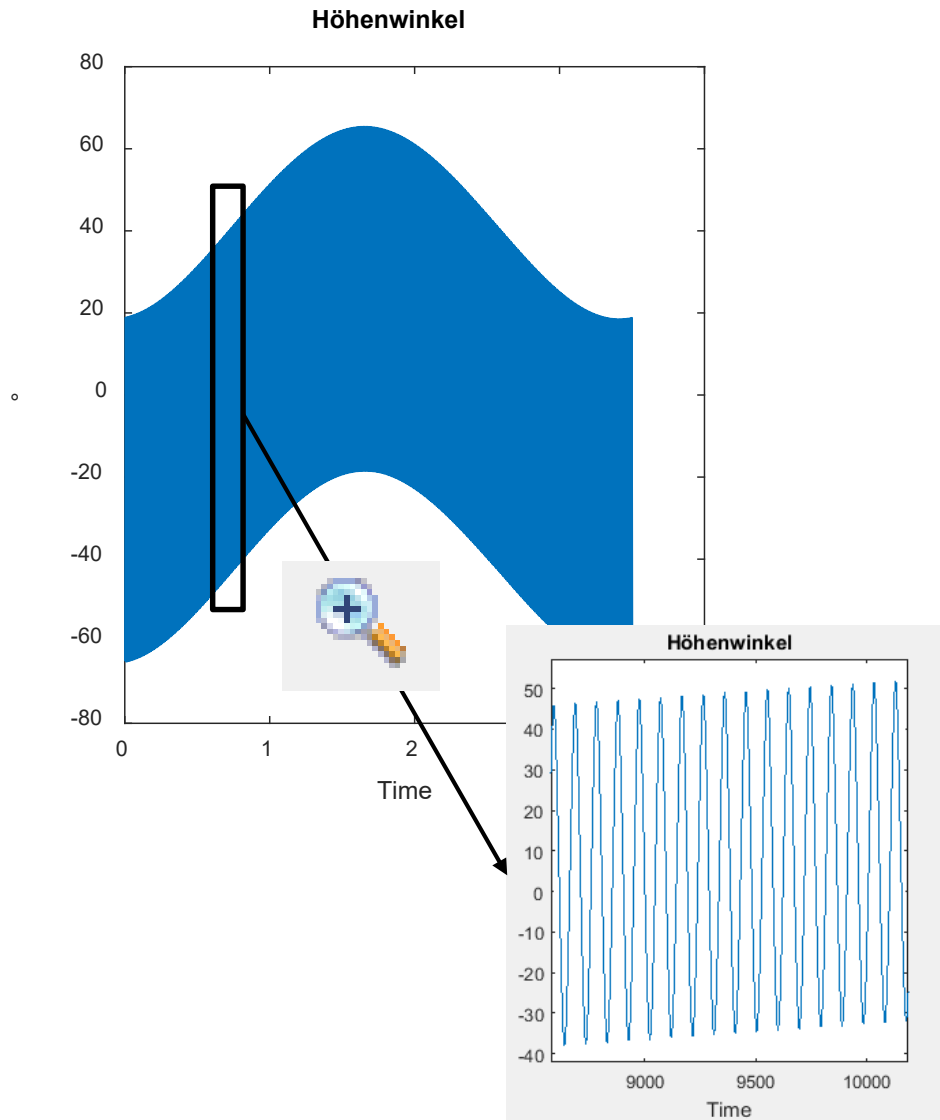
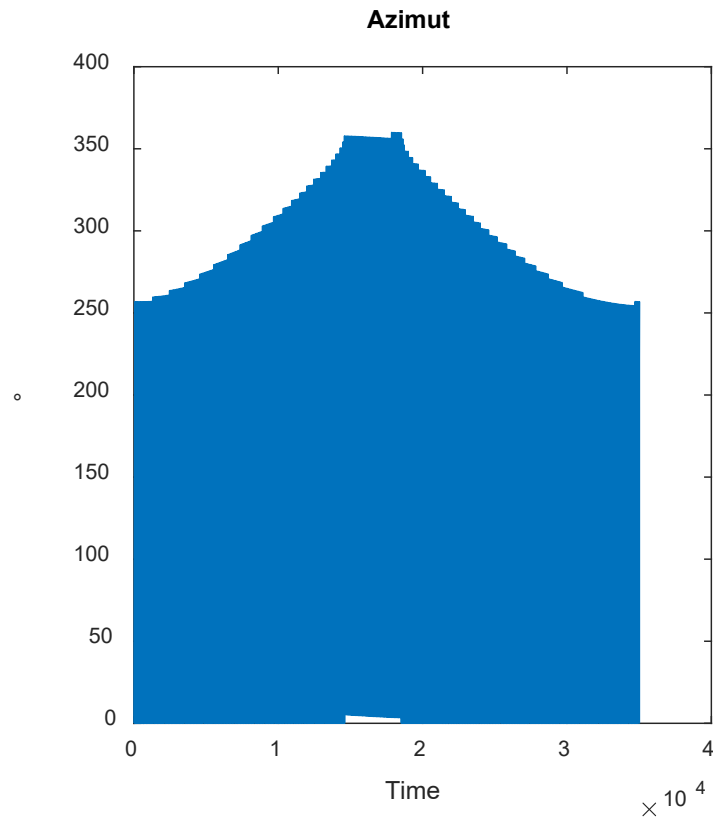
- Modulwirkungsgrad: $\eta_{Modul} = 0.17$
- Sonstige Verluste: $\eta_{sonst} = 0.8$ (Reflexion, Temperatur, Wechselrichter, etc.)
- Standardtestbedingungen zur Bestimmung des Modulwirkungsgrades bzw. der Nennleistung P_{peak} (in W) Strahlungsleistung bei 25°C Modultemperatur.
 - $P_{peak} = R_{STC} * A * \eta_{Modul}$
- Vereinfachte Annahme für die Bestimmung des Ertrags der Anlage im Modell:
 - $E_{ges} = G_{geneigt} * A * \eta_{Modul} * \eta_{sonst}$
- Konstanter Wirkungsgrad
- Erträge bei einem Höhenwinkel unter 5° werden vernachlässigt
- Konstante Einstrahlung in den 15min Intervallen
- Norden 0°, Osten 90°, Süden 180°, Westen 270°

P	... Leistung der Anlage [W]
E	... Energie der Anlage [Wh/15min]
A	... Fläche der Anlage [m ²]
$G_{geneigt}$... Gesamte Strahlungsenergie auf geneigte Fläche [Wh/m ² *15min]
R_{STC}	... Strahlungsleistung von 1000 [W/m ²]

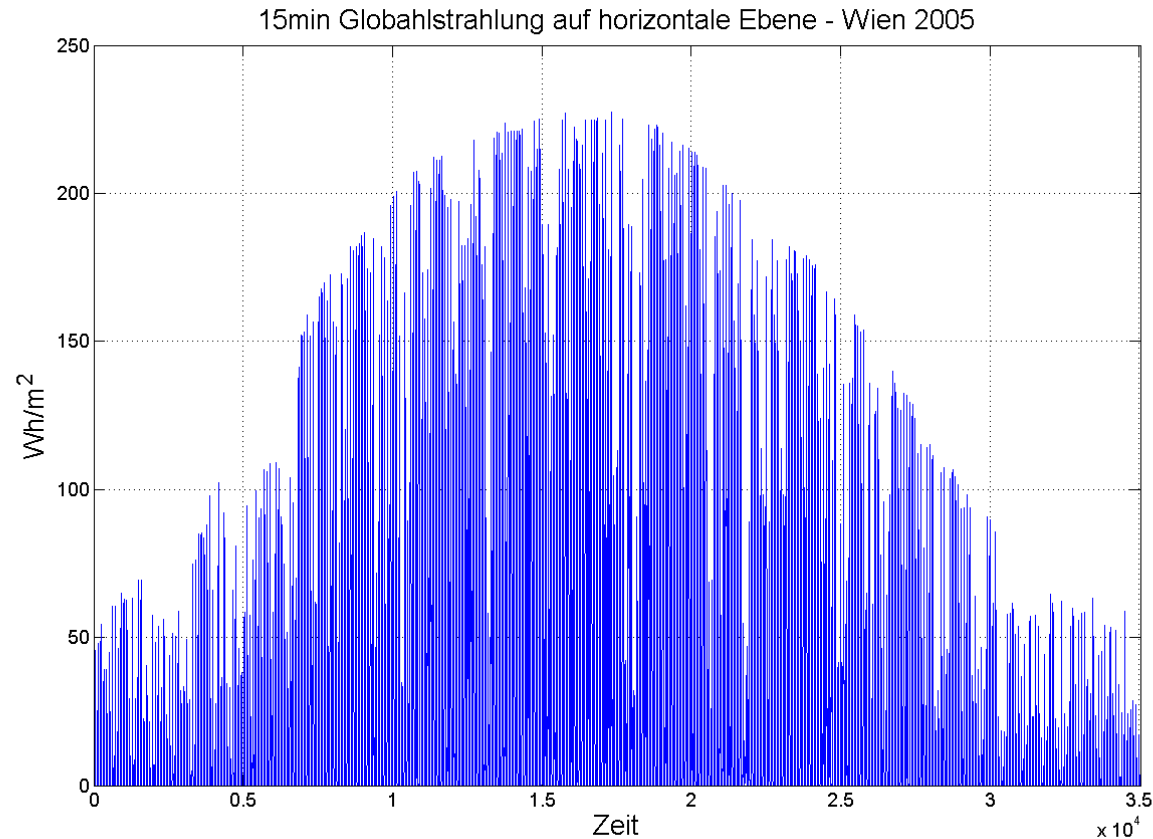
Aufgabe 1.1 – Annahmen

- Files zur Sonnenstandberechnung
 - `Parameter.m` (enthält Standort)
 - `Strahlung.mat`
 - `time.mat` (table mit Zeitstempel)
- Für weitere Berechnungen zum Ertrag einer PV-Anlage verwenden Sie vorerst die Funktion `SonnenstandTST.m`. Sie gibt den Sonnenstand (Höhenwinkel und Azimut) für ein Jahr in 15min-Intervallen (entsprechend der Aufteilung in `time.mat`) jeweils *als Vektor* wieder.
- Zeitabhängiger Azimuth und Höhenwinkel durch Funktionsaufruf
`[azimut, hoehenwinkel] = SonnenstandTST(16, 48, time)` erzeugt 2 Vektoren (azimut und hoehenwinkel) $\rightarrow \alpha_s, \gamma_s$

Plot der Winkel



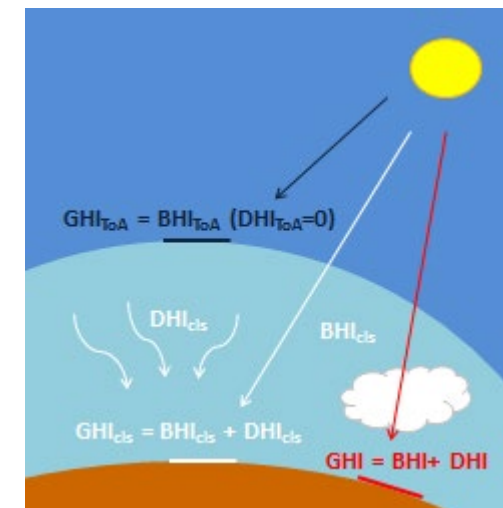
Plot der Winkel



Unterscheidung in Diffus- und Direktstrahlung: für geneigte Flächen kommt noch die von Oberflächen reflektierte Strahlung hinzu.
Siehe: Blabensteiner (2011), Eicker (2012)

Für das Modell verwenden wir das *Isotrope Diffusstrahlungsmodell*.

Annahme zum Reflexionskoeffizienten:
 $\rho=0.2$



Aufgabe 1.2

- 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.

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: 18.05.2020, 23:59 (keine spätere Abgabe möglich)