

Bedarfsorientierte Konzeptionierung von Photovoltaikanlagen

Martin Fürnschuß, Mike Alexander Lagler, Ernst Schmautzer
Institut für Elektrische Anlagen und Netze der TU Graz

16.02.2018

Agenda

- Motivation
- Einfluss der Sonnenstrahlung
- Konzeptionierung einer PV-Anlage anhand eines Beispiels:
 - Verschattungsanalyse
 - Elektrische Jahreserträge
 - Autonomiegrad/Eigenverbrauchsgrad
- Schlussfolgerungen

Motivation

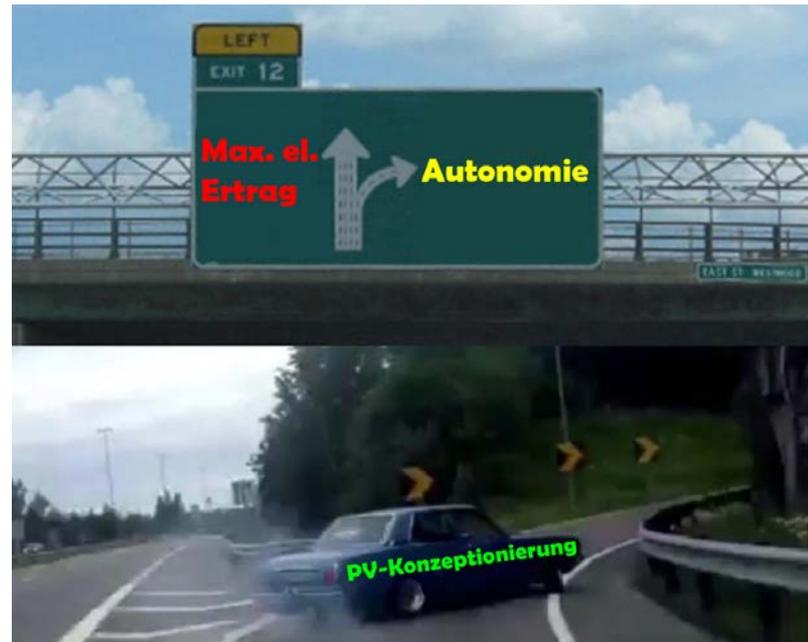
Bisher:

- Auslegung auf möglichst hohen elektrischen Ertrag
- Ausrichtung der PV-Module nach Süden
- Einspeisetarif 2005: $53,5 \text{ ct}/\text{kWh}$

(Quelle: e-Control)

Heute:

- Einspeisetarif sinkt
 - 2016: $8,24 \text{ ct}/\text{kWh}$
- Prosumer verlangen nach
 - hoher ökonomischer Effizienz und
 - hoher Autonomie
- Optimale Positionierung der PV-Module (azimutale Ausrichtung und Neigung) zur Deckung des Eigenbedarfs



Quelle: <http://i0.kym-cdn.com/photos/images/original/001/329/056/e96.jpg>

Sonnenstrahlung (1)

Messung der Bestrahlungsstärke auf horizontale Platte

⇒ **Globalstrahlung E_G**

$$[E_G] = W/m^2$$

E_G setzt sich zusammen aus

- Direktstrahlung E_{dir}
- Diffusstrahlung E_{diff}
- Reflektierte Strahlung E_{Refl}

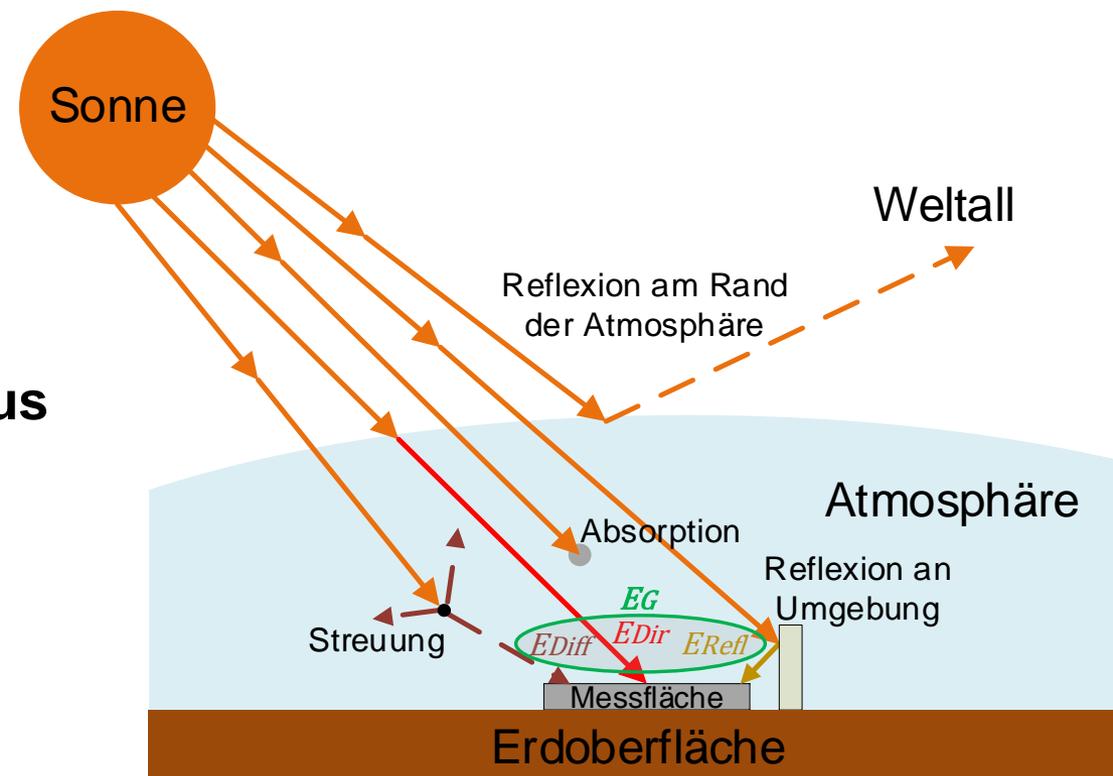


Abbildung 1: Aufteilung der Sonnenstrahlung

Sonnenstrahlung (2)

Globalstrahlung abhängig von

- Geografischen Standort
- Datum/Uhrzeit
- Wetter
- Sonnenstand

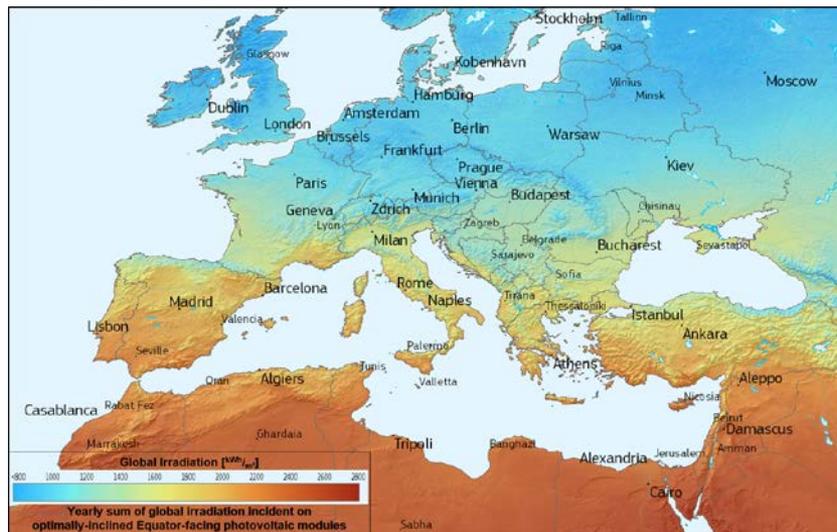


Abbildung 2: Einfallende Globalstrahlung pro Jahr auf Teile von Eurasien und Nordafrika [1]

Globalstrahlung dient zur Berechnung der Bestrahlungsstärke auf

- beliebig geneigte und
- azimutal ausgerichtete ebene Fläche.

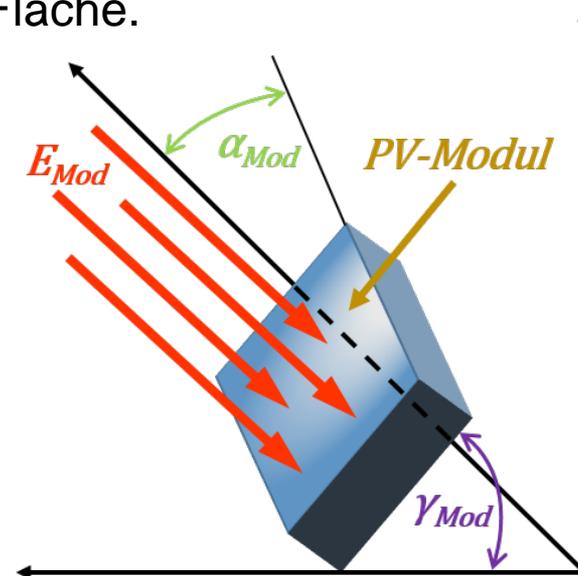


Abbildung 3: Auf PV-Modul auftreffende Sonnenstrahlung E_{Mod}

Konzeptionierung einer PV-Anlage (1)

Optimale Positionierung der PV-Module abhängig von:

- Lastprofil des Betreibers der PV-Anlage
- Horizontalverschattung durch umliegende Objekte
- Azimutaler Ausrichtung und Neigung der PV-Module
- Abstand zwischen den Modulreihen

Beispiel:

- Einfamilienhaus mit Flachdach:
 - 5 kWp PV-Anlage
 - Höhe $h = 7$ m
- Gebäude G_1 mit Flachdach; $h = 15$ m
- Gebäude G_2 mit Flachdach; $h = 20$ m
- Baum B_1 ; kegelförmig; $h = 11$ m

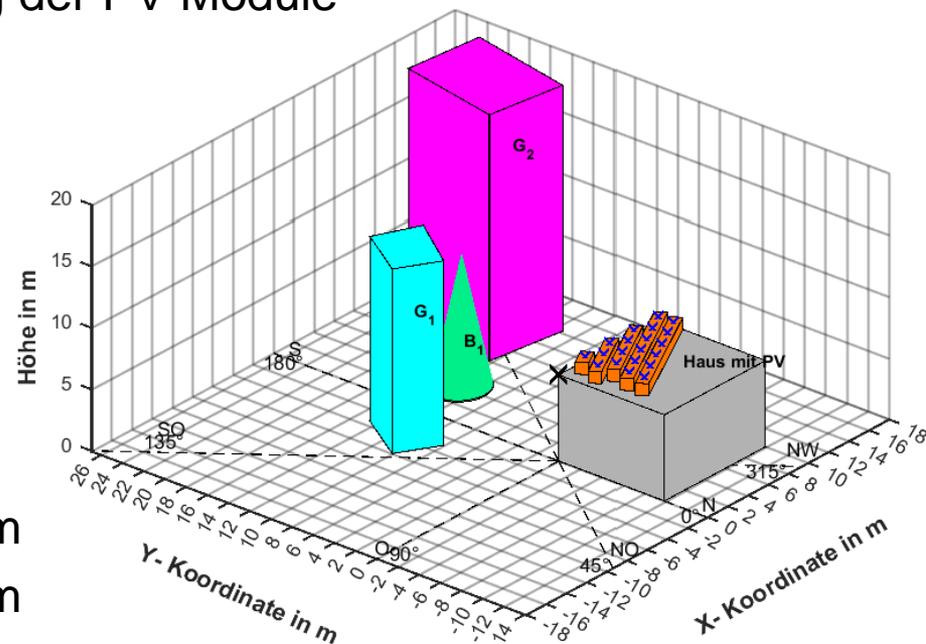


Abbildung 4: Anordnung eines Hauses mit PV-Anlage und umliegenden Objekten

Konzeptionierung einer PV-Anlage (2)

Vorgangswise:

- Iterative Drehung der PV-Module zwischen einer
 - Ost- ($\alpha_{Mod} = -90^\circ$) und
 - Westausrichtung ($\alpha_{Mod} = +90^\circ$).
- Wiederholung dieses Vorgangs für verschiedene
 - Neigungswinkel (γ_{Mod}) der PV-Module
 - sowie Reihenabständen (I_{Reihe}).
- Auswahl der optimalen Positionierung der PV-Module hinsichtlich
 - Autonomiegrad
 - Eigenverbrauchsgrad

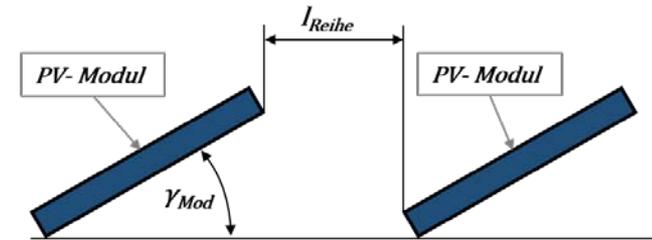


Abbildung 5: Definition des Reihenabstandes I_{Reihe} und des Neigungswinkels γ_{Mod}

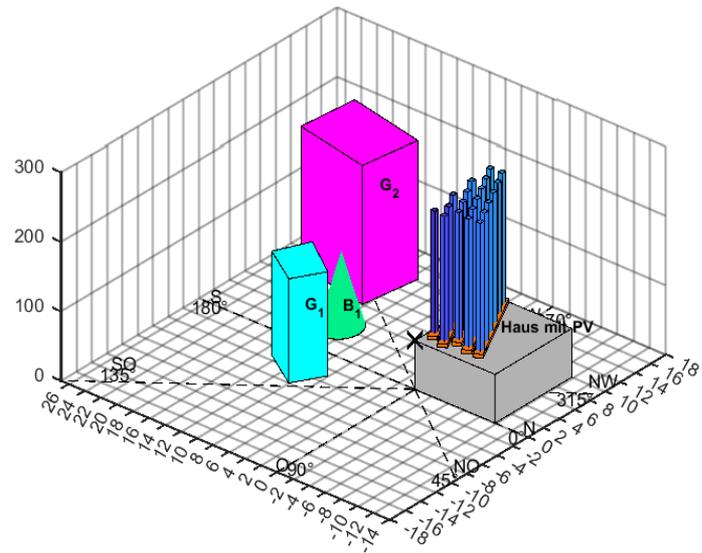
Modulneigung γ_{Mod}
$[\gamma_{Mod}] = 1^\circ$
0
25
30
35
40
45

Reihenabstand I_{Reihe}
$[I_{Reihe}] = \text{cm}$
0
25
50
100

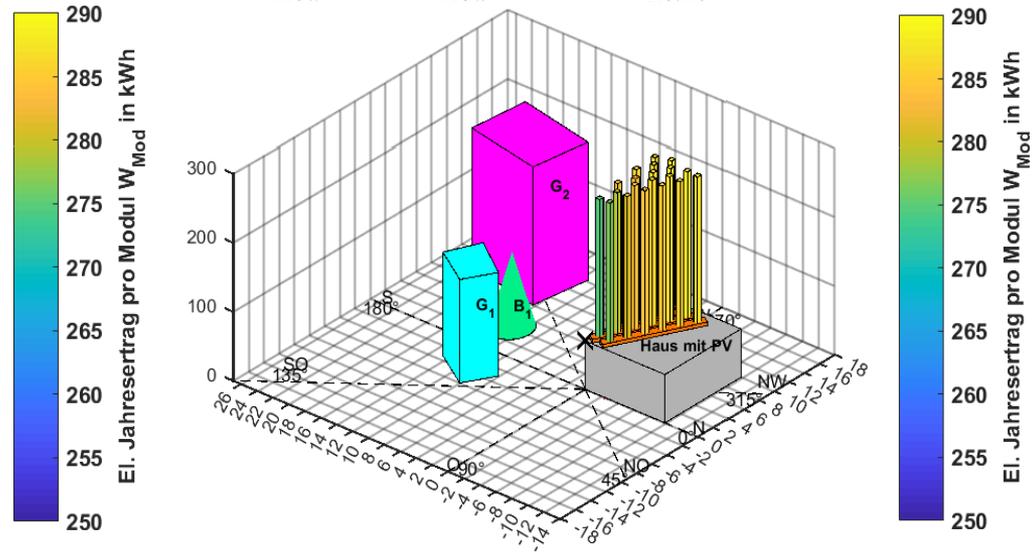
Konzeptionierung einer PV-Anlage (3)

Einfluss der Verschattung auf die elektrischen Jahreserträge pro Modul W_{Mod}

El. Jahreserträge pro Modul W_{Mod} für
 $\alpha_{Mod} = -30^\circ$, $\gamma_{Mod} = 25^\circ$ und $l_{Reihe} = 25\text{ cm}$



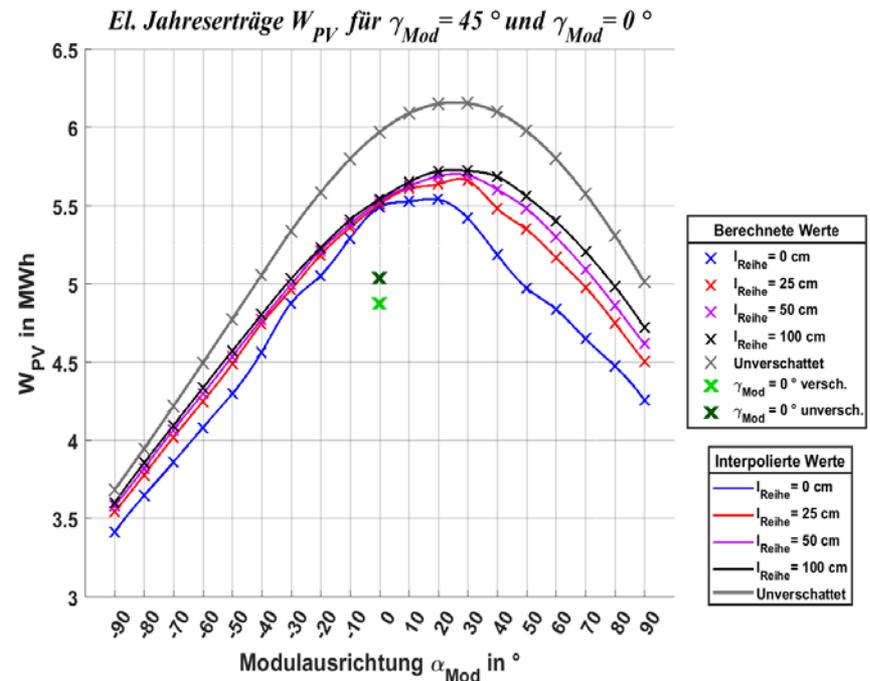
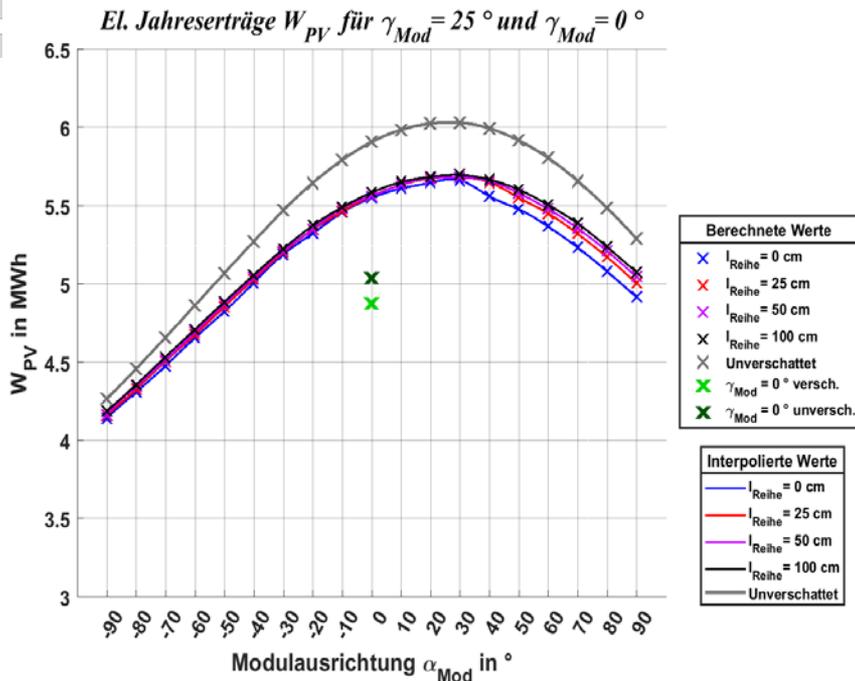
El. Jahreserträge pro Modul W_{Mod} für
 $\alpha_{Mod} = 30^\circ$, $\gamma_{Mod} = 25^\circ$ und $l_{Reihe} = 25\text{ cm}$



Steigerung des elektrischen Jahresertrages der PV-Anlage um **400 kWh / p.a.**

Konzeptionierung einer PV-Anlage (4)

Einfluss der Verschattung auf die elektrischen Jahreserträge der gesamten PV-Anlage W_{PV}



Maximum $W_{PV} = 5,78 \text{ MWh} / \text{p.a.}$

bei $\gamma_{Mod} = +35^\circ$, $\alpha_{Mod} = +30^\circ$ und $l_{Reihe} = 100 \text{ cm}$

Konzeptionierung einer PV-Anlage (5)

Bilanzierter Autonomiegrad A_{Bil} :

$$A_{Bil} = \frac{W_{PV}}{W_{Verbrauch}} = \frac{\int P_{PV}(t) dt}{\int P_{Verbrauch}(t) dt}$$

- Aussage über Deckung des Eigenenergieverbrauchs durch die PV-Anlage
- Nur über längeren Zeitraum (z.B. Kalenderjahr) sinnvoll
- $A_{Bil} \geq 0$

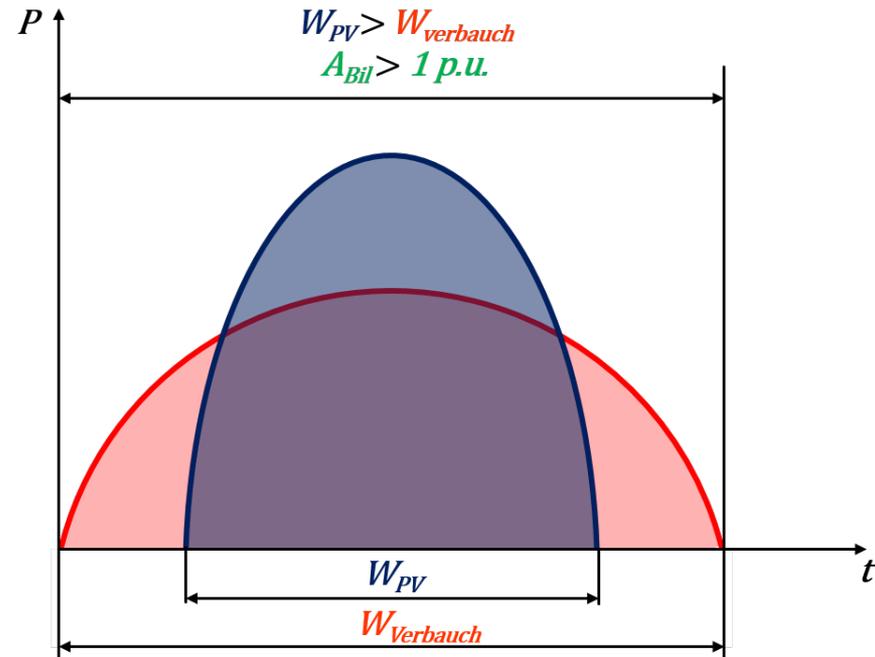


Abbildung 6: Definition des bilanzierten Autonomiegrades A_{Bil}

Konzeptionierung einer PV-Anlage (6)

Eigenverbrauchsgrad E_{Vg} :

$$E_{Vg} = \frac{\min\{W_{PV}, W_{Verbrauch}\}}{W_{PV}} = \frac{\int \min\{P_{PV}(t), P_{Verbrauch}(t)\} dt}{\int P_{PV}(t) dt}$$

- Aussage über die Eigennutzung der elektrischen Energie von der PV-Anlage
- Bildung in kurzen zeitlichen Abschnitten (z.B. 15-min-Intervall)
- Vergleichbare Werte durch Mittelwertbildung über längeren Zeitraum (Kalenderjahr)
- $0 \leq E_{Vg} \leq 1$

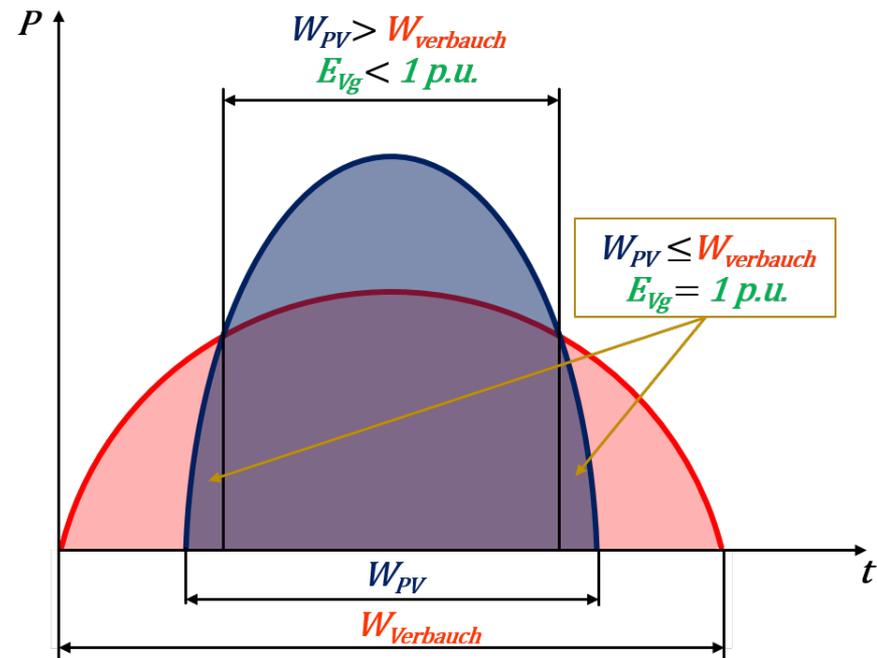
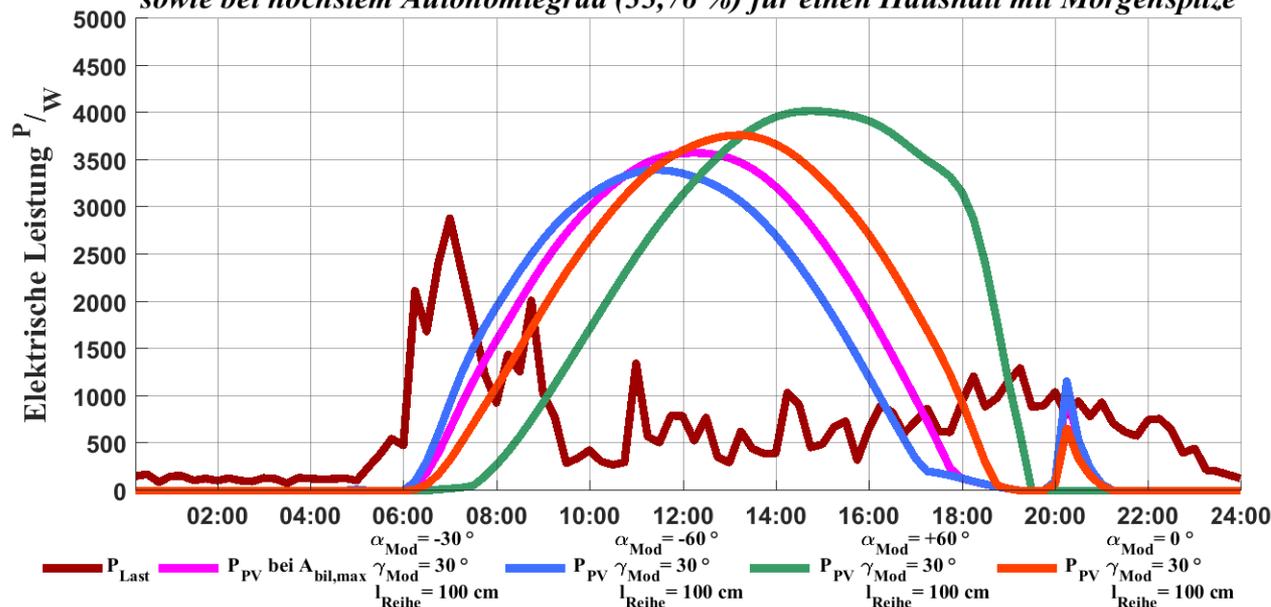


Abbildung 7: Definition des Eigenverbrauchsgrades E_{Vg}

Konzeptionierung einer PV-Anlage (7)

Lastprofil mit Morgenspitze; Standort Graz

P_{PV} für den 17. Juli 2017 bei Ost- ($\alpha_{Mod} = -60^\circ$), West- ($\alpha_{Mod} = +60^\circ$) und Südausrichtung ($\alpha_{Mod} = 0^\circ$) sowie bei höchstem Autonomiegrad (33,76 %) für einen Haushalt mit Morgenspitze

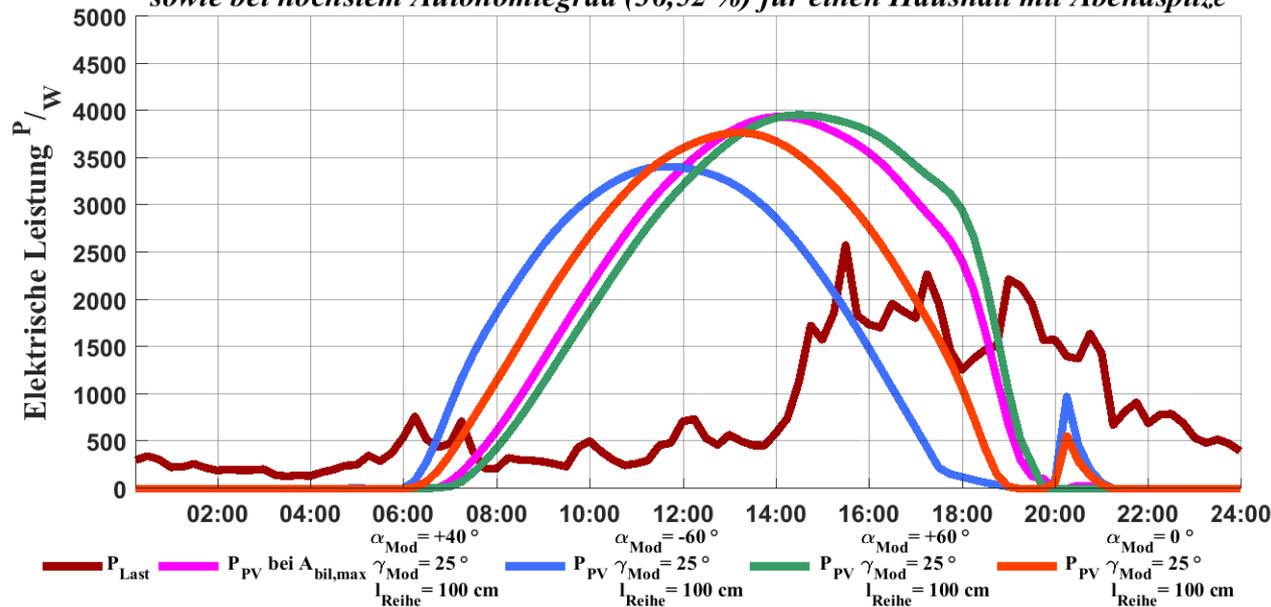


- Globalstrahlung zwischen 06:00 Uhr und 08:00 Uhr **schwach**
- **Bedingte** Kompensation der Spitzen mit östlicher Ausrichtung möglich
- $A_{Bil,max} = 33,76\%$ bei $\alpha_{Mod} = -30^\circ$ und $\gamma_{Mod} = +30^\circ$ und $E_{Vg} = 32,49\%$
- **Niedriger** A_{Bil} und E_{Vg} erzielbar

Konzeptionierung einer PV-Anlage (8)

Lastprofil mit Abendspitze; Standort Graz

P_{PV} für den 17. Juli 2017 bei Ost- ($\alpha_{Mod} = -60^\circ$), West- ($\alpha_{Mod} = +60^\circ$) und Südausrichtung ($\alpha_{Mod} = 0^\circ$) sowie bei höchstem Autonomiegrad (36,52 %) für einen Haushalt mit Abendspitze

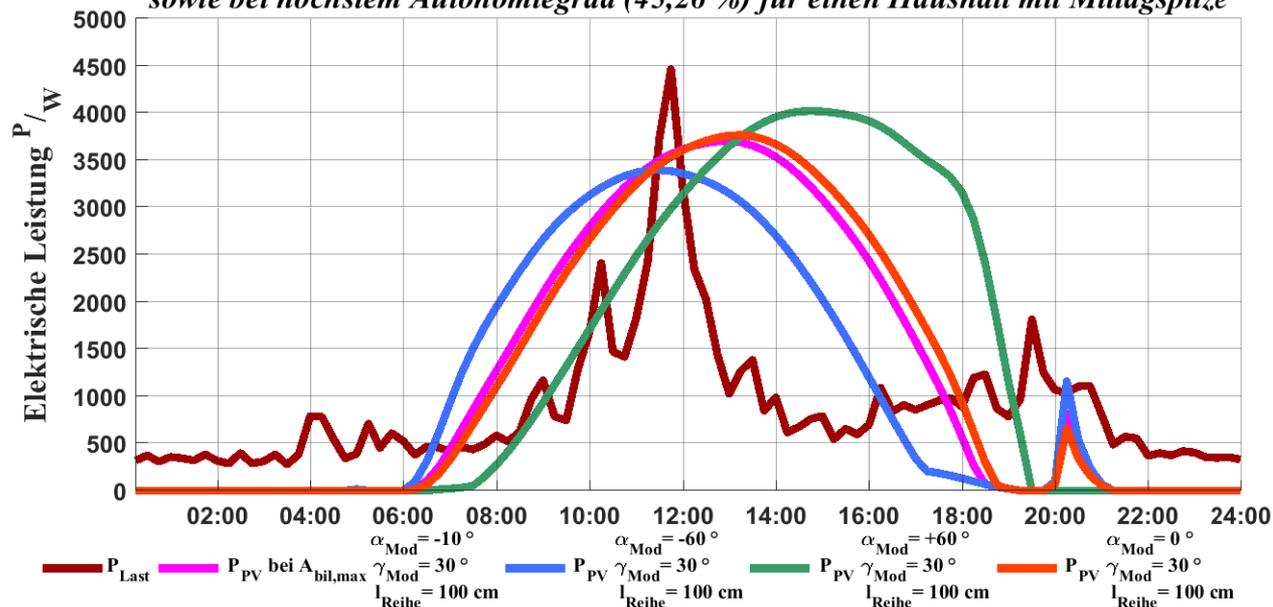


- Globalstrahlung zwischen 14:00 Uhr und 16:00 Uhr **ausreichend hoch**
- **Teilweise** Kompensation der Spitzen mit westlicher Ausrichtung möglich
- $A_{Bil,max} = 36,52\%$ bei $\alpha_{Mod} = +40^\circ$ und $\gamma_{Mod} = +25^\circ$ und $E_{Vg} = 34,54\%$
- **Mittelmäßiger** A_{Bil} und E_{Vg} erzielbar

Konzeptionierung einer PV-Anlage (9)

Lastprofil mit Mittagsspitze; Standort Graz

P_{PV} für den 17. Juli 2017 bei Ost- ($\alpha_{Mod} = -60^\circ$), West- ($\alpha_{Mod} = +60^\circ$) und Südausrichtung ($\alpha_{Mod} = 0^\circ$) sowie bei höchstem Autonomiegrad (45,26 %) für einen Haushalt mit Mittagsspitze



- Globalstrahlung zwischen 10:00 Uhr und 13:00 Uhr **hoch**
- **Fast vollständige** Kompensation der Spitze mit südlicher Ausrichtung möglich
- $A_{Bil,max} = 45,26\%$ bei $\alpha_{Mod} = -10^\circ$ und $\gamma_{Mod} = +30^\circ$ und $E_{Vg} = 36,80\%$
- **Hoher** A_{Bil} und E_{Vg} erzielbar

Schlussfolgerungen

Optimale Positionierung der PV-Module hinsichtlich Autonomie ergibt sich aus:

- Lastprofil
- Verschattungsanalyse

$\alpha_{Mod} / \gamma_{Mod} / I_{Reihe}$

- Steigerung der Autonomie durch Positionierung nur bis zu einem gewissen Maße möglich (abhängig von z.B. Globalstrahlung)

Weitere Steigerung der Autonomie durch:

- Lastmanagement
- Installation eines Stromspeichers und/oder einer Wärmepumpe
- Erhöhung des elektrischen Energieverbrauchs:
 - Klimaanlage/Zusatzheizung
 - Schwimmbadheizung

Höherer Komfort



Quelle: <https://assets.rbl.ms/14952527/980x.jpg>

Bedarfsorientierte Konzeptionierung von Photovoltaikanlagen

Martin Fürnschuß

Institut für Elektrische Anlagen und Netze der TU Graz

16.02.2018

Referenzen

- | | |
|-----|--|
| [1] | PVGIS, „JRC Photovoltaic Gographical Information System“, European Comission, [Online]. Available:
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index_c.html . [Zugriff am 29 01 2018]. |
|-----|--|