

# PV mit Speicher - Nutzung und Deckung- Draft

Dr. R. Hammerling, rh@cms.tuwien.ac.at

für KalbeckMedia, Neovoltaic

March 27, 2013

## Abstract

Definitionen zur Nutzung und Deckung von PV Systemen mit Speicher werden gegeben. Erst mit genauer Begriffsbildung ist eine Aussage über die Steigerung der Eigendeckung mittels einer Batterie möglich.

## 1 Leistung von PV Anlagen Deckung und Nutzung

### 1.1 Definitionen

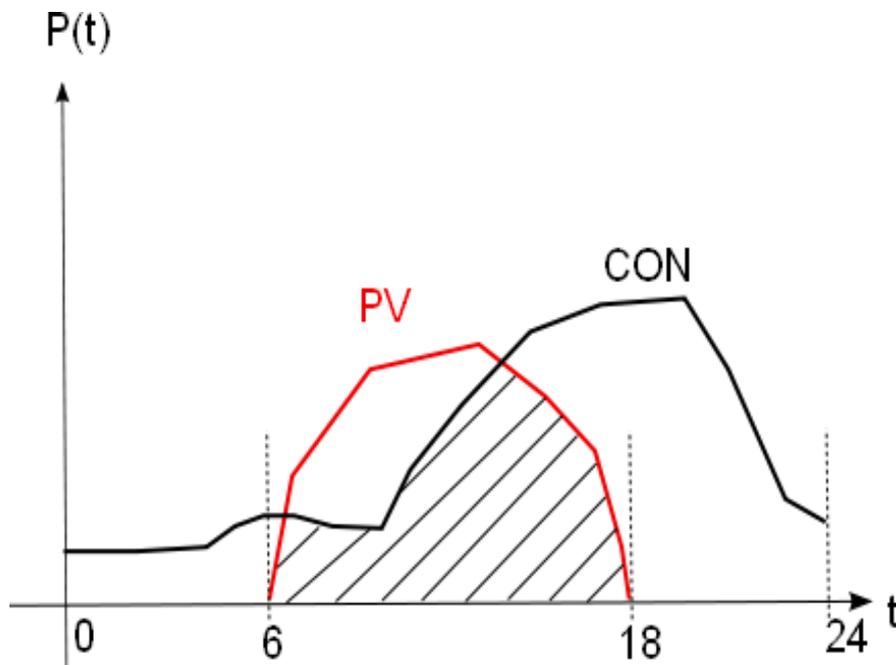


Figure 1:

Unter der Annahme eines vorgegebenen Leistungsprofil von PV Anlage und Verbraucher (=CONsumer=Last)

$$t \mapsto P_{PV}(t) \in \mathbb{R}_+$$

$$t \mapsto P_{CON}(t) \in \mathbb{R}_+$$

kann man die Direktdeckung-Leistungskurve (als gestrichelte Fläche) bestimmen

$$t \mapsto P_{DIR}(t) = \min(P_{PV}(t), P_{CON}(t))$$

Über eine gegebene Zeitdauer (z.B. 1 Tag) ergeben sich daraus die folgenden Energien:

$$\text{PVGesamtenergie} \quad E_{PV} = \int_0^T dt P_{PV}$$

$$\text{VerbrauchGesamtenergie} \quad E_{CON} = \int_0^T dt P_{CON}$$

$$\text{Direktdeckungsenergie} \quad E_{dir} = \int_0^T dt P_{DIR}$$

und die daraus abgeleiteten Differenzgrößen

$$\begin{array}{ll} \text{PV-Überproduktionsenergie} & E_{PV,over} = E_{PV} - E_{dir} \\ \text{PV-ungedeckte Verbrauchsenergie} & E_{CON,under} = E_{CON} - E_{dir} \\ \text{Gesamtenergie} & E_{tot} = E_{PV} - E_{CON} \end{array}$$

weilers kann man folgende Verhältnisse bilden

$$\begin{array}{ll} \text{Gesamtdeckung} & \eta_{tot} = \frac{E_{PV}}{E_{CON}} \in [0, +\infty[ \\ \text{Direktdeckung} & \eta_{dirDeck} = \frac{E_{dir}}{E_{CON}} \in [0, 1] \\ \text{Direktnutzung} & \eta_{dirNutz} = \frac{E_{dir}}{E_{PV}} \in [0, 1] \end{array}$$

Man erkennt, dass es nur 2 unabhängige Verhältnisse gibt, weil

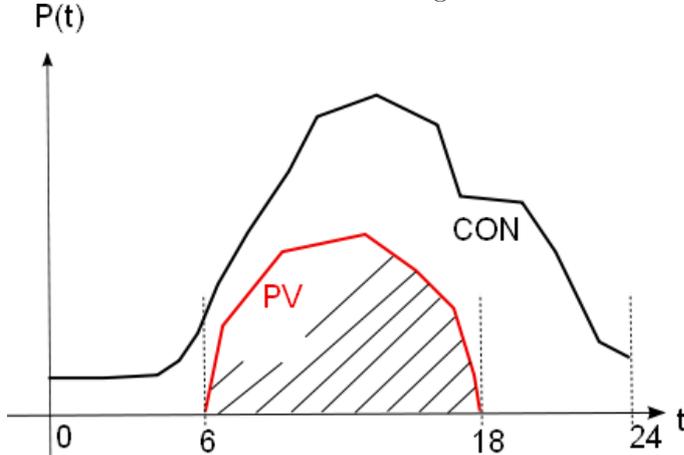
$$\eta_{dirNutz} = \frac{E_{dirDeck}}{E_{PV}} = \frac{\frac{E_{dir}}{E_{CON}}}{\frac{E_{PV}}{E_{CON}}} = \frac{\eta_{dir}}{\eta_{tot}}$$

gilt.

## 1.2 Verhältnisse und Größenordnungen

### 1.2.1 Verbrauch viel größer als PV

Einfache Verhältnis liegen vor wenn die Verbrauchsleistung immer über der PV-Leistung liegt. **Hier wäre eine BAT sinnlos** weil die Direktnutzung der PV schon bei ihrem Maximalwert 1 ist.

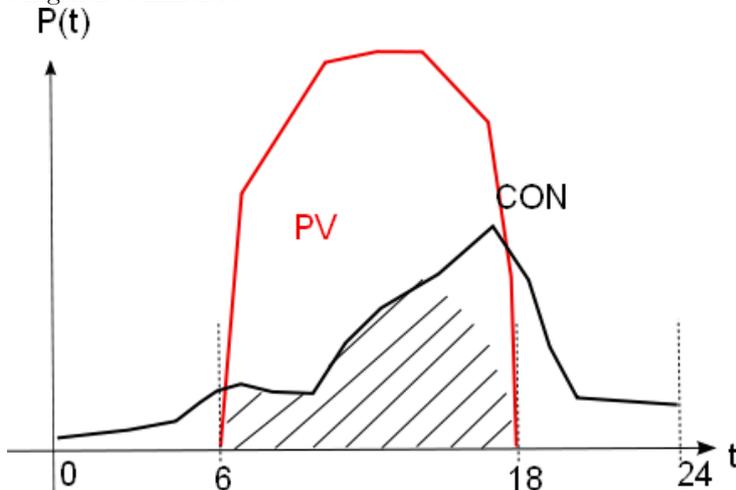


Typische Werte sind z.B.

$$\begin{array}{l} \eta_{tot} = 0.1 \\ \eta_{dirDeck} = 0.1 \\ \eta_{dirNutz} = 1.0 \end{array}$$

### 1.2.2 PV viel größer als Verbrauch

Andererseits kann die PV nicht zu jedem Zeitpunkt über dem Verbrauch liegen, weil die Tageslänge die Leistungskurve limitiert.



Auch für  $\eta_{tot} \gg 1$  strebt die Direktdeckung gegen einen Wert kleiner  $\eta_{dirDeck} \xrightarrow{PV \rightarrow \infty} \eta_{dirDeck,max} \approx 0.6$ .

Hier könnte eine Batterie die Eigendeckung vergrößern. Typische Werte (ohne Batterie) sind

$$\begin{aligned}\eta_{tot} &= 10 \\ \eta_{dirDeck} &= 0.6 \\ \eta_{dirNutz} &= 0.06\end{aligned}$$

### 1.3 Insel-PV Anlagen mit Speicher

In einer PV mit Speicher ohne Netzanbindung gibt es eine BAT Leistungskurve, die direkt aus  $P_{PV}, P_{CON}$  folgt weil sie genau die Differenz ausgleichen muss

$$t \mapsto P_{BAT}(t) = P_{PV}(t) - P_{CON}(t)$$

Die Kurve (grün in der Fig 2) ist teils positiv (laden), teils negativ (entladen). Ihr Integral ist die netto transferierte

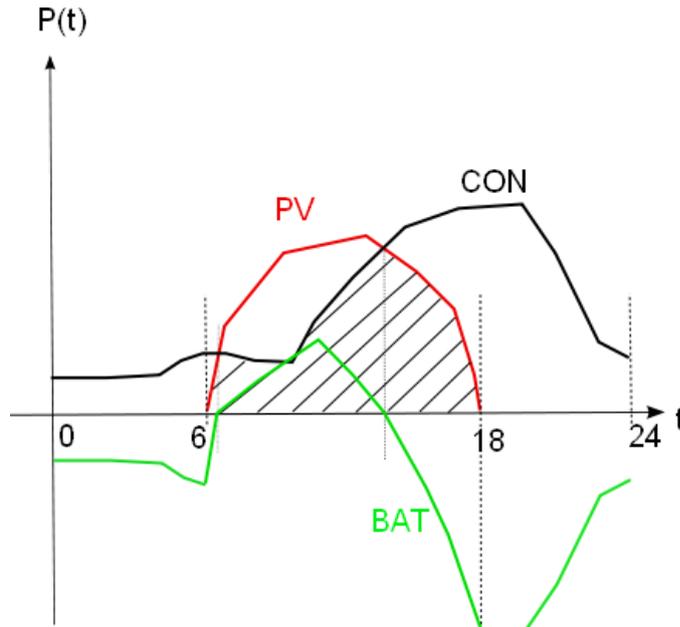


Figure 2:

Energie in die Batterie.

Auf Dauer kann diese Energie nicht immer das gleiche Vorzeichen haben, weil sonst jeder Speicher voll oder leer wäre. Daher gilt im Mittel über mehrere Tage

$$E_{BAT} = \int_0^T dt P_{BAT} = 0$$

### 1.4 PV Anlagen am Netz mit Speicher

In einer PV am Netz mit Speicher gibt es einen echten Freiheitsgrad was mit der Differenzleistung

$$P_{PV}(t) - P_{CON}(t)$$

geschieht. Sie kann teils mit dem Netz und teils mit der Batterie ausgetauscht werden.

Gute Begriffsdefinitionen der obigen Energien und relevanten Parameter sind wichtig.

#### 1.4.1 Charakteristika von Speicher

Einen elektrochemischen Speicher kann man grob durch folgende Parameter charakterisieren:

1. Speichergröße:  $E_{BAT,max}$  als Energie (oder Ladungsmenge) bei vollständiger Ladung,  $E_{BAT,min}$  als minimale Restenergie (oder Ladungsmenge) bei Entladung, die Größe  $E_{BAT,max} - E_{BAT,min}$  ist die zur Verfügung stehende Ladekapazität der Batterie
2. Ladeleistung, Entladeleistung:  $P_{Bat,Charge,max}, P_{Bat,Dis,max}$  als Leistung (oder Strom) beim (Ent-)laden der Batterie

3. Ladewirkungsgrad, Entladewirkungsgrad:  $\eta_{BAT} = \eta_{BAT,Charge} * \eta_{BAT,Discharge}$  definiert wieviel der elektrischen Energie, die man in den Speicher lädt, man wieder zurück bekommt

4. Selbstentladung in z.b. %/Tag

Typische Werte sind

Parameter \ Speichertechnologie	Pb	LiPoly	Methanisierung	Druckluft	WasserElektrolyse
$E_{BAT,max}$ [kWh]	10	10	1000	1000	1000
$E_{BAT,min}$ [kWh]	5	1			
$P_{BAT,max}$ [kW]	1	3	100	100	100
$\eta_{BAT} = \eta_{BAT,Charge} * \eta_{BAT,Discharge}$	0.80	0.90	0.3	0.3	0.5
Selbstentladung	10%/Woche	1%/Woche			
Kosten	1000	2000	10k	10k	10k

### 1.4.2 Batterie Ladestrategie

Zusätzlich zum gegebenen Leistungsprofil von PV Anlage und Verbraucher

$$t \mapsto P_{PV}(t) \in \mathbb{R}_+$$

$$t \mapsto P_{CON}(t) \in \mathbb{R}_+$$

kann man eine Ladestrategie festlegen, ob die Differenzleistung mit der Batterie oder mit dem Netz ausgetauscht wird.

Die übliche Strategie ist dabei die "BatteryFirst" auch CommonMode Strategie.

- if ( $P_{PV} > P_{CON}$ ) AND ( $E_{BAT} < E_{BAT,max}$ )  
 THEN ( $P_{BAT,Charge} = \min(P_{PV} - P_{CON}, P_{Charge,max})$ )  
 ( $P_{GRID} = P_{PV} - P_{CON} - P_{BAT}$ )
- if ( $P_{PV} < P_{CON}$ ) AND ( $E_{BAT} > E_{BAT,min}$ )  
 THEN ( $P_{BAT,Discharge} = \min(P_{CON} - P_{PV}, P_{Discharge,max})$ )  
 ( $P_{GRID} = -(P_{CON} - P_{PV} - P_{BAT})$ )

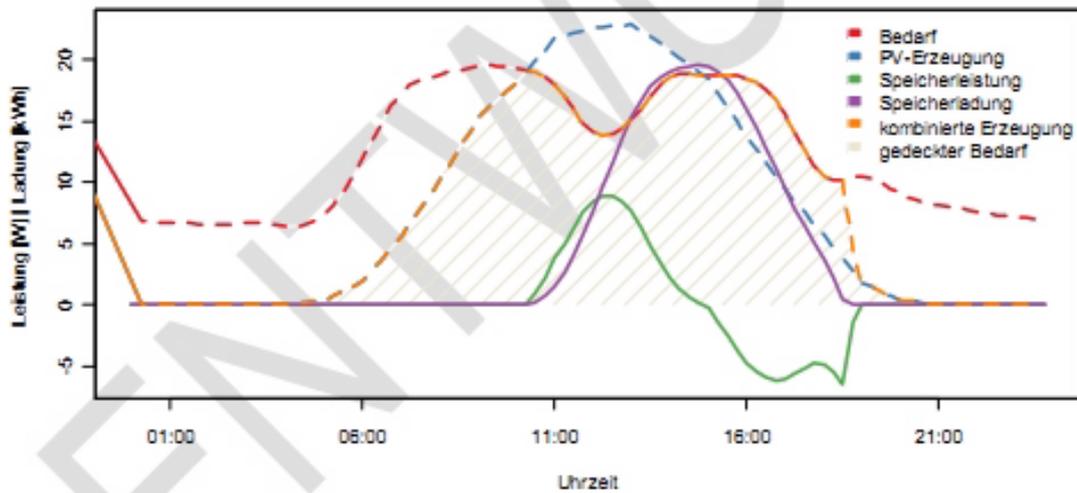


Abbildung 2 Exemplarische Darstellung zur Steigerung der Eigendeckung von Photovoltaik durch einen lokalen Speicher [1]

Figure 3:

Die Batterie wird dabei in den Hoch-PV Stunden geladen und in den Abendstunden entladen, bis wieder das Grid übernimmt.

Zusätzlich zum gegebenen Leistungsprofil von PV Anlage und Verbraucher ergibt sich daher eine Batterie Leistungsprofil

$$t \mapsto P_{BAT}(t) \in \mathbb{R}$$

$$P_{BAT} > 0 \text{ Entladen}$$

$$P_{BAT} < 0 \text{ Laden}$$

und daraus die kombinierte Erzeugungskurve

$$t \mapsto P_{CC}(t) = P_{PV}(t) + P_{BAT}(t) \in \mathbb{R}$$

Damit ist die Eigendeckung-Leistungskurve (als neue gestrichelte Fläche) bestimmt

$$t \mapsto P_{Eig}(t) = \min(P_{CC}(t), P_{CON}(t))$$

Über eine gegebene Zeitdauer (z.B. 1 Tag) ergibt sich zusätzlich zu den vorigen Energien die Eigendeckungsenergie:

$$\begin{aligned} \text{Direktdeckungsenergie} \quad E_{dir} &= \int_0^T dt P_{dir} \\ \text{Eigendeckungsenergie} \quad E_{Eig} &= \int_0^T dt P_{Eig} \end{aligned}$$

Als daraus abgeleitete Differenzgrößen ergeben sich

$$\begin{aligned} \text{PV-Überproduktionsenergie} \quad E_{PV,over} &= E_{PV} - E_{dir} \\ \text{PVBAT-Überproduktionsenergie} \quad E_{PV,over} &= E_{PV} - E_{Eig} \\ \text{PV-ungedekte Verbrauchsenergie} \quad E_{CON,under} &= E_{CON} - E_{dir} \\ \text{PVBAT-ungedekte Verbrauchsenergie} \quad E_{CON,under} &= E_{CON} - E_{Eig} \end{aligned}$$

Weiters kann man folgende Verhältnisse bilden

$$\begin{aligned} \text{Gesamtdeckung} \quad \eta_{tot} &= \frac{E_{PV}}{E_{CON}} \in [0, +\infty[ \\ \text{Direktdeckung} \quad \eta_{dir} &= \frac{E_{dir}}{E_{CON}} \in [0, 1] \\ \text{Direktnutzung} \quad \eta_{dirNutz} &= \frac{E_{dir}}{E_{PV}} \in [0, 1] \\ \text{Eigendeckung} \quad \eta_{EigDeck} &= \frac{E_{Eig}}{E_{CON}} \in [0, 1] \\ \text{Eigennutzung} \quad \eta_{EigNutz} &= \frac{E_{Eig}}{E_{PV}} \in [0, 1] \\ &\text{wenn Batterie entladen wird, auch } >1 \text{ möglich} \end{aligned}$$

Man erkennt wieder, dass nicht alle Größen unabhängig voneinander sind.

### 1.4.3 Notwendige Speichergröße Steigerung der Eigennutzung

Ergebnisse von Studien zeigen, daß sich mit einem Speicher relativ geringer Größe und einer Gesamtdeckung von 110%

$$E_{tot} = E_{PV} - E_{CON} \approx 0.1E_{CON}$$

die Eigendeckung von  $\eta_{EigDeck}$  von ca. 60% auf ca. 90% steigern läßt.

Dabei erreicht man unter Berücksichtigung des Speicherwirkungsgrades eine Eigennutzung  $\eta_{EigNutz}$  von ca. 95%.