

Modellierung und kombinierte Simulation eines Power-to-Gas Prozesses

Andreas Fleischhacker

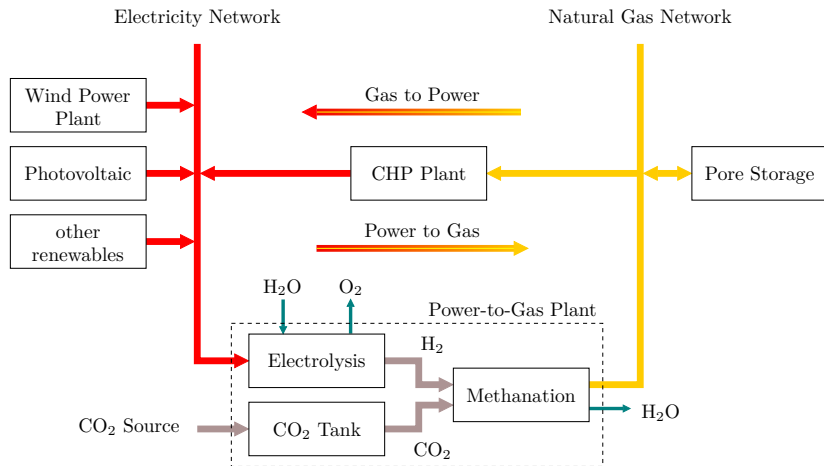
Technische Universität Wien
Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe
Arbeitsgruppe Elektrische Anlagen

13. Februar 2014

Inhaltsverzeichnis

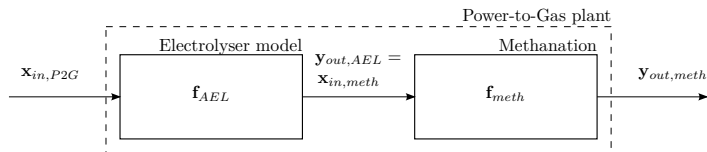
- 1 Motivation
- 2 Power-to-Gas Modell
 - Modell des alkalischen Elektrolyseurs (AEL)
 - Modell der Methanisierung
- 3 Kombinierte Simulation
- 4 Ergebnisse der Analyse
- 5 Schlussfolgerungen
- 6 Quellen

Das Power-to-Gas Konzept



Konzept

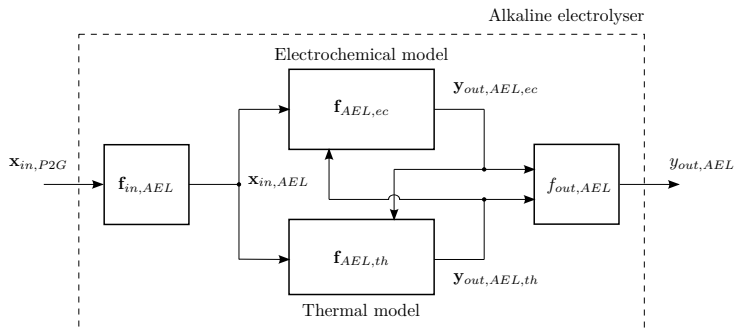
Nennleistungskalierung durch die Parameter N_S und N_P



$$\mathbf{x}_{in,P2G} = [P_{in}, N_S, N_P]^T$$

$$\mathbf{y}_{out,P2G} = \mathbf{y}_{out,meth} = [\dot{V}_{CH_4}, \dot{V}_{H_2O}, \dot{V}_{CO_2}]^T$$

Modell des alkalischen Elektrolyseurs (AEL)

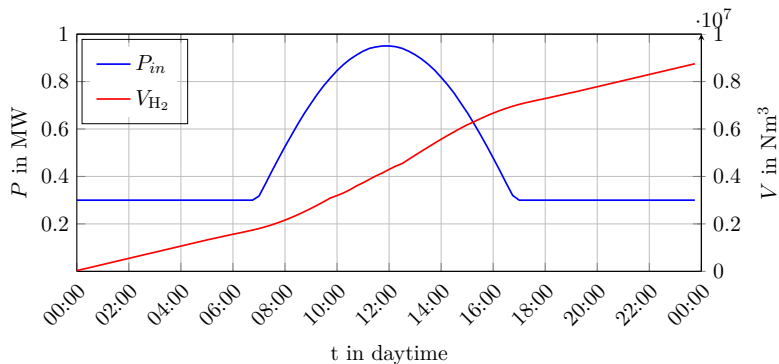


$$\mathbf{x}_{in,P2G} = [P_{in}, N_S, N_P]^T$$

$$y_{out,AEL} = \dot{V}_{H2}$$

Elektrochemisches Modell - PV Ansteuerung

Testfunktion: typischer PV Tagesgang + Standbyleistung

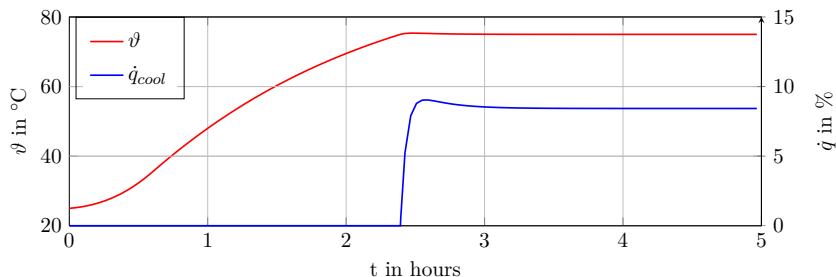


Thermisches Modell

Temperaturabhängigkeit

$$\dot{T} = \frac{1}{C_T} \left(\dot{Q}_{gen} - \dot{Q}_{loss} - \dot{Q}_{sens} - \dot{Q}_{cool} \right)$$

Regelung durch die Kühlleistung \dot{Q}_{cool}

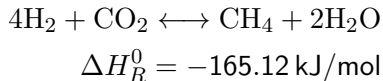


Modell der Methanisierung - Triviales Modell

das Gasnetz wird als ideale Senke betrachtet
keine Betrachtung der Dynamik

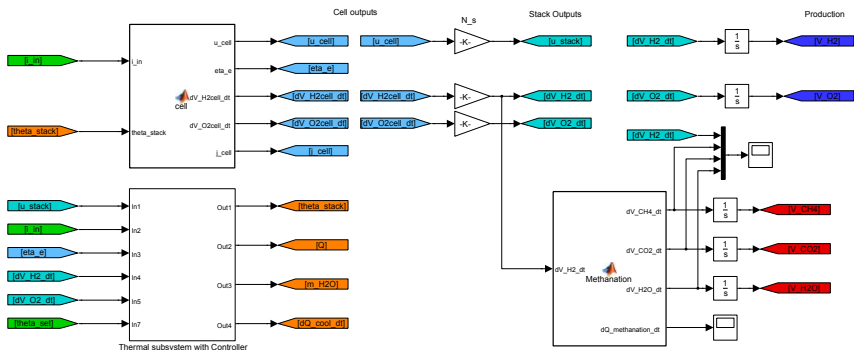
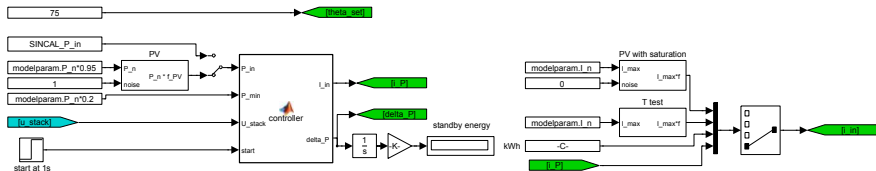
$$\mathbf{y}_{out,P2G} = \mathbf{y}_{out,meth} = [\dot{V}_{CH_4}, \dot{V}_{H_2O}, \dot{V}_{CO_2}]^T$$

Reaktion mit Kohlenstoffdioxid



Gesamtmodell der P2G Anlage

Simuliert in MATLAB/SIMULINK®



Implementierung in zwei Modellnetze

- ▶ Zwei SINCAL[®] Modellnetze
 - ▶ **Ländliches Netz**
Haushalte (H0 und L0) mit PV, Windpark (9MW)
 - ▶ **Suburbanes Netz**
Haushalte (H0) mit PV
- ▶ MATLAB[®]
 - ▶ Algorithmus
 - ▶ Optimierung der Speichergröße
- ▶ Untersuchung von
 - ▶ 2 Szenarien
 - ▶ Betriebsmodi der P2G Anlage
 - ▶ dynamische Wirkungsgrade

Szenarien

Zwei Szenarien mit unterschiedlichem PV Ausbaugrad

▶ **Szenario 1:**

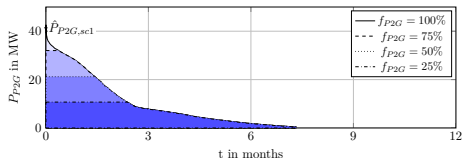
- ▶ maximale PV Ausbaustufe
- ▶ maximale Netzbelastung

▶ **Szenario 2:**

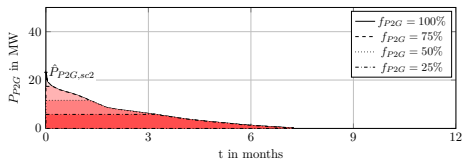
- ▶ quasi „Energieautarkie“
- ▶ Speicherung im simulierten Mittelspannungsnetz
- ▶ Rückerzeugung (GT, GuD) im übergeordneten Netz (nicht Teil der Simulation)

Jahresdauerkennlinie der P2G Anlage

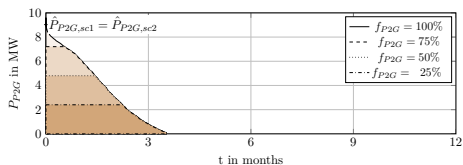
Ländliches Netz Szenario 1



Ländliches Netz Szenario 2

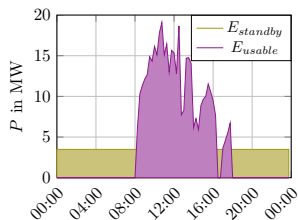
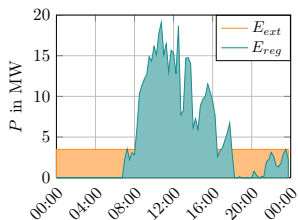


Suburbanes Netz

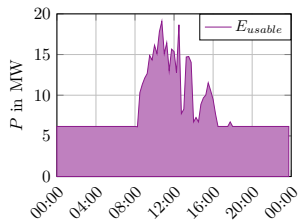
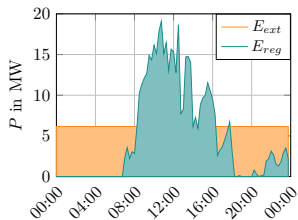


Betriebsmodi

Standby mit $P_{P2G,min} = 15\%P_{n,P2G}$

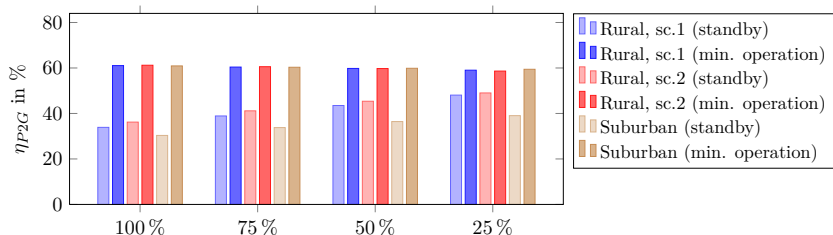


Teillast mit $P_{P2G,min} = 30\%P_{n,P2G}$



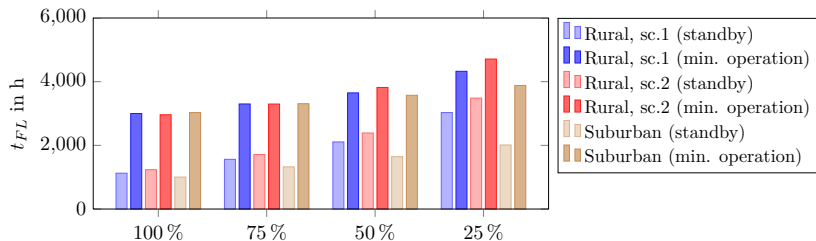
Wirkungsgrad der P2G Anlage

Wirkungsgrad im Standby Betrieb (helle Farbe) und Wirkungsgrad im Teillastbetrieb (dunkle Farbe) in Abhängigkeit zur bezogenen P2G Nennleistung



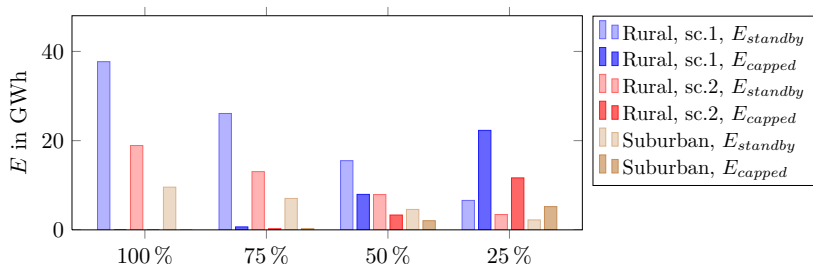
Jährliche Volllaststunden der P2G Anlagen

Volllaststunden im Standby Betrieb (helle Farbe) und Volllaststunden im Teillastbetrieb (dunkle Farbe) in Abhängigkeit zur bezogenen P2G Nennleistung



Standby Batterie

Verhältnis von aufzubringender Standbyenergie (helle Farbe) und speicherbarer Energie (dunkle Farbe) in Abhängigkeit zur bezogenen P2G Nennleistung



Schlussfolgerungen - P2G Modell

- ▶ extrem dynamisch ($15\% \rightarrow 100\%P_n$ in $\geq 6s$) falls
 - ▶ P2G hochgefahren
 - ▶ keine Unterschreitung von $P_{standby}$ (AEL)
- ▶ alkalischen Elektrolyseur \rightarrow PEM Elektrolyseur
 - ▶ besseres Teillastverhalten ($0\% \rightarrow 100\%P_n$)
 - ▶ kleine Leistungsgrößen bereits vorhanden
- ▶ Abwärme
 - ▶ vom Elektrolyseur uninteressant
 - ▶ von der Methanisierung interessant
- ▶ kritische Parameter
 - ▶ Standby Leistung $P_{standby}$
 - ▶ interne Temperatur

Schlussfolgerungen - Kombinierte Simulation

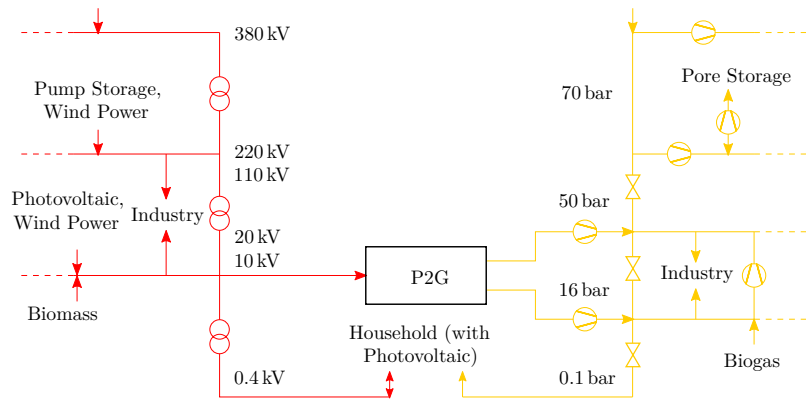
- ▶ optimal mit Kombination WP und PV
- ▶ dynamische Abschaltung
 - ▶ im Winter (nur PV)
 - ▶ in der Nacht (nur PV)
 - ▶ forecast (PV+WP)
- ▶ zusätzliche Batterie: Verwendung der cut-off Energie
- ▶ niedriger Power-to-Power Wirkungsgrad → anderweitige Nutzung von H_2 , CH_4 (z.B. Verkehr)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

1. "Production of synthetic natural gas in a fluidized bed reactor", Dissertation, Jan Kopyscinski
2. "Renewable Energies and Energy Efficiency", Dissertation, Michael Sterner, 2009.
3. "Vorteile und Herausforderungen der Kopplung von Gas- und Stromnetzen", Herbert Bauer, GASCADE Gastransport GmbH, 2012.
4. "Modeling of advanced alkaline electrolyzers: a system simulation approach", Ø. Ulleberg, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 28, no. 1, pp. 21-33, 2003.
5. "Design und Analyse: Systemgekoppeltes Verteilnetz der Zukunft", O. Oberzaucher, Diplomarbeit, 2013.
6. "Äbschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland", M. Lödl, G. Kerber, R. Witzmann, C. Hoffmann, and M. Metzger, 11. Symposium Energieinnovation, 2010.
7. "Das österreichische Gasnetz", C. Edler, TU Vienna, ESEA, 2013.

Morgige Netzstruktur (Gas und Strom)

Coal-Fired, Hydro-Electric,
Gas-Fired Power Plants and
Combined-Cycle Power Plants



Elektrochemisches Modell

Zusammenhang Strom-Spannung

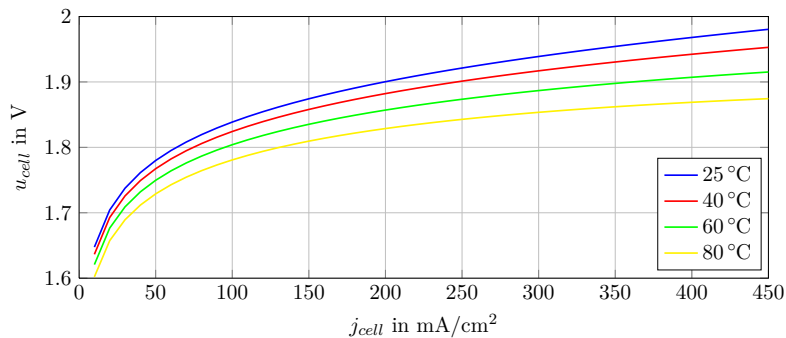
$$u_{cell} = U_{rev} + \frac{r_1 + r_2}{A} T i_{cell} + s \log \left(\frac{t_1 + \frac{t_2}{T} + \frac{t_3}{T^2}}{A} i_{cell} + 1 \right) \quad (1)$$

Produzierter Wasserstoff

$$\dot{n}_{H_2} = \eta_F \frac{N_S N_P}{z F} \quad (2)$$

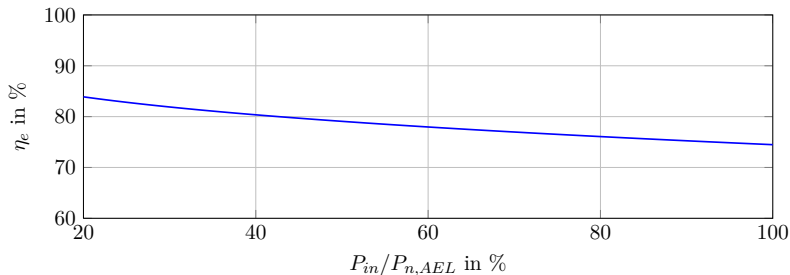
$$\eta_F = \frac{\left(\frac{i_{cell}}{A} \right)^2}{f_1 + \left(\frac{i_{cell}}{A} \right)^2} f_2 \quad (3)$$

Elektrochemisches Modell - Strom/Spannungskennlinie



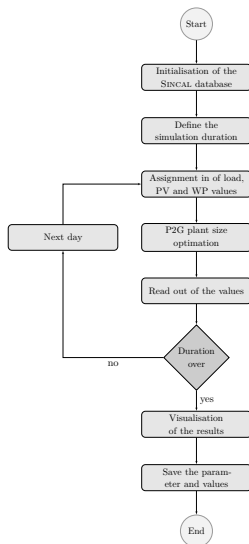
Elektrochemisches Modell - Wirkungsgrad

$$\frac{\partial \eta_{AEL}}{\partial P_{n,AEL}} < 0$$



Kombinierte Simulation

Algorithmus



Kombinierte Simulation

Optimierung

Initialisation $\Delta_0 \in (0, \Delta_{max}]$ (Trust area)
 $P_{P2G,0} \leftarrow P_{prev}$ or 0 (P2G start value)
 $P_{ext,0} \leftarrow \text{load-flow-calc}$ (first load flow calculation via PSS®SINCAL)
 $k \leftarrow 1$

repeat

$\Delta = \Delta_0$

while $P_{ext} \leq \Delta$ and $P_{ext} \geq -\Delta$ **do**

$\Delta \leftarrow \frac{1}{3}\Delta$

if $P_{ext,k} < 0$ **do** feeding back

$P_{P2G,k} \leftarrow P_{P2G,k-1} + \Delta$ increasing P2G power

if $P_{P2G,k} < 0$ **do** only positive P2G power

$P_{P2G,k} \leftarrow 0$

else if $P_{P2G,k} < P_{prev}$ **do** reset

$P_{P2G,k} \leftarrow P_{prev}$

end if

else if $P_{ext,k} > 0$ **do** feeding

$P_{P2G,k} \leftarrow P_{P2G,k-1} - \Delta$ decreasing P2G power

if $P_{P2G,k} < 0$ **do** only positive P2G power

$P_{P2G,k} \leftarrow 0$

else if $P_{P2G,k} > P_{prev}$ **do** reset

$P_{P2G,k} \leftarrow P_{prev}$

end if

end if

$k \leftarrow k + 1$ next iteration step

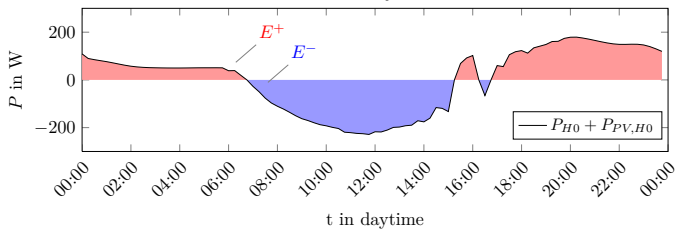
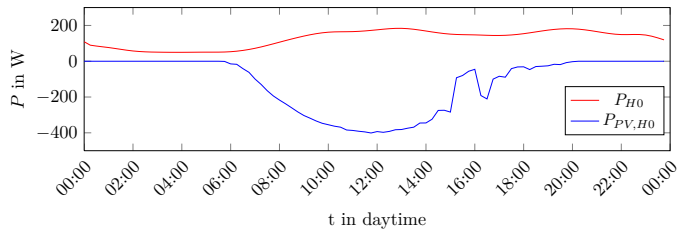
$P_{prev} \leftarrow P_{P2G,k}$

$P_{ext,k} = \text{load-flow-calc}$ load flow calculation via PSS®SINCAL

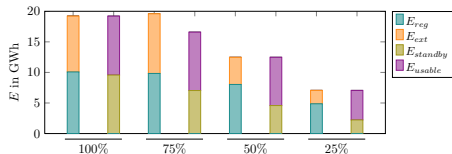
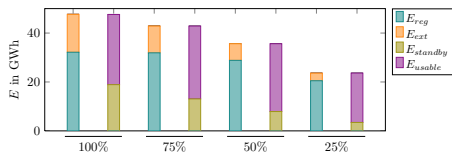
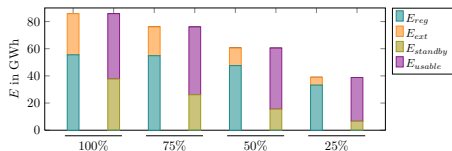
until $\|P_{ext}\| < \varepsilon$ or $P_{P2G} = 0$

Energieautarkie

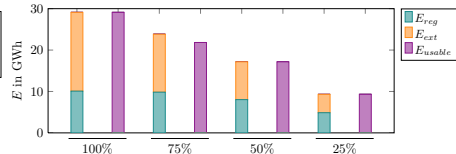
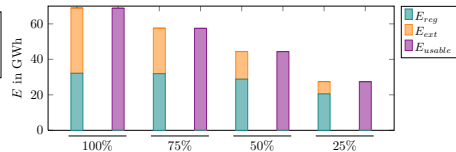
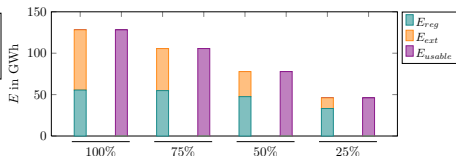
$$\eta_{el} E^- = 36\% E^- \equiv E^+$$



Standby

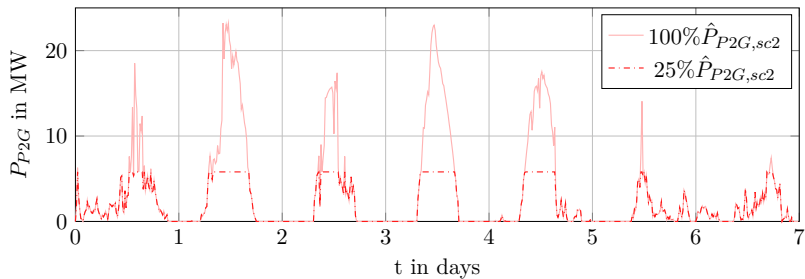


Teillast



Wochenlastgang

100% und 25% P2G



Zyklen

