

# Peer-to-Peer Stromhandel in einem Verteilnetz mit lokaler Photovoltaik- Stromerzeugung unter Berücksichtigung verschiedener Zahlungsbereitschaften

Dipl.-Ing. Lukas Wachter, 14.02.2019

1. Fragestellung
2. Methode und Modell
3. Ergebnisse
  - Berechnung eines gesamten Jahres
  - Ausgewähltes Zeitfenster im Detail
  - Sensitivitätsanalysen
4. Schlussfolgerungen

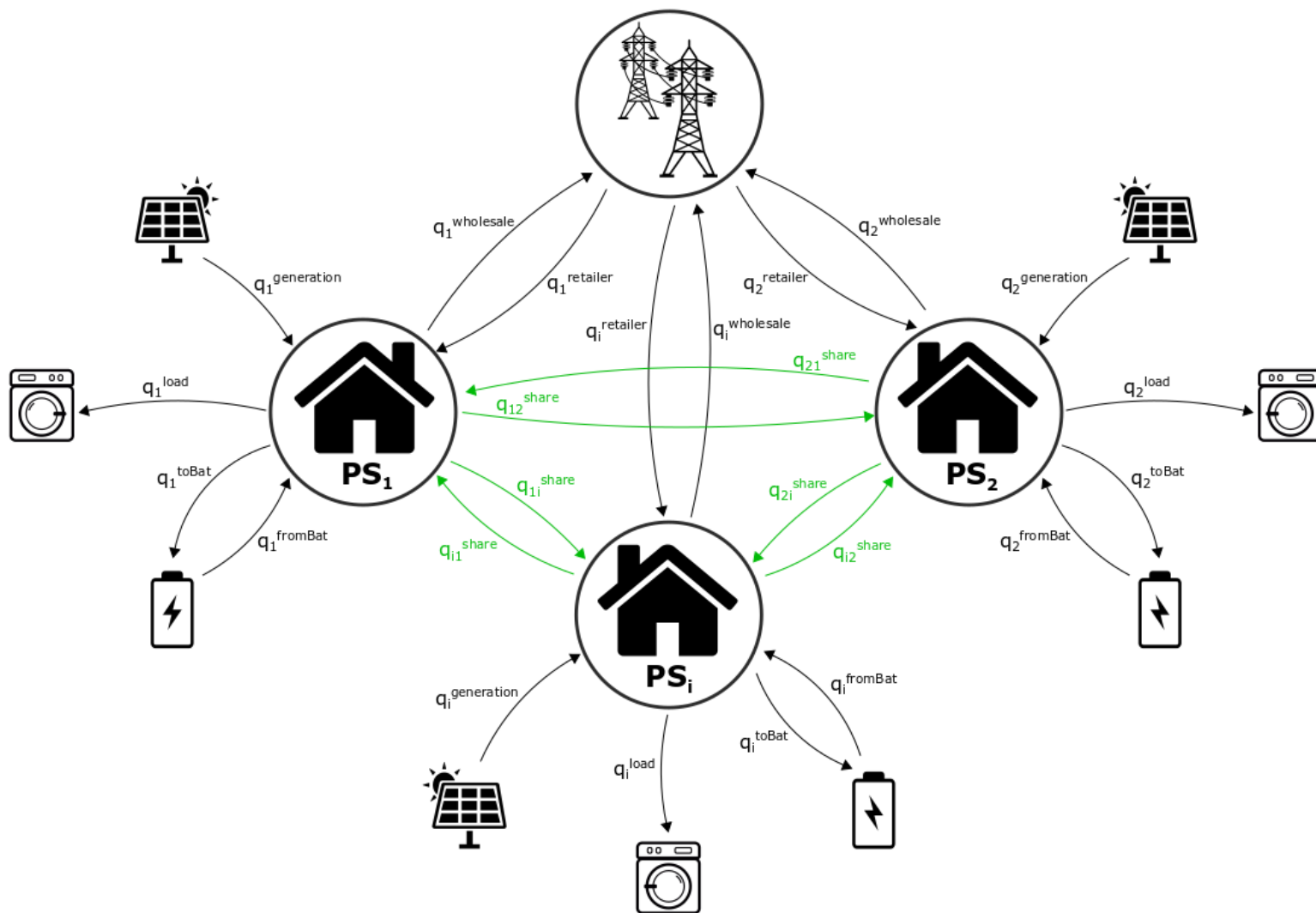
# 1. Fragestellung

- Potenzial von Energy Communities mit internem Peer-to-Peer PV-Stromhandel
  - Netzbezug und Einspeisung
  - Gehandelte Strommengen
  - Finanzielle Bilanz
- Heterogene Struktur der Teilnehmer berücksichtigen
  - Ökonomisch motiviert
  - Ökologisch motiviert
- Individuelle Zahlungsbereitschaften
  - Einfluss der räumlichen Distanzen
  - Einfluss der Emissionen des Strommix im Stromnetz

## 2. Methode und Modell

- Optimierungsmodell in Matlab
  - Basismodell der Versorgung mehrerer Verbraucher durch einen Stromlieferanten
  - Erweiterung mit lokalen Photovoltaikanlagen und Batteriespeichern
  - Einführung des Peer-to-Peer Stromhandels
  
- Optimierung nach minimalen Kosten/maximalen Erträgen durch Kauf/Verkauf von Strom
  - unter Berücksichtigung ihrer Zahlungsbereitschaft
  
- 10 individuelle Prosumer, repräsentiert durch
  - Lastprofil
  - lokale PV-Anlage und Batteriespeicher
  - Emissionsgewichtungsfaktor

# 2. Methode und Modell



„Energieflüsse“ innerhalb der Energy Community

## 2. Methode und Modell

### Mathematische Beschreibung des Modells

$$\max TW = CW + PW$$

$$CW = \sum_t^T \sum_i^N (q_{t,i}^{wholesale} \cdot p^{wholesale} - q_{t,i}^{retailer} \cdot p^{retailer})$$

$$PW = \sum_t^T \sum_i^N \sum_j^N (q_{i,j,t}^{share} \cdot wtp_{i,j,t})$$

unter den Nebenbedingungen

$$q_{t,i}^{load} = q_{t,i}^{retailer} + q_{t,i}^{fromBat} + \sum_j^N q_{j,i,t}^{share}$$

$$q_{t,i}^{generation} = q_{t,i}^{wholesale} + q_{t,i}^{toBat} + \sum_j^N q_{i,j,t}^{share}$$

$$SOC_{t,i} = SOC_{t-1,i} + q_{t,i}^{toBat} \cdot \eta_{bat} - q_{t,i}^{fromBat} / \eta_{bat}$$

$$SOC_{t,i} \geq SOC_{min}$$

$$SOC_{t,i} \leq SOC_{max}$$

$$|q_{t,i}^{fromBat} - q_{t,i}^{toBat}| \leq q_{max}^{Bat}$$

$$SOC_{t,i} = SOC_{min} \quad \forall t \in \{0, T\}$$

$$q_{t,i}^{retailer}, q_{t,i}^{wholesale}, q_{i,j,t}^{share}, q_{t,i}^{fromBat}, q_{t,i}^{toBat} \geq 0$$

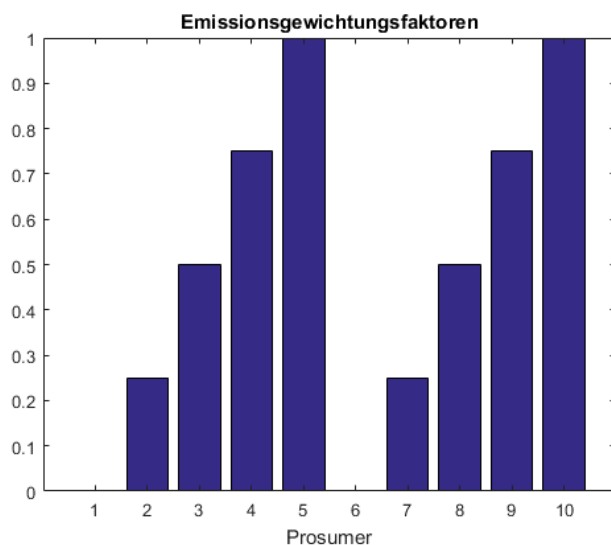
Nomenklatur	
$TW$	Gesamte Wohlfahrt
$CW$	Gemeinschafts-Wohlfahrt
$PW$	Prosumer-Wohlfahrt
$q_{t,i}^{wholesale}$	Strom an Lieferanten
$q_{t,i}^{retailer}$	Strom vom Lieferanten
$q_{i,j,t}^{share}$	P2P-gehandelter Strom
$q_{t,i}^{load}$	Stromverbrauch
$q_{t,i}^{generation}$	Erzeugter Strom
$q_{t,i}^{fromBat}$	Strom in Batterie
$q_{t,i}^{toBat}$	Strom aus Batterie
$p^{wholesale}$	Preis f. Netzeinspeisung
$p^{retailer}$	Preis f. Netzbezug
$wtp_{i,j,t}$	Zahlungsbereitschaft
$SOC_{t,i}$	Ladezustand
$SOC_{min}$	Min. Ladezustand
$SOC_{max}$	Max. Ladezustand
$q_{max}^{Bat}$	Max. Ent-/Ladeleistung
$\eta_{bat}$	Batteriewirkungsgrad

## 2. Methode und Modell

### Individuelle Zahlungsbereitschaft

$$wtp_{i,j,t} = p^{retailer} \cdot (1 + w_i^{emissions} \cdot e_t^{grid} - s^{distance} \cdot d_{i,j})$$

- Beeinflusst durch
  - Stromtarif des Stromlieferanten
  - Momentane Grenzemissionen (durch das preissetzende Kraftwerk) des Strommix im österreichischen Stromnetz
  - Räumliche Distanz zwischen lokalem Käufer und Verkäufer
- Individuelle Berücksichtigung unterschiedlicher Präferenzen
- Eigenverbrauch dynamisch über Distanz berücksichtigt



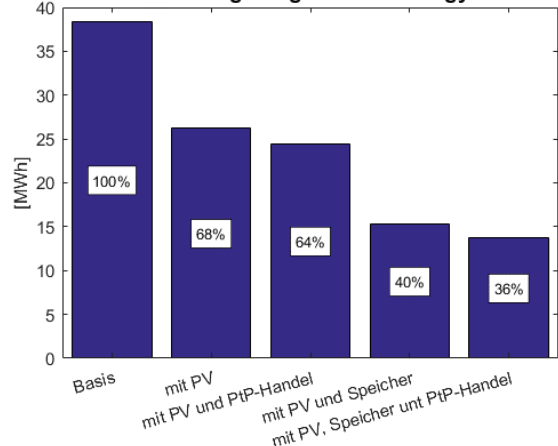
Nomenklatur	
$wtp_{i,j,t}$	Zahlungsbereitschaft
$p^{retailer}$	Preis f. Netzbezug
$w_i^{emissions}$	Emissionsgewichtungsfaktor
$e_t^{grid}$	Grenzemissionen im Verbundnetz
$s^{distance}$	Distanzskalierung
$d_{i,j}$	Distanz zwischen Prosumern

# 4. Ergebnisse

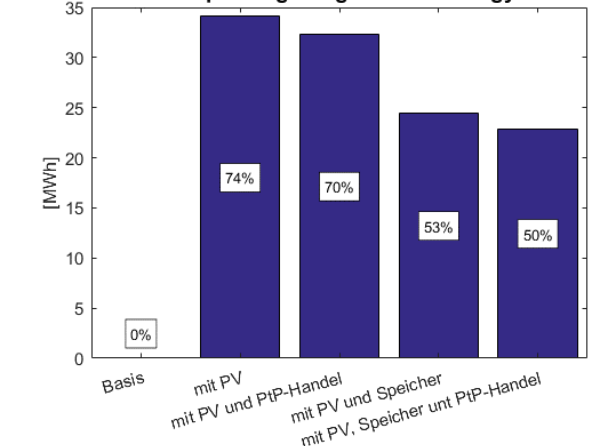
## 4.1 Ergebnisse der Berechnung eines gesamten Jahres

- Deutlichste Verbesserung durch Batterien
- Eigenverbrauch sinkt durch internen Handel
- Nur geringer Einfluss von Peer-to-Peer Stromhandel aufgrund zu hoher PV-Erzeugung
- Betrachtung der Energy Community als Gesamtheit

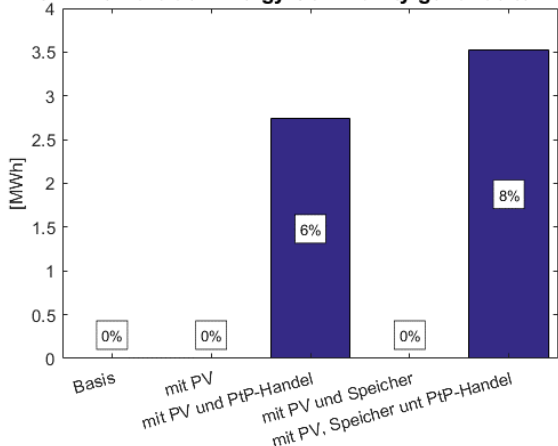
**Jährlicher Netzbezug der gesamten Energy Community**



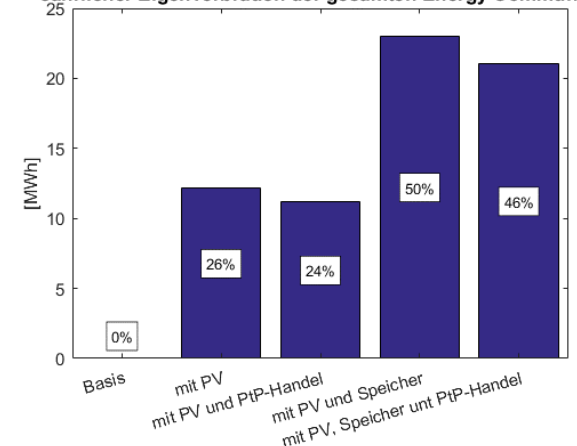
**Jährliche Netzeinspeisung der gesamten Energy Community**



**Jährlich innerhalb der Energy Community gehandelte Energie**



**Jährlicher Eigenverbrauch der gesamten Energy Community**

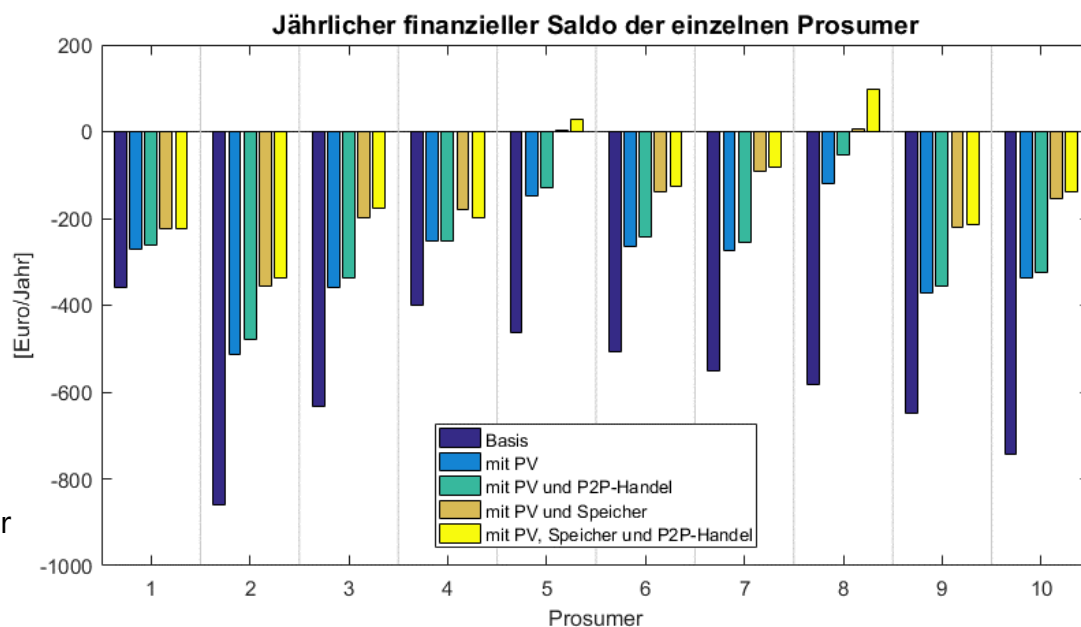




# 4. Ergebnisse

## 4.1 Ergebnisse der Berechnung eines gesamten Jahres

- Betrachtung einzelner Prosumer zeigt deutliche Unterschiede
- Prosumer 4
  - Kleine eigene PV-Anlage, hoher Emissionsgewichtungsfaktor
  - „verliert“ aus rein finanzieller Sicht durch den PtP-Handel
  - Spart jedoch 400 kWh an Netzbezug (und dadurch Emissionen) ein
- Prosumer 8
  - Große eigene PV-Anlage, mittlerer Emissionsgewichtungsfaktor
  - Finanzieller Profiteur durch internen Handel
  - Bilanziert sogar positiv



# 4. Ergebnisse

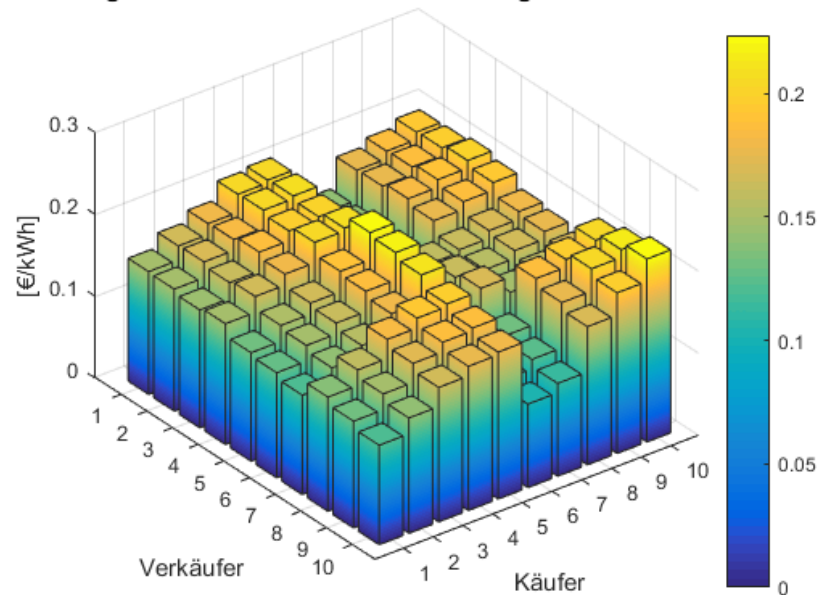
## 4.2 Zeitfenster im Detail

- Zeitraum zwischen 11:15 und 11:30 Uhr am 23. Jänner
- Grenzemissionen von 490 kg/MWh

### Zahlungsbereitschaft

- Treppenartiger Anstieg durch Emissionsgewichtungsfaktoren
- Diagonaleinträge entsprechen der „Wertigkeit“ des Eigenverbrauchs
- Minimum: 10,20 Cent/kWh
  - Emissionsgewichtungsfaktor = 0
  - Hohe Distanz
- Maximum: 22,35 Cent/kWh
  - Emissionsgewichtungsfaktor = 1
  - Eigenverbrauch

Zahlungsbereitschaft der Prosumer im ausgewählten Zeitfenster



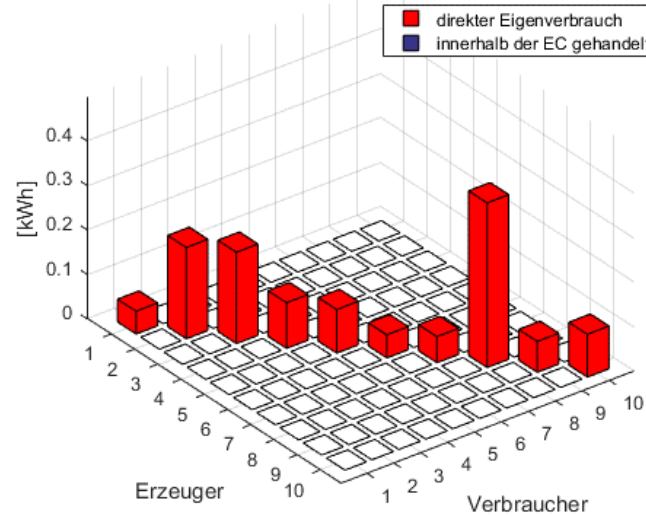
# 4. Ergebnisse

## 4.2 Zeitfenster im Detail

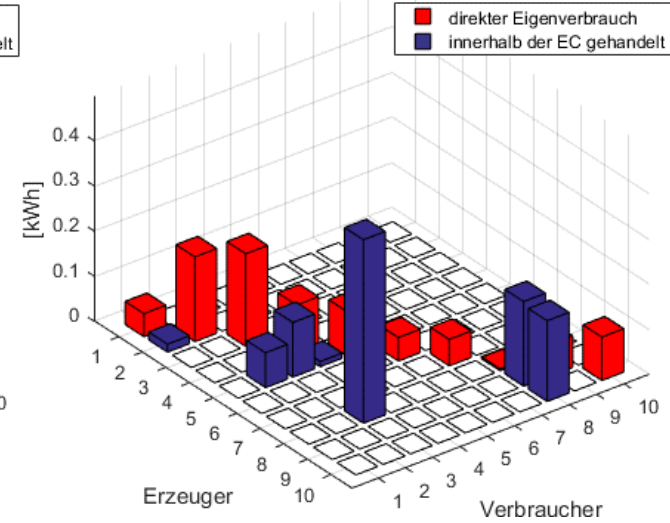
### Gehandelte Energiemengen innerhalb der Energy Community

- Diagonaleinträge entsprechen Eigenverbrauch (rot)
- Batteriespeicher erhöhen Eigenverbrauch
- Prosumer 8 verkauft erzeugten Strom statt ihn selbst zu verbrauchen
- Batteriespeicher verringern Stromhandel und verändern Handelspartner
- Prosumer 3 profitiert besonders vom PtP-Handel

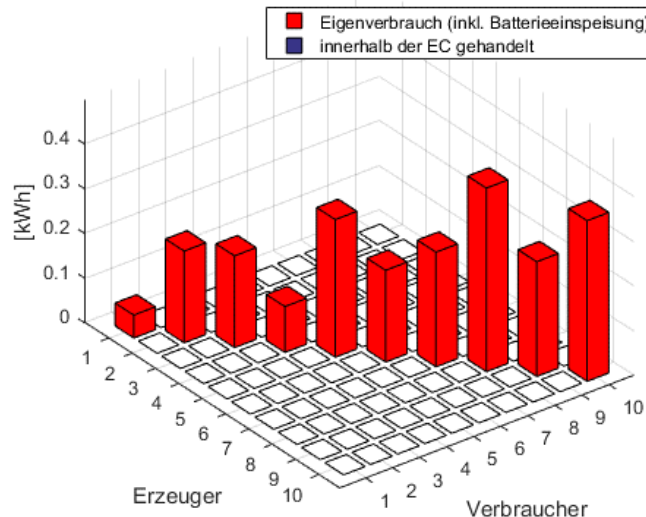
Mit PV



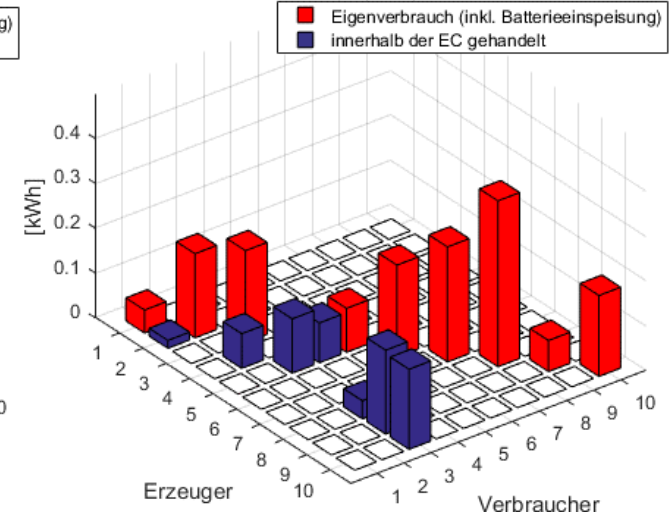
Mit PV und PtP-Handel



Mit PV und Speicher



Mit PV, Speicher und PtP-Handel

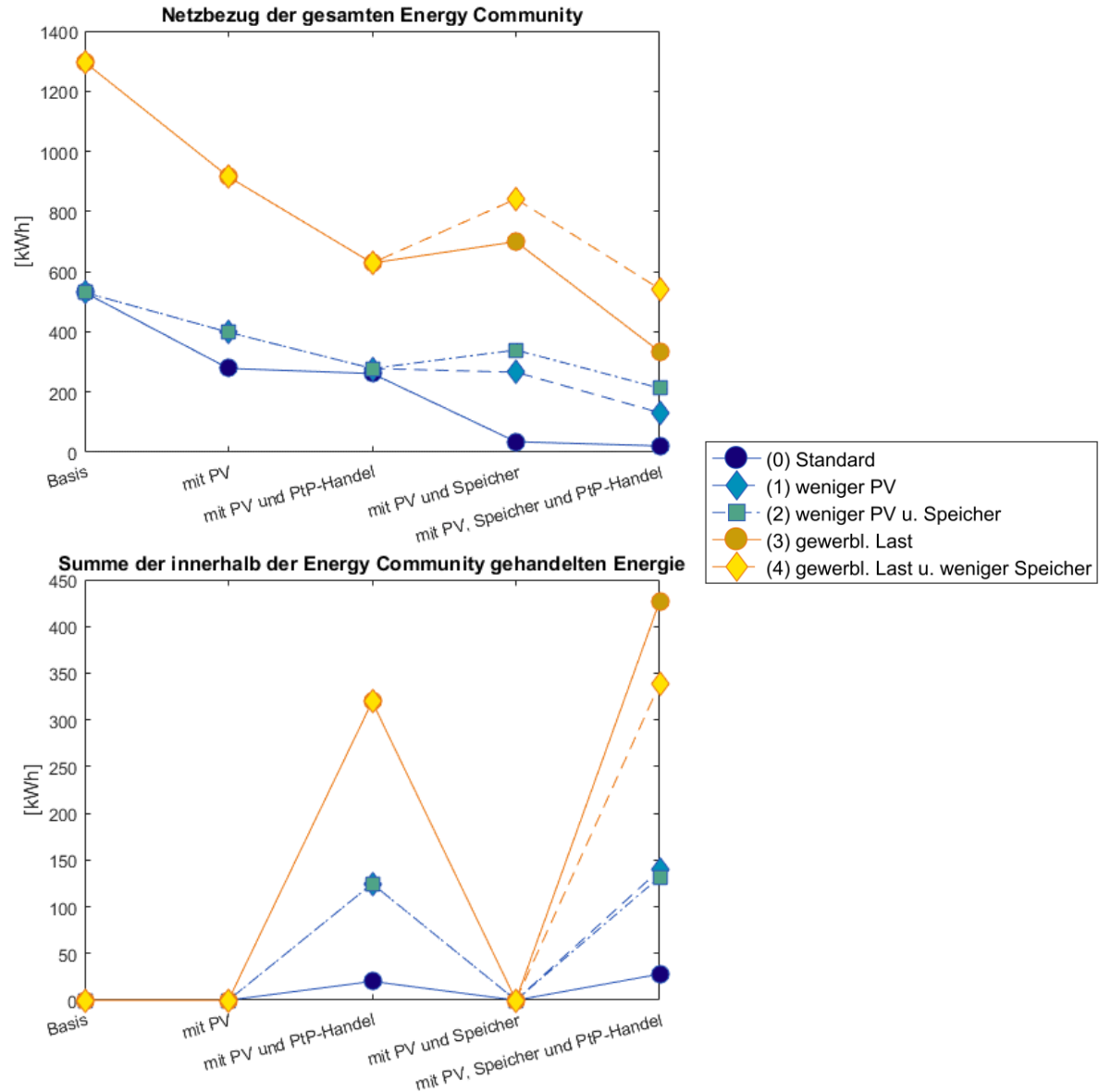


# 4. Ergebnisse

## 4.3 Sensitivitätsanalysen

Einfluss von Lastprofilen sowie PV- und Batterie-Zuweisungen

- Betrachtungszeitraum: 1 Sommerwoche
- Standardallokation: zu viel PV-Leistung
- Verringerung des Netzbezugs durch PtP-Handel mit Betrieben
- PtP-Handel ähnlich zu Batteriespeichern
- Handelsmenge erhöht durch Betriebe und weniger PV-Anlagen



## 5. Schlussfolgerungen

- Gesamtheitliche Betrachtung von Lastprofilen im Rahmen von Energy Communities hat großes Potenzial
- Peer-to-Peer Stromhandel kann die Attraktivität lokaler erneuerbarer Stromerzeugung deutlich steigern
  - Profitieren können auch reine Verbraucher ohne eigene PV-Anlage
- Interner Handel führt zu ähnlichen Ergebnissen beim „Eigenverbrauch“ wie Batteriespeicher
- Individuelle Zahlungsbereitschaften führen zu
  - keine Erhöhung der intern gehandelten Strommenge
  - ökologisch motivierte Teilnehmer beziehen größeren Anteil
- Je heterogener die Energy Community, desto besser
  - Gewerbebetriebe
  - Reine Verbraucher
- Hindernisse
  - rechtliche Rahmenbedingungen
  - notwendigen intelligenten Zähler (Smart Meter)



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!