



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna | Austria



# Techno-Ökonomische Pareto-Optimierung von Energiezellen

Andreas Fleischhacker

Georg Lettner

Daniel Schwabeneder

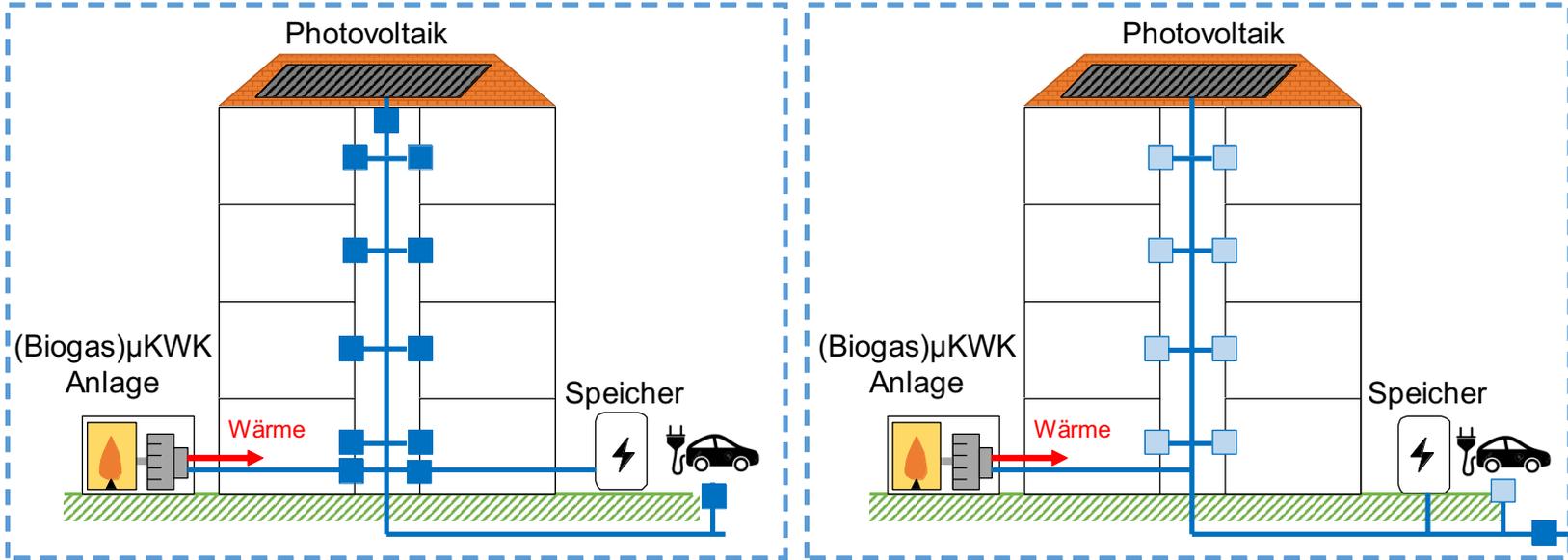
15. Symposium Energieinnovation/Session C6

16.02.2018

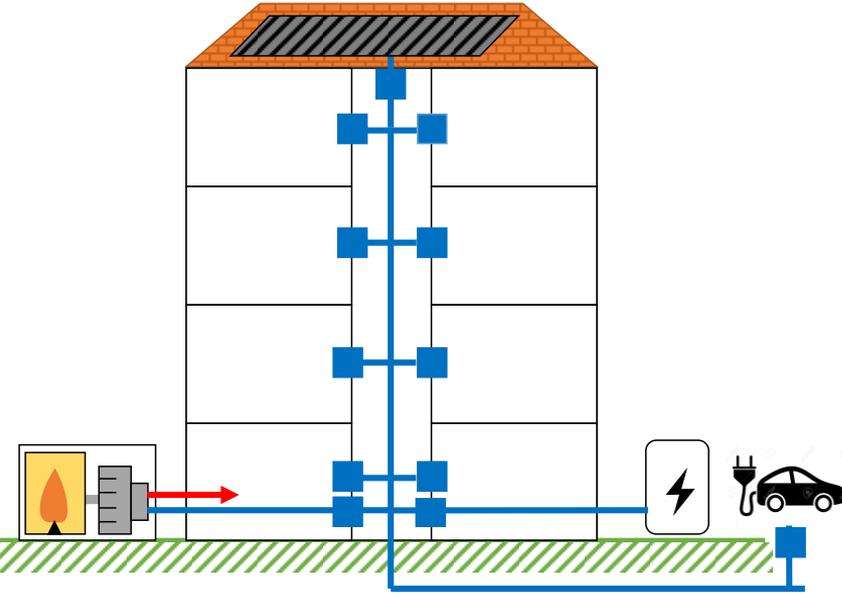
- Definition Herausforderungen für Energiezellen
- Modellansatz
- Use Cases
- Ergebnisse
- Schlussfolgerung

Energiezelle (Fremd-Versorger unabhängig)

Energiezelle (Fremd-Versorger abhängig)



■ Zählpunkt zum Netzbetreiber    □ Zählpunkt innerhalb einer Energiezelle



### **Vorteile**

- Gleichstellung von Einfamilien- und Mehrfamilienhausbewohnern
- Verbraucher kann seinen Nutzen ausdrücken (kauft/mietet Leistung)

### **Nachteile**

- Administration (Verwaltung, Verrechnung, ...)
- Verantwortlicher/Investor
- Aufteilung

## Einfamilienhäuser (EFH)

## Energiezelle

Investition

- Investitionskosten trägt der Besitzer

- Wer trägt die Investitionskosten?
  - Eine oder mehrere Personen?
  - Besitzer, (Mieter), externer Investor, Stromlieferant

Energie

- Üblicherweise:  
Investor = einziger Verbraucher

- Nach welchem Schlüssel wird die Energie aufgeteilt?

Einnahmen

- Einspeisetarif oder Abnahmepreis (extern)
  - Derzeit Fokus auf Eigenverbrauchsmaximierung

- Einspeisetarif oder Abnahmepreis (extern und intern)
  - Derzeit Fokus auf Eigenverbrauchsmaximierung

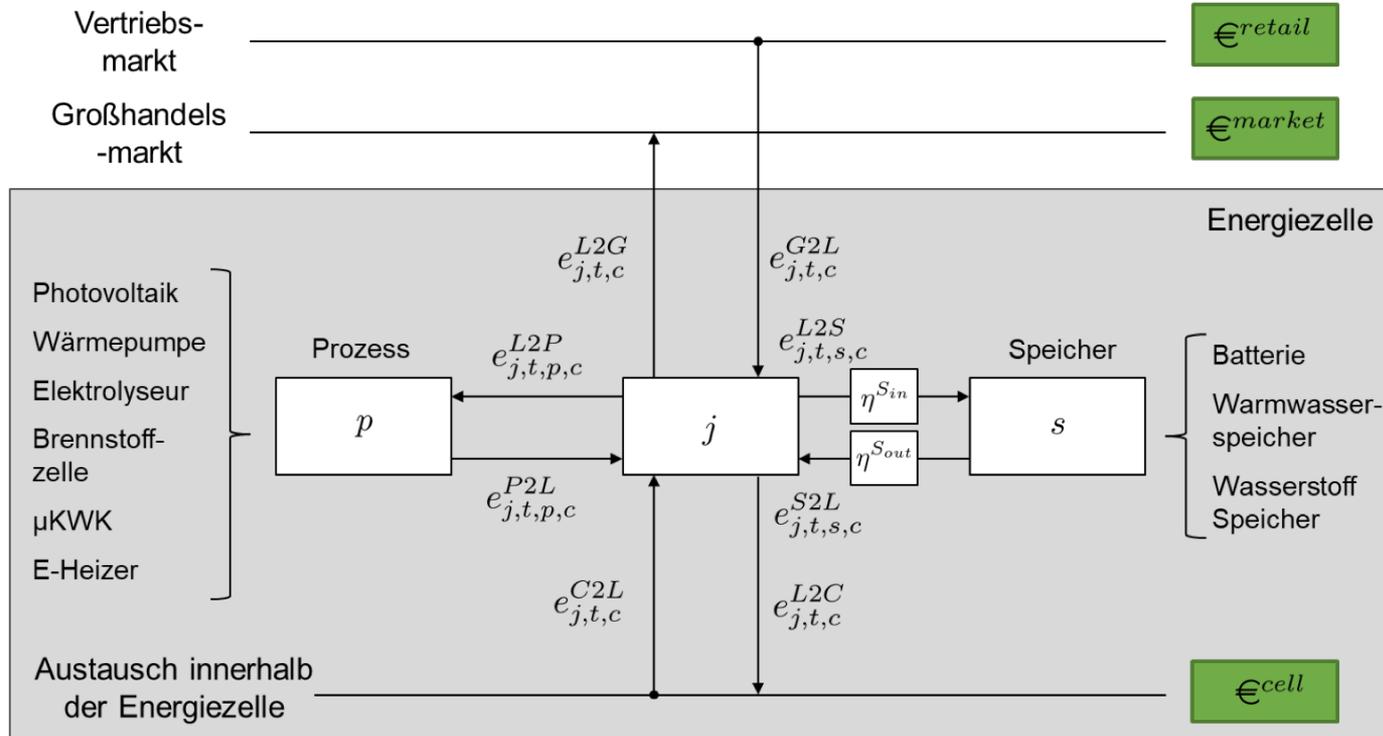
**Annahme:** Ein Hausbesitzer, welcher die Wohnungen an  $N$  Mieter vermietet. Ein Stromlieferant.

	Mieter (=Verbraucher)	Besitzer	Externer Investor	Stromlieferant
(i)	Verteilungsschlüssel? Umgang mit Vertragsaustieg?	(vermietet Dach-, Park-, Lagerfläche)	-	Verliert Umsatz durch den Eigenverbrauch.
(ii)	Teilnahme: ja / nein	Allgemeingut oder Verteilungsschlüssel? (Langfristige) Wirtschaftlichkeit?	-	Verliert Umsatz durch den Eigenverbrauch.
(iii)	Teilnahme: ja / nein	(vermietet Dach-, Park-, Lagerfläche)	Bepreisung von lokaler Erzeugung? (Langfristige) Wirtschaftlichkeit?	Verliert Umsatz durch den Eigenverbrauch.
(iv)	Teilnahme: ja / nein	(vermietet Dach-, Park-, Lagerfläche)	-	Verliert Umsatz durch den Eigenverbrauch. Neue Einnahmen.



Tätigt die Investition.

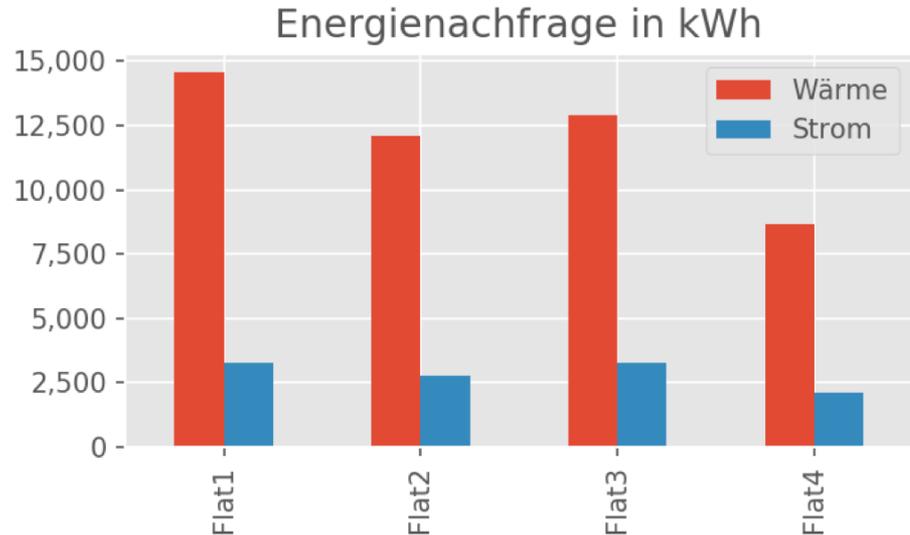
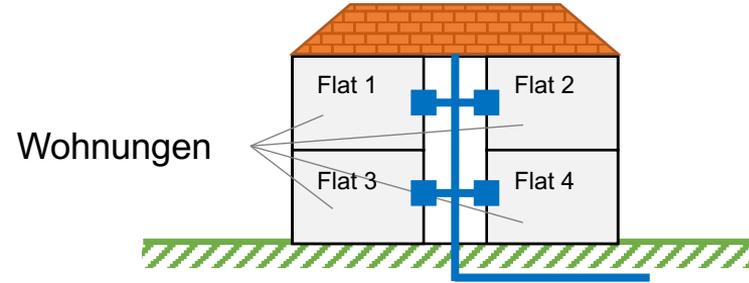
## Pareto-Optimierung: Kostenminimale Zielfunktion unter Berücksichtigung der elektrischen Netzlast



$$j \in \{\text{Prosumer}_1, \text{Prosumer}_2, \dots, \text{Prosumer}_J\}$$

$$t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad c \in \{\text{Elec}, \text{Heat}, \text{Gas}, \text{H}_2\}$$

- Zinshaus mit vier Wohneinheiten
- Status Quo mit Netzversorgung:
  - Endkundenstrompreis: 15 ct/kWh
  - Endkundenwärmepreis: 7,2 ct/kWh
  - Endkundengaspreis: 6,1 ct/kWh
- Die Wohneinheiten sind leistungsgemessen (Großschönau/AT)
- Investitions- und Betriebskosten von Erzeugungs- und Speichieranlagen nach:
  - ASUE (2015), Kotzur (2017), Lindberg et al. (2016), Loschan (2017), Teichmann (2012), Tesla (2016), Truong (2016),



## 1 Strom



Photovoltaik



Batterie

## 2 Strom & Wärme



Photovoltaik



Batterie



Wärmepumpe

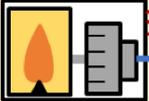


Stromheizer



Wärmespeicher

## 3 Kraft-Wärme-Kopplung (μKWK)



μKWK

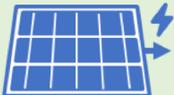


Batterie



Wärmespeicher

## 4 Wasserstoff



Photovoltaik



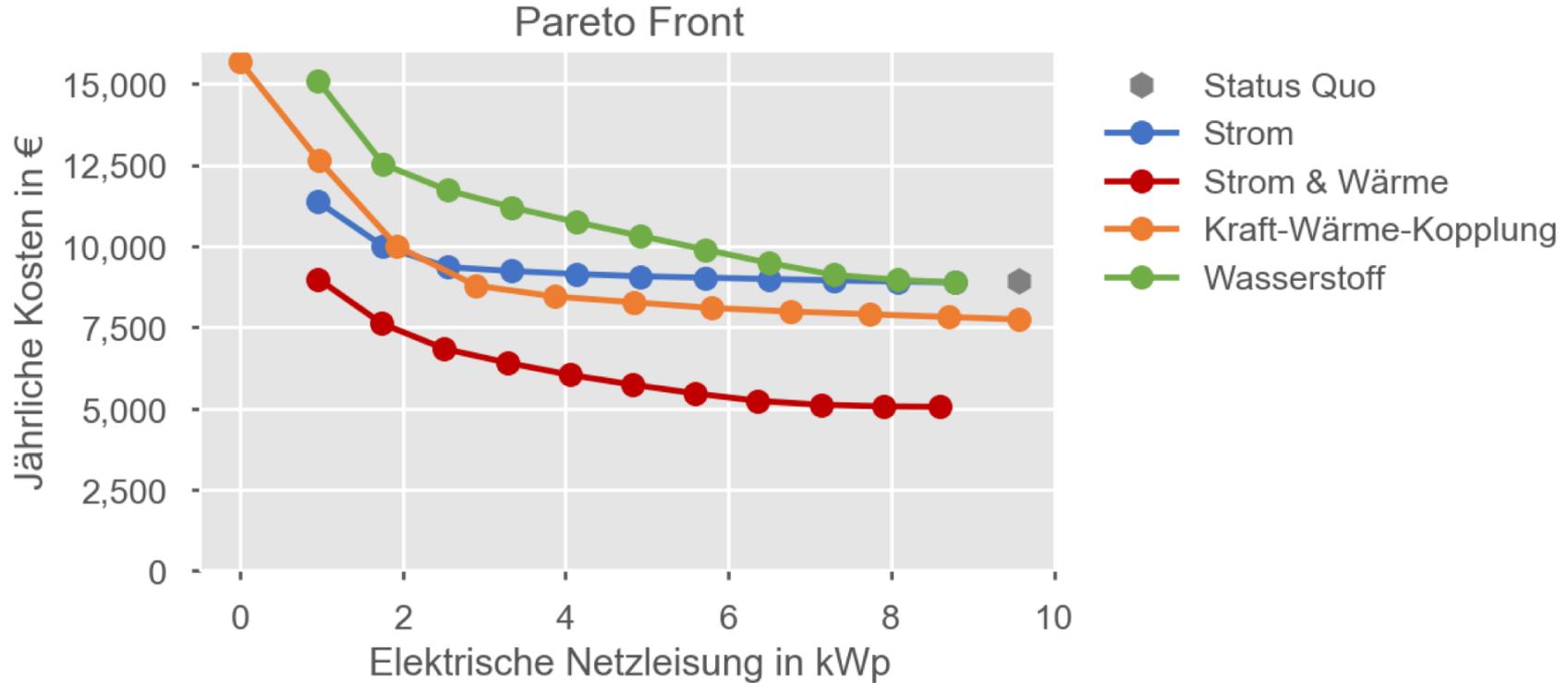
Wasserstoffspeicher

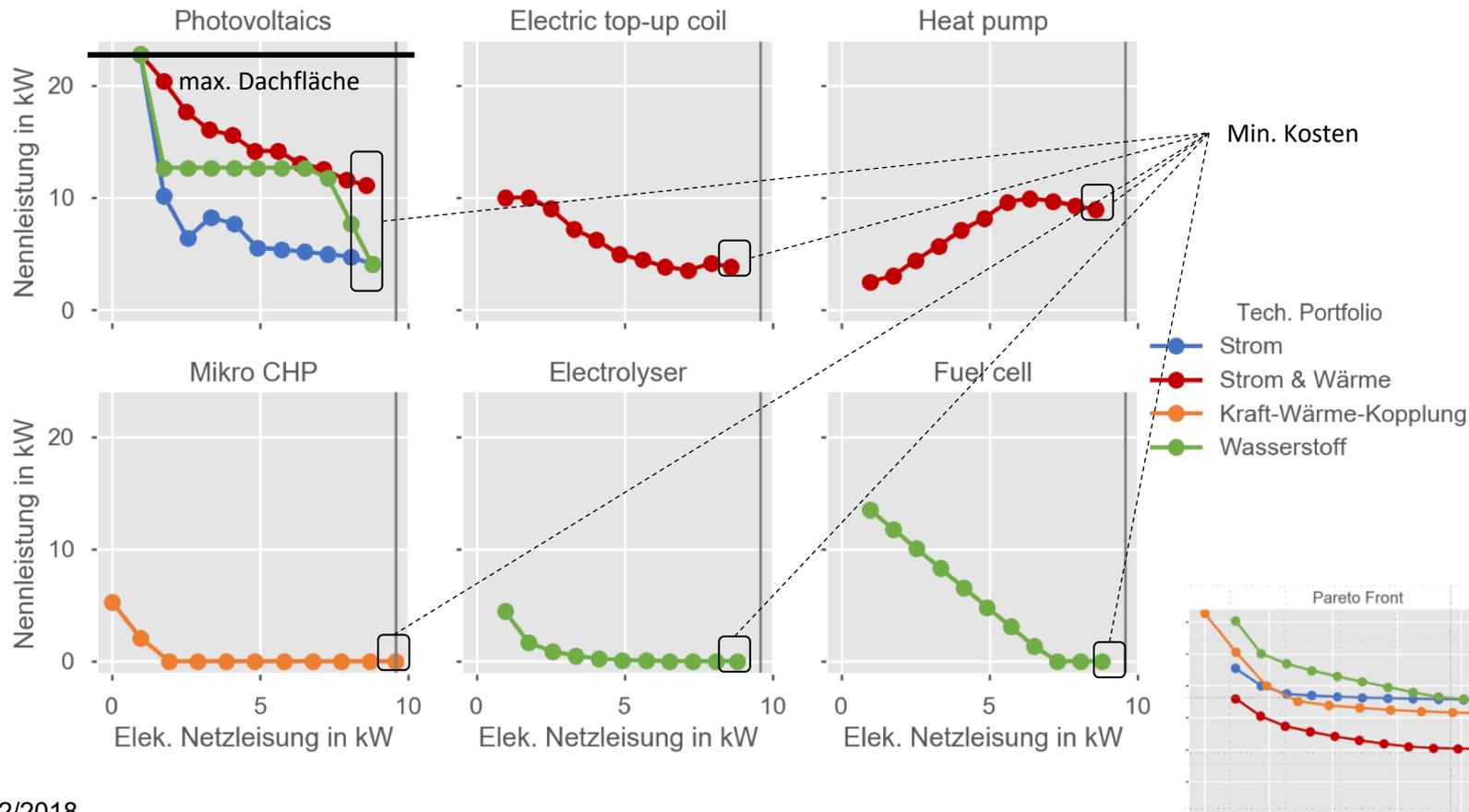


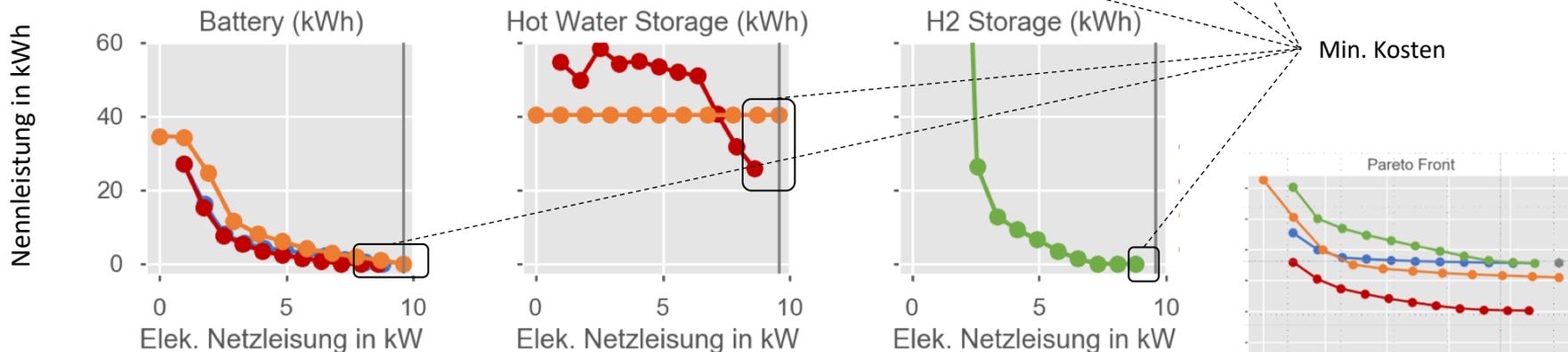
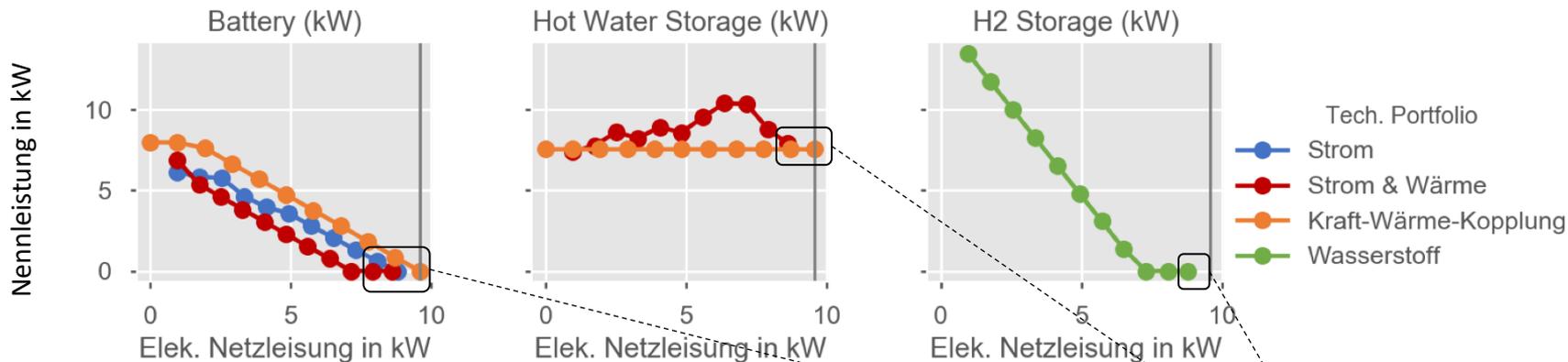
Elektrolyseur

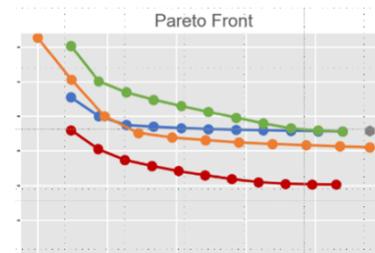
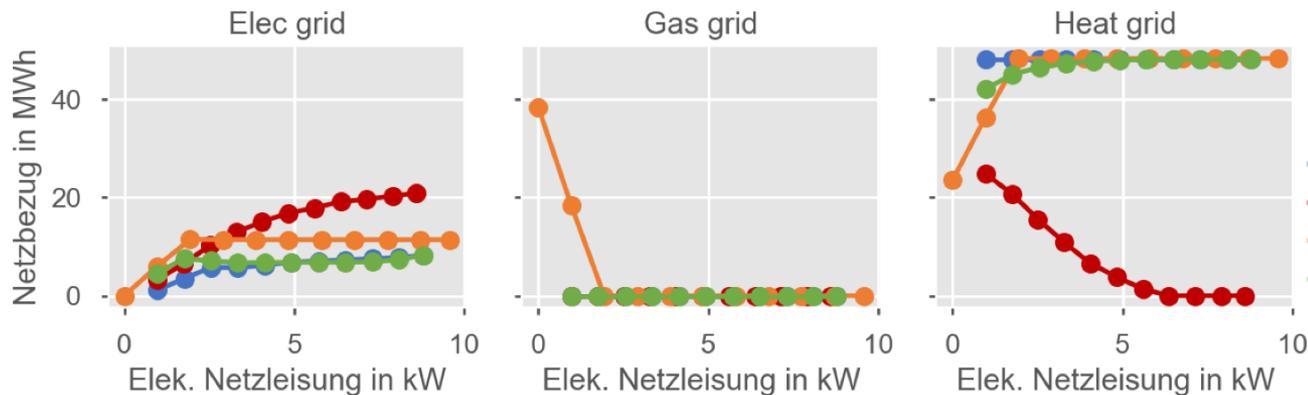
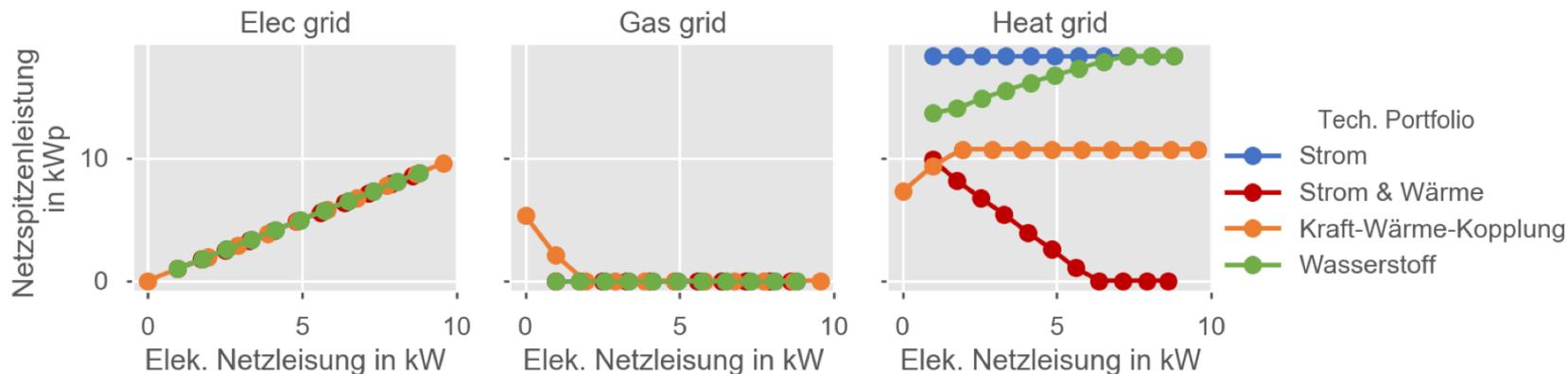


Brennstoffzelle









- Durch den Einsatz von PV-Anlagen mit und ohne Kombination von Batteriespeichern können beinahe „kostenneutral“ die jährliche elektrische Lastspitze reduziert werden.
- Dezentrale Sektorenkopplung durch den Einsatz von Wärmespeichern, Wärmepumpen und Heizstäben können sowohl Kosten, als auch die elektrische Lastspitze erheblich reduzieren.
- Eine komplette Stromautarkie kann nur mit einem KWK-System inkl. Speicher unter überschaubaren Kosten erreicht werden – ein Gasnetz wird jedoch benötigt.
- Eine Reduktion der elektrischen Spitzenlast durch eine PV-Wasserstoff-Systemlösung kann in dem ausgewählten Fall nur unter den höchsten Kosten erfolgen.
- Die Reduktion der Stromlast im Strom+Wärme Fall kann v.a. durch den Einsatz von Heizstäben erreicht werden. D.h. hier muss eine Entscheidung „Netz vs. Effizienz“ erfolgen.
- Durch dezentrale PV-Erzeugung und Elektrifizierung des Wärmebereichs entsteht eine Konkurrenzsituation für bestehende Fern-/Nahwärmenetze.

Sondierungsprojekt: UrbanEnergyCells

Projektpartner: Wien Energie, Sonnenplatz Großschönau

Stadt der Zukunft ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik ÖGUT abgewickelt.





TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna | Austria



**GEORG LETTNER**

Technische Universität Wien  
Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe  
Energy Economics Group – EEG

Gußhausstraße 25-29 / E370-3  
1040 Wien, Österreich

[T] +43 1 58801 370 376  
[E] [lettner@eeg.tuwien.ac.at](mailto:lettner@eeg.tuwien.ac.at)  
[W] [www.eeg.tuwien.ac.at](http://www.eeg.tuwien.ac.at)



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna | Austria



# Appendix

## Process

Process	inv-cost (€)	inv-cost-p (€/kW)	fix-cost (%/a von inv)	WACC	depre- ciation (a)	source
Photovoltaics	3,372	1,029	0.01	0.02	25	EEffG 2016, Loschan 2017
Electrolyser	5,235	4,278	0.02	0.02	20	Kotzur 2017, Teichmann 2012
Fuel cell	4,635	3,753	0.02	0.02	20	Kotzur 2017, Teichmann 2012
Electric top-up coil	0	60	0.01	0.02	30	Lindberg 2016
Gas boiler	1,200	272	0.02	0.02	20	EEffG 2016, Loschan 2017, Lindberg 2016
Heat pump	3,000	1,150	0.01	0.02	18	EEffG 2016, Lindberg 2016
Mikro CHP	1,200	11,300	0.03	0.02	20	ASUE 2015, Lindberg 2016

## Storage

Storage	Commodity	inv-cost-p (€/kW)	inv-cost-c (€/kWh)	fix-cost-p (€/kW/a)	fix-cost-c (€/kWh/a)	depreciation	wacc	source
Battery	Elec	10	1200	0.5	0.5	15	0.02	Truong 2016, Tesla 2016, Hiesl 2017
Hot Water Storage	Heat	1	90	0.5	0.5	15	0.02	Lindberg et al 2016
H2 Storage	H2	1	25	0	0	25	0.02	Kotzur 2017

## A Energiepreis für geteilte Energie

- Opportunität Verkäufer: Großhandelspreis
- Opportunität Käufer: Vertriebspreis

$$\epsilon^{retail} \leq \epsilon^{cell} \leq \epsilon^{market}$$

mit dieser Bedingung ist ein  $\rightarrow$  monetärer Vorteil für Verkäufer und Käufer gegeben

- in diesem Modell werden die Investitionskosten von  $p_j$  und  $s_j$  von dem Nutzer  $j$  getragen

## B Jährliche Teilung der Investitions- und Betriebskosten

- (jährlich anteiligen Investitionskosten (Annuität) + jährliche Betriebskosten) \*  $a_j$  mit

$$a_j = \frac{\sum_t \sum_c e_{j,t,p,c}^{P2L}}{\sum_j \sum_t \sum_c e_{j,t,p,c}^{P2L}}$$

$$\begin{aligned}
 \min_{e,p} \quad & \text{total costs} = \\
 & \sum_p (A_p + C_p^{fix\%}) \left( b^P C_p^{invest} + \sum_j p_{j,p}^P C_p^{invpower} \right) \\
 & + \sum_s \sum_c \sum_j (A_s + C_s^{fix\%}) \left( p_{j,s}^{Smax} C_s^{invpower} + e_{j,s}^{SOC} C_s^{invcapacity} \right) \\
 & + \sum_c p_c^G C_c^{fixp} \\
 & + \sum_j \sum_t \sum_c e_{j,t,c}^{G2L} C_{t,c}^{Retail} \\
 & - \sum_j \sum_t \sum_c e_{j,t,c}^{L2G} C_{t,c}^{Market} \\
 \text{subject to} \quad & \sum_p e_{j,t,p,c}^{P2L} + e_{j,t,c}^{G2L} + e_{j,t,c}^{C2L} + \sum_s e_{j,t,s,c}^{S2L} = E_{j,t,c}^L + \sum_p e_{j,t,c}^{L2P} + e_{j,t,c}^{L2G} + e_{j,t,c}^{L2C} + \sum_s e_{j,t,s,c}^{L2S} \\
 & e_{j,t,p,c}^{P2G} \leq e_{j,t,c}^P n_{t,p}^{Pout} \\
 & \sum_j p_{j,p}^P \leq \begin{cases} b_p^P A^{Roof} / A^{PV-per-m^2} & c \in \{Solar\} \\ b_p^P p_p^{Pmax} & c \in C / \{Solar\} \end{cases} \\
 & e_{j,t,p}^P \leq e_{j,t,c,p}^{L2P} n_{t,p}^{Pin} \quad c \in C / \{Solar\} \\
 & e_{j,t,p,c}^P \Delta T \leq p_{j,p}^P \\
 & \sum_j (e_{j,t,c}^{G2L} - e_{j,t,c}^{L2G}) \Delta T \leq P_c^{Gmax} \\
 & \sum_j e_{j,t,c}^{L2C} = \sum_j e_{j,t,c}^{C2L} \\
 & e_{j,t,c}^{L2C} \Delta T \leq p_c^C \\
 & e_{j,t,c}^{C2L} \Delta T \leq p_c^C \\
 & e_{j,t,s,c}^{SOC} = e_{j,t-1,s,c}^{SOC} + \eta_s^{Sin} e_{j,t,s,c}^{L2S} - 1/\eta_s^{Sout} e_{j,t,s,c}^{S2L} \\
 & e_{j,0,s,c}^{SOC} = e_{j,T,s,c}^{SOC} = 0 \\
 & e_{j,t,s,c}^{L2S} \leq p_{j,s,c}^S \\
 & e_{j,t,s,c}^{S2L} \leq \begin{cases} p_{j,s,c}^{Smax} \\ e_{j,t-1,s,c}^{SOC} \end{cases} \\
 & e_{j,t,s,c}^{SOC} \leq e_{j,s,c}^{SOCmax}
 \end{aligned}$$

- Costs process
- Costs storage
- Costs grid
- Costs retail purchase
- Revenues market
- Load
- Process
- Cell
- Battery