



# Comparison of Pricing Mechanisms in Peer-to-Peer Energy Communities

Alexander Bogensperger

09.09.2021

2021



# Agenda

1

Motivation & Begriffsabgrenzung

2

Simulationsumgebung

3

Preismechanismen

4

Ergebnisse

5

Ausblick

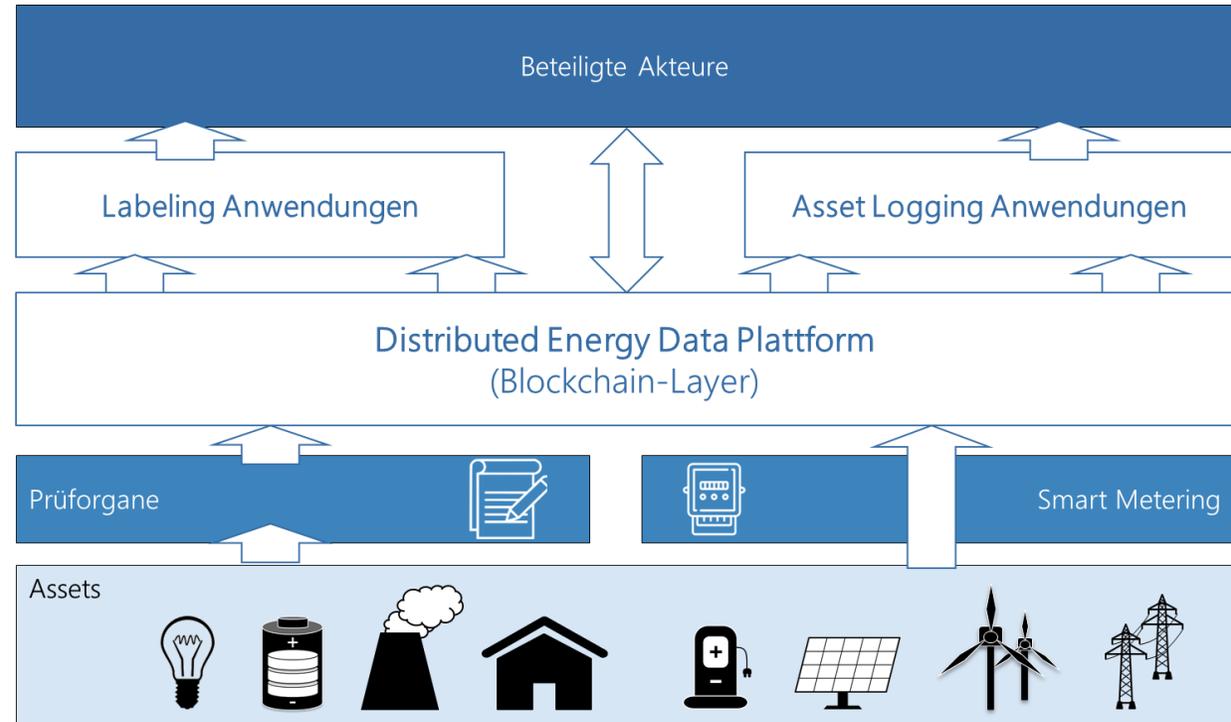
# Das Projekt InDEED\* auf einen Blick

## Ziele

Konzeption, Umsetzung und Evaluation einer auf Blockchain basierenden energie-wirtschaftlichen Datenplattform für die Anwendungsfelder „Labeling“ und „Asset Logging“ sowie Entwicklung und Evaluierung möglicher datenbasierter Geschäftsmodelle.

## Eckdaten

- Gefördertes Projekt  
Laufzeit: 04/2020 bis 03/2023
- Feldversuch mit 50 – 100 angebundenen Anlagen
- Integration von ca. 5 verschiedenen Anlagentypen in mehreren Testregionen
- 12 Partner aus allen Teilen der Wertschöpfungskette



## Partner



Gefördert durch:



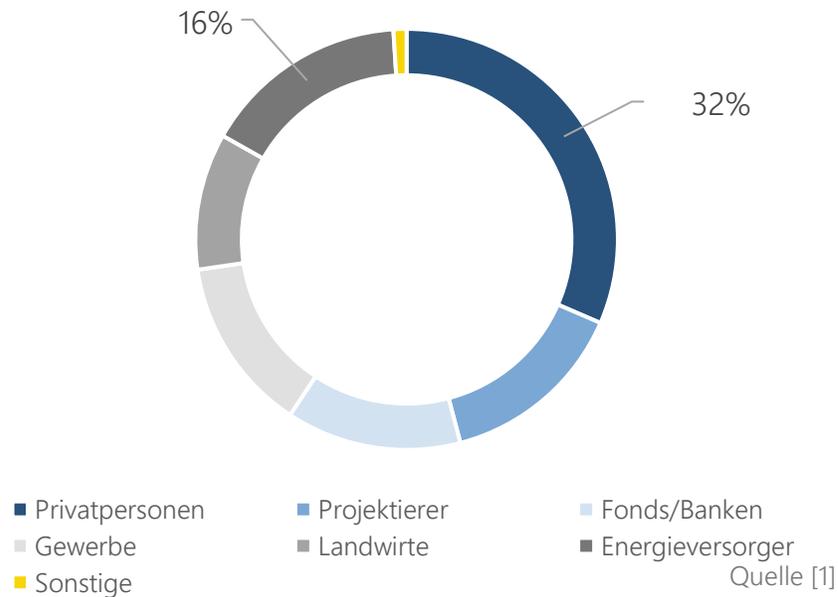
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

(\* FKZ: 03EI6026A)

# Motivation

## Rolle von Prosumern

Verteilung der Eigentümerstruktur zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren-Energieanlagen in Deutschland (2016)



## Energy Sharing

Bedeutung von Communities steigt (vgl. EU)

Prosumer können die überschüssigen elektrische Energie

- ins Stromnetz einspeisen,
- speichern,
- an anderen Stromverbraucher verkaufen/mit anderen Stromverbrauchern teilen



- Was ist das P2P Energy Sharing Konzept?
- Wie wird der Strompreis in P2P energy sharing communities festgelegt?
- Wie wirkt sich das P2P energy sharing auf die einzelnen Teilnehmer:innen und die gesamte Community aus?

# Definition & Abgrenzung

## P2P Energiehandel

---

- Direkter Handel zwischen lokalen Erzeugern und Verbrauchern
- Ziel ist die individuelle Gewinnmaximierung

## P2P Energiegemeinschaft

---

- Teilen von Überschüssen zwischen Erzeugern und Verbrauchern
- Im Fokus steht ein gemeinsames Ziel
- Trotzdem spielen Preismechanismen eine zentrale Rolle

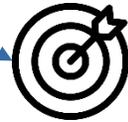
Sowohl P2P Handel als auch „Gemeinschaften“ werden häufig äquivalent verwendet

# Ziele von P2P Energy Sharing Communities

Wie kann eine P2P Energy Sharing Community aufgebaut werden?



Die Teilnehmer sind geografisch nahe beieinander  
z.B. Bewohner:innen im selben Dorf



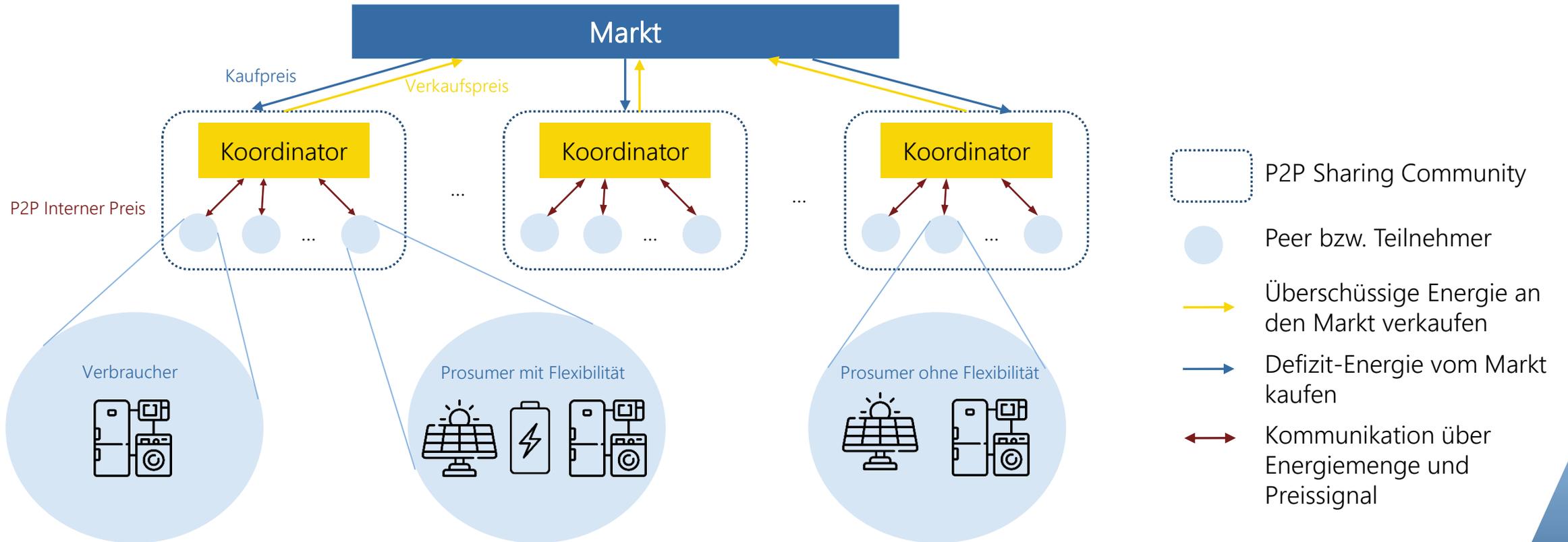
Die Teilnehmer:innen verfolgen das gleiche Ziel/die gleichen Ziele.

## Ziele von P2P Energy Sharing Communities

- Minimierung von Stromkosten, Erhöhung/Verstetigung der Erlöse
- Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Steigerung lokaler Wertschöpfung
- Reduktion von Abhängigkeit von importierten Energiemengen
- Reduktion von Lastspitzen
- Gemeinschaftsgefühl
- Erschließung zusätzlicher Vermarktungsoptionen (vgl. regionale Direktvermarktung, Regelleistung, Redispatch)
- ...

Preisbildung ist dennoch ein wichtiger Baustein von Communities

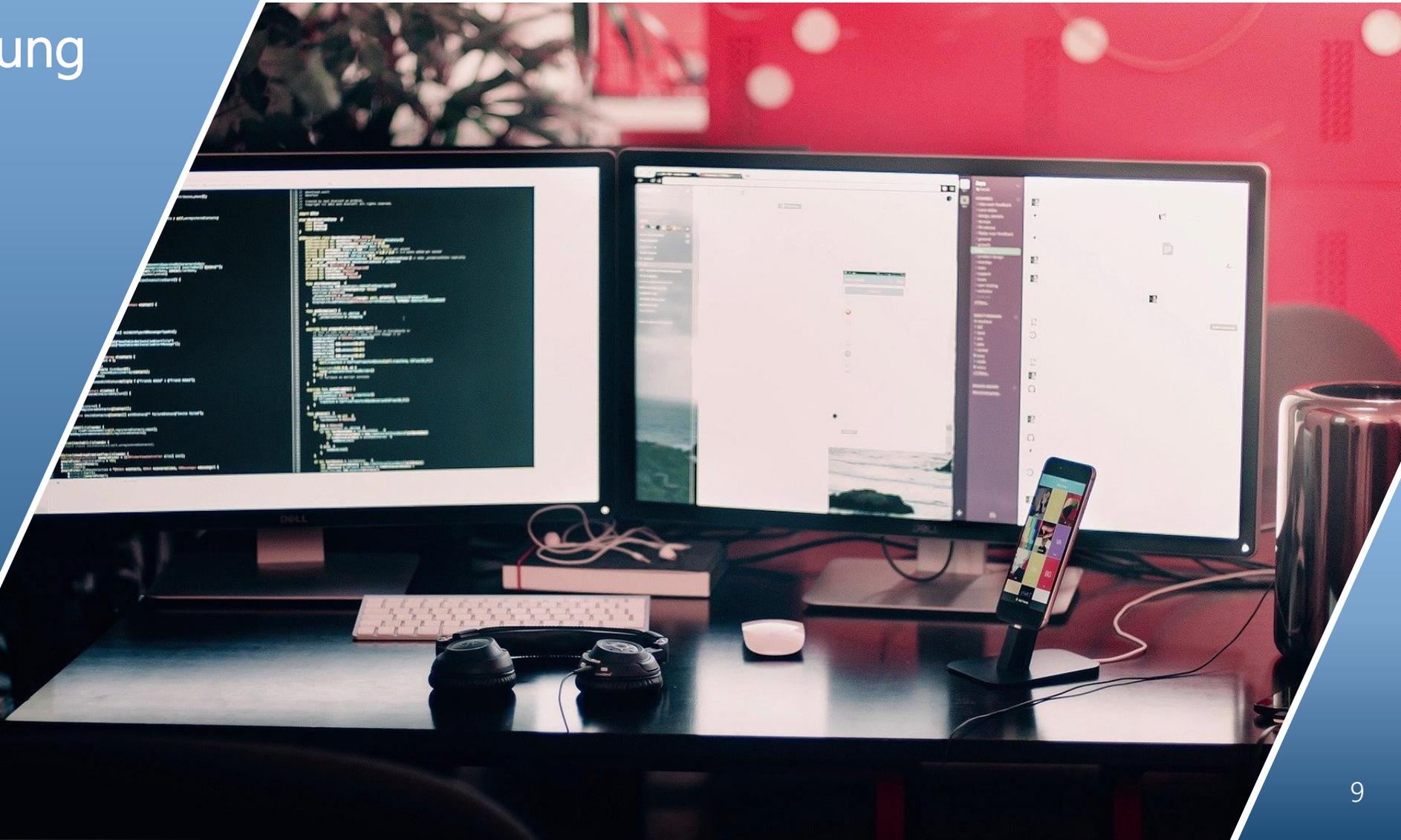
# Preisbildung als zentraler Baustein in P2P Sharing Communities



Quelle [3,4]

Welche Preismechanismen gibt es und wie unterscheiden sie sich?

# Simulationsumgebung

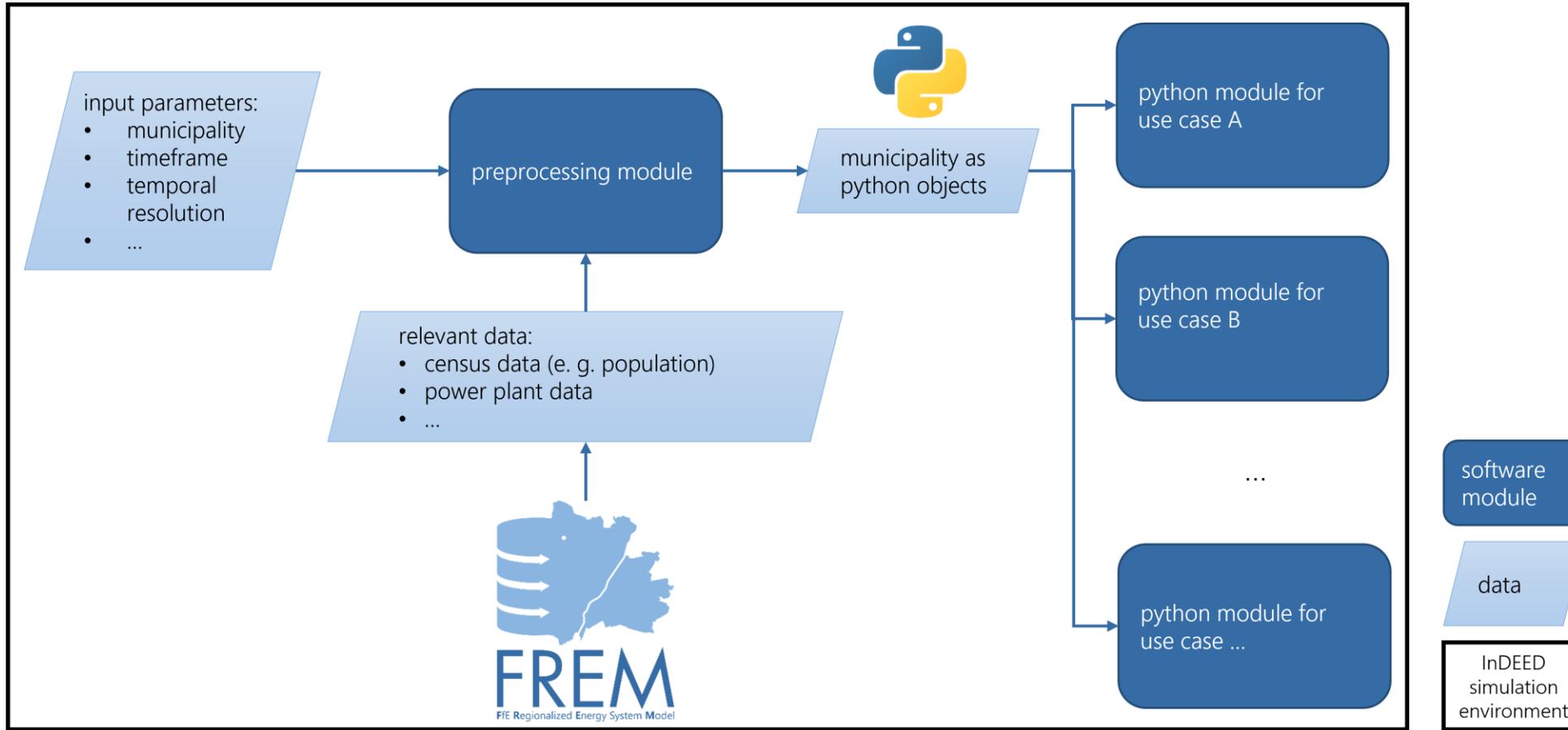


# Konzept

Input

Output

Simulation



# Erzeugte Objekte – Output

## Verbraucherseite



Zu allen Bestandteilen gibt es individuelle Lastgänge, die sich zu z.B. einem Haushaltssummenlastgang verschneiden lassen (inkl. Speicher).

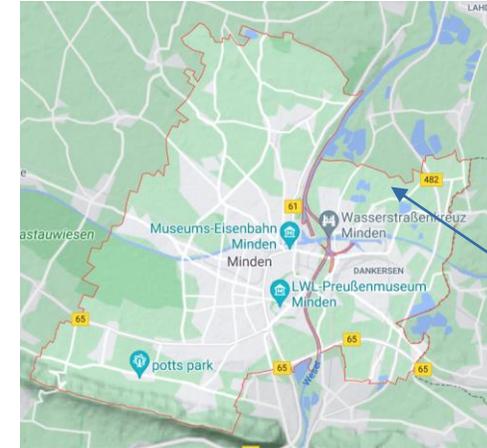
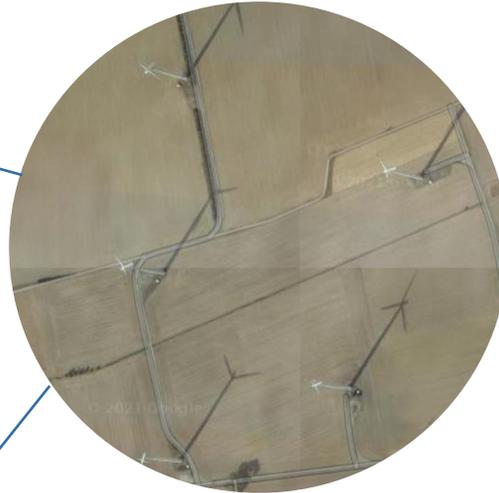
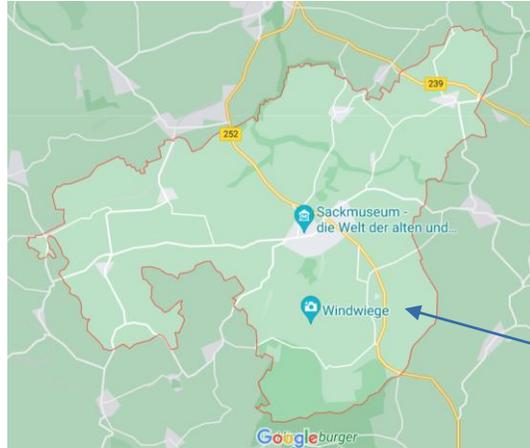
# Erzeugte Objekte – Output

## Erzeugerseite

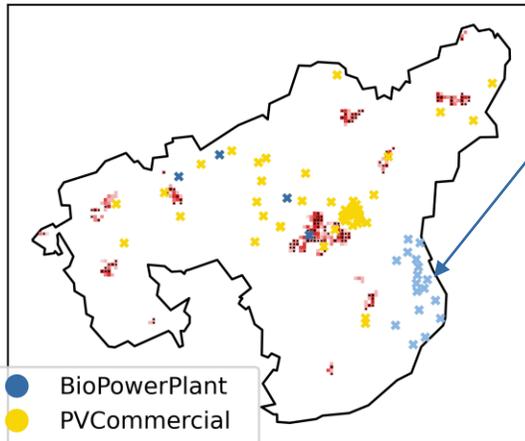
<p>WKA &lt;WindPowerPlant&gt;</p>		<p>0,8 – 8 MW</p>
<p>Gebäude PV &lt;PVResidential&gt;</p>		<p>1 – 20 kWp; Kategorie „Wohnen“</p>
<p>„große“ PV (z. B. Freifläche) &lt;PVCommercial&gt;</p>		<p>&gt; 20 kWp</p>
<p>Biomasse &lt;BioPowerPlant&gt;</p>		
<p>Wasserkraft &lt;HydroPowerPlant&gt;</p>		

Jeder Erzeuger erhält basierend auf regionalen Gegebenheiten entsprechende regionalisierte Lastgänge (z.B. abhängig von Wind oder Sonneneinstrahlung)

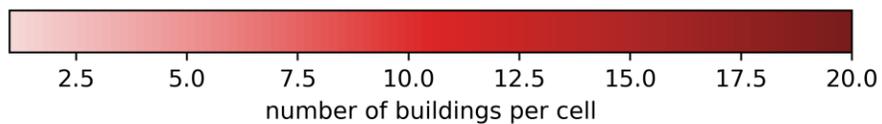
# Ergebnis des preprocessing moduls



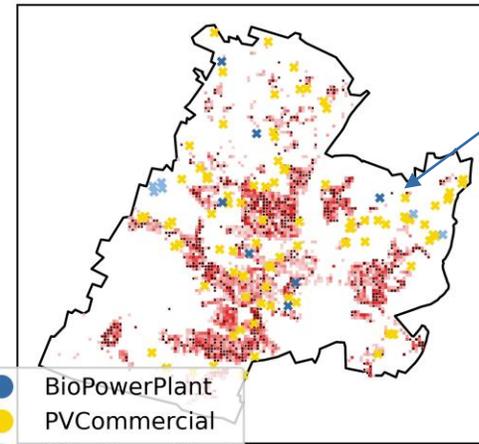
Nieheim



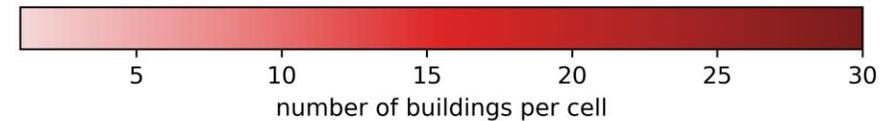
- BioPowerPlant
- PVCommercial
- WindPowerPlant



Minden



- BioPowerPlant
- PVCommercial
- WindPowerPlant



Bildquellen: Google Maps & Google Earth

# Verwendung der Objekte – Simulation

## Beispiel – Herkunftsnachweis / Regionale Direktvermarktung

### Fragestellung:

Wie wird der Strom innerhalb der Gemeinde (bilanziell) verteilt, wenn der Weg zwischen Erzeugung und Verbrauch möglichst klein sein soll?

Wie viel Strom kann innerhalb von 4,5 km zeitgleich verbraucht werden?

### Verwendete Daten:

- Lastprofile der reinen Verbraucher
- Lastprofile / Erzeugungsprofile der Prosumer
- Erzeugungsprofile der EE-Erzeuger
- Standortinformation aller Assets

### Vorgehensweise:

**Lineare Optimierung**  
 Werkzeug zum **kostenoptimalen**  
 „Matching“ von Angebot und Nachfrage

$$\min_{z \in \mathbb{R}^{(n+1) \times (m+1)}} \sum_{\substack{i \in I \setminus \{n+1\}, \\ j \in J \setminus \{m+1\}}} \tilde{d}_{ij} z_{ij} \text{ s. t.}$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ \downarrow}} g_i z_{ij} = c_j, \forall j \in J$$

$$\sum_{j \in J} z_{ij} = 1, \forall i \in I$$

$$z \geq 0$$

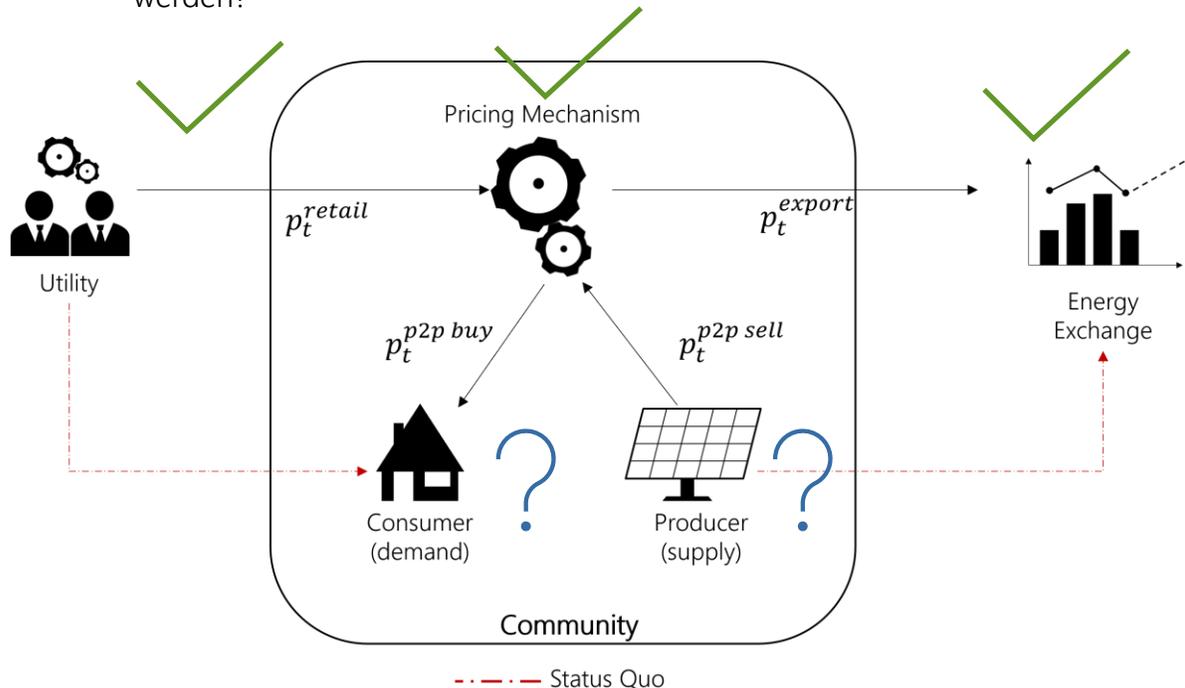
Kosten = Entfernung zw. Verbraucher und Erzeuger

# Verwendung der Objekte – Simulation

## Beispiel – P2P Preise

### Fragestellung:

Welche Preise würden entstehen, wenn Gemeinden vollständig als P2P Energy Sharing Community angesehen werden?



### Vorgehensweise:

1. Gemeinden mit `sim_preprocessing` erzeugen
2. Verbrauchs-/Erzeugungsprofile aller relevanten Assets bestimmen
  - `residual_load_profile` (Verbraucher und Prosumer)
  - `generation_profile_el` (Erzeuger)
3. Börsenstrompreise & Retail-Preise zu jedem Zeitschritt laden
4. Je Zeitschritt alle Werte als Eingangsvariablen für Preismechanismen nutzen

$$Preise_t = \text{Preismechanismus}(\text{Erzeugung}_t, \text{Verbrauch}_t, \text{Börsenpreis}, \text{Haushaltspreis})$$

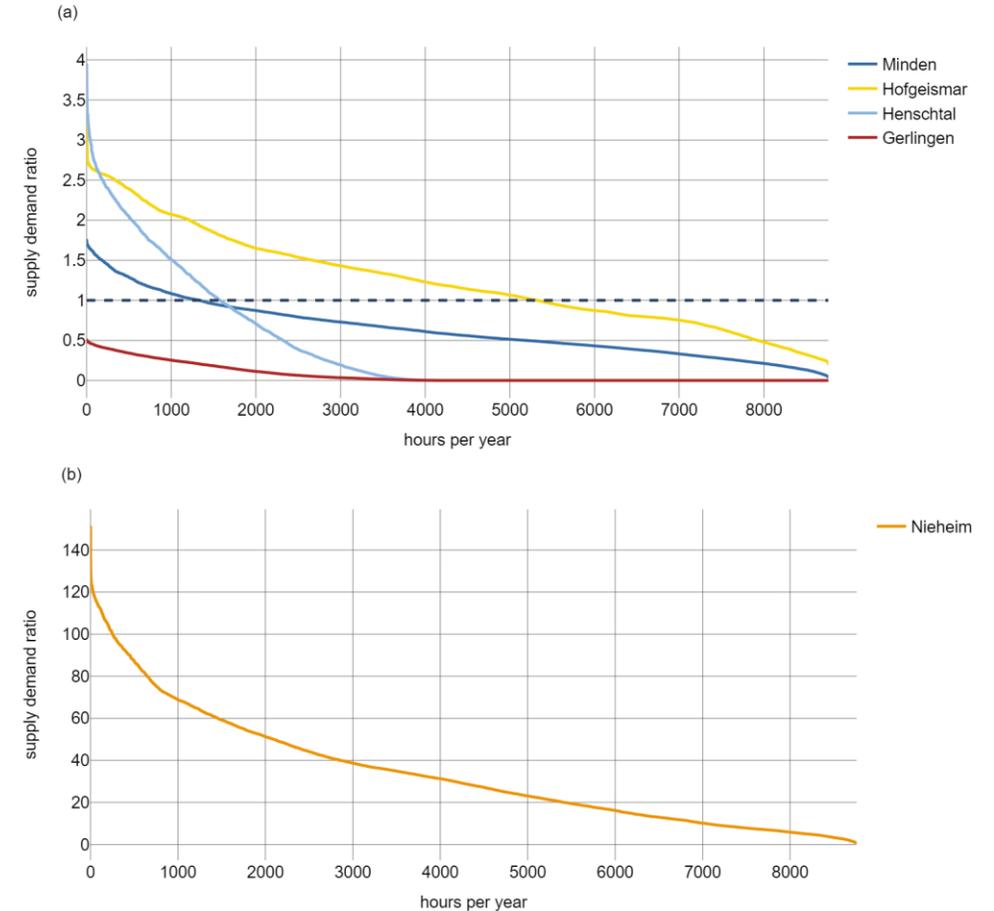
### Verwendete Daten:

- Lastprofile der reinen Verbraucher
- Lastprofile / Erzeugungsprofile der Prosumer
- Erzeugungsprofile der EE-Erzeuger

Der Use Case nutzt ausschließlich Lastprofile. Die räumliche Verortung der Anlagen ist hier irrelevant.

# Betrachtete Case Studies in dieser Studie

- **Nieheim:**
  - Kleinere Gemeinde
  - Überproportional viel Erzeugung aus Wind (35,8 MW Wind)
- **Minden:**
  - Einwohnerstarke Gemeinde
  - Viel Fläche, viel Verbrauch, viel EE-Erzeugung
- **Hofgeismar:**
  - Mittelgroße Gemeinde
  - Viel konstante Erzeugung
- **Henschtal:**
  - Sehr kleine Gemeinde
  - Vor allem PV-Erzeugung
- **Gerlingen:**
  - Mittelgroße Gemeinde
  - Wenige EE-Erzeugung im Verhältnis

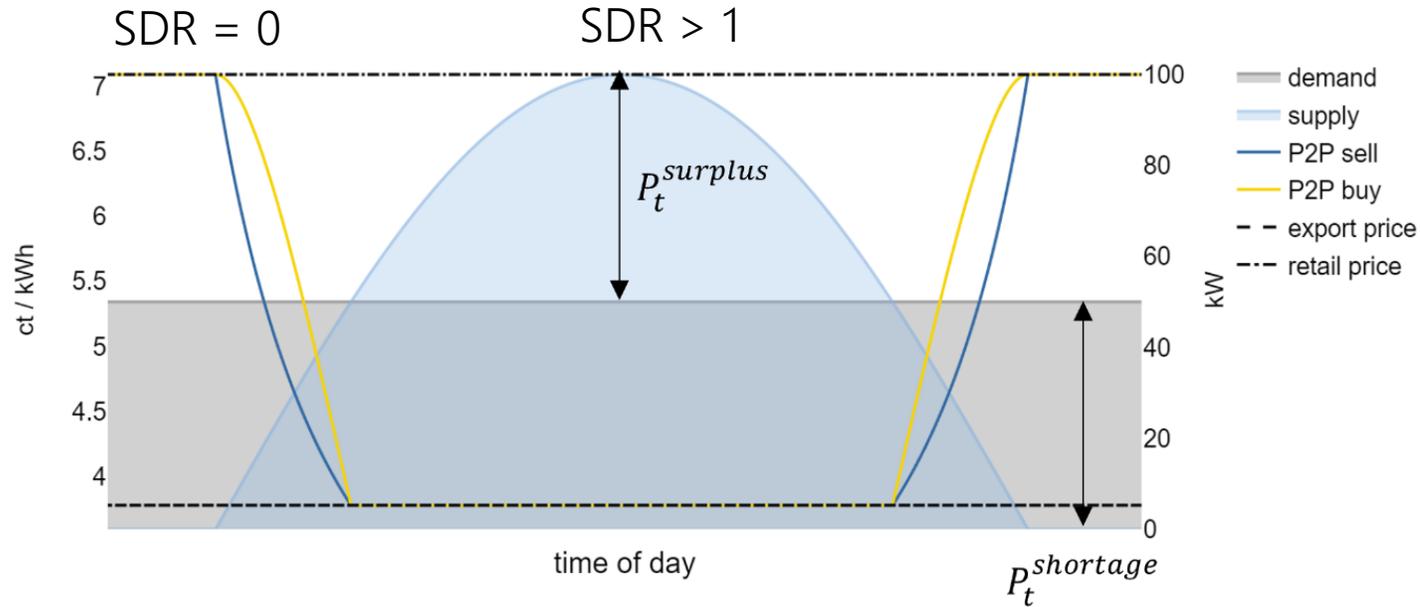


Die ausgewählten Gemeinden sind einerseits relativ repräsentativ und unterscheiden sich andererseits gut in ihren Voraussetzungen

# Preismechanismen



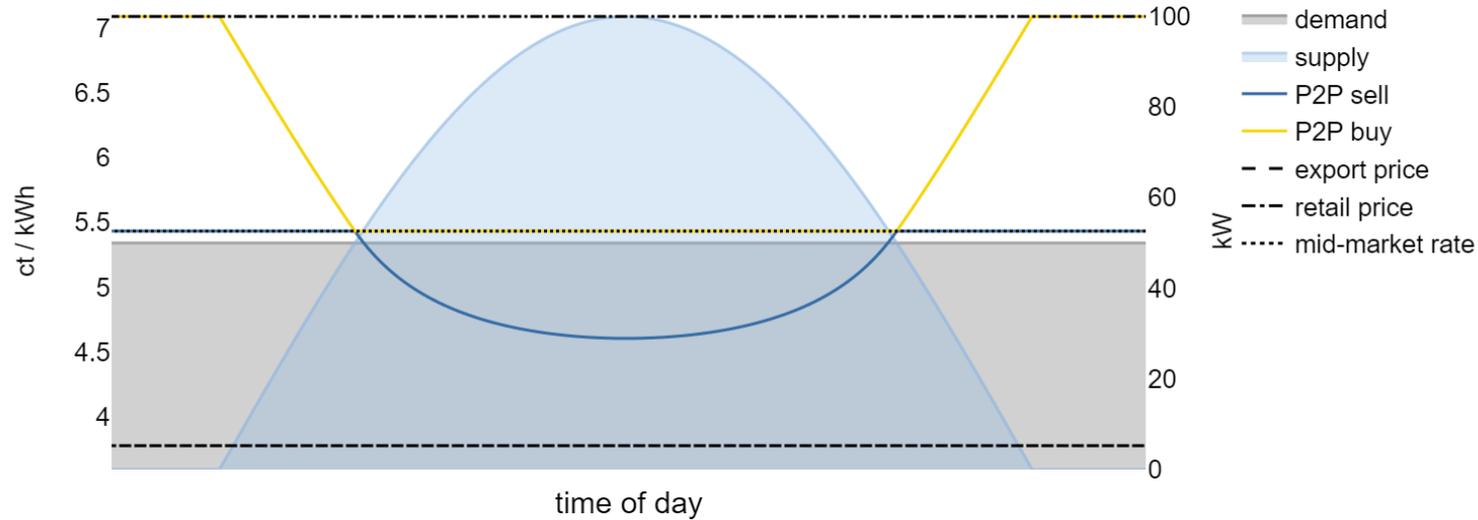
# Supply and Demand Ratio (SDR)



$$p_t^{p2p\ sell} = f(SDR) = \begin{cases} \frac{p_t^{export} \cdot p_t^{retail}}{(p_t^{retail} - p_t^{export}) \cdot SDR_t + p_t^{export}} & 0 \leq SDR_t \leq 1 \\ p_t^{export} & SDR_t > 1 \end{cases}$$

$$p_t^{p2p\ buy} = \begin{cases} p_t^{p2p\ sell} \cdot SDR_t + p_t^{retail} \cdot (1 - SDR_t) & 0 \leq SDR_t \leq 1 \\ p_t^{export} & SDR_t > 1 \end{cases}$$

# Mid-Market Rate Pricing (MMR)

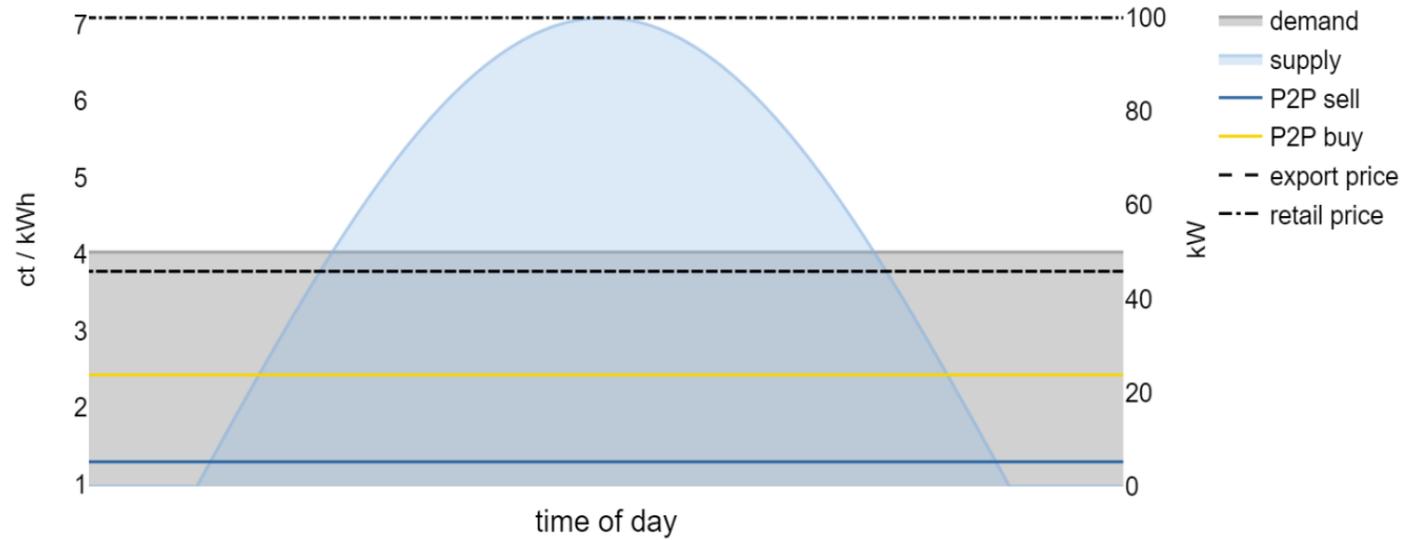


$$p_t^{p2p\ buy} = p_t^{P2P\ sell} = p_t^{mid} = \frac{p_t^{retail} + p_t^{export}}{2}$$

$$\begin{cases} p_t^{p2p\ sell} = p_t^{mid} \\ p_t^{p2p\ buy} = \frac{p_t^{mid} \cdot \sum_{i=1}^{peers} P_t^{supply} + P_t^{shortage} \cdot p_t^{retail}}{\sum_{i=1}^{peers} P_t^{demand}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_t^{p2p\ sell} = \frac{p_t^{mid} \cdot \sum_{i=1}^{peers} P_t^{demand} + P_t^{surplus} \cdot p_t^{export}}{\sum_{i=1}^{peers} P_t^{supply}} \\ p_t^{p2p\ buy} = p_t^{mid} \end{cases}$$

# Bill Sharing (BS)



$$p_t^{p2p\ buy} = \frac{p_t^{retail} \cdot \sum_{t=1}^T P_t^{shortage}}{\sum_{i=1}^{peers} \sum_{t=1}^T P_{i,t}^{demand}}$$

$$p_t^{p2p\ sell} = \frac{p_t^{export} \cdot \sum_{t=1}^T P_t^{surplus}}{\sum_{i=1}^{peers} \sum_{t=1}^T P_{i,t}^{supply}}$$

# Eingangsdaten

## Case Study

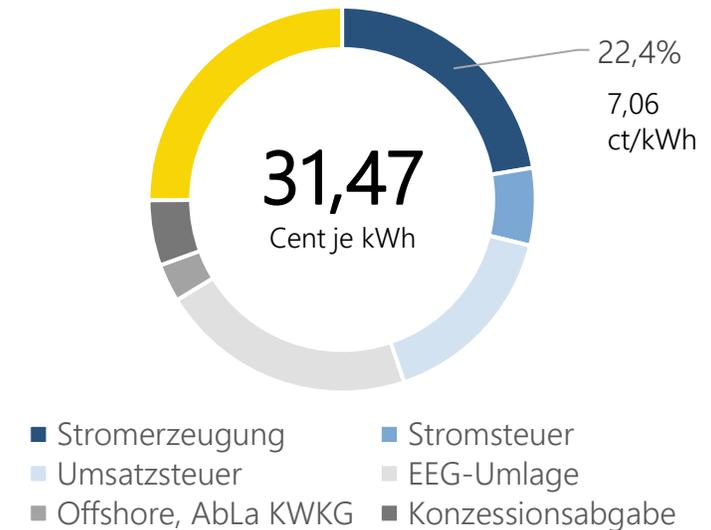
### Vergleichsgrundlage:

- Verbraucher zahlen als Referenz den Retail-Preis (7,06 ct/kWh)
- Erzeuger erhalten den Börsenstrompreis (post-EEG)
- Alle EE-Anlagen in der Region sind post-EEG

### Sonstige Annahmen:

- Strompreisbestandteile vernachlässigt (für Vergleichbarkeit)
- Regionale Direktvermarktung vernachlässigt
- Industrie und GHD vernachlässigt
- Etwaige Kosten und Margen des Community Operators sind vernachlässigt

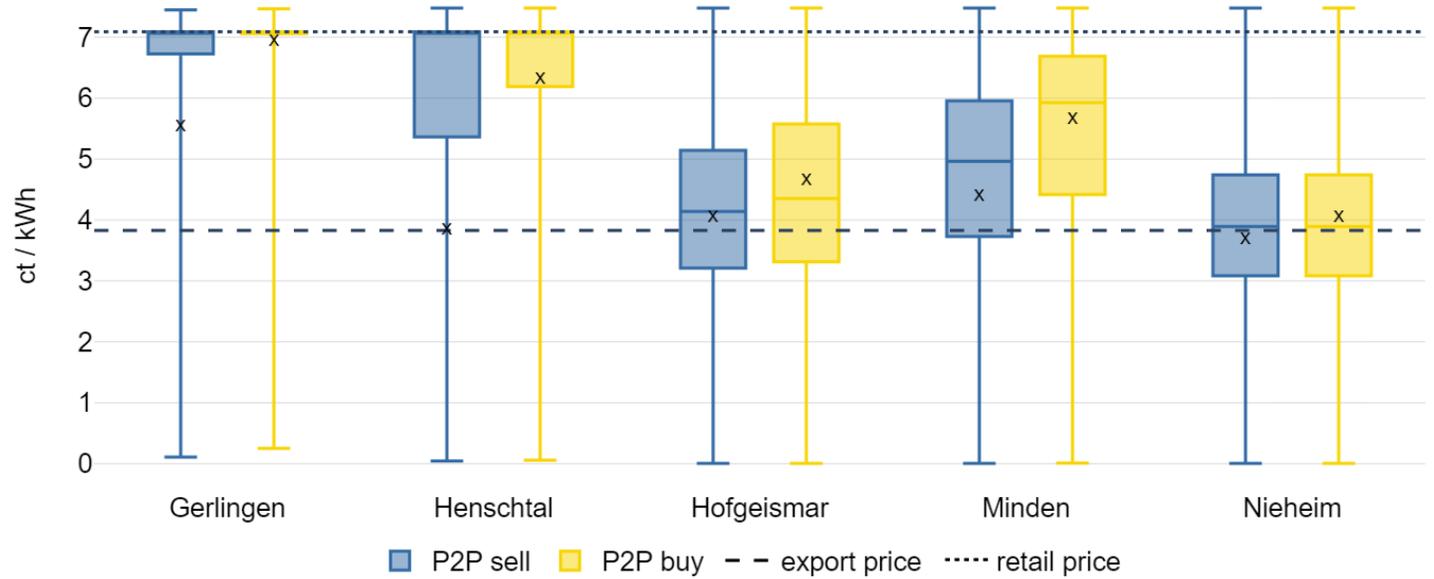
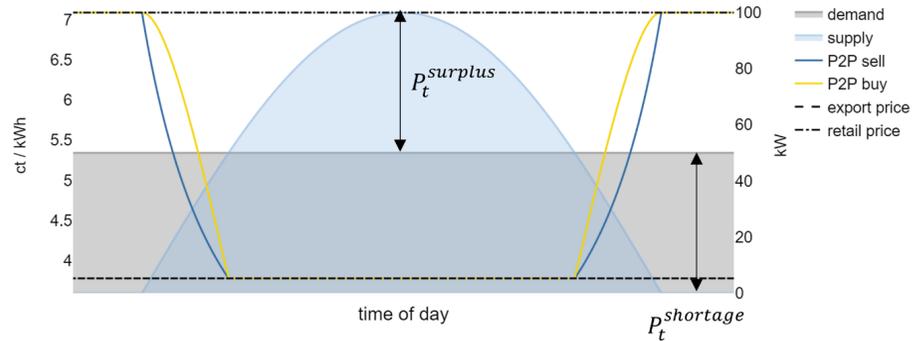
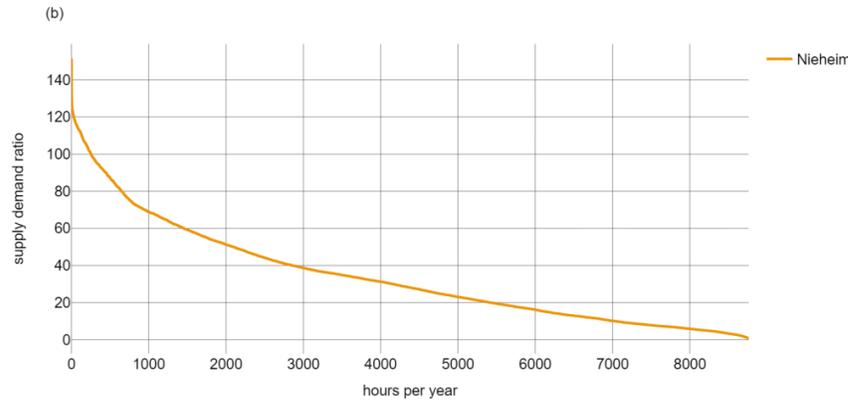
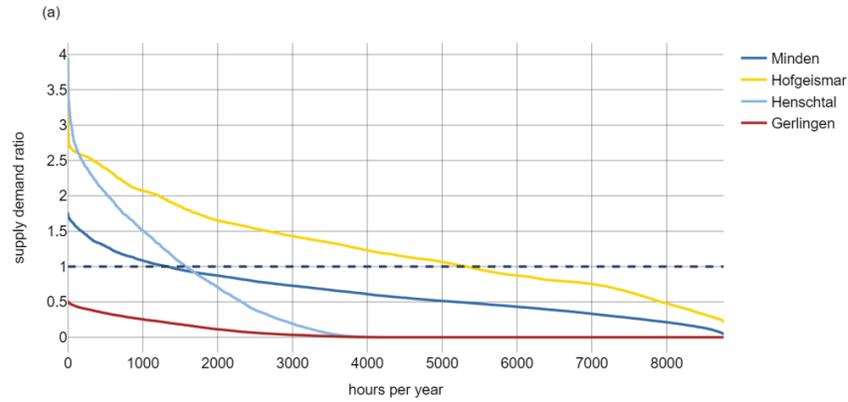
Strompreiszusammensetzung 2020  
(Durchschnittlicher Strompreis für  
Haushaltskunden in Deutschland)



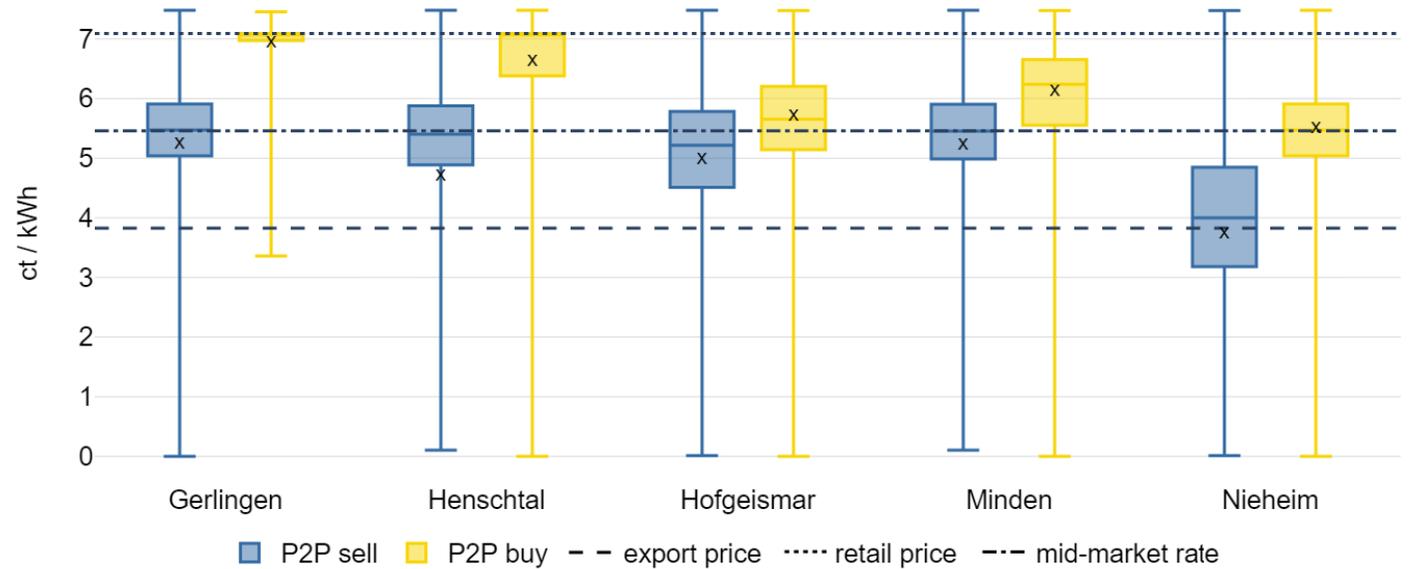
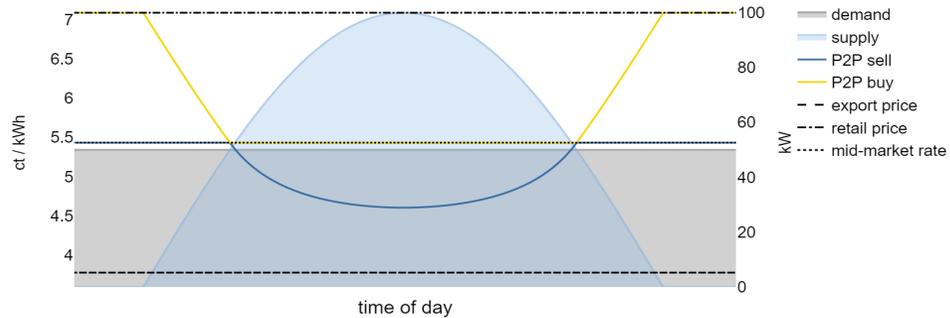
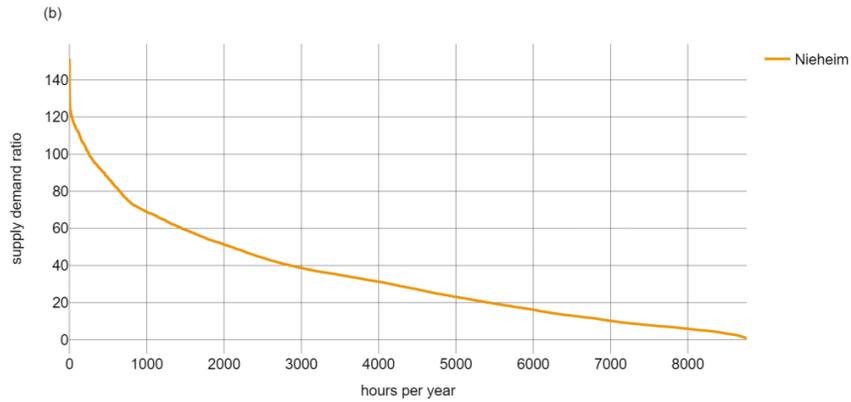
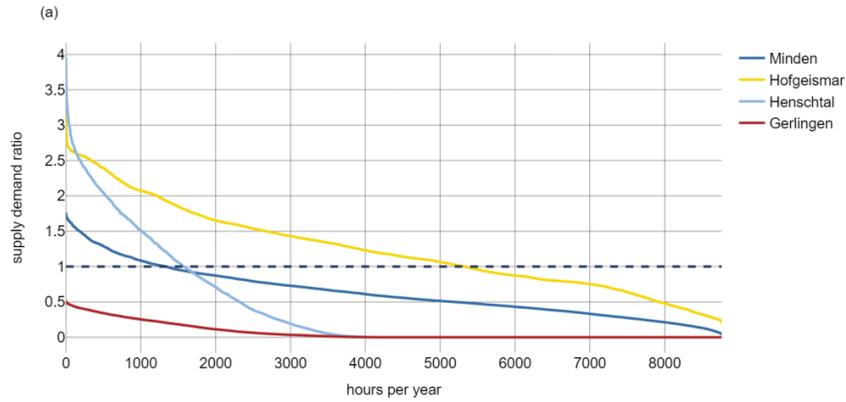
# Ergebnisauswertung



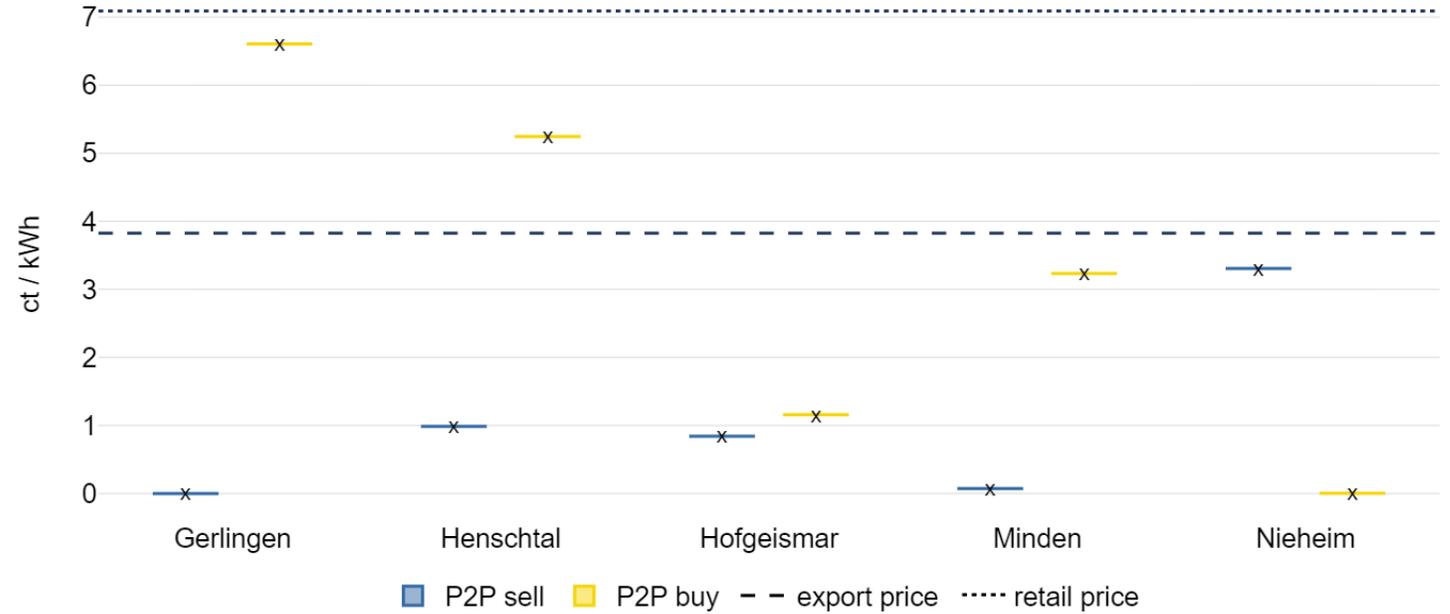
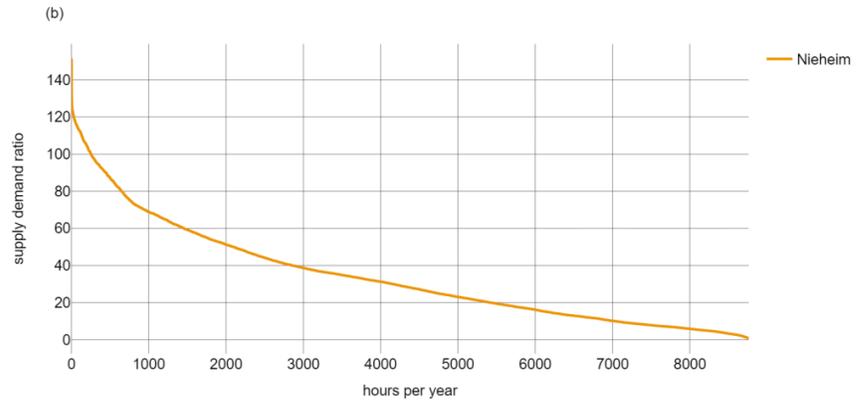
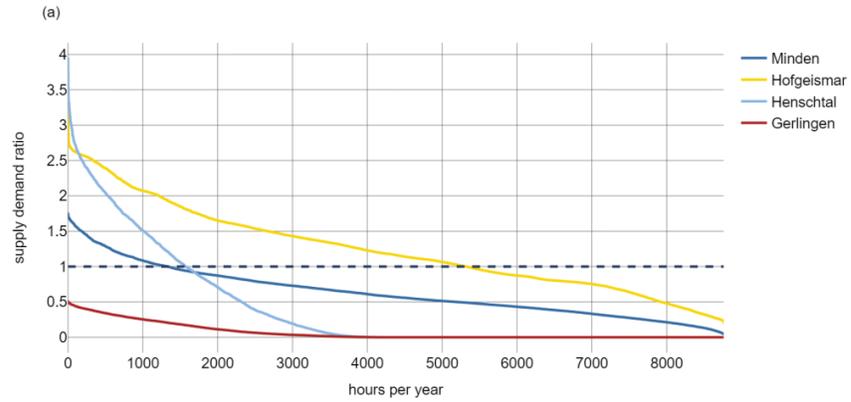
# Ergebnisübersicht: SDR



# Ergebnisübersicht: MMR



# Ergebnisübersicht: BS



# Fazit

- SDR bildet Preisschwankungen sehr gut ab und bietet je nach Situation starke Anreize für den Zubau fehlender Erzeugung bzw. Flexibilität.
- MMR ist ähnlich zu SDR, verringert die Preisvolatilität jedoch durch den mid-market-Ansatz und schwächt dadurch Spitzen ab. Dies bietet langfristig konstantere Preise. Gerade in extremeren Zeiten (z.B. Übererzeugung) können damit finanzielle Nachteile für eine Seite (E/V) abgeschwächt werden
- Billsharing (Jahresbetrachtung) ist generell ein sehr gutes Konstrukt für Verbraucher, aber sehr schlecht für Erzeuger (Strom wird in der Community verschenkt)
- SDR und MMR sind besser als der Status Quo (statische Preise) da sie EE-Anlagen lokal integrieren, einen lokalen Anreiz für Zubau von Flexibilität oder zusätzliche Erzeugung schaffen
- BS ist sehr einseitig und bringt Erzeugern keinen Mehrwert. Dieser Mechanismus führt nicht zum Ausbau von Flex oder EE

# Diskussion und Ausblick

- Aktuell wurden sonstige Strompreisbestandteile nicht betrachtet
- Kosten und Margen für Community Operator etc. derzeit vernachlässigt. Geschäftsmodelle werden noch analysiert
- Ergebnisse wurden lediglich qualitativ analysiert. Es soll eine quantitative Analyse folgen (anhand von Beispielverbrauchern/Erzeugern und Flex)
- Einfluss flexibler Anlagen auf die Preise werden noch analysiert (insbesondere intelligente Speicher)
- Analyse sonstiger Mehrwerte (z. B. CO<sub>2</sub>-Reduktion) durch Flexibilität
- ....



# Ausblick II

- Herausforderung auch aus den vorausgegangenen Vorträgen:
  - Annahmen, wie eine Community zusammengesetzt ist
  - Berechnung von Rückwirkungen aufs Energiesystem
- Lösung InDEED:
  - Berechnung von Energie Communities auf realen Datengrundlagen
  - Entwicklung von Sampling-Methoden
  - Sampling relevanter Communities
  - Emulation der Simulationsumgebung mittels supervised machine learning
  - Berechnung für alle (relevanten) deutschen Gemeinden
    - ➔ Modell verhindert annahmenbedingte Gleichzeitigkeitseffekte
    - ➔ Schnelle Berechnung durch machine learning
    - ➔ Skalierte Betrachtungen möglich



Weitere Anwendungsfälle sollen zudem emuliert werden

Vielen Dank für Ihre und Ihre Aufmerksamkeit !



# Literaturverzeichnis

[1] Verteilung der Eigentümerstruktur zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren-Energieanlagen in Deutschland im Jahr 2016.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/803990/umfrage/eigentuemersstruktur-zur-stromerzeugung-aus-erneuerbaren-energieanlagen-in-deutschland/>

[2] Zhang Chenghua, Wu Jianzhong, Zhou Yue, Cheng Meng, Long Chao: Peer-to-Peer energy trading in a Microgrid, Applied Energy, 2018

[3] Moret Fabio, Pinson Pierre: Energy Collectives: a Community and Fairness based Approach to Future Electricity Markets, IEEE Transactions on Power System, 2018

[4] Zhou Yue, Wu Jianzhong, Long Chao: Evaluation of peer-to-peer energy sharing mechanisms based on a multiagent simulation framework

[5] Strompreiszusammensetzung in Deutschland, 2020

[Strompreiszusammensetzung: Strompreis einfach erklärt \(strom-report.de\)](https://strom-report.de)