

Dezentrales vs. zentrales Lademanagement von Elektroautos im Quartier

Paula Oberfeier

EnInnov

Graz, 16.02.2024

paula.oberfeier@ise.fraunhofer.de

Motivation und Forschungsfrage

- Deutschland plant die Integration von 15 Mio. Elektrofahrzeugen bis 2030.
- Herausforderung: Mögliche Überlastung der Stromnetze durch gleichzeitige Ladevorgänge.

Lösungsansatz:

- Erschließen von lokalen Flexibilitäten als Lösungsansatz zur Vermeidung von Netzüberlastung über intelligentes Lademanagement.
- Fokus auf Quartiere, Mehrparteienhäuser und Energy Communities.

Zentrale Fragestellung:

- Wie kann der Netzbezug eines Mehrparteienhauses durch optimiertes Lademanagement minimiert werden?
- Vergleich zweier Betriebsführungskonzepte: zentrales vs. agentenbasiertes Modell (dezentral)



Simulation: Intelligentes Lademanagement von E-Autos im Mehrfamilienhaus

Es wird ein Mehrparteienhaus mit einer PV-Anlage simuliert, dessen Ziel es ist, den Netzbezug des Mehrparteienhauses über ein optimiertes Lademanagement zu minimieren.

Lademanagement von Elektrofahrzeugen: dezentrale vs. zentrale Ansätze

Qualitativer Vergleich

Dezentrales Lademanagement:

Jedes Fahrzeug (Agent) optimiert individuell das Ladeverhalten

- ✓ Autonomer Handlungsspielraum für individuelle Elektrofahrzeuge.
- ✓ Flexibilität durch einfaches Hinzufügen/Entfernen dezentraler Steuerungseinheiten.
- ✓ Erhöhte Resilienz gegenüber Teilausfällen und Ausfall des Kommunikationssystems.
- ✓ Dezentrale Ansätze neigen zu höherer Akzeptanz, da Endkunden Kontrolle behalten.
- ⊗ Schwierigkeiten bei der Erreichung des globalen Optimums auf Systemebene.

Zentrales Lademanagement:

Aggregator sammelt sämtliche Daten und optimiert das Ladeverhalten aller Fahrzeuge

- ✓ Globales Optimum: Erreichen der optimalen Ladestrategie auf Systemebene.
- ✓ Potenziell effizientere Ressourcennutzung durch zentrale Steuerung.
- ⊗ Komplexe Kommunikationsinfrastruktur mit potenziell hohen Kosten.
- ⊗ Datenschutzbedenken aufgrund der Verarbeitung personenscharfer Daten.
- ⊗ Hohe Abhängigkeit von einer zentralen Einheit; Ausfall kann das gesamte System beeinträchtigen.

Case Study: Lademanagement von Elektrofahrzeugen im Mehrfamilienhaus

Simulationsaufbau

Simulationsszenario:

- Mehrparteienhaus mit 16 Parteien als Testumgebung.
- Jede Partei besitzt ein Elektrofahrzeug

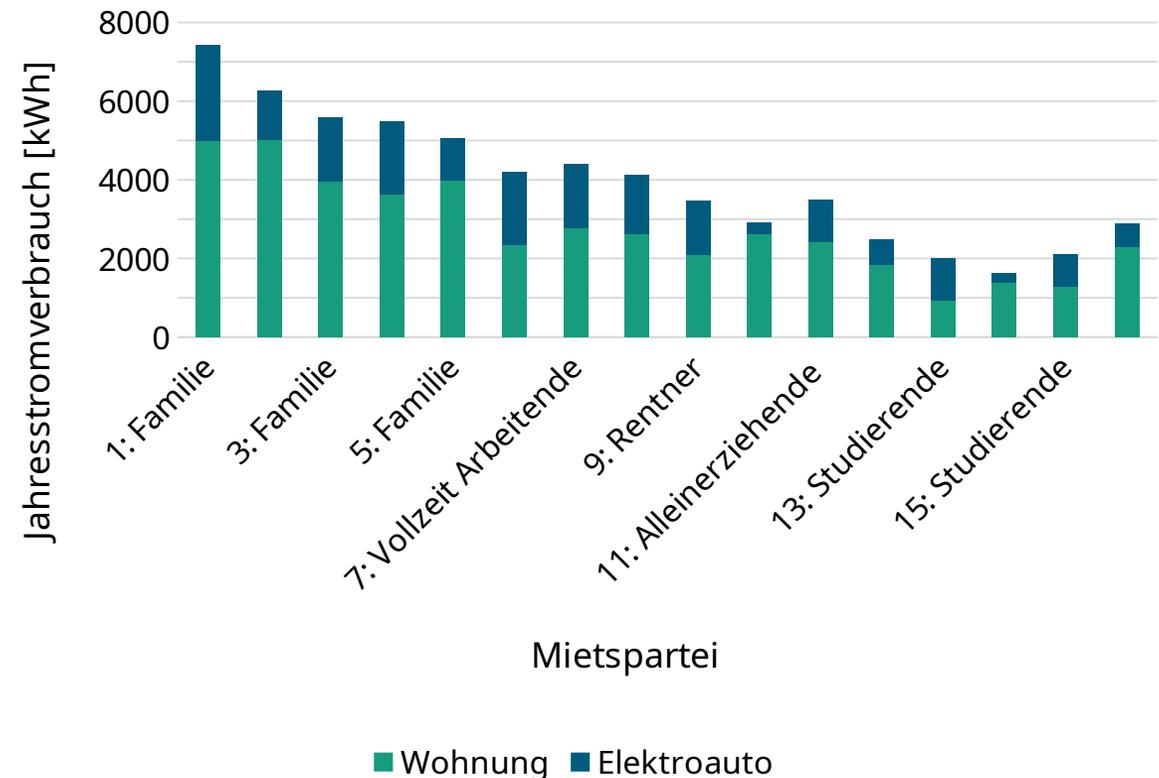
Energiemengen:

- Jahresverbrauch des Mehrparteienhauses: 63,5 MWh.
- EV-Laden trägt 19,3 MWh zum Gesamtverbrauch bei.

Photovoltaik-Anlagen:

- 4 Dach- und eine Fassadenanlage mit insgesamt 55 kWp Gesamtleistung.
- Dimensionierung für bilanzielle Autarkie

Individueller Stromverbrauch



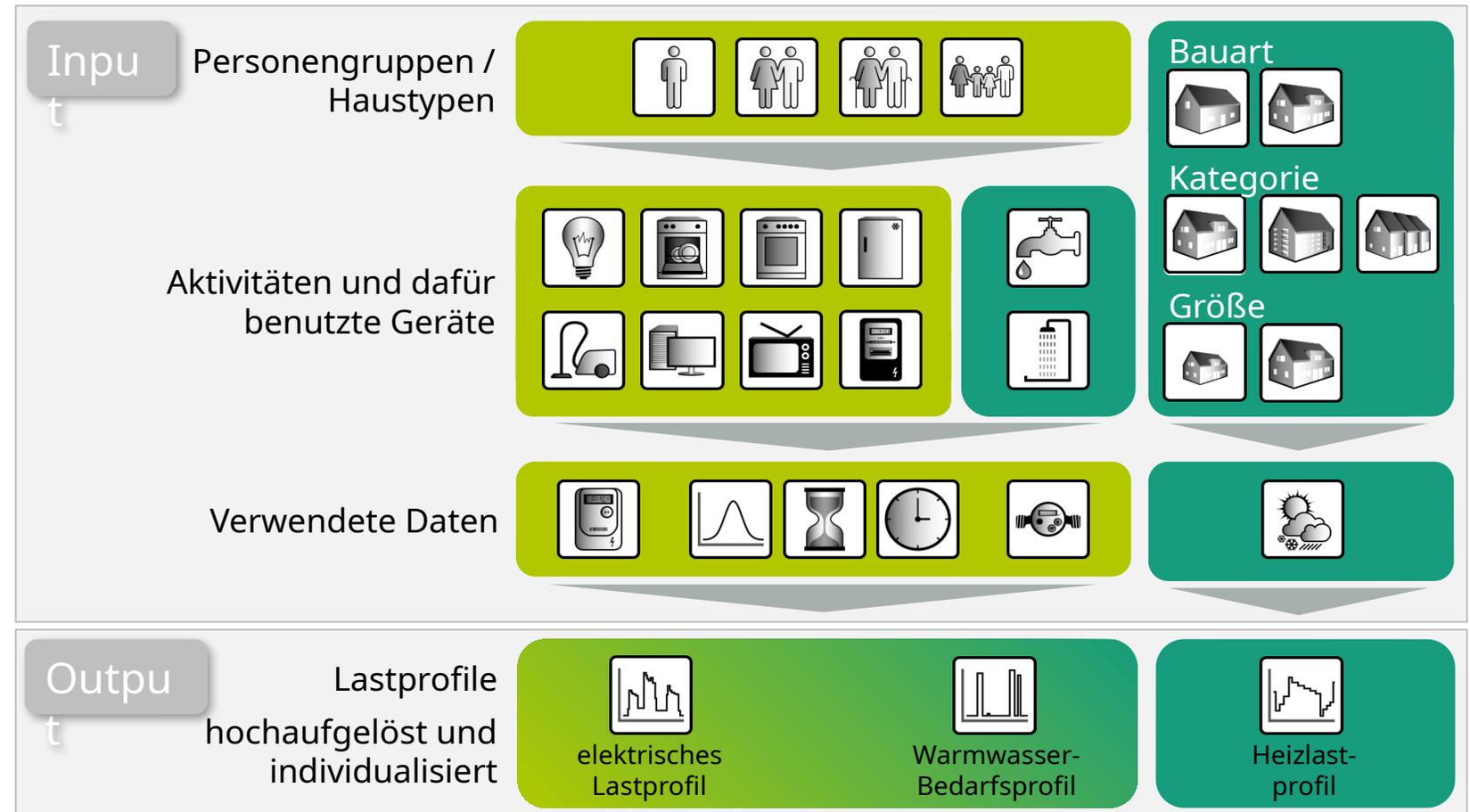
Simulation der Haushaltslastprofile erfolgt über Lastprofilgenerator SynPRO*. Methodik

Erzeugung von Lastprofilen im Wohnbereich:

- Strom
- Brauchwasser
- Wärme und Kälte

Key Features:

- Individuelle Personengruppen einstellbar
- Stochastische bottom-up Modellierung
- Zeitlich hochaufgelöst



* synPRO (synpro-lastprofile.de)

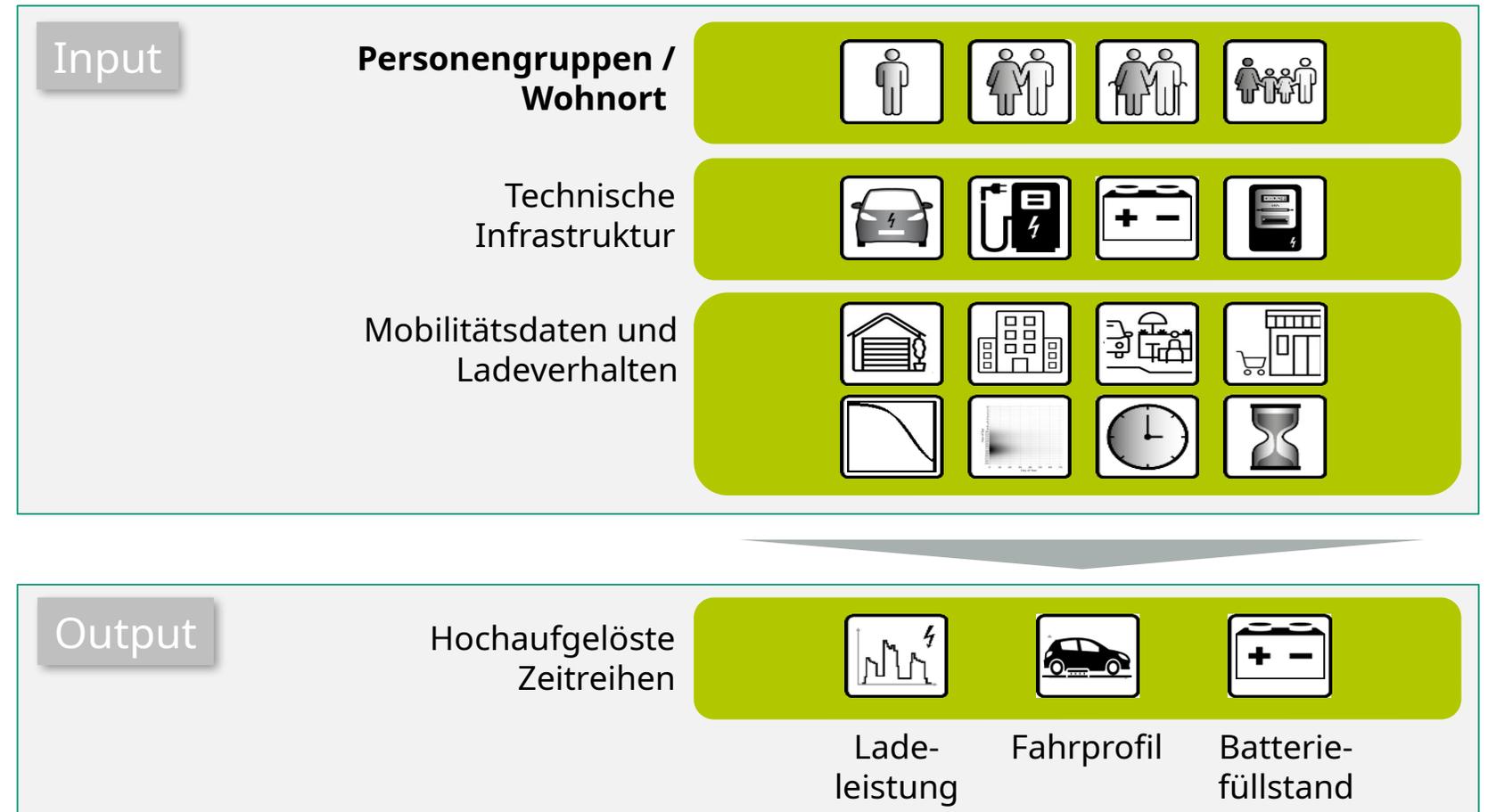
Simulation Elektromobilität und ungesteuerten Ladevorgänge über SynPRO*. Methodik

Erzeugung Hochaufgelöste
Zeitreihen:

- Ladeleistung
- Fahrprofil
- Batteriefüllstand

Key Features:

- Individuelle Personengruppen einstellbar
- Mobilitätsdaten und Ladeverhalten
- Zeitlich hochaufgelöst



* synPRO (synpro-lastprofile.de)

Intelligentes Lademanagement (dezentral und zentraler Ansatz)

Methodik

- Lädt bis zu einem **minimalem SOC** (30%) mit maximaler Leistung.
- Lädt bis zu einem **Ziel-SOC** (80%) optimiert und hält im Anschluss den SOC.
- Optimierung erfolgt alle 15 Minuten für einen vorher definierten rollierenden Planungshorizont.

Modellierung des Elektrofahrzeugs:

$$SOC_{i,t+1} = SOC_{i,t} + \frac{\Delta t \cdot P_{i,t} \cdot \eta}{E_i^{tot}} \quad \forall i, t$$

$$E_{i,t+1}^{dem} = E_{i,t}^{dem} - P_{i,t} \cdot \Delta t \quad \forall i, t$$

$$P^{min} \leq |P_{i,t}| \leq P^{max} \quad \forall i, t$$

Lademanagement von Elektrofahrzeugen: dezentrale vs. zentrale Ansätze

Methodik

Dezentrales Lademanagement:

- Individuelles Optimierungsproblem mit dem Ziel, die individuellen Stromkosten zu minimieren

$$\min_{s_{i,t}, P_{i,t}} \sum_{t \in T} \left(p^{PV} \cdot E_t^{PV} + p^{Grid} \cdot E_t^{Grid} \right)$$

- Agenten teilen sich untereinander Leistungsbezüge für Zeitschritte in einem rollierenden Planungshorizont mit.
- Implementation über ein Gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsmodell

Zentrales Lademanagement:

- Aggregator sammelt sämtliche Daten und optimiert das Ladeverhalten aller Fahrzeuge

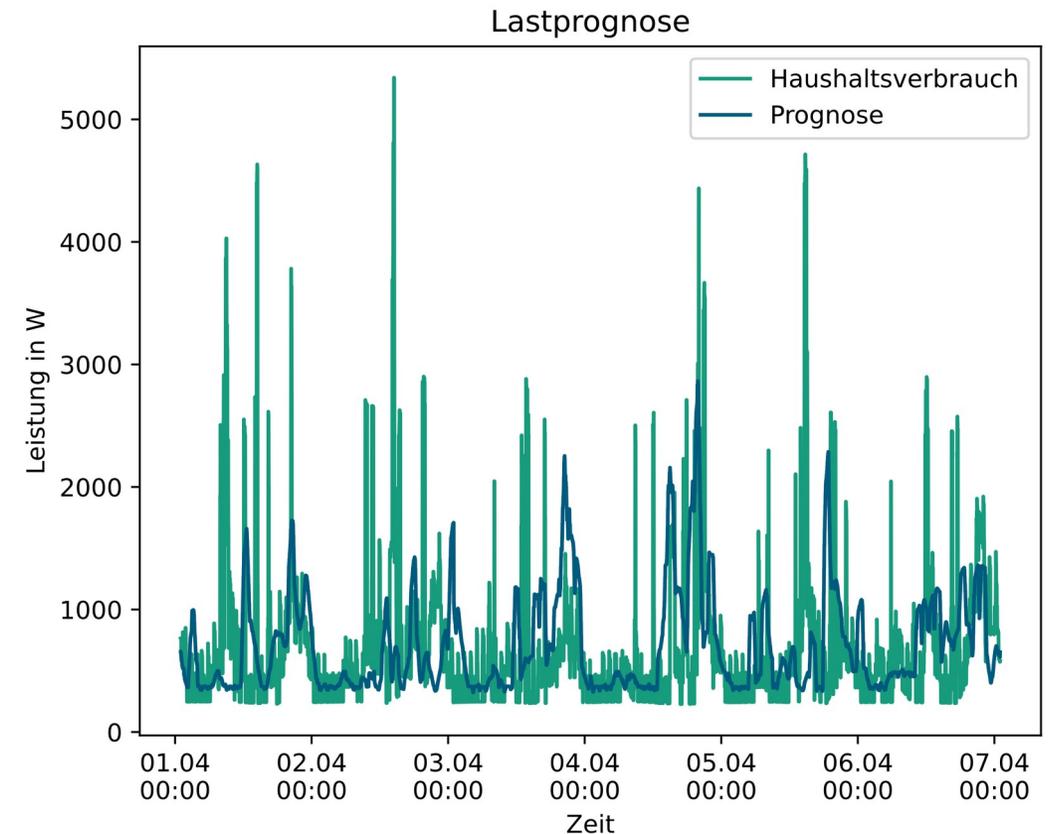
$$\min_{s_{i,t}, P_{i,t}} \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} \left(p^{PV} \cdot (E_{t,i}^{PV} + E_{t,hh}^{PV}) + p^{Grid} \cdot (E_{t,i}^{Grid} + E_{t,hh}^{Grid}) \right)$$

- Implementiert über ein Nicht-lineares Optimierungsproblem

Prognose für die Haushaltslastprofile

Methodik

- Prognose des Haushaltslastprofil über: K-Nächste-Nachbarn-Algorithmus mit 60 Nachbarn und euklidische Distanz
- Features für Charakteristiken durch Fourier Feature Encoding generiert, um saisonales Verhalten abzubilden.
- Güte der Prognose: Durchschnittliche normierte Wurzel der mittleren quadratischen Abweichung von 1,38.



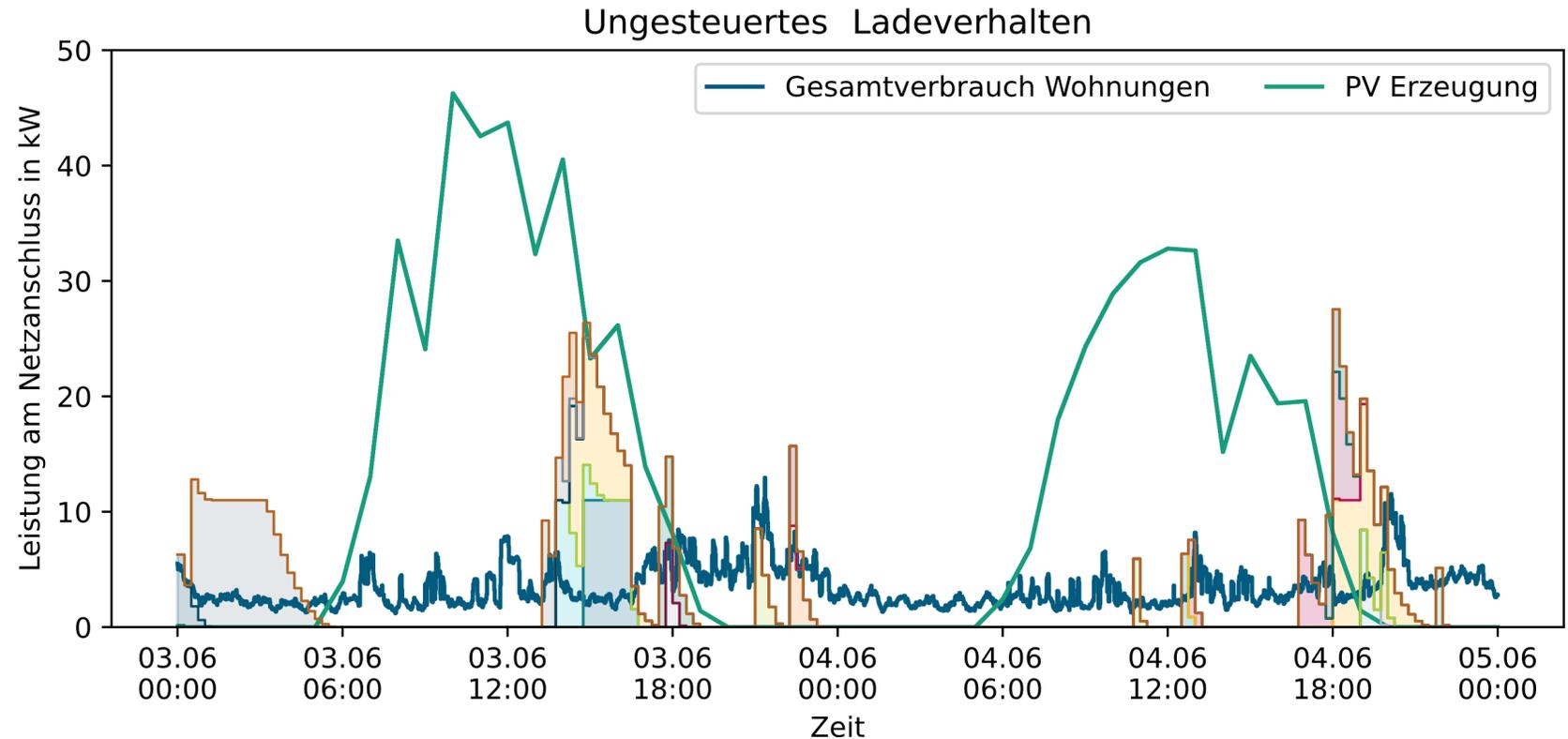
Als Baseline der Ergebnisse dient das ungesteuertes Lademanagement. Ergebnisse

Mehrfamilienhaus

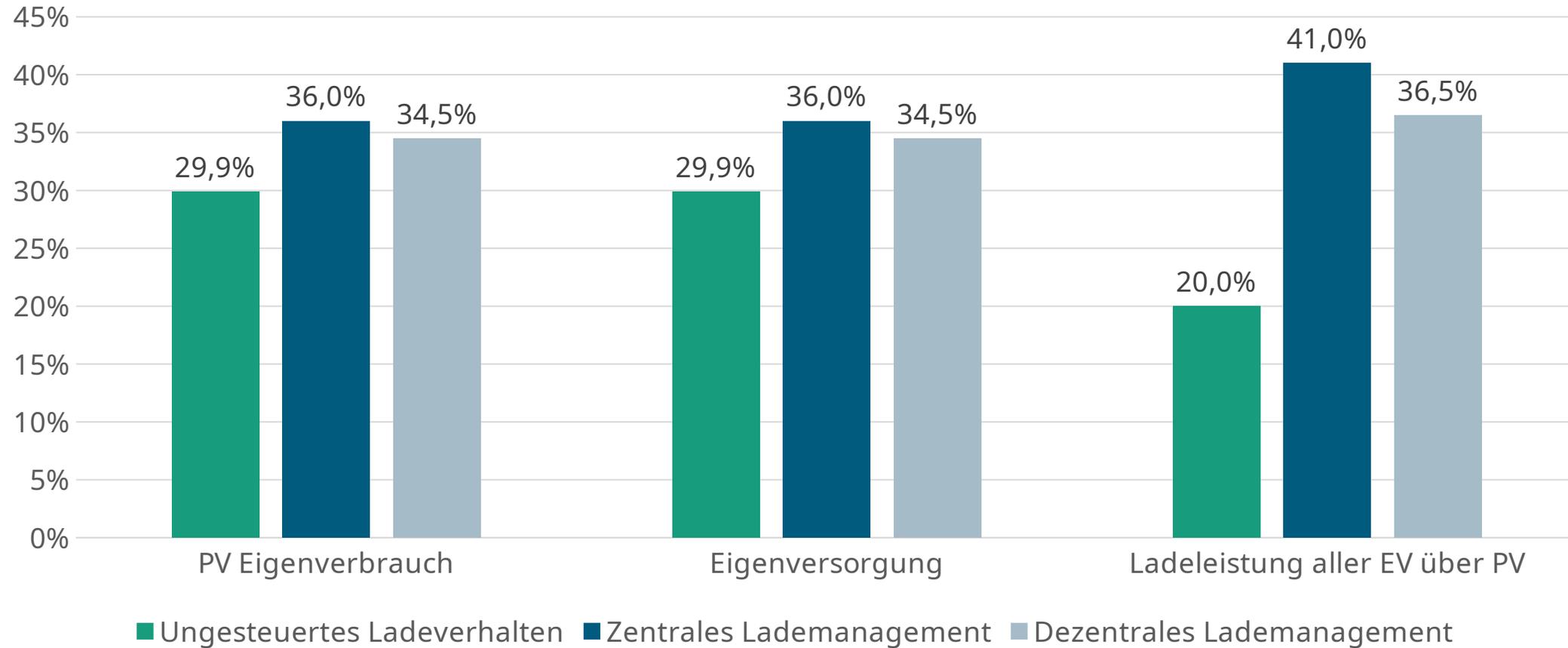
Eigenverbrauch der PV-Anlage von **30%**.
Jährlicher Netzbezug liegt bei **44707 kWh**.

Ladeverhalten

Die nachgefragte Ladeleistung der EVs kann zu **20%** aus der PV-Erzeugung gedeckt werden.

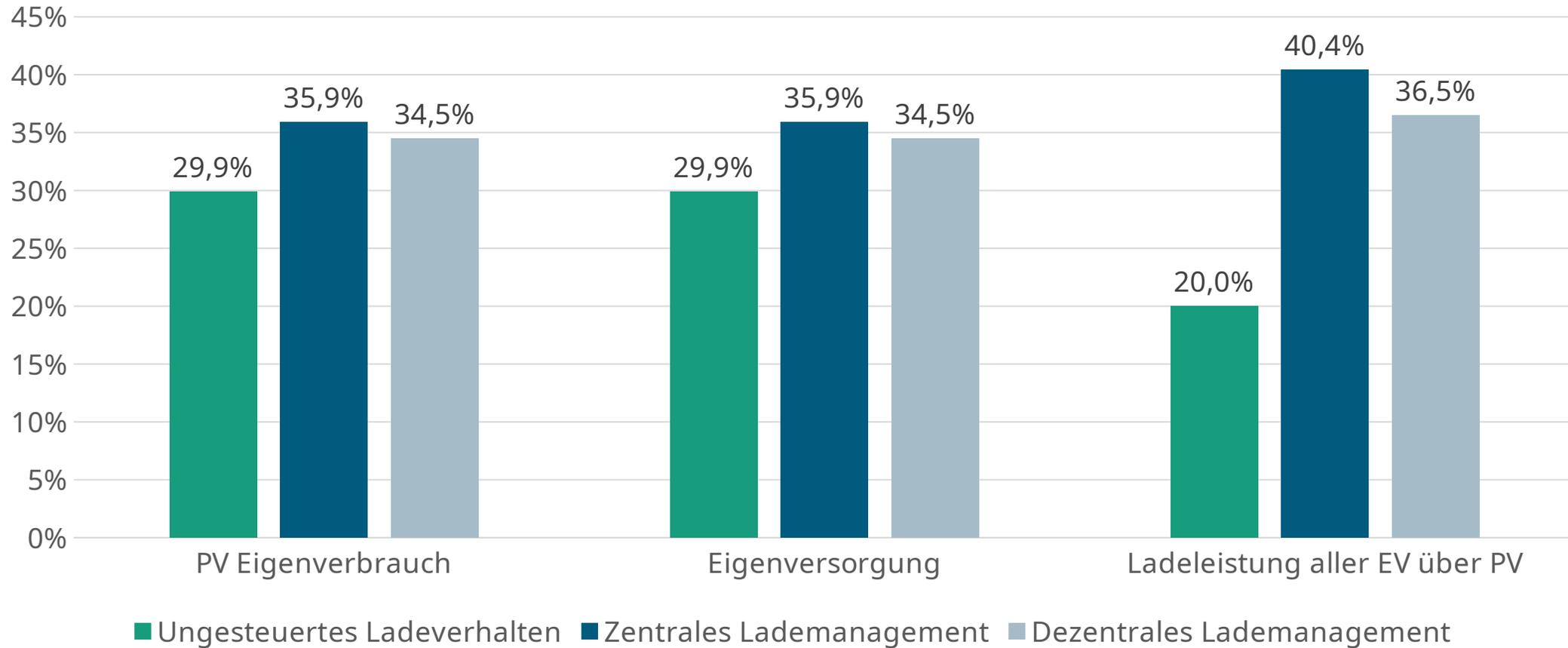


Zentrales Lademanagement erreicht höchsten Eigenversorgungsgrad. Ergebnisse



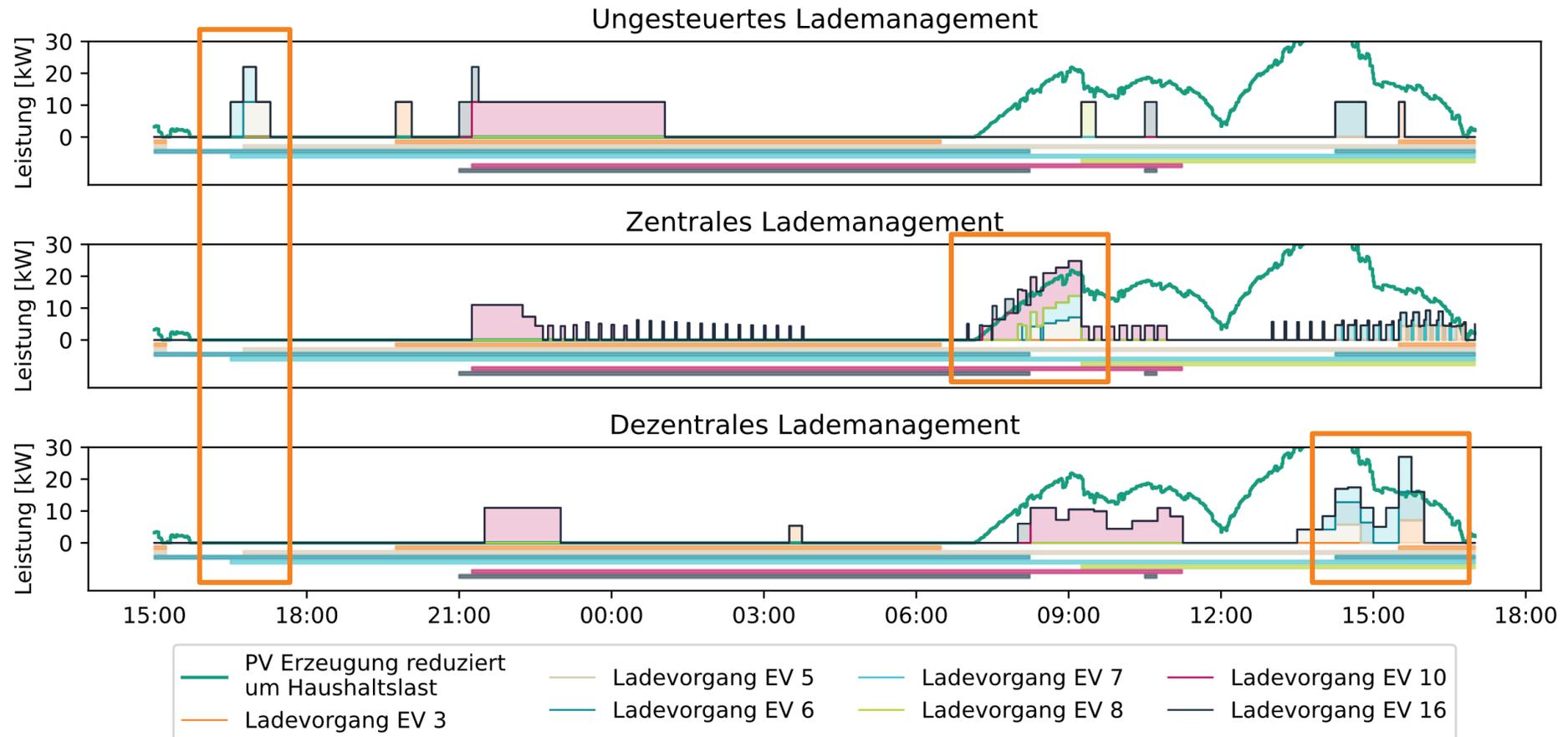
Intelligentes Lademanagement mit KNN-Prognose der Haushaltslast

Ergebnisse



Detailanalyse der Betriebsführungskonzepte

Ergebnisse



Auswirkungen des Lademanagements auf die einzelnen Mietsparteien

Ergebnisse

Baseline:

- Minimale individuelle Eigenversorgungsrate beträgt 9%, maximale Rate liegt bei 32%.

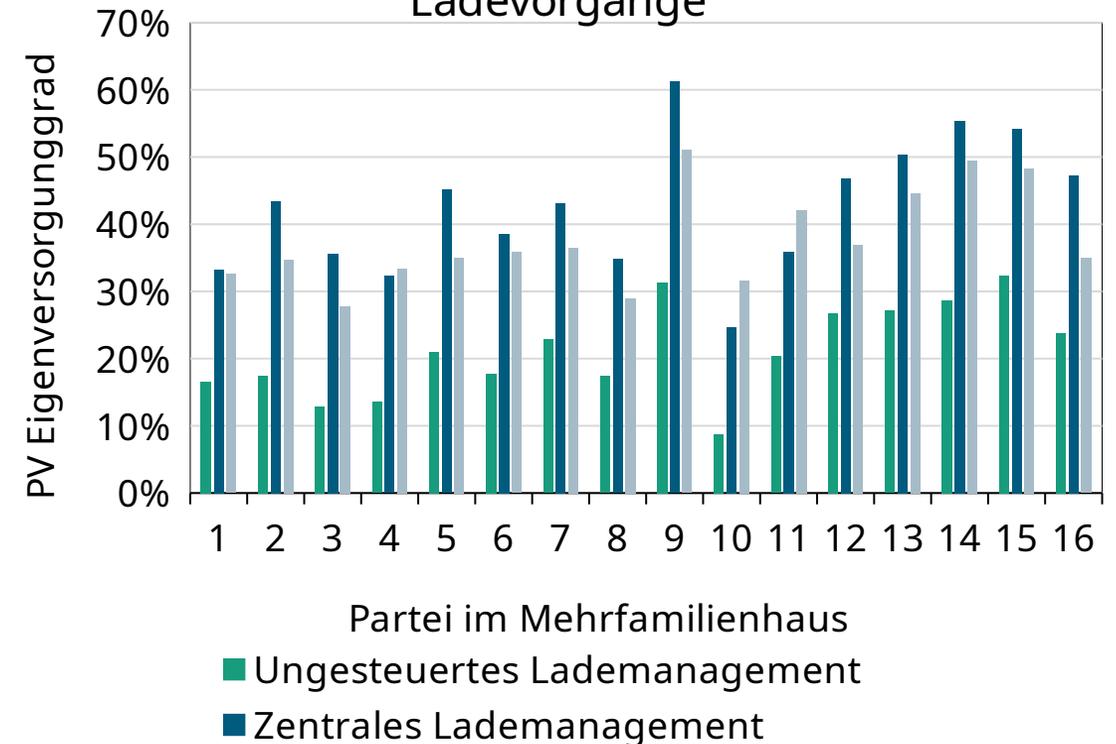
Zentrales Lademanagement:

- Minimale individuelle Eigenversorgungsrate beträgt 25%, maximale Rate liegt bei 61%.

Agentenbasiertes Lademanagement:

- Minimale individuelle Eigenversorgungsrate beträgt 28%, maximale Rate liegt bei 53%.
- Individueller Eigenversorgungsgrade weisen beim agentenbasiertem Lademanagement eine geringere Standardabweichung auf. → Fairere Aufteilung der Gewinnpotentiale

Individueller Eigenversorgungsgrad der Ladevorgänge



Dezentrales vs. zentrales Lademanagement von Elektroautos im Quartier

Key Findings & Offene Fragen

Zentrales Lademanagement erhöht Eigenversorgung von 30% auf 36%.

Agentenbasiertes Lademanagement erreicht eine Eigenversorgung von 34,5%.

Beide Lademanagement-Konzepte mit KNN-Prognose der Haushaltslast bieten ein vergleichbar hohes Einsparungspotenzial im Vergleich zu einer perfekten Vorhersage.

Agentenbasiertes Lademanagement führt zu einer **faireren Aufteilung** der Gewinnpotentiale als zentrales Lademanagement.

?

Eine **techno-ökonomische Analyse** der Lademanagement-Betriebsführungskonzepte ist notwendig für einen umfassenden Vergleich.

?

Untersuchung des Einflusses von **bidirektionalem Laden**.

Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit
