



gefördert durch das Niedersächsische
Ministerium für Wissenschaft und Kultur im
Rahmen des Niedersächsischen Vorab



nachhaltige **energieversorgung** niedersachsen

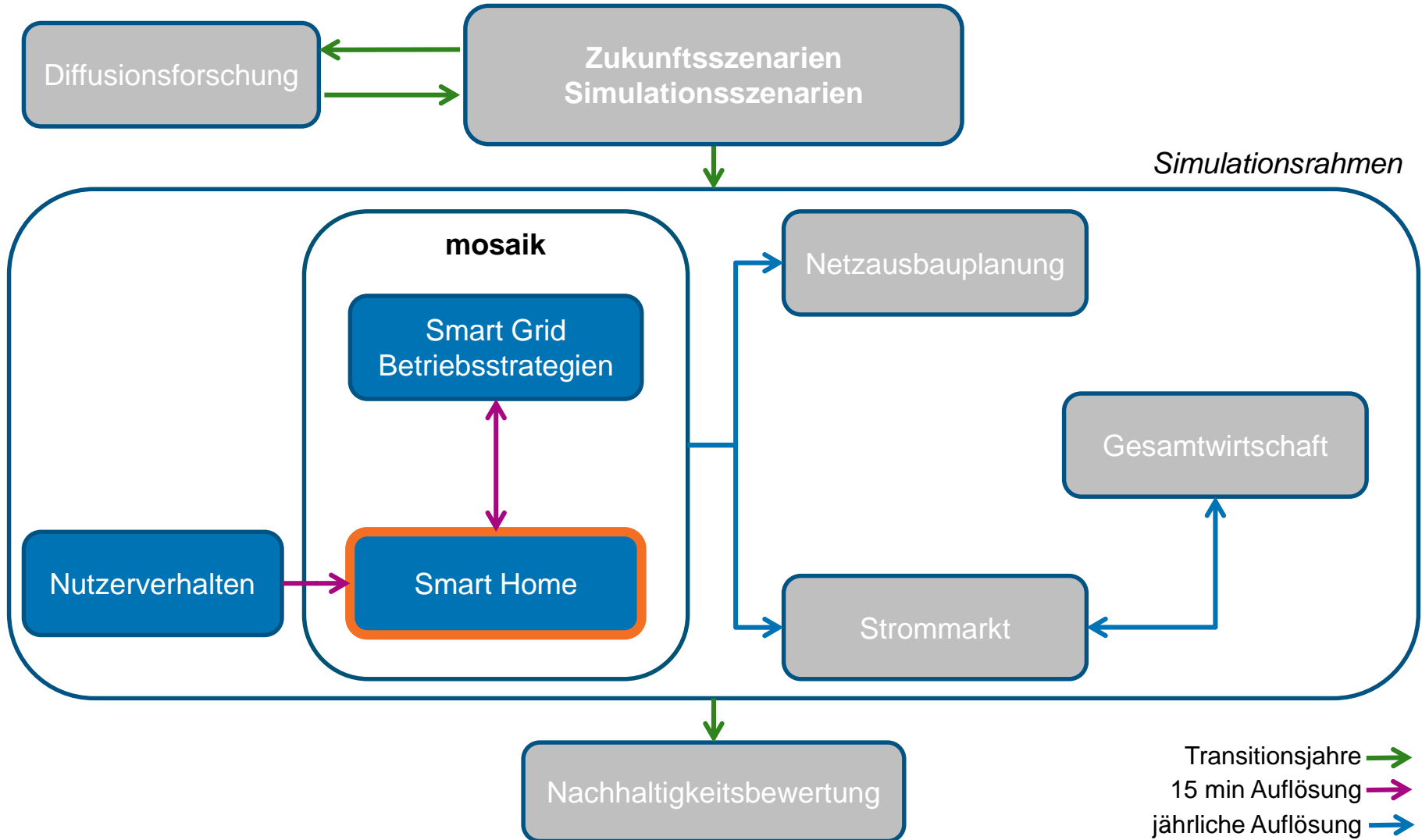
Energetische Modellierung von elektrischen und thermischen Anlagen und Kopplung mit einem Netzsteuerungssystem

Christian Reinhold, Bernd Engel

Technische Universität Braunschweig

Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen

Einordnung in das Gesamtprojekt



Modellierungs- und Simulationstechnik

- Wie kann der Nutzer und deren Geräte modell-technisch abgebildet werden?
- Welches elektrische Verhalten weist ein heutiges und ein zukünftiges Wohngebäude am Netzanschlussknoten auf?

Flexibilisierung

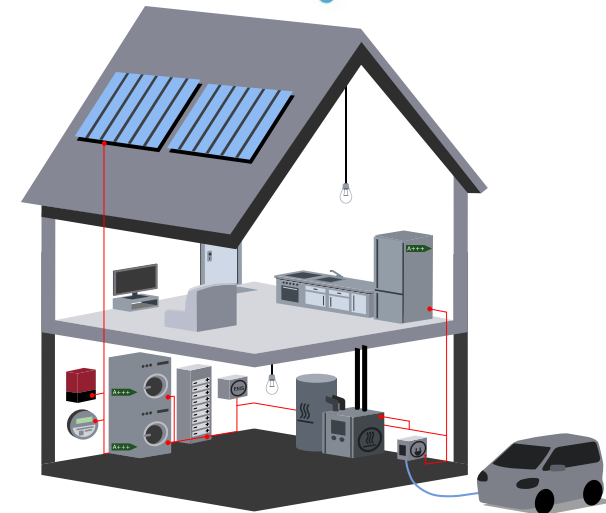
- Wie können elektrische und thermische Anlagen flexibel gesteuert werden?
- Welche Rolle spielt der Nutzer? Ist eine Verhaltensanpassung notwendig?

Netzintegration

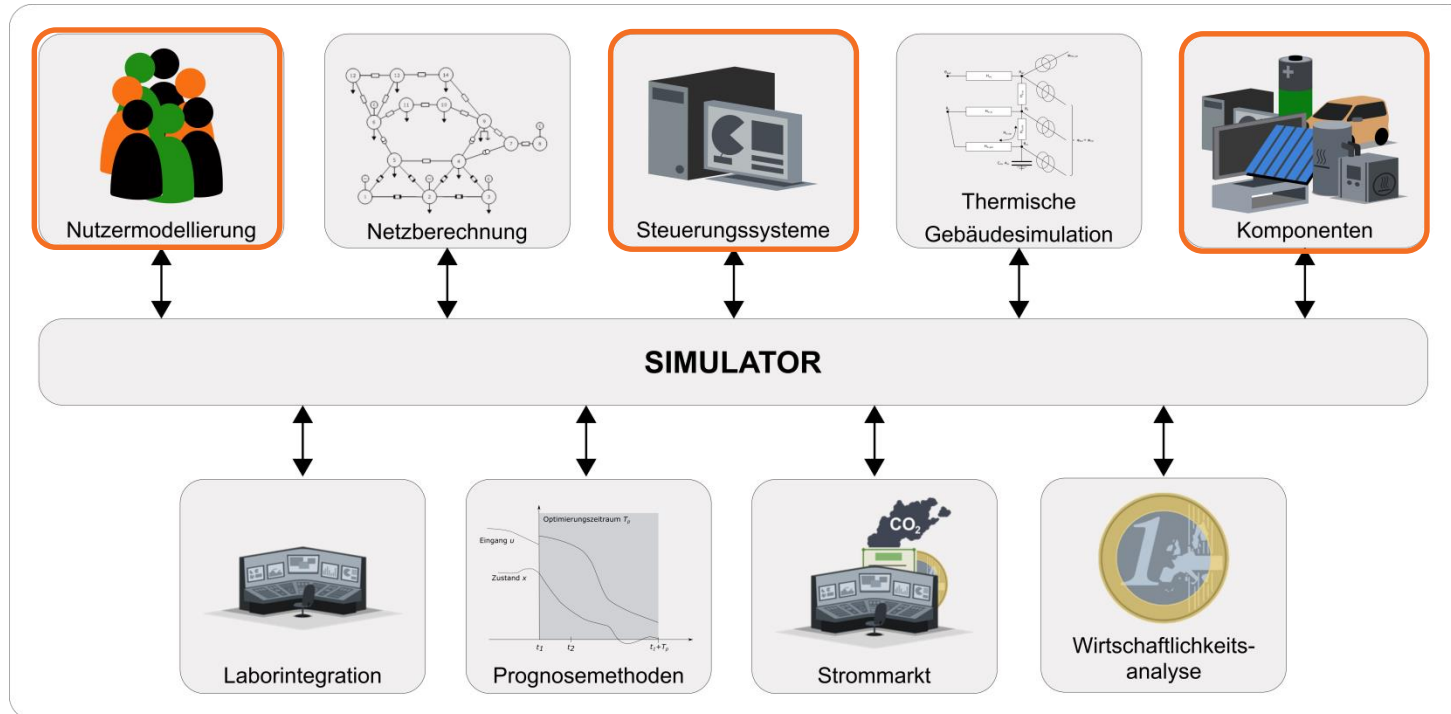
- Welchen Beitrag liefern Wohngebäude und deren Anlagen in einem Netzverbund und welche Voraussetzungen müssen geschaffen werden?

Wirtschaftlichkeit

- Welchen wirtschaftlichen Vorteil besitzt der Anlagenbetreiber beim Angebot von Flexibilität?



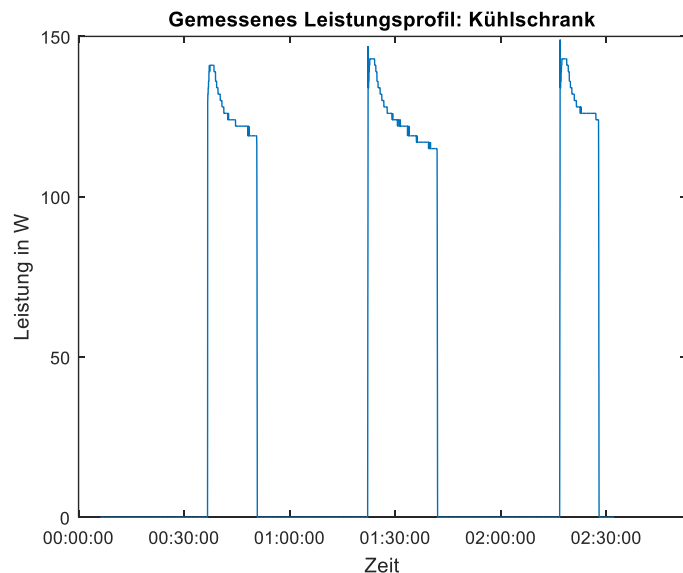
Modulare Modellierungs- und Simulationsumgebung



Anforderungen an die Umgebung

- Modularität und flexible Parametrierbarkeit
- Flexible zeitliche Auflösung (1s / 1min / 15 min / etc.)
- Schnittstellenfähigkeit zu anderen Systemen (z.B. mosaik)
- Erweiterbarkeit und Skalierbarkeit
- Realitätstreue Abbildung von Gebäudestrukturen (Betriebsmittel/Nutzer/Steuerung) für einen variablen Untersuchungszeitpunkt (2015 – heute, 2050 – Zukunft)

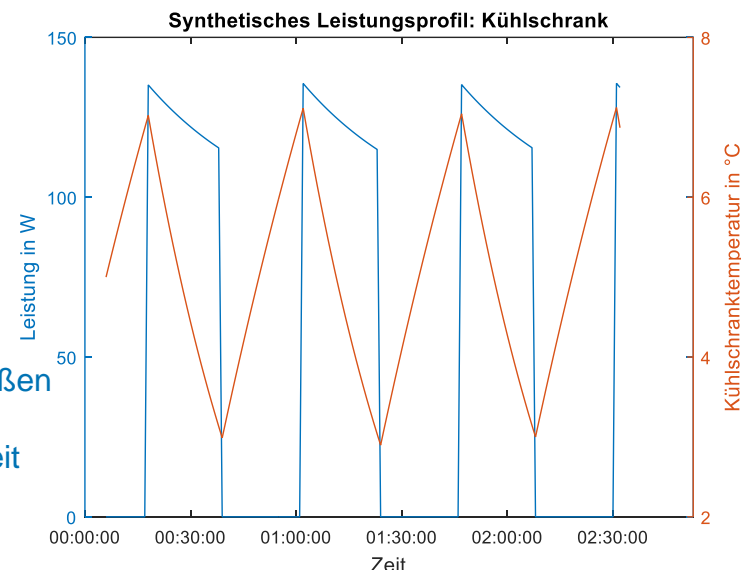
- Nachbildung von elektrischen und thermischen Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen



rechnergestützte
Modellierung



- Elektrische Kenngrößen
- Betriebsverhalten
- Externe Steuerbarkeit



Vorteile

- Bessere Implementierung in eine rechnergestützte Simulation
- Frei parametrierbar (Nennleistung etc.) -> dynamische Skalierbarkeit
- Unabhängigkeit von einer Datenbasis während der Simulation

Nachteile

- Zeitaufwendig

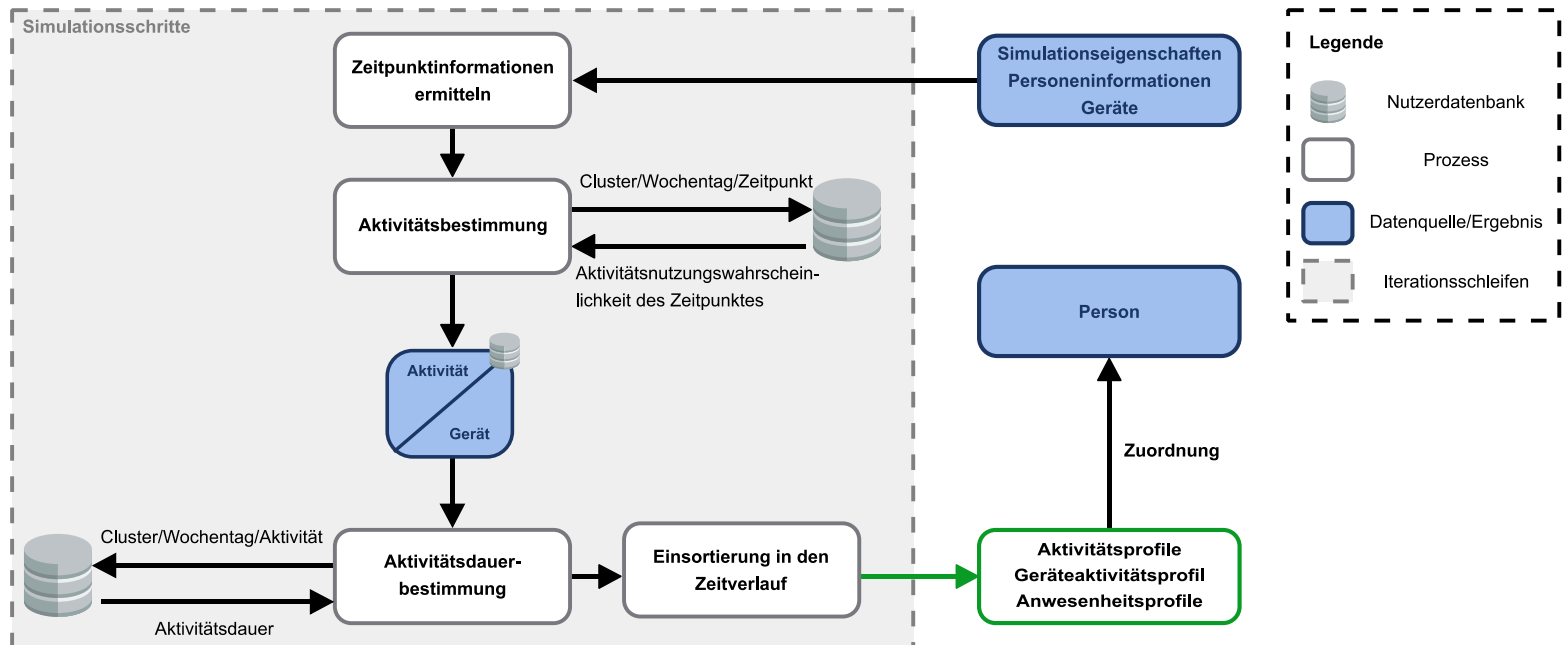
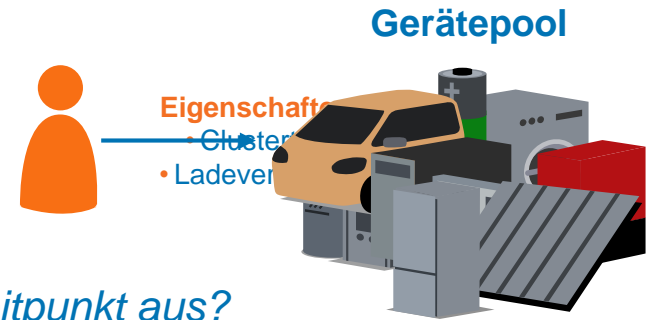
Modellierung von Nutzern

Ziel: Modellierung des Verhaltens von Nutzern mit unterschiedlichen Merkmalen und Interaktionsnachbildung mit Geräten

-> Entwicklung einer flexiblen Nutzerdatenbank

1. Parametrierung des Nutzermodells
2. Verknüpfung Gerätepool mit Nutzer
3. Erzeugung des Aktivitätsprofils

Welche Aktivität führt der Nutzer zu welchem Zeitpunkt aus?

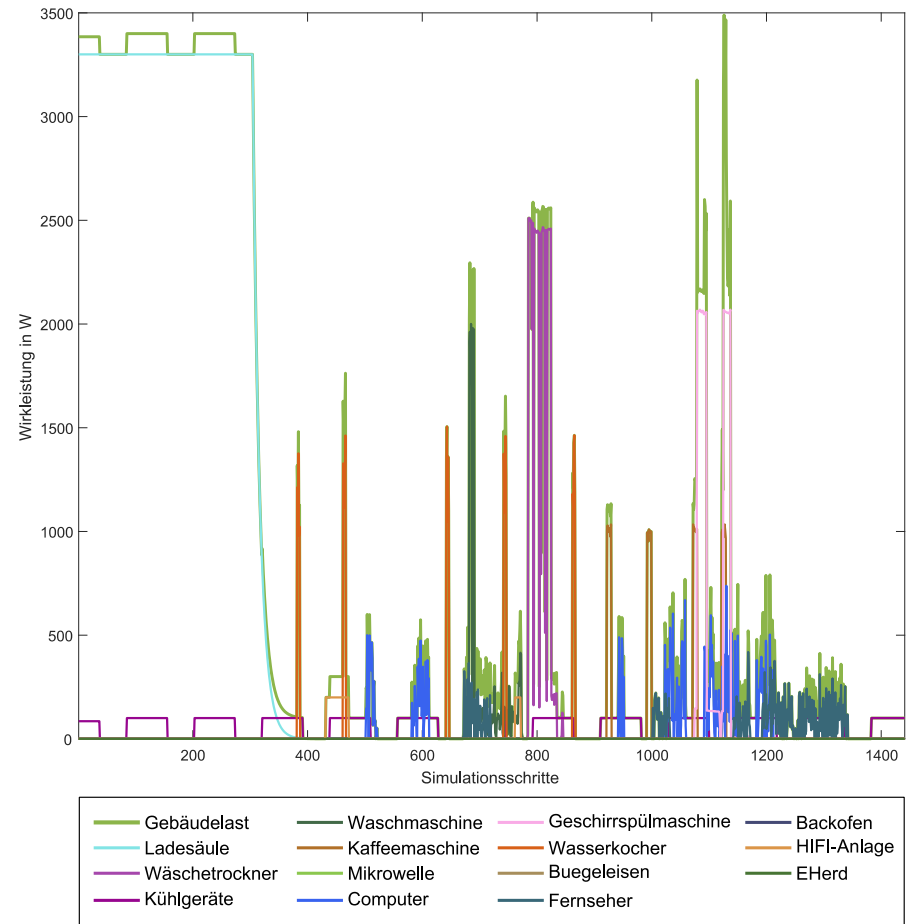


Synthetisches Verfahren zur Generierung von Aktivitätsprofilen [Reinhold, Wille 18]

Modellierung von Nutzern

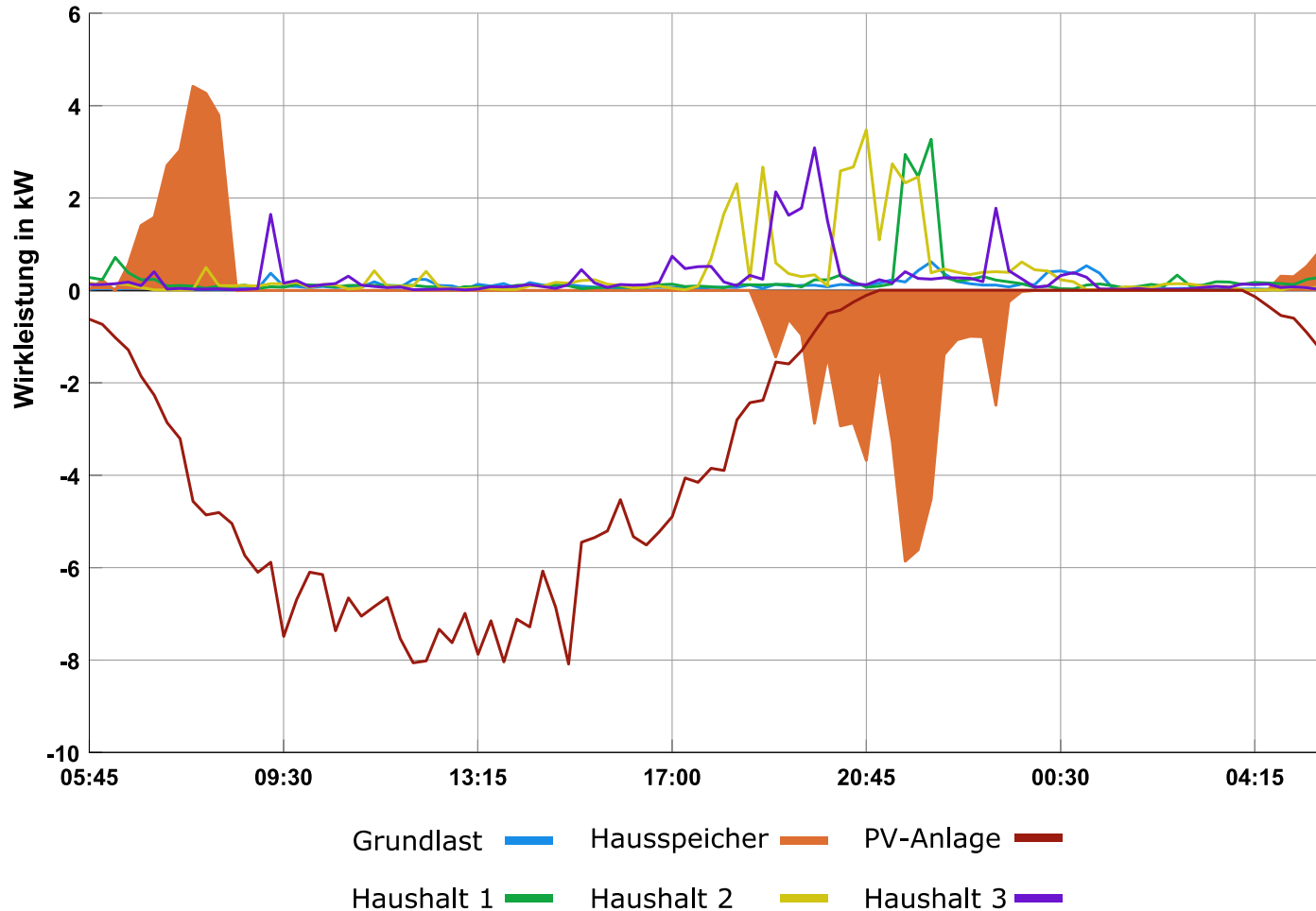
Uhr-zeit	Aktivität	Gerät
15:00	Wäsche waschen	Waschmaschine
15:15	Wäsche wasche	Waschmaschine
15:30	Wäsche waschen	Waschmaschine
...
16:30	Auto fahren	Elektrofahrzeug
16:45	Auto fahren	Elektrofahrzeug
17:00	Auto fahren	Elektrofahrzeug

Aktivitätsprofil



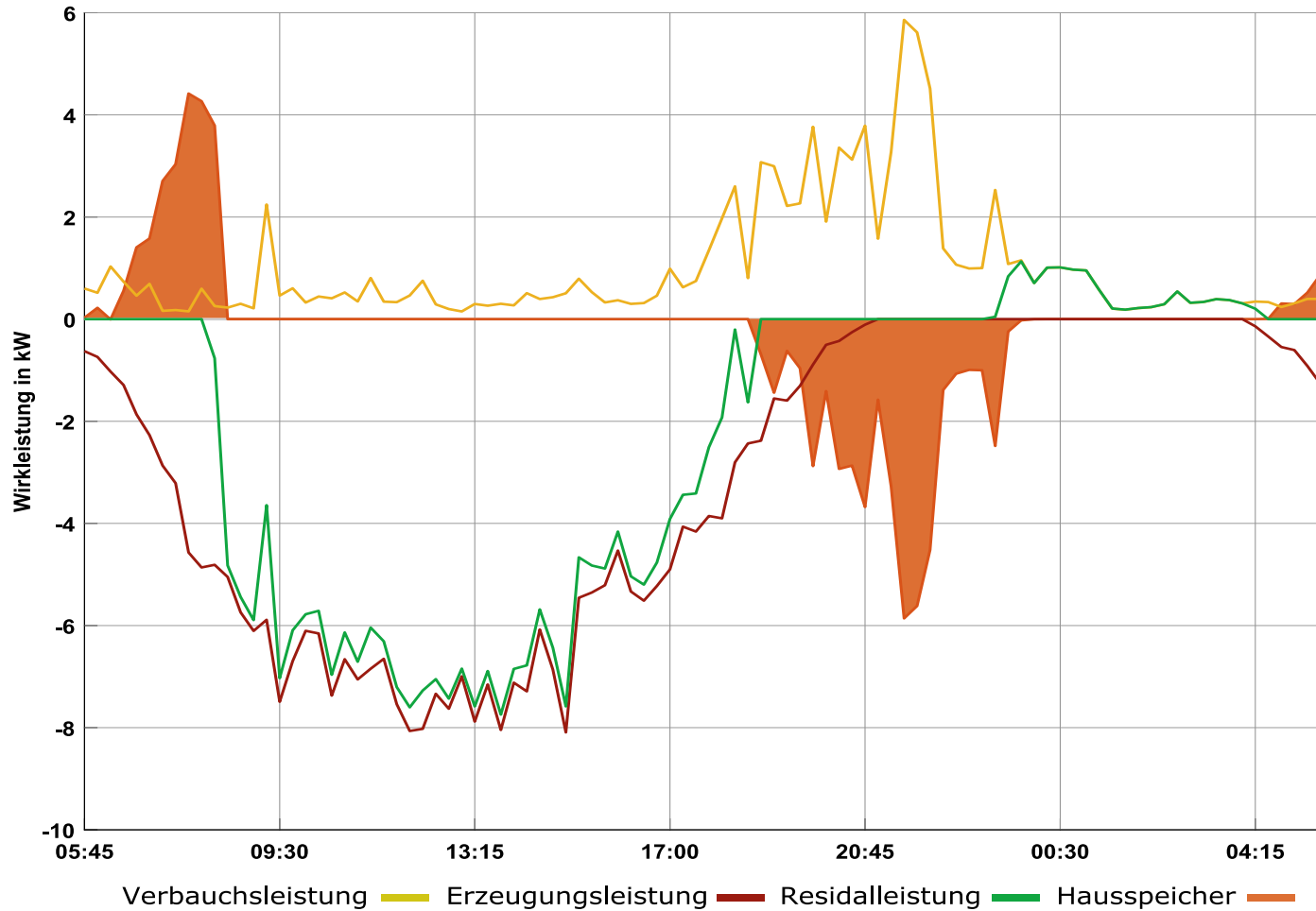
Resultierendes elektrisches Verhalten der Geräte

Elektrisches Verhalten von Wohngebäuden



Wirkleistungsverhalten einzelner Komponenten eines 3-Familienhauses

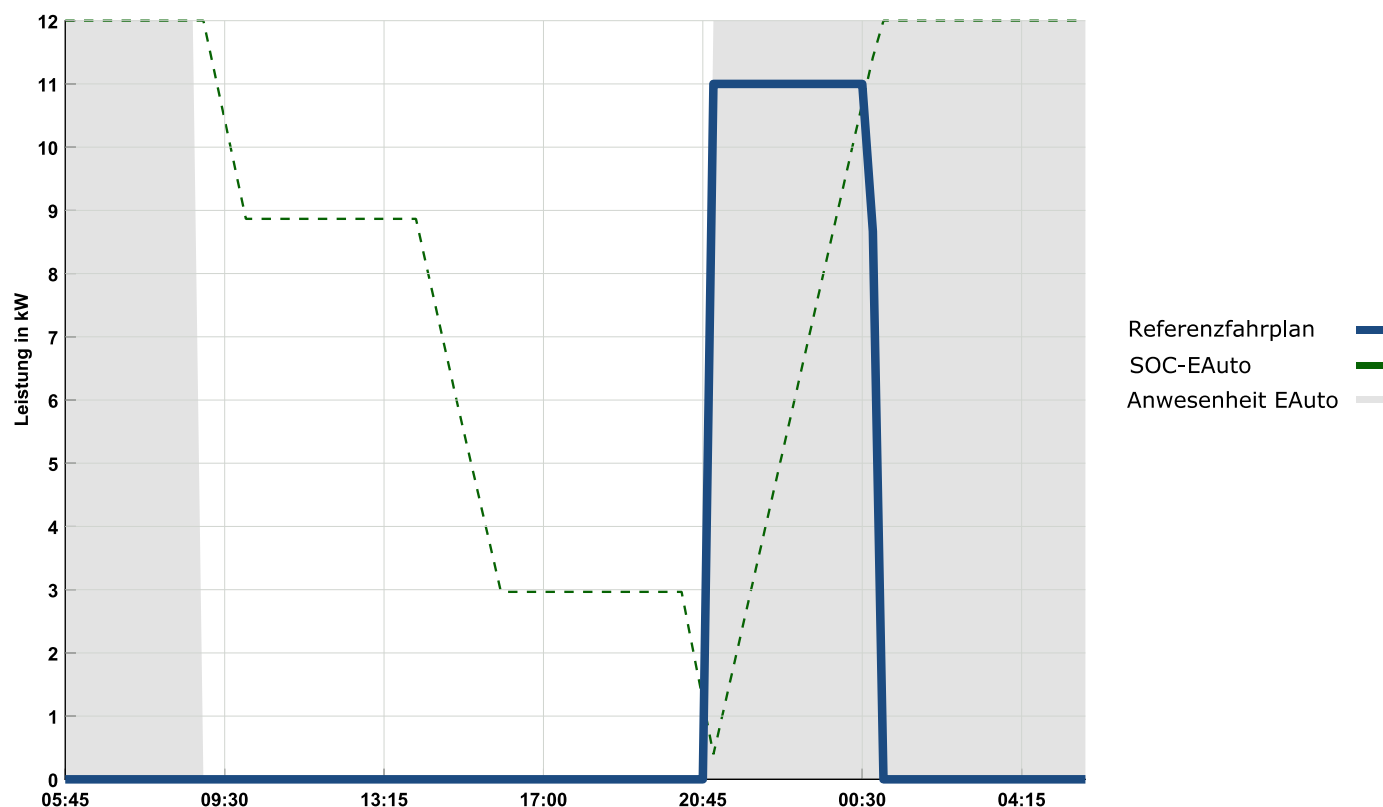
Elektrisches Verhalten von Wohngebäuden



Wirkleistungsverhalten eines 3-Familienhauses

Wie flexibel können sich technische Anlagen in Wohngebäuden verhalten besonders in Interaktion mit Nutzern?

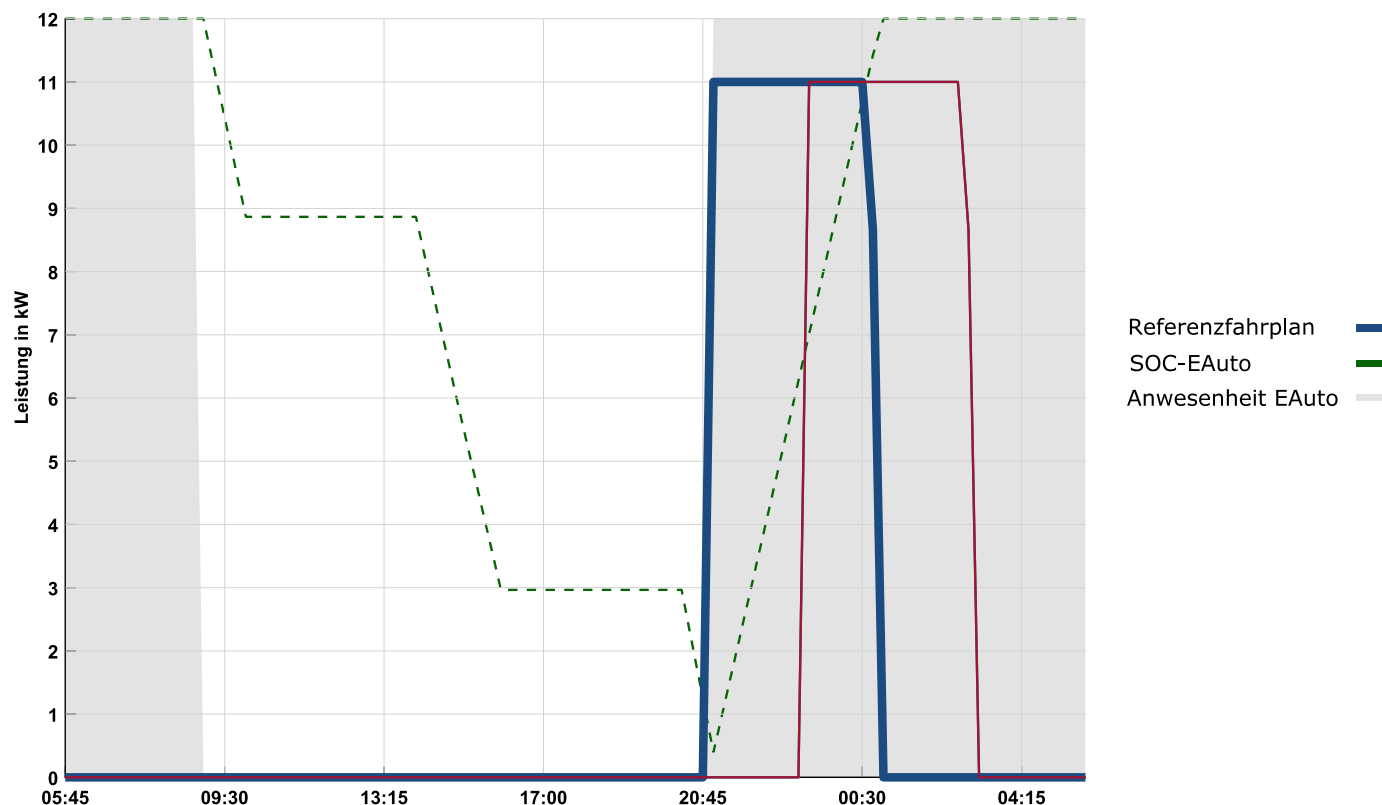
- Bestimmung von n Alternativfahrplänen basierend auf den Referenzfahrplan (Sofortiges Laden)



Elektrische Wirkleistung einer Ladesäule mit Alternativfahrplänen

Wie flexibel können sich technische Anlagen in Wohngebäuden verhalten besonders in Interaktion mit Nutzern?

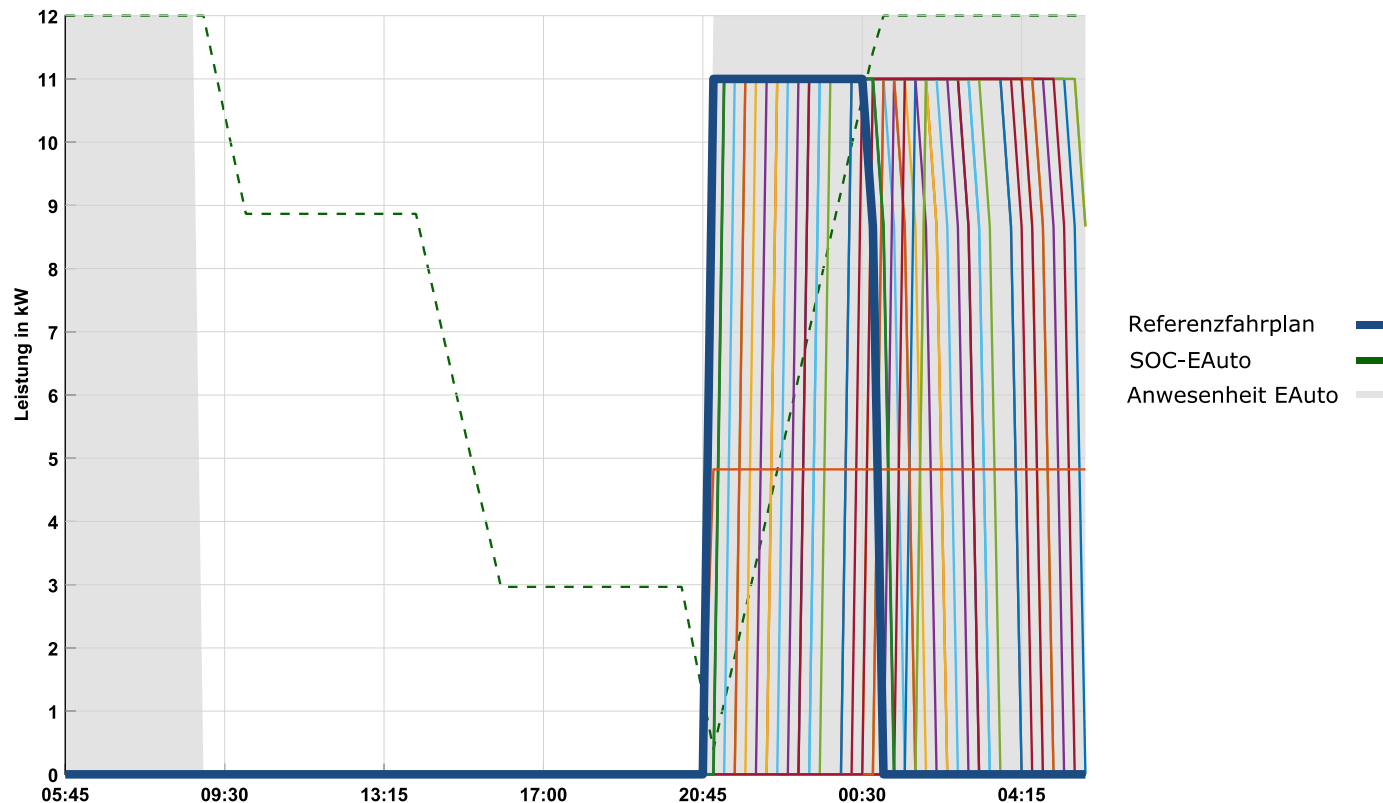
- Bestimmung von n Alternativfahrplänen basierend auf den Referenzfahrplan
- Beliebige Verschiebung des Startzeitpunktes des Ladens innerhalb von Restriktionen



Elektrische Wirkleistung einer Ladesäule mit Alternativfahrplänen

Wie flexibel können sich technische Anlagen in Wohngebäuden verhalten besonders in Interaktion mit Nutzern?

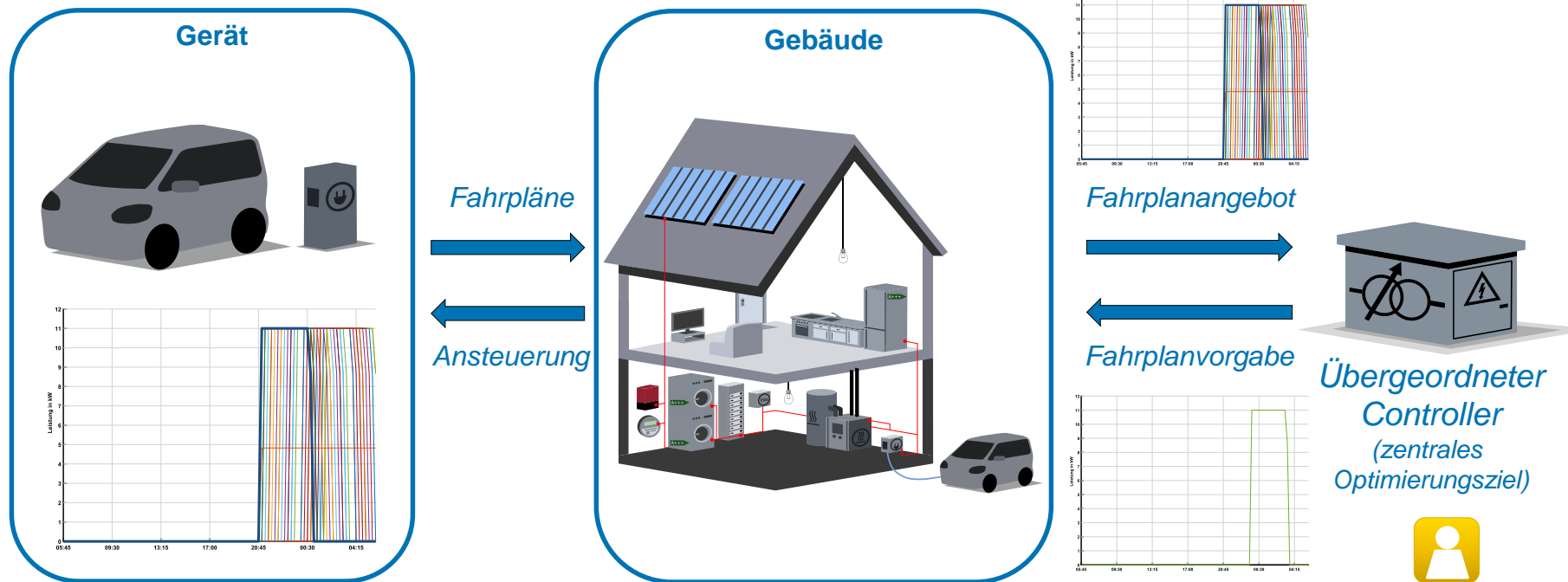
- Bestimmung von n Alternativfahrplänen basierend auf den Referenzfahrplan
- Notwendig für den Optimierungsalgorithmus der Netzsteuerung



Elektrische Wirkleistung einer Ladesäule mit Alternativfahrplänen

Kopplung mit einem Netzsteuerungssystem

1. Jedes Gerät prognostiziert sein zukünftiges elektrisches Verhalten (Wirkleistung) und erstellt ein Referenzfahrplan (ohne externen Einfluss) mit Alternativfahrplänen (Abbildung des Flexibilitätspotentials)
2. Aggregation der Fahrpläne auf Gebäudeebene
3. Übermittlung an das Netzsteuerungssystem (Fahrplanangebot)
4. Fahrplanvorgabe von der Netzsteuerung und Ansteuerung der Geräte

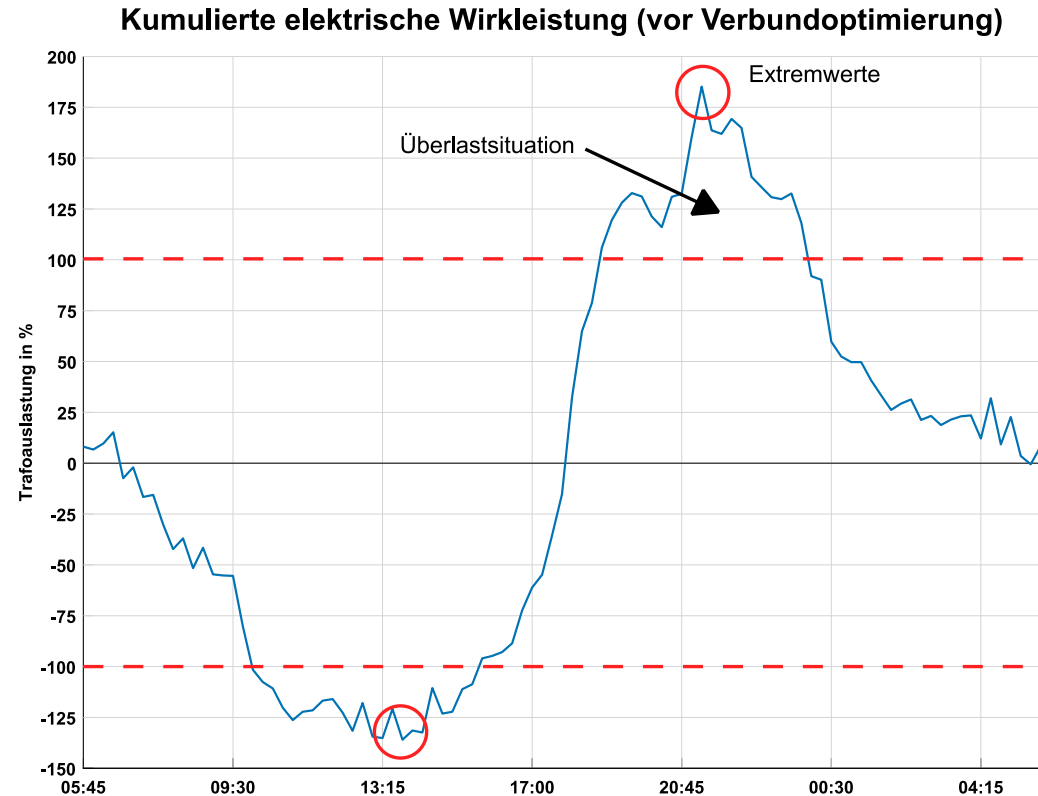


Aggregation auf Netzebene

- Modellierung und Simulation von Beispielnetzen
 - Jede Wohneinheit besitzt eine unterschiedliche Anzahl an Geräten mit unterschiedlicher Parametrierung
 - Ein Anteil der Wohneinheiten nimmt an der Verbundsteuerung teil

	Land	Stadt
Transformator	630 kVA	
Netzanschlüsse	192	120
Wohneinheiten	248	249

Eigenschaften der Beispielnetze



*Kumulierte Wirkleistungszeitreihen
für ländliches Netz Sommer Samstag 2050*

Zusammenfassung

Modellierungs- und Simulationstechnik

- Entwickelte modulare Simulationsumgebung mit der modelltechnischen Nachbildung von elektrischen und thermischen Anlagen
- Empirisch fundierte Nachbildung von Nutzerverhalten unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen Gerät und Nutzer

Flexibilisierung

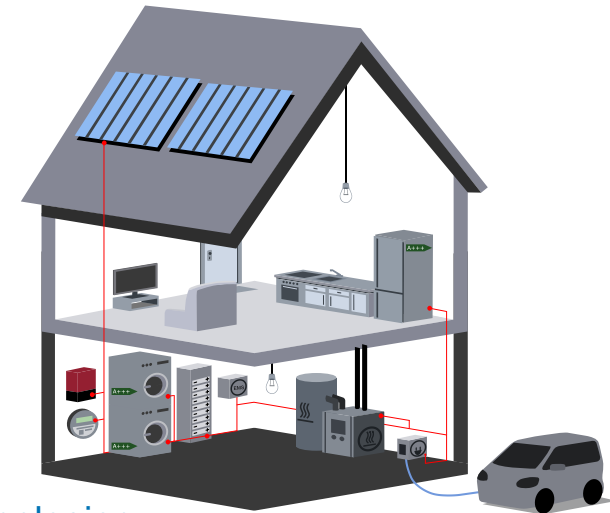
- Nachbildung flexibler Steuerung von elektrischen und thermischen Anlagen -> Abbildung des Flexibilitätspotential unterschiedlicher Technologien
- Identifikation und Umsetzung von Verschiebungsmöglichkeiten nutzerabhängiger Geräte in Wohngebäuden

Netzintegration

- Integration von Wohngebäuden in einen Netzverbund ist modelltechnisch abbildbar und unter geeigneten Rahmenbedingungen auch in der Praxis umsetzbar

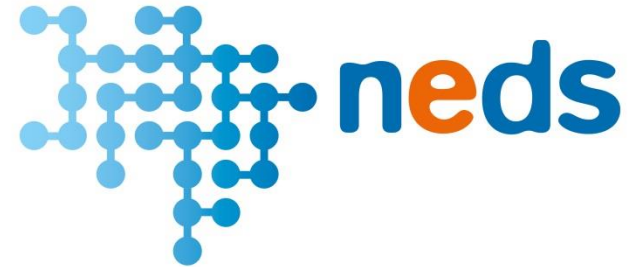
Wirtschaftlichkeit

- Das Potential der Flexibilisierung von nutzerabhängigen Geräten ist begrenzt, aufgrund des zu berücksichtigenden Aufwands für die Verhaltensänderung.
- Das Angebot von Flexibilität großer Anlagen (Ladestation für Elektrofahrzeuge, Speicher, Wärmepumpe) kann unter geeigneten Rahmenbedingungen und Steuerungsparametrierung wirtschaftlich lohnend sein





gefördert durch das Niedersächsische
Ministerium für Wissenschaft und Kultur im
Rahmen des Niedersächsischen Vorab



nachhaltige **energieversorgung** niedersachsen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

c.reinhold@tu-braunschweig.de

*Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen – elenia
Technische Universität Braunschweig*



gefördert durch das Niedersächsische
Ministerium für Wissenschaft und Kultur im
Rahmen des Niedersächsischen Vorab



nachhaltige **energieversorgung** niedersachsen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Christian Reinhold, M.Sc.

Technische Universität Braunschweig – elenia

Tel.: +49(0)531–391–9716

E-Mail: c.reinhold@tu-braunschweig.de



gefördert durch das Niedersächsische
Ministerium für Wissenschaft und Kultur im
Rahmen des Niedersächsischen Vorab



nachhaltige **energieversorgung** niedersachsen

BACKUP

Christian Reinhold
Technische Universität Braunschweig