

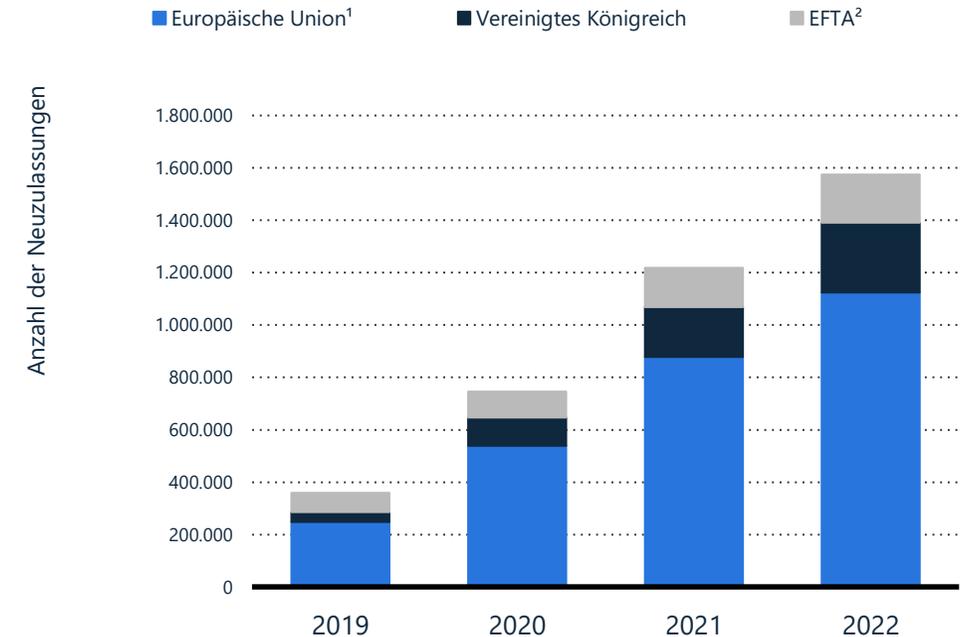


# BEITRAG ZUR TRANSFORMATION DES DEUTSCHEN VERTEILNETZES UND AUSWIRKUNGEN GESETZLICHER ÄNDERUNGEN

Tom Steffen, Béla Wiegel, Prof. Dr.-Ing. Christian Becker

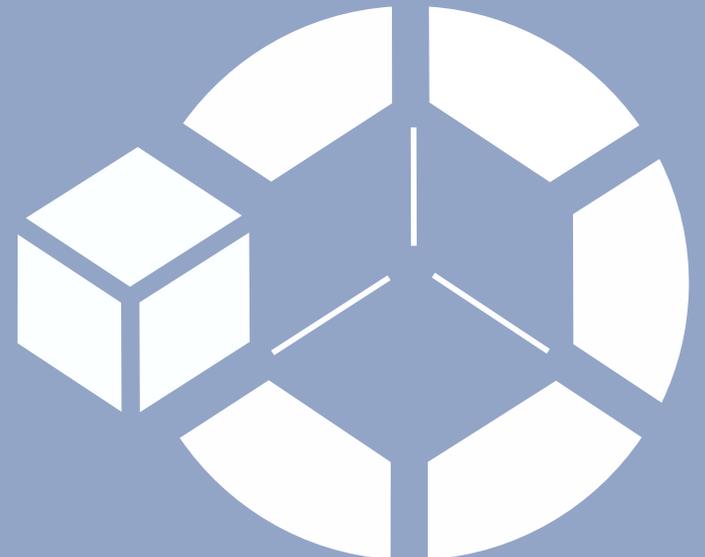
# Motivation

- ❖ Die Energiewende führt zu großen Transformationseffekten im Elektrisches Verbundsystem
- ❖ Es wird ein hoher Anteil von fluktuierenden erneuerbaren Energien im Verteilnetz installiert
- ❖ Integrierte Energiesysteme als aussichtsreicher Lösungsansatz zur Dekarbonisierung aller Sektoren
- ❖ Integration bietet Chancen aber auch Risiken, in Form von Überlastungen oder Effizienzeinbußen
- ❖ Deutschland bezieht im Rahmen gesetzlicher Änderungen immer mehr Klein- und Kleinstanlagen zur Entlastung des Stromnetzes ein
- ❖ Ziel dieses Beitrags ist die Darstellung der Transformation in Mittel- und Niederspannungsnetzen sowie die Untersuchung und Bewertung der neu legitimierten Maßnahmen



Anzahl der Neuzulassungen von Elektroautos (BEV) in Europa von 2019 bis 2022. <sup>1</sup> Nicht für alle Länder der EU sind für alle Jahre Daten verfügbar. <sup>2</sup> Schweiz und Norwegen, ab 2018 inklusive Island. Quelle: Statista Zugegriffen: 24. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1381045/umfrage/absatz-von-waermepumpen-in-deutschland-nach-art-der-waermepumpe/>

- 1. Motivation**
- 2. Gesetzlicher Rahmen in Deutschland**
- 3. Modelle betrachteter Verteilnetzzenarien**
- 4. Kuratives Engpassmanagement nach EnWG §14a**
- 5. Zusammenfassung & Ausblick**



# Gesetzlicher Rahmen in Deutschland

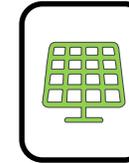
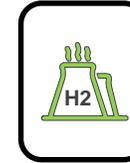
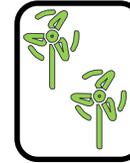
## Redispatch 1.0 / Klassischer Redispatch

- Erzeugeranlagen mit  $P_N \geq 10$  MW sind beteiligt
- Änderung des Kraftwerkseinsatzplans in Absprache mit Übertragungsnetzbetreibern (ÜNBs)



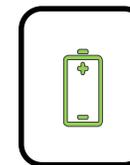
## Redispatch 2.0 (seit 2021)

- Erzeugeranlagen mit  $P_N \geq 100$  kW sind beteiligt
- Änderung des Kraftwerkseinsatzplans in Absprache mit ÜNB und Verteilnetzbetreibern (VNBs)

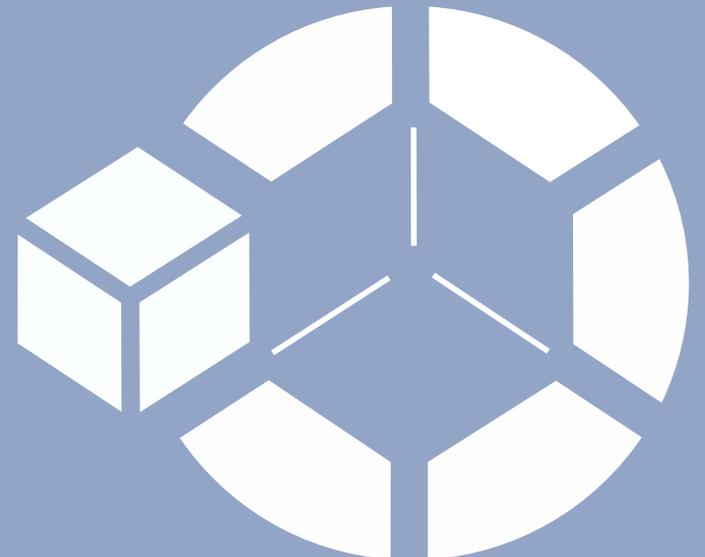


## Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) § 14a (seit 01.01.2024)

- Beteiligt sind Steuerbare Verbrauchseinheiten (SteuVE) mit  $P_{max} \geq 4,2$  kW in Absprache mit VNBs
- Teilnehmergruppen:
  - Elektrische Wärmepumpen (mit Zuheizanlagen),
  - nicht-öffentliche Ladeinfrastruktur für Elektroautos,
  - elektrische Batteriespeichersysteme
- Abregelungsoption in Netzengpasssituationen geregelt nach Anschlussart des SteuVE
  - Separate Zählerpunkte  $\rightarrow P_{SteuVE,limit} = 4,2$  kW pro Anlage gesichert
  - Gemeinsamer Zählerpunkt  $\rightarrow P_{min}(n_{SteuVE}) = 4,2$  kW +  $(n_{SteuVE} - 1) \cdot GZF(n_{SteuVE}) \cdot 4,2$  kW
  - Gleichzeitigkeitsfaktor  $GZF$  in Abhängigkeit der Anzahl von SteuVE  $n_{SteuVE}$  im Gesetz definiert



1. **Motivation**
2. **Gesetzlicher Rahmen in Deutschland**
3. **Modelle betrachteter Verteilnetzzenarien**
4. **Kuratives Engpassmanagement nach EnWG §14a**
5. **Zusammenfassung & Ausblick**



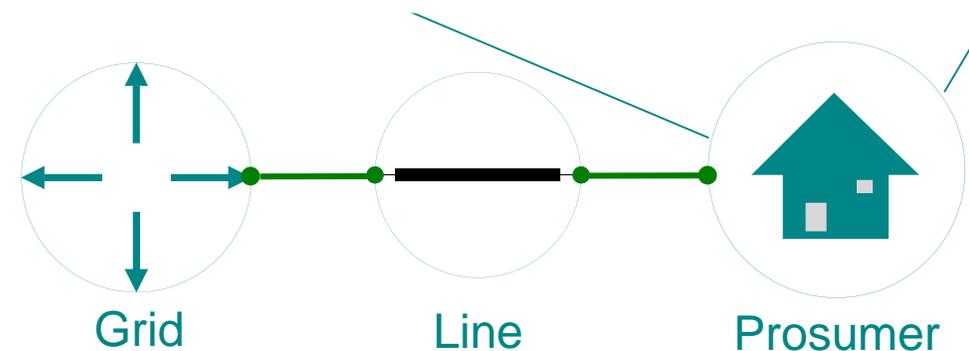
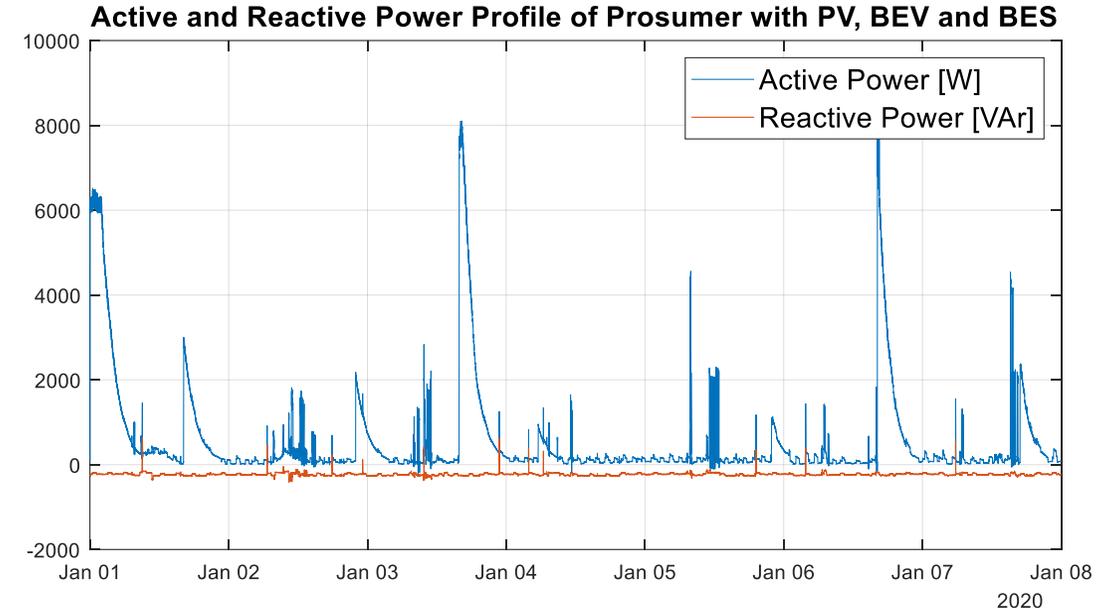
# Verteilnetzmodelle und -Szenarien

- ❖ Welche Szenarien betrachten wir?
  - Szenarien basieren auf dem **SimBench-Datensatz** für Benchmarknetztopologien
  - **Prosumer** (Producer-Consumer-Haushalt)
  - Abbildung **interessierender Dynamiken** innerhalb der Simulationsmodelle
  - Aufgeteilt in **Gebiet, Technologiedurchdringung** und **Rahmenbedingung**
  - Gebiete: Ländlich, Vorstädtisch, Städtisch
  - Technologiedurchdringung: Anteil Erneuerbarer Erzeugung und Steuerbarer Verbrauchseinheiten
  - Rahmenbedingung: Wetter- und Gleichzeitigkeitsszenarien (Normalwetter, Kalte Dunkelflaute, Hohe Gleichzeitigkeit)

Verteilnetzsszenarien		Ländlich	Vorstädtisch	Städtisch
Heutiger Technologiemix	Normalwetter	✓	✓	✓
	Kalte Dunkelflaute	✓	✓	✓
	Hohe Gleichzeitigkeit	✓	✓	✓
Intermediärer Technologiemix	Normalwetter	✓	✓	✓
	Kalte Dunkelflaute	✓	✓	✓
	Hohe Gleichzeitigkeit	✓	✓	✓
Zukünftiger Technologiemix	Normalwetter	✓	✓	✓
	Kalte Dunkelflaute	✓	✓	✓
	Hohe Gleichzeitigkeit	✓	✓	✓

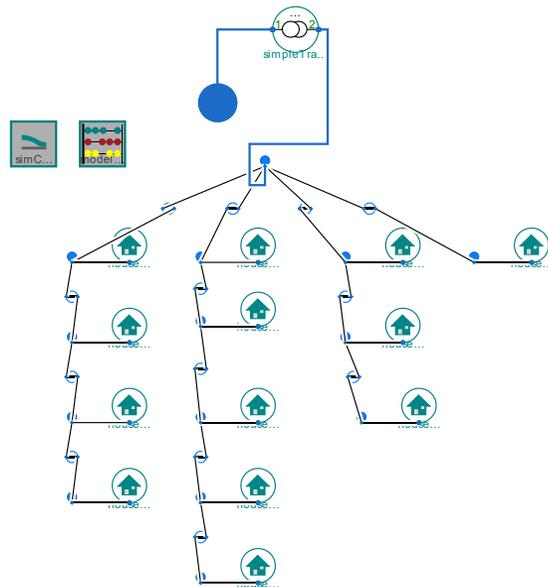
# Verteilnetzmodelle und -Szenarien

- ❖ Modellierung mit Modelica & auf der TransiEnt Library basierenden Komponenten
- ❖ Kernkomponente der Szenarien sind Bottum-Up modellierte Haushalte bzw. Prosumer welche folgende Betriebsmittel beinhalten:
  - Photovoltaikanlagen (PV)
  - Elektroautos (BEV) mit realistischen Fahrprofilen
  - Eigenverbrauchsregelnde Energiespeicher (BES)
  - Smart Meter mit Delay und normalverteiltem Messfehler
  - Elektrische Wärmepumpen (engl. Electric Heat Pump, EHP)

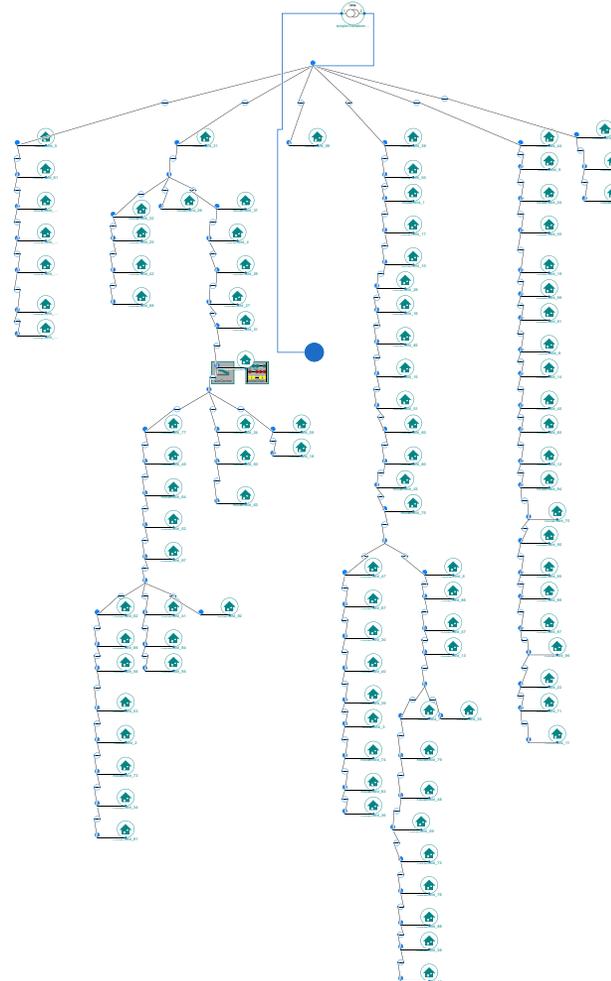


# Verteilnetzmodelle und -Szenarien

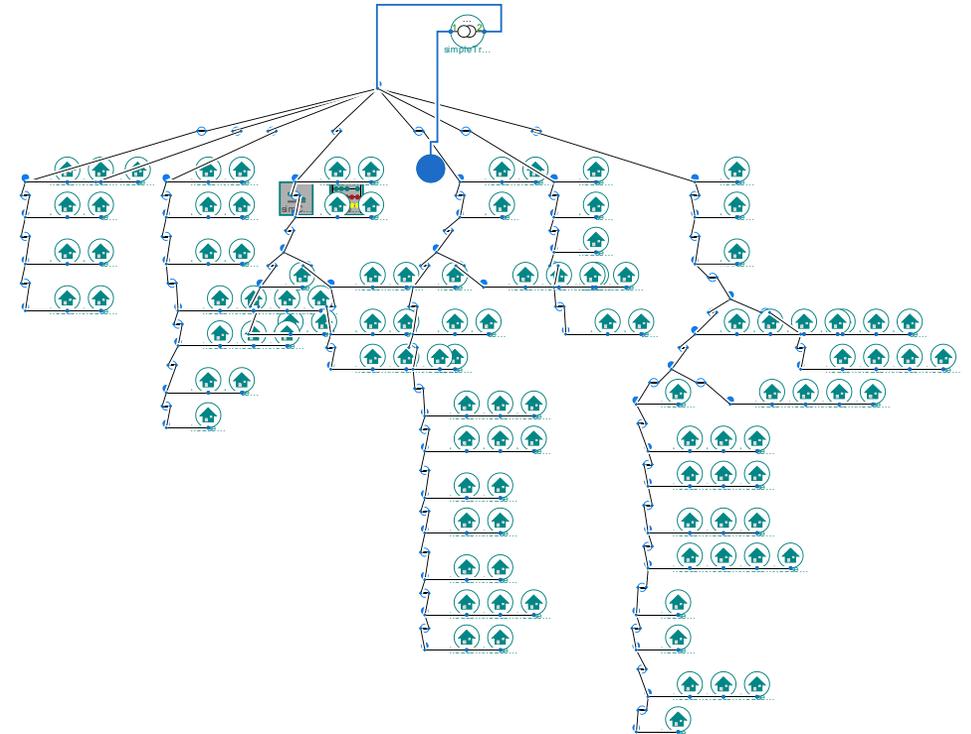
Niederspannungsnetze:



SimBench LV-rural-1  
13 Haushalte



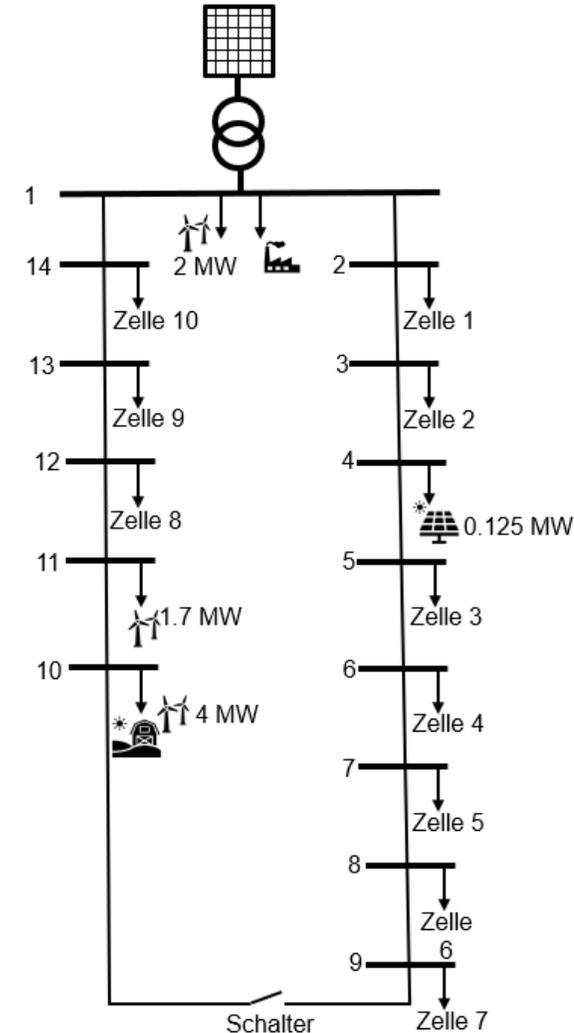
SimBench LV-semiurb-5  
104 Haushalte



SimBench LV-urban-6  
111 Haushalte

# Verteilnetzmodelle und -Szenarien

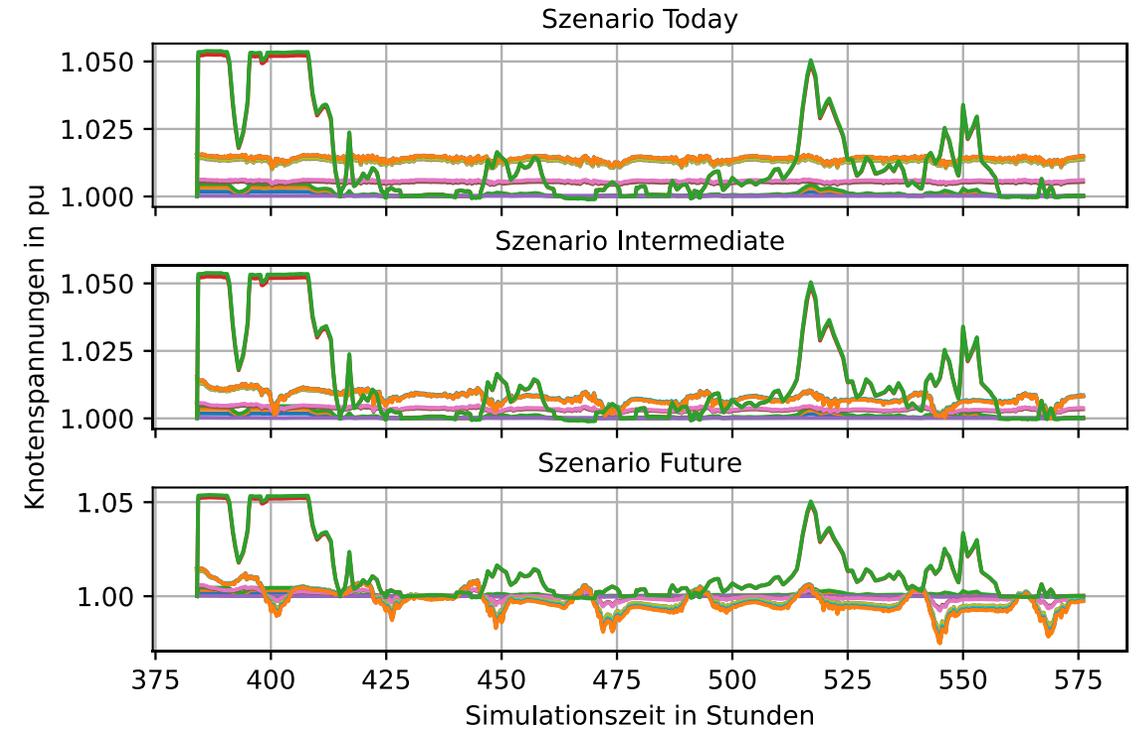
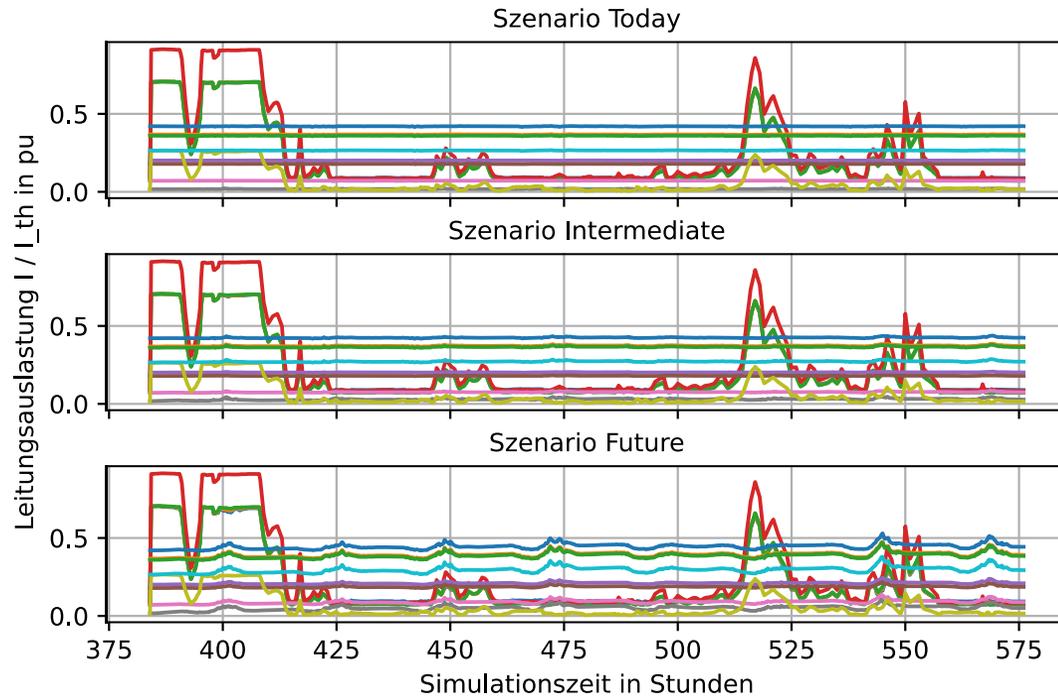
- ❖ Aufbau eines Szenarios basierend auf der ländlichen Mittelspannungsring-Topologie aus dem SimBench-Datensatz (MV-rural-2)
- ❖ Der Mittelspannungsring wird offen betrieben
- ❖ Simulation mit zehn untergliederten Niederspannungsnetzen
- ❖ Wetterdaten aller Szenarien basieren auf den Wetterdaten des Deutschen Wetterdienst (DWD) aus dem Jahr 2019
- ❖ Industrie-Lastprofile kommen direkt aus dem SimBench-Datensatz



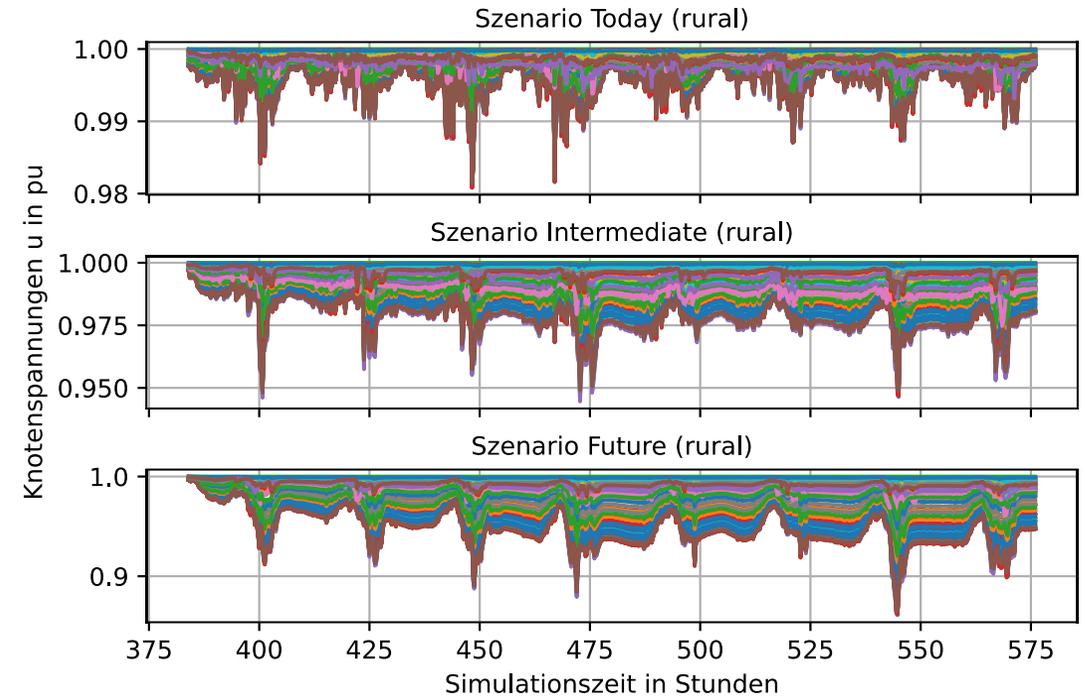
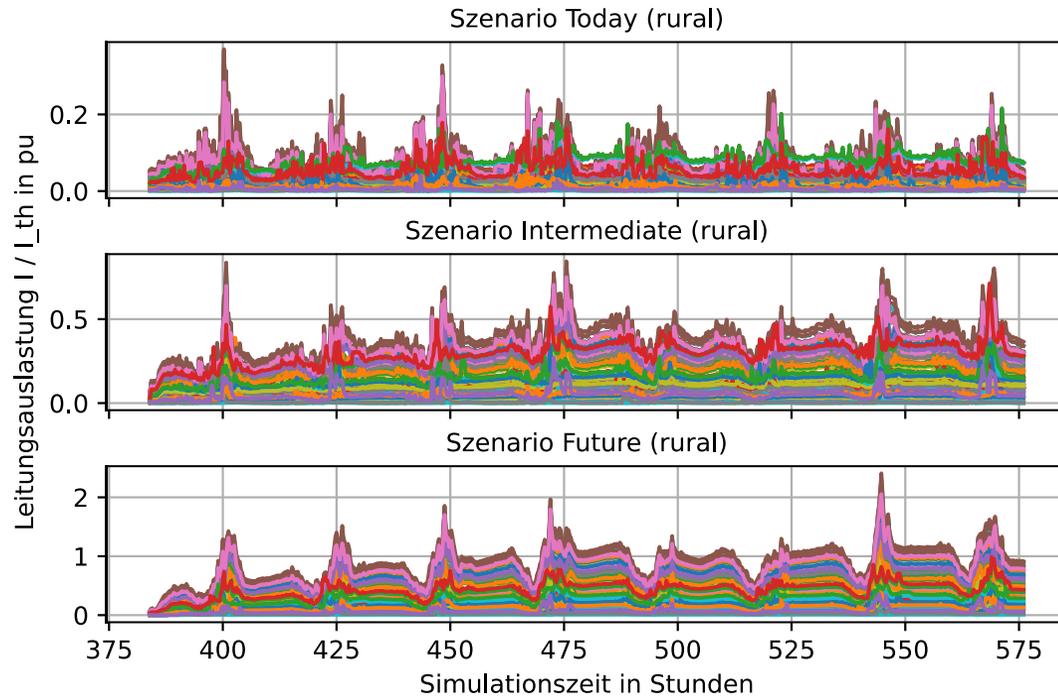
- Topologie der Zellen:**
- Zelle 1:** LV-rural-2 (99 HH)
  - Zelle 2:** LV-rural-1 (13 HH)
  - Zelle 3:** LV-rural-2 (99 HH)
  - Zelle 4:** LV-rural-1 (13 HH)
  - Zelle 5:** LV-rural-1 (13 HH)
  - Zelle 6:** LV-rural-1 (13 HH)
  - Zelle 7:** LV-rural-2 (99 HH)
  - Zelle 8:** LV-rural-1 (13 HH)
  - Zelle 9:** LV-rural-1 (13 HH)
  - Zelle 10:** LV-rural-1 (13 HH)

# Verteilnetzmodelle und -Szenarien

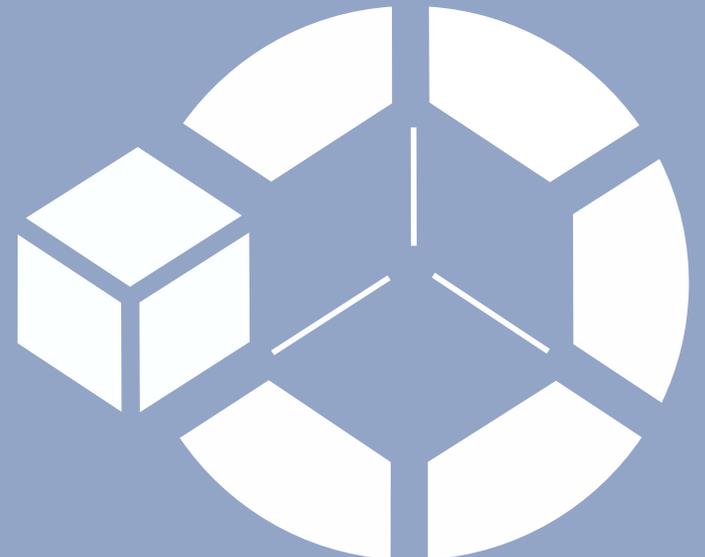
Situation im Mittelspannungsnetz:



## Situation im Niederspannungsnetz:

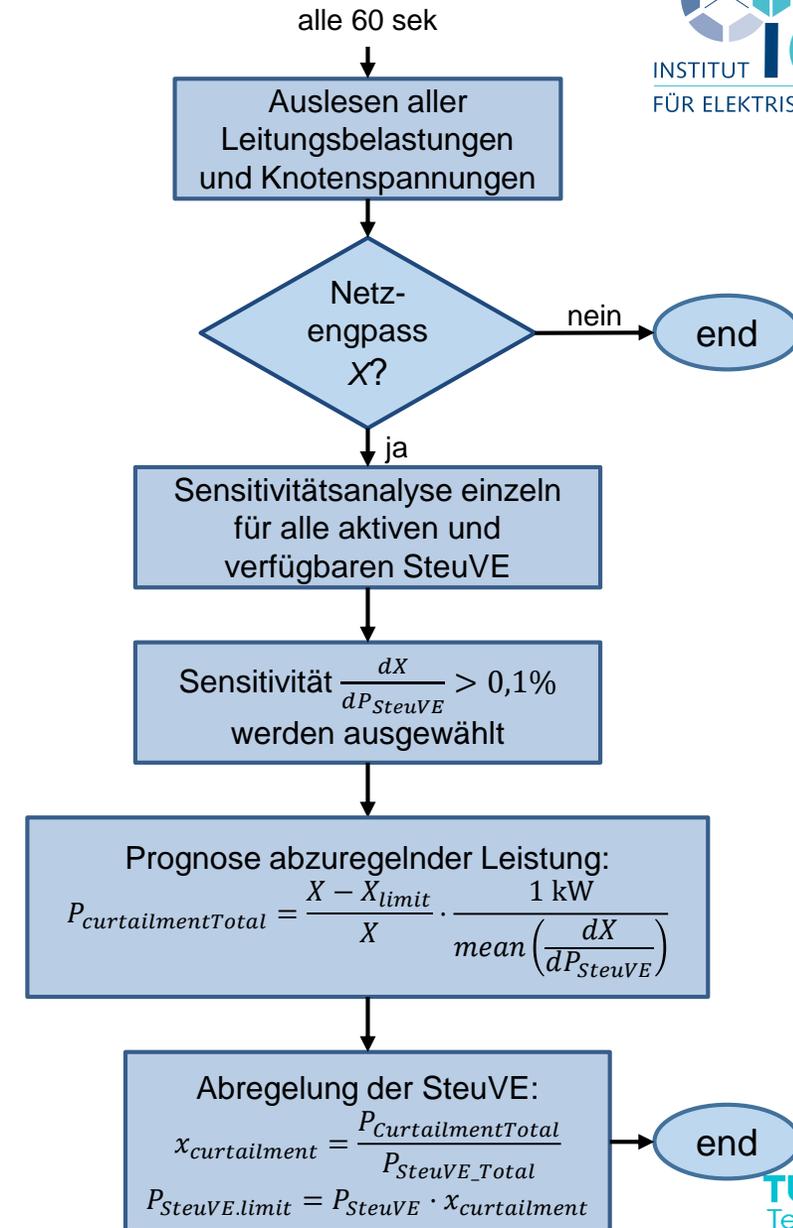


- 1. Motivation**
- 2. Gesetzlicher Rahmen in Deutschland**
- 3. Modelle betrachteter Verteilnetzzenarien**
- 4. Kuratives Engpassmanagement nach EnWG §14a**
- 5. Zusammenfassung & Ausblick**



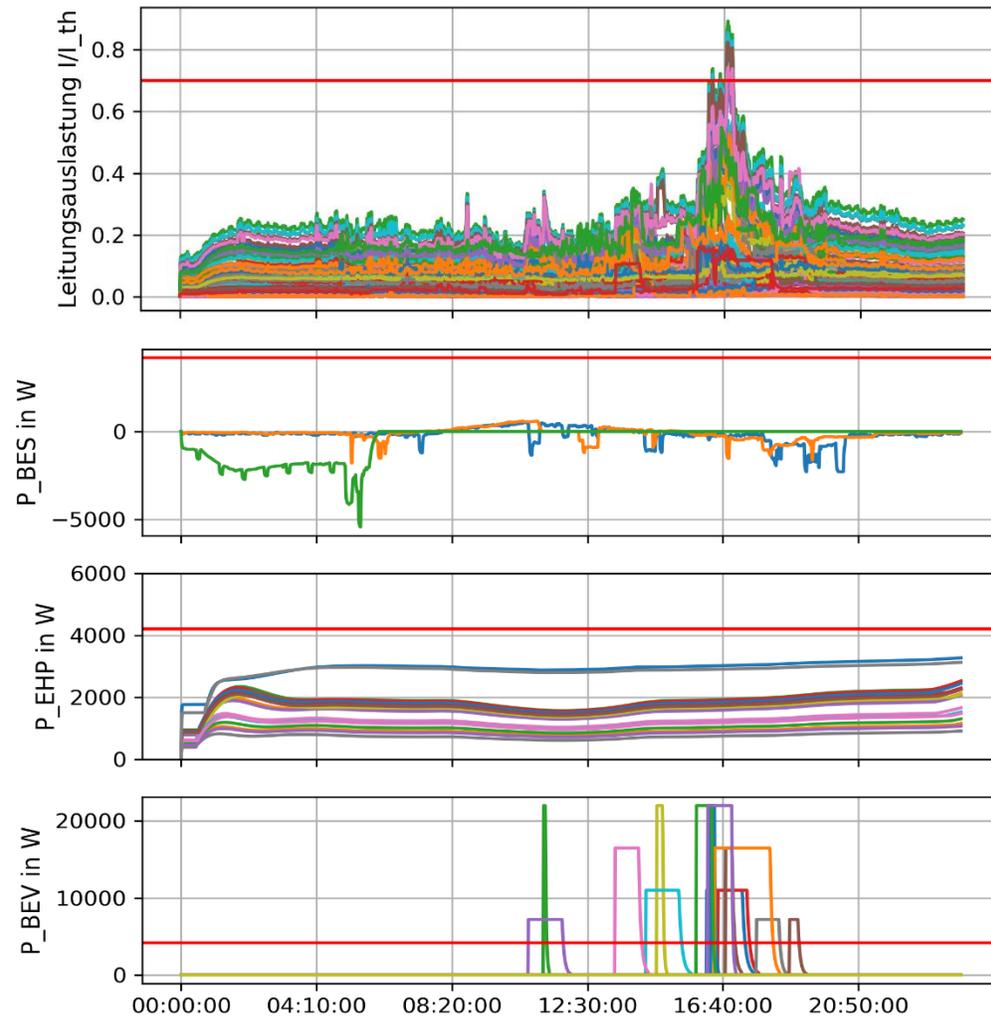
# Engpassmanagement im Verteilnetz

- Minütliche Bewertung der Netzzustandsgrößen ( $X_1, \dots, X_N$ )
- Engpassmanagement aufgebaut basierend auf vorangegangener Sensitivitätsanalyse
- Sensitivitäten werden für den Zeitpunkt des Engpasses einzeln für alle SteuVE bestimmt
- SteuVE mit relevanter Sensitivität werden ausgewählt
- Gesamte Wirkleistungsverringerung  $P_{CurtailmentTotal}$ , basierend auf der Höhe und Bestandsdauer des Engpasses, wird geschätzt.

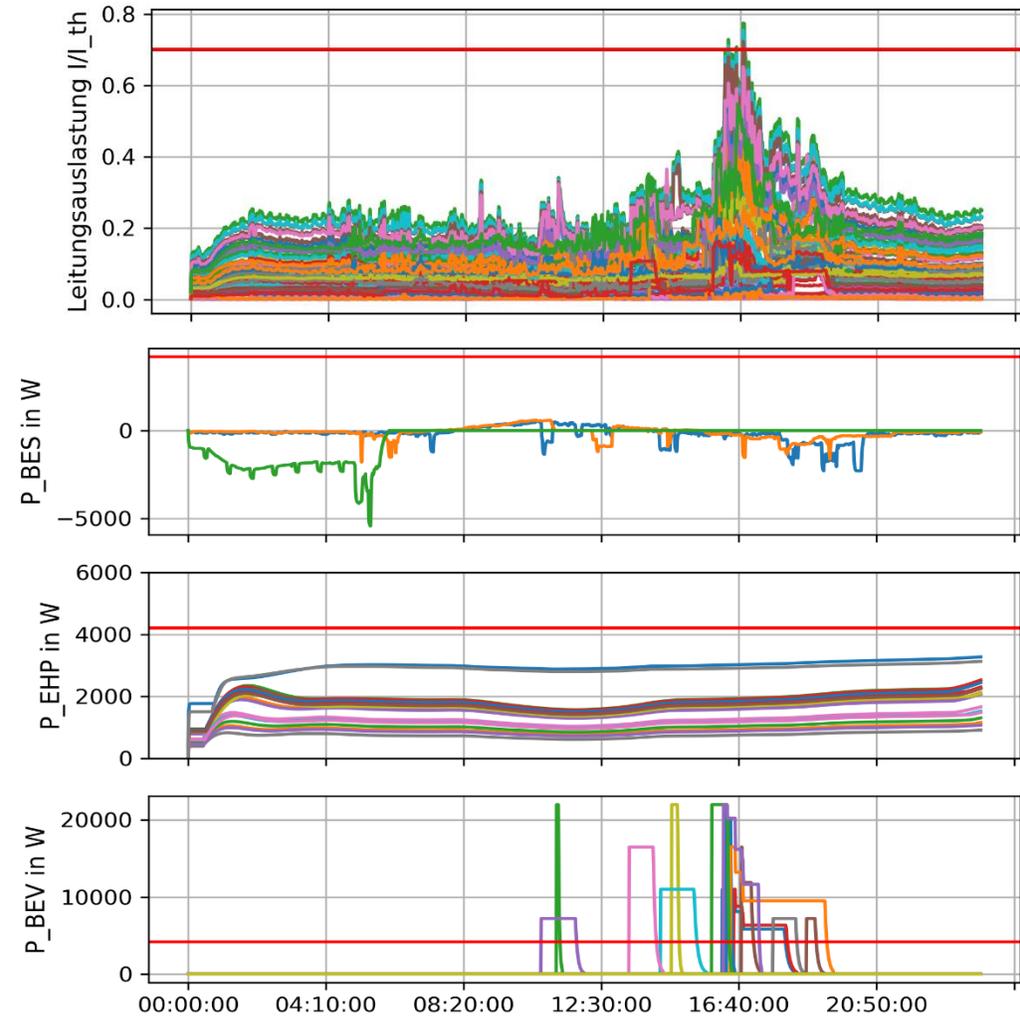


# Ergebnisse im intermediären Szenario – LV-rural-2

Ohne Engpassmanagement:

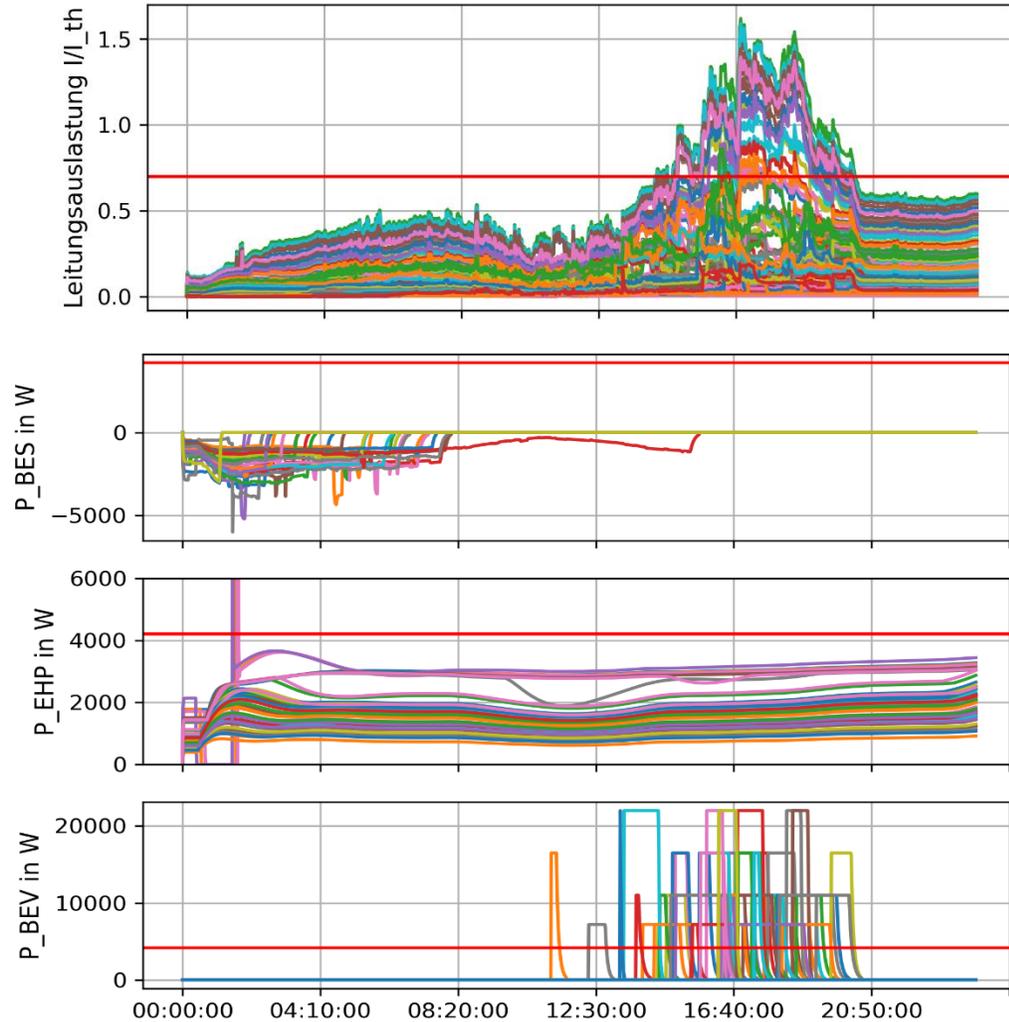


Mit Engpassmanagement:

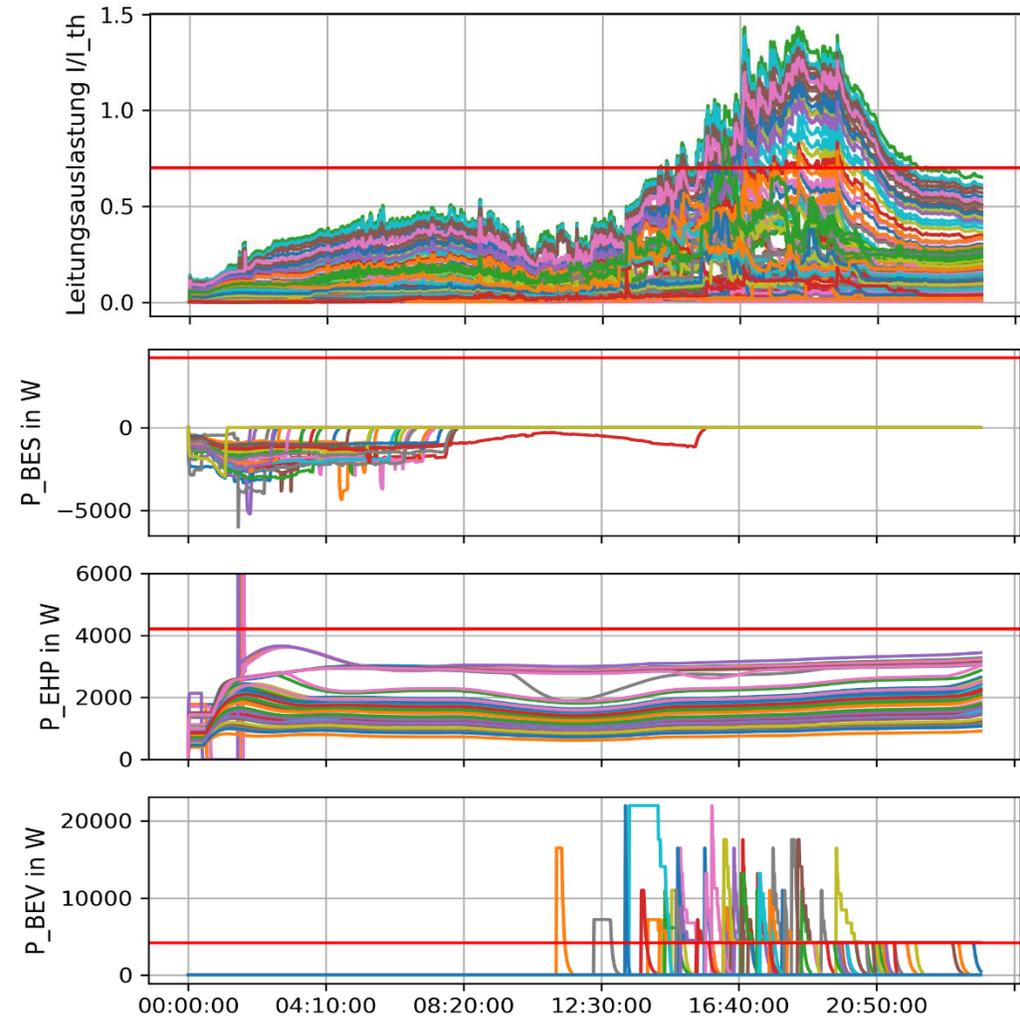


# Ergebnisse im zukünftigen Szenario – LV-rural-2

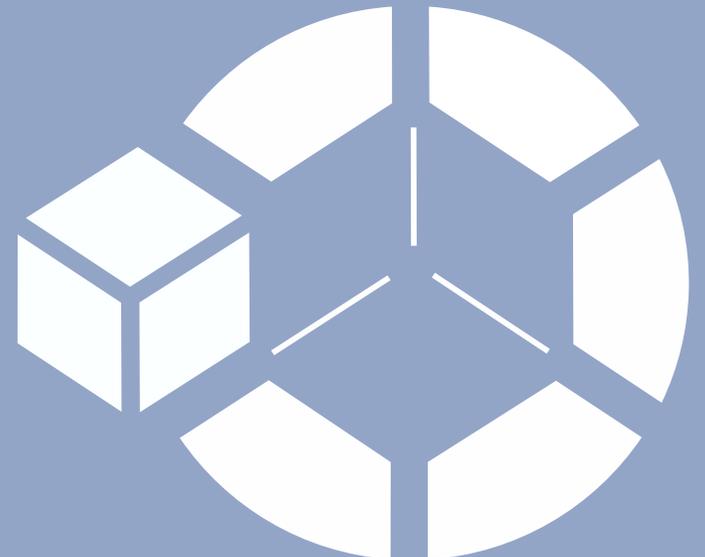
Ohne Engpassmanagement:



Mit Engpassmanagement:



- 1. Motivation**
- 2. Gesetzlicher Rahmen in Deutschland**
- 3. Modelle betrachteter Verteilnetzzenarien**
- 4. Kuratives Engpassmanagement nach EnWG §14a**
- 5. Zusammenfassung & Ausblick**



# Zusammenfassung & Ausblick

- ❖ Zukunftsszenarien für ländliche, vorstädtische und städtische Niederspannungsnetze zeigen deutliche häufigere Engpasssituationen.
- ❖ Novellierung des EnWG §14a führt nicht zwangsläufig zur Auflösung aller Engpässe.
- ❖ Verschiebung der Lasten und Nachholeffekte können sich überlagern und destruktiv auswirken.
- ❖ Effizienz der reduzierten Verbrauchseinheit sinkt und kann zu potentiellen Akzeptanzproblemen führen.
- ❖ Haushaltsenergiemanagementsysteme (HEMS) in Kombination mit dynamische Netzentgelten könnten den Verlauf verbessern. Ohne dynamische Netzentgelte ist eine Verschlechterung denkbar.

## Ausblick:

- ❖ Netzkapazität gegenüber Steuerbaren Verbrauchseinheiten, mit und ohne Engpassmanagement nach EnWG §14a, sollte weiter untersucht werden.
- ❖ Engpassmanagement mit der Kabeltemperatur als Metrik wird hinsichtlich potentiell positiver Effekte aufgrund der thermischen Trägheit untersucht

# VIELEN DANK!

