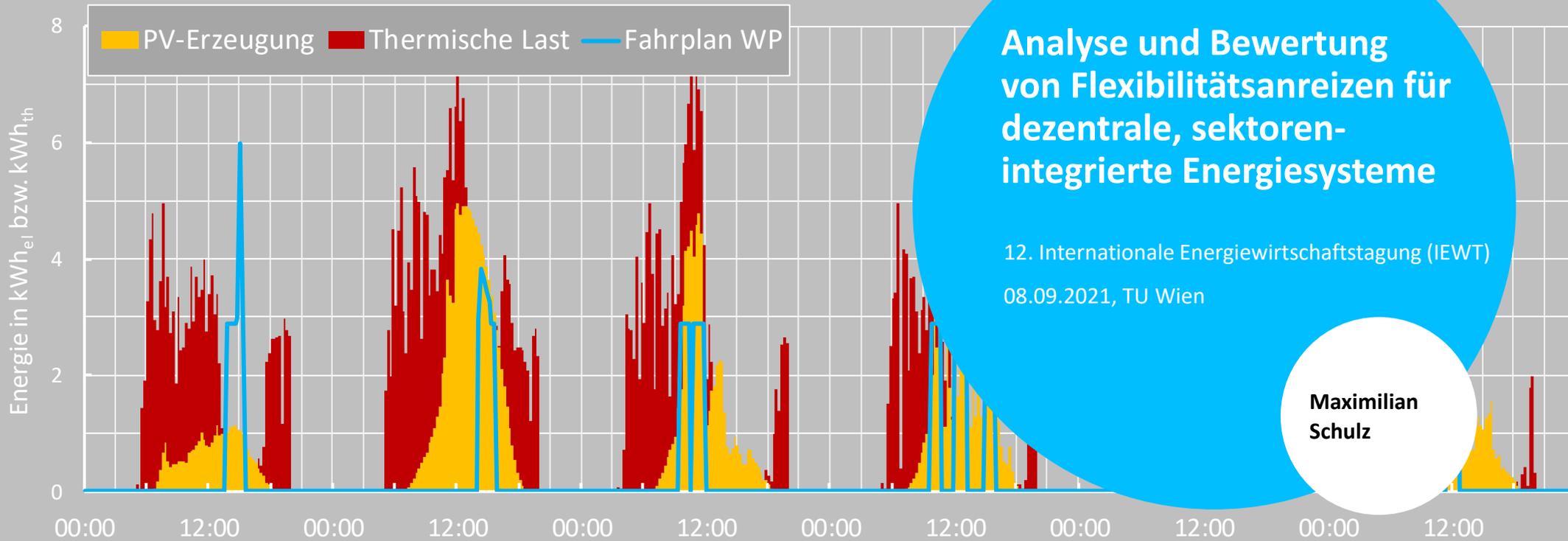




Universität Stuttgart

IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung



Analyse und Bewertung von Flexibilitätsanreizen für dezentrale, sektoren- integrierte Energiesysteme

12. Internationale Energiewirtschaftstagung (IEWT)

08.09.2021, TU Wien

**Maximilian
Schulz**

Agenda

Struktur und Aufbau der Präsentation

1. Motivation, wissenschaftlicher Kontext sowie resultierende Forschungsfragen
2. Methodik – Das Optimierungsmodell E2M2_DES
3. Eingangsgrößen – Das dezentrale Energiesystem sowie Schnittstellen zum gesamtheitlichen Energiesystem
4. Dimensionierung von PV-BS-Systemen für dezentrale, sektorenintegrierte Energiesysteme
5. Bewertung der Flexibilitätsmechanismen Sperrzeiten sowie Spitzenglättung
6. Fazit und Ausblick

Motivation dezentrale, sektorenintegrierte Energiesysteme

Dezentrale, sektorenintegrierte Energiesysteme in Deutschland

¹BMW (2021): Datenmeldungen PV in den Jahren 2014 bis 2020.

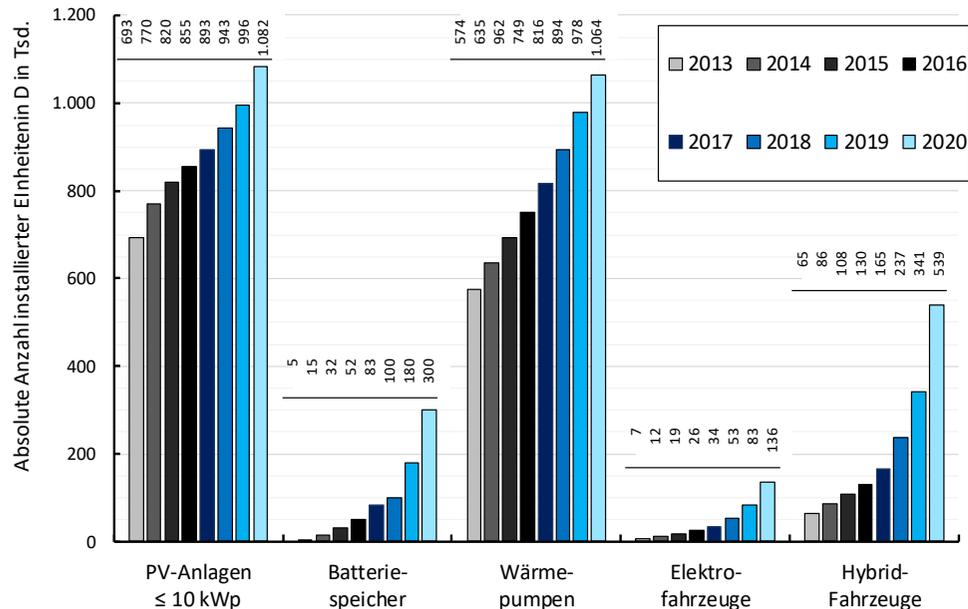
²AGE (2019): Anzahl neu zugebauter Photovoltaik-Batteriespeicher.

³2018 ohne Bericht -> Projektion Verhältnis zugeb. Speicher / PV-Anlagen aus 2017 auf 2018

⁴BWP (2021): Wärmepumpenabsatzzahlen 2020.

⁵Kraftfahrt-Bundesamt (2021): Personenkraftwagen nach ausgewählten Merkmalen.

Absolute Anzahl dezentraler Erzeugungs- & Verbrauchstechnologien in den Jahren 2013 bis 2020



- Deutliche Zunahme dezentraler Erzeugungstechnologien (v. a. PV-Anlagen) sowie steuerbarer Verbrauchstechnologien (Batteriespeicher, Wärmepumpen & Elektrofahrzeuge) im Rahmen der Sektorenintegration in Deutschland
- Sektorenintegration wird hierbei insbesondere auf dezentraler Ebene umgesetzt, also direkt beim Endnutzer vor Ort (auf Verteilnetzebene)
- Erhebliche dezentrale Leistungszunahme sowie unkoordinierte Steuerung der Komponenten resultieren in hohen (nachfrageseitigen) Bezugsspitzen sowie resultierender kritischer Netzsituationen
- Aktuell Diskussion von Flexibilitätsmechanismen zur Erschließung dezentraler Flexibilitäten (z. B. § 14a EnWG)



Zunehmende Bedeutung dezentraler, sektorenintegrierter Energiesysteme im gesamtheitlichen Energiesystem

Vermeidung kritischer Netzsituationen durch Anreize für dezentrale, sektorenintegrierte Energiesysteme möglich

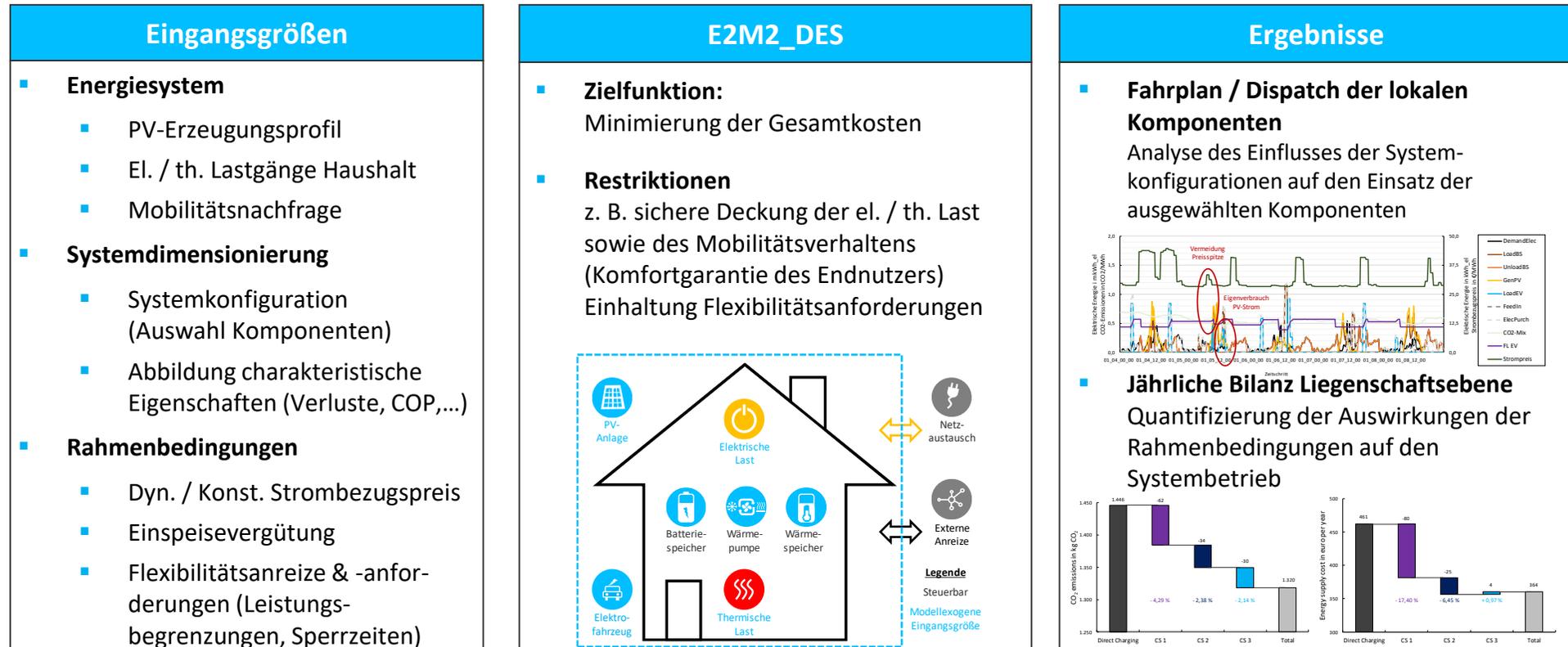
Motivation

Wissenschaftlicher Kontext sowie resultierende Forschungsfragen

- Fokus verwandter Publikationen meistens **nur auf Wärmepumpen- oder Elektrofahrzeugsysteme**, dazu v. a. aus Sicht des zentralen Energiesystems oder eines Aggregators, nicht des dezentralen Energiesystems
- Sofern die genannten Technologien kombiniert betrachtet werden, stellen Wärmepumpen- oder Elektrofahrzeugsysteme häufig nur **zusätzliche, starre Verbraucher** dar anstelle **steuerbarer Flexibilitätsoptionen**, wobei in deren Einsatzplanung zusätzliche **systemseitige Flexibilitätsanreize vernachlässigt** werden
- Welche Effekte resultieren aus der (intelligenten) Steuerung des sektorenintegrierten, dezentralen Energiesystems unter Berücksichtigung entsprechender Flexibilitätsmechanismen zur Vermeidung kritischer Netzsituationen?
- **Forschungsfrage 1 (FF 1): Optimale Dimensionierung der Komponenten (PV-BS-System)**
 - Dimensionierung der WP / EV-Systeme ergibt sich in Abhängigkeit des spezifischen Nachfrageverhaltens
 - Welche Dimensionierung stellt die wirtschaftlichste für das PV-BS-System dar?
- **Forschungsfrage 2 (FF 2): Bewertung von Flexibilitätsmechanismen für dezentrale Energiesysteme**
 - Aktuell Reform § 14a EnWG in Diskussion zur intelligenten Integration dezentraler Flexibilitäten, Fokus auf zwei Umsetzungsmöglichkeiten („*Sperrzeiten*“ & „*Spitzenglättung*“) zur Vermeidung kritischer Verteilnetzsituationen
 - Bewertung der Mechanismen mit Blick auf netzseitige Bezugsspitzen und aus dezentraler Energiesystemsicht

Methodik

Das Optimierungsmodell E2M2_DES



Einsatzplanung der steuerbaren Komponenten BS, WP & EV durch Optimierungsmodell E2M2_DES

Modellseitige Abbildung der Flexibilitätsmechanismen zur Berücksichtigung in der Einsatzplanung der Komponenten

Eingangsgrößen der Untersuchung

Das dezentrale Energiesystem sowie die Schnittstellen zum gesamtheitliches Energiesystem

Das dezentrale Energiesystem

- **Dezentrales Energiesystem^{6,7}:**
 - Wärmebedarf $11.971 \text{ kWh}_{\text{th}} \cdot \text{a}^{-1}$ (HWW & BWW)
 - Elektrische HH-Last $3.995 \text{ kWh}_{\text{el}} \cdot \text{a}^{-1}$
 - Fahrleistung 11.981 km ($1.893 \text{ kWh}_{\text{el}}$)
- **Elektrofahrzeug⁶:**
 - max. Ladeleistung $11 \text{ kW}_{\text{el}}$
 - Speichergröße $35,8 \text{ kWh}_{\text{el}}$ (E-Golf)
- **Wärmepumpen-Wärmespeicher-System⁷:**
 - Leistung WP $2,4 \text{ kW}_{\text{el}}$
 - Speicherkapazität $63,5 \text{ kWh}_{\text{th}}$
 - Außentemperaturabhängiger COP

Schnittstelle zum gesamtheitlichen Energiesystem

- **Netzanschluss des Energiesystems** zum Bezug sowie zur Einspeisung elektrischer Energie
- Abbildung von **Sperrzeiten**
 - „Mittags“ 11.00 bis 13.00 Uhr
 - „Abends“ 17.00 bis 19.00 Uhr
 - „Gemischt“ $11.30 - 12.30$ & $17.30 - 18.30$ Uhr
- Abbildung der **Spitzenglättung** durch Begrenzung des Netzbezugs von 11 kW bis 4 kW elektrischer Leistung (In Gegensatz zur Reform § 14 a EnWG durchgängig gültig)
- Berücksichtigung eines konstanten sowie dynamischen Stromtarifs für Netzbezug



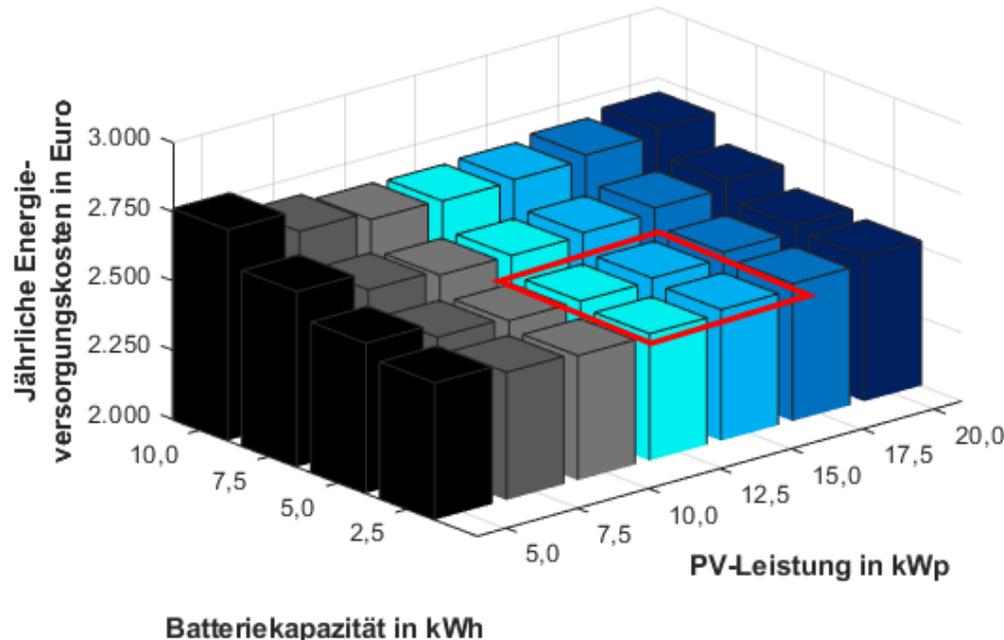
Abbildung eines repräsentativen Einfamilienhaushalts unter Variation der regulatorischen Rahmenbedingungen

Ergebnisse

Dimensionierung von PV-BS-Systemen für dezentrale, sektorenintegrierte Energiesysteme

Jährliche Energieversorgungskosten

(Strombezugskosten - Einspeisevergütung + Annuität PV-BS-Systems)



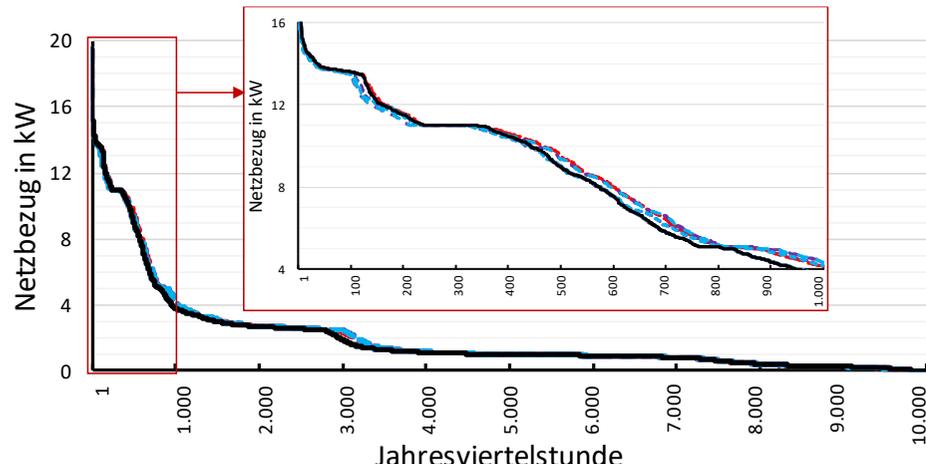
- Betrachtung von 28 Kombinationen aus PV-Leistung sowie BS-Kapazität (BS Leistung = $\frac{1}{2}$ BS-Kapazität) im aktuellen Eigenverbrauchsregime dezentraler Endkunden
- Fahrplanberechnung jeder Kombination in E2M2_DES über den Zeitraum eines Jahres zur Bestimmung der jährlichen Strombezugskosten (+ Einspeiserlöse)
- Energieversorgungskosten = Strombezugskosten - Einspeisevergütung + Annuität des PV-BS-Systems
- Je größer die BS-Kapazität gewählt wird, desto schlechter fällt das monetäre Ergebnis für den Endnutzer aus
- PV-Zubau nur bis etwa 15 kW_p rentabel, anschließend refinanziert der weitere Eigenverbrauch die zusätzlichen (Invest-)Kosten nicht mehr

➤ Dimensionierungsempfehlung eines PV-BS-Systems mit 12,5 kW_p PV-Leistung sowie 5 kWh BS-Kapazität für dezentrale, sektorenintegrierte Energiesysteme

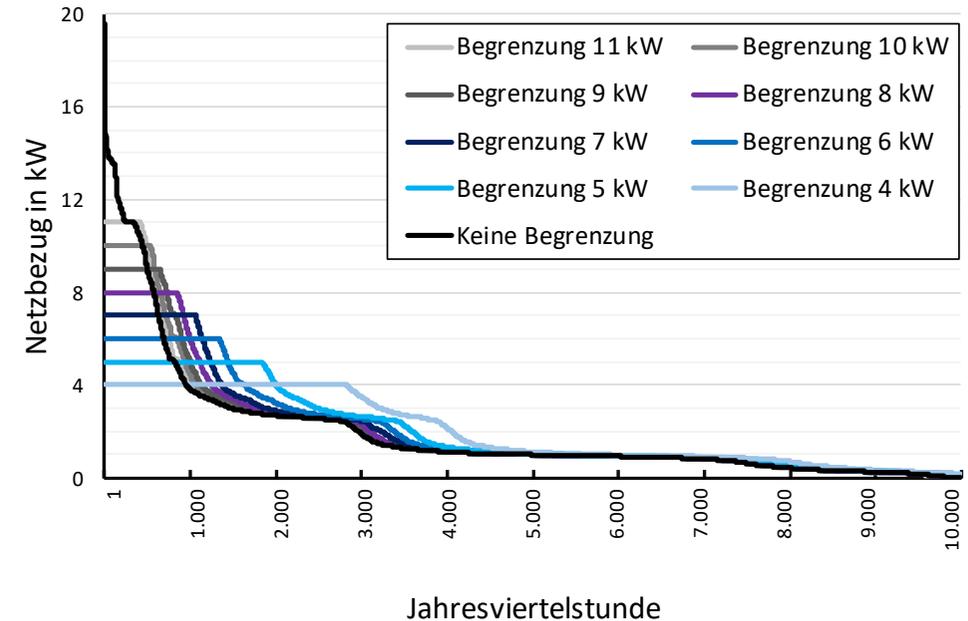
Ergebnisse

Bewertung der Flexibilitätsmechanismen aus Verteilnetzsicht

Bezugsspitzen unter FlexMechanismus Sperrzeiten



Bezugsspitzen unter FlexMechanismus Spitzenglättung



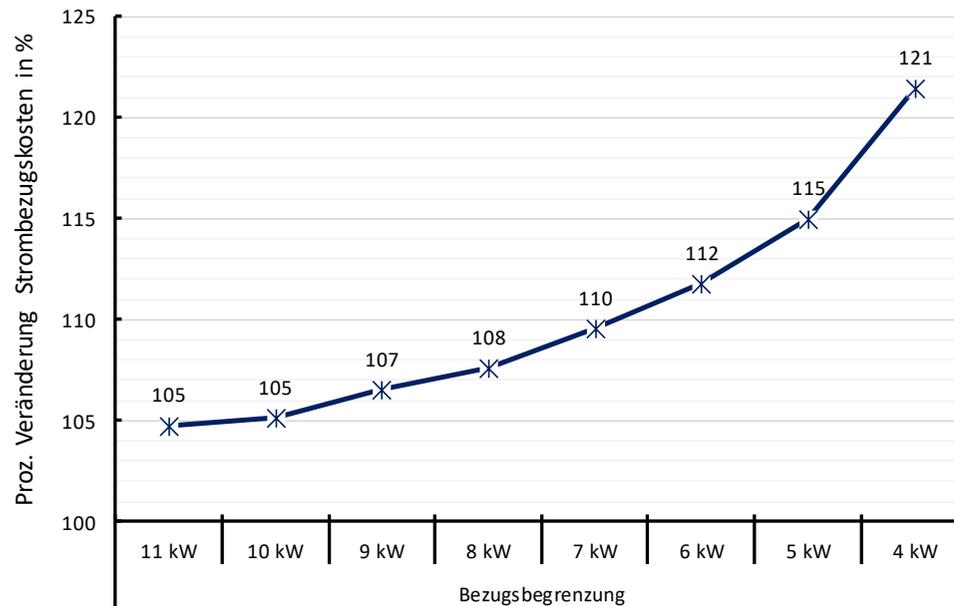
➤ Bezugsspitzen werden durch FlexMechanismus Sperrzeiten nur zeitlich verschoben, jedoch nicht behoben

Durch Berücksichtigung von Spitzenglättung bei Steuerung der dez. Energiesysteme werden Bezugsspitzen verstetigt

Ergebnisse

Bewertung der Flexibilitätsmechanismen aus Endnutzersicht

Einfluss Spitzenglättung auf die Strombezugskosten des dezentralen Energiesystems



- Zur Bestimmung der Mehrkosten für Endnutzer Berücksichtigung eines dynamischen Stromtarifs, da sonst nur Restbezugsprofil des dez. Energiesystems bei vergleichbaren Kosten optimiert wird
- Begrenzung des Netzbezugs auf bis zu 8 kW ohne deutliche Mehrkosten (bis zu 7 %), danach jedoch steiler Anstieg der Mehrkosten
- Netzbegrenzung ist durchgängig umgesetzt worden, daher Abschätzung der Kosten als obere Grenze anzusehen
- Damit Begrenzung in realer Anwendung auch eingehalten werden kann, müssen entsprechende Eingriffe frühzeitig angekündigt werden



Maßnahme Sperrzeiten weist nur geringe Mehrkosten für dezentralen Endnutzer auf, welche ihm zu entschädigen wären
Einschätzung des FlexMechanismus Sperrzeiten damit als geeignetes Instrument zur Vermeidung kritischer Netzsituationen

Fazit und Ausblick

Fazit

- Zunehmende Sektorenintegration Wärme und Verkehr auf dezentraler Ebene direkt beim Endnutzer führt zu zunehmender Bedeutung dez. Energiesysteme, wobei deren Bezugsspitzen kritische Netzsituationen hervorrufen können
- Für die dezentralen Energiesysteme mit Wärmepumpe sowie Elektrofahrzeug bedarf es einer (kosten-)optimalen Dimensionierung der PV-Anlage sowie des Batteriespeichers, wofür bei gegebener Nachfragedimensionierung unter aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen eine 12,5 kWp PV-Anlage in Kombination mit einem 5 kWh Batteriespeicher vorgeschlagen wird
- Mit Blick auf die Integration der dezentralen Energiesysteme in bestehende Verteilnetze sollte der Flexibilitätsmechanismus Sperrzeiten gewählt werden, da so (nachfrageseitige) Bezugsspitzen verstetigt werden und nur geringe Mehrkosten für den Endnutzer resultieren, welche ihm zu entschädigen wären

Ausblick

- Neben betrachteten Anreizen sollte der Einfluss weiterer Flexibilitätsanreize (Day-Ahead-Vermarktung, Systemdienstleistungen) für dezentrale, sektorenintegrierte Energiesysteme untersucht werden
- Nicht nur Bezugsspitzen können durch entsprechende Mechanismen mittels des intelligenten Einsatzes dezentraler Flexibilitätsoptionen vermieden werden, sondern auch erzeugungsseitige PV-Einspeisespitzen



Universität Stuttgart

IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Maximilian Schulz, M. Sc.

E-Mail: maximilian.schulz@ier.uni-stuttgart.de

Telefon: +49 (0) 711 685 - 87825