NUTZER- UND SYSTEMSEITIGE EFFEKTE DURCH PREISBASIERTES DEMAND RESPONSE MIT WÄRMEPUMPEN

IEWT 2023

Wien, 17. Februar 2023

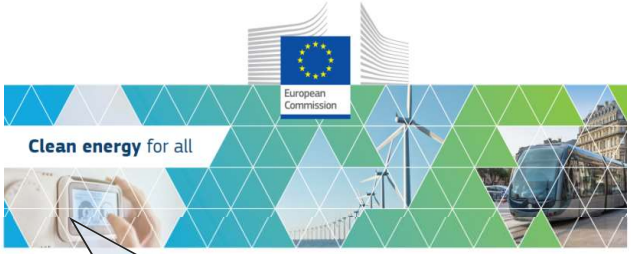
Evelyn Sperber, Christoph Schimeczek

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement 864276.

TradeRES
New Markets Design & Models for 100% Renewable Power Systems

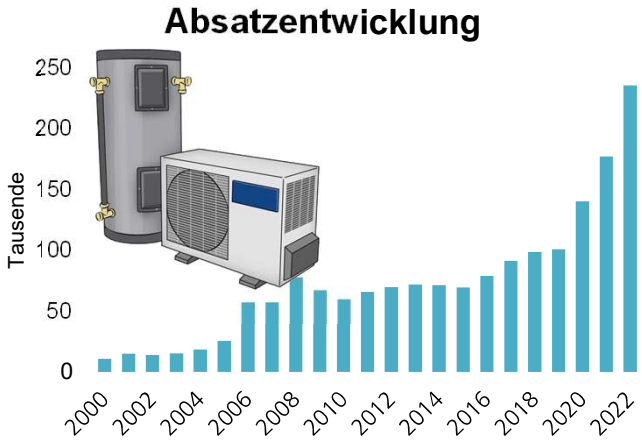
DLR

Motivation



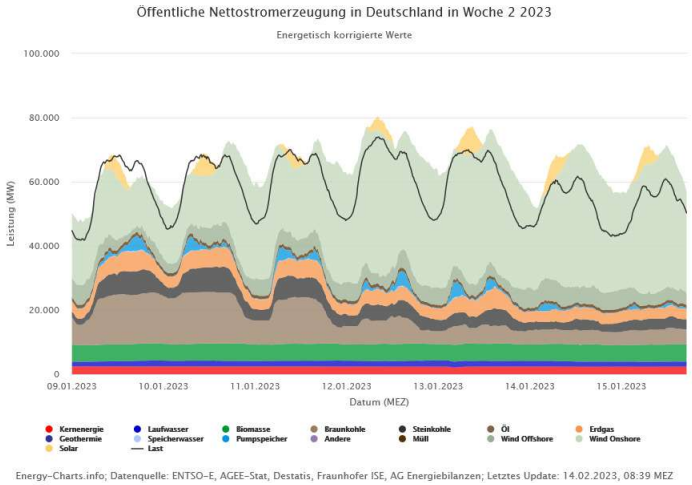
Quelle: European Commission 2019

*"Every consumer will be able to offer **demand response** […]. Dynamic electricity price contracts […] will allow consumers to respond to **price signals**"*



Quelle: BWP 2023

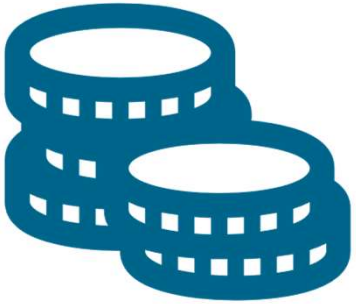
Quelle: Pixabay



Quelle: Fraunhofer ISE 2023

Forschungsfragen

Welchen Einfluss hat der preisgesteuerte Wärmepumpen auf die **Kosten** ihrer Betreiber?

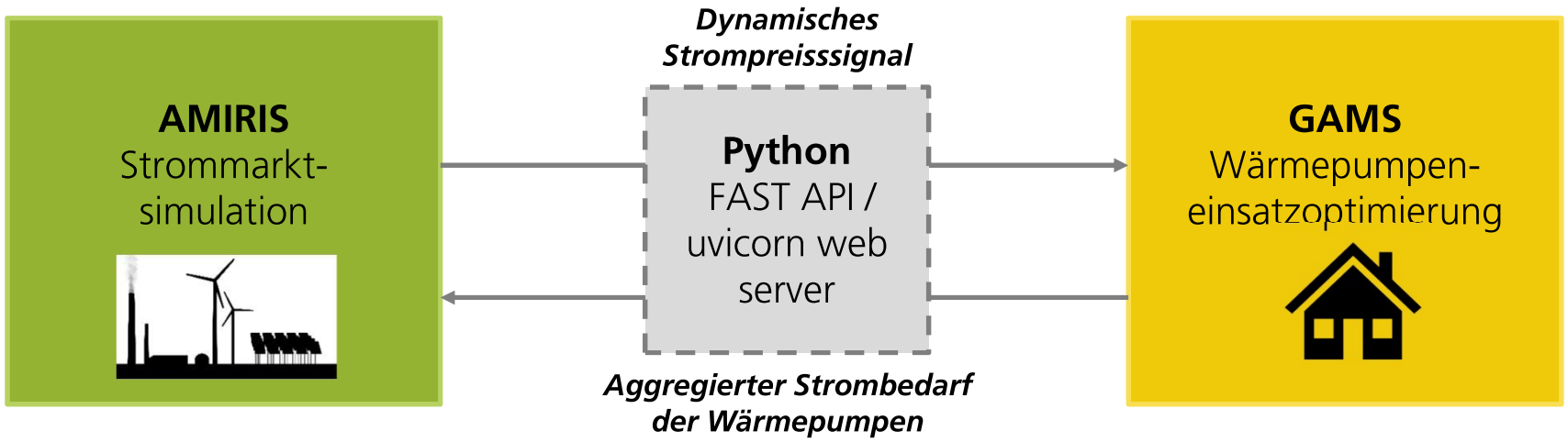


Welche Rolle spielen der **Sanierungszustand** der Gebäude sowie **Nutzer-Komforteinstellungen**?

Wie werden **Residuallast** und **Stromerzeugung** beeinflusst?

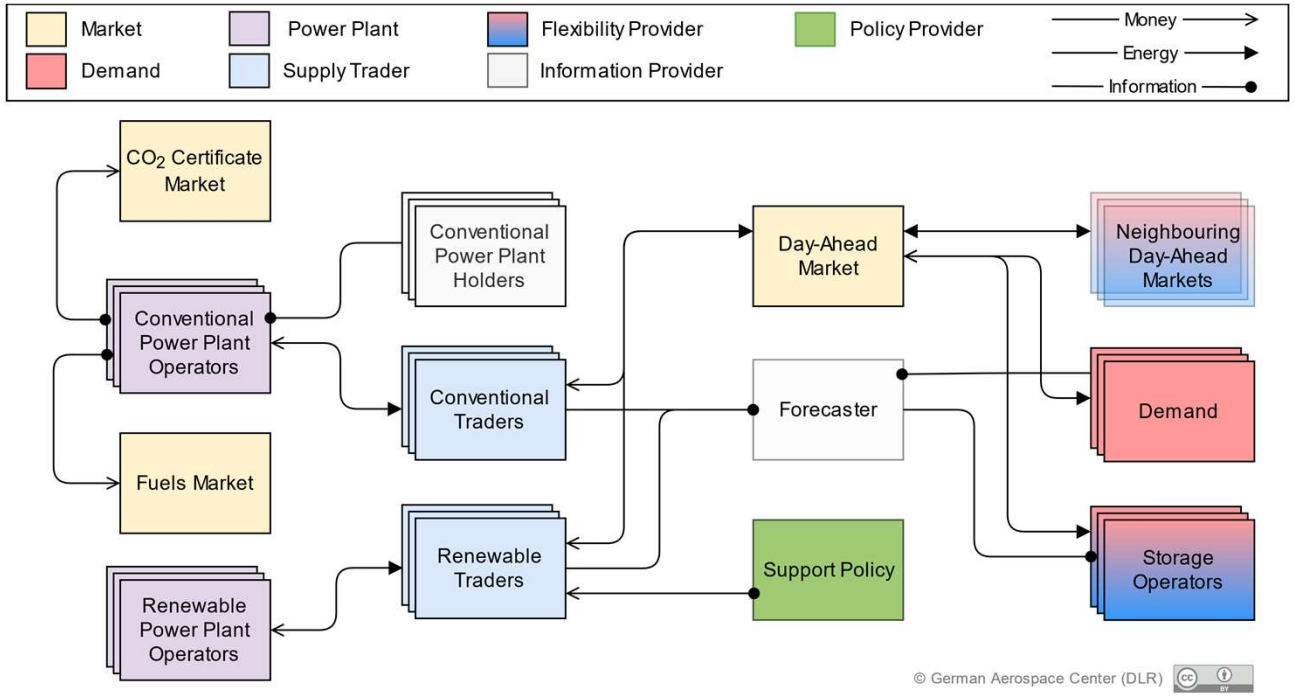
Methoden

Kopplung von agentenbasierter Simulation und Optimierung



AMIRIS

Agent-based market model for the investigation of renewable and integrated energy systems

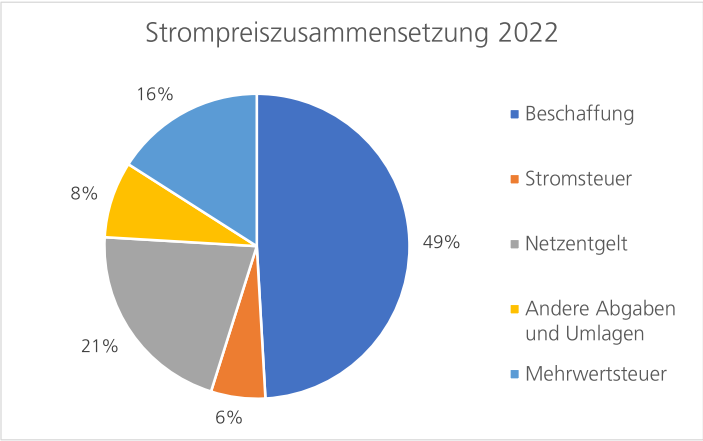


- **Agentenbasiertes** Modell zur Simulation des deutschen Strommarktes
- Modelliert einzelwirtschaftliche **Betriebsentscheidungen** von Stromerzeugungsanlagen und Flexibilitätsoptionen
- **Day-ahead Markträumung** durch Verschneiden von aggregierter Angebots- und Nachfragekurve
- **Open source** verfügbar unter *https://gitlab.com/dlr-ve/esy/amiris*

Design dynamischer Strompreissignale

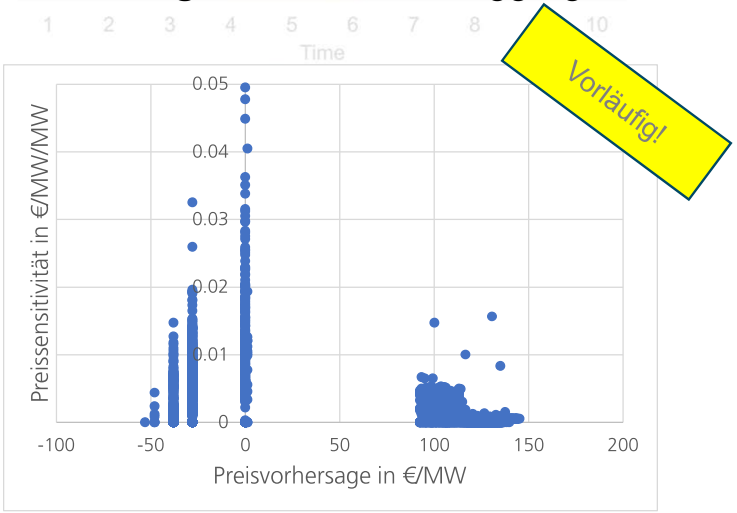
Dynamische Strompreissignale bestehen aus

- Vorhersage der **Großhandel**sstrompreise (ohne flexible Wärmepumpen)
- **Regulatorisch**en Strompreisbestandteilen
- Preissensitivität



Quelle: Verivox 2023

- „Avalanche effects“ werden abgeschwächt, indem das Preissignal mit einer **Preissensitivität** versehen wird
- Dazu: vorgelagerte **Analyse der Preisänderung** je zusätzlicher Stromnachfrage basierend auf Simulationsdaten
- „**Erfahrungswissen**“ eines Aggregators



GAMS Wärmepumpeneinsatzoptimierung

Quadratisches Optimierungsproblem

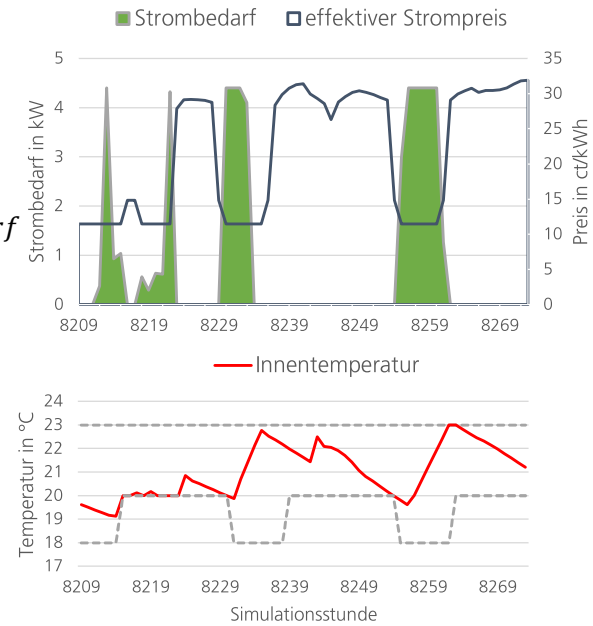
Zielfunktion:

$$\min cost = \sum (Preis + (Sensitivität * Bedarf)) * Bedarf$$

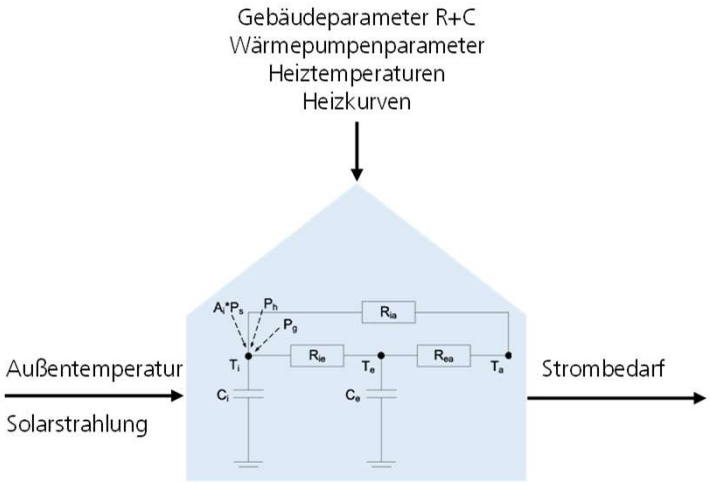
Wichtigste Nebenbedingungen:

- $T_{min} \leq T \leq T_{max}$
- $Mittlere\ T = T_{mittel}$

(T = Temperatur)



Reduced-order Gebäudemodelle



- Minimiert Strombezugskosten der Wärmepumpen unter **dynamischen Strompreisen** aus Nutzerperspektive
- Flexibilität durch thermische **Gebäudespeichermasse**; limitiert durch Nutzerkomforteinstellungen
- Wärmebedarfe bottom-up durch **reduced-order-Modelle** des thermischen Verhaltens von Typgebäuden berechnet *(Sperber et al. 2020)*
- Wärmepumpen-**COP** = Funktion von Außentemperatur und gebäudespezifischer Vorlauftemperatur *(Kemmler und Thomas 2020)*

Fallstudie

Exogenes Setup

- 75% Marktpenetration in Einfamilienhäusern ≥ 1958
- = 6,4 Mio. Wärmepumpen

- Deutschland 2030
- ~ 80% EE-Anteil am Strommix

Szenarien

Gebäudesanierungszustand	
unsaniert	Ohne nachfolgende thermische Sanierung 65 GW_{el}
saniert	Thermisch saniert nach gesetzlichem Standard 32 GW_{el}

Nutzerkomfort-Einstellungen	
INFLEX	Inflexibel – nur marginale Schwankungen toleriert T_i = 21,5 °C +/- 0,25°C
FLEX	Flexibel – Temperatur darf variieren T_i = 21,5 °C +/- 1,5°C

Rahmenannahmen

- Wärmepumpentechnologie: 70% Luft/Wasser, 30% Sole/Wasser
- 8 Gebäudetypen gemäß deutscher Wohngebäudetypologie (*Loga et al. 2015*)
- Stromerzeugungsanlagen:
  - Wind: 145 GW
  - PV: 215 GW
  - Gas: 100 GW
- "Traditioneller" Stromverbrauch: 530 TWh/a | 85 GW_p
- CO_2 -Preis= 100 €/t
- EE-Fördersystem: fixe Marktprämie
- Fixe Abgaben, Entgelte und Umlagen: = 12,5 ct/kWh = 1/2 des durchschnittlichen Strompreises
- Wetterjahr 2019

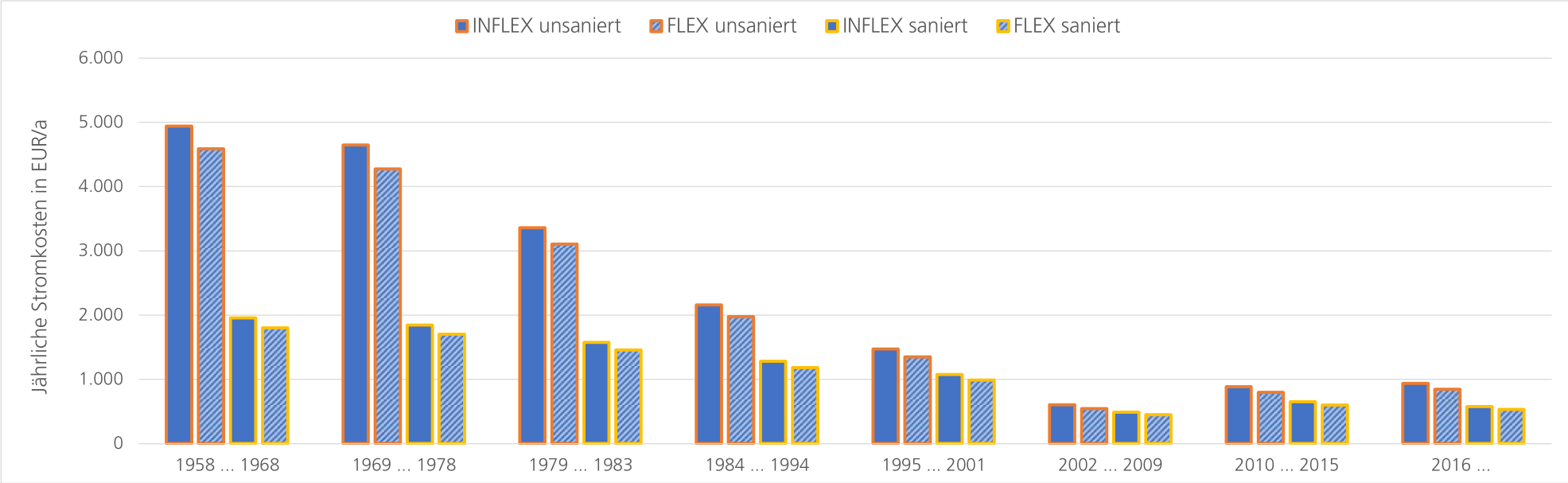
Limitationen

- Kein Speicher neben der thermischen Gebäudespeichermasse; keine weiteren Flexibilitätsoptionen
- Keine Netzrestriktionen

Nutzerseitige Effekte

Vorläufige Ergebnisse!

Stromkosten beim Betrieb von Luft/Wasser-Wärmepumpen

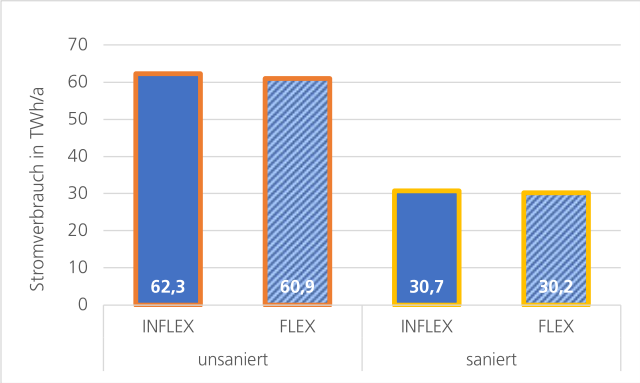


- Alte Gebäude: Kostenhalbierung durch Wärmedämmung
- Einsparungen durch flexible Fahrweise: 7 – 10%

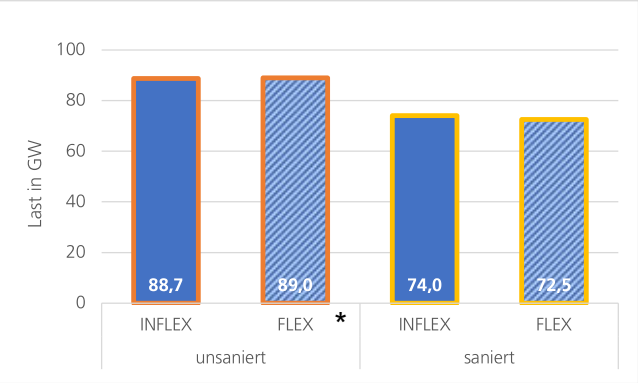
Systemseitige Effekte

Vorläufige Ergebnisse!

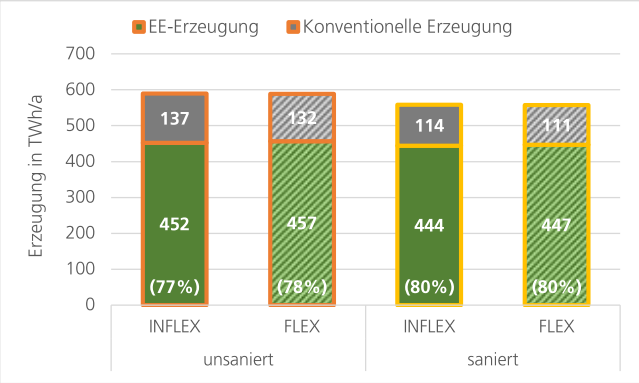
Stromverbrauch aller Wärmepumpen



Maximale Residuallast



Stromerzeugungsmix



** ohne Preissensitivität: 97,3 GW*

- Wärmedämmung wichtig:
  - Halbierung des Stromverbrauchs
  - Ca. 15 GW geringerer Bedarf an Backup-Kapazität
  - Erzeugung aus Konventionellen um ca. 17 % reduziert
- Flexibilität:
  - Leicht reduzierte marktbasierte EE-Abregelung
  - Aber leichte „avalanche effects“ in Bezug auf die maximale Residuallast!

Schlussfolgerungen und Ausblick

- **Thermische Gebäudesanierung** vor Einbau der Wärmepumpen…
  - 👍 Reduziert Stromnachfrage und Betriebskosten durch Wärmepumpen merklich
  - 👍 Reduziert die Residuallast im Stromsystem deutlich

- **Flexibilität** durch Akzeptanz von Temperaturschwankungen…
  - 👍 Schont den Geldbeutel
  - 👎 Verbessert die EE-Marktintegration leicht
  - 👎 Löst Lawineneffekte in Bezug auf die Residuallast aus

- **Ausblick**
  - Verbesserung der Preisvorhersage
  - Berücksichtigung konkurrierender Flexibilitätsoptionen
  - Dynamisierung von Strompreiskomponenten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt
Evelyn Sperber
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institute für Vernetzte Energiesysteme | Energiesystemanalyse
E-Mail: Evelyn.Sperber@dlr.de
Telefon: +49.711.6862-8145

Danksagungen

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement 864276.

TradeRES
New Markets Design & Models for 100% Renewable Power Systems

- Vielen Dank an Prof. Valentin Bertsch für wertvolles Feedback
- Vielen Dank an das AMIRIS-Team, insb. Ulrich Frey, Kristina Nienhaus und Johannes Kochems

Referenzen

- BWP, *Absatzzahlen 2023*, online abgerufen am 14.02.2023 von https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/absatzzahlen/
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, *Energy Charts*, online abgerufen am 14.02.2023 von energy-charts.info/charts/power/chart.htm?l=de&c=DE
- European Commission, *Clean Energy for all Europeans*, 2019
- M. Kühnbach, J. Stute, A.L. Klingler, *Impacts of avalanche effects of price-optimized electric vehicle charging - Does demand response make it worse?* Energy Strategy Reviews vo. 34, 2021
- Verivox, *Strompreiszusammensetzung 2023*, online abgerufen am 14.02.2023 von https://www.verivox.de/strom/themen/strompreiszusammensetzung/
- E. Sperber, U. Frey, V. Bertsch: *Reduced-order models for assessing demand response with heat pumps – Insights from the German energy system*, Energy & Buildings vol. 223, 2020
- T. Kemmler, B. Thomas: *Simulation von Wärmepumpensystemen auf Grundlage von Korrelationsfunktionen für die Leistungsdaten der Wärmepumpe*, 16. Symposium Energieinnovation, Graz/Austria, 2020
- T. Loga, B. Stein, N. Diefenbach, R. Born*, Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*, Institut Wohnen und Umwelt, 2015