

# SYSTEMISCHE UND NUTZERSPEZIFISCHE KOSTENWIRKUNGEN EINES FLEXIBLEN WÄRMEPUMPENEINSATZES

Matthias Kühnbach, Anke Eßer, Marian Klobasa

Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung ISI



EnInnov 2018, Graz, 15.02.2018

---

# Agenda

---

---

1. Motivation
2. Methodik, Modellkopplung und Datenbasis
3. Ergebnisse
4. Schlussfolgerungen und Ausblick

# Motivation

---

---

- Integration von Erneuerbaren Energien und Reaktion auf nachfrageseitige Trends erfordern eine Flexibilisierung des Stromsystems
  - Dafür werden Konzepte benötigt, die die Aktivierung von Lastflexibilität anreizen [1]
  - Wärmepumpen als eine zentrale Sektorkopplungstechnologie können lastseitig Flexibilität zur Verfügung stellen und sind daher eine Option für Lastmanagement im Haushalts- und GHD-Sektor
- Rückkopplungen zwischen Verhalten flexibler Wärmepumpen und dem Stromsystem
- Welche ökonomischen Konsequenzen ergeben sich aus Sicht des Wärmepumpenbesitzers durch den Lastmanagementeneinsatz von Wärmepumpen?
  - Welchen systemischen Einfluss übt ein flexibler Einsatz von Wärmepumpen aus?
  - Welche Auswirkungen aus Verbraucher- und Systemsicht ergeben sich durch eine Anpassung der Anreizstruktur?

[1] Friedrichsen et al. (2015)

---

# Methodik, Modellkopplung und Datenbasis

# Methodik

## Modellcluster eLOAD - Strommarktmodell

### eLOAD - Projektion

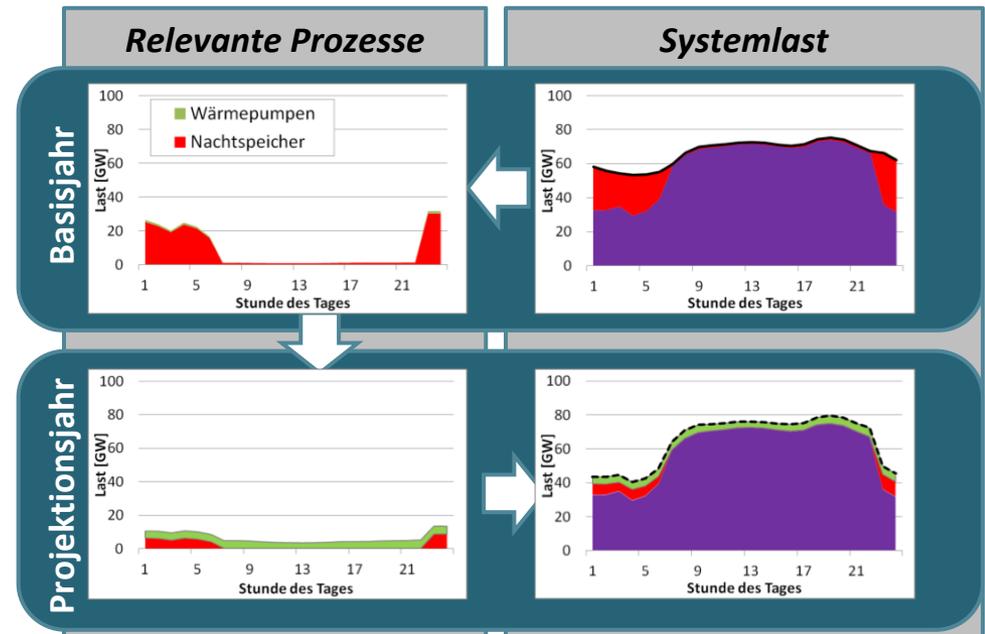
#### Methodik

##### Partielle Dekomposition der historischen Systemlast

- Simulation der Zusammensetzung der Systemlast und deren langfristige Entwicklung
- Berücksichtigung von prozessspezifischen Änderungen
- Statisches Verhalten wird angenommen

#### Ergebnisse

- Stündlich aufgelöste Systemlast im Zieljahr 2030 vor Einsatz von Lastmanagement
- Langfristige Entwicklung der Systemlastkurve zur Identifikation struktureller Veränderungen



# Methodik

## Modellcluster eLOAD - Strommarktmodell

### eLOAD - Optimierung

#### Methodik

##### Simulation mit eingebetteter Optimierung

- Kostenminimierung geeigneter Prozesse und Anwendungen aus Verbraucherperspektive
- Gemischt-ganzzahlige Optimierung der prozessbedingten Stromnachfrage
- Simulation von Demand Response durch Nutzung unterschiedlicher Preisanreize

#### Ergebnisse

- Temperaturabhängiges, aggregiertes Profil der flexiblen Last nach Optimierung
- stündlich aufgelöste Systemlast nach Lastmanagementinsatz

### Strommarktmodell

#### Methodik

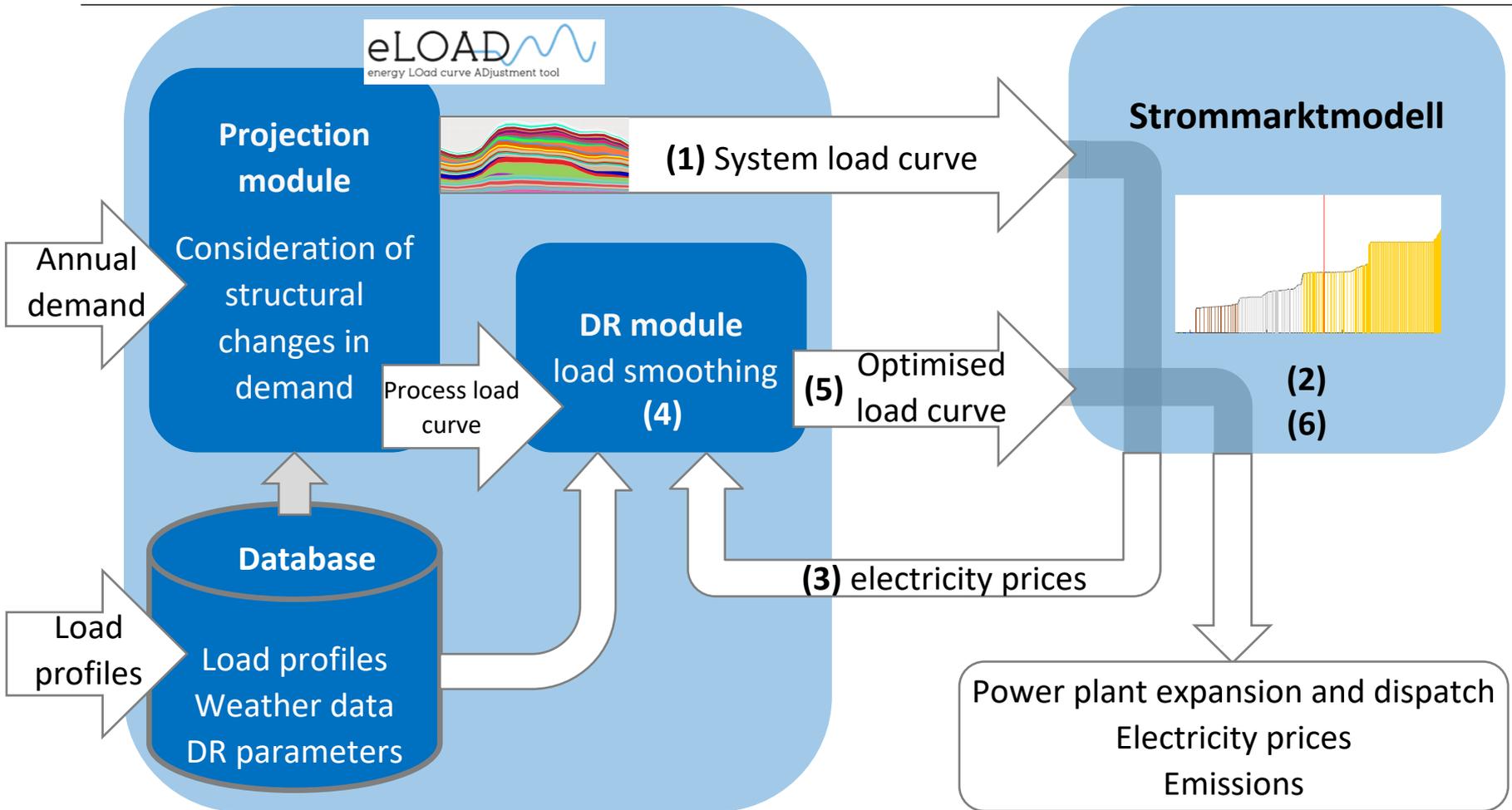
##### Minimierung der stündlichen Gestehungskosten

- Kraftwerksscharfe Berechnung der stündlichen Merit Order
- Berechnung des Gleichgewichtspreises unter Berücksichtigung von Brennstoffkosten, Zertifikatspreisen, Anfahrzeiten, Ausfallwahrscheinlichkeiten

#### Ergebnisse

- Spotmarktpreis in stündlicher Auflösung
- Kraftwerkseinsatz
- CO<sub>2</sub>-Emissionen

# Modellkopplung und Vorgehensweise



[2] [www.forecast-model.eu](http://www.forecast-model.eu)

[3] Boßmann (2015)

---

# Datenbasis

## Szenario für Deutschland im Jahr 2030

---

### Rahmenbedingungen:

- Historische Systemlast des Jahres 2014 [4]
- EE-Erzeugungsmengen [5]:
  - Wind (on- und offshore): 112 TWh / 69,1 TWh
  - Photovoltaik: 47,2 TWh

### Annahmen zu Wärmepumpen:

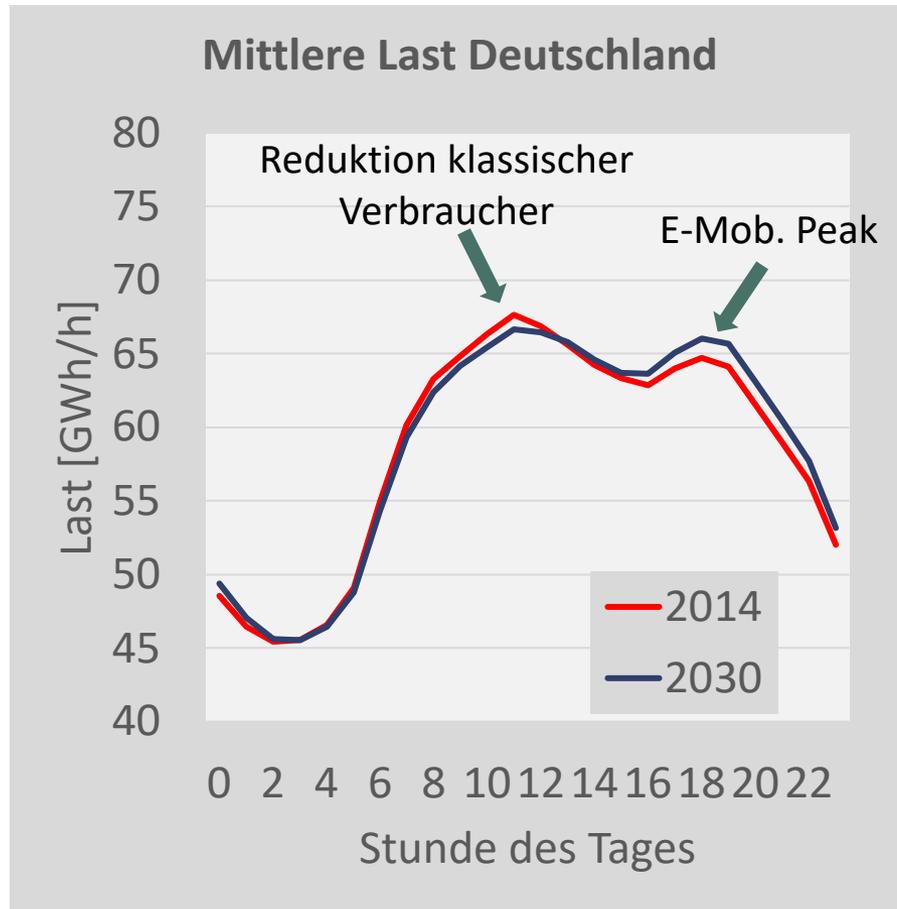
- Betrachtet werden Wärmepumpen im Haushalts- + GHD-Sektor, unterschieden nach Raumwärme und Warmwasserbereitung, vollständig steuerbar
- Jahresnachfrage: 23,4 TWh [6]
- Prognose- & Optimierungsintervall: 24 Stunden
- Stündlicher Mehrverbrauchs faktor bei Lastverschiebung: 0,1
- Direkte Nutzung des Strompreissignals

[4] ENTSOE (2017); [5] Fraunhofer ISI et al. (2017a); [6] Berechnungen des Fraunhofer ISI innerhalb des Projekts „AVerS“

---

# Ergebnisse

# Entwicklung der Systemlast (ohne Lastmanagementeininsatz)



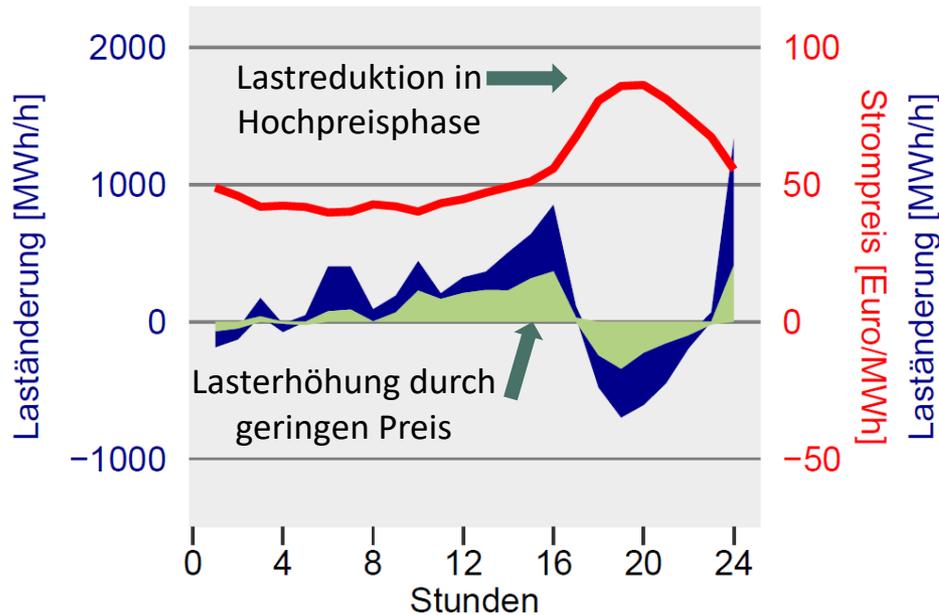
- Effizienzfortschritt klassischer Verbraucher
- Bedingt durch neue Verbraucher wird ein Anstieg der Maximallast trotz konstanter mittlerer Last erwartet
- Konsequenz: strukturelle Lastveränderung (neuer Lastpeak am Abend), Anstieg der Spitzenlast

Jahr	Mittlere Last [%]	Spitzenlast [%]	Minimale Last [%]
2014 vs. 2030	+ 0,5 %	+ 4,2 %	- 2,6 %

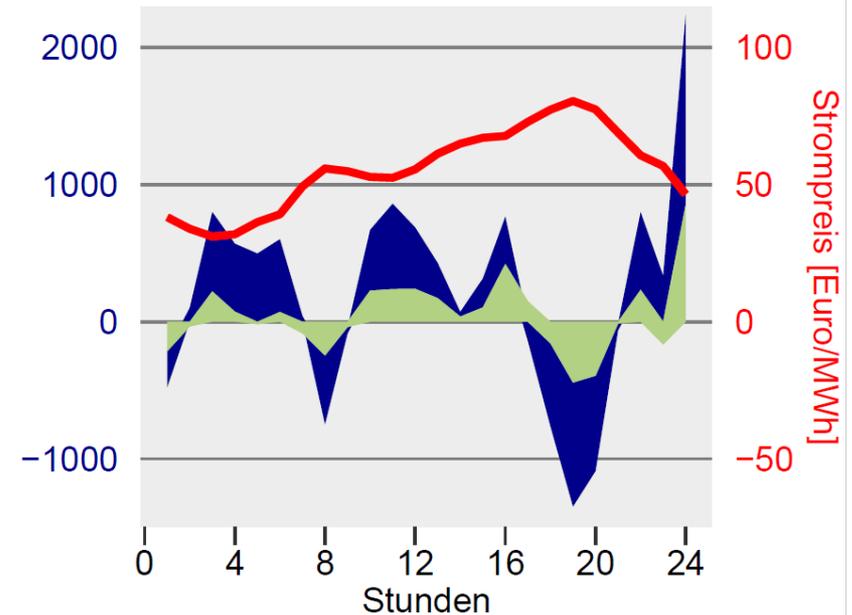
# Lastmanagementeinatz von Wärmepumpen – Optimierung auf Basis eines Marktpreissignals

## Änderung der mittleren Wärmepumpenlast nach Jahreszeit – Marktpreissignal

(1) – Sommer

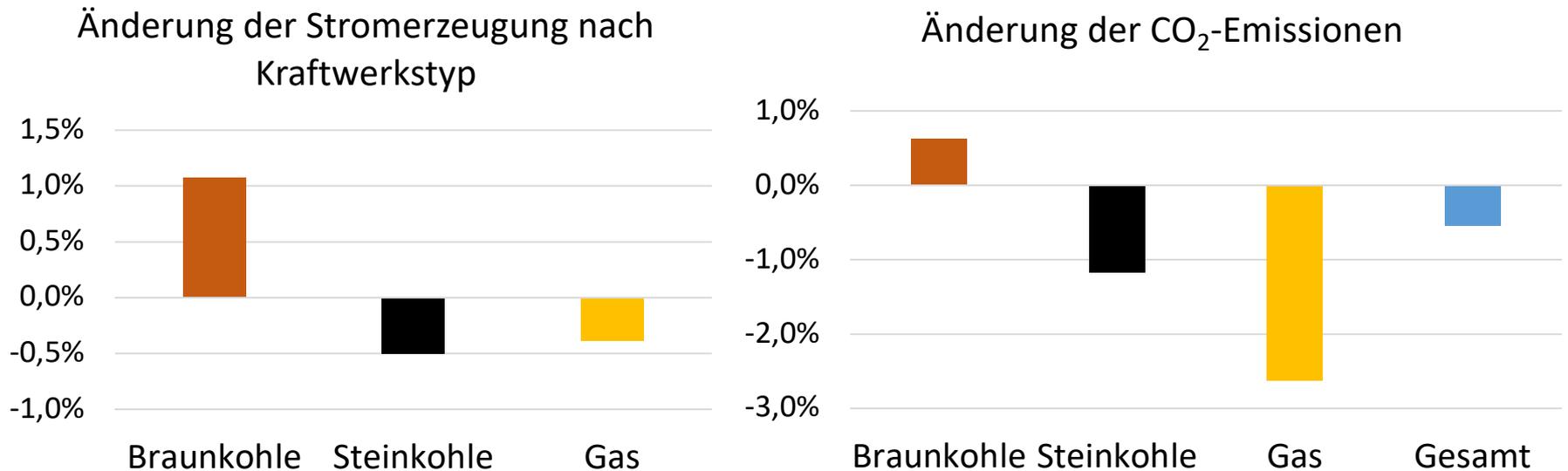


(2) – Winter



- Verschiebung der Wärmepumpenlast in Stunden geringer Preise
- Reduktion der Kosten des Strombezugs um 7 % (Haushalte) bzw. 19 % (Tertiärsektor) bei strompreisbasierter Optimierung (keine Betrachtung weiterer Strompreisbestandteile)

# Auswirkungen von Lastmanagement auf den Kraftwerkseinsatz

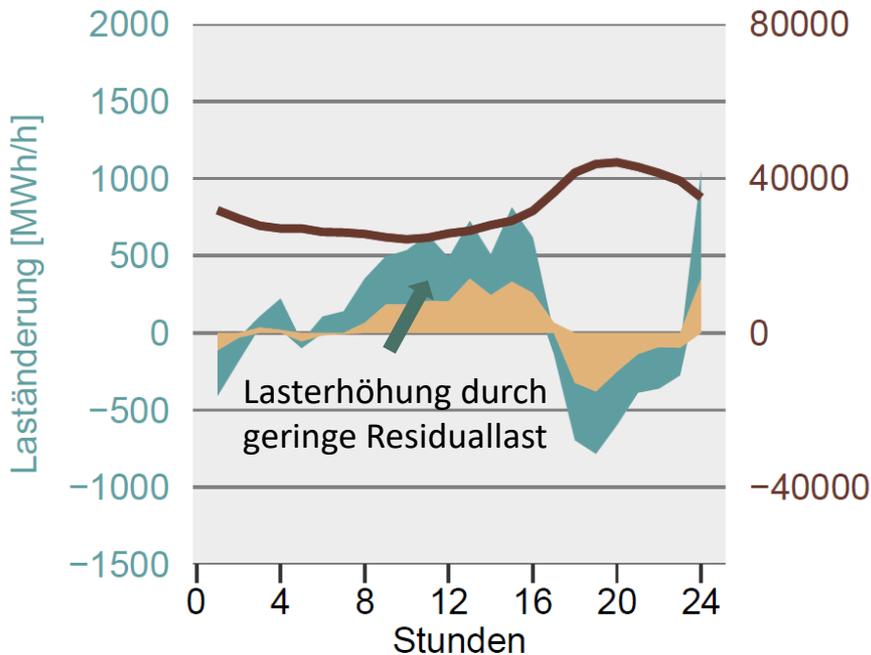


- Vermehrte Stromerzeugung aus Braunkohle
- Trotz Steigerung der Emissionen aus Braunkohle insgesamt Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Kraftwerkseinsatz
- Verstetigung der Residuallast führt zu gleichmäßigerem Kraftwerksbetrieb und geringeren Einsatzzeiten von älteren Kraftwerken

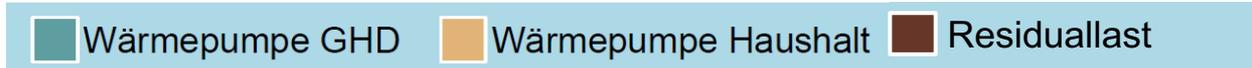
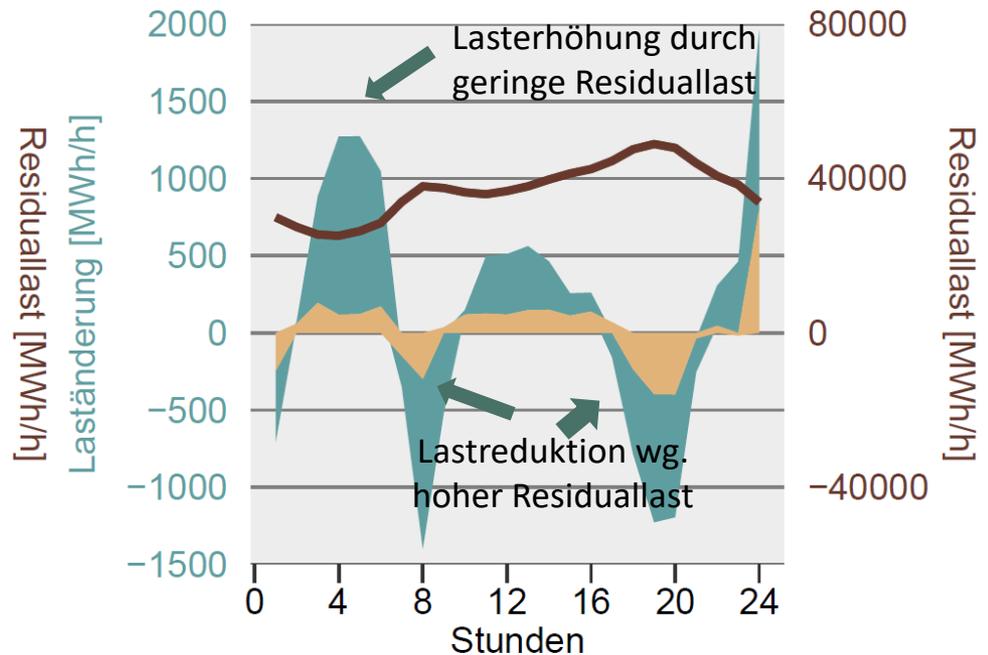
# Lastmanagementeinatz von Wärmepumpen – Optimierung auf Basis der Residuallast

## Änderung der mittleren Wärmepumpenlast nach Jahreszeit – Residuallastsignal

(1) – Sommer



(2) – Winter



- Insgesamt gleichmäßigere Lastverschiebung
- Insbesondere Ausgleich des durch die E-Mobilität bedingten Abendpeaks

# Lastmanagementeinsetzung von Wärmepumpen – Vergleich des Anreizsignals

- In beiden Varianten Saisonalität der Wärmepumpenlast erkennbar
- Last reagiert sensibel auf Verlauf des Anreizsignals
- Starke Treiber für die Lastverschiebung sind die Photovoltaik-Einspeisung um die Mittagszeit und die Last der E-Mobilität in den Abendstunden
- Effektivere Kostenvermeidung bei Nutzung des Marktpreises
- Minimierung der Bezugskosten führt nicht zwingend zu Lastglättung

Preissignal	Kostenvermeidung	Vermeidung von Curtailment	Maximale Systemlast	Maximale Residuallast
Marktpreis	12 %	1,2 %	85,6 GW	82,7 GW
Residuallast	7 %	19,8 %	84,95 GW	73,8 GW

---

# Schlussfolgerungen und Ausblick

---

# Schlussfolgerungen und Ausblick

---

---

- Die Kopplung der Modelle erlaubt es, die Verbraucherperspektive mit der systemischen Sicht zu kombinieren
- Analyse von Anreizstrukturen ist möglich, indem Effekte auf Struktur der Nachfrage- und Angebotsseite antizipiert werden können
  
- Lastmanagement von Wärmepumpen wirkt sich vorteilhaft auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebs aus
- Die Kostenminimierung mithilfe des Strompreissignals führt zu erheblichen Einsparungen aus Verbrauchersicht
- Die strompreisbasierte Minimierung hat positive systemische Effekte, ist jedoch aus Systemsicht nicht optimal
  
- Weitere LM-Optionen und deren Konkurrenz um attraktive Stunden sollte betrachtet werden
- Auswirkungen von alternativen Lastmanagementstrategien sind zu bewerten

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Matthias Kühnbach  
Tel: +49(0)721-6809-147  
Mail: [matthias.kuehnbach@isi.fraunhofer.de](mailto:matthias.kuehnbach@isi.fraunhofer.de)

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI  
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe  
[www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Die durchgeführte Studie basiert auf dem Forschungsprojekt AVerS. Dieses wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Fördergeber ist Projektträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH.

## Literatur:

- [1] Friedrichsen N, Hilpert J, Klobasa M, Marwitz S, Sailer F: Anforderungen der Integration der erneuerbaren Energien an die Netzentgeltregulierung Endbericht – Vorschläge zur Weiterentwicklung des Netzentgeltsystems
- [2] Fraunhofer ISI, IREES, TEP Energy (2017): FORECAST/eLOAD. <https://www.forecast-model.eu/forecast-en/index.php>. Zugriffen: 12. Februar 2018
- [3] Boßmann T (2015): The contribution of electricity consumers to peak shaving and the integration of renewable energy sources by means of demand response, Karlsruhe
- [4] ENTSOE (2017): Consumption Data. European Network of Transmission System Operators for Electricity. <https://www.entsoe.eu/data/data-portal/consumption/Pages/default.aspx>. Zugriffen: 30. Januar 2018
- [5] Fraunhofer ISI, Consentec, IFEU (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Studie im Auftrag des BMWi.

---

# BACK-UP

---

---