

# Der Flexibilitätsbeitrag von Haushaltswärmepumpen im Stromsystem in Österreich im Jahr 2030 - eine Sensitivitätsanalyse

**Franziska SCHÖNIGER, Philipp MASCHERBAUER, Gustav RESCH, Lukas KRANZL, Reinhard HAAS**

TU Wien, Institute of Energy Systems and Electrical Drives, Energy Economics Group,  
Gusshausstrasse 25-29/370-3, AT-1040 Vienna, +43 1 58801 370378

17. Symposium Energieinnovation 2022, online

# Herausforderungen und Chancen der Dekarbonisierung

Opinion Automotive Energy & environment Electric vehicles

## Comment: How EVs will drive the flexibility market

27th August 2021 7:20 am

### How flexibility can enable a 100% renewable energy future

16 Apr / 2021 13:55

Jukka Lehtonen  
Vice president at  
Wärtsilä Energy



EXPERT BLOG · RACHEL FAKHRY

## We Must Start Investing in Demand Flexibility Today

January 14, 2021 Rachel Fakhry

## THE ENGINEER JOBS

Policy paper

### Transitioning to a net zero energy system: smart systems and flexibility plan 2021

This plan sets how we will transition to a smart, flexible, decarbonised energy system.



**SCOOP Business**  
INDEPENDENT NEWS

Scoop Werewolf Wellington The Dig Business Scoop Pacific

Front Page Scoops Parliament Politics Regional **Business** Sci-Te

SCOOP > BUSINESS

## Contact Energy to supply 'flexible' renewable electricity

**EURACTIV** Newsletters Europa Kompakt

Außenpolitik Energie & Umwelt Finanzen & Wirtschaft Gesundheit Innenpolitik Innovation & Digitales

## Dekarbonisierung:

- **Stromsektor:** erfordert in hohem Maße **Flexibilität** zur Integration fluktuierender erneuerbarer Erzeugung
- **Wärmesektor:** steigender Strombedarf durch Wärmepumpen (erneuerbarer Strom)

## EU-Kommissar Sefcovic: Flexibilität des Stromnetzes ist entscheidend

- **Sektorkopplung:** potenzielle Flexibilität
- durch Wärmespeicherpotenzial des Gebäudebestands (thermische Masse)
- Verschiebung der Stromnachfrage in Stunden niedriger Last oder hoher EE Erzeugung

# Motivation & Zielsetzungen

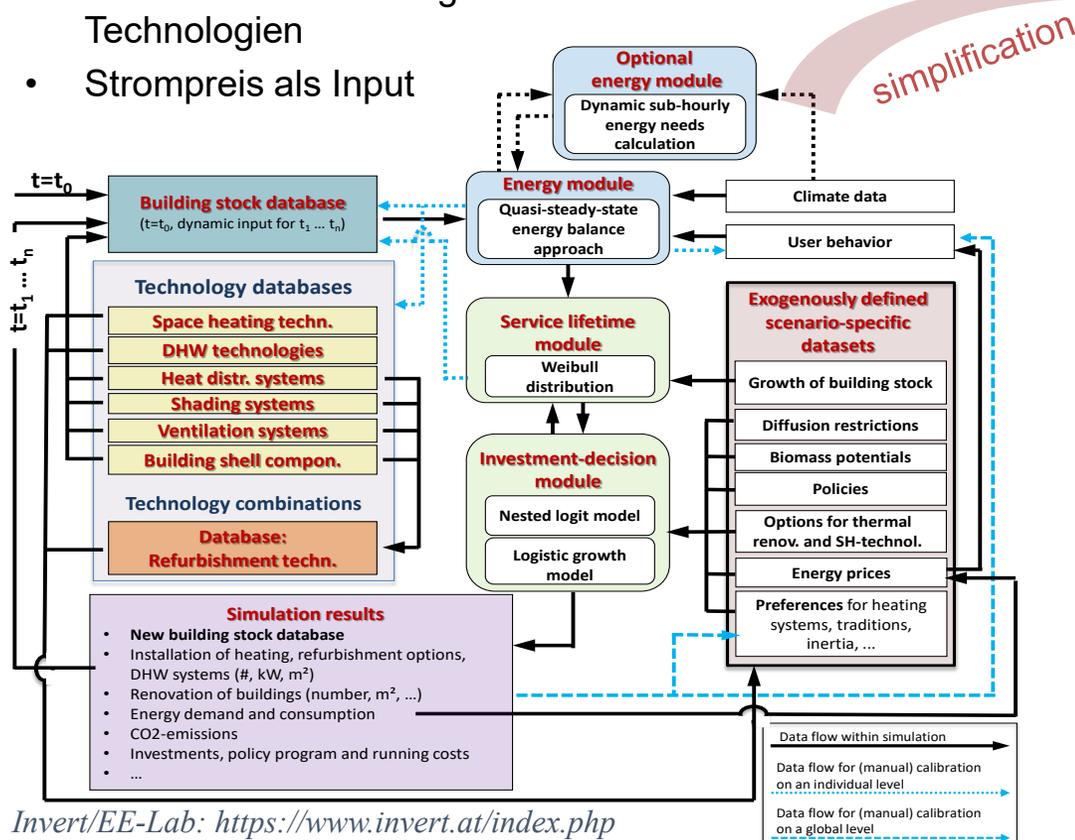
Diverse **Ansätze** zur Modellierung der Power-to-Heat-Flexibilität in der Literatur und in der Praxis der **Energiesystemmodellierung**:

- Geplantes Wärmelastprofil kann mit bestimmten Einschränkungen verschoben werden
  1. Das Flexibilitätspotenzial ist durch die **zeitliche Verschiebung** begrenzt (Dauer - h)
  2. Speichergröße wird durch die im Gebäudebestand vorhandene **thermische Masse** und **thermische Verluste** definiert (Speicherkapazität – MWh)
- Literatur: Kirkerud et al. (2021), Olkkonen et al. (2018), Moser et al., (2015), Weiß, (2019), und Spreitzhofer (2018): Studien mit a) detaillierten **Gebäudemodellen** und b) **Energiesystemmodellen**
  1. **Soft links** zwischen einem detaillierten Gebäudemodell und einem Energiesystemmodell
    - Adäquate Darstellung der Flexibilität von Wärmepumpen im Gesamtsystem
    - Informationsbedarf aus dem detaillierten Gebäudemodell
  2. **Case Study**: Wie hoch ist das Flexibilitätspotenzial, das Wärmepumpen in Wohngebäuden (Raumheizung) für das Stromsystem in Österreich im Jahr 2030 bereitstellen können?

# Differenzierte Modellumgebung

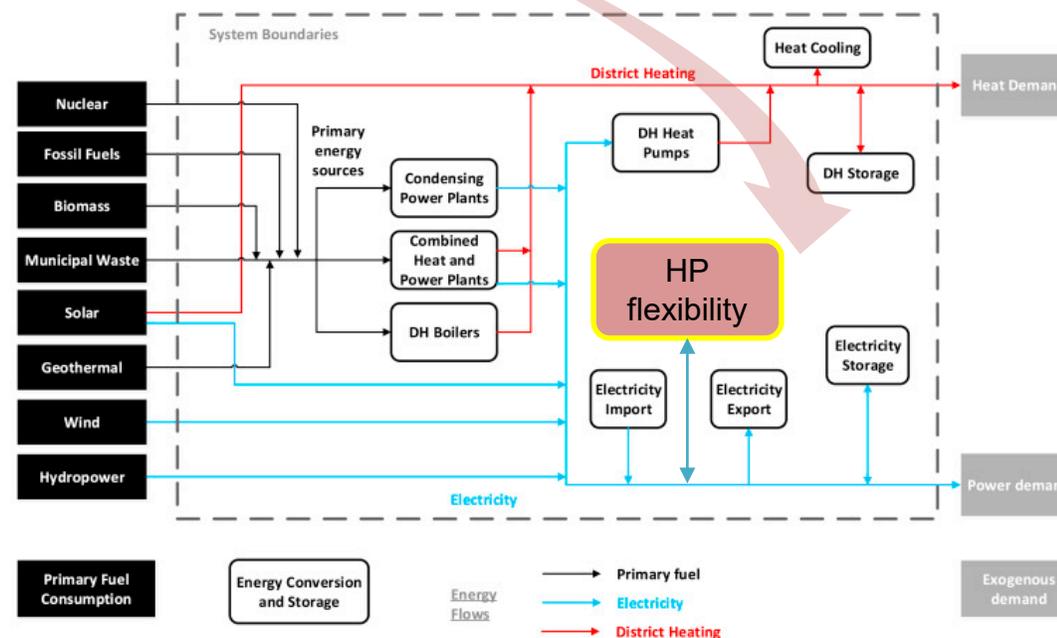
## Daten aus dem detaillierten Gebäudemodell...

- Mehr als 1000 Gebäudetypen und deren Charakteristika
- Detaillierte Darstellung von Wärmebedarf und Technologien
- Strompreis als Input



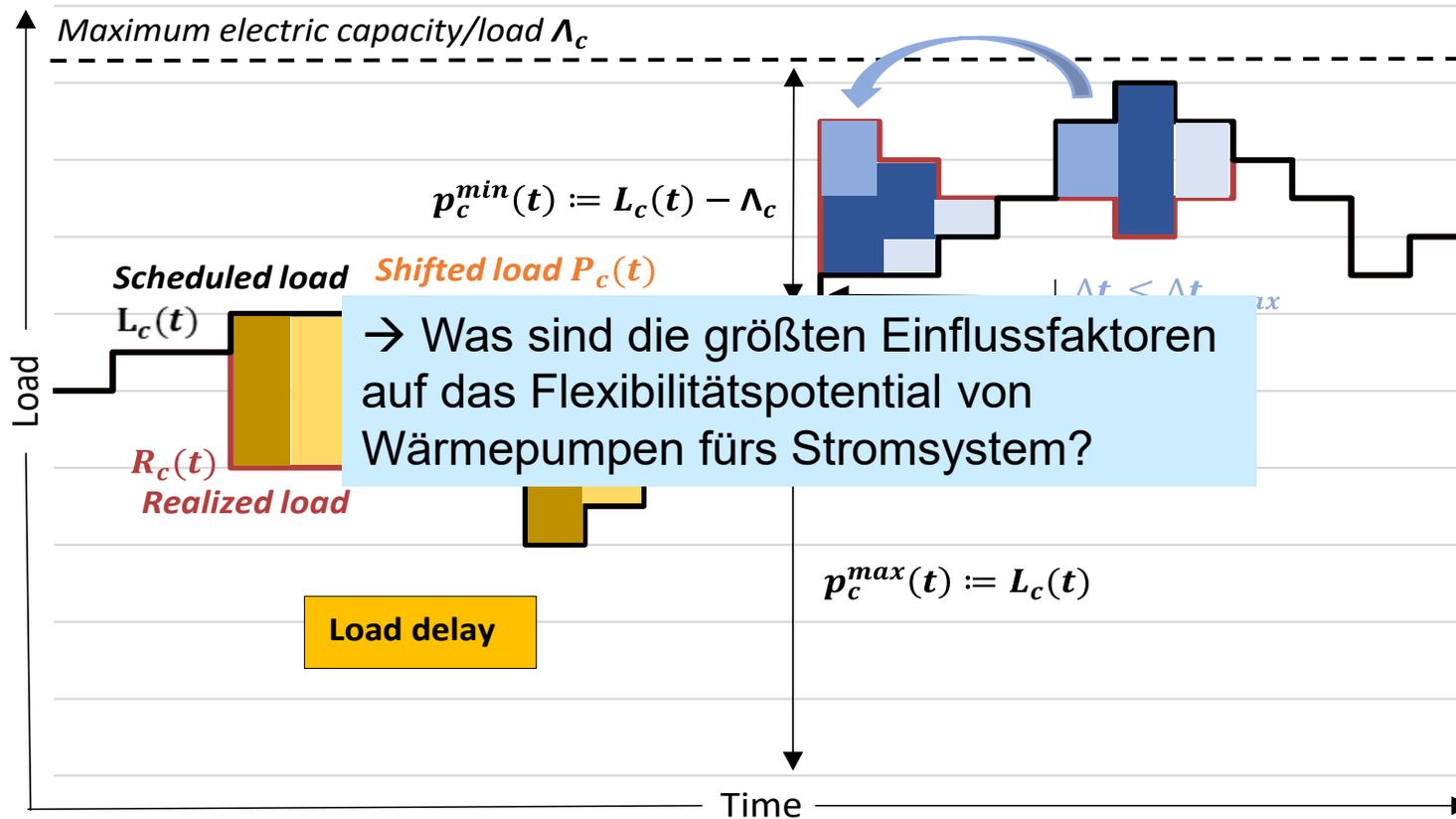
## ... speisen das Energiesystemmodell

- Techno-ökonomisches bottom-up Modell
- Strom- und Fernwärmesektor
- Erzeugungsdynamiken erneuerbarer Energien und Strompreismodellierung
- Hohe zeitliche Auflösung (nötig für Flexibilitätsanalyse)



# Theoretisches Konzept Lastverschiebung in der Modellierung

based on Kirkerud et al. (2021) and Gils (2016)

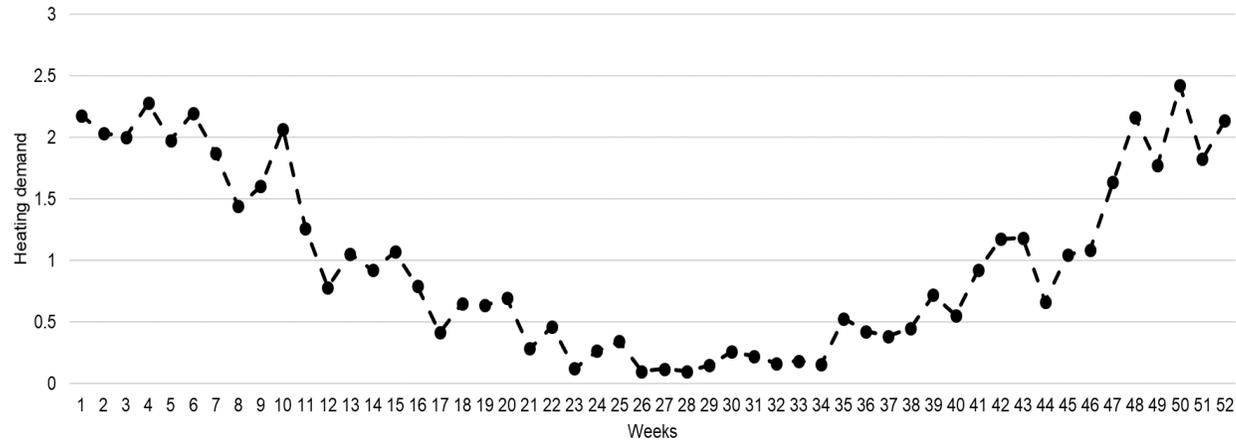


- $c$  Load shifting technology
- $\Delta t_{c,ma}$ : Maximal shifting time for technology  $c$  [hours]
- $L_c(t)$  Scheduled load of technology  $c$  [MW]
- $R_c(t)$  Realized load after load shifting of technology  $c$  [MW]
- $P_c(t)$  Shifted load of technology  $c$  [MW]**
- $E_c(t)$  Energy content of “virtual storage” of technology  $c$  [MWh]
- $tt$  One timestep within the timeframe of load shifting
- $\Lambda_c$  Maximum electric capacity/load of technology  $c$

— Realized load after load shifting    — Scheduled load

$$p_c^{min}(t) \leq P_c(t) \leq p_c^{max}(t) \quad \forall t, c$$

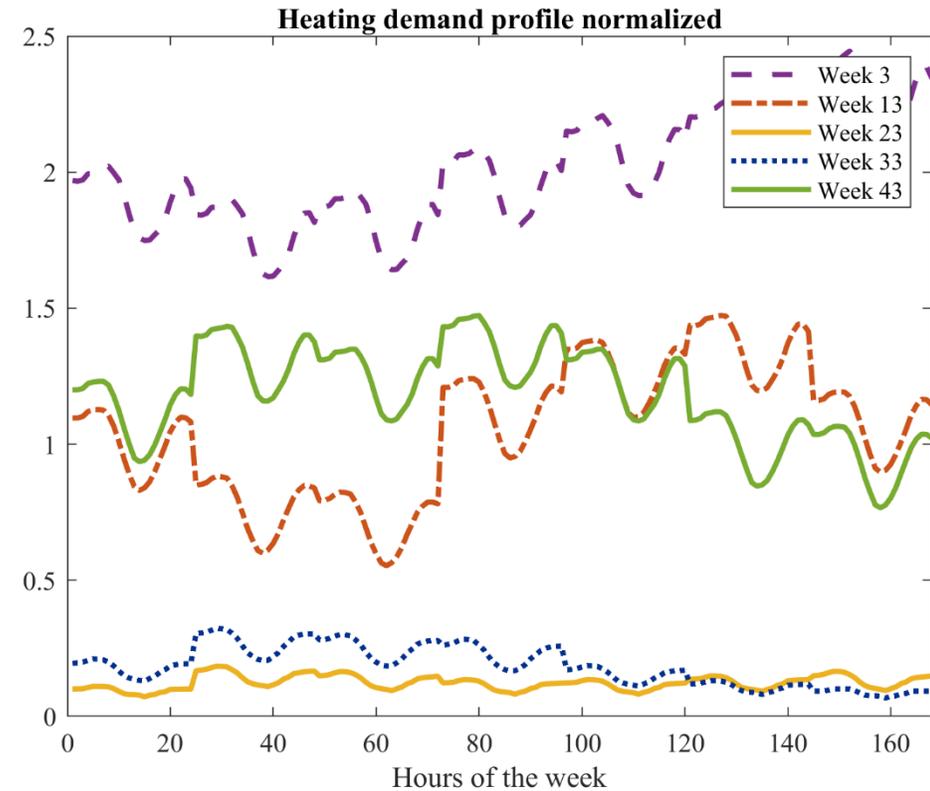
# 1) Wärmebedarf bestimmt stündliche und saisonale Verfügbarkeit



**Saisonale...**

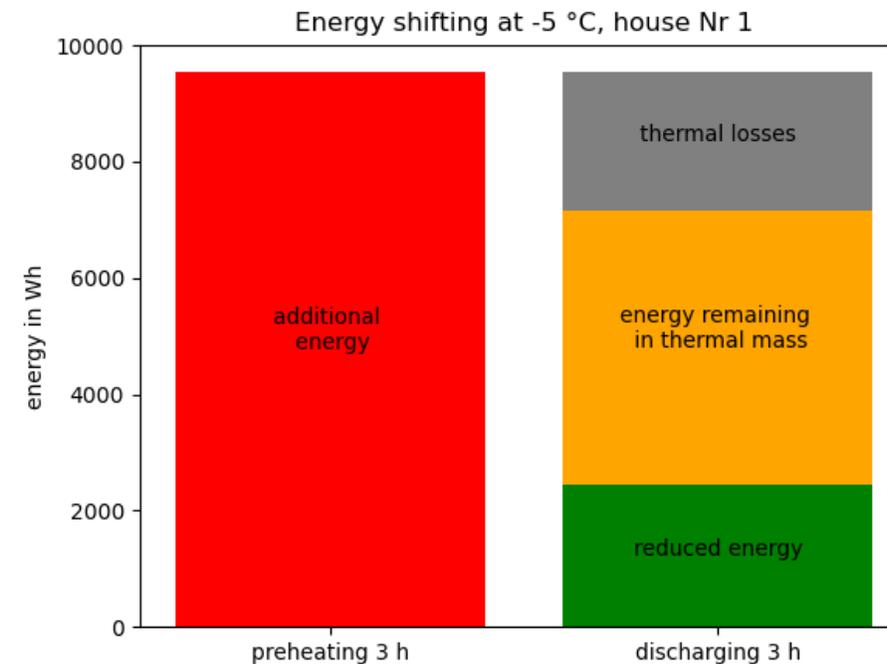
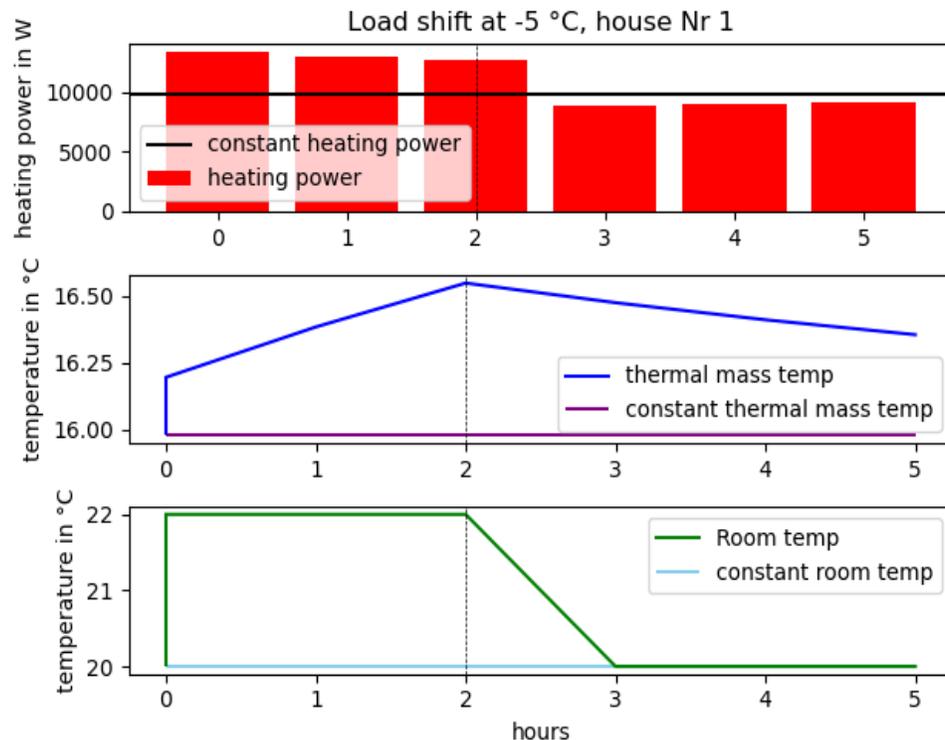
- Source: Hotmaps project (Pezzutto et al., 2018)
- Originaldaten auf NUTS2 level, aggregiert für Österreich
- Jahr 2010, Raumwärmebedarf der Haushalte

... und wöchentliche Muster



## 2) Gebäudetyp/thermische Masse bestimmt Wärmebedarf + Verluste

- Gebäudemodellrechnungen basierend auf DIN ISO 13790: Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling
- Beispiel: Innentemperatur steigt von 20°C auf 22°C für drei Stunden



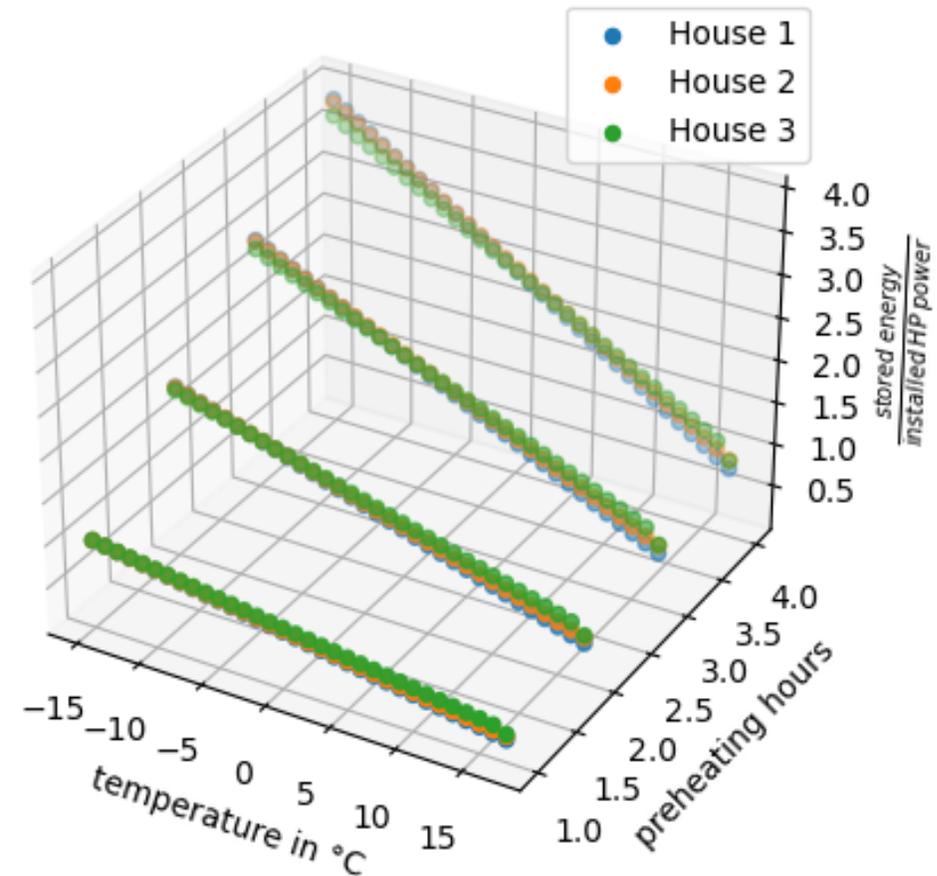
→ 1. Sensitivitätsanalyse: therm. Verluste (temperaturabhängig) im Speicherprozess

# Einflussfaktoren auf Lastverschiebepotential

Lastverschiebungspotential  $\frac{MWh \text{ Speicher}}{MW \text{ installierte HP}}$  (Y-Achse)  
ist abhängig von

- Außentemperatur/Wärmenachfrage
- Gebäudetyp
- Akzeptierter Komfortverlust der Nutzer\*innen (Eingriffszeit/absolute Abweichung)

→ Variation of time restrictions/storage volume



# Methodische Herangehensweise

## Model Balmorel

- Open-source energy system model (LP/MIP, GAMS)  
<https://github.com/balmorelcommunity/Balmorel>
- Höchst modular: Abbildung von Sektorkopplung (P2H)
- Stündliche Auflösung, ein Knoten pro Land (AT + Nachbarländer), Flex-Betrachtung nur in AT
- Investitions- und Kraftwerkseinsatzoptimierung

## Annahmen zu Kraftwerkspark, Nachfrage, Export-/Importkapazitäten (2030)

- AT: EAG Ziele/NEKP
- Nachbarländer: TYNDP 2020 (National Trend Scenario), ENTSO-E

### *Installed variable renewable capacities AT*

MW	Austria
Hydro run-of-river	6 807
Wind onshore	6870
PV central	776
PV decentral	10751

### *Investment option for generation gap in Austria*

	Efficiency	Investment cost (€ <sub>2015</sub> /kW)	Annual fix O&Ms (€ <sub>2015</sub> /kW)	Var. O&M (€ <sub>2015</sub> /MWh)	Economic lifetime (a)
CC natural gas extraction	0.58	700	15.32	2.36	20

# Modellannahmen Wärmepumpen

Literaturrecherche:

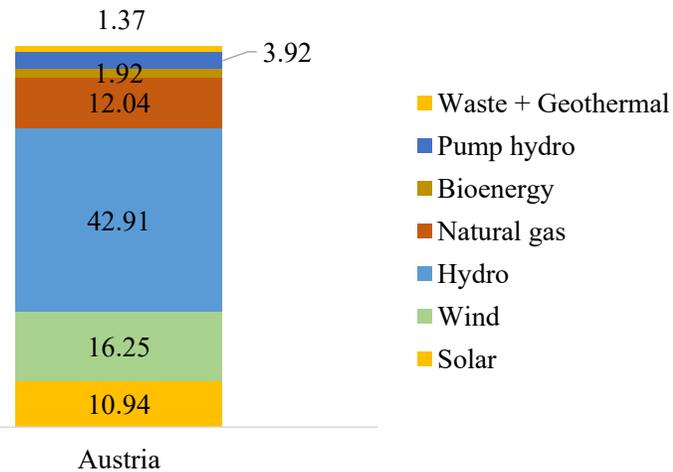
- Installierte flexible, ansteuerbare Haushaltswärmepumpen (Raumwärme): **2 TWh<sub>el</sub> Stromnachfrage** (1.818 MW<sub>el</sub>)
- Default: storage 3.0 (5.455 MWh<sub>el</sub>), 5% thermal loss per hour
- Sensitivitätsanalysen +/- 50% der Annahmen

	Inflexible scenario (reference)	Flexible scenario standard	Thermal storage +50%	Thermal storage -50%	Controllable HP capacity +50%	Controllable HP capacity -50%	Thermal losses +50%	Thermal losses -50%	Time restriction 4 hours
Thermal loss per hour [%]	-	5	5	5	5	5	7.5	2.5	5
Installed HP capacity flexible [MW]	0	1818	1818	1818	2727	909	1818	1818	1818
Storage capacity [MWh/MW installed)	-	3.0	4.5	1.5	3.0	3.0	3.0	3.0	time-dependent

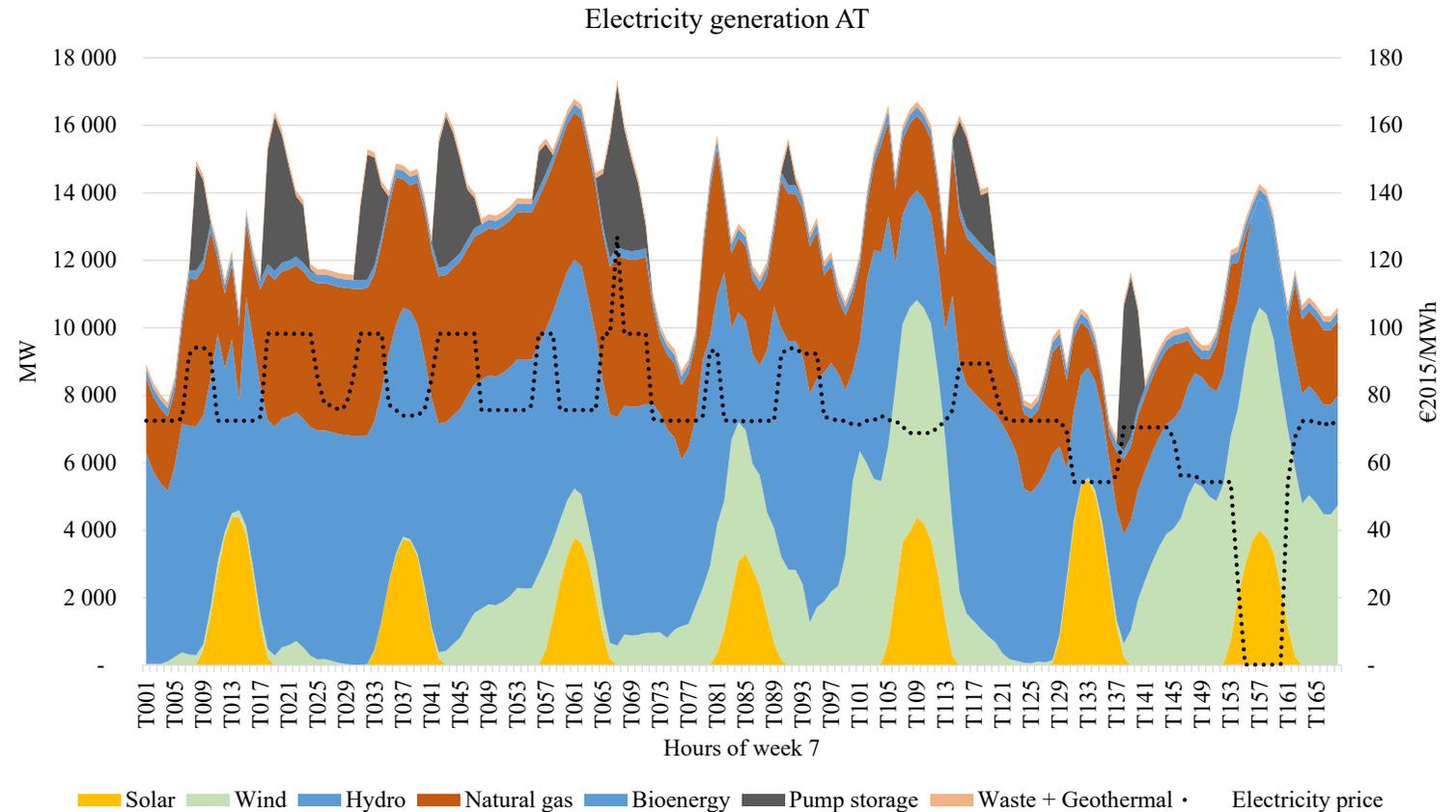
# Ergebnisse: Stromerzeugung 2030 in Österreich

## Inflexible scenario = Referenzszenario

Electricity generation mix 2030 [TWh]

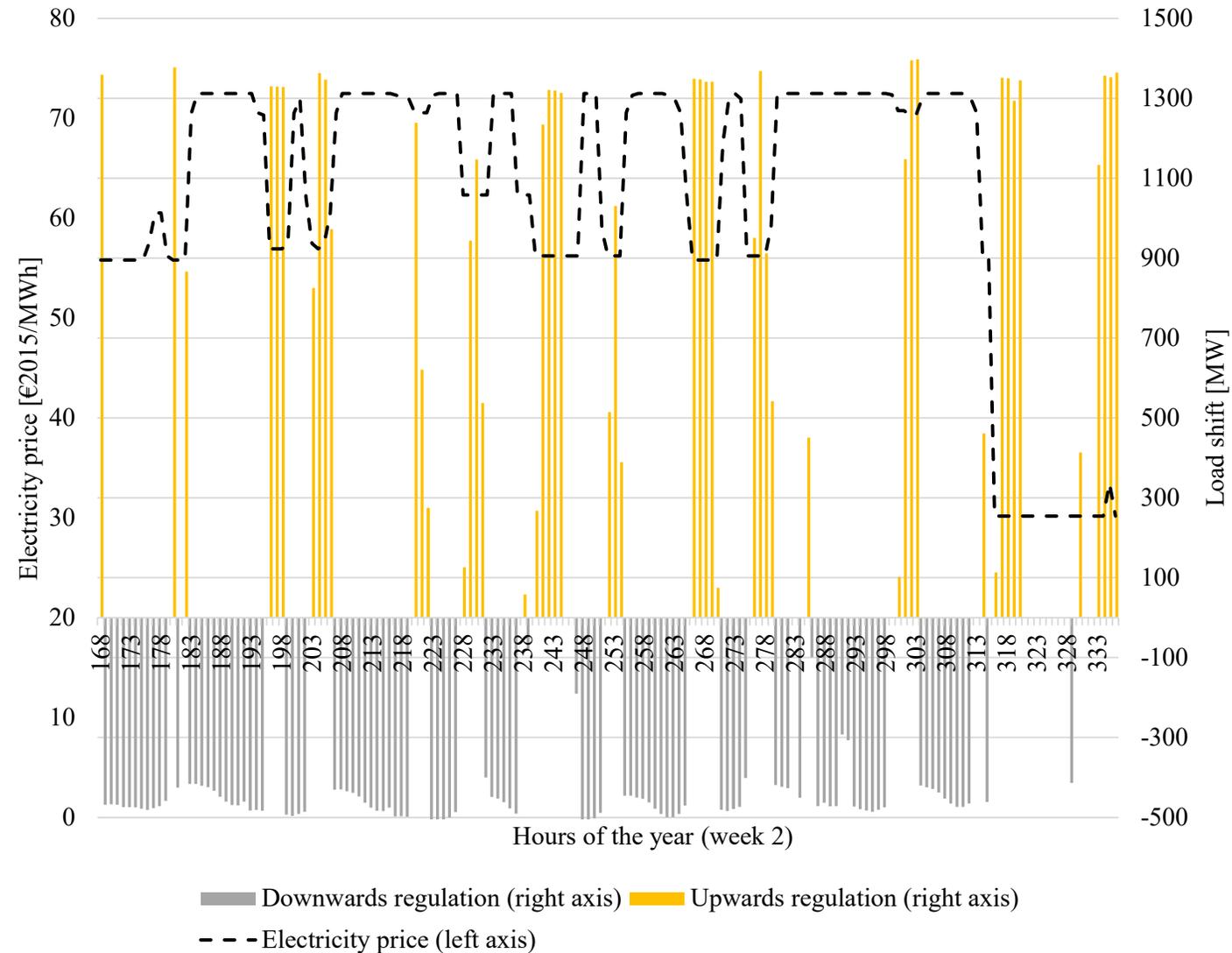


- Mittlerer Strompreis: 60.2 €<sub>2015</sub>/MWh
- Österreich wird Nettoexportland (100% erneuerbarer Strom national bilanziell)



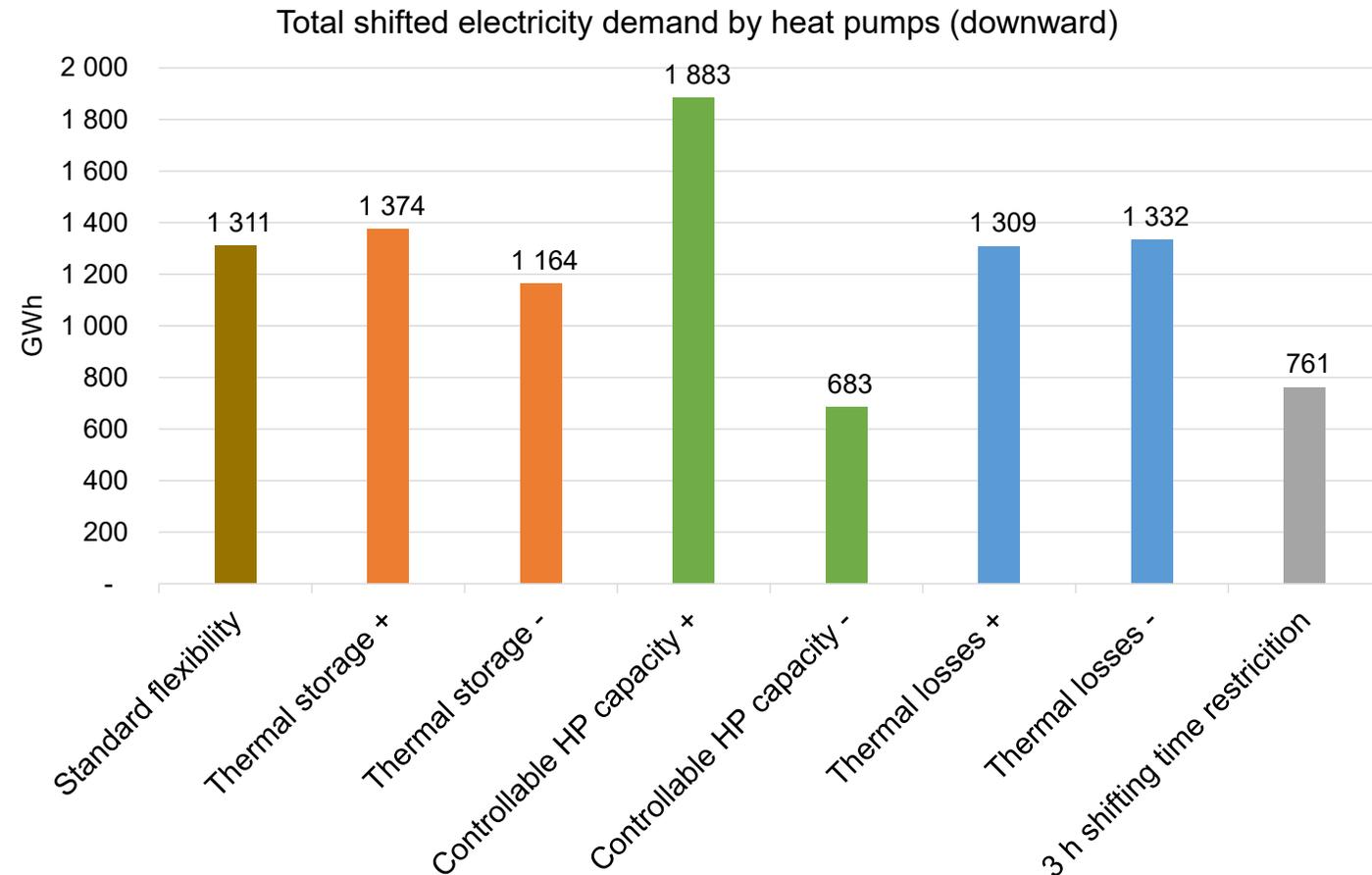
# Flexible Wärmepumpen reagieren auf Preissignale

- Stunden hoher Strompreise: Regulierung nach unten (und vice versa)
- **Relative** Strompreisunterschiede entscheidend
- Voraussetzung: Flexible Endkund\*innenpreise



# Verschobene Last variiert zwischen den Szenarien

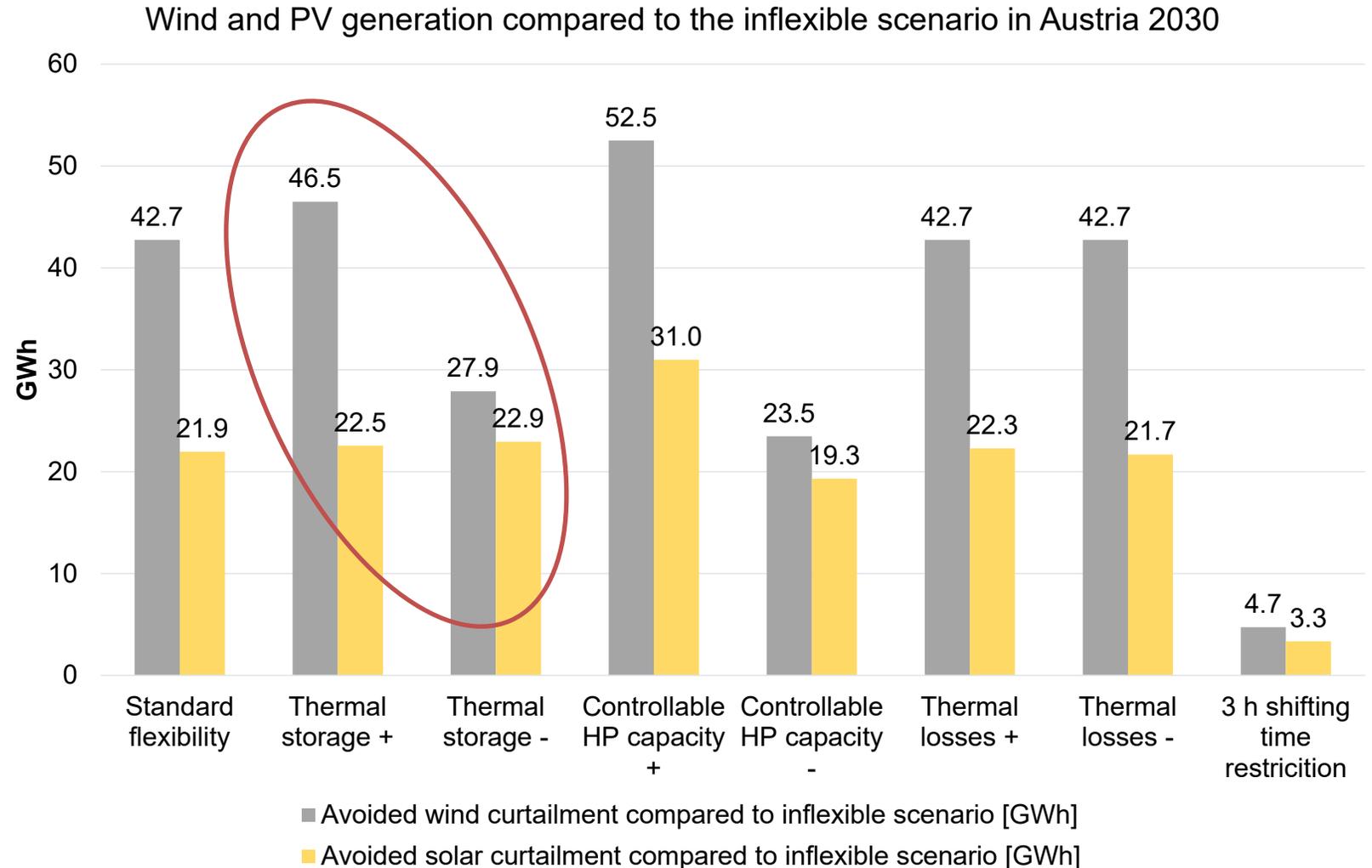
- Verschobene Last = zur Verfügung gestellte Flexibilität fürs Stromsystem
- 683-1883 GWh: 1-2,5% der Last
- Größte Auswirkung: Annahme der installierten, steuerbaren **Wärmepumpenleistung**
- Begrenzung der Verschiebedauer hat relativ große Auswirkungen (Literatur)



# Reduktion von Wind & PV Abregelung durch Wärmepumpenflexibilität

- Flexible Wärmepumpen reduzieren in allen Szenarien die Abregelung von Wind und PV
- Größenordnungen gering (<1% der PV- bzw. Winderzeugung 2030)
- **Wind** reagiert **empfindlicher** auf die Flexibilität der Wärmepumpe (Saisonalität/Korrelation)

(Spill-over Effekte zu anderen Ländern)



- Die durch Haushaltswärmepumpen (Raumwärme) bereitgestellte Flexibilität kann die **Kosten des Stromsystems**, die **Stromerzeugung aus Gaskraftwerken** sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen im österreichischen Stromsystem des Jahres 2030 reduzieren, und Abregelung vermindern
  - Größenordnungen sind begrenzt
  - Berücksichtigung anderer Technologien und Sektoren
- Hohe **Sensitivität** des Lastverschiebepotentials für die Annahmen zur
  - Stromnachfrage durch Wärmepumpen
    - Installierten Wärmepumpenkapazität (Marktdurchdringung, Gebäudetyp, Effizienz)
    - Ansteuerbarkeit/Automatisierung
  - Limitierungen der **Verschiebedauer** (Komfort)



- Gils, H.C., 2016. Economic potential for future demand response in Germany - Modeling approach and case study. Appl. Energy 162, 401–415. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.083>
- Kirkerud, J.G., Nagel, N.O., Bolkesjø, T.F., 2021. The role of demand response in the future renewable northern European energy system. Energy 235, 121336. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121336>
- Moser, S., Frank, F., Muggenhumer, G., Elbe, C., Schmutzner, E., 2015. LoadShift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur – Potenzialanalyse für Smart Grids. Lastverschiebung in Haushalten.
- Olkkonen, V., Ekström, J., Hast, A., Syri, S., 2018. Utilising demand response in the future Finnish energy system with increased shares of baseload nuclear power and variable renewable energy. Energy 164, 204–217. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.210>
- Pezzutto, S., Zambotti, S., Croce, S., Zambelli, P., Garegnani, G., Scaramuzzino, C., Pascuas, R.P., Zubaryeva, A., Haas, F., Exner, D., Müller, A., Hartner, M., Fleiter, T., Klingler, A., Kühnbach, M., Manz, P., Marwitz, S., Rehfeldt, M., Steinbach, J., Popovski, E., 2018. Open Data Set for the EU28 [WWW Document]. D2.3 WP2 Report. Load profile Resid. Heat. yearlong 2010. Rev. by Lukas Kranzl, Sara Fritz. URL [https://gitlab.com/hotmaps/load\\_profile/load\\_profile\\_residential\\_heating\\_yearlong\\_2010](https://gitlab.com/hotmaps/load_profile/load_profile_residential_heating_yearlong_2010)
- Spreitzhofer, J., 2018. Vermarktung der Flexibilität eines Wärmepumpen-Pools am österreichischen Regelenergiemarkt. Technische Universität Wien.
- Weiß, T., 2019. Energy-flexible zero energy buildings and neighborhoods. Technische Universität Graz.
- Wiese, F., Bramstoff, R., Koduvere, H., Pizarro Alonso, A., Balyk, O., Kirkerud, J.G., Tveten, Å.G., Bolkesjø, T.F., Münster, M., Ravn, H., 2018. Balmorel open source energy system model. Energy Strateg. Rev. 20, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.01.003>

## Franziska Schöniger

TU Wien  
Energy Economic Group, EEG  
Gußhausstraße 25-29 / E370-3  
1040 Vienna, Austria

Tel: +43 1 58801 370378

Email: [schoeniger@eeg.tuwien.ac.at](mailto:schoeniger@eeg.tuwien.ac.at)

Web: <http://www.eeg.tuwien.ac.at>