

# AUSWIRKUNGEN EINES VARIABLEN STROMPREISES AUF WÄRMEPUMPEN BETRIEBENE GEBÄUDE IM ÖSTERREICHISCHEN GEBÄUDEBESTAND

Philipp MASCHERBAUER<sup>1</sup>, Lukas KRANZL<sup>1</sup>, Songmin YU<sup>2</sup>

## Kurzfassung

Wohngebäude mit Wärmepumpen bieten vielversprechende Möglichkeiten für Demand-Side-Management. Mit der Erneuerung des Erneuerbare-Energien-Ausbaugesetzes [1] und sinkenden Preisen für Photovoltaik (PV) und Batteriespeicher könnte die Verbreitung von DSM-Systemen im Wohnbereich in Österreich zunehmen. Der kostenoptimierte Betrieb solcher Anlagen kann zu einer deutlichen Kostenreduktion führen und gleichzeitig den Stromverbrauch eines Haushaltes verändern. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn ein variables Preissignal eingeführt wird. In dieser Arbeit werden wir uns mit der folgenden Frage beschäftigen: Wie verändert die Volatilität eines variablen Preises den Energieverbrauch von Gebäuden mit einem intelligenten Energiemanagementsystem (IEMS)? In diesem Zusammenhang aggregieren wir die Ergebnisse der einzelnen Haushalte auch auf nationaler Ebene des österreichischen Einfamilienhausbestandes.

Keywords: Gebäudesimulation, Optimierung, Wärmepumpen, Strompreis

## Methodik

Wir haben ein stündliches Optimierungsmodell für einzelne Haushalte entwickelt, um diese Forschungsfrage zu beantworten. Auf der Grundlage von Preis-, Temperatur- und Strahlungsprofilen sowie gebäudespezifischen Parametern minimiert das Modell die Betriebskosten eines Haushaltes. Das Strompreisprofil ist der treibende Faktor für das Minimierungsproblem mit der folgenden Zielfunktion:

$$\min \sum E_t * P_t - FIT * E_{pv,t}$$

Dabei steht  $E_t$  für den Strombedarf aus dem Netz,  $P_t$  für den Strompreis zu einer bestimmten Stunde,  $FIT$  für die Einspeisevergütung und  $E_{pv,t}$  für den an das Netz verkauften Strom. Das Modell hat zwei Modi, einen Referenz- und einen Optimierungsmodus. Der Optimierungsmodus stellt die Implementierung eines IEMS im Gebäude dar. Die Betriebskosten werden über ein ganzes Jahr minimiert, indem die Heiz- und Kühlleistung sowie die Nutzung bestimmter Speicher, sofern vorhanden, gesteuert werden.

Im Referenzmodus ergibt sich die Last des Gebäudes rein aus externen Faktoren. PV-Strom wird direkt in den Haushalt eingespeist. Überschüssige Erzeugung wird, falls vorhanden, in einer Batterie gespeichert. Die Batterie wird entladen, sobald die Haushaltslasten damit gedeckt werden können. Der Rest der überschüssigen PV-Erzeugung wird an das Netz verkauft. Im Referenzmodus wird die thermische Masse des Gebäudes weder vorgeheizt noch

---

<sup>1</sup> Technische Universität Wien, Energy Economics Group, Gusshausstrasse 25-29/370-3, 1040 Wien, Austria, +43 6803104193., [mascherbauer@eeg.tuwien.ac.at](mailto:mascherbauer@eeg.tuwien.ac.at), [kranzl@eeg.tuwien.ac.at](mailto:kranzl@eeg.tuwien.ac.at)

<sup>2</sup> Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Breslauer Str. 48, 76139, Karlsruhe, Germany, [songmin.yu@isi.fraunhofer.de](mailto:songmin.yu@isi.fraunhofer.de)

vorgekühlt. Durch den Vergleich der Ergebnisse der Optimierung mit einem Referenzmodus untersuchen wir die Auswirkungen der Optimierung auf der Ebene eines einzelnen Hauses.

In Abbildung 1 werden die Eingangs- und Ausgangsparameter des Modells dargestellt.

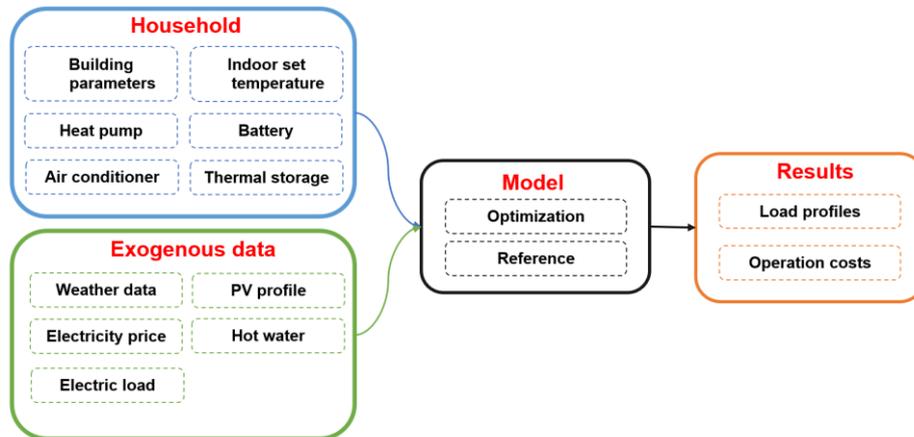


Abbildung 1 Struktur des Modells [1]

### **Wärmepumpe**

In allen in dieser Studie betrachteten Gebäuden ist eine Wärmepumpe als Heizsystem installiert. Es werden zwei verschiedene Arten von Wärmepumpen betrachtet, eine Luft- und eine Erdwärmepumpe. Bei der Erdwärmepumpe wird davon ausgegangen, dass die Leistungszahl (COP) das ganze Jahr über konstant ist, während der COP der Luftwärmepumpe von der Außentemperatur abhängt.

### **Innenraum Temperatur**

Die minimale Innenraumtemperatur beträgt tagsüber 20 °C und nachts (22 Uhr bis 6 Uhr) 18 °C. Die Höchsttemperatur im Gebäude ist auf 27 °C eingestellt.

### **Thermische Speicher**

Wir betrachten einen Warmwasserspeicher als Pufferspeicher für die Raumheizung mit einem Volumen von 1500 l. Zur Beschreibung des Warmwasserspeichers werden folgende Vereinfachungen vorgenommen:

- Die Temperatur im Inneren des Speichers ist homogen
- Die Umgebungstemperatur des Speichers ist konstant (20 °C)
- Die thermodynamischen Eigenschaften des Wassers sind konstant (Wärmekapazität, Volumen, Druck)

Der Warmwasserspeicher hat einen Wärmeverlustkoeffizienten von 0,2 W/m<sup>2</sup>K über seine Oberfläche von 7,32 m<sup>2</sup>.

### **Batterie**

Die Batterie wird mit einer Kapazität von 7 kWh modelliert. Die maximale Lade- und Entladeleistung beträgt 4,5 kW und der Lade- und Entladewirkungsgrad liegt bei 95 %.

### **Klimaanlage**

Für die Kühlung werden einfache Split-Systeme mit einem konstanten COP von 3 berücksichtigt.

### **Gebäude Parameter**

Alle Gebäudeparameter wurden aus der INVERT/EE-Lab-Datenbank [2] ausgewählt, wobei nur Einfamilienhäuser berücksichtigt werden, die vor 2011 gebaut wurden. Wir verwenden 11

repräsentative Gebäude für bestimmte Zeiträume ab 1890. Da es sehr unwahrscheinlich ist, dass Wärmepumpen in Gebäuden vor dem Jahr 2000 installiert wurden, ohne das Haus vorher zu renovieren, werden nur renovierte Gebäude berücksichtigt, die vor 2000 gebaut wurden.

### **Wetter und PV Erzeugungsprofile**

Exogene Daten wie das Wetter und PV-Erzeugungsdaten werden von PV GIS heruntergeladen [3].

### **Strom Preis**

In dieser Studie werden zwei verschiedene Arten von Strompreisen verglichen. Um einen variablen Strompreis zu generieren, wurden die EXAA-Preise für 2016 [4] für Österreich verwendet. Auf diesen Preis wurde ein fixes Netzentgelt von 15 Cent/kWh aufgeschlagen. Um ein vergleichbares Fixpreisszenario zu haben, wurde der Mittelwert des variablen Preises als Fixpreis verwendet. In beiden Preisszenarien wurde die Einspeisevergütung mit 7,67 Cent/kWh [5] fest gelegt. Die Preise sind in Abbildung 2 dargestellt.

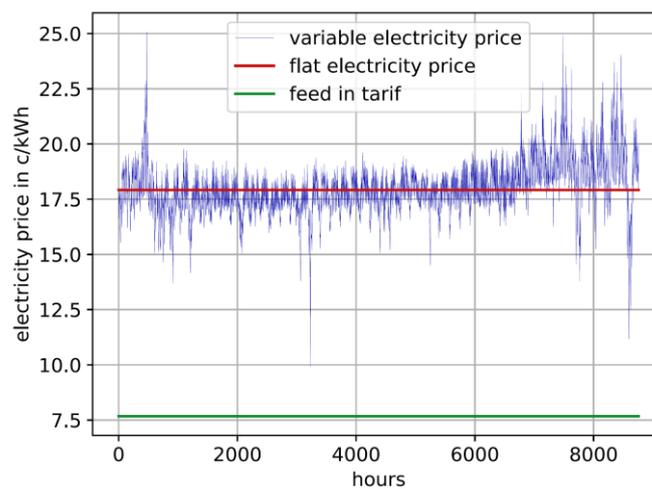


Abbildung 2: Preis Szenarien und Feed in Tarif [1]

### **Brauchwasser**

Ein typisches Warmwasserprofil wurde HOTMAPS [6] entnommen und auf einen Tagesverbrauch von 90 l pro Tag konfiguriert [7], was zu einem Gesamtenergiebedarf für Warmwasser von 1725 kWh/Jahr führt.

### **Strom Bedarf**

Der Stromverbrauch eines einzelnen Haushalts ist ein synthetisches Profil von APCS [8].

### **Thermische Kapazität des Gebäudes**

Der Heiz- und Kühlbedarf wird mit dem in DIN ISO 13790 [9] beschriebenen 5-Widerstandseins-Kapazitäts-Ansatz berechnet. Durch diesen Ansatz kann die Gebäudemasse als thermischer Speicher genutzt werden, indem das Gebäude vorgeheizt oder vorgekühlt wird. Gleichzeitig ist es durch die Vereinfachung der thermischen Eigenschaften eines Gebäudes möglich, diesen Ansatz mit überschaubarem Rechenaufwand in eine Optimierung zu integrieren.

### **Gebäudebestands Daten**

Um die Ergebnisse von Einzelgebäuden auf die nationale Ebene zu aggregieren, wurde die Gesamtzahl der PV-Anlagen und Batteriespeicher ermittelt. In Österreich gibt es rund 1,55 Millionen Einfamilienhäuser mit 119 397 PV-Anlagen. Die durchschnittliche Größe der PV-Anlagen beträgt 5,7 kWp [10]. Die Anzahl der Gebäude, die wir in dieser Studie berücksichtigen, beträgt 375 282. Von diesen Gebäuden haben 10 % eine PV-Anlage

installiert. 17,6 % sind 5 kWp und 1,4 % sind 10 kWp Anlagen. Seit 2014 wurden insgesamt 21 838 Batteriesysteme installiert [11]. Wir schätzen, dass 33 % davon in Gebäuden installiert wurden, die vor 2011 gebaut wurden. Daraus ergibt sich, dass in 2 % der in dieser Studie betrachteten Gebäude eine Batterie in Kombination mit einer PV-Anlage installiert ist. Es wird geschätzt, dass 60 % der Gebäude mit einer Wärmepumpe auch über einen thermischen Pufferspeicher verfügen. Von den 375 282 Gebäuden sind 84 712 mit einer Wärmepumpe ausgestattet, wobei der Anteil an Erdwärmepumpen 25 % beträgt [12].

## Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt die Anzahl der Gebäude mit Wärmepumpen im betrachteten Gebäudebestand mit einer bestimmten technischen Konfiguration: PV-Größe mit 0, 5 oder 10 kWp; Batteriegröße (B) mit 0 oder 7 kWh Kapazität; Warmwasserspeichergöße (T) mit 0 oder 1500 l. Alle verschiedenen Gebäudeklassen mit diesen Gebäudespezifikationen werden im Optimierungs- und Referenzmodus berechnet. Die Mehrheit der Gebäude verfügt über keine PV und nur sehr wenige Gebäude sind mit einer 10 kWp PV ausgestattet.

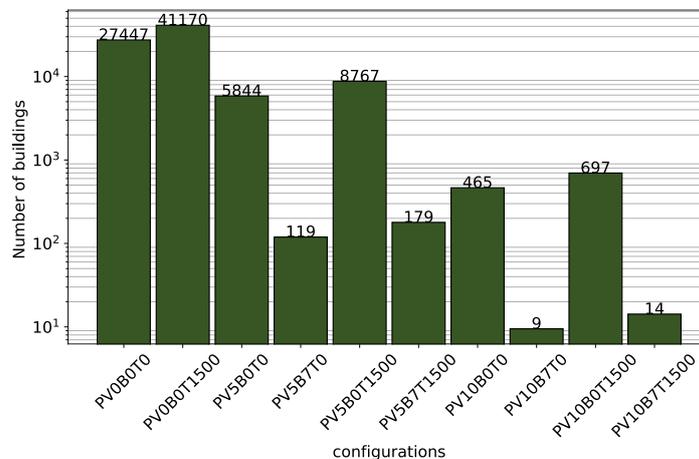


Abbildung 3: Anzahl der Gebäude im betrachteten Gebäudebestand mit bestimmten technischen Konfigurationen [1]

In Abbildung 4 ist der Strombedarf aus dem Netz für die betrachteten Gebäude mit Wärmepumpen in Österreich als graue Balken dargestellt. Die Veränderung des Strombedarfs aus dem Netz durch IEMS ist für jede Konfiguration auf der rechten Achse dargestellt. Im Allgemeinen führt die Optimierung mit einem variablen Preissignal zu einem höheren Gesamtstromverbrauch als mit einem festen Preis, da die Speicherverluste steigen. Die Ergebnisse zeigen, dass IEMS selbst bei einer geringen Varianz des Strompreises dazu neigen, die thermische Masse der Gebäude als Speicher zu nutzen, um ihre Energiekosten zu senken. Für Gebäude ohne PV und ohne Speichieranwendung zeigt sich, dass die Nutzung von IEMS in Kombination mit einem variablen Preis die Gesamtnachfrage im Netz erhöht. Für dieselben Gebäude haben IEMS überhaupt keine Auswirkungen, wenn der Preis konstant ist.

Die Verringerung der Netznachfrage bei Gebäuden mit Batteriespeicher durch IEMS ist nicht so groß wie bei Gebäuden mit einem thermischen Speicher oder ohne Speicher. Der Grund dafür ist, dass die Batterie die Netznachfrage im Referenzszenario bereits deutlich senkt. Mit einer größeren PV Anlage kann das IEMS den Eigenbedarf im Vergleich zum Referenzszenario noch deutlicher steigern, wodurch der Strombedarf pro Jahr aus dem Netz für bestimmte Gebäude bis zu 25 % abnimmt.

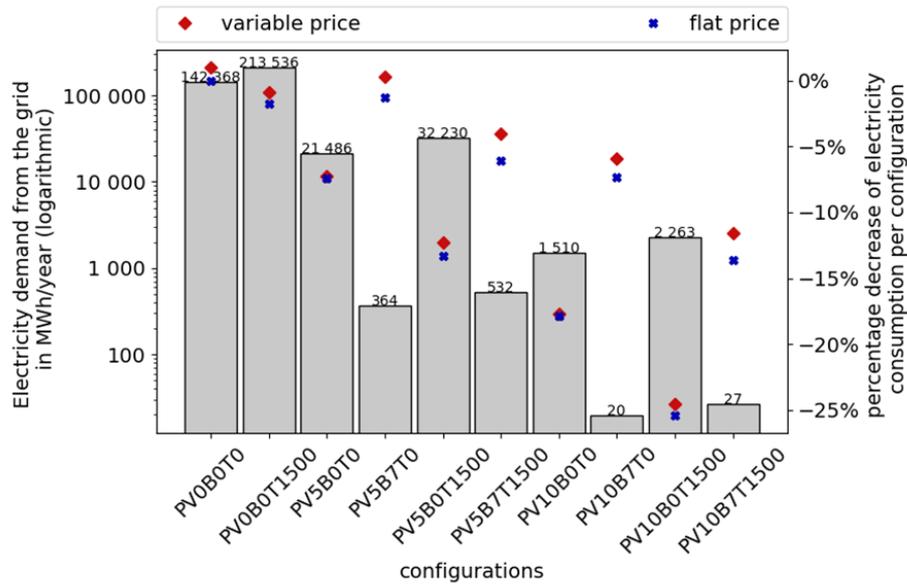


Abbildung 4: Einfluss des IEMS auf den Strombedarf aus dem Netz der Einfamilienhäuser in Österreich [1]

### Zusammenfassung und Ausblick

Erstens haben wir festgestellt, dass IEMS den Eigenverbrauch der PV-Erzeugung unabhängig von der Gebäudetypologie und -konfiguration erheblich steigern kann. Hier heben wir die Nutzung der Gebäudemasse als Wärmespeicher hervor. Selbst bei Gebäuden ohne PV- oder Speicheranwendung bietet eine gewisse Preisvolatilität einen starken Anreiz, das Gebäude vor zu heizen oder vor zu kühlen. Daher könnte eine zeitlich variable Strompreisgestaltung ein politisches Konzept für die Sektorkopplung sein. Wenn die Preisvolatilität zunimmt, steigt natürlich auch der Stromverbrauch des gesamten Gebäudebestands. Eine umfassende Analyse der durch die Einführung eines variablen Preises entstehenden Lastprofile wird Aufschluss darüber geben, wie viel Strom innerhalb eines Tages verlagert werden kann. Weitere Untersuchungen werden uns zeigen, ab welchem Punkt der Preisvolatilität die Gesamtmenge des aus dem Netz bezogenen Stroms durch IEMS für den gesamten Gebäudebestand nicht mehr reduziert wird. Außerdem wollen wir weiter untersuchen, wie sich die Volatilität des Preises auf die Volatilität des resultierenden Lastprofils auswirkt.

## Literatur

- [1] Philipp Mascherbauer, Songmin Yu, Lukas Kranzl, „Investigating the Impact of Smart Energy Management System on the Residential Electricity Consumption in Austria“, SESAAU 2021, 2021, under review.
- [2] Andreas Mueller, „Energy demand scenarios in buildings until the year 2050 - scenarios with refurbishment rate (maintenance + thermal renovation) of 0.5%, 1%, 2% and 3% (Version 1) [Data set].“, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4687105>.
- [3] T. Huld, R. Müller und A. Gambardella, „A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa“, *Solar Energy*, Jg. 86, Nr. 6, S. 1803–1815, 2012, doi: 10.1016/j.solener.2012.03.006.
- [4] EXAA *Energy Exchange Austria*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.exaa.at/>.
- [5] E-control, *Ökostrom-Einspeisetaifverordnung 2018*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.e-control.at/de/recht/bundesrecht/oekostrom-energieeffizienz/verordnungen> (Zugriff am: 27. November 2021).
- [6] Ali Aydemir et al., *Hotmaps Toolbox*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hotmaps.eu> (Zugriff am: 23. November 2021).
- [7] *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*, 8110-5, 2019 03 15.
- [8] APCS, *Synthetische Lastprofile*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.apcs.at/de/clearing/technisches-clearing/lastprofile>.
- [9] *Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*, 13790:2008, DIN EN ISO 13790.
- [10] O. Statistic Austria, *STATatlas*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.statistik.at/atlas/>.
- [11] Leonhartsberger K. Wittmann M., „Analyse der Marktentwicklung von PV-Heimspeichersystemen in Österreich“, 2021.
- [12] Johann Emhofer, Annemarie Schneeberger, Thomas Fleck, Roman Wechsler, René Riebere, „HPP Annex 43: Country report Austria“, 2014.