

SYSTEMISCHE UND NUTZERSPEZIFISCHE KOSTENWIRKUNGEN EINES FLEXIBLEN WÄRMEPUMPENEINSATZES

Matthias KÜHNBACH¹, Anke ESSER¹, Marian KLOBASA¹

Motivation und zentrale Fragestellung

Die Dekarbonisierung der Stromerzeugung bedingt einen wachsenden Anteil volatiler Einspeisung aus Erneuerbaren Energien (EE) bei sukzessiver Reduzierung der Stromeinspeisung aus regelbaren Kraftwerken. Außerhalb des Stromsektors soll Sektorkopplung einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten. Zentrale Sektorkopplungstechnologie im Haushaltssektor sind Wärmepumpen. Ihnen wird neben dem Beitrag zur Dekarbonisierung auch ein wesentlicher Beitrag zur Integration von EE zugemessen, da sie lastseitig Flexibilität bereitstellen können. Für Deutschland kaum untersucht sind Rückkopplungen zwischen dem durch ökonomische Anreize bedingten Verhalten flexibler Wärmepumpen und dem Stromsystem. Bestehende Ansätze fokussieren entweder auf eine detaillierte Abbildung des Lastmanagementpotentials von Wärmepumpen – aggregiert oder für Einzelanlagen – beispielsweise zur Optimierung des Eigenverbrauchsanteils, vernachlässigen jedoch Systemwirkungen (vgl. Boßmann et al., 2015; Kreuder und Spataru, 2015). Oder sie bilden den Strommarkt detailliert ab, nutzen dafür allerdings eine stark vereinfachte Abbildung von Wärmepumpenflexibilität (vgl. Bauknecht et al., 2016). Daher wurde am Fraunhofer ISI ein Modellansatz entwickelt, der bottom-up-basiert eine detaillierte Abbildung des dezentralen Einsatzes von Flexibilität ermöglicht und gleichzeitig die Auswirkungen auf den Strommarkt modelliert. Dieser Ansatz wird genutzt um folgende Fragestellungen zu untersuchen:

- Nachfrageseitig:
 - Wie hoch ist das Lastmanagementpotential von Wärmepumpen?
 - Welchen Einfluss hat die Nutzung des Potentials auf die Systemlast?
 - Welche Einsparungen lassen sich für den einzelnen Wärmepumpenbesitzer erzielen?
- Erzeugungsseitig:
 - Wie wirkt sich ein flexibler Einsatz von Wärmepumpen je nach ökonomischer Anreizstruktur auf den Großhandelspreis und den Kraftwerkseinsatz aus?

Methodische Vorgehensweise

Zur Modellierung des Einflusses einer flexiblen Wärmepumpennachfrage wird das Nachfragemodell eLOAD mit einem Spotmarktmodell gekoppelt (vgl. Abbildung 1). Das Modell eLOAD berechnet einerseits, basierend auf mehr als 500 technologiespezifischen, stündlichen aufgelösten Prozesslastkurven, Wetterdaten und jährlichen Nachfrageprojektionen, die Entwicklung und strukturelle Änderungen der Systemlastkurve (Projection module). Andererseits erlaubt die Kopplung mit dem Strommarktmodell die Simulation von Lastmanagement auf Basis von Preissignalen (DR module). Das Elektrizitätsmarktmodell bildet den deutschen Kraftwerkspark detailliert ab und berechnet dessen stündliche Merit Order unter Berücksichtigung technischer und ökonomischer Kennwerte. Für die vorliegende Analyse wird zunächst die Systemlastkurve Deutschlands für das Jahr 2030 modelliert. Die unoptimierte Nachfrage dient dem Strommarktmodell als Input, um im zweiten Schritt Preissignale für das Lastmanagement abzuleiten. Im dritten Schritt werden Wärmepumpen im DR-Modul von eLOAD in einem gemischt-ganzzahligen LP optimiert, entweder direkt auf Basis der Großhandelspreissignale oder auf Basis abgeleiteter Wärmepumpentarife. Die aus der Optimierung der Wärmepumpe resultierende Systemlast wird wiederum an das Strommarktmodell übergeben, um den veränderten Kraftwerkseinsatz und die Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten zu ermitteln. Weichen die Ergebnisse dieses zweiten Laufs des Strommarktmodells deutlich von denen des vorherigen ab, so werden zur Vermeidung von modellbedingten Lawineneffekten weitere Iterationen des DR-Moduls und des Strommarktmodells durchgeführt.

¹ Fraunhofer / Institut für System- und Innovationsforschung, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, Tel.: +49 721 6809-{147|404|287}, {matthias.kuehnbach|anke.esser|marian.klobasa}@isi.fraunhofer.de, www.isi.fraunhofer.de

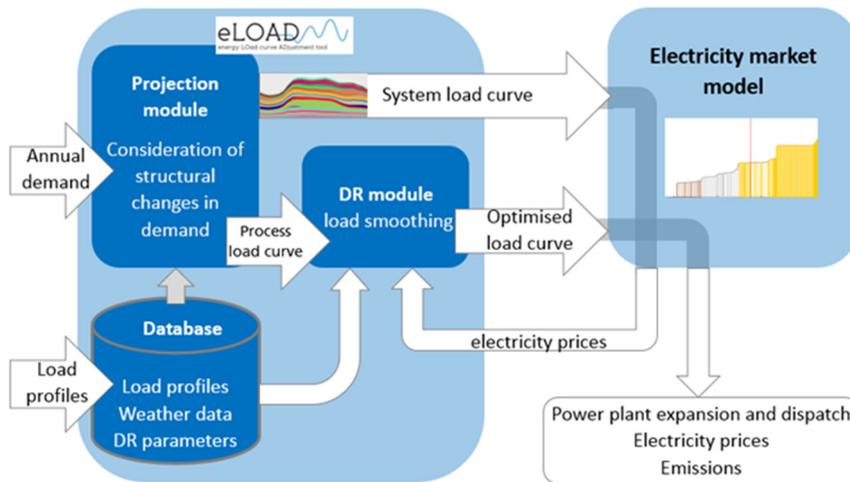


Abbildung 1: Aufbau des gekoppelten Modells

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Auswirkungen des Einsatzes von Wärmepumpen am Großhandelsmarkt sind in Abbildung 2 dargestellt. Da in diesem Szenario die Stromgestehungskosten der preissetzenden Kraftwerke aus dem Spotmarkt-Modell direkt als Preissignal für die Optimierung fungieren, wird die Stromnachfrage der Wärmepumpe unmittelbar aus Hochpreisphasen in Zeiten mit geringeren Preisen verschoben. Insbesondere reagiert steuerbare Last auf einen durch die Elektromobilität verursachten Abendpeak. Durch das preisbasierte Lastmanagement lässt sich aus Nutzersicht eine Kostenreduktion von bis zu 19 % erzielen. Auf Erzeugungsseite führt der flexibilisierte Einsatz von Wärmepumpen zu einer Glättung der Last und damit zu einem gleichmäßigeren Kraftwerksbetrieb. Durch den beschriebenen Ansatz können das Verhalten flexibler Anwendungen (über Wärmepumpen hinaus) sowie ökonomische Flexibilitätpotenziale auf der Nachfrageseite und gleichzeitig systemische Wirkungen analysiert werden. Im Hinblick darauf, zukünftig zusätzliche flexible Lasten mit hohem Gleichzeitigkeitsgrad (z.B. die E-Mobilität) ins Stromsystem zu integrieren, ermöglicht die Methodik damit zu simulieren auf welche Weise Anreizstrukturen auszugestaltet sind, sodass diese systemkonform wirken.

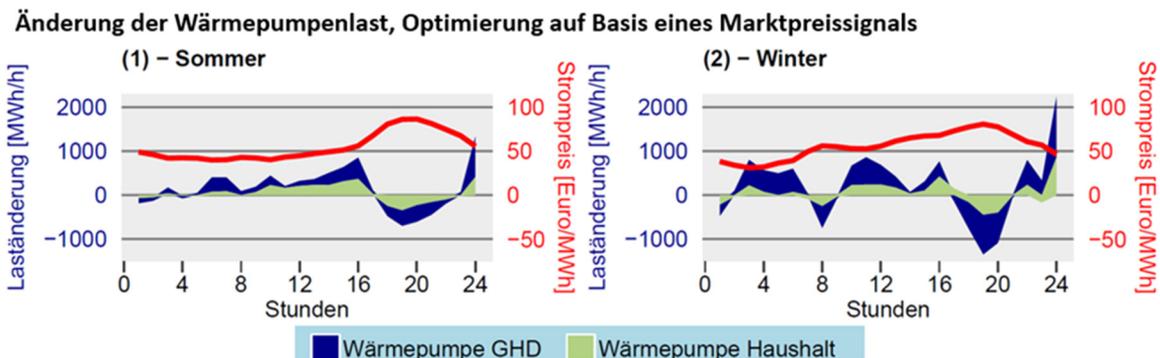


Abbildung 2: Mittlere Änderung der Wärmepumpenlast vor und nach Lastmanagement sowie mittlerer Strompreis vor Einsatz von Lastmanagement

Literatur

- [1] Bauknecht, Dirk et al. (2016): Systematischer Vergleich von Flexibilitäts- und Speicheroptionen im deutschen Stromsystem zur Integration von erneuerbaren Energien und Analyse entsprechender Rahmenbedingungen. Freiburg, Darmstadt. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/publikationen/> zuletzt geprüft am 20.11.2017.
- [2] Boßmann, Tobias et al. (2015): Assessing the Optimal Use of Electric Heating Systems for Integrating Renewable Energy Sources. In: Energy Procedia 83, S. 130–139.
- [3] Kreuder, Lukas; Spataru, Catalina (2015): Assessing demand response with heat pumps for efficient grid operation in smart grids. In: Sustainable Cities and Society 19, S. 136–143.