

BEWERTUNG DER NETZTECHNISCHEN AUSWIRKUNGEN VON WÄRMEPUMPEN IN DER URBANEN, KOMMUNALEN WÄRMEVERSORGUNG

Finnja OESTEREICH^{1*}, Carsten WEGKAMP², Eike NIEHS², Henrik WAGNER², Bernd ENGEL²

Motivation und Zielsetzung

Zur klimaneutralen Wärmeversorgung im Gebäudebereich wird zum Ziel der Treibhausgasneutralität in Deutschland in den nächsten Jahrzehnten flächendeckend die kommunale Wärmeversorgung überarbeitet und neugestaltet. Dazu werden fossile Anlagen zur Wärmeerzeugung nach und nach durch die Installationen von thermischen Anlagen wie Wärmepumpen ersetzt, die in effizienter Art möglichst erneuerbaren Strom beziehen und mit Umweltenergie Wärme erzeugen. Der zusätzliche Strombedarf beim Einsatz von Wärmepumpen kann lokal vor allem in den Wintermonaten und im ländlichen Raum zu erhöhten Leistungsspitzen führen [1]. Dadurch steigt das Risiko von Spannungsbandverletzungen und Leitungsüberlastungen in den Verteilnetzen [1,2]. Ein gesteuerter Betrieb – unterstützt durch thermische Speichersysteme und die thermische Trägheit der Heizsysteme – hat das Potential, diese Effekte zu verringern [1].

Ziel der Ausarbeitung ist es, die Auswirkungen der Hinzunahme moderner Wärmepumpen im Rahmen der kommunalen, urbanen Wärmeplanung auf die Stromnetze zu untersuchen. Insgesamt soll damit eine techno-ökonomische Analyse dieser Herausforderung möglich sein, sodass die folgende Forschungsfrage beantwortet werden kann: **Inwiefern unterscheiden sich die Auswirkungen verschiedener Betriebsstrategien von Quartiers-Wärmepumpen auf den Stromnetzbetrieb?**

Vorgehensweise und Modellierung

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wird für die Modellierung und die simulativen Untersuchungen die Open-Source Modellbibliothek *eELib*³ [3] verwendet. Dabei werden vorhandene Simulationsmodelle für Wärmepumpen, Wärmespeicher und Quartiers-Energiemanagementsysteme implementiert oder erweitert. Darauf basierend können simulative Untersuchungen zur Auswirkung des Betriebs auf die Stromnetze durchgeführt werden, die Simulationsstruktur ist in Abbildung 1 dargestellt.

Hinsichtlich der Modellierungen für Wärmepumpen und Wärmespeicher wird auf der Basis bestehender, peer-reviewter Modelle aufgebaut und physikalische Zusammenhänge aus der Literatur umgesetzt. Für Wärmepumpen wird eine Berechnung des Coefficient of Performance (COP) auf Basis der Umgebungs- und Heizsystem-Temperatur implementiert, analog zum Repository der *hplib* [4]. Für den Wärmespeicher werden vereinfacht die Zusammenhänge der VDI 4645 berücksichtigt und die Formeln zur Umrechnung der spezifischen Wärmekoeffizienten für Volumen und Energiekapazität.

Insbesondere im Bereich des Energiemanagements wurden Erweiterungen an der *eELib* vorgenommen. Einerseits wurde ein Modell für Quartiers-

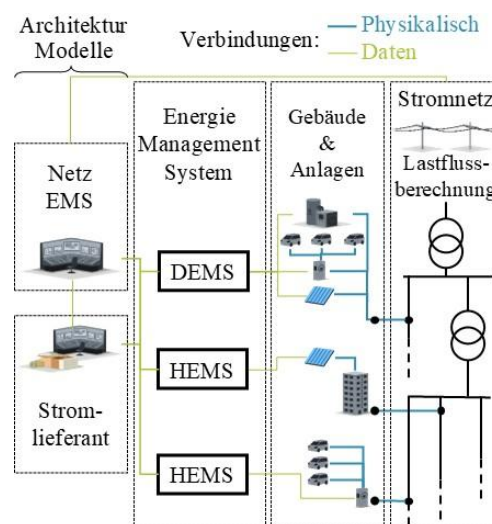


Abbildung 1: Simulationsstruktur der *eELib*, angelehnt an [3]

^{1*} elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme, Technische Universität Braunschweig, Schleinitzstraße 23, 38106 Braunschweig, f.oestereich@tu-braunschweig.de, Nachwuchsautorin

² elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme, Technische Universität Braunschweig

³ Gitlab Repository: <https://gitlab.com/elenia1/elenia-energy-library>

Energiemanagementsysteme (*DEMS*, engl. district energy management system) aufgesetzt, sodass darin Betriebsweisen zur Steuerung von Energieflüssen in Quartieren umgesetzt werden können. Außerdem wurde eine Auswahl passender Betriebsstrategien zur Steuerung von Wärmepumpen konzipiert und implementiert:

- **Wärmegeführt:** Dabei wird die Wärmepumpe allein auf Basis des Wärmebedarfes gesteuert. Sie wird also angeschaltet bei hohem Wärmebedarf und ausgeschaltet, wenn der Wärmebedarf gedeckt ist. Typischerweise ist dies an Temperaturen ausgerichtet.
- **Preisgeführt:** In dieser Strategie erfolgt die Steuerung der Wärmepumpe auf Basis von Strompreisen. Dabei wird in der Regel dann Wärme erzeugt, wenn die Strompreise für den Betrieb der Wärmepumpe gering sind (oder hoher Wärmebedarf vorliegt).
- **Netzgeführt:** Hier wird neben dem Wärmebedarf auch auf Signale aus dem Stromnetz reagiert. Falls zum Beispiel Grenzwerte im Stromnetz (Spannungswerte oder Auslastungen) überschritten werden, wird die Wärmeerzeugung der Wärmepumpen möglichst reduziert, um die lokale Netzverträglichkeit zu gewährleisten.

Übersicht über die Ergebnisse

Bei den simulativen Untersuchungen wird anhand der Ergebnisse in Abbildung 2 gezeigt, dass ein Betrieb auf Basis von Stromnetzsignalen zu verbesserten Ergebnissen der Netzbelastung führen kann. Gleichzeitig kann eine Strategie basierend auf Strompreisen zu einer erhöhten Netzauslastung führen.

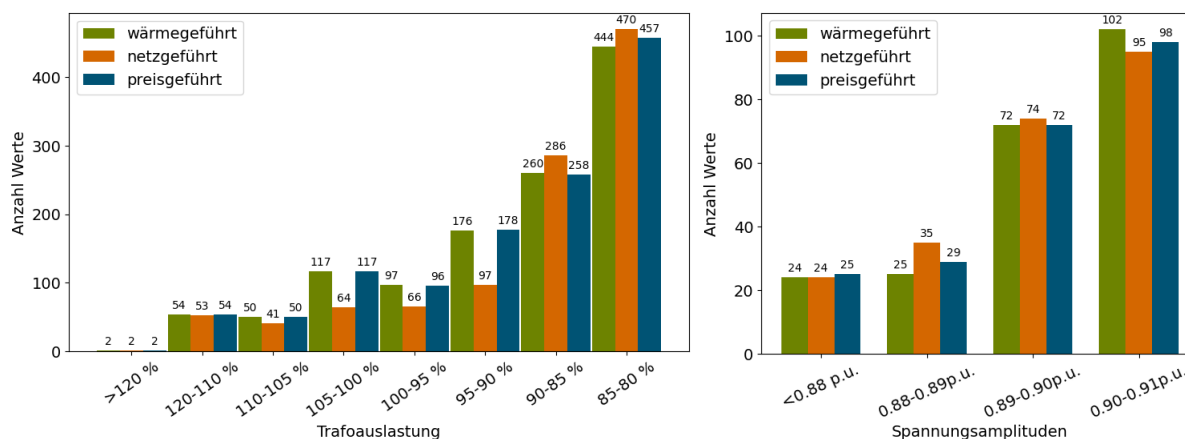


Abbildung 2: Simulationsergebnisse zur Anzahl an Zeitschritten mit höherer Auslastung für Transformator (l) und Knotenspannung (r) für eine Jahressimulation

Auf Basis dieser Ergebnisse unter Berücksichtigung des aktuellen Stands der Forschung werden Handlungsempfehlungen angestrebt, die bei der Netzintegration von Wärmepumpen im Betrieb der kommunalen, urbanen Wärmeversorgung genutzt werden können. So können sinnvolle Betriebskonzepte Kosten für benötigte Infrastruktur mindern, während sie gleichzeitig zu einer Umsetzung einer klimaneutralen Energieversorgung beitragen.

Referenzen

- [1] N. Damianakis, G. R. C. Mouli und P. Bauer, „Grid impact of photovoltaics, electric vehicles and heat pumps on distribution grids — An overview“, *Applied Energy*, Bd. 380, S. 125000, Dez. 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.125000.
- [2] C. Protopapadaki und D. Saelens, „Heat pump and PV impact on residential low-voltage distribution grids as a function of building and district properties“, *Applied Energy*, Bd. 192, S. 268–281, Dez. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.11.103.
- [3] C. Wegkamp et al., „eELib: Open-Source Model Library for Prosumer Power Systems and Energy Management Strategies,“ 2024 Open Source Modelling and Simulation of Energy Systems (OSMSES), Vienna, Austria, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/OSMSES62085.2024.10668964
- [4] Tjarko Tjaden, Hauke Hoops, Kai Rösken, "RE-Lab-Projects/hplib: heat pump library (v2.0), " 2021, Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5521597>