

# TECHNOÖKONOMISCHE BETRACHTUNG EINER FIRMENFLOTTE MIT ZUSÄTZLICHEN KOMFORT-NEBENBEDINGUNGEN

Markus SCHINDLER(\*)<sup>1</sup>, Lukas GNAM<sup>2</sup>, Claudia MAIER<sup>1</sup>, Christian PFEIFFER<sup>1</sup>

## Einleitung

Die zunehmende Anzahl an elektrisch betriebenen Fahrzeugen stellt die vorhandene Energieinfrastruktur vor neue Herausforderungen, bietet aber im Gegensatz auch die Möglichkeit, neuartige Nutzungskonzepte zu entwickeln. Gepaart mit dem ehrgeizigen Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien drastisch und nachhaltig zu erhöhen, wird ein effizienter Umgang mit Last- und Erzeugungsspitzen umso wichtiger. Hier spielt unter anderen der sogenannte Vehicle-to-Grid (V2G) Ansatz eine bedeutende Rolle. Durch die Verwendung von Elektrofahrzeugen als Flexibilitäten können unter anderem Lastspitzen minimiert oder zeitlich verschoben werden. Der V2G-Ansatz ist schon seit geraumer Zeit bekannt und wurde auch bereits eingehend untersucht [1], jedoch steht eine Umsetzung im großflächigen Rahmen noch aus. Hier ergeben insbesondere die soziale Akzeptanz der beteiligten Stakeholder, die wirtschaftliche Machbarkeit, aber auch die Auswirkungen auf die bestehenden Energienetze noch offene Fragen. Da es verschiedenste V2G-Nutzungskonzepte gibt, die sich auch grundsätzlich in ihrer Herangehensweise voneinander unterscheiden (z.B. Car-Sharing vs. Firmenflotten), konzentriert sich diese Arbeit auf den Fall einer elektrifizierten Firmenflotte. Die Hauptziele in diesem Fall bestehen darin, dass ein Unternehmen seine vorhandenen, konventionell betriebenen Fahrzeuge so effizient wie nur möglich ersetzt und mit den Elektrofahrzeugen soziale und wirtschaftliche Vorteile erzielen kann. Zu diesen Vorteilen zählen unter anderem die optimale Ausnutzung firmeneigener Photovoltaik (PV)-Anlagen, die sowohl den Eigenbedarf des Unternehmens decken aber auch für die Ladung der Elektrofahrzeuge dienen. Aufgrund der intermittierenden Erzeugungsprofile von PV-Anlagen und der Tatsache, dass Elektrofahrzeuge die meiste Zeit geparkt und an das Stromnetz angeschlossen sind, können die Batterien der Fahrzeuge als zusätzliche Flexibilitäten genutzt werden, um den Eigenverbrauch zu erhöhen oder das lokale Netz zu stabilisieren. Die meisten Optimierungsmodelle konzentrieren sich jedoch vor allem auf technische oder wirtschaftliche Faktoren [2]. In dieser Arbeit sollen aber auch soziale Faktoren in das gemischt-ganzzahlige lineare Optimierungsmodell (MILP) eingebaut werden. Hierzu zählt zum Beispiel der gewünschte Ladezustand eines Fahrzeuges bei seiner geplanten Abfahrtszeit, um ein Aufladen während einer Tagestour zu vermeiden. Auch der thermische Komfort im Elektrofahrzeug ist ein relevanter Faktor für Nutzer\*innen. Diese reduzieren oftmals ihren Komfort, wenn sie während der Fahrt um die Reichweite des Elektrofahrzeugs besorgt sind. Um Strom zu sparen und somit ihre Reichweite zu erhöhen, deaktivieren sie ihre Heizung oder Kühlung und beeinträchtigen damit ihr Fahrerlebnis [3]. Khatoun und Kim [4] haben eine Analyse des thermischen Komforts in der Kühlungsphase von Personenkraftwagen mittels Simulationen und deren Vergleich mit bestehenden Komfort-Modellen durchgeführt. Sie beschreiben ein thermisch komfortables Fahrzeugumfeld mit einem Temperaturrahmen von 21-25,5°C, während der Unterschied zwischen Kopf und Füßen maximal 3°C betragen darf.

## Methoden

Hinsichtlich des thermischen Komforts im Fahrzeuginnenraum gibt es neben der Temperatur noch weitere Faktoren, die zu berücksichtigen sind. Die Außentemperatur, der Luftstrom, die Luftfeuchtigkeit und die Sonnenbestrahlung sind beispielsweise weitere Einflussfaktoren [5], ebenso die Hauttemperatur und die Kleidung der Fahrer\*innen [6]. Hierzu wird in dieser Arbeit ein Überblick über den momentanen Stand des Wissens zur Einbettung dieser sozialen Faktoren zum Komfort in technisch-wirtschaftliche Optimierungsprobleme gegeben. Abschließend wird gezeigt, wie diese Faktoren als zusätzliche Terme in die Zielfunktion des Optimierungsproblems aufgenommen werden können. Unter Berücksichtigung dieser Komfortterme werden Ergebnisse erster Modellrechnungen gezeigt. Um die Interaktion der einzelnen Komponenten (PV-Anlagen, Stromspeicher, Elektrofahrzeuge) untersuchen zu können, wird ein

---

<sup>1</sup> Forschung Burgenland GmbH, 7000 Eisenstadt Campus 1, markus.schindler@forschung-burgenland.at

<sup>2</sup> Fachhochschule Burgenland GmbH, 7423 Pinkafeld Steinamangerstraße 21

MILP erstellt. Ziel dieses Optimierungsmodells ist die Minimierung der Gesamtkosten des Systems (bei Umstellung einer konventionellen auf eine elektrisch betriebene Firmenflotte). In die Kostenfunktion werden hierbei neben den Komfortfaktoren sowohl Investitionskosten für die einzelnen Komponenten, als auch die Betriebskosten miteinbezogen. Die Stromkosten setzen sich aus dem Day-Ahead-Handel für die Energiekosten und einem gemessenen Leistungspreis zusammen. Zusätzlich werden die Größe der PV-Anlage und die Größe des zusätzlichen Batteriespeichers als Variable im Modell berücksichtigt. Somit entscheidet das MILP-Modell über die optimale Größe beider Subsysteme. Das Modell wird mit dem Python Package Pyomo [8] erstellt. Im ersten Optimierungslauf werden bidirektionale Ladesäulen für alle Elektrofahrzeuge im Fuhrpark bereitgestellt. Im zweiten Optimierungslauf wird die Entscheidung über Investitionen in bidirektionale Ladesäulen während der Optimierung getroffen.

## Ergebnisse

Unter Berücksichtigung der Komfort-Nebenbedingungen zeigt sich im ersten Optimierungslauf, dass das System die Preisschwankungen ausnützt. In Niedrigpreisphasen wird großzügig Energie aus dem Netz bezogen, in Hochpreisphasen wird die Energie dann ins Netz zurück gespeist. Hierfür werden auch die größten Ladesäulen mit 22kW gewählt. Die Ergebnisse des zweiten Optimierungslaufs zeigen, dass die geringsten Kosten für das Gesamtsystem ohne Investitionen in bidirektionale Ladesäulen anfallen. Es werden hier auch Ladesäulen mit einer Leistung von 3,2kW gewählt.

## Danksagung

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen der FTI-Initiative „Vorzeigeregion Energie“ durchgeführt.

## Referenzen

- [1] F. Mwasilu, J. J. Justo, E.-K. Kim, T. D. Do und J.-W. Jung, „Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid,“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3 April 2014.
- [2] L. Di Natale, L. Funk, M. Rüdüsüli, B. Svetozarevic, G. Pareschi, P. Heer und G. Sansavini, „The Potential of Vehicle-to-Grid to Support the Energy Transition: A Case Study on Switzerland,“ *Energies*, 7 August 2021.
- [3] M. Wikström, L. Hansson und P. Alvfors, „Investigating barriers for plug-in electric vehicle deployment in fleets,“ *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, pp. 59-67, 2016.
- [4] S. Khatoon und M. H. Kim, „(2020). Thermal comfort in the passenger compartment using a 3-D numerical analysis and comparison with fanger’s comfort models.,“ *Energies*, 13(3), p. 690, 2020.
- [5] H. Zhang, L. Dai, G. Xu, Y. Li, W. Chen und W.-Q. Tao, „Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. Part I: Test/numerical model and validation,“ *Applied Thermal Engineering*, 29, pp. 2022-2027, 2009.
- [6] X. Zhou, D. Lai und Q. Chen, „Experimental investigation of thermal comfort in a passenger car under driving conditions,“ *Building and Environment*, 149, pp. 109-119, 2019.
- [7] M. L. Bynum, G. A. Hackebeil, W. E. Hart, C. D. Laird, B. L. Nicholson, J. D. Sirola, J.-P. Watson und D. L. Woodruff, *Pyomo-optimization modeling in python*, Springer Science & Business Media, 2021.
- [8] W. E. Hart, J.-P. Watson und D. L. Woodruff, „Pyomo: modeling and solving mathematical programs in Python,“ *Mathematical Programming Computation*, pp. 219-260, 2011.