

VEHICLE-TO-GRID: STAND–ODER FERNLICHT DER ENERGIEWENDE?

Tanja Jurasszovich¹, Christian Pfeiffer¹, Claudia Maier²

¹ Forschung Burgenland GmbH, ² Fachhochschule Burgenland

Abstract: Die Integration von Vehicle-to-Grid Anwendungen in die E-Mobilität ist ein Weg, Strom aus erneuerbaren Energiequellen effizienter zu nutzen und in weiterer Folge die Netzstabilität zu fördern. Auch Nutzer:innen können von dieser Technologie profitieren, indem sie ihre E-Autos als Stromspeicher nutzen können oder für Strom, den sie aus dem E-Auto ins Netz einspeisen, vergütet werden. Diese Arbeit untersucht die Akzeptanz und Zahlungsbereitschaft von E-Auto-Nutzer:innen für bidirektional fähige E-Ladeinfrastrukturen, die Vehicle-to-Grid Anwendungen ermöglichen. Mit einem Choice-Experiment werden die Effekte verschiedener Merkmale und Ausprägungen einer E-Ladeinfrastruktur, darunter Anschaffungskosten, Ladeprozess, Batterielebensdauer, Lademanagement und Mindestladestand ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich eine V2G-fähige Ladeinfrastruktur positiv auf die Nutzer:innenakzeptanz auswirkt und diese bereit sind, mehr als 3000€ für die V2G-Funktionalität zu bezahlen. Positiv wirken auch längere Batterielebenszeiten, klimafreundliches Lademanagement und höhere Mindestladestände. Die Arbeit verdeutlicht, dass die Entwicklung von nutzer:innenorientierten Geschäftsmodellen für bidirektionale Ladeprozesse einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende leisten kann.

Keywords: Vehicle-to-Grid, Vehicle-to-Home, bidirektionales Laden, Ladeinfrastruktur, Elektromobilität

1 EINLEITUNG

E-Ladeinfrastrukturen mit bidirektionaler Funktionalität ermöglichen Vehicle-to-Home und Vehicle-to-Grid (V2G) Anwendungen, die Strom aus dem E-Auto in das Eigenheim oder das öffentliche Netz speisen [1]. V2G vervielfältigt damit die Einsatzmöglichkeiten von E-Autos, verbessert die Spannungsregulierung des Stromnetzes und stärkt zudem die Nutzer:innenakzeptanz [2]. Im Kontext der Nutzer:innenakzeptanz fokussierten sich vorhandene Untersuchungen oft auf die richtige Ausgestaltung von Preisen, Ladeinfrastruktur sowie Anreizen zur Anschaffung eines E-Autos. Finanzielle Anreize, wie Förderprogramme in Form von direkten Subventionen oder Steuervorteilen, werden zum Teil als positiv bewertet [3]. Hingegen empfinden es Nutzer:innen als beschwerlich, wenn ihnen Vertragsbedingungen wie eine Mindest-Ansteckdauer pro Tag auferlegt werden [4]. Weiters wird die Akzeptanz von E-Autos durch Faktoren wie Reichweitenangst beeinflusst, die vor allem bei Personen mit wenig oder keiner Erfahrung im Umgang mit Elektrofahrzeugen vorhanden ist [5]. Neben dieser sind auch die Ladedauer, die Ladeinfrastruktur und Bedenken zum Batterieverschleiß Faktoren, die sich negativ auf die Akzeptanz von E-Autos auswirken [6]. Derartige Faktoren für die Akzeptanz von E-Autos sind auch für die Akzeptanz von V2G relevant. Sovacool et al. [4] führen an, dass vor allem die soziale Dimension von V2G bisher kaum berücksichtigt wurde und sich nur wenige Studien mit der Motivation und Akzeptanz von V2G-Systemen befassen. Laut van Heuveln et al. [7] gibt es hier noch substantielle Bedenken und Barrieren zu überwinden. Die vorliegende Studie setzt an diesem Punkt an und schließt eine Forschungslücke zur Akzeptanz von V2G, indem ganze E-Ladeinfrastrukturen mit unterschiedlichen Ausprägungen – unter anderen einer bidirektionalen Lademöglichkeit – von E-Auto-Nutzer:innen bewertet werden. Ins- besondere werden die folgenden beiden Fragestellungen behandelt:

- Welche Rolle nimmt V2G bei der Entscheidung für eine E-Ladeinfrastruktur ein?
- Wie hoch ist die Zahlungsbereitschaft für bidirektional fähige E-Ladeinfrastruktur?

2 METHODEN

Zwischen Dezember 2022 und Mai 2023 wurde im Rahmen einer Online-Befragung ein diskretes Choice-Experiment mit E-Auto-Nutzer:innen durchgeführt. Diese sollten fiktive E-Ladeinfrastrukturen vergleichen, die sich aus jeweils fünf Merkmalen (Anschaffungs- kosten, Ladeprozess, garantierte Batterielebenszeit, Lademanagement, Mindestlade- stand) mit bestimmten Ausprägungen zusammensetzten (Tabelle 1).

Merkmale	Ausprägungen
Anschaffungskosten	2000 € , 3000 €, 4000 €, 5000 €, 6000€
Ladeprozess	unidirektional , bidirektional
Garantierte Batteriebenszeit	7 Jahre , 8 Jahre, 9 Jahre
Lademanagement	kostenoptimiert , netzoptimiert, klimafreundlich
Mindestladestand	20% , 30%, 50%

Fett gedruckte Ausprägungen dienen als Referenz für weitere Vergleiche.

Tabelle 1: Im Choice-Experiment verwendete Merkmale für E-Ladeinfrastruktur und ihre Ausprägungen

Vorab wurde mit einem Erklärungstext zu V2G sichergestellt, dass die Befragten ein grundlegendes Verständnis über die Funktions- und Nutzungsmöglichkeiten von V2G haben. Danach wurde den Teilnehmer:innen in insgesamt sechs Durchläufen jeweils zwei E-Ladeinfrastruktur-Profile gegenübergestellt, die sich aus einer zufälligen Kombination verschiedener Merkmalsausprägungen zusammensetzten. In jedem Durchlauf mussten sie eine Entscheidung treffen, welche der beiden Profile sie bevorzugen. Auf Basis dieser Daten wurde eine Lineare Gemischte Regression modelliert, um sowohl fixe als auch zufällige Effekte in einem Modell mit Messwiederholung zu erfassen [8]. Mit diesem Modell kann der durchschnittliche marginale Komponenteneffekt (AMCE) bestimmt werden, der die Auswirkung einer Ausprägung eines Merkmals im Vergleich zu einer vorgegebenen Referenzausprägung (Tabelle 1) widerspiegelt. Damit lässt sich abschätzen, wie sich die Wahrscheinlichkeit für die Auswahl eines Profils ändert, wenn eine bestimmte Ausprägung angepasst wird und sonst alle anderen konstant bleiben [9]. Zudem kann aus den festen Effekten des Regressionsmodells die marginale Zahlungsbereitschaft (MWTP) für eine bestimmte Merkmalsausprägung abgeleitet werden. Dabei handelt es sich um einen indikativen Betrag, den man für eine bestimmte Ausprägung eines E-Ladeinfrastruktur-Profils zu zahlen bereit ist. Mögliche Unsicherheiten der Befragten bei der Wahl zwischen den vorgestellten E-Ladeinfrastrukturen können die Genauigkeit dieser indikativen Beträge beeinflussen. Solche Unsicherheiten werden mit Hilfe eines 95%-Konfidenzintervalls (KI) nach der Delta-Methode [10] adressiert.

3 ERGEBNISSE

Insgesamt haben $n = 1181$ Personen an der Befragung teilgenommen. Die überwiegende Mehrheit der Befragten ist männlich (88%), das Durchschnittsalter liegt bei 53 Jahren. Rund 40% der Befragten haben einen Hochschulabschluss, 63% arbeiten Vollzeit, knapp ein Viertel (23%) ist im Ruhestand. Fast ein Drittel der Befragten (31%) hat ein Nettohaushaltseinkommen von über 4900 Euro pro Monat. Sie leben vorwiegend in ländlichen Gebieten, 30% in Gemeinden mit weniger als 2000 Einwohner:innen. Rund drei Viertel (75%) leben in Einfamilienhäusern, 13% in Mehrfamilienhäusern und 12% in Wohnungen.

Die Abbildung 1 zeigt die AMCEs im Vergleich zur jeweiligen Referenzkategorie. Beim Ladeprozess wird bidirektionales Laden eindeutig gegenüber unidirektionalem Laden bevorzugt (AMCE = 0,19, $p < 0,001$). Zudem konnten für die Wahl einer E-Ladeinfrastruktur Präferenzen für eine längere garantierte Batterielebenszeit, klimafreundliches Lademanagement und einen höheren Mindestladestand identifiziert werden. Zudem verdeutlichen die AMCEs der Anschaffungskosten die Preissensitivität der Befragten. Preise ab 4000€ wirken sich negativ auf die Wahl des Modells aus (AMCE = -0,10, $p < 0,001$).

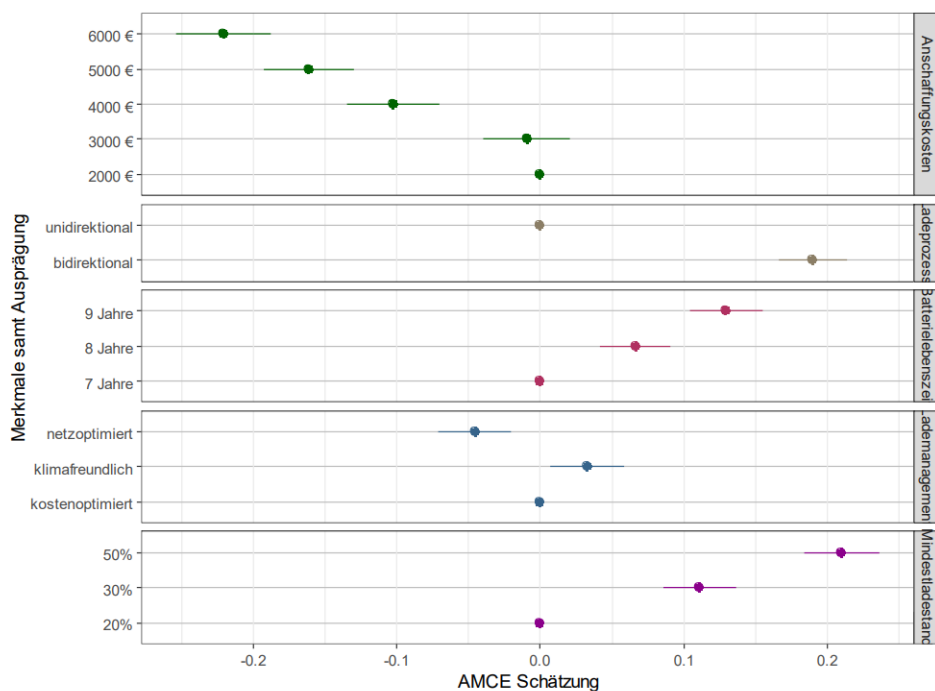


Abbildung 1. AMCE-Schätzungen der Merkmalsausprägungen.

Aus diesen Informationen kann die Zahlungsbereitschaft abgeleitet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Befragten für eine bidirektional fähige E-Ladeinfrastruktur bereit sind, einen um 3182€ höheren Preis zu bezahlen als für unidirektionales Laden (KI = [2728,38; 3635,23]). Dies bedeutet auch, dass die Nutzer:innen der V2G-Funktionalität einen genauso hohen Wert beimessen wie eine Preisreduktion um 3182€ für eine unidirektionale E-Ladeinfrastruktur.

4 CONCLUSIO

Die vorliegende Studie schließt eine Forschungslücke zur Akzeptanz und Zahlungsbereitschaft für bidirektionales Laden bei der Entscheidung für eine E-Ladeinfrastruktur. Die Ergebnisse bestätigen, dass V2G-Funktionalität einen positiven Effekt auf die Akzeptanz der Nutzer:innen hat. Die höhere Zahlungsbereitschaft für E-Ladeinfrastruktur mit V2G-Funktionalität signalisiert, dass für diese Technologie bereits potentielle Abnehmer:innen vorhanden sind.

Mit den vorliegenden Ergebnissen können nutzer:innen-orientierte

Geschäftsmodelle für bidirektionale Ladeprozesse ausgestaltet werden. Daher sollten sich E-Autohersteller, Netzbetreiber und politische Entscheidungsträger:innen auf nationaler Ebene schon jetzt intensiv mit V2G auseinandersetzen. Wie das Standlicht eines Autos kann V2G für die Energiewende ein schützendes Element sein, indem es für Netzstabilität sorgt. Nichtsdestotrotz ähnelt V2G auch dem Fernlicht eines Autos, indem es Nutzer:innen vielfältige Einsatzmöglichkeiten bietet, die aktuell noch in weiter Ferne wirken. Die Nutzer:innenakzeptanz für V2G ist jedenfalls heute schon gegeben.

5 REFERENZEN

- [1] Kempton, W. & Tomic, J. (2005). Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, 280-294.
- [2] Banjeri, A. et al. (2021). Integrating renewable energy and electric vehicle systems into power grid: benefits and challenges. *i-PACT*, 1-6.
- [3] Wang, D. et al. (2019). Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid services. *Journal of Power Sources*, 332, 193-203.
- [4] Sovacool, B.K. et al. (2018). The Future Promise of Vehicle-to-Grid (V2G) Integration: A Sociotechnical Review and Research Agenda, *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 377-406.
- [5] Bühler, F. et al. (2014). Is EV experience related to EV acceptance? Results from a German field study. *Transp. Res. Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 25, 34-49.
- [6] Xu, G. et al. (2020). Moving towards sustainable purchase behavior: examining the determinants of consumers' intentions to adopt electric vehicles. *Env. Science and Pollution Res.*, 27(18), 22535-22546.
- [7] Van Heuveln, K. et al. (2021). Factors of influencing consumer acceptance of vehicle-to-grid by electric vehicle drivers in the Netherlands. *Travel Behaviour and Society*, 24, 34-45.
- [8] Bates, D.M. et al. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67, 1-48.
- [9] Hainmüller, J. et al. (2014). Causal Inference in conjoint Analysis: Understanding Multidimensional Choices via Stated preference Experiments. *Political Analysis*, 22, 1-30.
- [10] Scaccia, L. et al. (2023) Prediction and confidence intervals of willingness-to-pay for mixed logit models. *Transportation Research Part B*, 167, 54-78.