

# Elektroauto-Ladegestehungskosten: Ein europäischer Vergleich

Themenbereich 7 (Verkehr)

Lukas LANZ<sup>(1)</sup>, Bessie NOLL<sup>(1)</sup>, Tobias S. SCHMIDT<sup>(1)</sup>, Bjarne STEFFEN<sup>1 (1)</sup>

<sup>(1)</sup>Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich

## Motivation und zentrale Fragestellung

Zur Dekarbonisierung des Transportsektors ist eine starke Verbreitung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebstechnologien nötig [1]. Dank sinkender Batteriepreise [2] und politischer Förderung erobern Elektrofahrzeuge nun den Massenmarkt, womit die Betriebskosten immer wichtiger werden – insbesondere Ladekosten [3]. Anders als Benzinpreise sind Ladekosten jedoch nicht an jeder Tankstelle abzulesen, sondern sind weniger transparent und von vielen Faktoren abhängig (z.B. Strompreise, Standorte, Ladeleistung) [4]. Für präzise Marktprognosen und wirksame Designs von Förderinstrumenten müssen diese Faktoren angemessen berücksichtigt werden. Dieser Beitrag modelliert daher die Ladegestehungskosten (engl. *levelized cost of charging, LCOC*) für PKW-Elektrofahrzeuge in 30 europäischen Ländern und diskutiert politische Implikationen.

## Methodische Vorgangsweise

In Erweiterung einer von Borlaug et al. [5] vorgeschlagenen LCOC-Formel berechnen wir die LCOC pro Ladepunkt als

$$LCOC = \left( \frac{C_{equipment} + C_{installation} + \sum_{t=1}^T \frac{C_{O\&M_t}}{(1+i)^t} + \frac{C_{electricity}}{\eta}}{\sum_{t=1}^T \frac{E_{charging_t}}{(1+i)^t}} \right) \cdot (1 + C_{transaction})$$

wobei  $C_{equipment}$  die Kosten für die Hardware der Ladestation sind (€/Ladepunkt),  $C_{installation}$  die Kosten für die Installation (€/Stecker),  $C_{O\&M_t}$  die Kosten für Betrieb und Wartung im Jahr  $t$  (€/Jahr),  $E_{charging_t}$  die jährliche Energiemenge, die im Jahr  $t$  am Ladepunkt geladen wird (kWh/Jahr),  $C_{electricity}$  die Stromkosten (€/kWh),  $C_{transaction}$  der allfällige Transaktionszuschlag für die Abrechnung des Ladevorgangs (%),  $\eta$  der Wirkungsgrad der Ladestation (%),  $T$  die Projektdauer, über die die LCOC berechnet werden (Jahre), und  $i$  der Zinssatz, um zukünftige Kosten und Energie auf den heutigen Kapitalwert zu diskontieren und die Finanzierungskosten zu berücksichtigen (%).

Um die Kostenvielfalt unterschiedlicher Ladeinfrastruktur Rechnung zu tragen, unterscheiden wir eine Reihe von Leistungsstufen (2.3 kW, 3.7-7.4 kW, 11-22 kW, 50 kW) und Ladestandorte (Heimladestation, Heimladestation mit PV-Anlage, gewerbliche Ladestation, öffentliche Ladestation). Die berücksichtigten Ladeoptionen ergeben sich aus einer Kombination jeweils einer Leistungsstufe und eines Ladestandorts. Um länderspezifische LCOC für all diese Optionen zu schätzen, stellen wir einen umfassenden neuen Datensatz zusammen.

Um reales Ladeverhalten widerzuspiegeln, definieren wir zudem fünf Nutzerprofile, die den Anteil der verschiedenen Ladeoptionen an der Gesamtladung bei typischen Fahrzeughalterinnen angeben.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die (vorläufigen) Ergebnisse zeigen eine große Varianz der Ladekosten zwischen Ländern und Ladeoptionen. Die LCOC eines durchschnittlichen Ladeverhaltens reichen von 0.164 €/kWh in Ungarn bis fast zum Doppelten davon in Deutschland (0.319 €/kWh). Daneben stechen Italien (0.316 €/kWh), Belgien (0.313 €/kWh) und Dänemark (0.313 €/kWh) mit hohen Ladekosten hervor. Österreich befindet sich mit 0.254 €/kWh im Mittelfeld (Abbildung 1).

---

<sup>1</sup> ETH Zurich, Climate Finance and Policy Group, Clausiusstrasse 37, 8092 Zürich, Schweiz; Tel: +41 44 633 85 45; E-Mail bjarne.steffen@gess.ethz.ch, www.cfp.ethz.ch

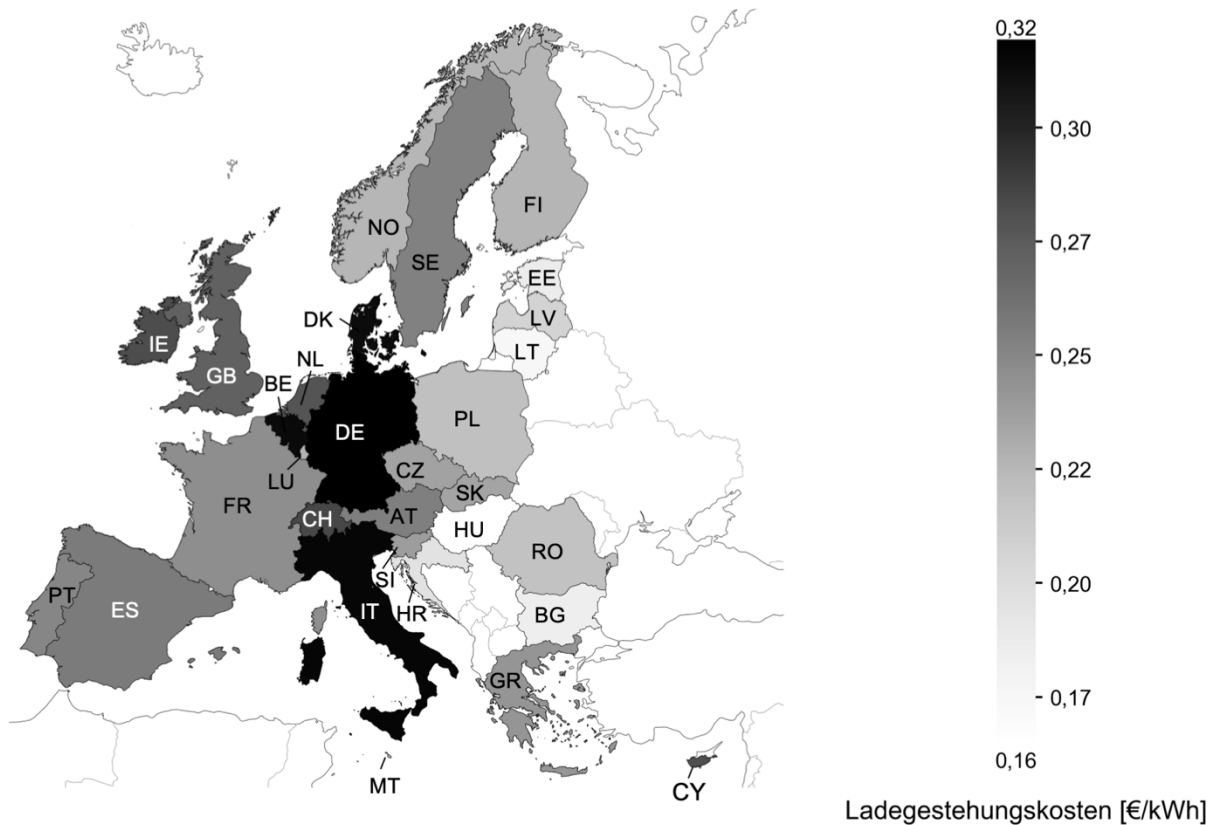


Abbildung 1: Nationale Ladekosten in €/kWh geladene Energie bei durchschnittlichem Ladeverhalten

Wenn die beobachtete Varianz bei den nationalen LCOC in die 13 Ladeoptionen und deren Kostenbestandteile aufgeschlüsselt werden, ergeben sich weitere Erkenntnisse. Einerseits zeigen die Ergebnisse, dass die Kostenunterschiede innerhalb der Länder ebenfalls groß sind: Sie reichen von günstigem Laden an herkömmlichen Steckdosen zu erheblich teureren DC-Schnellladestationen. Andererseits weisen die verschiedenen Länder auch sehr unterschiedliche Rangfolgen und relative Kostendifferenzen zwischen den Ladeoptionen auf. Dies kommt daher, dass sich die relevantesten Kostentreiber stark unterscheiden. Während die LCOC im Europäischen Durchschnitt jeweils etwa zur Hälfte aus Infrastruktur (44-49 %) und Stromkosten (51-56 %) stammen, sind die Anteile insbesondere von Installationskosten oder verschiedener Stromtarifkomponenten sehr heterogen. Daraus ergeben sich sehr unterschiedliche politische Hebel, die im Detail analysiert werden.

In Summe unterstreichen die Ergebnisse, dass Ladekosten je nach Land und Nutzerverhalten sehr unterschiedlich attraktiv sind im Vergleich zu konventionellen Treibstoffen – mit wichtigen Politikimplikationen auf europäischer und nationaler Ebene.

## Literatur

- [1] European Alternative Fuel Observatory (EAFO), "AF Market Share New Registrations M1 Electricity (2020)," 2021. <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/m1#>
- [2] G. Wu, A. Inderbitzin and C. Bening, "Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments," *Energy Policy*, vol. 80, pp. 196-214, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.004>
- [3] M. Beuse, B. Steffen, T.S. Schmidt, "Projecting the Competition between Energy-Storage Technologies in the Electricity Sector," *Joule*, vol. 4, no. 10, pp. 2162-2184, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.017>
- [4] W. Li, R. Long, C. Hong and G. Jichao, "A review of factors influencing consumer intentions to adopt battery electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, pp. 318-328, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.076>
- [5] B. Borlaug, S. Salisbury, M. Gerdes, M. Muratori, "Levelized Cost of Charging Electric Vehicles in the United States," *Joule*, vol. 4, pp. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.05.013>