
NETZ- UND MARKTSEITIGE MODELLIERUNG DER AUSWIRKUNGEN DER ELEKTROMOBILITÄT AUF DIE HAUSHALTSSTROMPREISE IN DEUTSCHLAND

Matthias Kühnbach, Judith Stute, Till Gnann, Martin Wietschel, Simon Marwitz,
Marian Klobasa

Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung ISI



IEWT 2019, Wien, 13. – 15. Februar 2019

Agenda

1. Motivation
2. Forschungsfragen und Ziele
3. Methodik
4. Modellergebnisse
 1. Szenarioaufbau
 2. Ergebnisse
5. Ausblick

Motivation

- **Dekarbonisierung und Energiewende sind in vollem Gange**

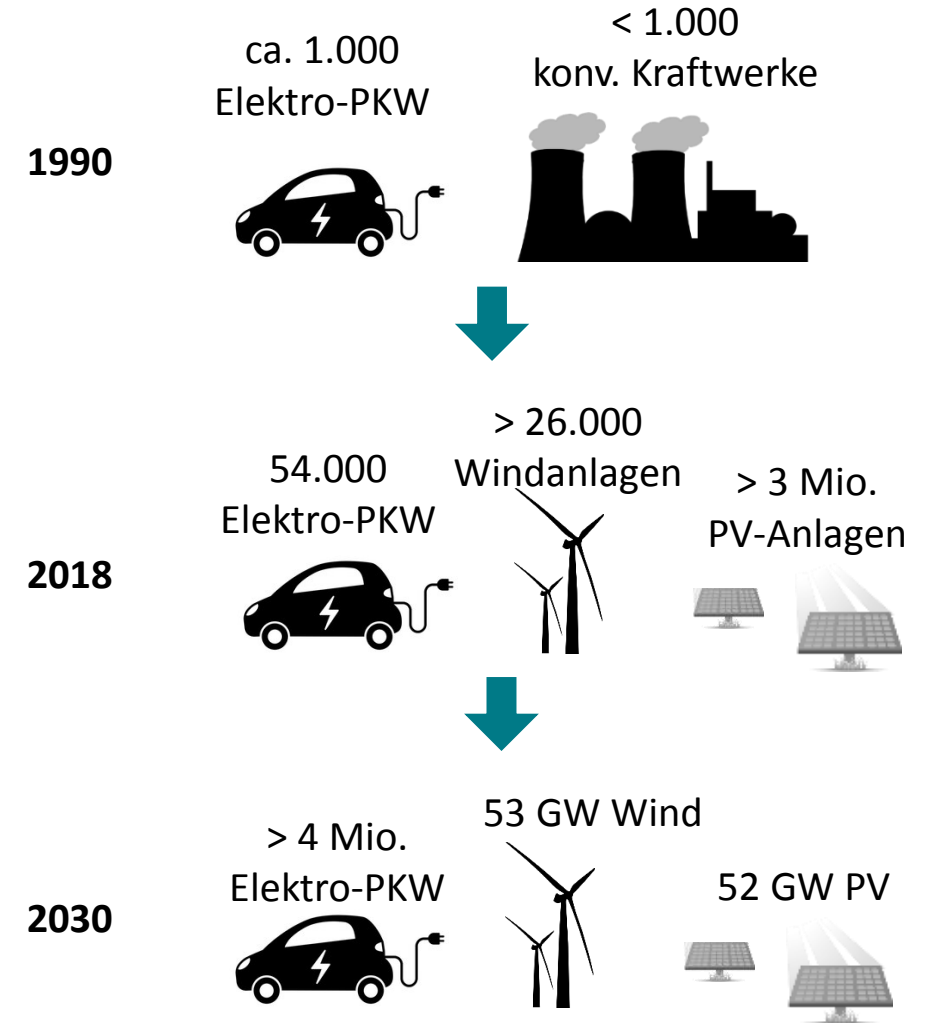
- Ausbau Erneuerbarer Energien im Strom bzw. Energiesektor
- Sektorkopplung

- **Verkehrswende**

- Substitution konventioneller Kraftstoffe
- Diffusion unterschiedlicher Antriebe (BEV, PEV, H2)

- **Herausforderungen der Elektrifizierung des Verkehrs**

- Akzeptanz und Ladeinfrastruktur?
- Implikationen für die Stromerzeugung?
- Belastungen für die Verteilnetze und daraus resultierender Netzausbaubedarf sowie steigende Netzentgelte?



➤ **Auswirkungen der privaten Elektromobilität auf die Haushaltsstrompreise in Deutschland**

- Wie wirkt sich die Diffusion von privaten Elektrofahrzeugen auf die Stromerzeugung bzw. die Stromgestehungskosten aus?
- Bedingt der Ladevorgang privater Elektrofahrzeuge Netzausbaubedarf in Niederspannungnetzen und resultiert daraus eine Erhöhung der Netzentgelte?
- Welchen Einfluss haben unterschiedliche Ladeleistungen sowie das gesteuerte Laden von Elektrofahrzeugen auf diese Aspekte?

Methodisches Vorgehen und Modellkopplung

Modellcluster

ALADIN

Methodik

Markthochlauf von Elektrofahrzeugen

- Bottom-up Simulation der Marktdiffusion verschiedener Elektrofahrzeuge
- Agentenbasierte Simulation des Ladevorgangs von BEV (basierend auf ~250.000 Fahrprofilen)
- Differenzierung von Nutzergruppen (private, gewerbliche Fahrzeuge) und Lademöglichkeiten (zu Hause, am Arbeitsplatz, öffentlich)

Ergebnisse

- Marktdiffusion von Elektrofahrzeugen
- Lastkurven für verschiedene Diffusionsszenarien bei unkontrolliertem Laden (15-minütige Auflösung)

eLOAD

Methodik

Simulation mit eingebetteter Optimierung

- Kostenminimierung geeigneter Prozesse und Anwendungen aus Verbraucherperspektive
- Gemischt-ganzzahlige Optimierung der prozessbedingten Stromnachfrage
- Simulation von Demand Response durch Nutzung unterschiedlicher Preisanreize

Ergebnisse

- Stündlich aufgelöste Systemlast vor/nach Lastmanagementeinsetzung
- Aggregiertes Profil aller Elektrofahrzeuge vor/nach Demand Response

Modellcluster

MiPU

Methodik

Ermittlung der stündlichen Stromgestehungskosten

- Kraftwerksscharfe Simulation der stündlichen Merit Order
- Berechnung des Gleichgewichtspreises unter Berücksichtigung von Brennstoffkosten, Zertifikatspreisen, Anfahrzeiten, Ausfallwahrscheinlichkeiten

Ergebnisse

- Stromgestehungskosten in stündlicher Auflösung
- Kraftwerkseinsatz und korrespondierende CO₂-Emissionen

FlexGOLD

Methodik

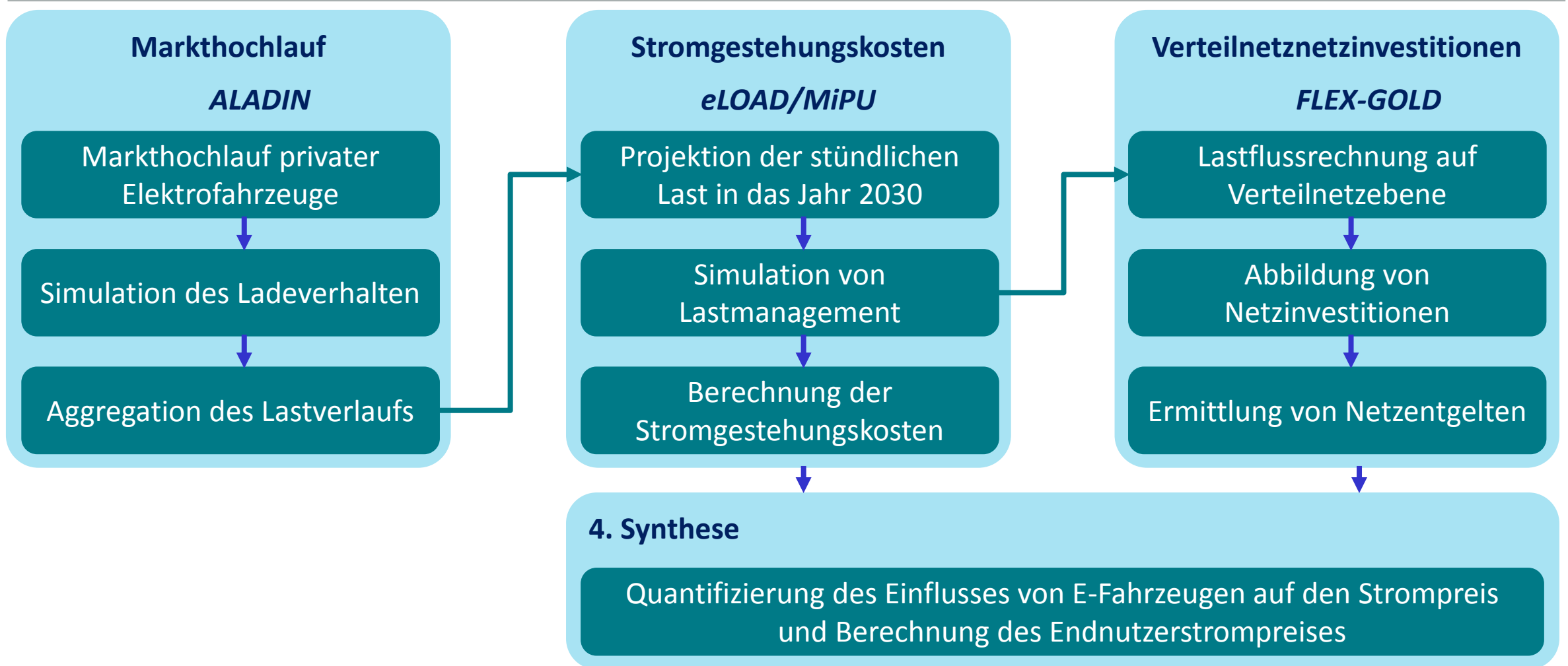
Simulation des Verteilnetzes

- Lastflussrechnung im Niederspannungsnetz
- Berechnung von Netzinvestitionen durch einen Netzausbaualgorithmus

Ergebnisse

- Netzbelastung
- Netzausbaubedarf und –Kosten
- Resultierende Netzentgelte

Methodisches Vorgehen und Modellkopplung



Studienaufbau und Ergebnisse

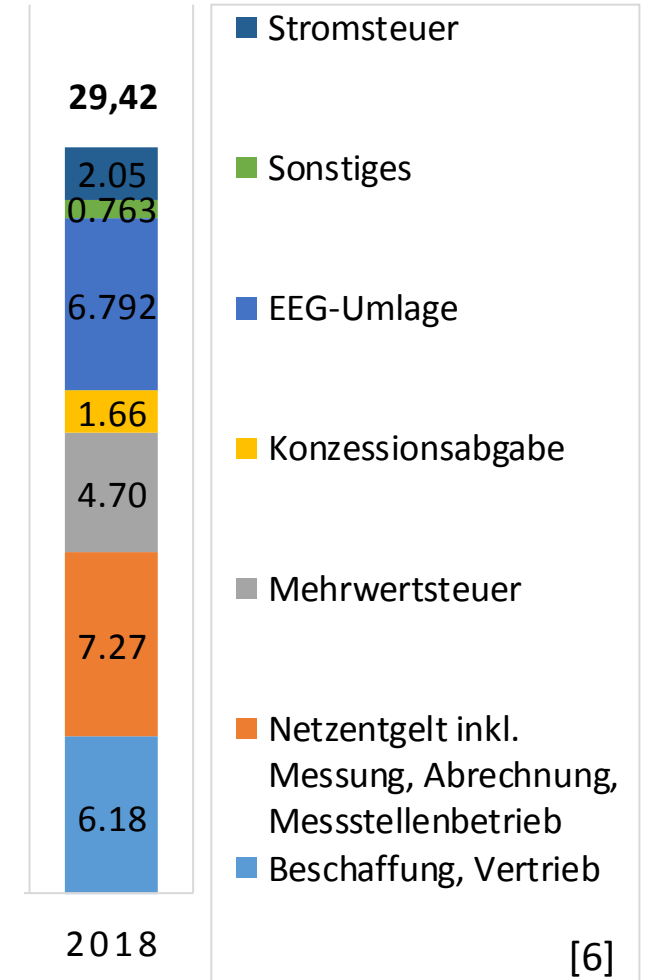
Studienaufbau

Gesamtstromsystem (ALADIN, eLOAD, MiPU)

- Betrachtetes Jahr: 2030
- Laden zuhause und am Arbeitsplatz simuliert
- Optimiersignal für Lastmanagement: Residuallast
- Ladeleistung: 3,7 kW, 11 kW, 22 kW
- Szenariorahmen: [2]
 - Gesamtstromnachfrage: 446,4 TWh
 - EE-Anteil 2030: 55 %

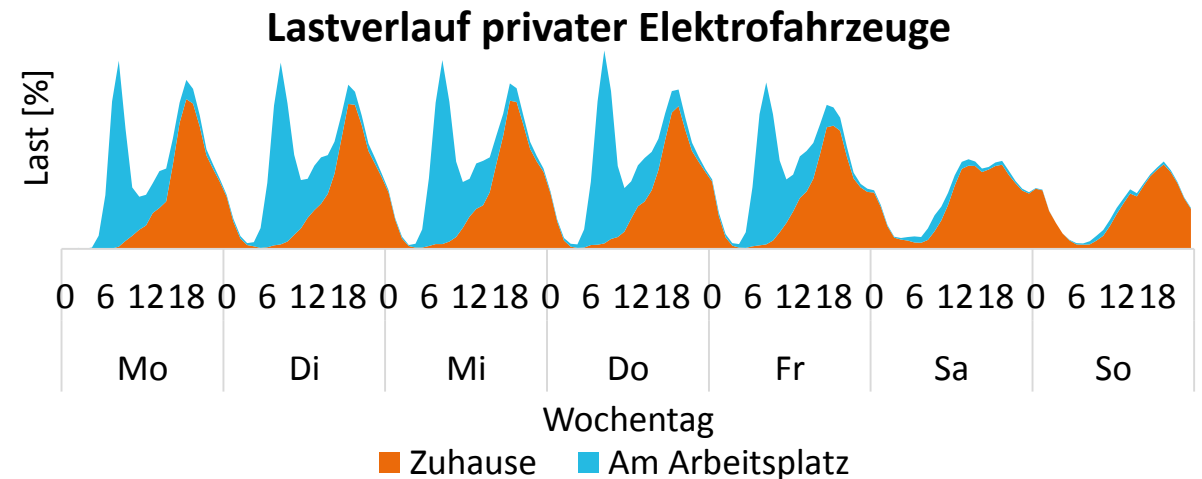
Verteilnetz (FlexGOLD)

- Vorstädtisches 400-V-Niederspannungsnetz
- Fahrzeugdurchdringung: 5% - 30% (Gleichzeitigkeitsfaktor 30% - 70%)
- Stromnachfrage:
 - Haushalt: 5.000 kWh p.a. [5]
 - Elektrofahrzeuge: 2.300 kWh p.a.
- Stromangebot: 60 kWp PV



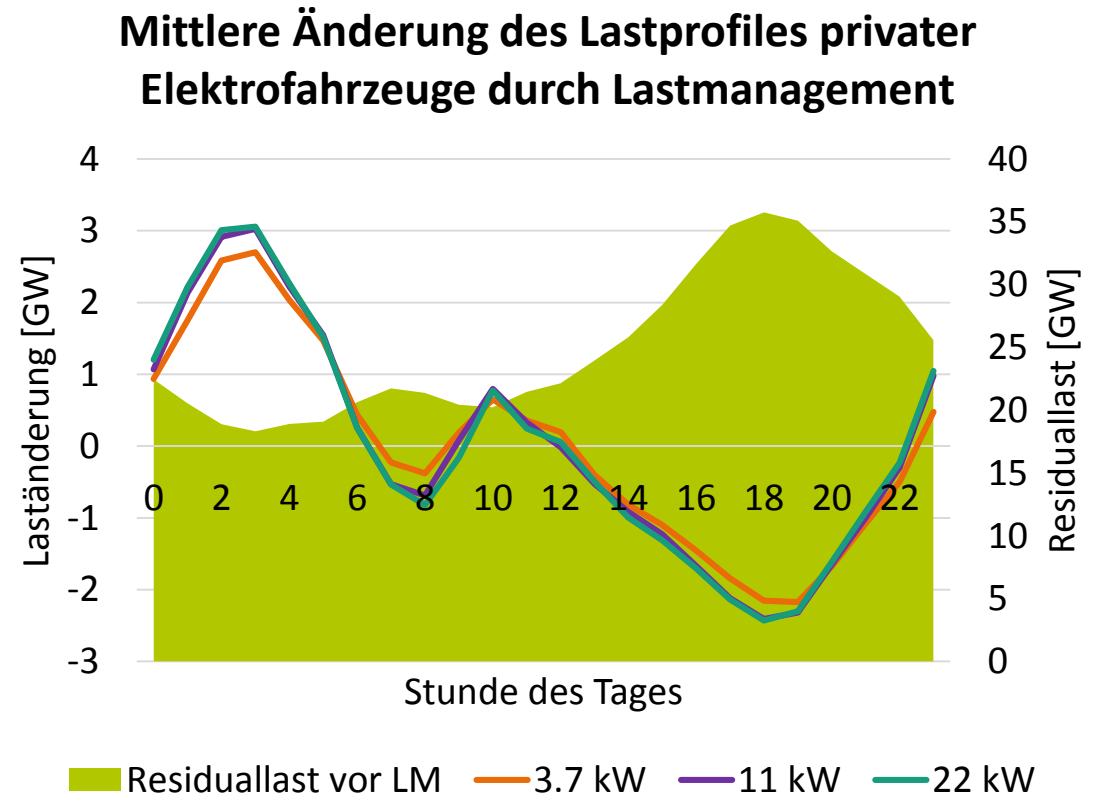
Ergebnisse – Lastverlauf von privaten Elektrofahrzeugen und Auswirkungen auf die Systemlast

- Durchdringung: ca. 4 Mio. Elektrofahrzeuge (Stromnachfrage: 11,6 TWh, ca. 10% des Fahrzeugbestandes)
- An Wochentagen starke Lastspitze am Abend
- Flacher Lastverlauf am Wochenende (Ladevorgang wird über den Tag verteilt)
- Aggregiert nur geringe Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Ladeleistungen bzgl. Lastverlauf
- Anstieg der Stromnachfrage um 2,7 %
- Steigende Systemlastspitze am Abend



Ergebnisse – Auswirkungen von Lastmanagement

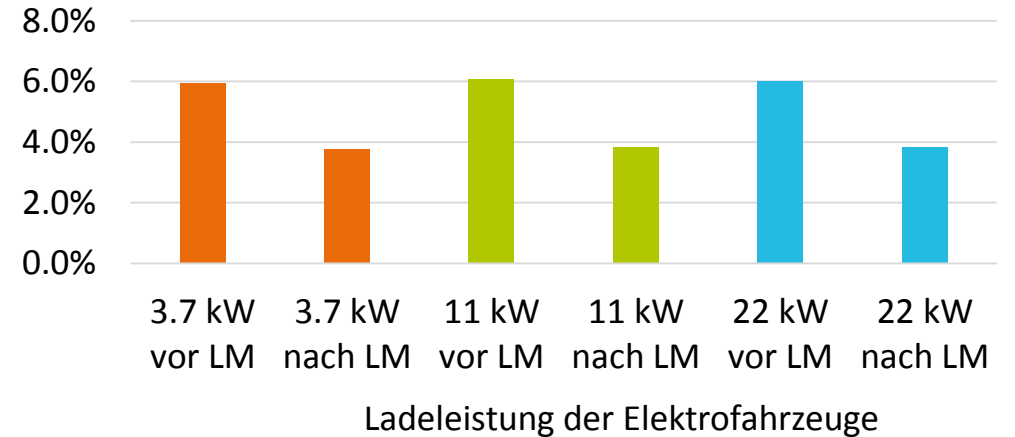
- Negative Laständerung in den Morgen- und Abendstunden
- Verschiebung großer Lastanteile in die Zeit zwischen 23 und 5 Uhr
- Mit steigender Ladeleistung stärkere Konzentration der Verschiebung auf einzelne Stunden
- Verringerung von Residuallastspitzen um bis zu 2 GW



Ergebnisse – Einfluss von Elektrofahrzeugen auf Stromerzeugung und Stromgestehungskosten

- Grenzkosten der Stromgestehung erhöhen sich überproportional zur Erhöhung der Gesamtstromnachfrage
- Lastmanagement senkt zusätzliche Kosten & reduziert CO₂-Emissionen trotz Erhöhung der Volllaststunden von Braunkohle

Steigerung der Grenzkosten der Stromerzeugung (mengenbewichtet)



Steigerung der Stromerzeugung (vor Lastmanagement)



Ergebnisse – Einfluss von Elektrofahrzeugen auf Netzentgelte in einem vorstädtischen Niederspannungsnetz

Zwei Effekte auf die spezifischen Netzentgelte:

- **Anstieg** durch Netzausbau/Netzinvestitionen aufgrund von höheren Lastspitzen im Netz durch Elektrofahrzeuge
- **Reduktion** durch höhere Netzauslastung aufgrund von Elektrofahrzeugen im Netz

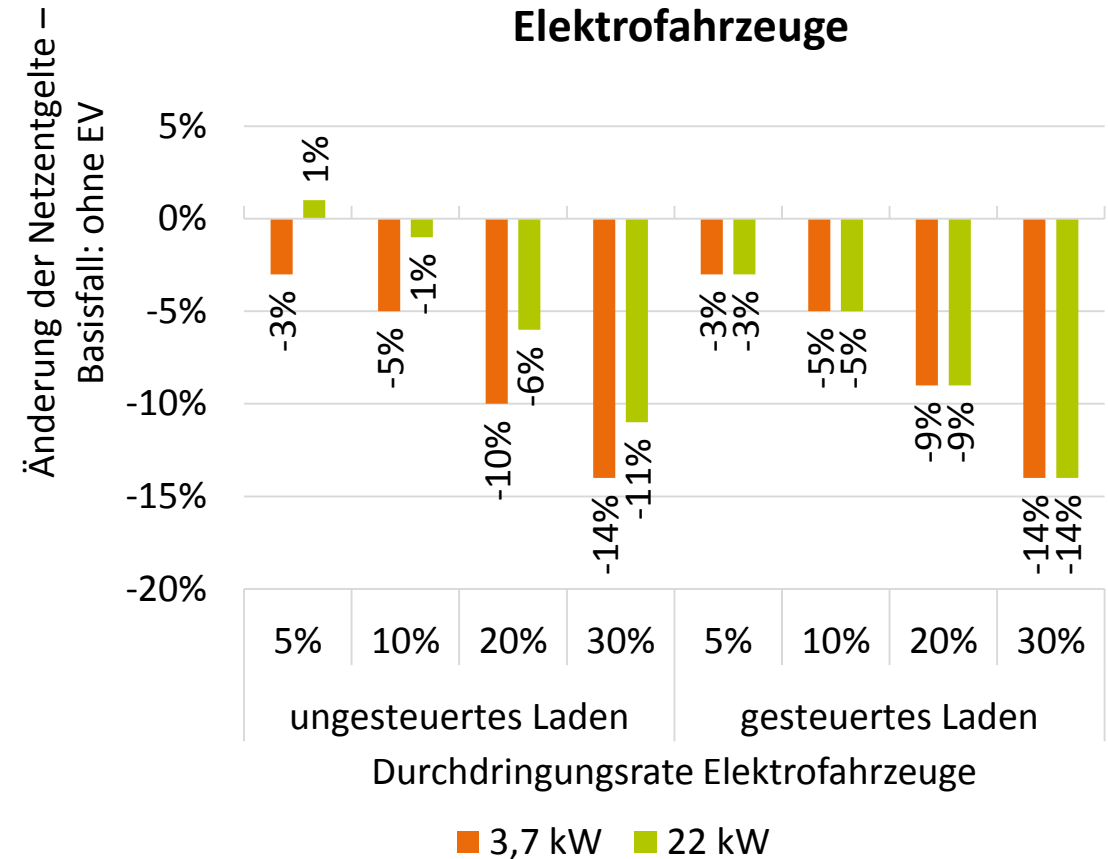
Gesteuertes Laden: kein Netzausbau nötig

- Netzentgelt-reduzierender Effekt

Ungesteuertes Laden: Netzausbau ab 11 kW

- bei 5 % EV-Durchdringung überwiegt Netzentgelt-anhebender Effekt durch Investitionen
- ab 10 % EV-Durchdringung überwiegt Netzentgelt-reduzierender Effekt

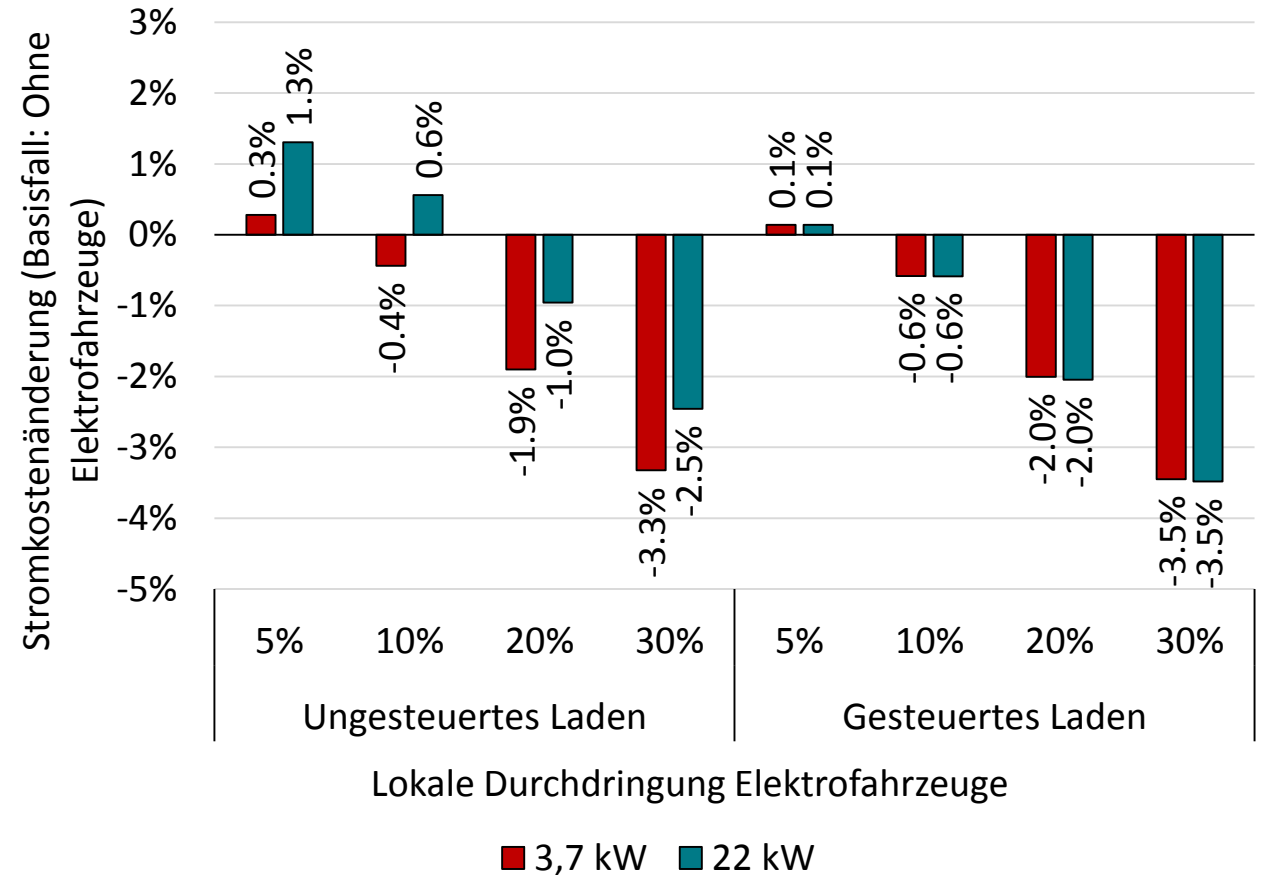
Änderung der spezifischen Netzentgelte durch Elektrofahrzeuge



Gesamtbetrachtung

- Steigende Stromgestehungskosten werden durch sinkende Netzentgelte überkompensiert
- Relevante Netzinvestitionen fallen im untersuchten Netzgebiet nur an, wenn ungesteuertes Laden und hohe Ladeleistung zusammen anfallen
- Gesamteffekt kann zu einer Senkung der spezifischen Netzentgelte um bis zu 4% führen
- Marktdienliches (zentrales) Lastmanagement führt zu netzdienlichem Verhalten von Elektrofahrzeugen

Änderung der Strompreise für Haushaltskunden



Ausblick

- Betrachtung der Effekte von Elektrofahrzeugen in anderen Netztopologien
- Betrachtung der Auswirkungen der Integration weiterer Flexibilitätsoptionen
- Untersuchung von Anreizinstrumenten für gesteuertes Laden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Matthias Kühnbach

Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe, Germany

+49 721 6809-147

matthias.kuehnbach@isi.fraunhofer.de

Fördervermerk

Diese Veröffentlichung wurde vom deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) innerhalb des Projekts „Flexible Nachfrage als wichtiger Beitrag zur Energiewende und Baustein in der Energiesystemanalyse – EnSYS-FlexA“ gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

References

- [1] Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI: EnSYS-FlexA. Online verfügbar unter https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/energietechnologien-energiesysteme/projekte/317799_ensys-flexa.html, zuletzt geprüft am 11.02.2019.
- [2] Kraftfahrt-Bundesamt Deutschland (2019): Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2018. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html, zuletzt geprüft am 09.02.2019.
- [3] Pfluger, Benjamin; Tersteegen, Bernd; Franke, Bernd; Bernath, Christiane; Boßmann, Tobias; Deac, Gerda et al. (2017): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Modul 3: Referenzszenario und Basisszenario: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/berichtsmodul-3-referenzszenario-und-basisszenario.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 21.01.2018.
- [4] Shutterstock: Abbildung Elektroauto. Online verfügbar unter <https://www.shutterstock.com/de/image-vector/electric-car-electrical-charging-cable-icon-710269837>, zuletzt geprüft am 11.02.2018
- [5] Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2008): VDI 4655:2008-05 Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen. Hg. v. Beuth Verlag.
- [6] BDEW (2018): Strompreisanalyse Mai 2018 für Haushalte und Industrie. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. Download vom 09.06.2018: https://www.bdew.de/media/documents/1805018_BDEW-Strompreisanalyse-Mai-2018.pdf.