

# **Potenziale von Stellplätzen an Wohn- und Nicht- wohngebäuden zur Bereitstellung privater Ladeinfrastruktur**

Studie des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE & des  
Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI

Im Auftrag von Transport & Environment Deutschland

---

Ort: Freiburg / Karlsruhe

Datum: 15. Februar 2024

## Impressum

---

# Potenziale von Stellplätzen für private Ladeinfrastruktur

### Projektleitung

**Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE**

Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg  
Dr. Matthias Kühnbach, [matthias.kuehnbach@ise.fraunhofer.de](mailto:matthias.kuehnbach@ise.fraunhofer.de)

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI**

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe  
Dr. Patrick Plötz, [patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de](mailto:patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de)

### Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Matthias Kühnbach, [matthias.kuehnbach@ise.fraunhofer.de](mailto:matthias.kuehnbach@ise.fraunhofer.de); Patrick Plötz, [patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de](mailto:patrick.ploetz@isi.fraunhofer.de); Annegret Stephan, [annegret.stephan@isi.fraunhofer.de](mailto:annegret.stephan@isi.fraunhofer.de); Janis Kähler, [janis.kaehler@ise.fraunhofer.de](mailto:janis.kaehler@ise.fraunhofer.de); Arne Surmann, [arne.surmann@ise.fraunhofer.de](mailto:arne.surmann@ise.fraunhofer.de); Wolfgang Biener, [wolfgang.biener@ise.fraunhofer.de](mailto:wolfgang.biener@ise.fraunhofer.de); Robert John, [robert.john@ise.fraunhofer.de](mailto:robert.john@ise.fraunhofer.de)

### Verfasst im Auftrag von

**Transport & Environment Deutschland**

Stresemannstraße 72, 10963 Berlin

### Zitierempfehlung

Kühnbach, M.; Plötz, P.; Stephan, A.; Kähler, J.; Surmann, A.; Biener, W.; John, R. (2024): Potenziale von Stellplätzen an Wohn- und Nichtwohngebäuden zur Bereitstellung privater Ladeinfrastruktur. Freiburg, Karlsruhe. Fraunhofer ISE, Fraunhofer ISI.

### Veröffentlicht

Februar 2024

### Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autor\*innen gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der Auftraggeberin wider.

## Inhaltsverzeichnis

---

Zusammenfassung .....	5
Executive Summary .....	7
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Rechtliche Rahmenbedingungen.....</b>	<b>11</b>
2.1 GEIG und EPBD.....	11
2.2 Weitere relevante Regelwerke .....	14
<b>3 Aktuelle und zukünftige Entwicklung Elektromobilität und Ladeorte .....</b>	<b>16</b>
3.1 Markthochlauf Elektrofahrzeuge.....	16
3.2 Private Nutzer*innen in Mehrparteienhäusern.....	17
3.3 Ladepunkte in Mehrparteienhäusern aufgrund des GEIG .....	20
3.4 Laden am Arbeitsplatz .....	21
3.5 Nichtwohngebäude .....	22
<b>4 Auswirkungen auf Gebäudeebene und Verteilnetze .....</b>	<b>24</b>
4.1 Simulation von Fahr- und Ladeprofilen.....	24
4.2 Auslastung von Ladeinfrastruktur und Auswirkungen auf Gebäudeebene .....	25
4.2.1 Ladeinfrastrukturbedarf im Mehrparteienhaus .....	25
4.2.2 Ladeinfrastrukturbedarf im Bürogebäude .....	26
4.2.3 Flexibilität und Bedarf an Energiemanagement .....	28
4.3 Netzauswirkungen .....	29
4.3.1 Simulation Fallstudien.....	31
4.3.2 Potenziale durch gesteuertes (uni- und bidirektionales) Laden.....	33
4.4 Kostenbetrachtung für Ladeinfrastruktur in Mehrparteienhäusern.....	35
4.5 Abschätzung auf Deutschlandebene.....	37
<b>5 Synthese .....</b>	<b>39</b>
Literaturverzeichnis .....	43

## Abkürzungsverzeichnis

---

AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation
BEV	Batterieelektrische Fahrzeuge
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPBD	Energy performance of buildings directive
GEIG	Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz
LSV	Ladesäulenverordnung
PHEV	Plug-in Hybrid
PAngV	Preisangabenverordnung
WEG	Wohnungseigentumsgesetz

## Zusammenfassung

---

Die zunehmende Diffusion von Elektrofahrzeugen führt in Mehrparteienhäusern und Nichtwohngebäuden heute und verstärkt in naher Zukunft zu einem wachsenden Bedarf an Ladeinfrastruktur. Der Ausbau von Ladeinfrastruktur ist hier – im Vergleich zu anderen Gebäudekategorien, z. B. Einfamilienhäusern – mit zusätzlichen Herausforderungen verbunden: Einerseits sind potenzielle Investor\*innen in Ladeinfrastruktur in vielen Fällen nicht unmittelbar diejenigen, die von der Ladeinfrastruktur profitieren, weshalb oftmals nur geringe Anreize für eine Investition gegeben sind. Andererseits erhöhen speziell in Bestandsgebäuden auch technische Restriktionen wie eine veraltete Hauselektrik oder ein begrenzter Netzanschluss die Komplexität der Installation von Ladeinfrastruktur.

Die vorliegende Studie „Potenziale von Stellplätzen an Wohn- und Nichtwohngebäuden zur Bereitstellung privater Ladeinfrastruktur“ adressiert dieses Spannungsfeld. Zentrales Ziel der Studie ist es, die Auslastung von Ladeinfrastruktur an Gebäuden und mögliche resultierende Netzbelastungen wissenschaftlich zu untersuchen und daraus den Bedarf an Ladeinfrastruktur in Deutschland für das Jahr 2030 abzuschätzen. Daraus sollen Anforderungen an den zukünftigen regulatorischen Rahmen abgeleitet werden. Im Fokus der Untersuchung stehen Mehrparteienhäuser und Nichtwohngebäude im Bestand. Inhaltlich wurde die Untersuchung in vier Teilaspekte gegliedert:

- Anforderungsanalyse zum regulatorischen Rahmen zur Installation von Ladeinfrastruktur
- Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfs in Mehrparteien- und Nichtwohngebäuden
- Analyse der Netzauswirkungen des Ladens von Elektrofahrzeugen
- Quantifizierung der zukünftigen Entwicklung von Elektrofahrzeugen und Allokation der Ladorte

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Aussagen für den Ladeinfrastrukturbedarf an Mehrparteienhäusern und Nichtwohngebäuden.

### **Mehrparteienhäuser:**

- Für **20 % der Elektrofahrzeuge an Mehrparteienhäusern** ist ein Ladepunkt notwendig, um die **Minimalanforderungen** an eine Energieversorgung der Fahrzeuge zu gewährleisten
- Dies setzt voraus, dass 1) die Ladeinfrastruktur allen Elektrofahrzeugen zugänglich ist, 2) Fahrzeuge den Ladepunkt nach Beendigung des Ladevorgangs freigeben, 3) Elektrofahrzeuge homogen über alle Gebäude hinweg verteilt sind, es also nicht zu Ballungen an einzelnen Gebäuden kommt. Da diese Voraussetzungen in der Regel nicht gegeben sind, stellen sie eine untere Grenze für den Ladeinfrastrukturbedarf dar. **Somit ist mehr Ladeinfrastruktur notwendig, um zu gewährleisten, dass die tatsächlichen Ladebedarfe in Mehrparteienhäusern gedeckt werden.**

### **Nichtwohngebäude:**

- Für **10 % der Elektrofahrzeuge an Nichtwohngebäuden** ist ein Ladepunkt notwendig, um die **Minimalanforderungen** an eine Energieversorgung der Fahrzeuge zu gewährleisten
- Dies setzt voraus, dass 1) genügend Infrastruktur andernorts zur Verfügung steht und nur 30 % der Ladevorgänge bei der Arbeit stattfinden, 2) Fahrzeuge den Ladepunkt nach Beendigung des Ladevorgangs freigeben, 3) das Elektrofahrzeugaufkommen über die Sektoren hinweg gleichverteilt an Nichtwohngebäuden aufkommen. Da diese Anforderungen als unrealistisch gesehen werden, ist zur Ladebedarfsdeckung **mehr Ladeinfrastruktur notwendig.**

- Eine **Verlagerung von Ladevorgängen von Mehrparteienhäusern hin zu Nichtwohngebäuden** kann den Ladeinfrastrukturbedarf an Mehrparteienhäusern reduzieren. Dafür wird jedoch ein größeres Infrastrukturangebot notwendig.

**Regulatorisch wird der Ausbau der Ladeinfrastruktur an Gebäuden (insbesondere Mehrparteien- und Nichtwohngebäude) vorrangig durch das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) geregelt.** Der Abschluss der Novellierung der EU-Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden (EPBD) initiiert eine Überarbeitung des GEIGs, diese ist bereits durch die Bundesregierung angekündigt.

Da eine **gesetzliche Verpflichtung zur Installation von Ladeinfrastruktur** oder Vorverkabelung sowohl im GEIG als auch in der novellierten und im Vergleich zum GEIG ambitionierter ausgestalteten EPBD **nur im Falle einer Renovierung oder bei Neubauten** zum Tragen kommt, **werden weniger als eine Million vorbereitete Stellplätze durch Neubau und GEIG in Mehrparteienhäusern geschaffen. 4,8 Mio. Stellplätze bleiben aufgrund ausbleibender Renovierungen unberührt.**

Es bleibt daher definitiv eine Infrastrukturlücke zwischen den Anforderungen des GEIG bzw. der EPBD und dem Bedarf von Elektrofahrzeugen in Mehrparteienhäusern. Eine **ambitionierte Ausgestaltung des zukünftigen GEIG kann diese Lücke aber verringern** und diesen Nutzer\*innengruppen die Nutzung von Elektrofahrzeugen deutlich erleichtern. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass die Ausstattung der ca. eine Million **Stellplätze mit Ladeinfrastruktur nicht automatisch mit der tatsächlichen Standortverbreitung der Elektrofahrzeuge korreliert.** Das heißt, auch bei einer ambitionierten Ausgestaltung einer GEIG-Novelle in Bezug auf Mehrparteienhäusern müssen **weitere Stellplätze an Nichtwohngebäuden** wie Bürogebäuden, Parkhäusern oder Supermärkten geschaffen werden, **damit Nutzer\*innen ohne eigenen Stellplatz leicht bei der Arbeit, dem Einkaufen oder der Freizeit laden können.**

## Executive Summary

---

The increasing diffusion of electric vehicles results in a growing need for charging infrastructure in apartment blocks and non-residential buildings, now and even more so in the near future. Compared to other building categories, e.g., single-family homes, the expansion of charging infrastructure here is associated with additional challenges: On the one hand, in many cases, the potential investors in charging infrastructure are not those benefitting directly from it, which is why there are often few incentives to invest. On the other hand and especially in existing buildings, technical restrictions such as outdated building electrics or a limited grid connection make it more difficult to install charging infrastructure.

This study "Potentials of parking spaces in residential and non-residential buildings for the provision of private charging infrastructure" addresses this conflict. The main aim of the study is to scientifically investigate the utilization of charging infrastructure in buildings and the resulting potential network loads and, based on this, to estimate the demand for charging infrastructure in Germany for the year 2030. Requirements for the future regulatory framework are to be derived from this. The study focuses on existing apartment and non-residential buildings and covers four sub-aspects:

- Requirement analysis of the regulatory framework for the installation of charging infrastructure
- Determining the demand for charging infrastructure in apartment and non-residential buildings
- Analyzing the grid impact of charging electric vehicles
- Quantifying the future development of electric vehicles and allocating charging locations

The following summarises the results of this study regarding the charging infrastructure requirements for apartment blocks and non-residential buildings.

### Apartment blocks:

- A charging point is required for **20% of electric vehicles in apartment buildings** to guarantee the **minimum energy supply requirements** for the vehicles.
- This assumes that 1) charging infrastructure is accessible to all electric vehicles, 2) vehicles free up the charging point after charging, 3) electric vehicles are distributed homogeneously across all buildings, i.e., they are not clustered at individual buildings. As these conditions are not usually met, they represent a lower limit of the demand for charging infrastructure. This implies that **more charging infrastructure is needed to ensure that the actual demand for charging is met in apartment buildings.**

### Non-residential buildings:

- A charging point is required for **10% of electric vehicles in non-residential buildings** to guarantee the minimum energy supply requirements for the vehicles.
- This assumes that 1) sufficient infrastructure is available elsewhere and only 30 % of charging takes place at work, 2) vehicles free up the charging point after charging, 3) electric vehicles are evenly distributed across the sectors at non-residential buildings. As these requirements are regarded as unrealistic, **more charging infrastructure is needed** to meet the actual demand for charging.

- A **shift in charging from apartment blocks to non-residential buildings** could reduce the need for charging infrastructure in apartment blocks. However, this would require a larger supply of infrastructure.

From a **regulatory perspective, the expansion of charging infrastructure in buildings** (especially apartment blocks and non-residential buildings) is primarily regulated by the Building Electric Mobility Infrastructure Act (GEIG). The finalization of the amendment to the EU Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) will trigger a revision of the GEIG, which has already been announced by the German government.

As there is only a **legal obligation to install charging infrastructure** or pre-cabling **when renovating existing buildings or building new ones** in the GEIG as well as in the amended EPBD, which is more ambitious than the GEIG, **fewer than one million parking spaces equipped for charging EVs will be created through new builds and GEIG in apartment buildings. 4.8 million parking spaces remain untouched due to missing renovations.**

There is therefore a definite infrastructure gap between the requirements of the GEIG and the EPBD and the requirements of electric vehicle users in apartment blocks. **An ambitious design of the future GEIG could reduce this gap** and make it much easier for these user groups to use electric vehicles. At the same time, it should be borne in mind that equipping around one million **parking spaces with charging infrastructure does not automatically correlate with the actual location distribution of electric vehicles.** This means that, even if the GEIG amendment were ambitiously designed regarding apartment buildings, **additional parking spaces must still be created at non-residential buildings** such as office buildings, multi-storey car parks or supermarkets so that **users with no access to private parking can easily charge at work, while shopping or during their leisure time.**



# 1 Einleitung

---

Die deutsche Bundesregierung strebt an, die Zahl der Batterieelektrischen Pkw (engl. *Battery electric vehicle* – BEV) in Deutschland bis zum Jahr 2030 auf 15 Mio. zu erhöhen. Dies setzt ein enormes Marktwachstum voraus. Indes ist die Nutzung von Elektrofahrzeugen angesichts eines Anteils von <3 % des Bestands (Kraftfahrt-Bundesamt 2023) zum aktuellen Zeitpunkt noch immer auf technik- und innovationsaffine Nutzer\*innen beschränkt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit über einen Stellplatz sowie eine eigene Lademöglichkeit verfügen (Scherrer et al. 2019). Um die Nutzung von Elektrofahrzeugen auch für die Mehrheit der Gesellschaft zu ermöglichen, ist (neben der Verfügbarkeit geeigneter Fahrzeuge) insbesondere die Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur am Wohnort von hoher Relevanz. Dies begründet sich dadurch, dass – je nach Studie – aktuell zwischen 50 % und 80 % aller Ladevorgänge zuhause durchgeführt werden (Preuß et al. 2021). Große Herausforderungen bestehen hierbei vor allem in Mehrparteienhäusern – diese umfassen rund 21 Mio. Wohnungen, was ca. 54 % aller Wohnungen entspricht (Zensus Datenbank 2011) – sowie in den ca. 21 Mio. Nichtwohngebäuden in Deutschland. Beide stellen zugleich einen wesentlichen Hebel für den Markthochlauf und die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen dar.

Für den Ausbau von Ladeinfrastruktur in Mehrparteienhäusern und Nichtwohngebäuden im Bestand bestehen zwei wesentlichen Herausforderungen:

- 1) Anreize für Investitionen in Ladeinfrastruktur: Besitzer\*innen größerer Wohn- und Nichtwohngebäude sind dazu verpflichtet, Leitungsinfrastruktur<sup>1</sup> für Ladepunkte zu errichten. Diese Verpflichtung ist jedoch an die Renovierung des Gebäudes geknüpft. Somit stellt sich die Frage, in welchem Umfang der regulatorische Rahmen Ladeinfrastrukturausbau fordert und fördert. Gleichzeitig ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt unklar, ob die verpflichtend zu errichtende Ladeinfrastruktur den zukünftigen Ladebedarf an Bestandsgebäuden decken kann.
- 2) Verfügbare Netzkapazität: Während das Laden von Elektrofahrzeugen in vorstädtischen, von Einfamilienhäusern geprägten Niederspannungsnetzen in der Regel kurz- und mittelfristig keinen hohen Netzausbaubedarf verursachen wird (Kühnbach et al. 2020), ist in Mehrparteienhäusern und Nichtwohngebäuden zumindest teilweise mit zahlreichen parallelen Ladevorgängen und somit mit insgesamt hohen Ladeleistungen und in der Folge hohen Netzbelastungen zu rechnen.

Die zentralen Ziele der vorliegenden Studie sind, die Auslastung von Ladeinfrastruktur an Gebäuden und in der Folge mögliche Netzbelastungen wissenschaftlich zu untersuchen und daraus den Bedarf an Ladeinfrastruktur abzuschätzen. Im Fokus der Untersuchung stehen Mehrparteienhäuser und Nichtwohngebäude im Bestand. Aus der Analyse werden Stellschrauben für den zukünftigen regulatorischen Rahmen, insbesondere das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG), abgeleitet und sortiert. Die Studie adressiert die folgenden Fragestellungen:

- Welche zukünftigen Anforderungen an Mehrparteienhäuser und Nichtwohngebäude ergeben sich aus dem Markthochlauf der Elektromobilität? Welcher Anteil an Ladepunkten ist in Mehrparteienhäusern notwendig zur Deckung des zukünftigen Ladebedarfs?

---

<sup>1</sup> „Leitungsinfrastruktur“ bezeichnet gemäß §2 GEIG die Gesamtheit aller Leitungsführungen zur Aufnahme von elektro- und datentechnischen Leitungen in Gebäuden oder im räumlichen Zusammenhang von Gebäuden vom Stellplatz über den Zählpunkt eines Anschlussnutzers bis zu den Schutzelementen

- Welches Ladeinfrastruktur-Potenzial steht bezogen auf Deutschland an den untersuchten Gebäuden zur Verfügung, inwiefern deckt sich dies mit dem Ladeinfrastrukturbedarf?
- Das GEIG sowie die EU-Gebäuderichtlinie (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) setzen den regulatorischen Rahmen für die Errichtung von Ladeinfrastruktur – sowohl im Eigentum als auch in Mietimmobilien. Welcher Anteil der zukünftig notwendigen Ladepunkte wird hierbei durch das GEIG adressiert und abgedeckt? Inwiefern adressiert dies den tatsächlichen Bedarf? Welche Anforderungen an eine Anpassung des GEIG ergeben sich durch die Novellierung der Europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden? Deckt sich der Bedarf mit den Anforderungen der novellierten EPBD?
- Welche Verteilnetzauswirkungen sind durch das Laden von Elektrofahrzeugen in Mehrparteienhäusern zu erwarten? In welchem Umfang kann eine intelligente Steuerung der Ladevorgänge Netzbelastungen reduzieren?

Abschnitt 2 gibt eine Übersicht über den aktuellen regulatorischen Rahmen. Abschnitt 3 quantifiziert die Verteilung von Elektrofahrzeugen auf unterschiedliche Ladeorte für das Jahr 2030. Auf dieser Basis wird in Abschnitt 4 der Ladeinfrastrukturbedarf aus Sicht von Bewohner\*innen und Verteilnetz analysiert. Zuletzt werden daraus resultierende Schlussfolgerungen gezogen (Abschnitt 5).

## 2 Rechtliche Rahmenbedingungen

---

Dieser Abschnitt fasst die relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen für Ladeinfrastruktur an Gebäuden, d. h. sowohl Wohn- also auch Nichtwohngebäude, in Deutschland zusammen. Der Fokus liegt auf dem Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) und der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy performance of buildings directive, EPBD); weitere Regelwerke mit Bezug zum Ausbau der Ladeinfrastruktur werden kurz vorgestellt.

Für die vorliegende Studie sind einige Begriffe wichtig, wir geben hier der Vollständigkeit halber die Begriffsbestimmungen gemäß §2 GEIG wieder:

- "Stellplatz" ist eine Fläche, die dem Abstellen eines Kraftfahrzeugs außerhalb der öffentlichen Verkehrsflächen dient, wobei Ausstellungs-, Verkaufs-, Werk- und Lagerräume für Kraftfahrzeuge keine Stellplätze sind,
- "Parkplatz" eine zusammenhängende Fläche, die aus mehreren Stellplätzen besteht,
- "Wohngebäude" ein Gebäude, das nach seiner Zweckbestimmung überwiegend dem Wohnen dient, einschließlich Wohn-, Alten- und Pflegeheimen sowie ähnlicher Einrichtungen.
- "Nichtwohngebäude" ein Gebäude, das kein Wohngebäude ist.
- „Ladeinfrastruktur“ bezeichnet die Summe aller elektrotechnischen Verbindungen, Mess-, Steuer- und Regelungseinrichtungen, einschließlich Überstrom- und Überspannungsschutzeinrichtungen, die zur Installation, zum Betrieb und zur Steuerung von Ladepunkten für die Elektromobilität notwendig sind.
- „Ladepunkt“ bezeichnet eine Einrichtung, die zum Aufladen von Elektrofahrzeugen geeignet und bestimmt ist und an der zur gleichen Zeit nur ein Elektrofahrzeug aufgeladen werden kann.
- „Leitungsinfrastruktur“ bezeichnet die Gesamtheit aller Leitungsführungen zur Aufnahme von elektro- und datentechnischen Leitungen in Gebäuden oder im räumlichen Zusammenhang von Gebäuden vom Stellplatz über den Zählpunkt eines Anschlussnutzers bis zu den Schutzelementen.

### 2.1 GEIG und EPBD

Das GEIG setzt seit März 2021 eine Vorgabe aus der EU-Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden (EPBD) zum Ausbau der Leitungs- und Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität um und regelt derzeit in Deutschland den Ausbau der Ladeinfrastruktur an Wohn- und Nichtwohngebäuden. Der Fokus liegt dabei auf Gebäuden mit einer erhöhten Anzahl Stellplätzen, sodass insbesondere Mehrparteienhäuser und Nichtwohngebäude betroffen sind. Ziele des GEIGs sind sowohl die Beschleunigung des Ausbaus der Leitungs- und Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität als auch die Bezahlbarkeit des Bauens und Wohnens. Zwar beinhaltet das deutsche Recht (GEIG) schon strengere Vorgaben als die derzeit geltende EPBD (überobligatorische Umsetzung), jedoch wird eine Novellierung der EPBD erwartet, welche über die heute geltenden Vorgaben des GEIG hinausgeht. Derzeit haben sich der EU-Ministerrat und das EU-Parlament auf einen Vorschlag bzgl. der Novelle des EPBD geeinigt (Council of the European Union 2023), welche dann in nationales Recht umzusetzen wäre bzw. das nationale Recht auch deutlich ambitionierter gestaltet werden könnte (siehe auch Maßnahme 53 im Masterplan Ladeinfrastruktur II (Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV))).

Das GEIG sieht vor, dass bei der Errichtung neuer Gebäude oder bei größeren Renovierungen von Bestandsgebäuden ein gewisser Anteil der Stellplätze<sup>2</sup> mit Leitungs- und Ladepunkten auszustatten ist. Unterschieden wird im GEIG zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden und zwischen Neubauten und Bestand—letzteres mit und ohne größere Renovierungen<sup>3</sup>. Gemäß GEIG muss bei neuen Wohngebäuden mit mindestens 5 Stellplätzen jeder Stellplatz mit Leitungsinfrastruktur ausgestattet werden, bei Bestandsgebäuden mit größeren Renovierungen trifft dies bei größeren Wohngebäuden auf Gebäude mit mehr als 10 Stellplätzen zu. Bei neuen Nichtwohngebäuden mit mehr als 6 Stellplätzen muss jeder dritte Stellplatz mit Leitungsinfrastruktur ausgestattet und mindestens ein Ladepunkt errichtet werden. Bei größeren Renovierungen von Nichtwohngebäuden mit mehr als 10 Stellplätzen muss jeder 5. Stellplatz mit Leitungsinfrastruktur ausgestattet und mindestens ein Ladepunkt errichtet werden. Bei bestehenden Nichtwohngebäuden mit mehr als 20 Stellplätzen muss der Eigentümer unabhängig von einer Renovierung dafür sorgen, dass nach dem 1.1.2025 ein Ladepunkt (pro Gebäude) errichtet wird. Gemischt genutzte Gebäude werden je nach Hauptnutzungszweck zugeordnet; Quartierslösungen sind möglich. Ausnahmen von der Umsetzung bestehen beispielsweise für selbst genutztes Eigentum von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMUs), bei relativ hohen Kosten für Lade- und Leitungsinfrastruktur bei Renovierungen (>7 % der Gesamtkosten der größeren Renovierung) und für öffentliche Gebäude, für die bereits vergleichbare Anforderungen gelten. Das GEIG enthält bisher keine Vorgaben zum intelligenten oder bidirektionalen Laden.

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich der Vorgaben des GEIGs und den zu erwarteten Vorgaben der novellierten EPBD gemäß der vorläufigen Einigung (Council of the European Union 2023). Für den Ausbau der Ladeinfrastruktur an Gebäuden ist insbesondere Artikel 12 (Infrastruktur für nachhaltige Mobilität) der EPBD relevant. Die Vorgaben der EPBD gehen über die derzeit geltenden Vorgaben des GEIGs hinaus. Die novellierte EPBD unterscheidet zwischen der Ausstattung mit Leitungsinfrastruktur (d. h. Schutzrohre für Elektrokabel) und der Vorverkabelung. So müssen im Bereich der Wohngebäude bei Neubauten sowie im Bestand bei größeren Renovierungen Gebäude mit mehr als drei Stellplätzen mindestens 50 % der Stellplätze mit Vorverkabelung, die restlichen Stellplätze mit Leistungsinfrastruktur ausgestattet sowie mindestens ein Ladepunkt errichtet werden. Für Bestands-Wohngebäude ohne größere Renovierungen müssen die Mitgliedsstaaten gemäß der Verbreitung von Elektrofahrzeugen im jeweiligen Land Förderprogramme für die Installation von Ladeinfrastruktur bereitstellen; konkretere Vorgaben existieren nicht. Für Nichtwohngebäude (neu oder Bestand mit größerer Renovierung) mit mehr als 5 Stellplätzen müssen mindestens 50 % der Stellplätze mit Vorverkabelung, die restlichen Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur ausgestattet und mindestens ein Ladepunkt errichtet werden. Für Bürogebäude (neu oder Bestand mit größerer Renovierung) muss mindestens ein Ladepunkt je 2 Stellplätzen errichtet werden. Unabhängig von einer Renovierung müssen bei Nichtwohngebäuden mit mehr als 20 Stellplätzen ab dem 1.1.2027<sup>4</sup> Ladepunkte für mindestens 10 % der Stellplätze oder Leitungsinfrastruktur für mindestens 50 % der Stellplätze errichtet werden. Nichtwohngebäude, welche sich im Eigentum von öffentlichen Einrichtungen befinden oder von diesen genutzt werden, benötigen zudem eine Vorverkabelung von mindestens 50 % der Stellplätze ab 1.1.2033. Die Mitgliedsstaaten können beschließen, die Umsetzung dieser Vorgaben für kürzlich erst renovierte Nichtwohngebäude bis zum 1.1.2029 aufzuschieben. Für Bestands-Nichtwohngebäude mit weniger als 20 Stellplätzen gelten keine konkreten Vorgaben. Ausnahmen von den Vorgaben existieren beispielsweise für Situationen, in denen durch den Ausbau

---

<sup>2</sup> Die Stellplätze (Auto) müssen eine physische oder technische Verbindung zum Gebäude aufweisen, denselben Eigentümer wie das Gebäude haben und überwiegend von Bewohner\*innen oder Nutzer\*innen des Gebäudes genutzt werden.

<sup>3</sup> Größere Renovierung bedeutet, dass mindestens 25 Prozent der Gebäudehülle einer Renovierung unterzogen werden.

<sup>4</sup> Verschiebung ist auf den 1.1.2029 möglich, wenn das Gebäude zwei Jahre vor Inkrafttreten der EPBD renoviert wurde.

der Ladeinfrastruktur die Netzstabilität bedroht oder die Kosten für die Lade- und Leitungsinstallationen min. 10 % der Gesamtkosten der Renovierung übersteigen. Des Weiteren müssen die Mitgliedsstaaten Maßnahmen zur Umsetzungsunterstützung für die Installation von Ladepunkten in neuen und Bestandsgebäuden bereitstellen und regulatorische Hürden abbauen. Dies bezieht sich insbesondere auf Eigentümergeinschaften und Mietverhältnisse. Zudem beinhaltet der Vorschlag Vorgaben bzgl. intelligentem (obligatorisch) und bidirektionalem (optional) Laden sowie Anforderungen an die zu verwendende Protokolle und Standards unter Einhaltung der Alternative Fuel Infrastructure Regulation (AFIR).

**Tabelle 1: Anforderungen an Ladeinfrastrukturausbau durch GEIG & EPBD-Novelle (Auszug)**

Die Vorgaben der EPBD entsprechen der vorläufigen Einigung zwischen Europäischem Parlament und EU-Ministerrat.

\*Verzögerungen für kürzlich renovierte Gebäude möglich

	<b>Wohngebäude</b>	<b>Nichtwohngebäude</b>
<b>Neu- bau</b>	<p>GEIG: &gt;5 Stellplätze: Ausstattung jedes Stellplatzes mit Leitungsinfrastruktur</p> <p>EPBD: &gt;3 Stellplätze: Ausstattung von min. 50 % d. Stellplätze mit Vorverkabelung, restl. Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur + Errichtung min. ein Ladepunkt</p>	<p>GEIG: &gt;6 Stellplätze: Ausstattung min. jedes 3. Stellplatzes mit Leitungsinfrastruktur + Errichtung min. ein Ladepunkt</p> <p>EPBD: &gt;5 Stellplätze: Ausstattung von min. 50 % d. Stellplätze mit Vorverkabelung, restl. Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur + Errichtung min. ein Ladepunkt je 5 Stellplätze (Bürogebäude: Ausstattung mit min. einem Ladepunkt je 2 Stellplätze)</p>
<b>Be- stand</b>	<p><b>Bei größerer Renovierung</b></p> <p>GEIG: &gt;10 Stellplätze: Ausstattung jedes Stellplatzes mit Leitungsinfrastruktur</p> <p>EPBD: &gt;3 Stellplätze: Ausstattung von min. 50 % d. Stellplätze mit Vorverkabelung, restl. Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur</p> <p><b>Unabhängig von Renovierung</b></p>	<p><b>Bei größerer Renovierung</b></p> <p>GEIG: &gt;10 Stellplätze: Ausstattung min. jedes 5. Stellplatzes mit Leitungsinfrastruktur + Errichtung min. ein Ladepunkt</p> <p>EPBD: &gt;5 Stellplätze: Ausstattung von min. 50 % d. Stellplätze mit Vorverkabelung, restl. Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur + Errichtung min. ein Ladepunkt je 5 Stellplätze (Bürogebäude: Ausstattung mit min. einem Ladepunkt je 2 Stellplätze)</p> <p><b>Unabhängig von Renovierung</b></p> <p>GEIG: &gt;20 Stellplätze: Errichtung min. 1 Ladepunkt ab 01.01.2025</p>
	<p>EPBD: Mitgliedsstaaten müssen Förderprogramme gem. Verbreitung Elektrofahrzeuge liefern</p>	<p>EPBD: &gt; 20 Stellplätze: Errichtung Ladepunkte für 10 % d. Stellplätze oder Leitungsinfrastruktur für 50 % d. Stellplätze bis 01.01.2027*, für öffentliche oder öffentlich genutzte Gebäude zusätzlich Vorverkabelung für 50 % d. Stellplätze bis 01.01.2033*</p>

Quelle: Eigene Darstellung

## 2.2 Weitere relevante Regelwerke

Neben dem GEIG und der EPBD besitzen weitere Regelwerke Bezug zum Ausbau der Ladeinfrastruktur an Gebäuden, welche im Folgenden kurz aufgeführt werden. Hier sind u.a. das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), insbesondere §14a, die Ladesäulenverordnung (LSV) bzw. die Alternative Fuel Infrastructure Regulation (AFIR) und das Mietrecht nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch BGB zu nennen.

Eine hohe Relevanz für die zukünftige Integration von Elektrofahrzeugen und die technische Ausgestaltung der Ladeinfrastruktur sowie mögliche Netzbelastungen hat die kürzlich beschlossene Ausgestaltung von §14a EnWG. §14a EnWG bezieht sich auf die netzorientierte Steuerung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen, z. B. privaten Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge. Ende November 2023 hat die Bundesnetzagentur nach einer zweiten Konsultationsrunde die Ausgestaltung von §14a des EnWGs festgelegt (BNetzA 2023), er gilt ab dem 01.01.2024 (für Bestandsanlagen und Netzbetreiber gelten Übergangsregelungen): Der Anschluss von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen darf nicht mehr aufgrund möglicher Netzengpässe durch den Netzbetreiber verweigert werden und der Netzbetreiber darf bei drohender Beschädigung oder Überlastung des Netzes die Ladeleistung temporär auf bis zu 4,2 kW senken. Vollständige Abschaltungen sind nicht zulässig. Für die netzorientierte Steuerung sollen die Betreiber der steuerbaren Verbrauchseinrichtungen ein reduziertes Netzentgelt zahlen, ab 2025 soll auch ein variables Netzentgelt möglich sein. Der Betreiber kann für das reduzierte Netzentgelt zwischen verschiedenen Varianten (Modulen) wählen, welche unterschiedliche technische Voraussetzungen, z. B. teilweise einen separaten Zählpunkt, erfordern. Mit Hilfe dieser Ausgestaltung soll eine sichere und zügige Integration von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen wie Elektrofahrzeugen ermöglicht werden.

Auch die Ladesäulenverordnung LSV bzw. ab Frühjahr 2024 die Alternative Fuel Infrastructure Regulation (EU-Verordnung, Anwendung ab dem 14.3.2024) besitzen Relevanz für Ladeinfrastruktur an Gebäuden, z. B. bzgl. der Verwendung von Standards. Auch wenn der Fokus der Regelwerke auf öffentlichem Laden liegt, können hiervon öffentlich zugängliche Ladepunkte, z. B. am Arbeitsplatz, betroffen sein. Die LSV bzw. AFIR umfassen u. a. Regelungen bzgl. des Bezahlsystems und der zulässigen Tarife sowie der technischen Anforderungen (siehe auch Preisangabenverordnung PAngV) und gelten auch für öffentlich-zugängliche private Ladepunkte (z. B. beim Arbeitgeber).

Des Weiteren haben auch das BGB (insb. §544) und das Wohnungseigentumsgesetz (WEG) Relevanz für den Ausbau von Ladeinfrastruktur. Hier sind insbesondere Bewohner\*innen, Besitzer\*innen und Verwalter\*innen von Mehrparteienhäusern und Eigentümergemeinschaften betroffen und damit insbesondere Mehrparteienhäuser mit Tiefgaragen. Mieter\*innen und Eigentümer\*innen in Eigentümergemeinschaften haben das Recht auf eine heimische Lademöglichkeit (§ 20 WEG). Mieter\*innen steht gemäß §554 BGB ein Erlaubnis- und Duldungsanspruch gegen einen\*r Vermieter\*in zu, um bauliche Veränderungen zum Laden von Elektrofahrzeugen auf eigene Kosten zu verlangen. In der Praxis verzögern oder verhindern jedoch vermeintlich hohe Kosten, umfangreiche Baumaßnahmen sowie der notwendige Beschluss (§ 20 Abs. 1 WEG) der i. d. R. nur jährlich tagenden Eigentümersammlung den Ausbau. Die Errichtung von Ladeinfrastruktur auf Stellplätzen einer Wohnungseigentümergeinschaft durch eine\*n Mieter\*in bedarf der Zustimmung der Wohnungseigentümergeinschaft, die in der Praxis häufig mit Bezug auf Zumutbarkeit der baulichen Maßnahme oder Versicherungsschutz verweigert wird. Eine proaktive und ganzheitliche Planung der Ladeinfrastruktur von Mehrparteienhäusern und Eigentümergemeinschaften kann den Prozess deutlich beschleunigen und die Kosten senken. Dazu gehört insbesondere die Bedarfsanalyse unter Berücksichtigung der Vorgaben des GEIG sowie die Berücksichtigung von Lastmanagement. Ein verpflichtender Nachweis, ähnlich dem Energieausweis für Gebäude, kann eine entsprechende Planung dokumentieren und die Grundlage für den Infrastrukturaufbau ohne Einzelzustimmung sein. Entsprechende Rahmenbedingungen können beispielsweise im GEIG verankert werden.

Zusätzlich zu den genannten Regelwerken können weitere spezifische Vorgaben, wie die Einhaltung von Stellplatzschlüsseln im Zusammenhang mit Mieterstrom oder im Falle von Wohnungsbaugenossenschaften steuerrechtliche Vorgaben sowie die über mehrere Ministerien verteilten Zuständigkeiten Hürden für den Ausbau privater Ladeinfrastruktur darstellen. Diese Hürden sind im Einzelfall zu prüfen, stellen aber nicht Fokus des vorliegenden Berichts dar.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Ausbau der Ladeinfrastruktur an Gebäuden (insb. Mehrparteienhäuser und Nichtwohngebäude) vorrangig durch das GEIG geregelt wird. Der Abschluss der Novellierung der EPBD auf europäischer Ebene initiiert eine **Überarbeitung des GEIGs** (bereits durch die Bundesregierung angekündigt). **Jedoch stellt sich die Frage, ob die zu erwarteten Vorgaben auf EU-Ebene ausreichend sind, um den geplanten Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland umzusetzen.** Hierfür ist einerseits die Anzahl der Gebäude einzugrenzen, die vom GEIG angesprochen werden. Zum anderen ist eine **Bedarfsanalyse** unter Berücksichtigung der Vorgaben und Anpassungen des GEIGs sowie von Lastmanagement erforderlich.

Darüber hinaus besitzen weitere Regelwerke Bezug zum Ausbau der Ladeinfrastruktur, welche gegebenenfalls in der anstehenden Novelle des GEIG berücksichtigt werden sollten. Auch kann das GEIG für die Sicherung eines langfristigen und einfachen Zugangs zu Ladeinfrastruktur ambitionierter ausgestaltet werden.

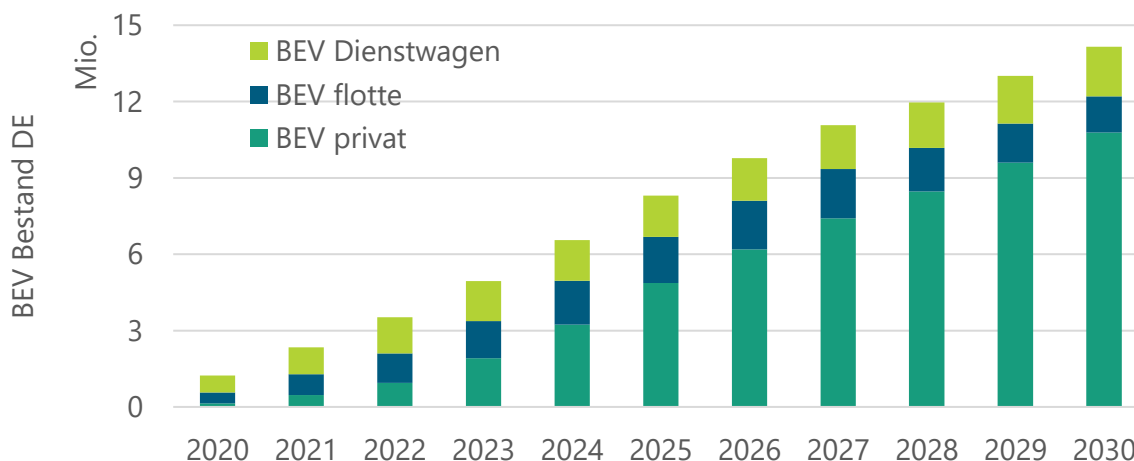
### 3 Aktuelle und zukünftige Entwicklung Elektromobilität und Ladeorte

Im vorliegenden Abschnitt werden Rahmendaten für die Bedarfe an und Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten an Stellplätzen vorgestellt. Zum einen wird ein MarkthochlaufszENARIO vorgestellt, das aufzeigt, wie sich der zukünftige Bestand von BEV auf private Halter\*innen, Dienstwagen und Flotten verteilen kann. Zum anderen wird ausgewertet, wie viele Stellplätze aufgrund des GEIG bis 2030 zum Laden von Elektrofahrzeugen zur Verfügung stehen könnten.

#### 3.1 Markthochlauf Elektrofahrzeuge

Die Abschätzung der Ladebedarfe für 15 Mio. BEVs im Bestand 2030 oder gegebenenfalls später, erfordert eine Aufteilung des Bestandes auf verschiedene Nutzer\*innengruppen. Hierfür verwenden wir ein bereits veröffentlichtes Szenario von (Gnann et al. 2022). Der Markthochlauf von Elektrofahrzeugen bis 2030 ist dabei in der nachstehenden Abbildung 1 gezeigt. Der Großteil der BEV entfällt dabei im Bestand auf rein private Fahrzeuge, gefolgt von Dienstwagen und Flottenfahrzeugen. Im Szenario werden fast 15 Mio. BEV erreicht, für die vorliegende Studie werden die Zahlen auf 15 Mio. skaliert. Auf Basis dieses Szenarios gehen wir im Folgenden von einem Szenario mit 11,4 Mio. privaten BEV, 2,1 Dienstwagen-BEV sowie 1,5 BEV in reiner Flottennutzung aus.

**Abbildung 1: Möglicher Markthochlauf von BEV in Deutschland bis 2030 nach Nutzer\*innengruppen**

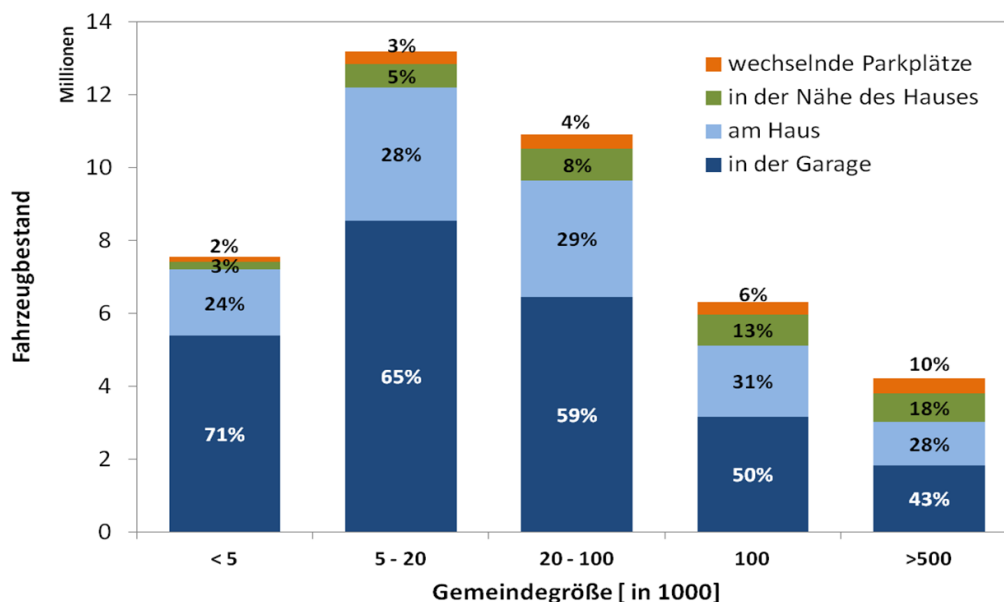


Quelle: (Gnann et al. 2022)

Aus verschiedenen Erhebungen ist klar, dass heute und in den kommenden Jahren eine große Zahl von Pkw insgesamt aber insbesondere BEV in einer Garage oder auf einem privaten Stellplatz direkt am Haus stehen werden, an dem ein Stromanschluss bereits vorhanden ist oder relativ leicht zu installieren wäre. Folgende Abbildung zeigt, wo heute private Pkw im Allgemeinen in der Regel über Nacht abgestellt werden. Es zeigt sich, dass bundesweit circa 65 % der privaten Pkw in der Regel in einer Garage abgestellt werden. Selbst in Großstädten mit über 100.000 Einwohner\*innen sind es noch fast 50 %. Hierbei ist zu beachten, dass in kleineren Gemeinden (bis maximal 100.000 Einwohner) absolut und relativ mehr private Pkw besessen werden als in Großstädten.



**Abbildung 2: Parkorte von Pkw in Deutschland nach Gemeindegröße**



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus MiD 2002. Die Kategorie "unbekannt / keine Angabe" (< 1 Prozent) nicht dargestellt.

Bei den heutigen Besitzer\*innen von BEV ist der Anteil mit eigener Garage noch höher. So fanden (Scherrer et al. 2019) bei einer Befragung von 432 Erstnutzer\*innen von Elektro-Pkw, dass 79 % einen eigenen festen Stellplatz / Carport / eigene Garage auf dem Wohngrundstück hatten sowie 5 % einen eigenen Stellplatz / Carport / eigene Garage auf einem anderen Grundstück. Nur 10 % der Befragten, d. h. der heutigen BEV-Nutzer\*innen, hatten keinen eigenen Parkplatz und 5 % hatten "Ein[en] Platz in einer Tiefgarage / Parkhaus mit mehreren Autos verschiedener Besitzer." In 85 % der Fälle gehörte der Stellplatz dem/der Befragten.

(Anderson et al. 2022) haben Ende 2020 insgesamt 2400 BEV- und Plug-in Hybrid (PHEV)-Nutzer\*innen befragt (Stichprobe repräsentativ nach Geschlecht und Segment des Kraftfahrbundesamtes). Es zeigte sich, dass nur 18 % der befragten Haushalte in einem Gebäude mit mehr als zwei Parteien leben, so dass 82 % in Einfamilienhäusern oder Doppelhaushälften leben. Dort haben sie sehr wahrscheinlich relativ einfach die Möglichkeit Ladeinfrastruktur zu installieren.

Zusammenfassend verfügen heutige Besitzer\*innen von BEV zu ca. 80 % über eine einfache private Lademöglichkeit, aber der Anteil an BEV, die nicht direkt in der eigenen Garage oder am eigenen Haus stehen, wird in den kommenden Jahren steigen, wodurch der Anteil von BEV mit privater Lademöglichkeit in den Jahren nach 2030 (wenn BEV mehr als ein Drittel des Pkw-Bestandes ausmachen werden) auf ca. 65 % absinkt (entspricht der Gesamtmenge aller Pkw, vgl. Abbildung 2).

### 3.2 Private Nutzer\*innen in Mehrparteienhäusern

Das GEIG und die novellierte EPBD versuchen insbesondere für die zukünftigen Nutzer\*innen von BEV einfache Lademöglichkeiten an Stellplätzen in Mehrparteienhäusern vorzubereiten. Bei den Wohngebäuden betrifft dies gemäß GEIG und EPBD (siehe auch Abschnitt 2.1:

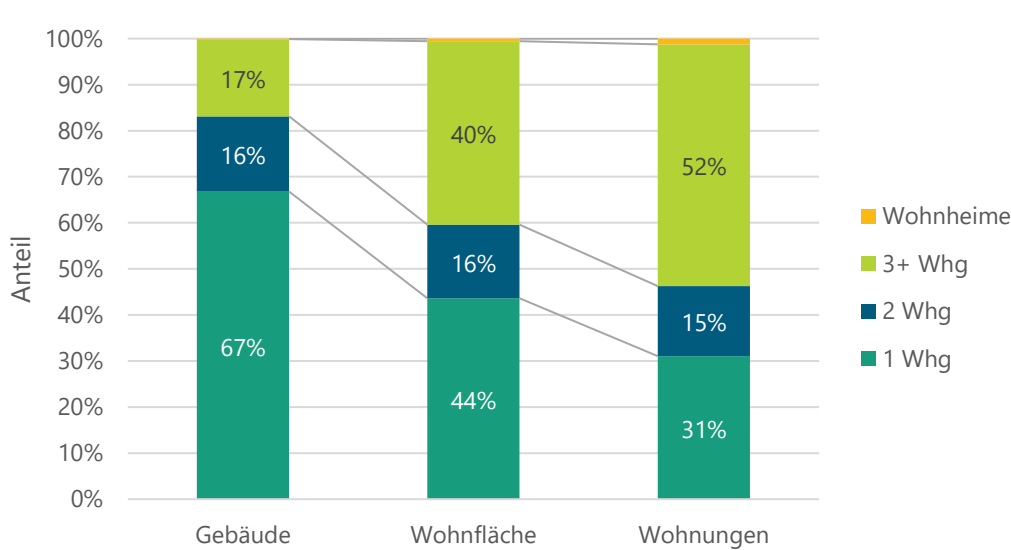
- Im Neubau:
  - Nach GEIG: Wohngebäude mit >5 Stellplätzen (Ausstattung jedes Stellplatzes mit Leitungsinfrastruktur)

- Nach EPBD: Wohngebäude mit >3 Stellplätze (Ausstattung 50 % der Stellplätze mit Vorverkabelung, restl. Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur und Errichtung min. eines Ladepunktes)
- Im Bestand bei größerer Renovierung:
  - Nach GEIG: Wohngebäude > 10 Stellplätze: Ausstattung jedes Stellplatzes mit Leitungsinfrastruktur
  - Nach EPBD: Wohngebäude mit >3 Stellplätze: Ausstattung 50 % der Stellplätze mit Vorverkabelung, restl. Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur

Es sind also Wohngebäude mit mindestens vier Stellplätzen nach EPBD und mit mindestens 6 Stellplätzen nach GEIG relevant. Im vorliegenden Abschnitt werden der Bestand und die Anzahl der Stellplätze in diesen Mehrparteienhäusern aufgearbeitet.

Nachstehende Abbildung zeigt den Anteil von 1-, 2-, und 3-oder-mehr-Wohngebäuden an den 19,4 Mio. Wohngebäuden, 3,8 Mrd. m<sup>2</sup> Wohnfläche und 41,7 Mio. Wohnungen in Deutschland. Wohnheime sind als Kategorie auch aufgeführt, spielen aber nur eine geringe Rolle unter den Wohngebäuden und Zahl der Wohnungen.

**Abbildung 3: Verteilung von Wohngebäuden, Wohnflächen und Wohnungen auf Gebäudetypen in Deutschland**



Quelle: (Statistisches Bundesamt 2021)

Nachstehende Tabelle zeigt zudem in höherer Auflösung den Anteil von Wohngebäuden mit 3 – 6 Wohnungen, 7 – 12 Wohnungen oder mehr als 12 Wohnungen an allen Wohngebäuden. Man erkennt, dass 18 % der Wohngebäude mindestens drei Wohnungen haben, aber in diesen 52 % aller Wohnungen zu finden sind. Wenn bei einem Mehrparteienhäuser jede Wohnung einen Stellplatz aufweist, sind im Bestand insbesondere Gebäude mit mind. vier Stellplätzen nach EPBD und mind. elf Stellplätzen nach GEIG relevant sowie im Neubau die Gebäude mit mind. vier Stellplätzen nach EPBD und mind. sechs Stellplätzen nach GEIG.

**Tabelle 2: Anteile Wohngebäude und Wohnungen nach Gebäudetyp**

	Wohngebäude	Wohnungen
1 Wohnung	65 %	31 %
2 Wohnungen	17 %	15 %

	Wohngebäude	Wohnungen
3 - 6 Wohnungen	12 %	
7 - 12 Wohnungen	5 %	52 %
>12 Wohnungen	1 %	
<b>Bestand Gesamt</b>	<b>19,4 Mio. Wohngebäude</b>	<b>41,7 Mio. Wohnungen</b>

Quelle: (Statistisches Bundesamt 2021)

Relevant für die Anwendung des GEIG ist die Frage, wie viele der Mehrparteienhäuser über einen Stellplatz verfügen. Neuere Daten hierzu liegen in (Deschermeier et al. 2023) vor. Folgende Tabelle stellt die Verfügbarkeit von Stellplätzen bei vermieteten Wohnungen und Eigentumswohnungen dar, wobei die Quelle hierbei nicht nach Gebäudetyp (eine Wohnung, zwei Wohnungen oder Mehrparteienhäuser) unterscheidet.

**Tabelle 3: Stellplatzverfügbarkeit in Wohngebäuden**

Stellplatzverfügbarkeit	Miete Bestand	Eigentum Bestand
kein Stellplatz	77 %	54 %
Außenstellplatz	14 %	23 %
Tiefgaragenstellplatz	9 %	23 %
<i>Anteil Gebäude</i>	<i>Ca. 80 %</i>	<i>Ca. 20 %</i>

Quelle: (Deschermeier et al. 2023)

Die Ergebnisse zeigen, dass ein großer Teil der Mietwohnungen über keinen Stellplatz verfügt und auch über die Hälfte der Eigentumswohnungen über keinen eigenen privaten Stellplatz verfügt. Da ca. 80 % in der Stichprobe von Deschermeier et al. (2023) zur Miete wohnen, ergibt sich, dass ungefähr ein Viertel der Wohnungen über einen privaten Stellplatz verfügt.

Für das weitere Vorgehen treffen wir Annahmen, wie sich die Nutzer\*innengruppen auf versch. Wohngebäude verteilen. Nachstehende Tabelle fasst die Annahmen zusammen. Flottenfahrzeuge sind dabei mitgenannt, da sie einen relevanten Anteil des BEV-Bestandes ausmachen werden, allerdings laden sie unseren Annahmen nach nicht an Wohngebäuden (daher 0 % in den Zeilen zu Wohngebäuden).

Insbesondere nehmen wir an, dass sich der Anteil der BEV-Nutzer\*innen mit direktem eigenem Stellplatz im Ein- und Zwei-Familien-Haus an 60 % annähern wird (bei Dienstwagen aufgrund der hohen mittleren Einkommen etwas mehr). Bei den Mehrparteienhäusern haben wir gesehen, dass ca. ein Viertel über einen privaten Stellplatz verfügt und verteilen daher die restlichen privaten BEV zu einem Viertel in Mehrparteienhäusern mit Stellplatz und zu drei Vierteln in Mehrparteienhäusern ohne privaten Stellplatz.

**Tabelle 4: Übersicht Verteilung BEV auf Gebäude und Nutzergruppe**

Anteile	Privat	Flotte	Dienstwagen
Ein- und Zwei-Familien-Haus	60 %	0 %	70 %
Mehrparteienhaus mit Stellplatz	10 %	0 %	20 %
Mehrparteienhaus ohne Stellplatz	30 %	0 %	10 %
Mio. BEV	Privat	Flotte	Dienstwagen
Ein- und Zwei-Familien-Haus	6,9	0	1,5

Anteile	Privat	Flotte	Dienstwagen
Mehrparteienhaus mit Stellplatz	1,2	0	0,4
Mehrparteienhaus ohne Stellplatz	3,5	0	0,2
<b>Summe</b>	<b>11,5</b>	<b>1,5</b>	<b>2,1</b>

Quelle: Eigene Annahmen

Für die weiteren Rechnungen ist es nützlich, die mittlere Anzahl von Stellplätzen an Mehrparteienhäusern mit Stellplätzen grob abzuschätzen. Von den Mehrparteienhäusern hat ungefähr ein Viertel Stellplätze. Von diesen sind zwei Drittel mit 3 – 6 Wohnungen und bei einem Stellplatz pro Wohnung ergeben sich ungefähr 5 Stellplätze im Mittel. Das andere Drittel sind Gebäude mit mehr als sechs Wohnungen und mit im Mittel angenommenen ca. 10 Stellplätzen. Durch den gewichteten Mittelwert ergeben sich ca. 6,7 Stellplätze als Mittelwert für die Anzahl der Stellplätze in Mehrparteienhäusern mit privaten Stellplätzen.

### 3.3 Ladepunkte in Mehrparteienhäusern aufgrund des GEIG

Mit den verschiedenen Daten und Annahmen zu Stellplätzen und Anzahl der BEV in Mehrparteienhäusern sind wir nun in der Lage, die Anzahl der bis 2030 aufgrund des aktuellen GEIG entstehenden/vorbereiteten Ladepunkte in Mehrparteienhäusern mit dem Bedarf zu vergleichen.

Von den insgesamt 3,3 Mio. Mehrparteienhäusern hat ca. ein Viertel private Stellplätze und diese haben jeweils im Mittel ca. 6,7 Stellplätze. Daraus ergeben sich ungefähr 5 Mio. private Stellplätze im Bestand der Mehrparteienhäuser. Nur 7 % dieser Häuser werden in den Jahren bis 2030 renoviert. Bei einer Sanierungsrate von 1 % pro Jahr nach (Thamling und Rau 2022) werden also in den sieben Jahren 2024 – 2030 insgesamt Mehrparteienhäuser mit 0,4 Mio. privaten Stellplätzen saniert ( $3,3 \text{ Mio. Gebäude} * \frac{1}{4} * 7a * 1 \% / a * 6,7 \text{ Stellplatz/Gebäude} = 0,4 \text{ Mio. Stellplätze}$ ). Das GEIG erfordert eine Verkabelung zur Vorbereitung von Ladeinfrastruktur bei über 10 Stellplätzen. Wenn wir optimistisch annehmen, dass dies 50 % der Stellplätze sind, dann ergeben sich durch das GEIG insgesamt 0,2 Mio. vorbereitete Ladeplätze in Mehrparteienhäusern. Auch in der ambitionierteren EPBD (bei Renovierung von Wohngebäuden mit >3 Stellplätzen: Ausstattung 50 % der Stellplätze mit Vorverkabelung, restliche Stellplätze mit Leitungsinfrastruktur) würden im optimistischen Fall alle Stellplätze vorbereitet, wären das lediglich 0,4 Mio. Stellplätze.

GEIG und EPBD regeln auch die Vorbereitung von Lademöglichkeiten in Neubauten. Derzeit werden in Deutschland ca. 15.000 Mehrparteienhäuser pro Jahr errichtet, d. h. ca. 0,1 Mio. Mehrparteienhäuser bis einschließlich 2030. Falls alle davon mit Stellplätzen errichtet würden und alle zum Laden von Elektrofahrzeugen vorbereitet würden, ergäbe dies bei mittleren 6,7 Stellplätzen pro Mehrparteienhaus mit Stellplätzen insgesamt 0,67 Mio. Stellplätze zum Laden von Elektrofahrzeugen bis 2030 in neuen Mehrparteienhäusern. Das GEIG sieht jedoch eine Verkabelung nur bei Mehrparteienhäusern mit >5 Stellplätzen vor, so dass realistisch etwas weniger Ladepunkte vorbereitet werden, vielleicht 90 % oder 0,6 Mio. Stellplätze. Auch wenn diese 0,6 Mio. Lademöglichkeiten eine relevante Menge darstellen, gilt es zu bedenken, dass sich die Elektrofahrzeuge im Bestand eher gleichmäßig über Mehrparteienhäuser verteilen sollten. D. h. bei ca. 28 % privaten und Dienstwagen-BEV von allen Pkw (13,5 BEV von 48,8 Mio. Pkw), kann nur knapp jeder dritte BEV in Mehrparteienhäusern von den Lademöglichkeiten oder Vorbereitungen in Mehrparteienhäusern profitieren.

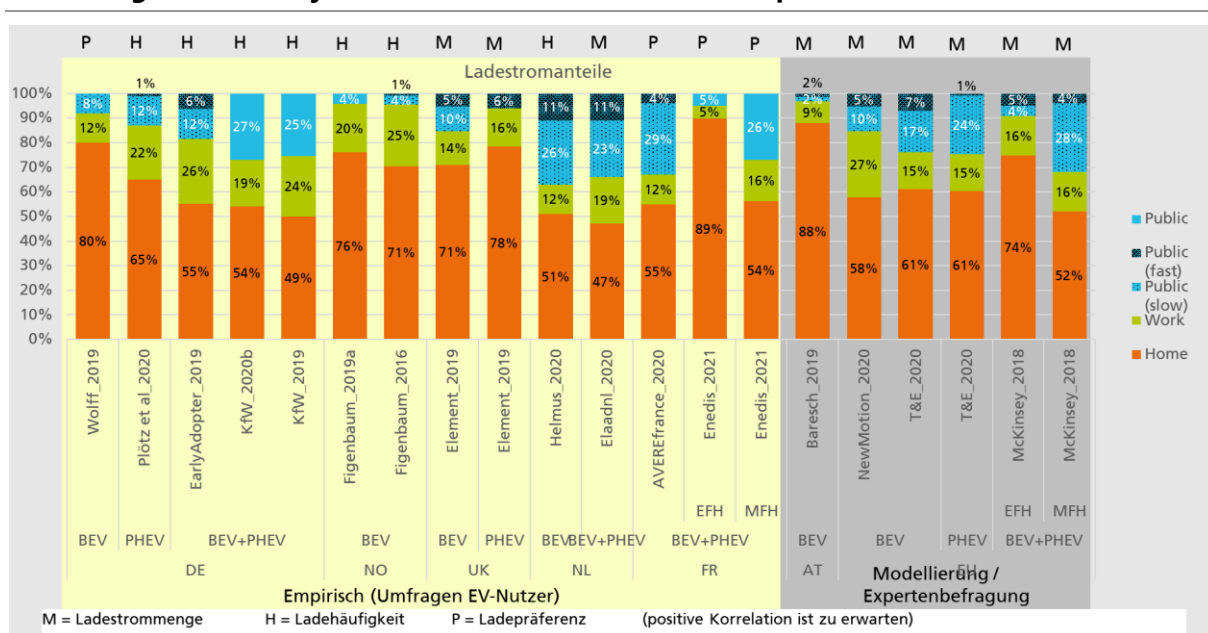
In Summe erwarten wir ca. 1,6 Mio. private und Dienstwagen-BEV in Mehrparteienhäusern mit privaten Stellplätzen von den 15 Mio. angestrebten BEV in Deutschland 2030. Nach 2030 wird der Anteil der BEV in Mehrparteienhäusern weiter steigen. Sowohl durch das aktuelle GEIG als auch eine mögliche Verschärfung im Sinne der erwarteten Novellierung der EPBD und optimistischen Annahmen bzgl. der Vorbereitung von Ladepunkten werden weniger als eine Million Ladepunkte

durch Neubau und GEIG in Mehrparteienhäusern geschaffen. Es bleibt daher definitiv eine Lücke zwischen den Anforderungen des GEIG bzw. der EPBD und dem Bedarf von BEV in Mehrparteienhäusern. Eine ambitionierte Ausgestaltung des zukünftigen GEIG könnte diese Lücke verringern und diesen Nutzer\*innengruppen die Nutzung von BEV deutlich erleichtern.

### 3.4 Laden am Arbeitsplatz

Neben dem heimischen Stellplatz laden BEV-Nutzer\*innen auch bei der Arbeit oder an öffentlichen Ladepunkten. Über Nichtwohngebäude nimmt das GEIG hierbei auch Einfluss auf die Möglichkeit zum Laden am Arbeitsplatz. (Preuß et al. 2021) haben verschiedene Erhebungen aus Deutschland und Europa zur Rolle verschiedener Ladeorte zusammengetragen.

**Abbildung 4: Metaanalyse Ladeorte BEV und PHEV in Europa**



Quelle: (Preuß et al. 2021)

Die Anteile der Ladeorte über die verschiedenen Studien hinweg sind dabei

- Laden zuhause: ca. 50 – 80 % der Ladevorgänge
- Laden bei der Arbeit: ca. 15 – 25 % der Ladevorgänge
- Öffentliches Laden (schnell und langsam): ca. 10 – 30 % der Ladevorgänge

Aus diesen typischen Anteilen von Ladeorten leiten wir die Annahmen in folgender Tabelle für die Verteilungen der Ladeorte nach Nutzer\*innengruppen ab. Dabei gehen wir davon aus, dass Dienstwagen etwas häufiger am Arbeitsplatz geladen werden als reine private BEV und Flotten-Pkw nur in der Firma (entspricht Arbeitsplatz der Fahrer\*innen) und öffentlich geladen werden.

**Tabelle 5: Verteilung Ladevorgänge nach Nutzer\*innengruppen**

% Ladevorgänge	Privat	Flotte	Dienstwagen
Zuhause	65 %	0 %	50 %
<b>Arbeitsplatz</b>	<b>20 %</b>	<b>85 %</b>	<b>30 %</b>
<b>Öffentlich</b>	<b>15 %</b>	<b>15 %</b>	<b>20 %</b>
Jahres-km	15 000	12 000	20 000
TWh @0,18kWh/km	31	3	8

% Ladevorgänge	Privat	Flotte	Dienstwagen
% TWh	74 %	8 %	18 %

Quelle: Eigene Annahmen.

Nimmt man die etwas unterschiedlichen mittleren Jahresfahrleistungen der Nutzer\*innengruppen hinzu (Plötz und Kühn 2013), ergeben sich auch die Anteile am gesamt geladenen Strom nach Nutzer\*innengruppen: ca. 74 % durch private BEV, ca. 8 % durch reine Flotten-BEV und 18 % von Dienstwagen.

### 3.5 Nichtwohngebäude

Der Bestand an Nichtwohngebäuden wurde sehr ausführlich in neueren Daten aufgearbeitet, wir folgen hier in einer kurzen Übersicht den Ergebnissen von (Hörner 2021; Hörner et al. 2021). Danach gibt es in Deutschland insgesamt 21 Mio. Nichtwohngebäude. Davon sind allerdings nur 1,98 Mio. Nichtwohngebäude beheizt oder gekühlt (relevant im Sinne §2 GEG<sup>5</sup>) und nur 0,3 Mio. Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude. Letztere sind im Rahmen des GEIG besonders interessant für das Laden am Arbeitsplatz, d. h. an Nichtwohngebäuden mit Stellplätzen. Sehr viele der 19 Mio. nicht geheizten oder gekühlten Nichtwohngebäude sind hauptsächlich Einzelgaragen, Schuppen und Gartenhütten (Hörner 2021; Hörner et al. 2021). Haupt-Gebäudefunktionen der 1,9 Mio. geheizten oder gekühlten sind:

- 307.000 (15,5 %) Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude
- 23.000 (1,2 %) Gebäude für Forschung und Hochschullehre
- 63.000 (3,2 %) Gebäude für Gesundheit und Pflege
- 154.000 (7,8 %) Schulen, Kindertagesstätten und sonstiges Betreuungsgebäuden
- 141.000 (7,1 %) Gebäude für Kultur und Freizeit
- 78.000 (3,9 %) Sportgebäude
- 270.000 (13,6 %) Beherbergungs- oder Unterbringungsgebäude, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude
- 666.000 (33,7 %) Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude
- 187.000 (9,4 %) Handelsgebäude
- 70.000 (3,5 %) davon Technikgebäude (Ver- und Entsorgung)

<sup>5</sup> (1) Dieses Gesetz ist anzuwenden auf 1. Gebäude, soweit sie nach ihrer Zweckbestimmung unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden, und 2. Deren Anlagen und Einrichtungen der Heizungs-, Kühl-, Raumluf- und Beleuchtungstechnik sowie der Warmwasserversorgung. Der Energieeinsatz für Produktionsprozesse in Gebäuden ist nicht Gegenstand dieses Gesetzes.

(2) Mit Ausnahme der §§ 74 bis 78 ist dieses Gesetz nicht anzuwenden auf 1. Betriebsgebäude, die überwiegend zur Aufzucht oder zur Haltung von Tieren genutzt werden, 2. Betriebsgebäude, soweit sie nach ihrem Verwendungszweck großflächig und langanhaltend offengehalten werden müssen, 3. Unterirdische Bauten, 4. Unterglasanlagen und Kulturräume für Aufzucht, Vermehrung und Verkauf von Pflanzen, 5. Traglufthallen und Zelte, 6. Gebäude, die dazu bestimmt sind, wiederholt aufgestellt und zerlegt zu werden, und provisorische Gebäude mit einer geplanten Nutzungsdauer von bis zu zwei Jahren, 7. Gebäude, die dem Gottesdienst oder anderen religiösen Zwecken gewidmet sind, 8. Wohngebäude, die a) für eine Nutzungsdauer von weniger als vier Monaten jährlich bestimmt sind oder b) für eine begrenzte jährliche Nutzungsdauer bestimmt sind und deren zu erwartender Energieverbrauch für die begrenzte jährliche Nutzungsdauer weniger als 25 Prozent des zu erwartenden Energieverbrauchs bei ganzjähriger Nutzung beträgt, und 9. Sonstige handwerkliche, landwirtschaftliche, gewerbliche, industrielle oder für öffentliche Zwecke genutzte Betriebsgebäude, die nach ihrer Zweckbestimmung a) auf eine Raum-Solltemperatur von weniger als 12 Grad Celsius beheizt werden oder b) jährlich weniger als vier Monate beheizt sowie jährlich weniger als zwei Monate gekühlt werden. (3) Auf Bestandteile von Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumluftechnik sowie der Warmwasserversorgung, die sich nicht im räumlichen Zusammenhang mit Gebäuden nach Absatz 1 Satz 1 Nummer 1 befinden, ist dieses Gesetz nicht anzuwenden. Vgl. [https://www.gesetze-im-internet.de/geg/\\_2.html](https://www.gesetze-im-internet.de/geg/_2.html)

- 22.000 (1,1 %) Verkehrsgebäude

Unter diesen Nichtwohngebäuden sind für Ladeinfrastruktur besonders Supermärkte, Bürogebäude, Bahnhöfe und Parkhäuser interessant. Es gibt einige Tausend Parkhäuser in Deutschland mit insgesamt ca. 1 Mio. Stellplätzen (Bundesverband Parken e.V. 2023). In einer Weiterentwicklung des GEIG wäre es günstig, für diese Gebäudetypen spezifische Infrastrukturziele zu formulieren. Supermärkte bauen derzeit schon teilweise selbständig Ladeinfrastruktur auf, beim Laden an Bürogebäuden erscheint dies aber noch wenig zu erfolgen.

In Summe ergeben sich die folgenden Schlussfolgerungen aus dem Zahlengerüst für den Hochlauf von BEV und Ihre Ladebedarfe in GEIG-relevanten Gebäuden.

Bei Wohngebäuden mit GEIG-Relevanz erwarten wir ca. 1,6 Mio. private und Dienstwagen-BEV in Mehrparteienhäusern mit privaten Stellplätzen von den 15 Mio. angestrebten BEV in Deutschland 2030. Sowohl durch das aktuelle GEIG als auch eine mögliche Verschärfung im Sinne der zu erwartenden Vorgaben der novellierten EPBD und optimistischen Annahmen bzgl. der Vorbereitung von Ladepunkten werden weniger als eine Million vorbereitete Stellplätze durch Neubau und GEIG in Mehrparteienhäusern geschaffen. Es bleibt daher definitiv eine Lücke zwischen den Anforderungen des GEIG bzw. der EPBD und dem Bedarf von BEV in Mehrparteienhäusern. Eine ambitionierte Ausgestaltung des zukünftigen GEIG kann diese Lücke aber verringern und diesen Nutzer\*innengruppen die Nutzung von BEV deutlich erleichtern. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass die Ausstattung der ca. eine Millionen Stellplätze mit Ladeinfrastruktur nicht automatisch mit der tatsächlichen Standortverbreitung der BEV korreliert. Das heißt, auch bei einer ambitionierten Ausgestaltung einer GEIG-Novelle in Bezug auf Mehrparteienhäuser müssen weitere Stellplätze an Nichtwohngebäuden wie Bürogebäuden, Parkhäusern oder Supermärkten geschaffen werden, damit Nutzer\*innen ohne eigenen Stellplatz leicht bei der Arbeit, dem Einkaufen oder der Freizeit laden können.

Bei Nichtwohngebäuden mit GEIG-Relevanz zeigt sich, dass Laden am Arbeitsplatz durch private und Dienstwagen ca. 20 – 30 % der Ladevorgänge von 13,5 Mio. BEV ausmachen. Bei einmal Laden pro Woche dieser 13,5 Mio. BEV entspricht dies ca. 3 Mio. BEV pro Tag. Laden im Depot erfolgt von ca. 1,5 Mio. Flotten-BEV oder ca. 0,3 Mio. Flotten-BEV pro Tag. Für öffentliches Laden an Nichtwohngebäuden, die nicht Arbeitsplatz der Nutzer\*innen sind, bspw. Supermarkt oder Freizeit, könnte das GEIG spezifischer formuliert werden. Dies würde helfen, die Lücke bis 2030 beim Laden am Arbeitsplatz für Nutzer\*innen ohne eigenen Stellplatz trotz GEIG-Verschärfung zu reduzieren. Nach 2030 wird die Zahl der BEV-Nutzer\*innen ohne eigenen Stellplatz zudem noch weiter steigen. Von den 21 Mio. Nichtwohngebäuden in Deutschland sind nur ca. 0,3 Mio. Bürogebäude und überhaupt nur knapp 2 Mio. beheizte oder gekühlte Gebäude.

## 4 Auswirkungen auf Gebäudeebene und Verteilnetze

---

### 4.1 Simulation von Fahr- und Ladeprofilen

Basierend auf den in Abschnitt 3 ermittelten Mengengerüsten wurden mit Hilfe des synPRO Emobility Simulationsframeworks (Fischer et al. 2019) Fahr- und Ladeprofile für private Elektrofahrzeuge erzeugt. Dabei wurden die folgenden Annahmen aus Abschnitt 3 berücksichtigt:

1. Verteilung von Ladevorgängen nach Standorten (vgl. Tabelle 5)
2. Verteilung von Privat- und Dienstfahrzeugen auf Gebäudetypen (vgl. Tabelle 4)
3. Die Ladeleistungen an verschiedenen Standorten wurden auf 11 kW gesetzt. Für Heimpladungen wurde neben 11 kW Ladeleistung auch der Fall mit 3,7 kW untersucht.<sup>6</sup>

Für Flottenfahrzeuge wurde zusätzlich ein Profilgenerator erstellt, der auf Grundlage des REM-2030 Fahrprofildatensatzes (Fraunhofer ISI 2015), das Fahr- und Ladeverhalten von dienstlichen Flottenfahrzeugen abbildet.

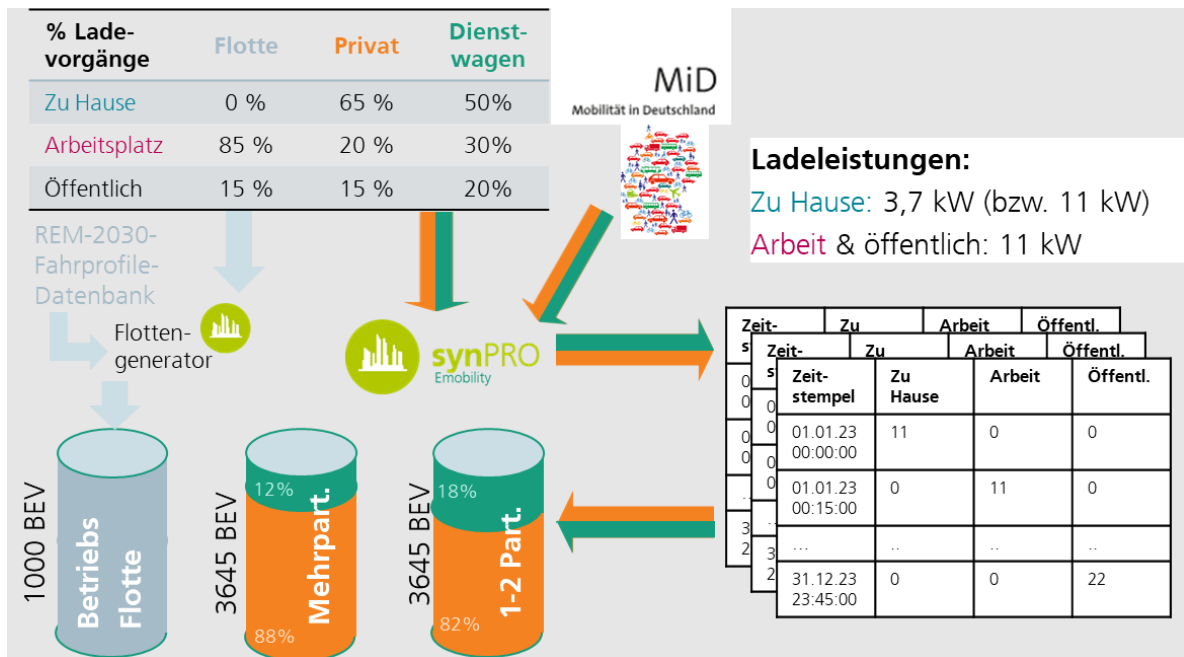
Aus den beiden Profilgeneratoren wurden drei Töpfe erzeugt für 1-2-Parteihäuser, Mehrparteihäuser und Flottenfahrzeuge. Das Vorgehen ist in Abbildung 5 schematisch dargestellt. Aus diesen Töpfen wurden die Analysen auf Gebäudeebene (Abschnitt 4.2) sowie die Netzsimulation (Abschnitt 4.3) gespeist. Dabei wurde ein ungesteuertes Verhalten angenommen, bei dem Fahrzeuge nach Ankunft mit maximaler Leistung, vom Ladestand bei Ankunft bis zum Zielladestand geladen werden. Der Ladestand bei Ankunft ergibt sich aus der Summe aller Ladungen abzüglich aller Teilstreckenverbräuche einer Fahrprofilsimulation, welche zwischen zwei Ladungen am jeweiligen zu betrachtenden Ladepunkt (zu Hause oder bei der Arbeit) stattgefunden haben.

---

<sup>6</sup> Die Untersuchungen mit 11 kW und 3,7 kW Heimpladeleistung wurden in zwei separaten Simulationen durchgeführt. Während das einphasige Laden mit 3,7 kW derzeit noch die häufigste Anwendung darstellt, ist die Entwicklung der Heimpladeleistungen unklar. Zum einen ist ein genereller Trend in Richtung höherer Ladeleistungen und dreiphasiges Laden zu erkennen, zum anderen lassen garantierte Anschlussleistungen von 4,2 kW nach §14a EnWG und PV-Überschuss-optimierte Ladekonzepte zukünftig kleine Ladeleistungen vermuten. Nach Diskussion in einem Expert:innenbegleitworkshop wurden beide Entwicklungspfade in der Studie berücksichtigt. Zudem sind diese Ladeleistungen beim Netzbetreiber nur anzeigepflichtig und nicht genehmigungspflichtig.



**Abbildung 5: Workflow zur Erzeugung der Ladeprofile für Privat- und Dienstfahrzeuge**



## 4.2 Auslastung von Ladeinfrastruktur und Auswirkungen auf Gebäudeebene

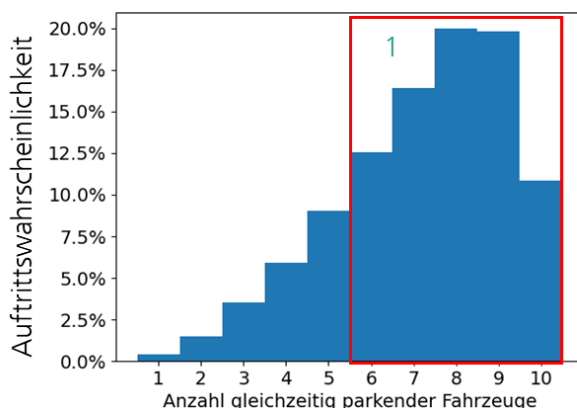
Um die Frage zu beantworten, welcher Ladeinfrastrukturbedarf an Gebäuden besteht, wurden verschiedene Gebäudetypen definiert und mit einer variablen Anzahl an Elektroautos ausgestattet. Dabei wurden die in Abschnitt 4.1 beschriebenen Töpfe mit unterschiedlichen Anteilen an Dienst-, Privat- und Flottenfahrzeugen verwendet. Für Mehrparteienhäuser wurde ausschließlich aus dem zugehörigen Topf mit 12 % Dienst- und 88 % Privatfahrzeugen gezogen. Bei der Untersuchung von Nichtwohngebäuden wurden Bürogebäude betrachtet und alle drei Töpfe verwendet.

### 4.2.1 Ladeinfrastrukturbedarf im Mehrparteienhaus

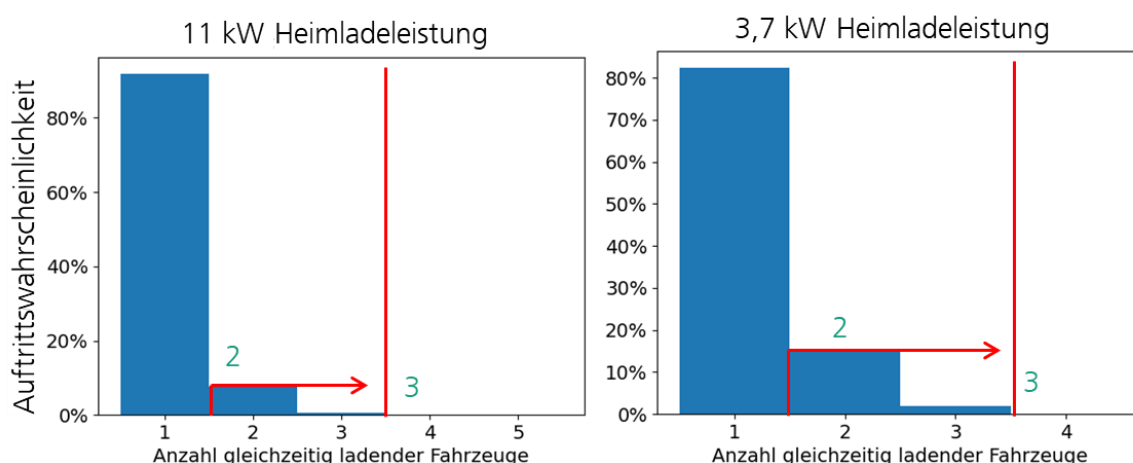
Bei der Betrachtung von Mehrparteienhäusern wurden verschiedene Gebäudegrößen mit unterschiedlicher Anzahl von BEV untersucht. Im Folgenden wird der Anwendungsfall eines Gebäudes mit 10 BEV dargestellt. Um das Fahrverhalten verschiedener Nutzer\*innen abzubilden, wurde die Simulation insgesamt 20-mal durchgeführt und in der Auswertung das mittlere Szenario genommen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass beispielsweise das Fahrverhalten einer Rentnerin von dem eines Vollzeitarbeiters im Außendienst stark abweicht und dementsprechend die hier ermittelte Infrastruktur nicht für alle Wohngebäude, sondern nur für das Durchschnittsgebäude repräsentativ ist. Eine Skalierung der BEV über 10 hinaus ist hingegen möglich, da die einzelnen Fahrten unabhängig voneinander sind.

In Abbildung 6 ist die Gleichzeitigkeit von Parkvorgängen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass 3/4 der Zeit mehr als die Hälfte der BEV im Mehrparteienhaus parallel parken (siehe Abbildung 6). Vor allem nachts stehen die meisten Privatfahrzeuge auf dem privaten Stellplatz. Demgegenüber steht das Auftreten simultaner Ladevorgänge. Bei 11 kW Ladeinfrastruktur erfolgen etwa 15 % aller Ladungen (siehe 2 in Abbildung 7 links) parallel, bei 3,7 kW sind es rund 20 % (siehe 2 in Abbildung 7 rechts). Die Wahrscheinlichkeit, dass mehr als 1/3 der BEV parallel laden, ist unabhängig von der Ladeleistung vernachlässigbar gering (siehe 3 in Abbildung 7).

**Abbildung 6: Häufigkeit für zeitgleich im Mehrparteienhäuser parkende Fahrzeuge für ein Wohngebäude mit 10 BEV**



**Abbildung 7: Häufigkeit für zeitgleich im Mehrparteienhäuser ungesteuert ladende Fahrzeuge für ein Wohngebäude mit 10 BEV**



Es würde in der durchgeführten Simulation im Durchschnittsmehrparteienhaus theoretisch ausreichen, für **20 % der BEV einen Ladepunkt** vorzusehen. Allerdings unter der Bedingung, dass geteilte Stellplätze mit Ladeinfrastruktur zur Verfügung stehen und gewährleistet ist, dass die Ladeinfrastruktur nach Ladung für das nächste Fahrzeug zur Verfügung steht, z. B. indem der Ladestecker nach Beendigung des Ladevorgangs von einer anderen Person abgezogen und mit dem eigenen Fahrzeug verbunden werden kann, oder indem Gebühren für blockierte Stellplätze, auf denen nicht geladen wird, erhoben werden. Dieses Verhalten wird von den Autor\*innen nicht als realistisch erachtet und stellt somit eine untere Grenze für den Ladeinfrastrukturbedarf dar.

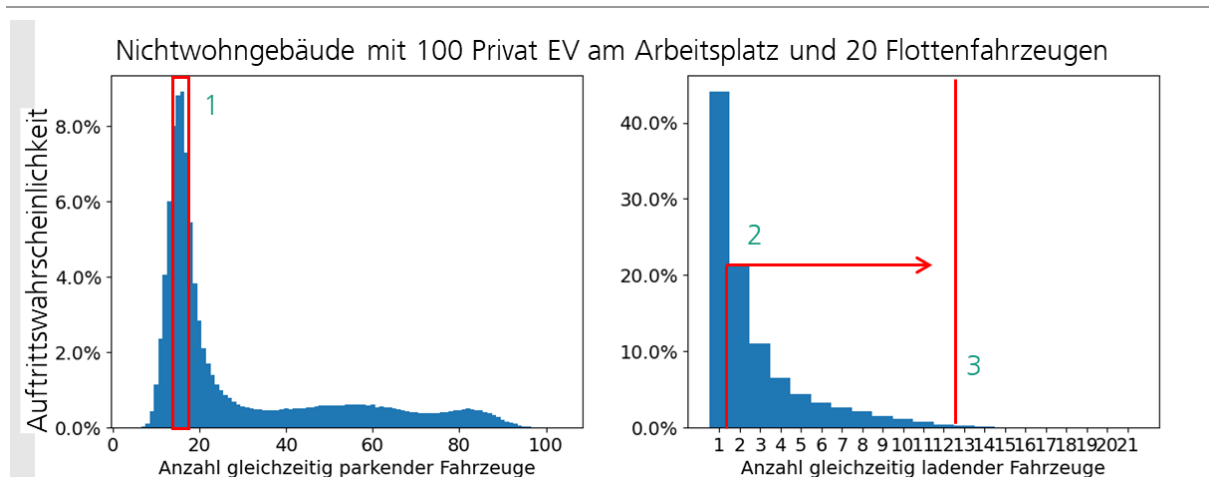
#### 4.2.2 Ladeinfrastrukturbedarf im Bürogebäude

Bei der Betrachtung von Nichtwohngebäuden wurden ausschließlich Bürogebäude untersucht, da hier die insgesamt schwierige Datenlage am belastbarsten ist. Es sei an dieser Stelle auf Abschnitt 3.5 verwiesen, der sich gesondert der Gruppe von Nichtwohngebäuden widmet und die Schwierigkeit bei der einheitlichen Betrachtung dieser sehr heterogenen Gebäudeklasse aufzeigt.

Es wurden verschiedene Größen an Bürogebäuden simuliert mit unterschiedlicher Anzahl an BEV und unterschiedlichen Verhältnissen an Flotten- zu Dienst- und Privatfahrzeugen. Im Folgenden wird der Anwendungsfall eines Bürogebäudes mit 100 Dienst- und Privatfahrzeugen sowie 20 Flottenfahrzeugen ausgewertet. Dies entspricht in etwa einem Bürogebäude mit 530 Angestellten, von denen 68 % mit dem Auto zur Arbeit fahren (Statistisches Bundesamt 2020) und 28 %<sup>7</sup> der Fahrzeuge vollelektrisch sind. Weiterhin wird für 4 % der Angestellten ein BEV-Flottenfahrzeug vorgehalten.

Die Verteilungen sind in Abbildung 8 für gleichzeitig parkende (links) und ladende BEV (rechts) dargestellt. Am häufigsten parken rund 10 % der Fahrzeuge zeitgleich am Arbeitsplatz (siehe 1 in Abbildung 8), dabei erfolgt rund die Hälfte aller Ladevorgänge zeitgleich. Die Wahrscheinlichkeit simultaner Ladevorgänge nimmt exponentiell ab, je größer die Anzahl an Fahrzeugen wird (siehe 2 in Abbildung 8). Während die Wahrscheinlichkeit zwei zeitgleich ladende Fahrzeuge anzutreffen bei 20 % liegt, reduziert sie sich bei 3 simultan ladenden Fahrzeugen bereits auf 10 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass mehr als 10 % der BEV-Fahrer\*innen einen gleichzeitigen Ladebedarf haben, ist vernachlässigbar gering (siehe 3 in Abbildung 8).

**Abbildung 8: Anzahl gleichzeitig parkender BEV (links) und ungesteuert ladender BEV (rechts) für ein Bürogebäude mit 100 Privat- und 20 Flottenfahrzeugen**



An dieser Stelle sei angemerkt, dass die sich ergebenden Verteilungen zum Ladeverhalten auf der Annahme beruhen, dass 20-30 % der Ladevorgänge bei der Arbeit stattfinden (vgl. Tabelle 5). Das Ladeverhalten ist jedoch stark abhängig von der Preisstruktur am Arbeitsplatz bzw. zuhause und dem Vorhandensein der Ladeinfrastruktur. Würde durch geringe Renovierungsraten der Wohngebäude (vgl. Abschnitt 3.3) zu wenig Infrastruktur zuhause bereitstehen, verschöbe sich das Ladeverhalten und damit der Bedarf an Infrastruktur dementsprechend hin zu Nichtwohngebäuden und damit dem Laden bei der Arbeit.

<sup>7</sup> 13,5 Mio. Dienst- und Privat BEV (gemäß 15 Mio.-Ziel 2030 verteilt auf Nutzer\*innengruppen) bezogen auf 48,8 Mio. Pkw im Bestand (Stand 2023)

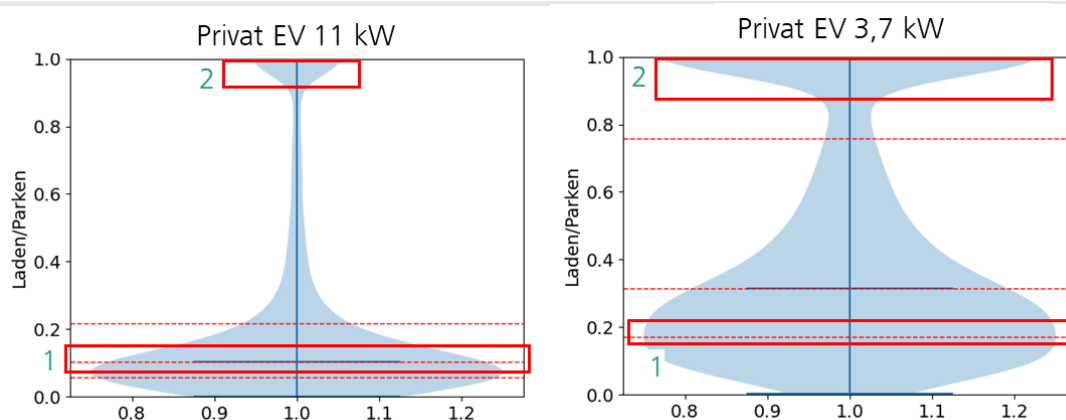
Es würde ausreichen für **10% der BEV**, welche ein Unternehmen erreichen, **einen Ladepunkt** vorzusehen. Dies stellt die Minimalanforderung unter den folgenden Annahmen dar: 1) Mitarbeitende geben nach vollständiger Ladung den Ladepunkt frei, 2) oder es kann baulich gewährleistet werden, dass andere Fahrzeuge den Ladepunkt erreichen. 3) Es ist genügend Infrastruktur neben der Arbeit (z. B. zuhause) vorhanden, so dass nur 20-30% der Ladevorgänge am Arbeitsplatz stattfinden. Nach Ansicht der Autor\*innen sind insbesondere die beiden ersten Voraussetzungen zwar wahrscheinlicher als in Wohngebäuden, allerdings in der Regel nicht gegeben, sodass von einem höheren Ladeinfrastrukturbedarf ausgegangen werden kann.

### 4.2.3 Flexibilität und Bedarf an Energiemanagement

In den beiden vorhergegangenen Unterkapiteln wurde der Ladeinfrastrukturbedarf für ungesteuertes Laden in Gebäuden ermittelt. Ladevorgänge wurden mit maximal zur Verfügung stehender Leistung direkt nach Ankunft gestartet. In Zukunft wird ein Lade- bzw. Energiemanagement jedoch der Standard sein. Daher wird in diesem Abschnitt kurz das Flexibilitätspotenzial sowie der Bedarf an Energiemanagementsystemen (EMS) abgeschätzt. Um das zeitliche Flexibilitätspotenzial abzuschätzen wird der Quotient aus Ladezeit zu Parkzeit für die verschiedenen Standorte gebildet. Für Mehrparteienhäuser ist die sich ergebene Verteilung in Abbildung 9 als Violinplot dargestellt. Abbildung 10 zeigt die Verteilungen für Ladevorgänge am Bürogebäude. Die Darstellung zeigt auf der Y-Achse die Quotienten aus Lade- und Parkzeit und auf der X-Achse die Wahrscheinlichkeitsverteilung. Je bauchiger die Darstellung an einer Stelle ausfällt, desto häufiger tritt der jeweilige Quotient auf. Die rot gestrichelten Linien markieren den Mittelwert sowie das 25 % und 75 % Quantil.

Im Mittel wird während 20 % der Parkzeit am Arbeitsplatz (Abbildung 10) und 15 % der Parkzeit zuhause (Abbildung 9 links bei 11 kW) geladen (siehe 1 in der jeweiligen Abbildung). In einigen Fällen wird die Standzeit jedoch vollständig zur Ladung genutzt, bzw. die Batterie kann nicht vollständig geladen werden (siehe 2 in der jeweiligen Abbildung). Der Anteil unvollständiger Ladungen im Mehrparteienhaus verringert sich stark bei 11 kW (gegenüber 3,7 kW) Ladeleistung (siehe 2 in Abbildung 9).

**Abbildung 9: Verteilung der Quotienten aus Lade- und Parkzeit für Privatfahrzeuge im Mehrparteienhaus mit 11 kW (links) und 3,7 kW (rechts) an Ladeinfrastruktur**

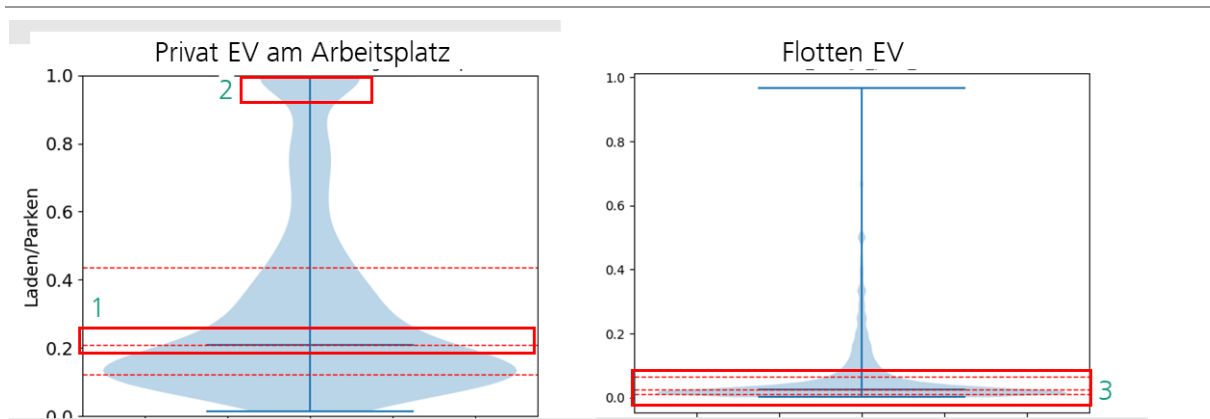


Es ist anzumerken, dass in diesen Darstellungen keine Gewichtung nach Parkzeiten erfolgt; ein Quotient mit einer Ladezeit von 10 min bei 30 min Parkzeit fällt zum gleichen Teil in die Verteilung wie

ein Quotient mit 3 h Ladezeit und 9 h Parkzeit. Bei genauer Betrachtung der unvollständigen Ladevorgänge fällt auf, dass diese sich zum größten Teil auf sehr kleine Parkdauern beschränken (< 1h). Das bedeutet, dass zwar Ladevorgänge nicht immer zur vollständigen Ladung der Batterie führen, dies jedoch von den Nutzer\*innen bereits einkalkuliert wurde, bzw. die initiale Erwartungshaltung dementsprechend nur eine Teilladung war.

Bei den Flottenfahrzeugen ist die Standzeit in der Regel wesentlich länger als die Ladezeit. Bei 75 % der Parkvorgänge umfasst der Ladezeitraum weniger als 10 % der Parkzeit (siehe 3 in Abbildung 10). Gerade am Wochenende sowie außerhalb der Hauptarbeitszeiten (09:00-17:00) besteht ein großes Potenzial für (netzdienliche) Flexibilitätsanwendungen.

**Abbildung 10: Verteilung der Quotienten aus Lade- und Parkzeit für Bürogebäude mit 11 kW Ladeinfrastruktur. Dargestellt für Dienst- und Privatfahrzeuge (links) und Flottenfahrzeuge (rechts)**



Für **private Ladevorgänge** ist es **sinnvoll ein Energiemanagementsystem zu haben**, um zu gewährleisten, dass die BEV priorisiert werden, welche den größten Quotienten aus Energiemenge und Standzeit aufweisen, also entweder nur kurz zur Verfügung stehen oder einen großen Energiebedarf und damit wahrscheinlich geringen Speicherfüllstand haben. Als **Alternative zu einem Lademanagement** könnte aber auch **ungesteuert einphasig zuhause geladen** werden. Einphasiges Laden mit 3,7 kW fällt zudem unter die nach §14a EnWG garantierten 4,2 kW Anschlussleistung. Für **Flottenfahrzeuge** gibt es ein großes **Flexibilitätspotenzial**, diese **außerhalb der Arbeitszeit** für bidirektionale Flexibilitätsanwendungen zur Verfügung zu stellen. Dies könnte in der Zukunft für Aggregatoren interessant werden, da diese Flexibilität sehr planbar zu Verfügung steht.

### 4.3 Netzauswirkungen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse einer Studie zu den Netzauswirkungen von Ladevorgängen dargestellt.

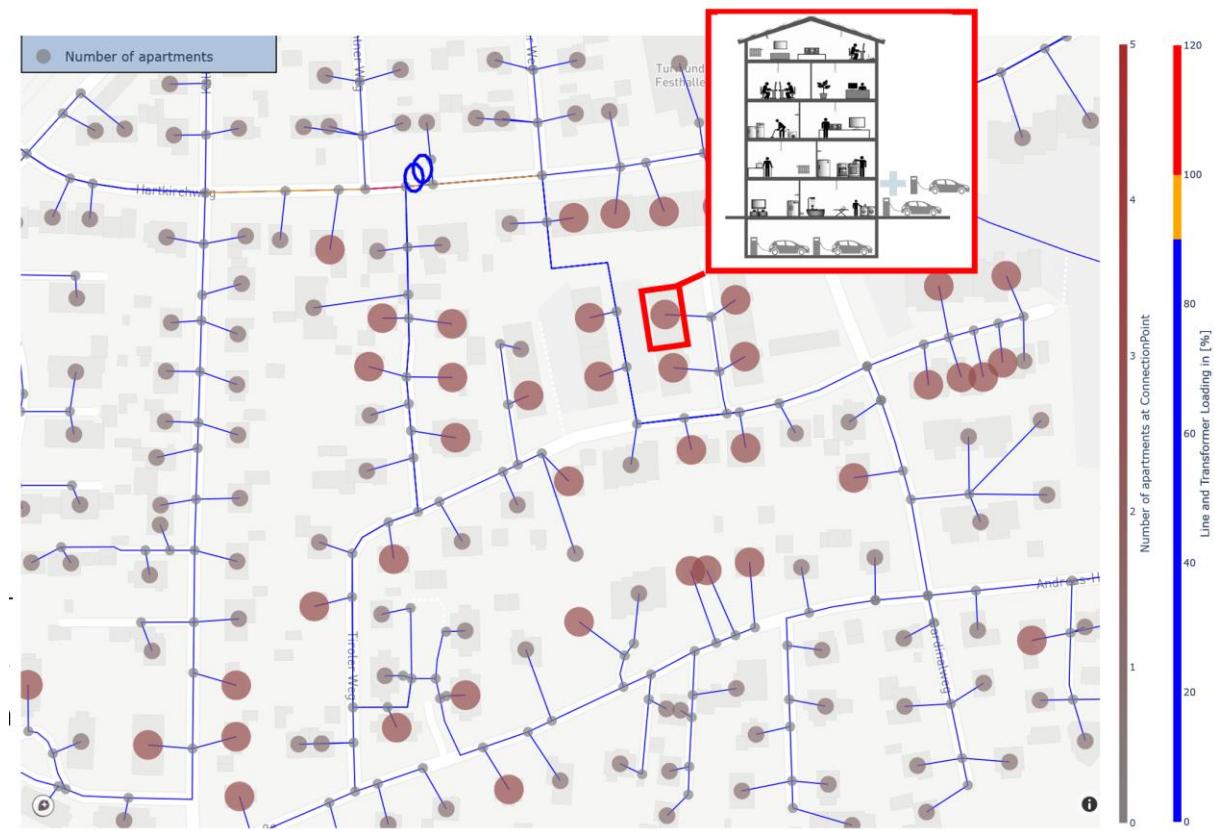
Um die Auswirkungen bestimmen zu können, bedarf es zunächst eines Stromnetzmodells, das eine realistische differenzierte Modellierung von einzelnen Gebäudetypen an Netzanschlusspunkten beinhaltet, da hier explizit zwischen Nichtwohngebäuden und Wohngebäuden differenziert werden soll. Um dies zu erreichen, wurden georeferenzierte synthetische Niederspannungsnetze verwendet. Diese basieren auf den öffentlich verfügbaren Datenquellen (OpenStreetMap Deutschland 2023) und (Zensus2011 2023). Die Netze wurden mit der vom Fraunhofer ISE entwickelten Software InDiGO.synGrid deutschlandweit erzeugt. Anhand von veröffentlichten Netzstrukturdaten wurden

die synthetischen Netze zumindest für einen Großteil der Verteilnetzbetreiber Baden-Württembergs validiert, da für diese Region die Datenverfügbarkeit für die Auswertung geeignet war. Außerdem wurden die Ergebnisse von Studien zu Netzausbaukosten mit realen Netzen verglichen. Die Netze bieten somit die Möglichkeit, Fragestellungen für verschiedenste regionale Gegebenheiten zu analysieren.

Die Netze bilden die Topologie von Niederspannungsnetzen ab, indem ausgehend von Transformatoren Trassen entlang des Straßengraphen in Open Street Maps zu allen relevanten Gebäuden verlegt werden. Hierbei werden die Standorte der Transformatoren anhand von Lastschwerpunkten bestimmt. Durch eine Datenverarbeitung werden jedem Gebäude Attribute zugewiesen, aus denen die für dieses Projekt notwendigen Kategorien zur Modellierung von Stromerzeugung und -verbrauch abgeleitet werden können. So besitzt jedes Gebäude zum Beispiel eine Grundfläche und entweder eine Gewerbekategorie oder für Wohngebäude die Anzahl an Wohnungen und Bewohner\*innen. Für diese Studie wurden charakteristische Netze für Wohn- und Gewerbe-Mischgebiete selektiert, die aufgrund zahlreicher Mehrparteienhäuser relevant für die Untersuchung sind.

Einzelnen Gebäuden in diesen Netzen wurden dann Ladeprofile zugeordnet, indem gemäß der in Abschnitt 4.1 beschriebenen Methodik aus den entsprechenden Töpfen (vgl. Abbildung 5) gezogen wurde. So wurde ein detailliertes Modell für ein Netzgebiet für das in Abschnitt 3 beschriebene Mengengerüst erstellt, mit dem Netzstudien durchgeführt werden können. Im resultierenden Netzmodell wird hierbei über den am Fraunhofer ISE entwickelten Szenario-Generator für jeden Netzanschlusspunkt eine Jahreszeitreihe erstellt. Dies beinhaltet 15-minütige Jahreszeitreihen für Gewerbe oder Haushalte sowie für Photovoltaik-Anlagen und – besonders relevant für diese Studie – für Elektrofahrzeuge. So können auch Betriebsführungsmaßnahmen untersucht werden. Ein exemplarischer Bildausschnitt eines Netzmodells ist in Abbildung 11 dargestellt. Die Größe der Kreise zeigt die Anzahl der Wohnungen je Gebäude an. Für jeden Netzanschlusspunkt werden detaillierte Annahmen getroffen und für die Erstellung der Jahreszeitreihen verwendet, wie der hervorgehobene Ausschnitt eines Gebäudes verdeutlicht.

**Abbildung 11: Exemplarischer Ausschnitt eines Netzmodells**



### 4.3.1 Simulation Fallstudien

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen eines Szenarios für ein Netzgebiet dargestellt, das Zeitreihen für Haushalte, Gewerbe, PV-Anlagen und Ladevorgänge enthält. Das städtisch geprägte Wohn- und Gewerbe-Mischgebiet umfasst insgesamt 1.476 Gebäude, von denen 277 Gewerbebetriebe enthalten. Von den 1.119 Wohngebäuden entfallen ca. 63 % auf Mehrparteienhäuser. Insgesamt handelt es sich um 38 Niederspannungsnetze. Die Ladevorgänge sind gemäß Mengengerüst zugeordnet und in diesem Fall ungesteuert. Hierbei wird eine Ladeleistung von 3,7 kW an Wohngebäuden sowie eine Ladeleistung von 11 kW an Nichtwohngebäuden verwendet. Für Photovoltaik-Anlagen wurde eine Durchdringung von 40 % abgebildet. Aus dem Szenario resultieren bei dem konkreten Gebäudebestand Ladeprofile für insgesamt 86 Ein- und Zweiparteien-Wohngebäude sowie für 636 Mehrparteienhäuser. Außerdem ergeben sich Profile für 105 Dienstwagen und 506 Flottenfahrzeuge. Für die Studie wird angenommen, dass die notwendige Ladeinfrastruktur existiert, sodass alle Fahrzeuge die vorgesehenen Ladevorgänge auch durchführen können.

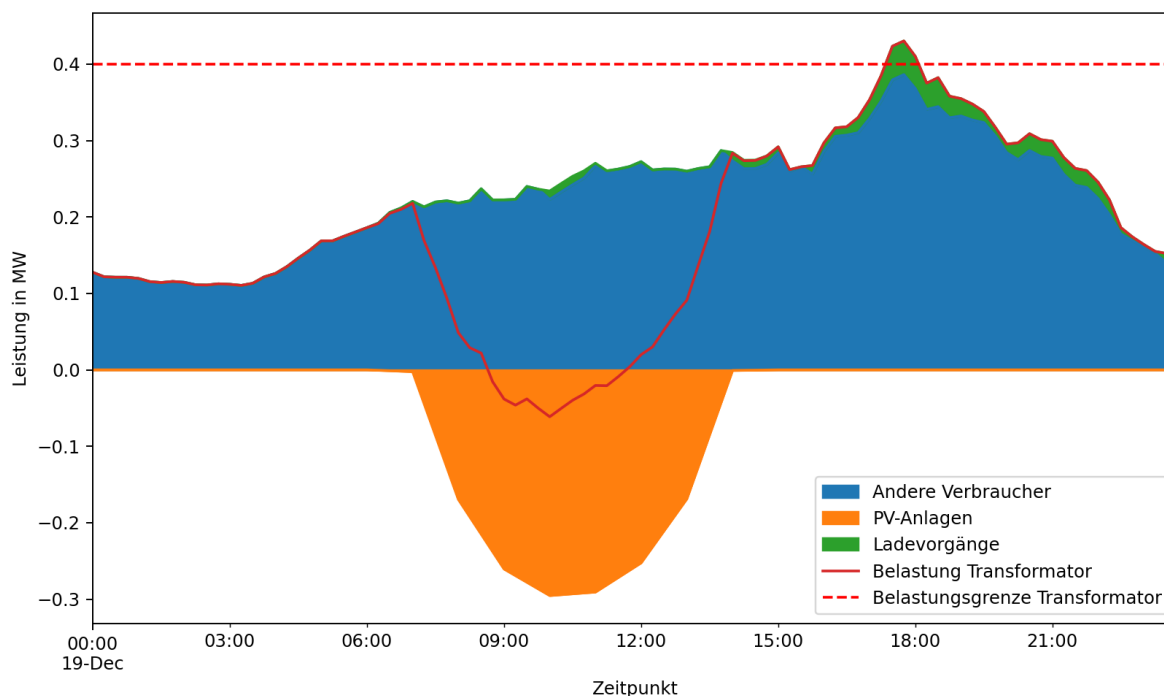
Für die gesamte Jahreszeitreihe wurde eine Lastflussanalyse durchgeführt, die für jeden Knotenpunkt im Netzgebiet die Spannung und für jedes Kabel sowie für jeden Transformator die Belastung bestimmt. Im Netzgebiet versorgen insgesamt 38 Transformatoren die Anschlussnehmer. Die Auswirkung der Ladevorgänge auf die Transformatoren ist deutlich an den Auslastungen erkennbar: Betrachtet man die maximale Transformatorbelastung, die allein durch BEV hervorgerufen wird (also den Zeitpunkt im Jahr, an dem je Transformator die meisten Ladevorgänge zeitgleich stattfinden), so sind dies im Mittel über alle Transformatoren 11,2 % - bei dem Transformator, der am stärksten ausschließlich von BEV belastet wird, sind es 30 %. Hinzu kommen die anderen Verbraucher und Erzeuger im Netzgebiet der Transformatoren. Dennoch ergeben sich in dem betrachteten Fall keine zusätzlichen Überlastungen von Transformatoren, da die Transformatoren ausreichend

dimensioniert sind, bzw. weil der Maximalbezug der anderen Verbraucher\*innen nicht unbedingt zeitgleich mit der maximalen Ladeleistung im Jahr auftritt. Überlastungen die zu Netzausbaubedarf führen gibt es in den betrachteten Netzen nur aufgrund der Einspeisung von Photovoltaikanlagen. Photovoltaikanlagen.<sup>8</sup>

In einer Sensitivität wurde die Ladeleistung an Wohngebäuden von 3,7 kW auf 11 kW angehoben. Wie in Abschnitt 4.2.1 dargestellt, laden Fahrzeuge entsprechend der schnelleren Ladevorgänge hier weniger gleichzeitig, sodass nicht zwingend eine gesteigerte Belastung resultieren muss. Dennoch muss, um überlastete Betriebsmittel zu vermeiden, aufgrund der Elektrofahrzeuge ein Transformator ausgetauscht werden.

Für das von diesem Transformator gespeiste Niederspannungsnetz wurde das Potenzial von Betriebsführungsmaßnahmen untersucht. Hierbei zeigte sich in der Detailanalyse, dass die Auslastung des Transformators ohne Ladevorgänge bereits sehr hoch war. Durch Ladevorgänge wurde nur einmal im Jahr für 45 Minuten eine Überlast verursacht. Der Leistungsverlauf an diesem Transformator für den Tag mit Überlast ist in Abbildung 12 dargestellt.

**Abbildung 12: Tagesverlauf der Leistungen an einem überlasteten Transformator**



Bei einer Regelung, die beim Ende des Parkvorgangs den gleichen Ladezustand garantiert, der auch beim ungesteuerten Laden erreicht wird, konnten geringfügige Entlastungen erreicht werden. Für Ladevorgänge, bei denen im ungesteuerten Fall jedoch die gesamte Parkdauer durchgängig geladen wird, ist bei dieser – sozusagen maximal kund\*innenfreundlichen – Regelung kein Hebel verfügbar. Daher konnten die Überlastungen so nur abgeschwächt, aber nicht verhindert werden.

<sup>8</sup> An dieser Stelle ist anzumerken, dass hier mit Jahreszeitreihen gerechnet wurde, mit denen für das gesamte Jahr für jede Komponente die genaue Auslastung bestimmt wurde. Im Sinne einer klassischen Netzausbauplanung würde es wahrscheinlich zu mehr Netzausbaubedarf kommen, da in diesem Fall typischerweise nur ein einzelner Lastfall mit Gleichzeitigkeitsfaktoren für Haushaltslasten und Ladevorgänge sowie ein einzelner Einspeisefall zur Berücksichtigung von Photovoltaik-Anlagen verwendet wird. Die Verwendung der Zeitreihen im Allgemeinen kann einerseits helfen, unnötigen Netzausbau zu vermeiden und ist andererseits sinnvoll, um Zusammenhänge besser analysieren zu können und etwa – wie in dieser Studie – Potenziale zur Netzausbaupermeidung durch Flexibilitätseinsatz zu untersuchen.



Da der Transformator während der abendlichen Belastungsspitze auch ohne BEV bereits zu über 96 % ausgelastet ist, verbleiben nur noch etwa 14 kW Leistung für Ladevorgänge. In diesem Fall würde auch die Begrenzung der Ladeleistung gemäß §14a ENWG auf 4,2 kW bei den zu diesem Zeitpunkt ladenden vier Fahrzeugen eine Überlast bedeuten. Insofern muss dieser Transformator ausgetauscht werden. Dennoch könnte die Überlastung auf eine halbe Stunde reduziert und die maximale Auslastung von etwa 108 % auf 103 % reduziert werden. Betrachtet man alle Transformatoren im Netzgebiet, so wird deutlich, dass die maximale Belastung in sechs Fällen von PV-Anlagen erzeugt wird. Für die 28 Transformatoren, bei denen der Lastfall, also nicht die Einspeisung durch PV-Anlagen, die Spitzenbelastung definiert, steigt die höchste Belastung durch Ladevorgänge im Mittel um ca. 5 % und maximal um etwa 14 %. Der Effekt ist also deutlich und kann in Abhängigkeit der allgemeinen Auslastung von Transformatoren zu Netzausbaubedarf führen. Der Hebel verschiedener Konzepte zum Verschieben von Ladevorgängen kann – insbesondere auch im Zusammenhang des Verhältnisses zwischen Park- und Ladezeiten (siehe Abbildung 9) – also erheblich sein. So könnte ein hoher Anteil an eigenverbrauchsoptimiertem Laden Spitzenbelastungen in Abendstunden abmildern. Auch durch variable Netzentgelte besteht diese Möglichkeit. In Abschnitt 4.3.2 werden die Potenziale, die aus gesteuerten Ladevorgängen resultieren dargestellt.

Unter der Annahme, dass für alle gemäß Mengengerüst zu erwartenden Ladevorgänge auch **Ladeeinrichtungen** existieren, ist mit einer **deutlichen Mehrbelastung im Stromnetz** zu rechnen. Für bereits im Status quo stark belastete Komponenten **kann dies zu notwendigem Netzausbau führen**.

In einem typischen städtischen Netzgebiet mit 63 % Mehrparteienhäusern wurden die **Transformatoren** in einer Jahressimulation durch ungesteuerte Ladevorgänge mit 11 kW **im Mittel um 5 % und maximal 14 % stärker belastet**. Durch Verschiebung der Ladevorgänge kann die Lastspitze also potenziell verringert werden. Dies kann zum Beispiel durch Preissignale für gesteuertes Laden erreicht werden.

### 4.3.2 Potenziale durch gesteuertes (uni- und bidirektionales) Laden

Insgesamt zeigen die Simulationsergebnisse des betrachteten Anwendungsfalles in einem städtischen Gebiet mit vorwiegend Mehrparteienhäusern und Gewerbeimmobilien nur geringen Ausbaubedarf der Transformatoren aufgrund der Ladevorgänge der Elektrofahrzeuge. Jedoch ergeben sich aufgrund der hohen PV-Einspeisung, bei Ladeinfrastruktur mit höherer Leistung (z. B. 11 kW anstelle von 3,7 kW an Wohngebäuden) oder bei schon sehr hoher allgemeiner Auslastung der Transformatoren doch Netzüberlastungen. Zudem ist anzumerken, dass die Simulation im Rahmen dieser Studie mit Zeitreihen und perfekter Voraussicht arbeitet, bei Verwendung klassischer Planungsgrundsätze der Netzbetreiber und insbesondere auch bei einem Markthochlauf über die 15 Mio. Elektrofahrzeuge hinaus würde höchstwahrscheinlich mehr Netzausbau erfolgen müssen. Eine Simulation dieser Fälle sowie verschiedener Ladestrategien geht über diese Studie hinaus, die Möglichkeiten hier durch gesteuertes und bidirektionales Laden Überlastungen zu vermeiden, werden von daher literaturbasiert diskutiert.

Die Ergebnisse der Simulationsstudie stehen im Einklang mit bereits durchgeführten Analysen in der Literatur. So zeigen auch Ergebnisse vorheriger Analysen, dass das ungesteuerte Laden von Elektrofahrzeugen zu einer Überlastung von Netzkomponenten (Qian et al. 2011), insbesondere von Transformatoren, führen kann. Eine Studie mit Anwendungsfall UK zeigt beispielsweise, dass Überlastungen von Transformatoren doppelt so häufig auftreten wie Unterspannungen (Crozier et al. 2020). Probleme treten hauptsächlich in solchen Niederspannungsnetzen auf, in denen ein hoher Fahrzeugbesitz herrscht, private Fahrzeuge das Hauptverkehrsmittel im Berufsverkehr darstellen und die bestehende Stromnachfrage bereits hoch ist (Crozier et al. 2020).

Auch wenn eine höhere BEV-Durchdringung tendenziell zu einer höheren Spitzenlast führt, ergeben sich deutliche Unterschiede bzgl. der Höhe des Anstiegs der Spitzenlast zwischen den einzelnen Studien und untersuchten Gebieten. Bei 100 % BEV-Durchdringung schwanken die Ergebnisse vorheriger Studien bzgl. einer Erhöhung der Spitzenlast zwischen ca. 5 % und bis zu ca. 95 % (Blumberg et al. 2022; Crozier et al. 2018; Crozier et al. 2019; Powell et al. 2022). Diese Unterschiede lassen sich durch die Betrachtung unterschiedlicher Netzsituationen (z. B. städtisch vs. ländlich) aber auch beispielsweise Netztypen oder Saisonalitäten erklären. Hierdurch wird eine Vergleichbarkeit der Studienergebnisse erschwert. Lastspitzen werden im Wesentlichen an Heimpladepunkten (abends) verursacht, bei zunehmender Verbreitung von Elektrofahrzeugen und Infrastruktur auch durch Laden am Arbeitsplatz (vormittags) oder an öffentlichen Ladepunkten (kurze Lastspitzen über den Tag verteilt) (Studie Anwendungsfall Schweiz (Gschwendtner et al. 2023b)).

Schon durch unidirektional gesteuertes Laden bietet sich ein deutliches Flexibilitätspotenzial. Neben anderen Vorteilen wie bspw. geringeren Netzverlusten können auch die Spitzenlast und Netzengpässe reduziert werden (Anwar et al. 2022). Durch verzögertes Laden kann ein Großteil der Ladelast in Nebenzeiten verlagert werden (Zhang et al. 2014), allerdings kann durch gleichzeitiges Starten des Ladevorgangs auch ein sogenannter Überkoordinationseffekt mit deutlich höheren Lastspitzen auftreten (Jones et al. 2023; Stephan und Gschwendtner 2023). Auch hier hängt der Effekt der Reduktion der Lastspitze von vielen Parametern ab, inklusive des Netzgebiets, des Ladeortes, der Ausstattung der Infrastruktur und dem Ladeprozess (Powell et al. 2022; Anwar et al. 2022). Durch nahezu optimierte Ladevorgänge können Reduktionen der Ladelastspitzen um bis zu 80-99 % möglich sein (Anwendungsfall UK (Crozier et al. 2018)), andere Studien ergeben eine Reduktionspotenzial der Lastspitzen um 10-50 % (Anwar et al. 2022). Auch eine Veränderung des Einsteckverhaltens, d. h. eine nicht nur zeitliche, sondern auch örtliche Verschiebung der Ladelast, kann die Spitzenlast deutlich verringern (Gschwendtner et al. 2023b).

Wird zusätzlich auch bidirektional geladen, d. h. das Fahrzeug auch wieder entladen, so können Gesamtsystemkosten noch weiter gesenkt werden (Müller et al. 2023). Auch ergeben vorherige Studien die Möglichkeit zum Ausgleich auch innerhalb von Lastspitzenzeiten und einer verbesserten Integration erneuerbarer Energien durch bidirektionales Laden. Auch wenn bidirektionale Ladestrategien mit dem Ziel der Integration von PV-Strom typischerweise zu hohen Lastspitzen über die Mittagszeit führen (Gschwendtner et al. 2023a; Blumberg et al. 2022), werden diese erhöhte Lastspitzen durch ein insgesamt günstigeres Stromsystem mehr als kompensiert (Blumberg et al. 2022). Eine Studie ergibt, dass ein zukünftiges kostenoptimales Energiesystem in Deutschland aus ca. 30 % bidirektionale Elektrofahrzeugen besteht (Müller et al. 2023). Ein möglicher Nachteil von bidirektionalem gegenüber unidirektionalem Laden ist eine Überlastung von Netzkomponenten insbesondere Transformatoren, beispielsweise in Netzsituationen mit geringer Transformatorkapazität gepaart mit einer hohen Anzahl Haushalte und BEV im Netzgebiet (Mueller und Schulze 2021). Zudem sind für bidirektionales Laden im Vergleich zu unidirektional gesteuertem Laden zusätzliche Investitionskosten notwendig (Müller et al. 2023). Nichtsdestotrotz werden bidirektionale Ladeanwendungen auch für die Nutzer\*innen wirtschaftlich werden, insbesondere die das Zurückspeisen in Gebäude, d. h. Vehicle-to-Home (V2H) und Vehicle-to-Business (Müller et al. 2023). Jedoch ist das Zurückspeisen in das Netz, d. h. von Vehicle-to-Grid (V2G) Anwendungen, in Deutschland erst nach dem Abbau von regulatorischen Hürden möglich (Müller et al. 2023).

Zudem ist auch eine hohe Akzeptanz der Nutzer\*innen erforderlich, sodass das Flexibilitätspotenzial durch gesteuertes Laden genutzt werden kann. Studien haben ergeben, dass insbesondere finanzielle Anreize hier hilfreich sein können (Gschwendtner et al. 2023a; Jones et al. 2023; Kubli 2022; Schmalfuß et al. 2015) - neben weiteren relevanten Aspekten wie Komfort, Sicherheit und der Integration erneuerbarer Energien (Schmalfuß et al. 2015; Huber et al. 2019). Auch die Möglichkeit,

den gesteuerten Ladeprozess bei Bedarf beenden zu können, ist für Nutzende (gemäß einer aktuellen Befragung in Deutschland für ca. 25 % der Nutzer\*innen (Helferich et al. 2023)) relevant. Zudem erfordert eine optimale Steuerung auch Daten wie bspw. Ladezeiten oder Ladepräferenzen, deren Herausgabe für Nutzende eine Hürde darstellen kann (Helferich et al. 2023).

Zusammenfassend lässt sich auf Basis dieser Literaturrecherche sagen, dass schon durch gesteuertes unidirektionales Laden die in dieser Studie simulierten Netzüberlastungen sehr wahrscheinlich deutlich reduziert werden könnten. Insbesondere auch, da ein sehr hohes Flexibilitätspotenzial besteht (siehe Abschnitt 4.2.3). Für die Niederspannungsnetze resultieren aus den 15 Mio. BEV höhere Spitzenlasten. In dem analysierten typischen städtischen Mischgebiet beträgt die Erhöhung bis zu 14 % (siehe Abschnitt 4.3.1). Demnach könnten durch gesteuertes Laden auch Überlastungen von bereits hoch ausgelasteten Transformatoren (bis zu ca. 88-98 % Auslastung) vermieden werden. Bei höherer BEV-Durchdringung ist - insbesondere in Netzgebieten mit hohem Fahrzeugbestand- mit einer deutlich höheren Erhöhung der Lastspitzen zu rechnen. In diesem Fall müssten sehr hoch ausgelastete Transformatoren wahrscheinlich ausgetauscht werden. Des Weiteren bieten das Verschieben von Ladeprozessen hin zur Mittagszeit sowie bidirektionales Laden die Möglichkeit, die Überlastung des Netzes durch PV-Einspeisung zu reduzieren.

#### 4.4 Kostenbetrachtung für Ladeinfrastruktur in Mehrparteienhäusern

Die Quantifizierung von Kosten für die Installation von Ladeinfrastruktur ist mit hohen Unsicherheiten verbunden, da sie stark von lokalen Gegebenheiten im Gebäude, dem Zustand der vorhandenen Elektrik sowie nicht zuletzt der regionalen Kostenstruktur und Verfügbarkeit von Fachpersonal abhängt. Da die vorhandene Literatur begrenzt ist, werden im Rahmen dieser Studie existierende Literaturquellen mit einer Expertenbefragung kombiniert<sup>9</sup>. Hierbei wurde das folgende Vorgehen gewählt:

- Die Kosten für die Installation von Ladeinfrastruktur werden bottom-up ermittelt
- Es wird zwischen fixen und variablen Komponenten und Kostenbestandteilen differenziert, um Größendegressionseffekte abzubilden
- Zusätzlich werden für die Kalkulation Annahmen zu den verwendeten Kabellängen und Kabeldurchmessern getroffen
- Für die vorliegende Studie wird davon ausgegangen, dass alle installierten Ladepunkte individuell verkabelt werden<sup>10</sup>
- Kosten für die Verstärkung bzw. Erweiterung des Netzanschlusspunktes eines Gebäudes sind mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet und werden für die vorliegende Betrachtung nicht berücksichtigt
- Ebenfalls nicht berücksichtigt wird die Option der Vorverkabelung von Stellplätzen ohne Installation von Ladeinfrastruktur, bei der insbesondere die Kosten für die Ladesäule, unter Umständen aber auch für weitere Komponenten, wegfallen würden

Die folgenden Komponenten werden für die Kostenabschätzung berücksichtigt:

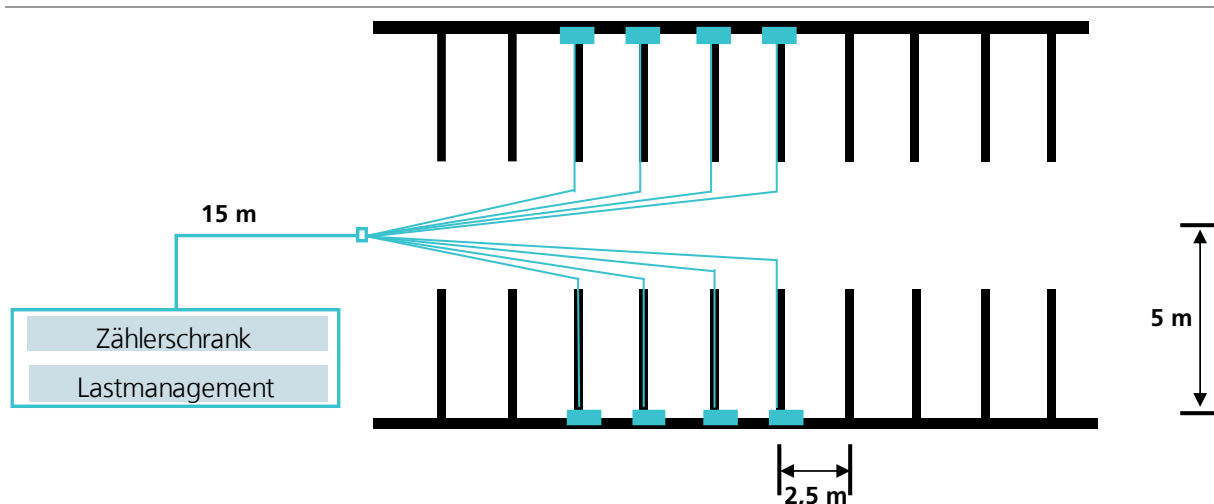
---

<sup>9</sup> Für die Kostenschätzungen wurden zwei Literaturquellen, Komarnicki et al. 2018 und Schulze 2022 mit Expertenwissen des Fraunhofer ISE aus verschiedenen Forschungs- und Feldversuchsprojekten (z. B. LamA – Laden am Arbeitsplatz (BMWK), Real-labor EnStadt:Pfaff (BMBF), Fellbach ZEROplus (BMVI)) kombiniert.

<sup>10</sup> Die Installation einer hohen Anzahl von Ladepunkten, z. B. in größeren Tiefgaragen, wird unter Umständen unter Nutzung einer Stromschiene durchgeführt. Entsprechend findet keine individuelle Verkabelung jedes Ladepunktes statt, was für größere Installationen kostengünstiger sein kann. Dies wird im Rahmen der vorliegenden Studie nicht betrachtet.

- LSV-konforme Ladeeinrichtungen und dazugehörige Leistungselektronik: Hier wird davon ausgegangen, dass Ladepunkte in einem Mehrparteienhaus/Nichtwohngebäude kommunikativ über das Open Charge Point Protocol (OCPP) steuerbar angebunden werden. Diese Eigenschaft erhöht den Preis für die Ladeeinrichtung geringfügig
- Kosten Verkabelung: Für die Quantifizierung von Kabellängen und die daraus resultierenden Kosten werden hierbei abhängig von der Anzahl der zu installierenden Ladepunkte die benötigten Kabellängen addiert. Kosten für weitere Hardware werden zum Kabelpreis addiert. Abbildung 13 zeigt das für die Abschätzung von Kabellängen gewählte Vorgehen
- Kosten Verteilerschrank und Sicherungen: Es wird davon ausgegangen, dass bei >3 Ladepunkten der Verbau eines zusätzlichen Zählerschranks (zusätzlich zur bereits vorhandenen Hauselektrik) notwendig ist
- Personalkosten für die Installation und Inbetriebnahme der Ladeeinrichtungen sowie die Verkabelung basieren auf Expertenschätzungen. Hierbei wird von Größendegressionseffekten ausgegangen, d. h. je mehr Ladepunkte installiert werden, desto geringer ist der zeitliche Aufwand
- Parkplatzmarkierungen
- Einrichtung von WLAN oder einer kabelgebundenen Kommunikationsmöglichkeit an der Ladeeinrichtung
- Vorbereitung der Ladeeinrichtung (Hardware/Software) zur Anbindung des lokalen Energie- und Lastmanagementsystems, z B. über ein Smart-Meter-Gateway
- Personalkosten des Errichters/Projektmanagement

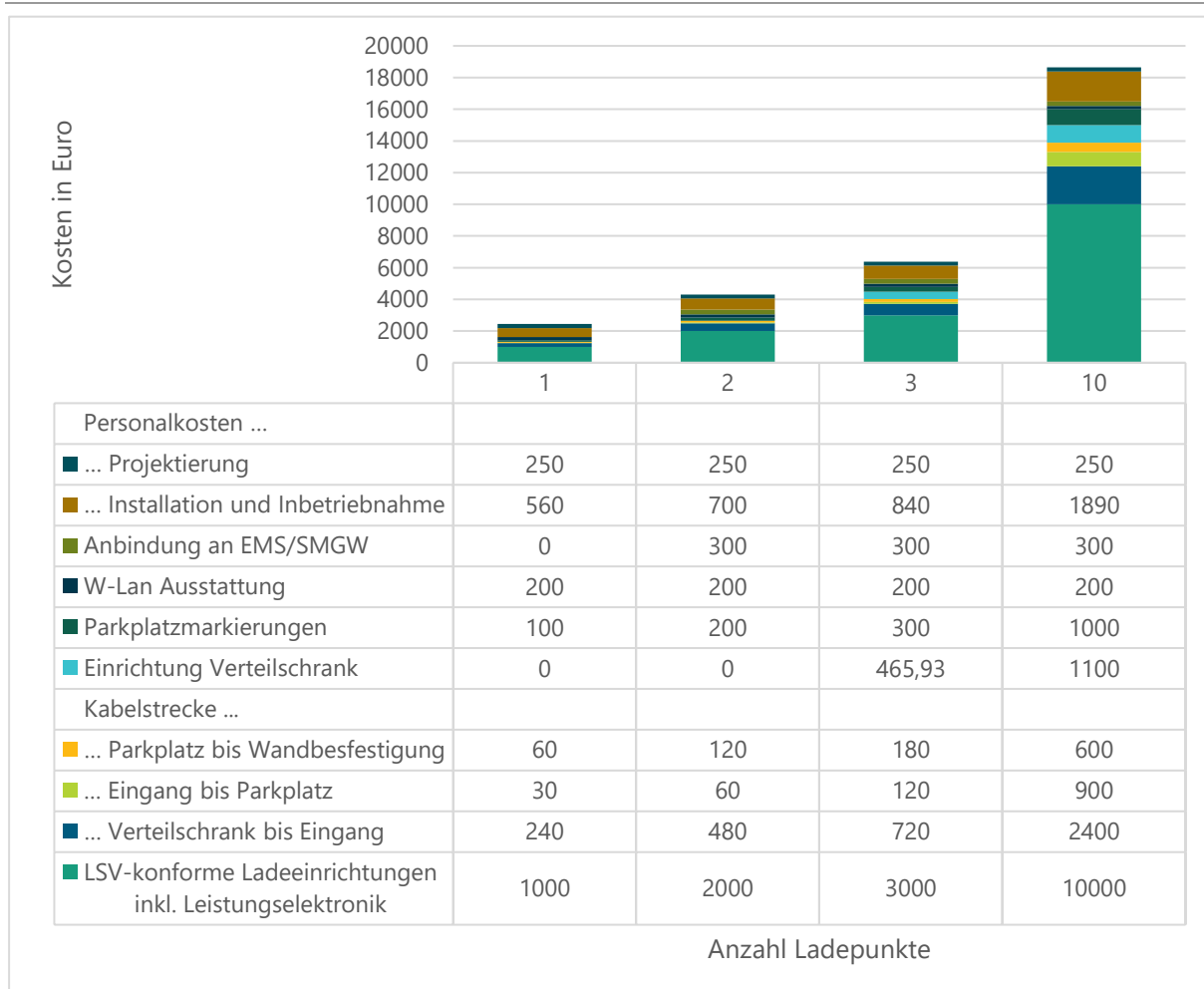
**Abbildung 13: Vorgehen bei der Kostenabschätzung für die Installation von Ladepunkten – individuelle Verkabelung**



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 14 gibt einen Überblick über die Kosten der Installation von Ladepunkten. Die Abbildung zeigt, dass die Ladepunkte den größten Kostenpunkt ausmachen. Bedingt durch fixe Kostenkomponenten sowie Effizienzen bei der Installation einer größeren Anzahl von Ladepunkten geht die vorliegende Studie von sinkenden Kosten pro Ladepunkt bei größeren Installationen aus.

**Abbildung 14: Kosten für Ladeinfrastruktur in Abhängigkeit der Anzahl der zu errichtenden Ladepunkte**



Quelle: (Komarnicki et al. 2018); (Schulze 2022); Expertenbefragung des Fraunhofer ISE

Die Ergebnisse bewegen sich im Bereich einer vom ADAC durchgeführten Erhebung (ADAC 2023)<sup>11</sup>. Dennoch sei an diesem Punkt darauf hingewiesen, dass die Kosten für die Installation von Ladeinfrastruktur zahlreichen Unsicherheitsfaktoren unterliegen. Handwerker\*innenlöhne sind regional unterschiedlich, die Dauer der Installation hängt von Gegebenheiten wie den Entfernungen in der Garage oder auch dem Alter der Hauselektrik ab. Darüber hinaus variieren auch die Kosten der Ladesäulen je nach Hersteller, Verwendungszweck und Verkäufer. Die hier durchgeführte Kostenkalkulation kann daher nur eine grobe Abschätzung geben.

Laufende Kosten wie die Wartung, Kosten für den Betrieb eines Backends oder Lastmanagements sind nicht berücksichtigt. Diese werden in der Regel von den Ladestationsbesitzer\*innen oder Betreiber\*innen getragen, können jedoch über den Strombezug gewälzt werden.

## 4.5 Abschätzung auf Deutschlandebene

Zur Abschätzung der Kosten für die Ladeinfrastruktur an Mehrparteienhäusern in Deutschland werden zwei Extremfälle betrachtet: Die gesetzlich vorgeschriebene Installation von Ladeinfrastruktur

<sup>11</sup> Erhebung der Ladeinfrastrukturinstallationskosten für ein 13-Parteien-Gebäude, durchgeführt für die Installation einer einzelnen Wallbox (1045 – 5200 Euro) sowie einer vollständigen Vorverkabelung der 13 Stellplätze, wobei an drei Stellplätzen Wallboxen installiert wurden (7500 - 42300 Euro).

sowie die vollständige Elektrifizierung der vorhandenen Stellplätze. Für beide Fälle wird davon ausgegangen, dass die vorhandenen Stellplätze über die Gebäudekategorien (3-6 Wohnungen, 7-12 Wohnungen, 13 und mehr Wohnungen) hinweg anteilig gleichverteilt sind (d. h. für alle Gebäudekategorien gehen wir davon aus, dass 25 % der Gebäude über Stellplätze verfügen).

Im ersten Fall wird vom bestehenden GEIG ausgegangen. Wie in Abschnitt 3.3 aufgezeigt, kann angenommen werden, dass von den Regelungen des GEIG in Bestandsgebäuden und Neubauten Ladeinfrastruktur rund 0,8 Mio. Stellplätze betroffen sind. Für die vorliegende Abschätzung wird über das GEIG hinaus davon ausgegangen, dass diese Stellplätze nicht nur mit Verkabelung, sondern auch mit Ladeinfrastruktur ausgestattet werden. Die Gesamtkosten für die Ladeinfrastruktur in den betroffenen Gebäuden in Deutschland werden hierbei auf rund 1,52 Mrd. EUR geschätzt.

Im zweiten Fall wird davon ausgegangen, dass alle Gebäude mit Stellplätzen mit Ladeinfrastruktur ausgestattet werden, d. h. nicht nur solche, die aufgrund einer Renovierung von den Regelungen des GEIG betroffen sind. Dies umfasst rund 840.000 Gebäude und 5 Mio. Ladeeinrichtungen. Die Gesamtkosten dieser Maßnahme summieren sich auf rund 9,52 Mrd. Euro. Zum Vergleich: die Installation von Ladeinfrastruktur an allen 12,3 Mio. Einfamilienhäusern in Deutschland würde sich auf 18,5 – 55,5 Mrd. Euro summieren<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Annahme: Kosten Wallbox: 500 – 1500 Euro; Kosten Installation: 1000 – 3000 Euro basierend auf Bosch Home Comfort 2024; carwow 2023; chargeguru 2023.

## 5 Synthese

---

Die vorliegende Studie untersucht den Ladeinfrastrukturbedarf in Mehrparteienhäusern und Nichtwohngebäuden in Deutschland aus Sicht von Elektrofahrzeugnutzer\*innen und untersucht die daraus resultierenden Verteilnetzbelastungen bis zum Jahr 2030. Darüber hinaus wird ein Überblick zum regulatorischen Rahmen zur Errichtung von Ladeinfrastruktur. Im Hinblick auf den regulatorischen Rahmen zeigt die Analyse, dass der Ausbau der Ladeinfrastruktur an Gebäuden (insbesondere Mehrparteienhäuser und Nichtwohngebäude) in Deutschland vorrangig durch das GEIG geregelt wird. Dieses wird – dies ist bereits angekündigt – im Nachgang der Novellierung der EPBD auf europäischer Ebene ebenfalls angepasst (Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) 2022).

Bei Verabschiedung der EPBD im Frühjahr 2024 muss die Richtlinie nach einer zweijährigen Übergangsfrist bis spätestens 2026 in nationales Recht in Deutschland (in Form des GEIG) übertragen werden. Da 2030 als Zieljahr der Studie verwendet wurde, basieren die Berechnungen auf einer Gesamtzahl von 15 Mio. Elektrofahrzeuge in Deutschland. Effekte, die ab einer darüberhinausgehenden Anzahl von Fahrzeugen zum Tragen kommen, waren nicht Gegenstand der Studie.

### **Ladebedarfe in Mehrparteienhäusern und Nichtwohngebäuden**

Die Simulation von Ladevorgängen in Mehrparteienhäusern zeigt, dass mindestens für 20 % der Elektrofahrzeuge ein Ladepunkt vorzusehen ist. Jedoch ist dies nur unter der Bedingung ausreichend, dass geteilte Stellplätze mit Ladeinfrastruktur zur Verfügung stehen und zugleich gewährleistet ist, dass die Ladeinfrastruktur nach Ladung für das nächste Fahrzeug zur Verfügung steht, z. B. indem Gebühren für blockierte Stellplätze, auf denen nicht geladen wird, erhoben werden. Dieses Verhalten wird von den Autor\*innen insbesondere in Mehrparteienhäusern nicht als realistisch und wünschenswert erachtet. Darüber hinaus kann nach 2030 von noch höheren Ladebedarfen ausgegangen werden, da zu diesem Zeitpunkt mit einem steilen Wachstumspfad für Elektrofahrzeuge zu rechnen ist. Somit stellen die 20 % eine untere Grenze für den entsprechend größeren Ladeinfrastrukturbedarf für Elektrofahrzeuge dar.

Für Nichtwohngebäude (besonders am Arbeitsplatz) fällt der Ladeinfrastrukturbedarf bezogen auf die parkenden Elektrofahrzeuge geringer aus als in Mehrparteienhäusern. Dies ist vor allem darin begründet, dass zahlreiche Fahrzeuge (sowohl Private als auch Dienstwagen) gemäß den Simulationsannahmen bereits zuhause geladen werden. Außerdem kann zumindest in Teilen davon ausgegangen werden, dass Ladepunkte nach dem Ladevorgang von den Fahrzeugnutzer\*innen wieder freigegeben werden. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass – unter der Bedingung, dass Ladepunkte unmittelbar freigegeben werden – für mindestens 10 % der Autos ein Ladepunkt vorzusehen ist. Somit würden die aus der EPBD-Novelle resultierenden neuen gesetzlichen Mindestanforderungen für die Versorgung von Nichtwohngebäuden (bzw. Bürogebäuden) mit Ladeinfrastruktur bis zu einem Hochlauf von 15 Mio. Elektrofahrzeugen ausreichen. Auch an dieser Stelle sei jedoch angemerkt, dass dieses Verhalten als unrealistisch betrachtet wird und daher eine untere Schranke für den Ladeinfrastrukturbedarf darstellt. Zudem stellen Nichtwohngebäude eine sehr heterogene Gebäudeklasse dar und Aussagen zu Anforderungen an Ladeinfrastrukturbedarfe an öffentlich zugänglichen Parkplätzen von z. B. Supermärkten, Bahnhöfen oder Parkhäusern werden aufgrund der geringen und wenig belastbaren Datenlage nicht getroffen.

Die Ergebnisse zu den Ladebedarfen sind aus Sicht der Ladebedarfe zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse zu verstehen. Aus energiewirtschaftlicher Sicht könnte zusätzliche Ladeinfrastruktur, insbesondere an Nichtwohngebäuden, dazu beitragen, dass beispielsweise zur Mittagszeit, der Anteil erneuerbarer Energien im Ladestrom von Elektrofahrzeugen erhöht wird.

### **Flexibilitätsnutzung durch Lademanagement**

Die Nutzung eines Energiemanagementsystems ist für private Ladevorgänge sinnvoll, um zu gewährleisten, dass diejenigen Fahrzeuge priorisiert werden, die lediglich für eine kurze Zeit zur Verfügung stehen oder einen großen Energiebedarf und damit entsprechend geringen Speicherfüllstand aufweisen.

Für Flottenfahrzeuge besteht ein großes Flexibilitätspotenzial, da diese außerhalb der Arbeitszeit für bidirektionale Flexibilitätsanwendungen zur Verfügung gestellt werden könnten. Wird dieses Potenzial durch die Einführung eines Lademanagementsystems erschlossen, könnte es zukünftig für Aggregatoren interessant werden, da die Flexibilität planbar zur Verfügung steht. Ebenso besteht die Möglichkeit, Flexibilitätspotenziale aus Elektrofahrzeugen im Kontext von Unternehmen für energiewirtschaftliche Anwendungsfälle hinter dem Netzanschlusspunkt (bspw. Spitzenkappung) einzusetzen.

### **Netzauswirkungen**

Im Niederspannungsnetz ist zukünftig mit einer Mehrbelastung zu rechnen. Für bereits im Status quo stark belastete Komponenten kann dies zum notwendigen Netzausbau führen. Der Einsatz eines netzorientierten Lastmanagements kann dabei Lastspitzen verringern und zeitlich verkürzen. Hierbei ist hinzuzufügen, dass davon auszugehen ist, dass sich die Elektrifizierung des Fahrzeugbestandes im Jahr 2030 noch immer auf einem steilen Wachstumspfad befindet, sodass nach 2030 mit weiter zunehmenden Herausforderungen im Verteilnetz gerechnet werden kann.



**Abbildung 15: Ergebnisse für Ladeorte, Energiebedarf und Netzauswirkungen bezogen auf GEIG und EPBD**

Bezogen auf GEIG		
<b>Mengengerüst</b>	Wohngebäude (Mehrparteienhäuser) 12 BEV/100 Wohneinheiten	<b>Nichtwohngebäude</b> 13 BEV/100 Mitarbeitende (nur EV mit parken und laden bei der Arbeit + Flotte)
<b>Studie</b>	Pro 20% der BEV ist <u>mindestens</u> ein Ladepunkt notwendig*	Pro 10% der BEV am Arbeitsplatz ist <u>mindestens</u> ein Ladepunkt notwendig*
<b>Neubauabdeckung</b>	✓ <ul style="list-style-type: none"><li>Max. 0,6 Mio. SP in Neubauten &gt;5 SP durch GEIG</li></ul>	✓ alle Neubauten werden vom GEIG erfasst
<b>Bestandsabdeckung</b>	GEIG: > 5 SP: Ausstattung jedes SP mit Vorverkabelung <ul style="list-style-type: none"><li>Max. 0,2 Mio. Stellplätze (31T Gebäude mit SP) werden aufgrund erwarteter größerer Renovierungen durch GEIG vorverkabelt</li></ul> <b>X</b> <ul style="list-style-type: none"><li><b>Aber: Ca. 4,8 Mio. SP werden vom GEIG erfasst, aber aufgrund ausbleibender Renovierungen nicht VV → 740T Gebäude, die nicht saniert werden &amp; keinen SP haben</b></li></ul>	> 6 SP.: Ausstattung jedes 3. SP mit Vorverkabelung + min. 1 Ladepunkt <ul style="list-style-type: none"><li>Renovierte Nicht-Wohngebäude sind über das GEIG erfasst</li></ul> <b>X</b> <ul style="list-style-type: none"><li><b>Aber: Nicht renovierte Nicht-Wohngebäude sind über das GEIG nicht erfasst</b></li></ul>
<b>Energiebedarf und Netz (bezogen auf vom GEIG erfasste &amp; renovierte Gebäude)</b>	<b>X</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Es steht ausreichend Vorverkabelung zur Verfügung</li><li>Es stehen nicht ausreichend Ladepunkte zur Verfügung</li><li>Netzausbaubedarf ist gering</li><li>Ein EMS ist für Leistungen ≥ 11kW sinnvoll</li><li>Ein EMS ist für einphasiges Laden (3.7 kW) nicht nötig</li></ul>	✓ <ul style="list-style-type: none"><li>Es steht ausreichend Vorverkabelung zur Verfügung</li><li>Für Unternehmen &lt; 100 Mitarbeiter stehen i.d.R. genügend Ladepunkte zur Verfügung*</li><li>Netzausbaubedarf ist gering</li><li>Ein EMS ist zur Priorisierung von Ladevorgängen sinnvoll</li><li>Die Aussage bezieht sich nur auf Laden am Arbeitsplatz (Private und Flottenladung)</li></ul>
Bezogen auf EPBD		
<b>Mengengerüst</b>	Wohngebäude (Mehrparteienhäuser) 12 BEV/100 Wohneinheiten	<b>Nichtwohngebäude</b> 13 BEV / 100 Mitarbeitende (nur EV mit parken und Lama + Flotte)
<b>Studie</b>	Für <u>mindestens</u> 20% der EV ist ein Ladepunkt notwendig*	Für <u>mindestens</u> 10% der EV am Arbeitsplatz ist ein Ladepunkt notwendig*
<b>Neubauabdeckung</b>	✓ EPBD: >3 SPs: Ausstattung von min. 50% d. SPs mit VV, restl. SPs mit LI + Errichtung min. 1 LP <ul style="list-style-type: none"><li>alle Neubauten werden von der EPBD erfasst</li></ul>	✓ EPBD: >5 SPs: Ausstattung von min. 50% d. SPs mit VV, restl. SPs mit LI + Errichtung min. 1 LP je 5 SP (Bürogebäude: min. 1 LP je 2 SPs) <ul style="list-style-type: none"><li>alle Neubauten werden von der EPBD erfasst</li></ul>
<b>Bestandsabdeckung</b>	EPBD bei Renovierung: >3 SPs: Ausstattung von min. 50% d. SPs mit VV, restl. SPs mit LI <ul style="list-style-type: none"><li>0.4 Mio. Stellplätze (61T Gebäude mit SP) werden aufgrund erwarteter größerer Renovierungen vom EPBD erfasst</li></ul> <b>X</b> EPBD unabhängig von Renovierung: Staaten müssen Förderprogramme gem. EV -Zielen liefern <ul style="list-style-type: none"><li><b>4,6 Mio. Stellplätze werden aufgrund ausbleibender Renovierungen nicht ausreichend vom EPBD erfasst → 710T Gebäude, die nicht saniert werden &amp; keinen SP haben</b></li></ul>	EPBD: >5 SPs: Ausstattung von min. 50% d. SPs mit VV, restl. SPs mit LI + Errichtung min. 1 LP je 5 SP (Bürogebäude min. 1 LP je 2 SPs) <ul style="list-style-type: none"><li>Renovierte Gebäude sind ausreichend abgedeckt</li></ul> <b>✓</b> EPBD: >20 SPs: Errichtung LP für min. 10% d. SPs oder LI für 50% d. SPs (ab 2027) <ul style="list-style-type: none"><li>Nicht renovierte Gebäude mit mehr als 20 SPs sind ab 2027 ausreichend abgedeckt</li></ul>
<b>Energiebedarf und Netz (vom GEIG erfasste und renovierte Gebäude)</b>	<b>X</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Es stehen ausreichend <u>Leitungssysteme</u> zur Verfügung</li><li>Es stehen <u>nicht</u> ausreichend <u>Ladepunkte</u> zur Verfügung</li><li>Netzausbaubedarf ist gering</li><li>Ein EMS ist für Leistungen ≥ 11kW sinnvoll</li><li>Ein EMS ist für einphasiges Laden (3.7 kW) nicht nötig</li></ul>	✓ <ul style="list-style-type: none"><li>Es stehen ausreichend Ladepunkte an Bürogebäuden zur Verfügung</li><li>Netzausbaubedarf ist gering</li><li>Ein EMS ist zur Priorisierung von Ladevorgängen sinnvoll</li><li>Die Aussage bezieht sich nur auf Laden am Arbeitsplatz (Private und Flottenladung)</li></ul>

\*Unter der Annahme, dass ...

- a) Stellplätze mit Ladepunkt nur während der Ladezeit belegt und dann wieder freigegeben werden
- b) Oder: Nach der Ladung Autos auf anderen Stellplätzen mit einem Ladepunkt verbunden werden können

**Annahmen definieren Mindestanforderung an Ladeinfrastruktur**

EMS= Energiemanagementsystem, VV = Vorverkabelung, SP = Stellplatz, LP = Ladepunkt, LI = Leitungsinfrastruktur

### **Zukünftige Ladeorte und regulatorische Verankerung**

Obgleich große Teile des Elektrofahrzeugbestands weiterhin an Ein- und Zweiparteienhäusern verortet werden können, erwarten wir im Jahr 2030 ca. 1,6 Mio. private und Dienstfahrzeuge an Mehrparteienhäusern mit privaten Stellplätzen. In den Jahren nach 2030 kann darüber hinaus weiterhin von einer steilen Wachstumskurve ausgegangen werden.

Bei Nichtwohngebäuden mit GEIG-Relevanz zeigt sich, dass Laden am Arbeitsplatz durch private und Dienstwagen ca. 20 – 30 % der Ladevorgänge von 13,5 Mio. BEV ausmachen. Bei einmal Laden pro Woche dieser 13,5 Mio. BEV entspricht dies ca. 3 Mio. BEV pro Tag. Laden im Depot erfolgt von ca. 1,5 Mio. Flotten-BEV oder ca. 0,3 Mio. Flotten-BEV pro Tag. Nichtwohngebäuden - sowohl Bürogebäuden als auch Supermärkten, Parkhäusern, Freizeiteinrichtungen und ähnlichen Gebäude - kommt insofern eine hohe Bedeutung zu, als dass diese insbesondere für die Bewohner\*innen von Mehrparteienhäusern ohne eigenen Stellplatz oder ohne Zugang zu privater Ladeinfrastruktur Orte darstellen, an denen planbare Lademöglichkeiten bestehen.

Abbildung 15 stellt dieses „Mengengerüst“ im Hinblick auf die Anzahl der zu erwartenden Fahrzeuge sowie die weiteren wesentlichen Erkenntnisse dieser Studie den Anforderungen von GEIG und EPBD-Novelle gegenüber. Im Hinblick auf Neubauten zeigt die Analyse, dass sowohl die Anforderungen des GEIG als auch der EPBD in ausreichenden Maße Lademöglichkeiten ermöglichen. Dies ist sowohl für Mehrparteienhäuser als auch für Nichtwohngebäude der Fall. Jedoch deckt dies im Fall von Mehrparteienhäusern bei aktueller Neubauquote bis zum Jahr 2030 lediglich 0,6 Mio. Stellplätze ab. In Bestandsgebäuden ergeben die Ergebnisse der Studie, dass 0,2 Mio. Stellplätze (GEIG) bzw. 0,4 Mio. Stellplätze (EPBD) aufgrund von Renovierungen gesetzlich erfasst werden, was zu einer verpflichtenden Verkabelung führt. GEIG und EPBD unterscheiden sich hier, da die EPBD-Maßnahmen (Vorverkabelung oder Ladepunkte) bereits bei mehr als drei Stellplätzen nach sich zieht. Relevant aus Sicht des GEIG sind Gebäude erst bei mehr als fünf Stellplätzen. Somit kann festgestellt werden, dass sowohl durch das aktuelle GEIG als auch eine mögliche Verschärfung im Sinne der EPBD und optimistischen Annahmen bzgl. der Vorbereitung von Ladepunkten weniger als eine Million Ladepunkte in Mehrparteienhäusern geschaffen werden. Da eine Verpflichtung, Ladeinfrastruktur zu errichten, lediglich bei größeren Renovierungen oder Neubauten besteht, werden ca. 4,8 Mio. Stellplätze (GEIG) bzw. 4,6 Mio. Stellplätze (EPBD) und entsprechend 740.000 Gebäude (GEIG) bzw. 710.000 Gebäude (EPBD) nicht aus gesetzlichen Gründen mit Vorverkabelung oder Ladepunkten ausgestattet. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass die aus GEIG und EPBD resultierende Ausstattung von Stellplätzen mit Ladeinfrastruktur nicht automatisch mit der tatsächlichen Verbreitung von Elektrofahrzeugen übereinstimmt (d. h. es ist möglich, dass Ladeinfrastruktur an einem Gebäude geschaffen wird, bei dem kein Bedarf besteht. Andernorts besteht Bedarf, da Fahrzeuge vorhanden wären, es wird jedoch keine Ladeinfrastruktur installiert). In der Konsequenz müssten weitere Stellplätze an Nichtwohngebäuden wie Bürogebäuden, Parkhäusern und Supermärkten geschaffen werden, damit Nutzer\*innen ohne eigenen Stellplatz bei der Arbeit, dem Einkaufen oder in der Freizeit laden können.

Es bleibt daher eine Lücke zwischen den Anforderungen des GEIG bzw. der EPBD und dem Bedarf von Elektrofahrzeugen in Mehrparteienhäusern. Eine ambitionierte Ausgestaltung des zukünftigen GEIG - potenziell über die EPBD-Novelle hinaus - wäre insofern wünschenswert, da dies eine Ladeinfrastruktur-Lücke verringern und somit die Nutzung von Elektrofahrzeugen für die Bewohner\*innen deutlich erleichtern könnte.

## Literaturverzeichnis

---

ADAC (2023): Wallbox: Kosten für die Installation einer Ladestation. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/wallbox-kosten/>, zuletzt geprüft am 09.01.2024.

Anderson, J. E.; Bergfeld, M.; Nguyen, D. M.; Steck, F. (2022): Real-world charging behavior and preferences of electric vehicles users in Germany. In: *International Journal of Sustainable Transportation*, S. 1–15. Online verfügbar unter [https://tandf.figshare.com/articles/journal\\_contribution/Real-world\\_charging\\_behavior\\_and\\_preferences\\_of\\_electric\\_vehicles\\_users\\_in\\_Germany/21770769](https://tandf.figshare.com/articles/journal_contribution/Real-world_charging_behavior_and_preferences_of_electric_vehicles_users_in_Germany/21770769).

Anwar, M. B.; Muratori, M.; Jadun, P.; Hale, E.; Bush, B.; Denholm, P. et al. (2022): Assessing the value of electric vehicle managed charging: a review of methodologies and results 15 (2), S. 466–498. DOI: 10.1039/D1EE02206G.

Blumberg, G.; Broll, R.; Weber, C. (2022): The impact of electric vehicles on the future European electricity system – A scenario analysis. In: *Energy Policy* 161, S. 112751. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112751.

BNetzA (2023): Bundesnetzagentur legt Regelungen zur Integration steuerbarer Verbrauchseinrichtungen fest. Bundesnetzagentur. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/20231127\\_14a.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/20231127_14a.html), zuletzt aktualisiert am 12.12.2023, zuletzt geprüft am 12.12.2023.

Bosch Home Comfort (2024): Wallbox-Kosten: Von Kauf und Installation bis Wartung. Online verfügbar unter <https://www.bosch-homecomfort.com/de/de/wohngeshaeude/wissen/ratgeber-automobilitaet/wallbox/wallbox-kosten/>, zuletzt aktualisiert am 08.01.2024, zuletzt geprüft am 09.01.2024.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) (2022): Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung, zuletzt geprüft am 12.01.2024.

Bundesverband Parken e.V. (2023): Effizient und platzsparend – die Parkraumbewirtschaftung in Deutschland. Erste Ergebnisse der Umfrage „Parkhausbetreiber 2022“. Online verfügbar unter <https://www.parken.de/download/pressemitteilung-die-parkraumbewirtschaftung-in-deutschland-vom-1-februar-2023/?wpdmdl=10577&refresh=659faaf43a77d1704962804>, zuletzt geprüft am 15.01.2024.

carwow (2023): Wallbox fürs E-Auto: Kosten, Installation und Anbieter Vergleich. Online verfügbar unter <https://www.carwow.de/ratgeber/elektroauto/e-auto-laden-wie-teuer-ist-eine-wallbox#gref>, zuletzt geprüft am 09.01.2024.

chargeguru (2023): Wie viel kostet die Installation einer Ladestation? Online verfügbar unter <https://chargeguru.com/de/blog/wie-viel-kostet-die-installation-einer-ladestation/>, zuletzt aktualisiert am 16.10.2023, zuletzt geprüft am 09.01.2024.

Council of the European Union (2023): Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the energy performance of buildings (recast). Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2023/12/07/fit-for-55-council-and-parliament-reach-deal-on-proposal-to-revise-energy-performance-of-buildings-directive/>, zuletzt geprüft am 12.01.2024.

- Crozier, C.; Apostolopoulou, D.; McCulloch, M. (2018): Mitigating the impact of personal vehicle electrification: A power generation perspective. In: *Energy Policy* 118, S. 474–481. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.03.056.
- Crozier, C.; Morstyn, T.; McCulloch, M. (2019): A Stochastic Model for Uncontrolled Charging of Electric Vehicles Using Cluster Analysis. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/abs/1907.09458>, zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- Crozier, C.; Morstyn, T.; McCulloch, M. (2020): The opportunity for smart charging to mitigate the impact of electric vehicles on transmission and distribution systems. In: *Applied Energy* 268, S. 114973. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114973.
- Deschermeier, P.; Henger, R.; Oberst, C.; Hagenberg, A.-M. (2023): Stellplätze im Wohnungsbau. Bedarfe und Preise, Gutachten im Auftrag der BPD Immobilienentwicklung GmbH, Köln. Online verfügbar unter <https://www.iwkoeln.de/studien/philipp-deschermeier-ralph-henger-christian-oberst-stellplaetze-im-wohnungsbau.html>.
- Fischer, D.; Harbrecht, A.; Surmann, A.; McKenna, R. (2019): Electric vehicles' impacts on residential electric local profiles – A stochastic modelling approach considering socio-economic, behavioural and spatial factors. In: *Applied Energy* 233–234, S. 644–658. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.10.010.
- Fraunhofer ISI (2015): REM2030 Driving Profiles Database V2015. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Karlsruhe.
- Gnann, T.; Speth, D.; Plötz, P.; Wietschel, M.; Krail, M. (2022): Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge: Rückblick und Ausblick bis 2030. Working Paper Sustainability and Innovation No. S05/2022. Fraunhofer ISI.
- Gschwendtner, C.; Knoeri, C.; Stephan, A. (2023a): Mind the goal: Trade-offs between flexibility goals for controlled electric vehicle charging strategies 26 (2), S. 105937. DOI: 10.1016/j.isci.2023.105937.
- Gschwendtner, C.; Knoeri, C.; Stephan, A. (2023b): The impact of plug-in behavior on the spatial-temporal flexibility of electric vehicle charging load. In: *Sustainable Cities and Society* 88, S. 104263. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104263.
- Helferich, M.; Tröger, J.; Stephan, A.; Preuss, S.; Pelka, S.; Stute, J.; Plötz, P. (2023): Tariff option preferences for smart and bidirectional charging: Evidence from battery electric vehicle users in Germany. In: *Manuskript*.
- Hörner, M. (2021): Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten, zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- Hörner, M.; Rodenfels, M.; Cischinsky, H.; Behnisch, M.; Busch, R.; Spars, G. (2021): Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen. Institut Wohnen und Umwelt GmbH, zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- Huber, J.; Schaule, E.; Jung, D.; Weinhardt, C. (2019): Quo Vadis Smart Charging? A Literature Review and Expert Survey on Technical Potentials and User Acceptance of Smart Charging Systems. In: *WEVJ* 10 (4), S. 85. DOI: 10.3390/wevj10040085.
- Jones, L.; Lucas-Healey, K.; Sturmberg, B.; Temby, H.; Islam, M. (2023): The A to Z of V2G - A comprehensive analysis of vehicle-to-grid technology worldwide, zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- Komarnicki, P.; Haubrock, J.; Styczynski, Z. A. (2018): Elektromobilität und Sektorenkopplung. Infrastruktur- und Systemkomponenten. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

- Kraftfahrt-Bundesamt (2023): Jahresbilanz Bestand Kraftfahrzeuge. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz\\_Bestand/fz\\_b\\_jahresbilanz\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/fz_b_jahresbilanz_node.html), zuletzt geprüft am 12.07.2023.
- Kubli, M. (2022): EV drivers' willingness to accept smart charging: Measuring preferences of potential adopters. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 109, S. 103396. DOI: 10.1016/j.trd.2022.103396.
- Kühn bach, M.; Stute, J.; Gnann, T.; Wietschel, M.; Marwitz, S.; Klobasa, M. (2020): Impact of electric vehicles: Will German households pay less for electricity? In: *Energy Strategy Reviews* 32, S. 100568. DOI: 10.1016/j.esr.2020.100568.
- Mueller, M.; Schulze, Y. (Hg.) (2021): Future grid load with bidirectional electric vehicles at home. ETG Congress 2021. Online, 18-19 March 2021. Berlin: VDE VERLAG GMBH. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9469677/metrics#metrics>.
- Müller, M.; Kern, T.; Ostermann, A.; Dossow, P. (2023): BDL – Bidirektionales Lademanagement Abschlussbericht der FfE. München. Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2023/03/BDL-Abschlussbericht.pdf>, zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- OpenStreetMap Deutschland (2023): Die freie Wiki-Weltkarte. Online verfügbar unter <https://www.openstreetmap.de/>, zuletzt aktualisiert am 22.08.2023, zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- Plötz, G.; Kühn, W. (2013): Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Studie im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Langfassung. Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE), zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- Powell, S.; Cezar, G. V.; Min, L.; Azevedo, I. M. L.; Rajagopal, R. (2022): Charging infrastructure access and operation to reduce the grid impacts of deep electric vehicle adoption. In: *Nature Energy* 7 (10), S. 932–945. DOI: 10.1038/s41560-022-01105-7.
- Preuß, S.; Kunze, R.; Zwirnmann, J.; Meier, J.; Plötz, P.; Wietschel, M. (2021): The share of renewable electricity in electric vehicle charging in Europe is higher than grid mix (No. S11/2021), zuletzt geprüft am 12.12.2023.
- Qian, K.; Zhou, C.; Allan, M.; Yuan, Y. (2011): Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems. In: *IEEE Transactions on Power Systems* 26 (2), S. 802–810. DOI: 10.1109/TPWRS.2010.2057456.
- Scherrer, A.; Burghard, U.; Wietschel, M.; Dütschke, E. (2019): Early Adopter von E-Fahrzeugen - Ladeleistungen, Eigenerzeugung und Einstellungen zum Lademanagement. In: *et. Energiewirtschaftliche Tagesfragen: Zeitschrift für Energiewirtschaft, Recht und Technik* (69), S. 23–26. Online verfügbar unter <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/b4508322-01ab-42ff-af8a-a5dacb58e207/details>.
- Schmalfuß, F.; Mair, C.; Döbelt, S.; Kämpfe, B.; Wüstemann, R.; Krems, J. F.; Keinath, A. (2015): User responses to a smart charging system in Germany: Battery electric vehicle driver motivation, attitudes and acceptance. In: *Energy Research & Social Science* 9, S. 60–71. DOI: 10.1016/j.erss.2015.08.019.
- Schulze, O. (2022): Elektromobilität - ein Ratgeber für Entscheider, Errichter, Betreiber und Nutzer. Facetten zu Ladeinfrastruktur, Subventionsregeln, Kosten und Handling. Wiesbaden, Heidelberg: Springer (Sachbuch).
- Statistisches Bundesamt (2020): Mikrozensus 2020 DeStatis. 68 % der Erwerbstätigen fahren 2020 mit dem Auto zur Arbeit. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemittei->

lungen/2021/09/PD21\_N054\_13.html#:~:text=68%20%25%20der%20Erwerbst%C3%A4tigen%20fahren%202020,Auto%20zur%20Arbeit%20%2D%20Statistisches%20Bundesamt, zuletzt aktualisiert am 18.10.2021, zuletzt geprüft am 12.12.2023.

Statistisches Bundesamt (2021): Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden - Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden. Online verfügbar unter [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj\\_ycXLoeCDAxWEgf0HHfhJAhlQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.destatis.de%2FDE%2FThemen%2FGesellschaft-Umwelt%2FWohnen%2FPublikationen%2FDownloads-Wohnen%2Ffortschreibung-wohnungsbestand-pdf-5312301.pdf%3F\\_\\_blob%3Dpublication-File&usg=AOvVaw3ACxE6D\\_AGT6umiNvwuctJ&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj_ycXLoeCDAxWEgf0HHfhJAhlQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.destatis.de%2FDE%2FThemen%2FGesellschaft-Umwelt%2FWohnen%2FPublikationen%2FDownloads-Wohnen%2Ffortschreibung-wohnungsbestand-pdf-5312301.pdf%3F__blob%3Dpublication-File&usg=AOvVaw3ACxE6D_AGT6umiNvwuctJ&opi=89978449), zuletzt geprüft am 15.01.2024.

Stephan, A.; Gschwendtner, C. (2023): Enabling Flexible Electric Vehicle Grid Integration – ErVIn Final Project Report. Zurich, zuletzt geprüft am 12.12.2023.

Thamling, M.; Rau, D. (2022): Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045. Online verfügbar unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/gebäudestrategie-klimaneutralitaet-2045.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/gebäudestrategie-klimaneutralitaet-2045.pdf?__blob=publicationFile&v=6), zuletzt geprüft am 12.12.2023.

Zensus Datenbank (2011): 3000G-1009: Gebäude: Wohnungen im Gebäude. Zensusdatenbank (2022): Gebäude: Wohnungen im Gebäude 3000G-1009. Online verfügbar unter <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank//online?operation=table&code=3000G-1009&by-pass=true&levelindex=0&levelid=1689193990026#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 12.07.2023.

Zensus2011 (2023): Bevölkerungs- und Wohnungszählung 2011. Online verfügbar unter [https://www.zensus2011.de/DE/Home/home\\_node.html](https://www.zensus2011.de/DE/Home/home_node.html), zuletzt aktualisiert am 12.12.2023, zuletzt geprüft am 12.12.2023.

Zhang, K.; Xu, L.; Ouyang, M.; Wang, H.; Lu, L.; Li, J.; Li, Z. (2014): Optimal decentralized valley-filling charging strategy for electric vehicles. In: *Energy Conversion and Management* 78, S. 537–550. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.11.011.