

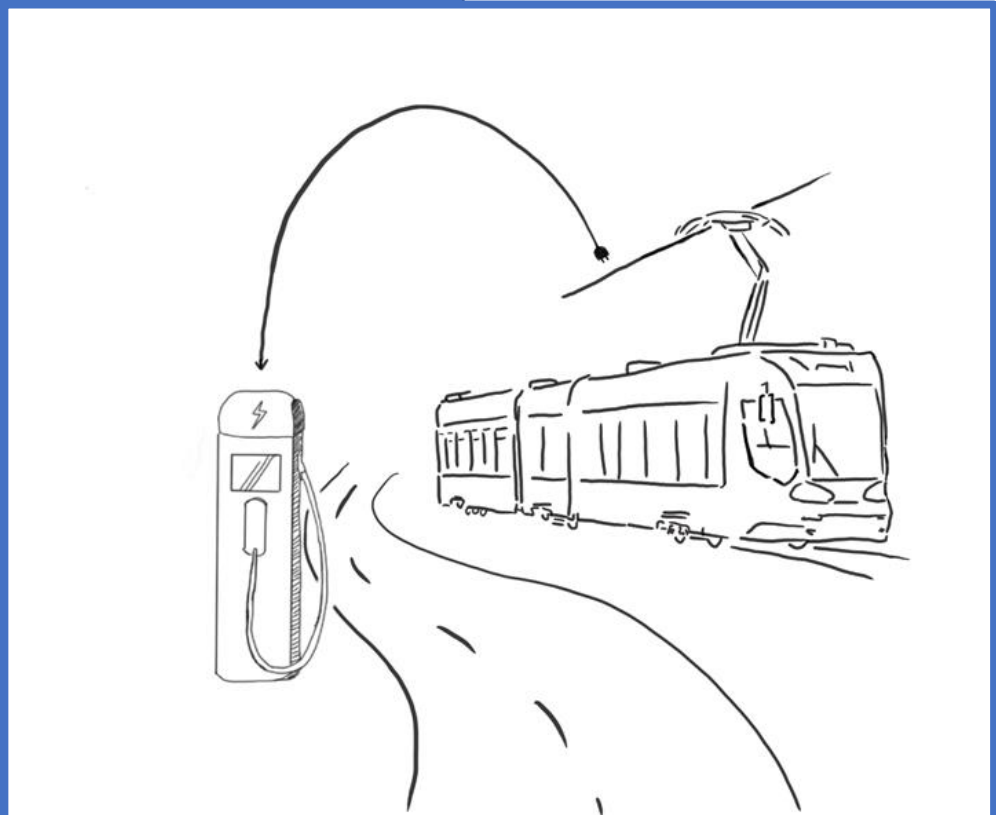
Forschungsprojekt DC-LEO: Handlungsleitfaden

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



30.06.2024

Autorenschaft: Elke Bouillon, Gerrit Bremer, Jens Gumz, Karsten Hager, Torsten Koch, Alexandra König, Matthias Kresel, Sandra Parno, Wolfgang Rid, Benedikt Scheier, Christoph Webel

Zusammenfassung

Um eine breite Akzeptanz und Nutzung von Elektrofahrzeugen zu ermöglichen, ist es wichtig, dass eine ausreichende öffentliche Ladeinfrastruktur vorhanden ist. Zum aktuellen Zeitpunkt stellt hierbei an manchen Standorten das Stromnetz einen limitierenden Faktor dar. Eine Möglichkeit stellt die Nutzung einer alternativen Netzinfrastruktur dar. Das Forschungsprojekt DC-LEO (Gleichstromladen an elektrischen Oberleitungen) beschäftigte sich von 2020 bis 2023 mit der Entwicklung einer Ladeinfrastruktur, welche die Gleichstromleitungen der Straßenbahnen nutzt. Ungefähr 70 deutsche Städte verfügen über ein Straßenbahnnetz, sodass die DC-LEO-Technologie großes Potential für die Übertragbarkeit besitzt.

Dieser Handlungsleitfaden bündelt die Ergebnisse und Erfahrungen des Projektes und möchte den Leserinnen und Lesern eine Handreichung bieten, wie die Technologie in unterschiedlichen Anwendungsbereichen eingesetzt werden kann. Der Handlungsleitfaden umfasst Inhalte zu folgenden Themen: rechtliche und technische Rahmenbedingungen, Stakeholder rund um die Ladeinfrastruktur, Anwendungsfälle der Technologie (Usecases) und Transfer der Technologie in verschiedenen Einsatzfeldern und mit möglichen Betreibermodellen.

Dieser Handlungsleitfaden richtet sich an unterschiedliche Leserinnen und Leser, die sich mit dem Thema der Ladeinfrastruktur beschäftigen. Dabei ist dieser Handlungsleitfaden sowohl für Anbieter dieser neuen Art von Ladeinfrastruktur als auch Abnehmer gedacht.

Inhalt

1	Einführung	5
1.1	Der technologische Ansatz von DC-LEO	6
1.2	Chancen und Herausforderungen der Anwendungen der DC-LEO-Technologie	8
2	Rahmenbedingungen	11
2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	11
2.2	Technische Rahmenbedingungen	13
2.3	Städtische Rahmenbedingungen.....	15
3	Stakeholder rund um Ladeinfrastruktur.....	17
3.1	Akteure beim Errichten von der Ladeinfrastruktur.....	17
3.2	Akteure beim Betrieb der Ladeinfrastruktur.....	18
3.3	Nutzende von Ladeinfrastruktur	20
3.3.1	Nutzendengruppen.....	20
3.3.2	Indirekte Nutzende.....	21
3.3.3	Weitere Stakeholder mit Interesse an Ladeinfrastruktur	21
4	Usecases für Ladeinfrastruktur	23
4.1	Übersicht über Usecases für Ladeinfrastruktur	23
4.2	Alltagsladen	25
4.2.1	Heimladen	25
4.2.2	Laden am Arbeitsplatz.....	28
4.2.3	Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz	30
4.3	Laden unterwegs	34
4.3.1	Zwischenstopp.....	36
4.3.2	Laden am Zwischenziel.....	38
4.3.3	Laden am Zielort.....	39
4.4	Gelegenheitsladen.....	41
4.5	Laden von Mobilitätsdienstleistern.....	43
4.5.1	Laden von Bussen im Linienverkehr	43
4.5.2	Laden von Bedarfsverkehr.....	44
4.5.3	Carsharing-Fahrzeuge (am Standort)	45
5	Transfer von DC-LEO.....	47
5.1	Potentialanalyse	47

5.1.1	Einsatzfeld Laden von Bussen	47
5.1.2	Einsatzfeld Mobilitätsstation.....	49
5.2	Betreibermodell für DC-LEO	53
5.3	Ökonomische Analyse und Geschäftsmodell	55
5.4	Methode für räumlichen Transfer der DC-LEO Technologie.....	58
6	Fazit	60
7	Literaturverzeichnis.....	61

1 Einführung

Der Markthochlauf von Elektromobilität scheitert bisher noch häufig an der als unzureichend wahrgenommenen Ladeinfrastruktur (Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2024). In Zukunft wird es bei einer flächendeckenden wirtschaftlichen und bedarfsorientierten Ladeinfrastruktur jedoch darum gehen, das Ladenetz entsprechend den differenzierten Anwendungsfällen (Use Cases) kostengünstig auszubauen. Das Forschungsprojekt *DC-LEO (Gleichstromladen an elektrischen Oberleitungen)*, das von 2020 bis 2023 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert wurde, hatte zum Ziel, eine neuartige Ladeinfrastruktur auf Basis der Oberleitungen von Straßenbahnen für den urbanen Raum zu entwickeln und zu erproben (schematische Darstellung in Abbildung 1). Dadurch sollen Netzausbaukosten reduziert werden und zusätzliche Standorte für eine Ladeinfrastruktur im Stadtraum erschlossen werden, um so dem Ziel der Bundesregierung Rechnung zu tragen: „... den vorauslaufenden Ausbau der Ladesäuleninfrastruktur mit dem Ziel von einer Million öffentlich und diskriminierungsfrei zugänglichen Ladepunkten bis 2030 mit Schwerpunkt auf Schnellladeinfrastruktur ressortübergreifend zu beschleunigen“ (SPD, 2021, S. 51). Die Innovation des Forschungsprojekts DC-LEO basiert auf Straßenbahnnetzen, die aus verschiedenen Gründen eine besondere Herausforderung für die Nutzung einer Elektroladeinfrastruktur für Pkw sind. Einerseits muss der sichere und zuverlässige Bahnbetrieb stets gewährleistet sein und nicht durch die Ladeinfrastruktur (LIS) beeinflusst werden. Andererseits haben Straßenbahnnetze eine, im Vergleich zum öffentlichen Stromnetz, stark fluktuierende Netzspannung. Deshalb muss der Eingangsspannungsbereich der Ladesäule entsprechend dimensioniert sein, denn hohe Spannungsspitzen sind keine Ausnahme.

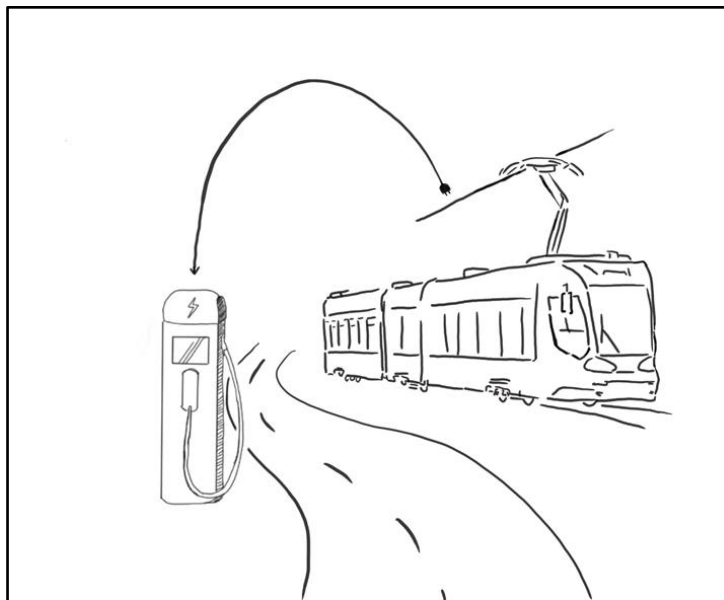


Abbildung 1: Schematische Darstellung der DC-LEO-Technologie, eigene Abbildung



Dieser Handlungsleitfaden richtet sich sowohl an Anbietende als auch Abnehmende dieser neuen Art von Ladeinfrastruktur. Welche Kapitel für welche Interessensgruppen besonders interessant sind, können Sie der Abbildung 2 entnehmen.



Abbildung 2: Überblick über relevante Kapitel für verschiedene Interessensgruppen

1.1 Der technologische Ansatz von DC-LEO

Im Verbundvorhaben „DC-LEO – Gleichstromladen an elektrischen Oberleitungen“ wurde der Demonstrator einer DC-Ladesäule (DC-LEO-LIS) entwickelt und erprobt, welcher aus einem Straßenbahnnetz versorgt werden kann. Im Ergebnis steht eine Ladesäule, welche in der aktuellen Konfiguration eine Ladeleistung von bis zu 50 kW im Ladestandard CCS bereitstellt. Zudem sind die gültigen Sicherheitsstandards und Normen Entwicklung berücksichtigt worden.

Der Anschluss der Ladesäule geschieht über eine geeignete Stelle im Straßenbahnnetz (z.B. ein Oberleitungsabgriff). Für die Versorgung der Ladesäule ist es notwendig, dass sowohl die Speisespannung als auch der Rückleiter am Installationsort zugänglich ist. Für den Anschluss an das Straßenbahnnetz können schon bestehende Abgriffe für bspw. Weichenheizungen vergrößert werden, um so die Kosten für diesen Systemteil möglichst gering zu halten. Diese Abgriffe müssen mit einem GFK-Schutzgehäuse, diversen Komponenten zum Schutz, gegen Personenschäden und Überspannung ausgestattet werden. Die Errichtung dieses Systems liegt im Kompetenzbereich der

Verkehrsbetriebe und kann aus dem Erfahrungsbereich der Verkehrsbetriebe als realistisch gesehen werden. Eine Dokumentation des Um-/ Aufbaus für die spätere Übertragung auf andere Gleichspannungsnetze und insbesondere Oberleitungen wird durchgeführt.

Durch die Ladesäule wird das fluktuierende Spannungsniveau des Straßenbahnnetzes auf das geforderte Spannungsniveau des Elektrofahrzeugs angepasst bzw. ein kontinuierlicher Ladestrom zur Verfügung gestellt. Ein Ladecontroller übernimmt dabei neben der Kommunikation mit dem Fahrzeug die Steuerung und Koordination der internen Betriebsmittel der Ladesäule für die Bereitstellung der Ladeleistung. Ein GPRS/GSM Modem stellt zudem über die Verbindung zum Internet her, um so die Abrechenbarkeit der Station zu gewährleisten.

Die technischen Daten des entwickelten Ladesäulendemonstrators sind in folgender Tabelle aufgelistet. Im derzeitigen Demonstrator sind zwei Leistungsstufen mit je 30 kW verbaut. Die Anzahl dieser DC/DC-Wandler kann auf max. 10 erhöht werden, sodass eine Gesamtladeleistung von bis zu 300kW erreicht werden kann.

Tabelle 1: Technische Daten des Ladesäulendemonstrators

<i>Max. Ladeleistung: 60 kW DC</i>	<i>IP Schutzart (Gerät): IP54</i>
<i>Steckertyp: CCS Typ 2</i>	<i>Schutz gegen mechanischen Schlag: IK10</i>
<i>Anzahl Stecker: 1</i>	<i>Betriebsspannungsbereich: -30 - +50°C</i>
<i>Online-Kommunikation: OCPP 1.6</i>	<i>zulässige relative Luftfeuchtigkeit: 5-95%</i>
<i>Größe (LxBxH): 800x800x2000 mm</i>	<i>Normen und Richtlinien: EN 61851, EN 62196</i>
<i>Gewicht: 200 kg</i>	<i>Schutzeinrichtung: Notaus-Taster, Schutz gegen Über- und Unterspannung</i>
<i>Nennstrom: 100 A</i>	<i>RFID-Schnittstelle</i>
<i>Eingangsspannungsbereich: 650-825 V</i>	<i>Abgriff Straßenbahnzuleitung 660V DC</i>
<i>Anschlussquerschnitt: 60kW-35mm²</i>	<i>Schutzklasse: 1</i>
<i>Ausgangsspannung: 150-1000V DC</i>	<i>Befestigungsart: Verschraubung</i>

Der entwickelte Demonstrator wird in einem Kurzvideo vorgestellt (Abbildung 3), das frei online auf der Forschungsdatenplattform zenodo verfügbar ist: [10.5281/zenodo.12567472](https://zenodo.org/record/12567472)



Abbildung 3: Screenshot des Demonstrator-Kurzvideos

Das Ergebnis des Forschungsprojektes ist die Grundlage für ein neues Produkt bzw. eine neue Produktfamilie, welches durch die Firma System Entwicklung Nordhausen GmbH (SEN) weiterentwickelt und vertrieben wird. Dieses Produkt umfasst ein skalierbares System mit 30 bis 200 kW Ladeleistung und ist durch einen Weitbereichseingang von 650-825 V DC für unterschiedliche Gegebenheiten ausgelegt. Ladenetzbetreiber können ihr Netz mit dieser Technologie erweitern. Zudem kann eine Nutzungsoptimierung zusammen mit Photovoltaikanlagen und Windkraftanlagen durch weitere DC-Module erfolgen.

Leserinnen und Leser, die an der Technologie und einer möglichen Kooperation interessiert sind, können auf Matthias Kresel, den geschäftsführenden Gesellschafter der Firma SEN zugehen (Mail: m.kresel@se-ndh.de, Telefon: 03631 658 94 30).

1.2 Chancen und Herausforderungen der Anwendungen der DC-LEO-Technologie

Bislang wurde die Ladeinfrastruktur eher aus der Perspektive der Leistung (Normalladen, Schnelladen, High Power Charging) (NPM 2020), aus der Sicht des Ladeortes (privates Laden, öffentliches Laden, ggf. halböffentliches Laden) (Raum et al. 2019; NPM 2020) oder aus der generellen Unterscheidung zwischen Alltagsladen und öffentlichen Laden (Windt und Arnhold 2020) heraus betrachtet. Durch eine nutzerorientierte Betrachtung, die in DC-LEO verfolgt wurde, ergeben sich wichtige zusätzliche Aspekte für den optimalen Aufbau der Ladeinfrastruktur.

Der Fokus der Betrachtung liegt hier auf potenziellen UseCases für DC-LEO, eine Ladeinfrastruktur, die Strom direkt aus der Oberleitung von Straßenbahnen bezieht. Die UseCases haben daher einen Fokus auf dem städtischen Umfeld.

Folgende Vorteile der Anwendung der Ladung über die Oberleitung von Straßenbahnen anhand des DC-LEO-Konzepts ergeben sich:

- **Bestehende Infrastruktur nutzen:** Das wohl größte Potential bietet die Nutzung der bestehenden Infrastruktur. Die Straßenbahn-Oberleitung kann viel leichter aufgelastet werden als das öffentliche Netz, das dadurch entlastet werden kann.
- **Umgehung der unterirdischen Flächennutzungskonkurrenz:** Durch das DC-LEO-Konzept werden Tiefbauarbeiten vermieden, da keine unterirdische Infrastruktur aufgebaut werden muss. Das Problem der unterirdischen Flächenkonkurrenz von Netzen (wie Gas, Telekom etc.) im urbanen Raum kann somit umgangen werden.
- **Schnellladung**
- **Denkmalschutz**
- **Geringere Anschlusskosten:** durch den Wegfall von Tiefbauarbeiten und Wegfall des Anschlusses an Verteilnetz
- **Schnellere Erschließung neuer Standorte:** insbesondere, wenn das Verteilnetz vor Ort noch nicht entsprechend ausgebaut ist, wenn am gewünschten Ort keine Netzverfügbarkeit im ausreichenden Umfang besteht oder die Flächenkonkurrenz im Untergrund eine Versorgung des Standortes verhindert (z.B. bei der Kreuzung einer Gasleitung)
- **Fahrzeugbatterien an DC-LEO-LIS als Abnehmer für zurückgespeisten Strom aus Rekuperation von Straßenbahnen**

Es ergeben sich jedoch auch einige Herausforderungen der Ladung an Oberleitungen nach dem DC-LEO-Konzept:

- **Stromverkauf durch Verkehrsbetriebe:** Eine große Herausforderung ist die Weitergabe des subventionierten Stroms für die Straßenbahnen an die öffentliche Ladeinfrastruktur. Die Stromzählung und Abrechnung gegenüber dem günstigeren, privilegierten Bahnstrom eine große Herausforderung, da Verkehrsbetriebe damit zu Energieversorgern werden. Eine Lösungsmöglichkeit ist es, dass sich rechtliche Rahmenbedingungen ändern. Andernfalls können auch separate Zähler an den Entnahmestellen eingesetzt werden, für die Ausnahmegenehmigungen vom Zoll nötig sind. Außerdem nehmen diese Zähler sehr viel Platz an Ladestationen ein und sind deshalb nicht für den öffentlichen Raum geeignet
→ Lesen Sie mehr zur Rolle der Verkehrsbetriebe in den Kapiteln 2.1 und 5.2.
- **Problem Beeinflussung Schienenverkehr:** Die Betriebssicherheit des Straßenbahnverkehrs muss unter allen Umständen sichergestellt sein. Es muss für jeden einzelnen Punkt und Streckenabschnitt geprüft werden, ob Ladeleistung ausreicht, um zusätzliche Ladepunkte anzuschließen. Dafür wurden im Projekt umfangreiche Simulationen durchgeführt.
→ Lesen Sie mehr zu den Ergebnissen der Simulation in Kapitel 2.1 und der Veröffentlichung Esch et al., (2024).
- **Kosten:** DC-Ladeinfrastruktur ist teurer als AC-Ladung durch zusätzliche Technik, wie Trafo-Container und Umspannstation, sowie Zwischenpuffer mit zusätzlichem Akku. Fraglich ist deshalb, ob für das Normladen nicht AC-Ladung geeigneter ist und das DC-Laden nur als

Schnelllade-Option dienen sollte. Hier wären mögliche Usecases das Laden an Orten mit kurzer Verweildauer, wie Supermärkten.

- **Spannungsschwankungen:** Sowohl die Straßenbahnen als auch Ladeinfrastruktur müssen für die stark fluktuierende der Oberleitungsspannung ausgelegt sein. Aus diesem Grund wurden im Projekt Messungen und Laborversuche unter Realbedingungen durchgeführt, womit gezeigt wurde, dass die Ladung von Elektroautos vollumfänglich möglich ist.
→ Lesen Sie mehr zu den Ergebnissen der Laboruntersuchungen in Kapitel 2.2 und der Veröffentlichung Esch et al., (2024).

2 Rahmenbedingungen

2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Bei der Errichtung und Anwendung der DC-LEO-Technologie sind diverse rechtliche Rahmenbedingungen und Genehmigungen ausschlaggebend. Diese implizieren bestimmte Rollen und Anforderungen für ein Betreibermodell und den Betrieb von DC-LEO. Die Ableitung für mögliche Betreibermodelle wird in Kapitel 5.2 gesondert dargelegt. Nachfolgend sind zunächst die grundsätzlichen rechtlichen Rahmenbedingungen dargestellt:

➤ **Personenbeförderungsgesetz (PBefG) und Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BoSTRAB):**

Die Genehmigung der Errichtung der Ladeinfrastruktur nach PBefG und BoSTRAB muss vom Verkehrsunternehmen selbst beim Landesverwaltungsamt und der Technischen Aufsichtsbehörde (TAB) beantragt werden. Diese bestätigen die Sicherstellung, dass die Ladeinfrastruktur den Betrieb der Straßenbahn in keiner Weise einschränkt (BoStrab § 60 Abs. 10). Das zuständige Landesverwaltungsamt erteilt darüber hinaus in einer Plangenehmigung die Ausnahmegenehmigung von §29 BOStrab für die einzelnen ausgewählten LIS-Standorte.

Aufgrund dieser Anforderungen sollte das Verkehrsunternehmen einen möglichen Anreiz erhalten bzw. ein eigenes Interesse haben, die Ladeinfrastruktur zu errichten.

➤ **Stromsteuer-Durchführungsverordnung (StromStV):**

Verkehrsbetriebe, die Strom für „Verkehr mit Oberleitungsomnibussen oder für den Fahrbetrieb im Schienenbahnverkehr“ (gemäß § 9 Abs. 2 StromStG) entnehmen, können vom jeweils zuständigen Hauptzollamt eine Erlaubnis für eine begünstigte Stromsteuerentnahme erhalten. Dieser Strom darf auch an Dritte weitergegeben werden, wenn bezüglich der steuerrechtlichen Betrachtung folgende Aspekte sichergestellt sind und beim zuständigen Hauptzollamt vorgelegt werden:

(1) Einmal muss der weitergegebene Strom durch Messung extra erfasst werden. Dies gewährleistet eine Trennung zwischen Fahrstrom der Straßenbahn und dem weitergegebenen Strom, der unterschiedlichen Stromsteuersätzen unterliegt.

(2) Zudem muss ein Vertrag die Abgabe des Stroms zwischen Erlaubnisinhaber und Abnehmer regeln.

(3) Zusätzlich muss der Erlaubnisinhaber eine Zulassung einholen (nach § 13a Abs. 1 Nr. 2 StromStV) für die Abgabe von Strom zu nicht steuerbegünstigten Zwecken.

(4) Außerdem müssen Stromverluste plausibel nachverfolgt und erklärt werden können.

(vgl. Maslaton 2023, S. 56)

➤ **Ladesäulenverordnung (LSV):**

Wenn die DC-LEO-LIS öffentlich zugänglich errichtet wird, muss die LSV beachtet werden. Darunter zählen unter anderem die Mindestanforderung nach § 3 LSV, die einen diskriminierungsfreien Zugang zu Ladesäulen gewährleisten sollen. Die DC-LEO-Ladesäule muss demnach Wechselstromladen mit Steckern des Typs 2 nach Norm DIN EN 62196-2 ermöglichen, als auch Gleichstromladen für den Stecker Typ Combo 2 nach Norm DIN EN 62196-3.

Außerdem muss die Voraussetzung für punktuellen Laden gegeben sein, so dass Kundschaft für das Laden keine längerfristigen Verträge eingehen muss (gemäß § 4 LSV).

➤ **Mess- und Eichgesetz (MessEG):**

Die verwendeten Messgeräte und Abrechnungsmodelle müssen den Anforderungen des Mess- und Eichgesetzes entsprechen. Dies umfasst die Eichpflichtigkeit der Messgeräte, die Konformität mit den Anforderungen für die Messung und Abrechnung von elektrischer Energie sowie die Berücksichtigung des eichrechtskonformen Betriebs der Ladesäulen.

Als mögliche Abrechnungsmethoden können die Abrechnung nach kWh, Ladezeit oder Kombitarif (bestehend aus kWh und Ladezeit) genannt werden. Grundsätzlich gibt es darüber hinaus auch die Session Fee (fest vereinbarter Preis für einen Ladevorgang) oder die Flatrate (unbegrenzt Laden für einen festen Preis in einem festen Zeitraum), die jedoch keiner Eichpflicht unterworfen sind. (vgl. Maslaton 2023, S. 18ff.)

➤ **Betrieb der Ladepunkte und des Netzes nach dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG):**

Hier wird festgelegt, wie die Marktrollen in der Energiewirtschaft begleitet werden. Der Verkauf von Strom an Letztverbraucher ist grundsätzlich nur durch Stromanbieter möglich, die bei der Bundesnetzagentur gemeldet sind. Diese unterliegen zudem der Pflicht zur Ausweisung und Abfuhr von Steuern und Abgaben auf den Strom. Bei der Nutzung von Strom aus Straßenbahnnetzen für den Betrieb von Ladesäulen ist es außerdem zu vermeiden, dass der Stromnetzbetreiber gleichzeitig zum Netzbetreiber oder Energielieferanten wird.

Hierfür ist es relevant, zwischen dem Betreiber der Ladepunkte und dem Betreiber des Stromnetzes der Straßenbahnoberleitung zu unterscheiden. Der **Betreiber der Ladepunkte** gilt nach EnWG weder als Energieversorger noch als Netzbetreiber (gemäß § 3 Nr. 27 EnWG). Anstelle eines Energieversorgers wird er „vielmehr [...] einem Letztverbraucher gleichgestellt“ (Maslaton 2023, 28; vgl. § 3 Nr. 25 Halbsatz 2 Alt. 1 EnWG). Dies hat zu Konsequenz, dass der Betreiber der Ladepunkte weitestgehend nicht durch die Vorschriften des EnWG betroffen ist.

Weitreichendere Vorgaben sind allerdings beim **Betreiber des Stromnetzes** zu beachten, denn „gemäß § 7c Abs. 1 Satz 1 EnWG darf nämlich ein (Verteiler-) Netzbetreiber nicht zugleich Eigentümer von Ladepunkten für Elektromobile sein noch diese Ladepunkte entwickeln, verwalten oder betreiben“ (Maslaton 2023, S. 31). Demnach gilt es zu vermeiden, dass der Stromnetz-Betreiber als Netzbetreiber auftritt. Dies kann ausgeschlossen werden, wenn die Ladepunkte als **Kundenanlage** (§ 3 Nr. 24a bzw. Nr. 24b EnWG), oder als **geschlossenes Verteilernetz** (§ 110 EnWG) gewertet werden, oder der **reinen Eigenversorgung** dienen.

➤ **Abrechnung nach dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG):**

Bei der Abrechnung zwischen dem Ladestromlieferanten und dem Ladebetreiber müssen die Anforderungen des EnWG eingehalten werden (nach § 3 Nr. 25 EnWG). Gesonderte Vorgaben des EnWG für die Abrechnung mit der Kundschaft bestehen nicht, da der Ladebetreiber nach dem Gesetz bereits als Letztverbraucher gilt (siehe vorheriger Stichpunkt).

2.2 Technische Rahmenbedingungen

Der Betrieb von Ladesäulen an Oberleitungsnetzen erfordert neben der Einhaltung allgemeiner technischer Vorgaben zum elektrischen Laden zusätzlich die Berücksichtigung weiterer Rahmenbedingungen, welche sich spezifisch durch das Straßenbahnnetz ergeben. Im Folgenden sind diese stichpunktartig aufgelistet:

- Zu den wichtigsten allgemeinen Vorgaben zählen die Einhaltung der gültigen Normen zum elektrischen Laden von Fahrzeugen. Diese sind u.a.
 - **DIN EN IEC 61851** „Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge“
 - **ISO 15118** „Straßenfahrzeuge – Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladestation“
 - **DIN EN IEC 62196** „Stecker, Steckdosen, Fahrzeugkupplungen und Fahrzeugstecker – Konduktives Laden von Elektrofahrzeugen“
 - sowie allgemein die Einhaltung der geltenden **DIN-VDE Normen** (DIN VDE 0100-Reihe)
- Zudem ergeben sich durch das Straßenbahnnetz weitere Rahmenbedingungen. Die zentralen Punkte hierbei sind:
 - Straßenbahnnetze sind typischerweise als Gleichspannungssysteme ausgeführt, wobei sich die Nennspannungen je Bahnstromsystem unterscheiden können. Typische Nennspannungen sind z.B. 600 V oder 750 V.
 - Straßenbahnnetze haben eine, im Vergleich zum öffentlichen Stromnetz stark fluktuierende, Netzspannung. Deshalb muss der Eingangsspannungsbereich der Ladesäule entsprechend dimensioniert sein. Insbesondere mehrere hundert Volt hohe Spannungsspitzen sind bei der Dimensionierung zu berücksichtigen. Orientierung bietet die DIN EN 50163 „Bahnanwendungen - Speisespannungen von Bahnnetzen“, welche zulässige Spannungsgrenzwerte je Gleichstromsystem definiert.
 - Im Vergleich zum öffentlichen Stromnetz ist nicht an jedem Punkt im Netz eine technisch gut geeignete Anschlussmöglichkeit vorhanden, an dem sowohl Speisespannung als auch Rückleiter einfach abgegriffen werden können. Eine individuelle Planung vor Ort ist demnach notwendig. Dies betrifft zudem die örtlichen Gegebenheiten bezüglich der Belastbarkeit einzelner betroffener Betriebsmittel.
 - Das Straßenbahnnetz ist an wenigen Tagen im Jahr von Netzausfällen, z.B. aufgrund von Wartungsarbeiten am Gleichspannungssystem, betroffen, sodass Ladevorgänge ggf. nicht durchgeführt werden können oder abgebrochen werden müssen.
 - Die Priorität liegt weiterhin in auf dem uneingeschränkten Betrieb der Straßenbahn. Abhängig von Anzahl der Ladesäulen und Ladeleistung und der im Straßenbahnnetz freien Kapazität ist ggf. ein übergeordnetes Lastmanagement der Ladesäulen notwendig.
 - Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV) hat im Rahmen von VDV - Schriften Mitteilungen und Regelwerken herausgegeben, welche auch u.a. spezifisch den Straßenbahnbereich betreffen. Besonderes Augenmerk bezogen auf den Anwendungsfall ist hierbei auf die elektrischen Schutzmaßnahmen, die Erdungskoordination sowie die erforderlichen Mindestabstände zu Strecke bzw. Oberleitung zu richten. In diesem Zusammenhang sind folgende die Schriften von besonderem Interesse:

- VDV-Schrift 506: „Aufbau und Schutzmaßnahmen von elektrischen Energieanlagen in Betriebshöfen und Werkstätten von Gleichstrom-Nahverkehrsbahnen“
- VDV-Schrift 507: „Aufbau und Schutzmaßnahmen von elektrischen Energieanlagen an Strecken von Gleichstrom-Nahverkehrsbahnen“

Im Rahmen des Projektes DC-LEO wurden umfangreiche Langzeit-Feldmessungen im Projektgebiet, dem Straßenbahnnetz Nordhausen, durchgeführt. Zudem wurde das Straßenbahnnetz in einer Simulationsumgebung modelliert und untersucht.

Basierend auf den Messdaten in Kombination mit dem simulierten Netz ist eine realitätsnahe Testumgebung im Labor für den Ladesäulendemonstrator aufgebaut worden, welche das fluktuierende Netzverhalten des Straßenbahnnetzes nachbildet. Diese wurde genutzt, um mit dem Ladesäulendemonstrator Ladevorgänge durchzuführen und die Rückwirkungen auf das Straßenbahnnetz Nordhausen zu untersuchen.

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass einzelne Ladungen mit 50 kW Ladeleistungen ohne Einschränkungen durchführbar und die Auswirkungen auf das Straßenbahnnetz gering sind. Nichtsdestotrotz ist bei höheren Ladeleistungen bzw. größerer Anzahl an Ladesäulen im Straßenbahnnetz eine individuelle Prüfung der Belastbarkeit des Netzes und ggf. ein übergeordnetes Lastmanagement erforderlich. Detailliertere Informationen zu den Untersuchungen sind in (Esch et al., 2024) zu finden.

2.3 Städtische Rahmenbedingungen

Bei der Errichtung von DC-LEO-LIS sind die grundsätzlich geltenden Empfehlungen für den Aufbau öffentlicher und halböffentlicher Ladeinfrastruktur zu beachten (siehe u.a. ElektroMobilität NRW 2022; BMDV 2022; Agora Verkehrswende 2023). Nachfolgend sind zentrale Anhaltspunkte und Hinweise aufgeführt:

- **Genehmigungspflicht und Straßenverkehrs-Ordnung (StVO):**
Grundsätzlich sind Ladesäulen für Elektroautos meist verkehrsfrei. Dennoch ist es empfehlenswert, vor der Errichtung eine baurechtliche Prüfung durchzuführen, da es in einzelnen Bundesländern unterschiedliche Rechtsprechungen geben kann.
Wird eine Ladesäule auf öffentlichem Grund oder an Straßen errichtet, wird das Straßenrecht und nicht das Baurecht angewendet. Nach diesem sind Ladesäulen als Teil der Straße zu bewerten und gelten damit als Verkehrsanlage (z.B. Rechtsprechung Bayerischer Verwaltungsgerichtshof, Beschl. v. 13.07.2018, Az. 8 CE 18.1071; Bayern. Oder Oberverwaltungsgericht Berlin-Brandenburg). Hierbei werden sie als straßenrechtliches Zubehör angesehen, wofür keine baurechtliche Einordnung notwendig ist und zum Beispiel keine Sondernutzungserlaubnis benötigt wird.
Sollte die Ladesäule jedoch im Sinne einer Sondernutzung aufgestellt werden oder durch Dritte errichtet werden, so bedarf es wiederum einer Sondernutzungserlaubnis. Einige Städte haben bereits eigene Sondernutzungssatzungen aufgestellt, die zu beachten sind.
- **Baugesetzbuch (BauGB) und Flächennutzungsplan:**
Werden Ladesäulen nicht als Teil der Straße gebaut, werden sie als bauliche Anlagen betrachtet. Diese sind zwar ebenfalls genehmigungsfrei, müssen allerdings die inhaltlichen Vorgaben des Planungsrechts erfüllen, die in Bebauungsplänen festgelegt werden können.
- **Planungsrechtliche Einordnung nach Baunutzungsverordnung (BauNVO):**
Ladesäulen können je nach Standort und Umfang als Teil der Hauptnutzung oder als Nebenanlage betrachtet werden. In Gewerbegebieten oder Mischgebieten sind sie meistens zulässig. Die spezifische Nutzungskategorie muss gemäß den Festsetzungen des Bebauungsplans überprüft werden.
- **Stellplatzverordnungen der Bundesländer:**
Einige Bundesländer haben Vorschriften erlassen, die vorsehen, dass bei Neubauten oder größeren Renovierungen eine bestimmte Anzahl von Parkplätzen mit Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge ausgestattet sein müssen. Diese Vorschriften variieren je nach Bundesland. Bei geeigneten Flächen könnten diese gegebenenfalls mit einer DC-LEO-Ladesäule ausgestattet werden.
- **Barrierefreiheit und Sicherheitsvorschriften:**
Die Zugänglichkeit und die Sicherheit der Anlagen müssen nach den allgemeinen baurechtlichen Bestimmungen gewährleistet sein. Dies schließt unter anderem die Einhaltung von Mindestabständen und Brandschutzvorschriften ein.
- **Denkmalschutzvorschriften:**
Sofern die Ladesäule nahe einem Gebäude errichtet wird, das Vorschriften zum Denkmalschutz erfüllt, gilt es diese bei Errichtung der Ladesäule zu beachten und die Erlaubnis der Denkmalschutzbehörde einzuholen.

- **Bauordnungsrechtliches Verunstaltungsverbot:**
Die Ladesäule muss sich in ihrer optischen Gestaltung an die Umgebung anpassen und das Straßen-, Orts- und Landschaftsbild nicht verunstalten.

Die folgende Tabelle listet neben den bereits genannten Rahmenbedingungen weitere Faktoren und Kriterien auf, die im bebauten städtischen Raum zu beachten sind. Bei der Auswahl eines potenziellen Standortes für eine DC-LEO-Ladesäule können die genannten Kriterien als Anhaltspunkte dienen, um geeignete Standorte zu identifizieren und vergleichen zu können.

Tabelle 2: Übersicht Auswahlkriterien im städtischen Raum

Erforderliche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Stellplatzverfügbarkeit - räumliche Nähe Oberleitung - Nähe zu Oberleitungsabgriff - Lichtraumprofil - Rissraumprofil
Technische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - evtl. Grabarbeiten im öffentlichen Raum erforderlich - evtl. Wegequerung für Anschluss erforderlich - Befestigung LIS an Oberleitungsmast - besondere Bauvorschriften - Genehmigung der technischen Aufsichtsbehörde (TAB) - Kosten (zus. Abgriff)
Allgemeine Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Sichtbarkeit - Zugänglichkeit - Aufenthaltsqualität (öffentlicher Raum) - Abschätzung des Parkdrucks in der Umgebung / kostenpfl. Stellplatz - Sichere Lage / Potentielles Vandalismusrisiko - Entfernung nächste DC-LIS (Abdeckungsraum) - Besitzverhältnisse Flurstück - Genehmigung der Eigentumbesitzenden
Usecase Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Bebauungsstruktur - Nutzung durch Wohnumgebung (Bebauungsdichte) - zzgl. Besuchendenfrequenz und ergänzende Nutzende (POIs etc.) - geschätzte Auslastung im Tagesablauf - Intermodalität – Kombination mit anderen Verkehrsträgern, insbesondere ÖPNV - Nutzungsmischung im Umfeld (Wohnen, öffentliche Einrichtungen, Gewerbe, Bildung) - Potenzielle Investoren zur Kostenunterstützung - Möglicher Ansprechpartner - geschätzte Verweildauer
Begleitende Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> - Beschilderung (gem. Usecase) - Bodenmarkierung / Kennzeichnung (gem. Usecase) - Ausschilderung (Wegeführung)

3 Stakeholder rund um Ladeinfrastruktur

3.1 Akteure beim Errichten von der Ladeinfrastruktur

Für die Errichtung einer öffentlichen Ladeinfrastruktur ist die Einbindung diverser Akteure erforderlich. Im Folgenden werden die Akteure anhand ihrer Rollen und Aufgaben beschrieben. Für eine detaillierte Beschreibung verweisen wir auf die Veröffentlichung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (2022).

- **Liegenschaftsanbietender/ Standortpartner:**

Der Standortpartner ist Grundstückseigentümer und stellt die Fläche für die Errichtung des Ladepunktes zur Verfügung. Er kann neben einem direkten wirtschaftlichen Interesse (Pacht) auch mit weiteren Interessen verbunden sein (z.B. Attraktivierung des Standortes für Kundinnen und Kunden). So können beispielsweise Supermärkte interessante Standortpartner sein, da sie einen Raum für halböffentliche Ladeinfrastruktur bieten können. Gerade das Schnellladen über ein DC-Netz bietet sich hier an, da die Kundinnen und Kunden nur kurz während des Einkaufs verweilen.

Die nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur stellt das sogenannten FlächenTOOL zur Verfügung, in welches sich Liegenschaftsinhaber und potentielle Errichter der LIS registrieren können <https://flaechentool.de/>
- **Eigentümer des Ladepunktes:**

Der Eigentümer übernimmt die Beantragung und die Errichtung des Ladepunktes und stellt den Betrieb des Ladepunktes sicher. Häufig ist er auch gleichzeitig der Betreiber der Ladeinfrastruktur (CPO siehe unten).
- **Netzbetreiber:**

Der jeweilige Netzbetreiber stellt das Netz für die Belieferung des Stromes zur Verfügung. Für die Implementierung der LIS hat der Eigentümer der LIS die Netzanschlusskosten zu tragen. Die bereitgestellte Leistung wird zudem im laufenden Betrieb in der Regel pauschal + kWh-basiert oder entsprechend der jeweiligen Spitzenlast vergütet. Die Entgelte werden vom Netzbetreiber erhoben und über den Strompreis vom Stromlieferanten an den Betreiber der LIS weitergegeben.

Im Falle von DC-LEO wird jedoch auf das Oberleitungsnetz der Straßenbahnen zurückgegriffen. Daher ist der Netzbetreiber nur indirekt bei der Zuleitung des Stroms zum Unterwerk betroffen.
- **Kommunale Behörden:**

Die Kommune erteilt die Baugenehmigung und die Verkehrsrechtliche Anordnung für die erforderlichen Baumaßnahmen und eine Umwidmung von Parkplätzen. In der Regel wird die Kommune auch die Leitungsauskunft z.B. für Wasser, Telekommunikation und Gasleitungen für die Genehmigung der Tiefbauarbeiten erteilen. Im Falle einer kommunalen Fläche erteilt die Kommune zudem eine Sondernutzungserlaubnis.

3.2 Akteure beim Betrieb der Ladeinfrastruktur

Für den Betrieb der Ladeinfrastruktur ergeben sich noch weitere Rollen. Diese können unter Umständen zusammenfallen, sollten im Folgenden jedoch einzeln betrachtet werden. Die Abbildung 4 stellt die Beziehungen der Akteure zueinander dar. In blau dargestellt sind die Akteure und Beziehungen, die sich für den Anwendungsfall der DC-LEO-Ladeinfrastruktur neu ergeben. Hierbei wird ersichtlich, dass die Verkehrsbetriebe als neuer Akteur eine zentrale Rolle beim Betrieb der Ladeinfrastruktur spielen.

- **Stromlieferant:**
Der Stromlieferant wird vom Charge Point Operator beauftragt, den Ladepunkt mit Strom zu versorgen. Dies kann im Rahmen eines bestehenden Versorgungsvertrages oder eines extra für die Ladesäule bestehenden Liefervertrages geschehen. Die Abrechnung verläuft i.d.R. mit dem CPO. Teilweise treten die Stromlieferanten auch gleichzeitig als CPO auf.
- **Charge Point Operator (CPO):**
Der CPO ist der eigentliche Ladeinfrastrukturbetreiber und damit für Service und Wartung der Ladestation verantwortlich. Er schließt den Stromliefervertrag mit dem Stromlieferanten ab und stellt diesen dem Nutzenden zur Verfügung. Er organisiert die Abrechnung mit dem Nutzenden direkt und gegebenenfalls zusätzlich über einen E-Mobilitäts-Provider. Der CPO kann wiederum einzelne Services an externe Dienstleister vergeben.
- **E-Mobilitäts-Provider (EMP):**
Der EMP macht gegebenenfalls die Ladeinfrastruktur dem Nutzer gegenüber zugänglich. Dies kann z.B. über die Herausgabe von Ladekarten erfolgen. In diesem Fall ist er der Ansprechpartner der Kundinnen und Kunden, wenn es um Tarifstrukturen oder um abzuwickelnde Ladevorgänge geht.
Rechnen Kundinnen und Kunden den Ladevorgang hingegen direkt mit dem Besitzer der Ladesäule beispielsweise über eine Kreditkarte ab, entfällt diese Rolle.
- **Weitere externe Dienstleister:**
Vom Betreiber der Ladeinfrastruktur (CPO) können einzelne Services an externe Dienstleister vergeben werden. Dies kann beispielsweise die Wartung und die Servicehotline oder das Abrechnungsmanagement betreffen.

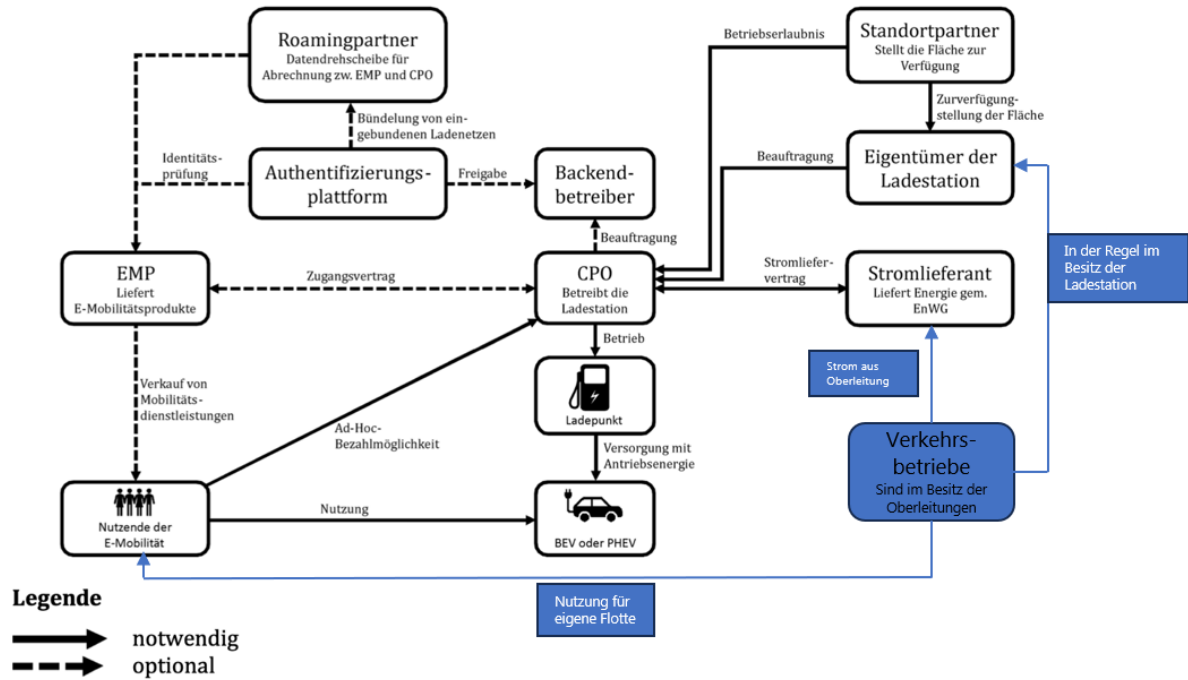


Abbildung 4: Akteure und deren Rollen und Beziehungen beim Betrieb von Ladeinfrastruktur, Quelle: Erweitert und angepasst (blau) an Arnhold et al. 2020. S. 17.

3.3 Nutzende von Ladeinfrastruktur

3.3.1 Nutzendengruppen

Die genaue Betrachtung der Nutzendengruppen ist erforderlich, um die jeweiligen Bedürfnisse zu identifizieren. Grundsätzlich können die Nutzenden von Ladeinfrastruktur den beiden Kategorien Privatverkehr und Wirtschaftsverkehr (Güterverkehr, Personenwirtschaftsverkehr und Personenbeförderungsverkehr) zugeordnet werden. Dabei betrug bei der letzten Erhebung 2010 der Anteil des gesamten Kfz-Fahrtenaufkommens im Privatverkehr ca. 64%, betrachtet man die Kfz-Fahrleistungen so liegt der Anteil des Privatverkehrs sogar bei 73%, wie Abbildung 5 zeigt (Wermuth 2012).

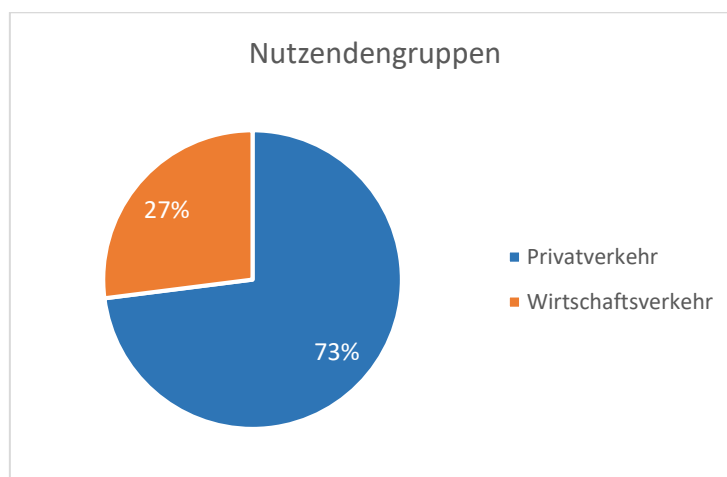


Abbildung 5: Aufteilung der Kfz-Verkehrsleistung (eigene Darstellung nach Wermuth, 2012)

Auf den Bereich Wirtschaftsverkehr fallen damit nur 27% der Kfz-Fahrleistungen. Dieser unterteilt sich in die Segmente Güterverkehr, Personenwirtschaftsverkehr und Personenbeförderungsverkehr. Jedoch werden im gesamten Wirtschaftsverkehr noch einmal mit 61% der Fahrzeugkilometer mit einem Pkw zurückgelegt, von denen fast die Hälfte (46%) mit Privatfahrzeugen zurückgelegt werden (Wermuth 2012). Auch bei den CO₂-Emissionen im Straßenverkehr liegt der Anteil der Pkw-Flotte nach Berechnungen der Europäischen Umweltagentur von 2016 bei 60,7% (Europäisches Parlament 2019).

Als größte Nutzergruppe stehen daher die Fahrer von Pkw im Fokus der Ladeinfrastruktur. Laut Kraftfahrtbundesamt haben 89,1% der Pkw einen privaten Halter und damit die deutliche Mehrheit aller zugelassenen Pkw (KBA 2022). Allerdings bilden gewerbliche Nutzer die größte Gruppe bei den Neuzulassungen (KBA 2021), dies spricht wiederum für eine höhere Elektrifizierungsquote dieses Segments zumindest in der Markthochlaufphase der Elektrofahrzeuge (Pützschler und Hacker 2020). Zu den weiteren Pkw-Fahrern, die als potenzielle Nutzende von Ladeinfrastruktur in Frage kommen stehen Mobilitätsanbieter wie Taxen bzw. deren Kunden wie Carsharing-Nutzende, Nutzende von Mietautos, Mitarbeitende mobilitätsbasierte Dienstleister (Pflegedienste, Wachdienste, Handwerker, Pizzadienste) und sonstige Personenwirtschaftsverkehr.

Perspektivisch sollten für die Nutzung von Ladeinfrastruktur im städtischen Umfeld auch Nutzfahrzeuge betrachtet werden. Die Kombination mit der Straßenbahn legt daher auch Busse als potenzielle Nutzende nahe, Fahrzeuge des städtischen Fuhrparks ebenso wie Güterwirtschaftsverkehr z.B. KEP-Dienstleister.

3.3.2 Indirekte Nutzende

Neben den direkten Nutzenden existieren auch indirekte Nutzer, die am Laden der Fahrzeuge beteiligt sind. Das sind in der Regel die Halter der Fahrzeuge, falls diese nicht mit den Nutzenden direkt übereinstimmen. Diese können weitere Anforderungen an die Ladeinfrastruktur haben.

Beispiele für indirekte Nutzende sind:

- **Arbeitgeber, die Dienstwagen zur Verfügung stellen**
- **Carsharing-Anbieter**
- **Busunternehmen**
- **Logistiker**

Diese Akteure treten als Kunden auf, ohne direkt Nutzende zu sein.

3.3.3 Weitere Stakeholder mit Interesse an Ladeinfrastruktur

Grundsätzlich gibt es jedoch noch weitere Stakeholder, die eine Rolle bzw. ein Interesse am Betrieb der Ladeinfrastruktur haben. Die jeweiligen Stakeholder können dabei in Abhängigkeit vom Einzelfall stark variieren. Die folgende Auflistung umfasst die wichtigsten:

- **Städte und Gemeinden**
Die Gemeinden haben neben ihrer Rolle als Genehmigungsbehörde auch das direkte Interesse, den Anteil an Elektrofahrzeugen vor Ort zu erhöhen, um die Schadstoffbelastung und den CO₂-Ausstoß zu senken. Durch Bereitstellung öffentlicher Ladeinfrastruktur kann zudem der Tourismus profitieren.
- **Vermietende / Wohnungsunternehmen**
Stellt ein Vermietender seinen Mietern einen Stellplatz zur Verfügung, so können diese die Errichtung von Ladeinfrastruktur einfordern, wenn diese die Kosten selbst übernehmen (Wohnungseigentumsgesetzes (WEG)) (Bundesgesetzblatt 12.01.2021). Bei neuen Gebäuden oder im Falle einer Sanierung ist nach dem Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) ab einer bestimmten Anzahl von Stellplätzen Ladeinfrastruktur vorzusehen (Bundesgesetzblatt 18.03.2021).
Sofern keine Stellplätze zur Verfügung stehen, haben Vermieter das Interesse, dass im Umfeld der Wohnung öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur aufgebaut wird, um das Laden ihrer Mieter und Gäste abzusichern.
- **Gewerbetreibende / Unternehmen und Einrichtungen, die ihren Mitarbeitenden / Kunden / Gästen LIS anbieten wollen**
Gewerbetreibende können mit dem Anbieten einer Ladeinfrastruktur für Mitarbeitende und / oder Kunden an Attraktivität zunehmen. Die LIS kann dabei je nach Interesse auf bestimmte Nutzergruppen beschränkt oder öffentlich zugänglich sein. Zur Kundenbindung kann der Strom kostenlos bzw. kostengünstig zur Verfügung gestellt werden oder eine standortnahe öffentliche LIS z.B. auf dem eigenen Parkplatz errichtet werden.
- **Hotels und Gaststätten / Freizeiteinrichtungen / hochwertige Dienstleistungen**
Insbesondere bei Einrichtungen mit einem Kundenkreis von über 200 km wird das Anbieten von Ladeinfrastruktur zunehmend zum Muss. Insbesondere wenn eine längere Verweildauer

erwünscht wird, ist es im Interesse dieser Stakeholder, wenn die LIS in Eigenregie angeboten wird und damit beispielsweise das Laden über Nacht angeboten werden kann.

➤ **Tankstellenbetreiber**

Laut Masterplan Ladeinfrastruktur (Die Bundesregierung 2019) soll durch eine Versorgungsaufgabe geregelt werden, dass an allen Tankstellen in Deutschland auch Ladepunkte angeboten werden. Auch wenn es hierfür noch keine gesetzlichen Vorgaben gibt, sollten Tankstellenbetreiber ein Interesse daran haben, zeitnah auch das Laden anzubieten.

4 Usecases für Ladeinfrastruktur

4.1 Übersicht über Usecases für Ladeinfrastruktur

Der Fokus der folgenden Betrachtung liegt auf potenziellen Usecases für DC-LEO, eine Ladeinfrastruktur, die Strom direkt aus der Oberleitung von Straßenbahnen bezieht. Da die Oberleitungen von Straßenbahnen insbesondere durch gemischt genutztes oder hochverdichtete Wohnquartiere verlaufen besteht das Standortpotenzial von DC-LEO- Ladesäulen vor allem im öffentlichen Straßenraum.

Nutzende von Elektrofahrzeugen benötigen für ihr Elektrofahrzeuge eine **Lademöglichkeit für den Alltag**. Hier wird die Mehrzahl aller Ladevorgänge abgedeckt. Im Idealfall ist dies das Laden an einem eigenen Stellplatz, der mit Ladeinfrastruktur ausgerüstet wird oder eine regelmäßige Lademöglichkeit beim Arbeitgeber. Ist beides nicht möglich, so sollte das Laden optimal in den Alltag eingebunden werden. Neben der regelmäßigen Verfügbarkeit spielt gerade hier ein moderater Preis eine entscheidende Rolle (Blanck et al. 2021).

Die Ladevorgänge an öffentlicher Ladeinfrastruktur für das **Laden unterwegs** können weiterhin unterteilt werden in Laden am Zwischenstopp, hier spielt eine hohe Ladeleistung eine entscheidende Rolle und dem Laden am Zielort, wo die Verweildauer die gewünschte Ladeleistung bestimmt. Aber auch das Laden am Zwischenziel wird betrachtet. Hier bestimmt der Ort der Ladesäule das (Zwischen-)ziel und ist damit gerade für Gewerbetreibende und Touristiker interessant.

Die nächste Kategorie ist das **Gelegenheitsladen**. Einige Gewerbetreibende haben in letzter Zeit erkannt, dass sie mit dem Angebot kostenlosen oder kostengünstigen Stroms Kunden anziehen können. Auch wenn zunehmend ein Preis für das Laden verlangt wird, nutzt beispielsweise der Einzelhandel das vergünstigte Laden zunehmend zur Kundenbindung (Klitzsch 2022).

Mit einer Ladesäule können grundsätzlich mehrere Usecases abgebildet werden. Je nach fokussierten Usecase ergeben sich jedoch unterschiedliche Anforderungen.

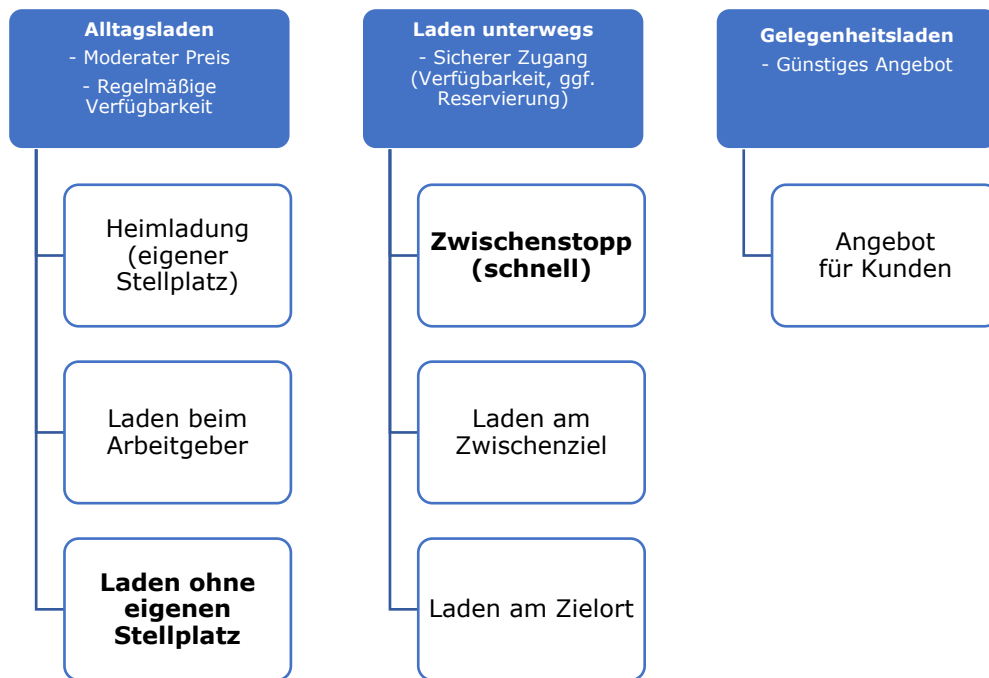


Abbildung 6: Usecases beim Laden privater Pkw

Auch wenn im Fokus der Betrachtung zunächst vornehmlich das Laden von privaten bzw. privat genutzten Pkw steht, wurde die Betrachtung noch um weitere Usecases ergänzt. Im Fokus steht das Laden von Mobilitätsdienstleistern (Busse, Bedarfsverkehr und Carsharing) mit eigenen Anforderungen (Abbildung 7).

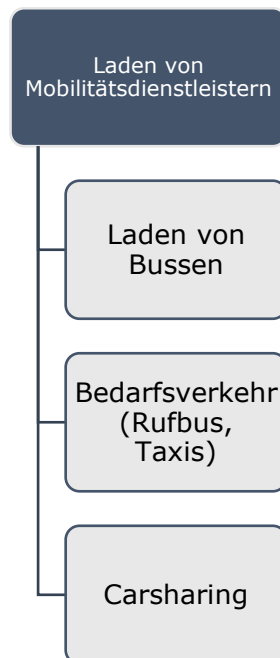


Abbildung 7: weitere Usecases für Ladeinfrastruktur

4.2 Alltagsladen

Über das Alltagsladen wird die Mehrzahl aller Ladevorgänge abgedeckt. Laut einer Umfrage von EUPD Research finden derzeit ca. 75% aller Ladevorgänge zu Hause statt, 9% bei Arbeitgebenden (EUPD Research 2021).

Nach der aktuellen Studie Mobilität in Deutschland 2017 legt ein Pkw im Privathaushalt ca. 30 km pro Tag zurück. Ca. zwei Drittel aller Fahrten sind kürzer als 10 km, 95 % aller Fahrten sind unter 50 km und lediglich 1% aller Fahrten über 100 km. Bezogen auf die Fahrleistung werden ca. 60% auf Strecken unter 50 km erbracht, 75% der Pkw-Fahrleistung auf Strecken von weniger als 100 km (Nobis und Kuhnimhof 2019). Auch wenn in dieser Studie Langstrecken über 100 km eher unterrepräsentiert sind (siehe dazu auch Laden unterwegs) kann davon ausgegangen werden, dass auch in Zukunft mehr als 75% aller Ladevorgänge mit dem Alltagsladen abgedeckt werden.

Allgemeine Anforderungen:

1. Das regelmäßige Laden des Elektrofahrzeuges sollte optimal in den Alltag integriert werden können. Die im Alltag täglich zurückgelegte durchschnittliche Wegstrecke ist stark vom Raumtyp abhängig und schwankt von 15 km in Metropolen und 30 km in ländlichen Räumen (Bamberg et al. 2020). Bei einer Reichweite aktueller BEV-Modelle von mehr als 300 km ist das regelmäßige Laden 1–2-mal wöchentlich vollkommen ausreichend. Wichtig ist jedoch ein regelmäßiger sicher planbarer Zugang zur Ladeinfrastruktur.
2. Als einer der wichtigsten Faktoren für den Markthochlauf werden in der Literatur immer wieder die Entwicklung des TCO (Total cost of ownership) genannt (Magdowski et al. 2021; Gnann et al. 2022; newmotion 2020). Hierfür ist der Strompreis für das Alltagsladen von entscheidender Bedeutung. Gerade die aktuelle Diskussion um Strompreise im Zusammenhang mit Elektromobilität zeigen hier die Bedeutung des Preises für das Laden für den Markthochlauf der Elektromobilität (Poppe 2022; Vitale 2022; Nefzger 2020; Kötter 2022; newmotion 2020; Shell Recharge Solution 2022).

4.2.1 Heimpladen

Drei Viertel aller Pkw aus Privathaushalten verfügen über einen eigenen Stellplatz. Auf dem Land und im Einzugsbereich von größeren Städten ist die Verfügbarkeit eines eigenen Stellplatzes höher (60 - 90%), in Großstädten (60%) oder Metropolen ist diese hingegen deutlich niedriger (25-40 %) (Bamberg et al. 2020; Nobis und Kuhnimhof 2019; KfW Research 2020).

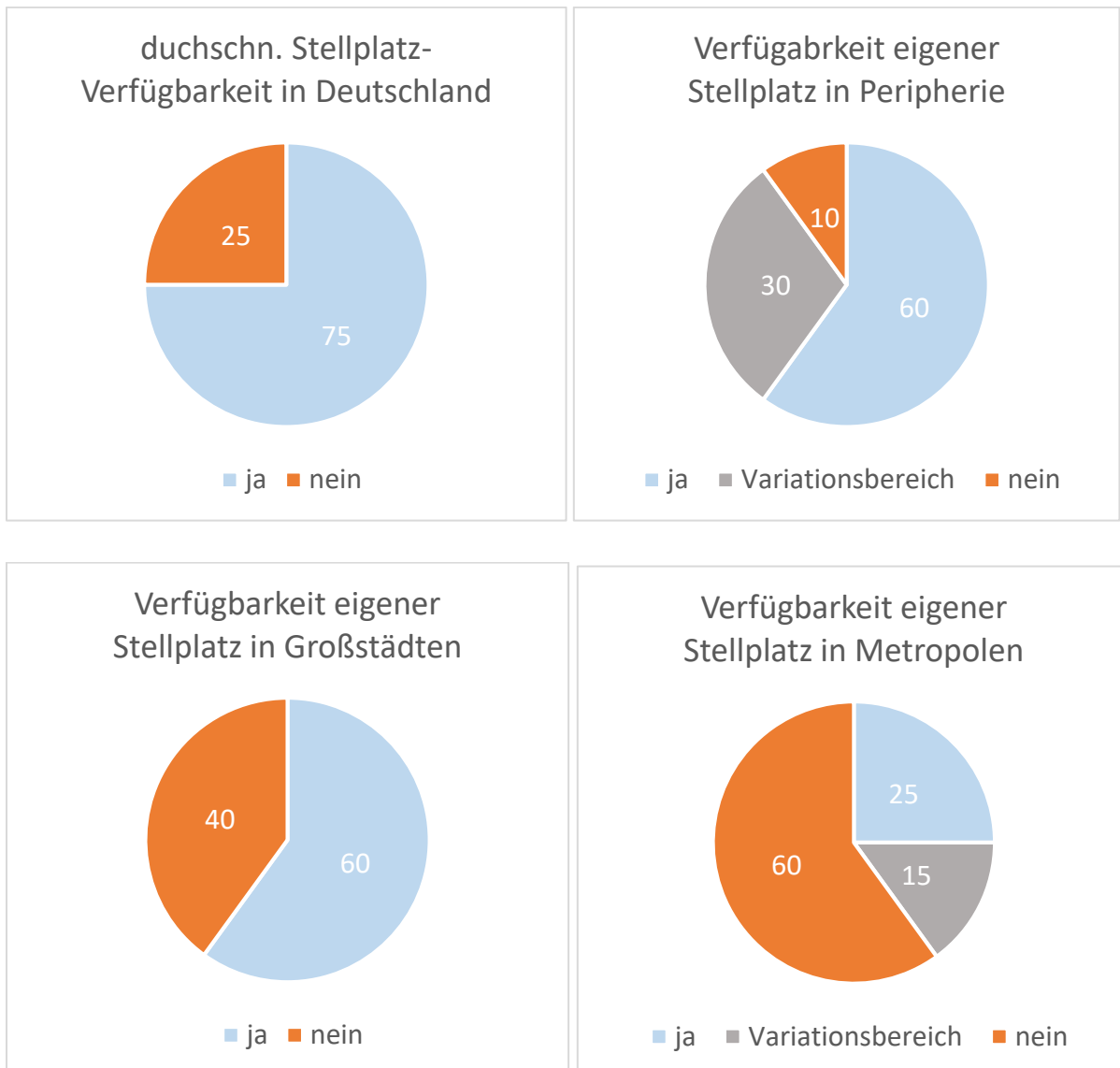


Abbildung 8: Verfügbarkeit eigener Stellplätze nach Raumtyp (eigene Darstellung nach (Bamberg et al. 2020; Nobis und Kuhnimhof 2019; KfW Research 2020))

Tabelle 3: Usecase Heimpladen

Heimpladen	
Beschreibung Usecase	Nutzender lädt den Strom für seine alltäglichen Fahrten <ul style="list-style-type: none"> eigener Stellplatz am Eigenheim oder eigener Stellplatz am Mehrfamilienhaus/ Tiefgarage
Varianten	a) Laden am Ein- oder Zweifamilienhaus b) Laden in Mehrfamilienhaus (Parkplatz oder Tiefgarage)
Nutzende	<ul style="list-style-type: none"> eines Privat-Pkw's oder Dienstwagens
Standortbedingungen	Eigener (zugewiesener) Stellplatz am Wohnort Integration in den eigenen Hausanschluss oder Extraanschluss für Ladepunkt(e)
weitere wichtige Akteure	Stromlieferant, Netzbetreiber Ggf. Vermieter (Immobilienunternehmen, Wohneigentümergeinschaft)
Anforderungen aus Nutzendensicht:	<ul style="list-style-type: none"> Moderater Strompreis geringe Ladeleistung ausreichend (Lange Standzeiten, i.d.R. AC-Ladung) bei Abrechnung keine Zeitkomponente (lange Standzeiten beim Heimpladen)
Rahmenbedingungen	Wohneigentumsgesetz - WEG Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz – GEIG
Weitere abgeleitete technische Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> Integration in ein statisches oder dynamisches Lastmanagement ggf. in Kombination mit einer PV-Anlage und/oder Speicher Steuerbarkeit des Ladepunktes durch den Netzbetreiber sinnvoll Lastmanagement insb. bei mehreren LP Abrechnungssystem für mehrere Einzelnutzer/ Abrechnung für Dienstwagennutzer

Die Kosten für die Installation eines Ladepunktes in Gebäuden ist dabei sehr stark von den jeweiligen Gegebenheiten vor Ort und den Ansprüchen an die Ausstattung des Ladepunktes abhängig.

Schätzungen von Experten gehen dabei von Kosten für einen privaten Ladepunkt ab 1.650 € bis 6.000 € aus (Bünger et al. 2019; Bamberg et al. 2020; Windt und Arnhold 2020).

Bei Mehrfamilienhäusern kann diese jedoch um ein Vielfaches höher liegen. Beispielrechnungen gehen hier von Kostenschätzungen von 3.000 € bis 7.000 € pro Ladepunkt (Windt und Arnhold 2020; ZVEI e.V. et al. 2022). Aber auch hier wird bei der Kostenschätzung davon ausgegangen, dass ein ausreichender Hausanschluss zur Verfügung steht.

Kombination mit anderen Usecases:

Grundsätzlich ist das Heimpladen auf die jeweiligen Privatpersonen beschränkt. Gäste können ggf. in Absprache den LP nutzen (Laden am Zielort). Modelle in denen private Ladepunkte auch mit fremden Nutzern geteilt werden (Sharing) sind eher selten.

Eignung für DC-LEO für das Heimpladen

Liegt der Parkplatz oder die Tiefgarage eines Mehrfamilienhauses in Erreichbarkeit einer Straßenbahnleitung kann der Netzanschluss über DC-LEO günstiger sein. In diesem Fall ist eine geringe Ladeleistung in der Regel über Nacht vollkommen ausreichend.

4.2.2 Laden am Arbeitsplatz

Viele Arbeitgeber stellen Mitarbeitenden, die zum Arbeitsplatz mit dem Auto pendeln, einen Stellplatz zur Verfügung. Eine Pflicht zur Bereitstellung gibt es nicht, sofern der Arbeitsplatz mit dem ÖPNV erreichbar ist. In vielen Städten wird die Bereitstellung von Parkplätzen jedoch durch eine Stellplatzverordnung geregelt.

Bereits heute finden 9% aller Ladevorgänge beim Arbeitgeber statt. Dem Laden am Arbeitsplatz kommt aus unterschiedlichen Gründen eine hohe Bedeutung zu:

1. Viele Menschen nutzen ihren Pkw zum Pendeln zur Arbeitsstelle. 28% des Pkw-Verkehrsaufkommens werden im Zuge des Arbeitspendelns erbracht (Nobis und Kuhnimhof 2019). Insbesondere für Menschen, die am Wohnort nicht über einen eigenen Stellplatz verfügen, haben hiermit eine Möglichkeit regelmäßig im Alltag ihr Fahrzeug zu laden.
2. Die Fahrzeuge stehen in den allermeisten Fällen tagsüber und für einen längeren Zeitraum am Arbeitsort. Damit können diese optimal mit regenerativ erzeugter Energie geladen werden, die durch PV-Anlagen insbesondere mittags zur Verfügung steht. Die Fahrzeuge laden damit nicht nur bilanziell Grünstrom, sondern der Energiemix, mit dem die Fahrzeuge geladen werden, wird optimiert. Damit kann Solarstrom optimal genutzt und zusätzlich CO₂ eingespart werden (Keller et al. 2022; Pless et al. 2020)

Bis 2030 kann der Arbeitgeber seinen Angestellten den Strom kostenfrei zur Verfügung stellen, ohne dass dies einen geldwerten Vorteil darstellt. Grundsätzlich ist es jedoch empfehlenswert, ein eichrechtskonformes Abrechnungssystem vorzusehen.

Tabelle 4: Usecase Laden beim Arbeitgeber

Laden am Arbeitsplatz	
Beschreibung Usecase	Nutzender lädt den Strom für seine alltäglichen Fahrten an der Arbeitsstelle
Varianten	a) Ladeinfrastruktur wird durch Arbeitgeber gestellt b) Ladeinfrastruktur wird durch einen externen Anbieter gestellt
Nutzende	<ul style="list-style-type: none"> • eines Privat-Pkw's oder • Dienstwagens
Standortbedingungen	Stellplatz mit LIS am Arbeitsort kann regelmäßig genutzt werden Optimalerweise mit PV-Parkplatzüberdachung
weitere wichtige Akteure	Arbeitgeber (Facility Management, Personalrat, Personalabteilung) Gegebenenfalls externer Betreiber der PV-Anlagen, der den Eigenstrom zur Verfügung stellt Stromlieferant, Netzbetreiber
Anforderungen aus Nutzendensicht:	<ul style="list-style-type: none"> - Moderater Strompreis - geringe Ladeleistung ausreichend (Lange Standzeiten, i.d.R. AC-Ladung) - bei Abrechnung Zeitkomponente vermeiden (auf lange Standzeiten ausgerichtet)
Rahmenbedingungen	Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz – GEIG
Weitere abgeleitete technische Anforderungen je nach Gegebenheit	<ul style="list-style-type: none"> • Integration in ein dynamisches Lastmanagement um Lastspitzen zu vermeiden • Steuerbarkeit der Ladepunkte (Netzbelastung, Zeiten geringer Bezugskosten) - Ideal für Sektorenkopplung, da längere Standzeiten tagsüber • Eichrechtskonformes Abrechnungssystem für mehrere Einzelnutzer • Integration in die Buchhaltung

Kombination mit anderen Usecases:

Verfügt das Unternehmen über eine eigene Flotte, kann das Arbeitgeberladen sehr gut mit dem Flottenladen kombiniert werden. Auch Kunden und Gästen des Unternehmens kann das Laden im Einzelfall ermöglicht werden.

Eignung für DC-LEO

Liegen die Stellplätze des Unternehmens in unmittelbarer Nähe der Straßenbahnlinie kann ein Oberleitungszugriff sinnvoll sein, wenn die Netzanschlusskosten über AC höher liegen.

4.2.3 Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz

Derzeit verfügt die Mehrheit der Elektroautofahrenden über eine private Lademöglichkeit. ohne eigenen Stellplatz die auch nicht beim Arbeitgeber laden können, sind in der Regel auf das Laden im öffentlichen Straßenraum angewiesen.

Bei 30 km täglicher Fahrleistung, die im Durchschnitt pro Tag von einem Pkw zurückgelegt wird (Nobis und Kuhnimhof 2019) und einer Reichweite heutiger Modelle von ca. 300 km ist davon auszugehen, dass 1-2 Ladevorgänge pro Woche in der Regel durch aus ausreichend sind. Geht man von einem durchschnittlichen Strombedarf von ca. 18 kWh/ 100 km aus (EnBW 2023), so ist bei einer täglichen Fahrleistung von 30 km/ Tag mit einem durchschnittlicher Verbrauch von ca. 37,8 kWh pro Woche zu rechnen.

Je nach Ladeleistung ergeben sich dabei folgende Verweildauern/ Woche

- 10,5 h bei einphasigem Laden mit einer Ladeleistung von 3,7 kWh; (entspricht einem üblichen Haushaltsanschluss)
- 4 h bei 11 kW – in der Regel dreiphasiges Laden mit 16 A
- 2 h bei 22 kW – in der Regel dreiphasiges Laden mit 32 A
- ca. 45 min bei einer Ladeleistung von 50 kW (DC-Ladung)
- sowie weniger als 25 min bei einer Ladeleistung von 100 kW (DC-Ladung)

Die tatsächlichen Zahlen können variieren, je nach tatsächlich zurückgelegter (all)täglicher Strecke, dem tatsächlichen Verbrauch der Fahrzeuge (Abhängig von Fahrverhalten, Marke und Saison) sowie der Ladekurve der Elektrofahrzeuge. Zudem können nicht alle Fahrzeuge gleichermaßen alle Ladeleistungen umsetzen (siehe auch Überblick über die am Markt befindlichen Fahrzeuge sowie deren maximaler Ladeleistungen (The Mobility House 2023). Die Zahlen geben jedoch einen Anhaltspunkt für den wöchentlichen zeitlichen Bedarf beim Alltagsladen.

In der Regel wird davon ausgegangen, dass das Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz insbesondere in urbanen Räumen eine große Rolle spielt. Bei der Ermittlung des Bedarfes an Ladeinfrastruktur sollte jedoch nicht vernachlässigt werden, dass auch im ländlichen Räumen ein, wenn auch geringerer Anteil der Pkw-Fahrer*innen über keinen eigenen Stellplatz verfügen. Hier kommt hinzu, dass in urbanen Zentren alternative Mobilitätsangebote wie ÖPNV, Carsharing, Radinfrastruktur zunehmend verbreitet sind, während im ländlichen Raum die Abhängigkeit von eigenen Pkw auf absehbare Zeit deutlich stärker ist (Keller et al. 2022).

Die Ladevorgänge sollten optimal in den Alltag integriert werden können. Eine regelmäßige sichere Verfügbarkeit ist dabei ebenso wichtig wie ein moderater Strompreis, um den alltäglichen Strombedarf decken zu können.

Grundsätzlich sind mehrere Varianten für das regelmäßige Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz denkbar – als typische Varianten sollen hier genannt sein.

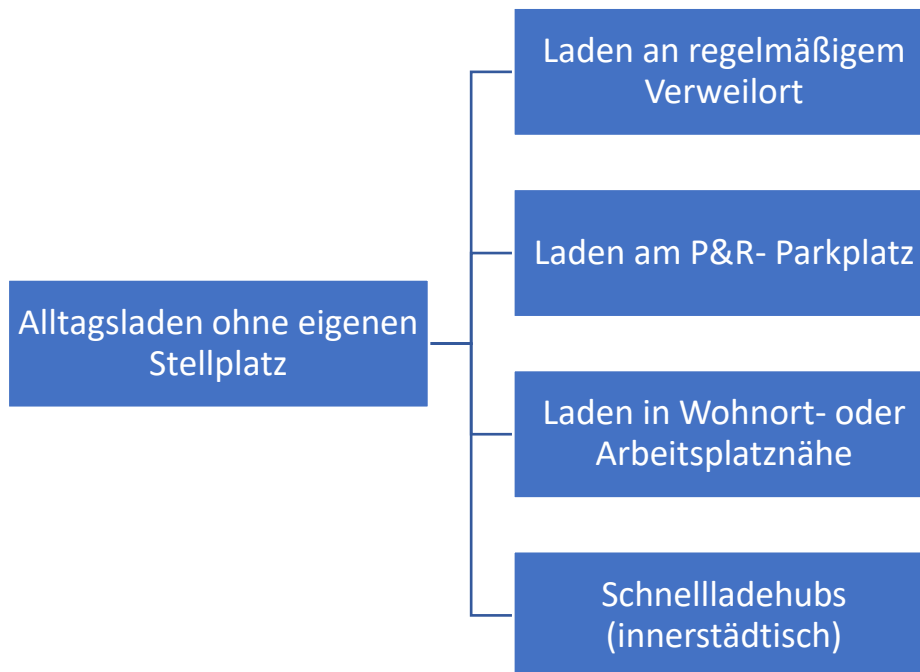


Abbildung 9: Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz

- **Laden an Verweilorten**

Um den Ladevorgang optimal in den Alltag integrieren zu können, sollten diese an Orten errichtet werden, die regelmäßig im Alltag aufgesucht werden (UScale.GmbH 2022). So kann das Laden optimal mit dem Einkaufen (Klausmann 2023), dem Besuch im Fitnesscenter oder dem Spaziergang im Park verbunden werden. Hier sollte ein schnelleres Laden angeboten werden, einerseits um das Laden an der üblichen Verweildauer zu orientieren zum anderen um eine höhere Auslastung der Ladepunkte zu gewährleisten.

- Ladeleistung mind. 22 kW AC oder 50-100 kW DC-Ladung. Da höhere Ladeleistungen negative Auswirkungen auf die Batterielebensdauer haben, sind zu hohe Ladeleistungen insbesondere >150 kW für die Alltagsladung (derzeit) eher nicht geeignet.
Die Ladeleistung sollte dabei an die übliche Verweildauer angepasst sein (i.d.R. ca. 60 min). Ein zu langes Blockieren der Ladepunkte sollte hingegen unterbunden werden.
- Laden mit derzeit üblichen Verträgen mit einem EMP sind problemlos, da die Standzeit nicht ausgedehnt werden sollte.

- **Laden an P&R-Parkplätzen**

Hier entsteht der Vorteil, dass die Verkehrsbelastung in den Städten reduziert wird, wenn die Fahrt mit dem ÖPNV fortgesetzt wird.

- Längere Standzeiten und geringe Ladeleistung sind hier ausreichend und sinnvoll
- Lastmanagement möglich, zudem sind Standzeiten tagsüber ideal für die Sektorenkopplung; dafür kann direkt vor Ort ein PV überdachte Parkplätze für eine lokale Energieversorgung ermöglichen (Keller et al. 2022)
- Angebote und Preise müssen auf längere Standzeiten ausgelegt sein (Minnich 2020)

- Hier könnte ein Kombiticket für die gleichzeitige Nutzung des ÖPNV einen zusätzlichen Anreiz einerseits für Elektromobilität und andererseits für ein multimodales Mobilitätsverhalten schaffen.
- **Alltagsladen in Wohnort- oder Arbeitsplatznähe**
 - Es ist mit längeren Standzeiten zu rechnen, da der Ladevorgang in der Regel über Nacht oder während der Arbeitszeit stattfindet
 - niedrige Ladeleistungen sind in diesen Fällen vollkommen ausreichend, allerdings führen die längeren Standzeiten aufgrund der Verweildauer zu einer geringen Auslastung der Ladepunkte bzw. einem längeren Zuparken öffentlicher Ladepunkte.
 - Angebote und Preise müssen auf längere Standzeiten ausgelegt sein
 - Gerade aus ökologischen Gesichtspunkten ist das Laden in der Nähe des Arbeitsortes jedoch zu begrüßen, da dieses in der Regel tagsüber stattfindet (Keller et al. 2022). Hier wären beispielsweise mit PV überdachte Parkplätze mit einem Lastmanagement sinnvoll.
- **Laden an Schnellladehubs**
 - Die Mehrheit der auf dem Markt angebotenen Elektrofahrzeuge hat eine Ladeleistung von bis zu 100 kW (The Mobility House 2023) zudem sind die Auswirkungen regelmäßiger HP-Ladungen auf die Batterie noch nicht abschließend geklärt. Perspektivisch kann aber auch das Laden an innerstädtischen Schnellladehubs für das Alltagsladen genutzt werden.
 - Hohe Ladeleistungen von ca. 150 kW-350 kW sind für diesen Usecase erforderlich, da hier das Verweilen in Fahrzeugnähe während des Ladevorgangs (ähnlich dem Tankvorgang) vorausgesetzt wird. Die versprochene Ladeleistung wird vom Nutzenden erwartet und sollte nicht deutlich und für längere Zeiträume (Minuten) unterschritten werden.
 - Zudem ist eine ausreichende Anzahl von Ladepunkten notwendig, um Wartezeiten zu vermeiden. Ein ausreichender Netzanschluss ist daher zwingend erforderlich, ebenso wie gegebenenfalls ein Zwischenspeicher (Klausmann 2023).
 - Trotzdem liegt die benötigte Zeit für eine DC HP-Ladung über den Erwartungen der potenziellen Kunden. Hier kann durch eine Infrastruktur vor Ort für eine bessere Aufenthaltsqualität sorgen (Autopflege wie Wischwasser, Reifendruckprüfung, W-LAN, Imbissangebot)

Tabelle 5: Usecase Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz

Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz	
Beschreibung Usecase	Nutzender lädt den Strom für seine alltäglichen Fahrten im öffentlichen/ halböffentlichen Bereich
Varianten	a) Laden an regelmäßigen Verweilorten b) Laden an P&R-Parkplätzen c) Alltagsladen in Wohnort- oder Arbeitsplatznähe d) Laden an Schnelladehubs
Nutzende	<ul style="list-style-type: none"> eines Privat-Pkw's oder Dienstwagens
Standortbedingungen	Standorte, die in den Alltag integriert werden können (Arbeits- oder Wohnortnähe, Orte mit regelmäßiger Verweildauer)
weitere wichtige Akteure	<ul style="list-style-type: none"> Unterschiedliche CPO's denkbar: (regionaler) Stromlieferant, Vereine, Bürgerenergiegenossenschaften, EMP nur sinnvoll, wenn Angebote für das Alltagsladen tauglich (Preismodelle, ggf. längere Standzeiten) Stellplatzzinhaber, (Parkplatz- bzw. Parkhausbetreiber, Wohnungswirtschaft, Kommunen) Netzbetreiber
Anforderungen aus Nutzendensicht:	<ul style="list-style-type: none"> Moderater Strompreis Regelmäßige Verfügbarkeit (Reservierung/ ausreichendes Angebot) Ladeleistung auf Verweildauer ausgerichtet Abrechnungsmodalitäten ausgerichtet auf übliche Verweildauer
Rahmenbedingungen	Ladesäulenverordnung
Weitere abgeleitete technische Anforderungen je nach Gegebenheit (siehe Varianten a - d)	<ul style="list-style-type: none"> Eichrechtskonformes Abrechnungssystem Einfaches Abrechnungssystem für Kosteneinreichung beim Arbeitgeber (Dienstwagen) Lastmanagement bei mehreren Ladepunkten und längerer Verweildauer (a) Integration in Sektorenkopplung möglich (b,c) Hoher Netzanschluss und Zwischenspeicher (d)

Kombination mit anderen Usecases

Grundsätzlich kann das Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz mit Ladeangeboten für das im öffentlichen Raum mit anderen Usecases des Unterwegsladens kombiniert werden. Wichtig ist hierbei, dass die Geschäftsmodelle so ausgestaltet sind, dass einerseits ein moderater Strompreis für den alltäglichen Bedarf realisierbar ist, die Standzeiten der alltäglichen Verweildauer angepasst sind, andererseits ein Zuparken öffentlicher Ladepunkte durch regelmäßige Nutzer vermieden wird.

Eine Kombination mit dem Gelegenheitsladen ist ebenfalls gut denkbar. Hier wird das Laden zu einem attraktiven Preis angeboten.

Eignung für DC-LEO

Insbesondere im städtischen Umfeld können durch die Nutzung der Oberleitung neue Ladepunkte im öffentlichen und halböffentlichen Raum im regionalen Umfeld von POI entstehen. Hier bieten sich Ladeorte mit einer kürzeren Verweildauer und einer Ladeleistung von 50 kW an.

An P&R-Parkplätzen sind deutlich niedrigere Ladeleistungen (Lastmanagement) sinnvoll.

4.3 Laden unterwegs

Für alle Fahrten außerhalb der Alltagsroutine können zusätzliche Ladevorgänge erforderlich werden. Für Personen mit einer privaten Lademöglichkeit wird dies notwendig, wenn die Fahrt hin und zurück mehr als die Reichweite (z.B. 250 km konservativ betrachtet) ausmachen. Für Personen ohne eigenen Ladepunkt können auch kürzere Fahrten außerhalb der Alltagsroutine zu einem zusätzlichen externen Ladebedarf führen.

Laut MID 2017 sind etwas mehr als 1 % aller Fahrten mit dem Pkw länger als 100 km und liegen damit evtl. über der Reichweite des Elektrofahrzeuges. Allerdings fallen ca. 25 % der Pkw-Gesamtfahrleistungen auf Fahrten über 100 km (Nobis und Kuhnimhof 2019). In dieser Studie ist Langstreckenmobilität eher unterrepräsentiert, da Urlaubsreisen, Einkäufe für den längerfristigen Bedarf seltener vorkommen und daher unterdurchschnittlich erfasst werden. Eine Studie des Umweltbundesamtes geht davon aus, dass 2,3 % (eigene Berechnungen nach (Magdolen et al. 2022)) aller Pkw-Fahrten in Fernverkehr stattfinden und dabei eine Verkehrsleistung von 34 % erbracht wird (Magdolen et al. 2022). Diese Zahlen machen die Bedeutung des öffentlichen Ladens auch für Nutzer*innen mit einem eigenen Ladepunkt deutlich (Magdolen et al. 2022).

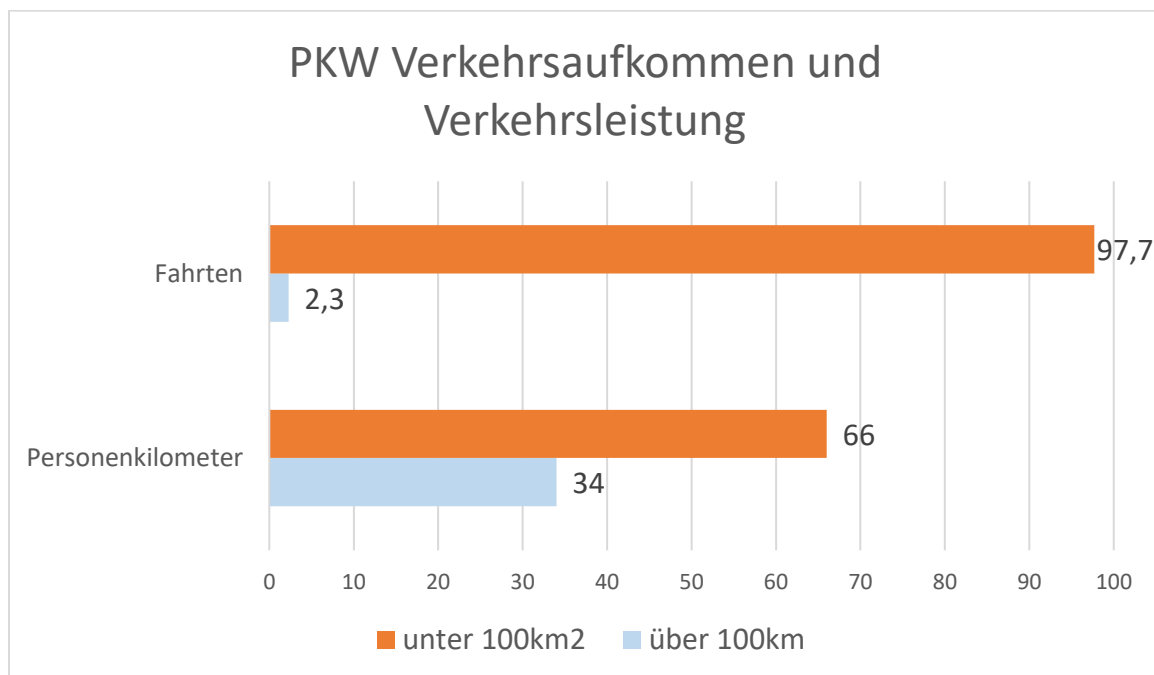


Abbildung 10: Anteil des Verkehrsaufkommens und der zurückgelegten Personenkilometer nach Streckenlänge im Pkw-Bereich (eigene Darstellung nach Magdolen et al. 2022)

Nach eigenen Berechnungen auf der Grundlage von (Frick et al. 2014) unterteilt sich die Verkehrsleistung mit dem Pkw im Fernverkehr wie folgt auf folgende Nutzungsfälle:

- Privater Freizeitverkehr (Wochenendausflüge, Besuch bei Freunden und Verwandten, Besuch von Sportveranstaltungen und Kulturevents, Private Erledigungen und Einkäufe für den längerfristigen Bedarf, Urlaubsreisen) 69 %

Dieser unterteilt sich folgendermaßen:

- o Urlaubsreisen ca. 14 % der Pkw-Gesamtfahrleistungen im Langstreckenverkehr (eigenen Berechnungen nach (Frick et al. 2014))
(durchschnittliche Wegedistanz 1600 km einschließlich Bahn und Flugreisen)
- o Kurzaufenthalte ca. 13 %
(durchschnittliche Wegedistanz 410 km einschließlich Bahn und Flugreisen)
- o Private Reisen mit Übernachtung 3 %
durchschnittliche Wegedistanz 410 km
- o Private Tagesreisen 39 %
durchschnittliche Wegedistanz 200 km
- Hin- und Rückreisen von Fernpendlern 14 %
durchschnittliche Wegedistanz 150 km

Hinzu kommen noch:

- Dienstfahrten im Personenwirtschaftsverkehr (Fahrten, die im Rahmen der beruflichen Tätigkeit ausgeführt werden wie z.B. längere Anfahrten von Dienstleistern)
 - o Mit Übernachtung 6 %
 - o Ohne Übernachtung 11 %

Da in den unterschiedlichen Nutzungsfällen mit einem unterschiedlichen Besetzungsgrad gerechnet werden muss, ergeben sich für die Pkw-Fahrstrecken im Fernverkehr 57 % Freizeitverkehr, 18 % Fernpendelnde und 25 % Geschäftsverkehr (Tabelle 6)

Tabelle 6: Anteil der Verkehrsleistung und der Pkw-Strecken im Fernverkehr bezogen auf den Reisezweck. Quelle [eigene Berechnungen nach Frick et al. 2014]

	Anteil Verkehrsleistung im Pkw-Fernverkehr nach Reiseart	Angesetzter Besetzungsgrad (infas 2010)	Anteil Pkw-Strecken im Fernverkehr
Freizeitverkehr in Summe	69 %	1,9	57 %
Urlaubsreisen	14 %		12 %
Kurzaufenthalte	13 %		11 %
Private Reisen mit Übernachtung	3 %		2 %
Private Tagesreisen	39 %		32 %
Fernpendelnde	14 %	1,2	18 %
Geschäftsverkehr in Summe	17 %	1,1	25 %
GF mit Übernachtung	6 %		9 %
GF ohne Übernachtung	11 %		16 %

Aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens im Bereich der Freizeitmobilität zeigen Studien, dass insbesondere am Wochenende ein erhöhtes Verkehrsaufkommen und damit auch mit einem erhöhter Ladebedarf zu rechnen ist (Windt und Arnhold 2020).

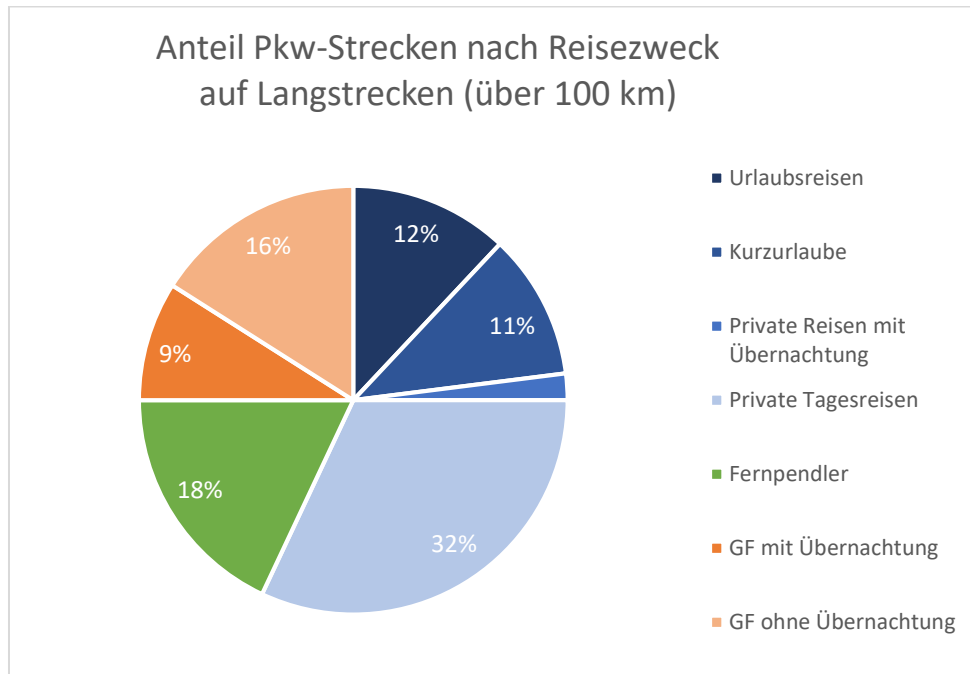


Abbildung 11: Pkw-Strecken auf Langstrecken bezogen auf den Reisezweck. Quelle [eigene Berechnungen nach (Frick et al. 2014) und (infas 2010)]

4.3.1 Zwischenstopp

Der klassische Ladebedarf besteht bei der Langstrecke am Zwischenstopp. Hier steht eine kurze Verweildauer und damit eine hohe Ladeleistung im Fokus. Derzeit haben nur wenige Fahrzeuge eine Ladeleistung von 250 kW und mehr. Dies betrifft vor allem die Oberklasse. Die Ladeleistungen von Fahrzeugen der Kompakt und Mittelklasse liegen Großteils im Bereich zwischen 100 und 200 kW, Kleinwagen eher bei 50-100 kW.

Perspektivisch werden für den kurzen Zwischenstopp Schnellladehubs entlang des Fernverkehrsstraßennetzes wichtig sein (Bayern Innovativ 2019).

Die für den Zwischenstopp erforderliche Ladeinfrastruktur sollte gut erreichbar und ohne Umwege in der Regel an Autobahnen und Fernverkehrsstraßen gelegen sein. Da das Zwischenladen in der Regel nach einer längeren Fahrt erfolgt, ist die Ausstattung mit einer Infrastruktur (Toilette, Imbiss) wünschenswert.

- Hohe Ladeleistungen von mind. 50 kW (optimal von ca. 150 kW-350 kW) sind für diesen Usecase erforderlich, da hier das Verweilen in Fahrzeughöhe während des Ladevorgangs (ähnlich dem Tankvorgang) vorausgesetzt wird. Die versprochene Ladeleistung wird vom Nutzenden erwartet und sollte nicht deutlich und für längere Zeiträume (Minuten) unterschritten werden.
- Zudem ist eine ausreichende Anzahl von Ladepunkten notwendig, um Wartezeiten zu vermeiden. Ein ausreichender Netzanschluss ist daher zwingend erforderlich, ebenso wie gegebenenfalls ein Zwischenspeicher (Bayern Innovativ 2019)

Tabelle 7: Usecase Unterwegsladen am Zwischenstopp

Laden am Zwischenstopp	
Beschreibung Usecase	Schnelles Nachladen im Fernverkehr für die Weiterfahrt
Varianten	Schnellladehubs (min. 50 kW DC, opt. 150 kW – 350 kW sowie 22 kW AC)
Nutzende	<ul style="list-style-type: none"> • eines Privat-Pkw's oder • Dienstwagens
Standortbedingungen	Gute Erreichbarkeit an Autobahnen, Fernverkehrsstraße und Verkehrsknotenpunkten
weitere wichtige Akteure	<ul style="list-style-type: none"> - CPO - Ggf. EMP für Vielfahrer und zum einfachen Zugriff - Stellplatzeinhaber, (Kommunen) - Netzbetreiber
Anforderungen aus Nutzendensicht:	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Verfügbarkeit und hohe Ladeleistung ist wichtiger als Strompreis - Ladeleistung wird erwartet und sollte nahezu garantiert sein (nicht deutlich und für längere Zeiträume unterschritten) - Evtl. Reservierbarkeit
Rahmenbedingungen	Ladesäulenverordnung;
Weitere abgeleitete technische Anforderungen je nach Gegebenheit	<ul style="list-style-type: none"> • Eichrechtskonformes Abrechnungssystem • Zahlungsmöglichkeit mit gängigen Zahlungsmitteln gesetzlich vorgeschrieben • Hohe Ladeleistung und ausreichend verfügbare LP erfordern einen hohen Netzanschluss und ggf. Zwischenspeicher • Abrechnungsmöglichkeiten für Dienstwagennutzer und den Personenwirtschaftsverkehr

Kombination mit anderen Usecases

An geeigneten Standorten kann das Laden am Zwischenstopp auch für das Alltagsladen genutzt werden. Dies ist aufgrund der Standorte, die sich eher nicht in den Alltag integrieren lassen, seltener der Fall. Zudem ist für das Alltagsladen eine höhere Preissensitivität zu erwarten. Als Beispiele seien hier Supermärkte an Ausfallstraßen genannt, wenn diese rund um die Uhr (24/7) zugänglich sind.

Eignung für DC-LEO

Die Standorte für den Zwischenstopp liegen entlang der Fernverkehrsstraßen. An geeigneten Standorten (Ausfallstraßen) kann die Stromversorgung von Ladehubs über die Oberleitung erfolgen.

Hierfür ist eine ausreichende Leistungsbereitstellung (hohe Ladeleistung an mehreren Ladepunkten) wichtig.

4.3.2 Laden am Zwischenziel

Der Usecase Laden am Zwischenziel ist zwischen dem Laden am Zwischenstopp und dem Laden am Zielort verortet. Da der Ladevorgang ohnehin zu einer Pause einlädt, wird ein attraktiver Verweilort für die Ladepause gesucht. Auf Grund der Aufenthaltsqualität kann der Ladevorgang auch etwas länger dauern. Hier steht also ein attraktives Angebot für eine längere Zwischenladung im Vordergrund. Dieser UseCase ist daher aus touristischer Sicht sehr interessant. Denn hier wird ein möglicher Aufenthaltsort durch Ladeinfrastruktur zu einem Zwischenziel aufgewertet.

Ein moderater Preis erhöht zusätzlich die Attraktivität.

Typische Verweilorte können sein:

- Restaurants
- Innenstädte (Klein- und Mittelstädte)
- Kleinere Museen und Kulturdenkmäler

Tabelle 8: Usecase Unterwegsladen Laden am Zwischenziel

Laden am Zwischenziel	
Beschreibung Usecase	Nachladen für die Weiterfahrt an einem Ort, der als Zwischenziel zum Laden und Verweilen einlädt
Varianten	22 kW AC bis 50 kW DC
Nutzende	<ul style="list-style-type: none"> • eines Privat-Pkw's oder • Dienstwagens
Standortbedingungen	Erreichbarkeit in der Nähe von Autobahnen und Straßen, die für den Fernverkehr genutzt werden (ca. 5-7 km von üblicher Route)
weitere wichtige Akteure	<ul style="list-style-type: none"> - Stellplatzinhaber, (Tourismusanbieter, Kommunen) - Evtl. externer CPO und EMP - Netzbetreiber
Anforderungen aus Nutzendensicht:	<ul style="list-style-type: none"> - Ladeleistung sollte garantiert sein (eher kein Lastmanagement) - Evtl. Reservierbarkeit
Rahmenbedingungen	Ladesäulenverordnung, GEIG
Weitere abgeleitete technische Anforderungen je nach Gegebenheit	<ul style="list-style-type: none"> • Eichrechtskonformes Abrechnungssystem • Zahlungsmöglichkeit mit gängigen Zahlungsmitteln bei entsprechender Ladeleistung (50 kW) • Abrechnungsmöglichkeit für Dienstwagnutzer und den Personenwirtschaftsverkehr

Kombination mit anderen Usecases

Grundsätzlich kann das Laden am Verweilort auch mit anderen Usecases wie z.B. das Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz oder dem Laden am Zielort kombiniert werden. Wichtig ist hierbei, dass das Blockieren der Ladesäulen vermieden werden sollte (z.B. durch begrenzte Parkdauer), so dass eine hohe Verfügbarkeit garantiert werden kann.

Eine Kombination mit dem Usecase Gelegenheitsladen ist ebenfalls gegeben. Hier wird das Laden zudem zu einem attraktiven Preis angeboten.

Eignung für DC-LEO

Insbesondere im städtischen Umfeld können durch die Nutzung der Oberleitung neue Ladepunkte im öffentlichen und halböffentlichen Raum entstehen. Hier bieten sich Ladeorte mit einer kürzeren Verweildauer und einer Ladeleistung von 50 kW an.

4.3.3 Laden am Zielort

Einer aktuellen Befragung von Elektroautofahrern gaben 65% an, einen Ort häufiger zu besuchen, wenn dort eine Lademöglichkeit vorhanden wäre 54% gaben an, dass die Verfügbarkeit einer Ladeinfrastruktur beeinflusst, wo sie einkaufen und wohin sie reisen (Shell Recharge Solution 2022). Schon allein die hohe Zahl an Tagesreisen im Freizeitverkehr (32 % der Strecken, die im Fernverkehr zurückgelegt werden, siehe Abbildung 11) macht die Bedeutung des Ladens am Zielort deutlich. Bei einer durchschnittlichen Distanz von 200 km liegen die Ziele in der Regel innerhalb der Reichweite aktueller Elektrofahrzeuge. Am Zielort kann die Verweildauer genutzt werden, um das Fahrzeug ohne zusätzliche Wartezeit wieder aufzuladen.

Hier steht die Nähe zum Zielort an wichtigster Stelle. Zudem wird ein günstiger Ladetarif erwartet. (Bayern Innovativ 2021). Wichtig ist, dass hier beim Preismodell zu beachten ist, dass die erwünschte/ erwartete Verweildauer nicht zu zusätzlichen Blockiergebühren führt. Daher ist die Einschaltung eines EMP nur bedingt zu empfehlen.

Je nach Einzugsbereich eines POI und der erwarteten Verweildauer kann die Ladeleistung im Bereich von 11 kW bis 22 kW liegen. Bei erwartbarer längerer Verweildauer ist auch ein Lastmanagement bzw. perspektivisch gesteuertes/ bidirektionales Laden möglich. Hier ist eine hohe Verfügbarkeit von entscheidender Bedeutung. Die Ladeleistung spielt hingegen eher eine untergeordnete Rolle (Bayern Innovativ 2021; UScale.GmbH 2022).

Neben Tageszielen sind ebenfalls Übernachtungsmöglichkeiten (Urlaub, Kurzurlaub, Geschäftsreisen) ideale Ladestandorte. Dies haben bereits erste Buchungsportale erkannt, die einen entsprechenden Filter anbieten. Auch die Branche hat dieses Angebot bereits im Fokus, wie eine aktuelle Umfrage der DEHOGA zeigt (DEHOGA 2022). Da hier mit einer Verweildauer (über Nacht) von mehreren Stunden (über Nacht) zu rechnen ist, ist ein Lastmanagement problemlos integrierbar. Auch hier ist eine Abrechnung über einen EMP eher nicht zielführend, da diese in der Regel eine Blockiergebühr verlangen.

Typische Zielorte können sein:

- Hotels, Pensionen, Resorts, Campingplätze
- Museen, Kunstausstellungen von überregionaler Bedeutung
- Zoos, Tierpark, Schlösser, Natursehenswürdigkeiten
- Theater, Kultur- und Sporteinrichtungen mit überregionalem Einzugsgebiet
- Kongresszentren, Messen

- Einkaufszentren, Innenstadtparkhäuser, Möbelhäuser
- Aber auch Wohnorte von Verwandten und Freunden.

Tabelle 9: Usecase Unterwegsladen Laden am Zielort

Laden am Zielort	
Beschreibung Usecase	Am Zielort wird während der Verweildauer der Strom für die Fortsetzung der Fahrt bzw. Rückfahrt aufgeladen
Varianten	Laden an POI's (11 - 22 kW); Laden an Übernachtungsmöglichkeiten (< 22 kW ausreichend)
Nutzende	<ul style="list-style-type: none"> • eines Privat-Pkws oder • Dienstwagens
Standortbedingungen	Räumliche Nähe zu Zielorten
weitere wichtige Akteure	<ul style="list-style-type: none"> - Stellplatzinhaber, (Tourismusanbieter, Gewerbezentren, Kommunen, etc.) - Evtl. CPO - EMP nur eingeschränkt empfehlenswert, da längere Standzeiten - Netzbetreiber
Anforderungen aus Nutzendensicht:	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Ladeleistung ausreichend (Längere Standzeiten, i.d.R. AC-Ladung) - bei Abrechnung keine Zeitkomponente (Standzeiten richten sich nach Verweildauer am Zielort) - Evtl. Reservierbarkeit
Rahmenbedingungen	Ladesäulenverordnung, GEIG
Weitere abgeleitete technische Anforderungen je nach Gegebenheit	<ul style="list-style-type: none"> • Eichrechtskonformes Abrechnungssystem • Zahlungsmöglichkeit mit gängigen Zahlungsmitteln optimal, (da EMP nur eingeschränkt empfehlenswert) • Lastmanagement und evtl. auch Sektorenkopplung möglich • Abrechnungsmöglichkeit für Dienstwagennutzer und den Personenwirtschaftsverkehr

Kombination mit anderen Usecases

Das Laden am Zielort kann mit dem Arbeitgeberladen und dem Laden ohne eigenen Stellplatz kombiniert werden. Wichtig ist, dass einerseits die Standzeiten der alltäglichen Verweildauer angepasst sind, andererseits ein Zuparken öffentlicher Ladepunkte durch regelmäßige Nutzer vermieden wird um den Nutzergruppen eine hohe Verfügbarkeit der Ladepunkte zu garantieren. Zudem kann ein Zwischenziel auch ein Zielort darstellen.

Eignung für DC-LEO

Insbesondere im städtischen Umfeld können durch die Nutzung der Oberleitung neue Ladepunkte im öffentlichen und halböffentlichen Raum entstehen. Hier bieten sich Ladeorte mit einer kürzeren Verweildauer (1-2 h) und einer Ladeleistung von bis zu 50 kW an. Bei erwartbar längeren Verweildauern sind auch niedrigere Ladeleistungen (Lastmanagement) sinnvoll. Je nach Örtlichkeiten sind eher mehrere Ladepunkte zielführend.

4.4 Gelegenheitsladen

Hier handelt es sich ebenfalls um eine Aufwertung von Angeboten (Einzelhandel und Dienstleistungsgewerbe) durch Ladeinfrastruktur (Chini und Klitzsch 2022). Hier kann das Angebot einer Lademöglichkeit selbst schon einen Anreiz setzen, in der Regel wird dieser zusätzlich durch einen niedrigen Preis erreicht und richtet sich in erster Linie an Alltagsladende (Bayern Innovativ 2021). Wie bereits oben beschrieben geben in einer aktuellen Studie 54% der befragten Elektroautofahrer an, dass die Verfügbarkeit einer Ladeinfrastruktur beeinflusst, wo sie einkaufen und wohin sie reisen (Shell Recharge Solution 2022).

In den letzten Jahren haben Einzelhändler diese Möglichkeit erkannt, Kunden anzulocken und zu binden, indem sie kostenlose/ -günstige Lademöglichkeiten angeboten haben. Sie sehen darin einen Wettbewerbsvorteil insbesondere gegenüber dem Online-Handel (Wendorff 2019). Als Beispiele sind hier Kaufland, Aldi Süd und Lidl zu nennen. Auch wenn inzwischen meist Preise verlangt werden, liegen diese oft unter dem an öffentlichen Ladesäulen.

Denkbar ist hier auch die Möglichkeit, spezielle zeitlich begrenzte Angebote für Kunden zu unterbreiten, oder Gratis-kW ab einem bestimmten Einkaufswert anzubieten. Dies erfordert eine IT-Lösung, die eine entsprechende Abrechnung ermöglicht.

Typische Orte für das Gelegenheitsladen sind:

- Anbieter des Einzelhandels
- Imbissketten oder Restaurants
- Sportstätten wie Fitnessstudios

Preis, Ladeleistung und die Verweildauer werden dabei von den Interessen des Anbieters bestimmt. Da es sich hier um spezielle Angebote handelt wird von den Nutzenden eher ein Lastmanagement bzw. eine zeitliche Begrenzung der Ladezeit akzeptiert. Allerdings sorgt eine geringe Verfügbarkeit zu Frust bei potentiellen Kunden, so dass es diese zu vermeiden gilt. Sonst besteht die Gefahr, dass diese vermehrt auf andere Standorte ausweichen.

Tabelle 10: Usecase Gelegenheitsladen

Gelegenheitsladen	
Beschreibung Usecase	Kunden nutzen spezielle Angebote von Anbietern um das Fahrzeug kostengünstig aufzuladen.
Varianten	22 kW AC bis 50 kW DC
Nutzende	<ul style="list-style-type: none"> • eines Privat-Pkw's oder • Dienstwagens
Standortbedingungen	Parkplätze von Anbietern des Einzelhandels oder Dienstleistungen
weitere wichtige Akteure	<ul style="list-style-type: none"> - Akteure des Einzelhandels oder Dienstleistungsgewerbes (Stellplatzinhaber) - Evtl. externer CPO - Netzbetreiber
Anforderungen aus Nutzendensicht:	<ul style="list-style-type: none"> - Relativ hohe Verfügbarkeit
Rahmenbedingungen	Ladesäulenverordnung, GEIG
Weitere abgeleitete technische Anforderungen je nach Gegebenheit	<ul style="list-style-type: none"> • Eichrechtskonformes Abrechnungssystem • Zahlungsmöglichkeit (mit Kundenbindung kombinierbar)

Kombination mit anderen Usecases

Grundsätzlich kann das Gelegenheitsladen auch mit anderen Usecases wie z.B. das Alltagsladen ohne eigenen Stellplatz oder dem Laden am Zielort kombiniert werden. Dies empfiehlt sich sogar, da sich der Besuch beim Lebensmitteleinzelhandel zur Alltagsroutine gehört (Klausmann 2023).

Wünschenswert ist zudem, dass die Ladeplätze auch außerhalb der Ladenöffnungszeiten zugänglich sind, so dass auch über Nacht und am Wochenende die LIS zur Verfügung steht. So können auch weitere Lade-Usecases je nach Standort bedient werden.

Eignung für DC-LEO

Insbesondere im städtischen Umfeld können durch die Nutzung der Oberleitung neue Ladepunkte im öffentlichen und halböffentlichen Raum entstehen. Hier bieten sich Ladeorte mit einer kürzeren Verweildauer und einer Ladeleistung von 50 kW an. Zu prüfen wäre, ob dabei ein kombiniertes Geschäftsmodell mit den Anbietern entwickelt werden kann.

4.5 Laden von Mobilitätsdienstleistern

Neben dem Laden von Pkw (privat genutzt und im Personenwirtschaftsverkehr) gewinnt die Elektrifizierung gerade auch von Mobilitätsdienstleistern eine immer größere Rolle. Auch die multimodale Nutzung von Verkehrsmitteln soll zukünftig ohne Ausstoß von Treibhausgasen möglich sein.

4.5.1 Laden von Bussen im Linienverkehr

Mit der Clean Vehicles Directive (CVD) wurde auf EU-Ebene eine Richtlinie zur Beschaffung von sauberen und energieeffizienten Straßenfahrzeugen erlassen, die im Juni 2021 mit dem Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz in Deutschland umgesetzt wurde. Hierdurch werden klare Ziele für die Beschaffung bzw. die öffentliche Auftragserteilung insbesondere auch für Busse im ÖPNV festgelegt. Dabei stehen Busse mit rein elektrischen Antrieben im Fokus, da nur diese neben Fahrzeugen mit Brennstoffzellen die Anforderungen der CVD erfüllen (BMDV 2022).

Die Verkehrsbetriebe stehen damit in den nächsten Jahren vor den Herausforderungen der Umstellung ihrer Flotte und damit verbunden der Anschaffung einer neuen Lade- bzw. Tankinfrastruktur.

Die Busflotte im ÖPNV in Deutschland beträgt ca. 54.000 Fahrzeuge. Davon sind ca. 35.000 Busse im Stadtverkehr unterwegs. Im Jahr 2021 waren davon insgesamt 1269 Busse mit einem elektrischen Antrieb unterwegs, 1.066 davon batterieelektrisch (PwC 2022).

Für batterieelektrisch betriebene Busse gibt es drei grundlegende Einsatzszenarien, die sich in der Regel durch unterschiedlich Ladestrategien und ggf. auch durch den Einsatz unterschiedlicher Bustechnologien unterscheiden. Dies sind zum einen die Volllader, die Gelegenheitslader sowie die Pulslader (NOW 2021b).

Die Volllader werden im Depot über Nacht geladen und absolvieren mit einer Ladefüllung den Tagesbetrieb. Gut zwei Drittel der Fahrzeuge werden derzeit im Depot geladen (PwC 2022). Für das Laden im Depot, bzw. auf dem Betriebshof sind in der Regel mittlere Ladeleistung von 50 - 100 kW (über Nacht) ausreichend. Als Technologie kommt dabei eine Steckverbindung (CCS) oder teilweise auch spezielle Stromabnehmer (spezielle Ladevorrichtungen mit automatischen Kontaktsystemen) zum Einsatz. Eine Herausforderung für das Depotladen stellt die Ladeleistung dar, die für die entsprechende Anzahl der Busse bereitgestellt werden muss, dabei ist ein Lastmanagement empfehlenswert um Lastspitzen zu vermeiden. Eine weitere wichtige Anforderung an diese Ladestationen ist ein geringer Platzbedarf um die Anzahl der Stellplätze im Depot gleich zu halten (NOW 2021a).

Als Gelegenheitslader werden die Busse bezeichnet, die während planmäßiger längerer Aufenthalte z.B. an Endhaltestellen mithilfe hoher Ladeleistung nachgeladen werden. In der Regel erfolgt dann über Nacht noch zusätzlich eine Vollladung im Depot. Für das Laden an Haltestellen mit längerer Verweildauer werden in Europa häufig Stromabnehmer eingesetzt. Es wäre hier auch denkbar, Stecksysteme (CCS) einzusetzen. Dies gilt vor allem, wenn die räumlichen Gegebenheiten dafürsprechen (z.B. mehrere Busse sich an einer Haltestelle treffen) und die Zeit ausreichend ist, um den Steckvorgang zu rechtfertigen. Hier sollte die Ladeleistung mindestens 150 kW betragen, um die kurze Zeit optimal zu nutzen.

Bei den Pulsladern wird auch an Unterwegs-Haltestellen mit sehr hohen Ladeleistungen von 450 kW und mehr nachgeladen (NOW 2021a). Für das Pulsladen Stromabnehmer oder induktive Ladetechnik zum Einsatz.

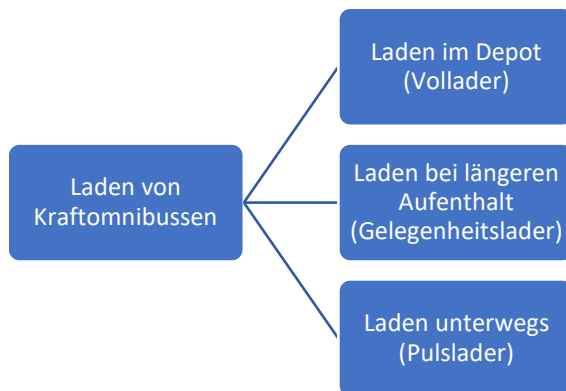


Abbildung 12: Ladevarianten von Elektrobusen

Ein Überblick über aktuelle e-Busprojekte zeigt, dass die meisten Busse derzeit im Depot geladen werden. Die Mehrheit der Busse wird konduktiv und über DC-Ladesäulen geladen. In den meisten aller Fälle musste dafür die Netzanschlusskapazitäten deutlich ausgebaut werden teilweise sogar mit einer eigenen Trafostation (Faltenbacher et al. 2021).

Kombination mit anderen Usecases

Eine Kombination mit anderen Usecases ist im Depot nicht möglich, beim Zwischenladen nicht empfehlenswert, da für die Busse auch bei Verspätungen die Verfügbarkeit gewährleistet sein muss.

Eignung für DC-LEO

Für DC-LEO ist das Depotladen sehr gut geeignet, wenn das Busdepot in der Nähe eines Einspeisepunktes einer Straßenbahn liegt. Hier kommt hinzu, dass nachts, wenn die Busse laden in der Regel ein eingeschränkter Straßenbahnverkehr stattfindet und ausreichen Ladeleistung in der Oberleitung zur Verfügung steht.

Liegt eine Endhaltestelle, oder Haltestelle mit längerer Verweildauer an einer Straßenbahnlinie, kann auch dieser Usecase interessant sein.

4.5.2 Laden von Bedarfsverkehr

Als Bedarfsverkehr wird hier die Personenbeförderung gesehen, die grundsätzlich im Voraus von dem Fahrgast angemeldet wird. Bedarfsverkehre sind damit eine wichtige Ergänzung vom klassischen ÖPNV mit Bus und Bahn.

Der Bedarfsverkehr umfasst einmal das Taxi als direkten Teil des öffentlichen Verkehrs. Das Angebot wird durch den Mietwagen im taxiähnlichen Einsatz ergänzt. Auch diese werden im Vorfeld bestellt, unterliegen jedoch anderen gesetzlichen Rahmenbedingungen. So muss der Mietwagen nach einer Fahrt grundsätzlich zum Unternehmenssitz zurück und kann damit regelmäßig am Firmensitz/ im Depot laden. Zusätzlicher Ladebedarf besteht dann nur bei längeren Fahrten äquivalent zum Laden am Zwischenstopp. Der Einsatz von Taxis ist hingegen deutlich flexibler, hier wird auch an anderen Standorten z.B. an Taxistationen Ladebedarf entstehen.

Der Bundesverband Taxi und Mietwagen e.V. hat 2021 einen Bundesfahrplan eTaxis vorgelegt. Hier wird dargestellt, wie die Taxi- und Mietwagenbranche bis 2030 bereits 80 % Elektrofahrzeuge im Gesamtbestand erreichen kann. Dabei wird unter anderem deutlich herausgestellt, dass der Ausbau

der Ladeinfrastruktur von entscheidender Bedeutung für den Einsatz von Elektrofahrzeugen in der Taxiflotte ist. Diese muss ausreichend und gut zugänglich sein. Auch ein attraktiver Strompreis wird angemahnt. (Bundesverband Taxi und Mietwagen e.V. 2021). Taxis können Wartezeiten insbesondere an Mobilitätsknotenpunkten für das Aufladen von Elektrofahrzeugen nutzen. Da es über den Tag verteilt zu mehrfachen Ladevorgängen kommt und ein batterieschonendes Laden aufgrund der hohen Laufleistung der Fahrzeuge wünschenswert ist, ist ein schnelles Laden einem HPC in der Regel vorzuziehen. Damit ist das **Laden von Taxis** ein idealer Usecase für DC-LEO, wenn Wartezeiten an der Straßenbahn/ an Mobilitätspunkten liegen.

Noch relativ neu im Markt sind zudem die sogenannten On-Demand-Angebote. Wurden On-Demand-Angebote bislang im Rahmen von Pilotprojekten unter Anwendung der Experimentierklausel im Personenbeförderungsgesetzes (PBefG) entwickelt und getestet, wurde mit einer Novelle des PBefG 2021 der Linienbedarfsverkehr als rechtliche Grundlage eingeführt. Insbesondere in urbanen Zentren ist durch das Zusammenlegen von Fahrtwünschen (Pooling) für On-Demand-Dienste ein tragfähiges und wirtschaftliches Betreibermodell gegeben. Diese Dienste sind teilweise direkter Bestandteil des ÖPNV (z.B. Flexa in Leipzig oder Muva in Berlin als Nachfolger von BerlKönig), teilweise stellen sie ein unabhängiges neues Angebot dar (z.B. Moia in Hamburg und Hannover). Insbesondere wenn die On-Demand-Angebote in den ÖPNV integriert sind, stellen Mobilitätspunkte wie Straßenbahnhaltestellen gute Warte- und damit Ladepunkte dar.

Kombination mit anderen Usecases

Eine Kombination mit anderen Usecases ist nicht empfehlenswert, allerdings können mehrere Fahrzeuge bzw. auch mehrere Anbieter eine Ladesäule gemeinsam nutzen.

Eignung für DC-LEO

Für DC-LEO ist für diesen Usecase gut geeignet, insbesondere, wenn Wartepunkte an Haltestellen der Straßenbahn liegen.

4.5.3 Carsharing-Fahrzeuge (am Standort)

Carsharing ist ähnlich dem Bedarfsverkehr eine wichtige Ergänzung zum ÖPNV und liefert damit einen unverzichtbaren Beitrag zur Verkehrswende. Insbesondere das stationsbasierte Carsharing trägt zu einer deutlichen Entlastung im ruhenden Verkehr bei da es private Pkw überflüssig macht, bzw. ein Leben ohne eigenen Pkw stabilisiert. Zudem trägt das stationsbasierte Carsharing zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens bei, da Carsharing-Nutzende deutlich öfter mit ÖPNV und Rad unterwegs sind (Nehrke 2020). Derzeit sind deutschlandweit 33.930 Carsharing-Fahrzeuge unterwegs, davon 15.360 im stationsbasierten Carsharing und 18.570 im Free Floating (bcs 2023b). Der Anteil an Elektrofahrzeugen in der Carsharing-Flotte beträgt 20,5 % (im Vergleich zu 3,9 % der Fahrzeuge deutschlandweit). Allerdings ist dieser Anteil im Vergleich zum vorangegangenen Jahr etwas rückläufig. Das liegt nach Aussagen des Bundesverbandes Carsharing daran, dass die Anzahl der Elektrofahrzeuge nicht mit der Entwicklung des Carsharings generell mithalten kann. Als ein wesentlicher Grund dafür wird die fehlende für Carsharing geeignete Ladeinfrastruktur gesehen (bcs 2023a). Für jedes Carsharing-Fahrzeug, insbesondere im stationsbasierten Betrieb, ist jeweils eine zugeordnete Ladestation erforderlich. Nur so ist gewährleistet, dass die Fahrzeuge regelmäßig einsatzbereit sind. Die erforderliche Ladeleistung liegt dabei im mittleren Bereich (11- 50 kW), da für die meisten Fahrten nicht erforderlich ist, dass die Fahrzeuge vollgeladen sind.

Zudem ist auch hier ein moderater Strompreis wichtig, um die Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge darstellen zu können.

Kombination mit anderen Usecases

Eine Kombination mit anderen Usecases ist nicht möglich, da für die Fahrzeuge insbesondere beim stationsbasierten Carsharing eine exklusive Ladeinfrastruktur erforderlich ist.

Eignung für DC-LEO

Dieser Usecase wird kurzfristig und mittelfristig als attraktiv angesehen, da Verkehrsunternehmen grundsätzlich ein Interesse haben, Ladeinfrastruktur für das Carsharing als Ergänzung zum ÖPNV zu errichten.

5 Transfer von DC-LEO

5.1 Potentialanalyse

Wie im Kapitel 2 dargelegt, ist der Einsatz von DC-LEO grundsätzlich für alle Usecases denkbar. Wichtig ist, dass die Gleichstromleitung in der Nähe eines potenziell geeigneten Standortes zur Verfügung steht. Je nach Verfügbarkeit des herkömmlichen Netzanschlusses (Verteilnetz, Mittelspannungsnetz) am Standort können dabei Vorteile durch den Einsatz von DC-LEO entstehen (siehe Kapitel 1.1).

Aufgrund der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen ist jedoch für den Einsatz von DC-LEO der Betrieb der Ladeinfrastruktur durch das Verkehrsunternehmen selbst eine wichtige Voraussetzung. So können aufwändige Rechtsstrukturen vermieden werden, die andernfalls für einen rechtssicheren Betrieb gestaltet werden müssen. Grundsätzlich kann das Verkehrsunternehmen Ladeinfrastruktur errichten und betreiben. Es ist jedoch sicherzustellen, dass dies der jeweiligen Satzung entspricht. Hier könnte beispielsweise durch eine Formulierung einer erweiterten Aufgabe auf die Förderung der Verkehrswende verwiesen werden, oder direkt die Reduktion von Emissionen im Verkehrssektor als Aufgabe festgelegt werden. Dem wäre mit dem Aufbau von Ladeinfrastruktur und damit der Förderung der Elektrifizierung des Verkehrs genüge getan. Als nächstes ist zu prüfen, ob der Betrieb der Ladeinfrastruktur mit dem Wettbewerb vereinbar ist. Wird das Verkehrsunternehmen selbst zum Betreiber der Ladeinfrastruktur, ergeben sich weitere Herausforderungen, die aus der Interessenslage der Akteure resultieren.

Verkehrsunternehmen haben in erster Linie den Auftrag ein attraktives Angebot für den ÖPNV sicher zu stellen. Daraus ergibt sich für das Laden von (Privat)-Fahrzeugen unter Umständen ein Interessenskonflikt.

Bei einige Anwendungen kann ein Interessenskonflikt zwischen den Aufgaben des ÖPNV und dem Anbieten von Ladeinfrastruktur jedoch von vornherein ausgeschlossen werden.

Dies gilt insbesondere, wenn die Ladeinfrastruktur unmittelbar oder mittelbar den ÖPNV fördert.

1. für das Laden von Bussen des ÖSPV (im Depot oder an Endhaltestellen)
Dabei kann es sich um eigene Fahrzeuge aber auch Fahrzeuge von anderen Unternehmen wie z.B. Unterauftragnehmern handeln (z.B. PKW für den On-Demand-Verkehr).
2. Laden von Fahrzeugen von Mobilitätsdienstleistern, die den ÖV mittelbar stärken
Dies unterstützt die Mobilität ohne eigenen Pkw und stärkt damit letztendlich den ÖPNV.

Darüber hinaus kann als weiteres Einsatzfeld genannt werden:

3. das Laden von Nutzfahrzeugen
beispielsweise, wenn sich das Depot eines KEP-Dienstleisters in der Nähe einer Straßenbahnleitung liegt, kann alternativ zur Versorgung über das Wechselstromnetz ein Anschluss über die Oberleitung erfolgen.
Dieser Usecase eignet sich aufgrund der Tatsache, dass hier kein Interessenskonflikt zum ÖPNV vorliegt. Damit wäre der Usecase für eine Erweiterung der Transferstrategie geeignet

5.1.1 Einsatzfeld Laden von Bussen

Für das Laden von Bussen kann auf eine Stromversorgung über das Gleichstromnetz gesetzt werden, wenn dieses in der Umgebung des Depots bzw. einer Haltestelle mit längeren Wartezeiten liegt. Die genauen Parameter sind jeweils abhängig von den lokalen Gegebenheiten.

Beim Laden im Depot werden die Busse über Nacht geladen und absolvieren mit einer Ladefüllung den Tagesbetrieb. Für das Laden im Depot, bzw. auf dem Betriebshof sind in der Regel mittlere

Ladeleistung von 50 - 100 kW ausreichend. Allerdings summiert sich die Ladeleistung bei mehreren Bussen. Häufig muss daher am Standort eine extra Trafostation eingerichtet werden (Faltenbacher et al. 2021).

Zunächst ist der Ladebedarf für die Busse am Standort zu ermitteln und eine Betrachtung darüber anzustellen, welche Ladeleistung über das Gleichstromnetz zur Verfügung gestellt werden kann. Dabei kann es beim Depotladen von Vorteil sein, dass das Laden in der Regel über Nacht stattfindet, in dem der Straßenbahnverkehr häufig eingeschränkt ist und mehr Leistung im Gleichstromnetz zur Verfügung stehen kann.

Beim Laden an Haltestellen mit längerer Verweildauer werden in Europa häufig Stromabnehmer eingesetzt. Es wäre hier auch denkbar, dass CCS-Stecksysteme zum Einsatz kommen, wenn die Zeit ausreichend ist, um den Steckvorgang zu rechtfertigen. Die Ladeleistung wird dabei in der Regel mindestens 150 kW betragen, um die kurze Zeit optimal zu nutzen. Insbesondere dann, wenn der Ladevorgang nicht in jedem Fall durchgeführt werden muss (nicht bei jedem Umlauf, witterungsabhängig) kann eine kostengünstigere Variante mit einer Steckverbindung in Erwägung gezogen werden.

Für eine Entscheidung welche Technologie zum Einsatz kommt, sollte ein alternatives Angebot für eine Stromversorgung über das öffentliche Netz eingeholt werden. Evtl. ist beispielsweise im Depot auch eine zweifache Auslegung sinnvoll, also ein teilweiser Anschluss über das Gleichstromnetz und ein ergänzender über das öffentliche Stromnetz.

Bei der Planung werden die Standorte festgelegt. Hier spielen neben dem Platzbedarf auch die bereits bestehenden Leitungen (Gas, Wasser, Telekommunikation) im Untergrund eine Rolle. Das Messkonzept, zur klaren Trennung zwischen Strom, der für die Straßenbahn entnommen wird und der, der von den Bussen entnommen wird, und das Lastmanagement um Lastspitzen zu vermeiden muss geplant werden. Eine Abrechnungsmöglichkeit ist erforderlich, wenn fremde Unternehmen, beispielsweise Unterauftragnehmer, ebenfalls Zugang zur Ladestation erhalten.

Nach der Erteilung der erforderlichen Genehmigungen kann die Errichtung der Ladestationen beauftragt werden.



Abbildung 13: Überblick über Prozessschritte für die Errichtung der DC-LEO-LIS (eigene Abbildung)

5.1.2 Einsatzfeld Mobilitätsstation

Als zweites für den Transfer geeignetes Einsatzfeld von DC-LEO wurden neben dem Laden der eigenen Busse das Laden von ergänzenden Mobilitätsangeboten identifiziert. Diese ermöglichen ein Leben ohne eigenen Pkw und stärken damit den ÖPNV. Unterschiedliche ergänzende Mobilitätsangebote werden zunehmend an sogenannten Mobilitätsstationen zusammengefasst. Diese liegen häufig in unmittelbarer Nähe zu Haltestellen des ÖPNV. Hier werden verschiedene Mobilitätsangebote gebündelt angeboten, so dass unterschiedliche Mobilitätsoptionen zur Verfügung stehen, diese möglichst nahtlos verknüpft werden können und damit eine Alternative zum (reinen) Pkw-Verkehr zur Verfügung steht (Peters und Weber 2023; Stein und Bauer 2019) und so ein wichtiges Element auf dem Weg hin zu einer klimafreundlichen Mobilitätswende in Kommunen sein. Mobilitätsstationen gewinnen insbesondere in größeren Städten zunehmend an Bedeutung (München 2023). Die Begriffe Mobilitäts-Hubs, Mobilitätspunkte, Mobilstationen, Mobilpunkte oder Mobilitätsinsel werden häufig synonym verwendet. Mobilitätsstationen werden in der Regel in Regie

der Kommune geplant, umgesetzt, und betrieben. (ZNM 2022; Kindl et al. 2018; Peters und Weber 2023). Bau und Betrieb von Mobilitätsstationen wird dabei von den Kommunen in der Regel anderen Akteuren wie z.B. städtischen Unternehmen wie den städtischen Verkehrsbetrieben übertragen (Unger-Azadi et al. 2022). Dabei spielen häufig die (städtischen) Verkehrsunternehmen eine tragende Rolle. So hat die Stadt München die Stadtwerke und die Verkehrsbetriebe mit dem Bau und dem Betrieb der Mobilitätsstationen beauftragt (Stein und Bauer 2019; Bauer et al. 2020).

Die Größe der Station, das Design oder das konkrete Mobilitätsangebot variiert von Kommune zu Kommune. Typische Ausstattungselemente von Mobilitätsstationen sind:

- Carsharing-Station und gegebenenfalls Abstellmöglichkeiten für Freefloating-Fahrzeuge
- Bikesharing-Angebote sowie evtl. Pedelec-Sharing
- sichere und wettergeschützte Radabstellmöglichkeiten

Je nach örtlichen Gegebenheiten können hinzukommen:

- Taxistation
- Verleih von Tretrollern und Lastenrädern
- Pedelec-Ladestation
- P&R – Parkplätze (mit Ladestationen)
- Schnittstelle zu On-Demand-Verkehr oder Bürgerbus

Als ergänzende Service-Angebote können beispielsweise hinzukommen:

- Informationstafeln zum ÖPNV (Fahrgastinformation)
- Anleitung und Tarife für die weiteren Mobilitätsangebote
- Gepäckschließfächer
- WLAN-Hotspot
- Luftpumpe und Reparaturstation für Fahrräder
- Öffentliches WC
- Packstation

In konkreten Fallstudien bei der Errichtung von Mobilitätsstationen wurde festgestellt, dass gerade die Netzverfügbarkeit an den Standorten eine Herausforderung für die Integration von Elektrofahrzeugen darstellen kann (Stein und Bauer 2019; Peters und Weber 2023; Bauer et al. 2020). Da Mobilitätsstationen häufig in der räumlichen Nähe zu Haltestellen des ÖPNV liegen sind diese kurz- bis mittelfristig ein optimale Einsatzgebiete für DC-LEO.

Folgende konkrete Komponenten der Mobilitätsstation können dabei von DC-LEO unterstützt werden:

- Laden von Carsharing-Fahrzeugen
- Laden von Taxen
- Laden von Fahrzeugen ergänzender Bedarfsverkehre
- Laden von Privatfahrzeugen an P&R-Stationen (Alltagsladen, Laden am Zielort)

Die vier Komponenten werden in der Tabelle 11 anhand der Nutzenden der Ladesäule, der Vertragspartner, der Ladeleistung, der Abrechnung und der weiteren Rahmenbedingungen vorgestellt.

Tabelle 11: Komponenten einer Mobilitätsstation, die durch DC-LEO unterstützt werden können

	Carsharing-Fahrzeuge	Laden von Taxen	weitere ergänzende Mobilitätsangebote	P&R-Stationen mit Lademöglichkeit (Alltagsladen, Laden am Zielort)
Nutzende der Ladesäule	Nutzende eines E-Carsharing-Angebotes/ Carsharing-Anbieter <ul style="list-style-type: none"> • Stationsbasiert - fest zugeordneter Stellplatz • Free Floating - Offener Carsharing-Stellplatz 	Taxifahrer beim Warten an der Station/ Taxiunternehmen	Fahrer/ On-Demand-Dienstleister, Bürgerbusse	Privatpersonen, die ihren Weg mit anderen Mobilitätsangeboten (Straßenbahn) fortsetzen
Vertragspartner	Carsharing-Anbieter	Taxiunternehmen	Dienstleister weiterer Angebote	Privatpersonen
Ladeleistung	Mittel (20-50 kW) Aufladen bis zur nächsten Nutzung	Mittlere bis hohe Ladeleistung (30-75 kW)	Mittlere bis hohe Ladeleistung (30-70 kW)	Gering (10-30 kW) da längere Verweildauer
Abrechnung	Ladekarte (evtl. speziell für die Station)	Ladekarte ggf. für mehrere Standorte nutzbar	Ladekarte (evtl. speziell für die Station)	Ad-Hoc-Zahlung oder Ladekarte
weitere Rahmenbedingungen				Angebote und Preise müssen auf längere Standzeiten ausgelegt sein

Ist die Entscheidung einer Stadt getroffen worden, eine Mobilitätsstation zu errichten, müssen die folgenden Schritte absolviert werden, die Abbildung 14 darstellt.



Abbildung 14: Überblick über Prozessschritte für die Errichtung der DC-LEO-LIS an Mobilitätsstationen

5.2 Betreibermodell für DC-LEO

Aufbauend auf den Ausführungen zu den rechtlichen Rahmenbedingungen aus Kapitel 2.1 werden für den Transfer von DC-LEO-LIS Empfehlungen und Hinweise für mögliche Betreibermodelle gegeben. Aufgrund des Schwerpunktes des Handlungsleitfadens stehen dabei Verkehrsbetriebe bzw. ÖPNV-Unternehmen im Fokus und werden favorisiert betrachtet. Daneben werden die Kommune sowie Private Dritte als Betreiber in Erwägung gezogen. Auf Grundlage der geltenden Rechtslage kann jede der genannten Parteien als Betreiber der Ladesäulen auftreten, solange gewisse Regelungen beachtet werden. Es ist allerdings empfehlenswert je nach Einzelfall zusätzlich die örtlich geltenden Vorschriften zu prüfen.

➤ **Pflichten des Betreibers**

Der Betreiber von Ladesäulen kann unabhängig von den Eigentums- und Besitzverhältnissen auftreten. Er wird dadurch definiert, dass er „unter Berücksichtigung der rechtlichen, wirtschaftlichen und tatsächlichen [Umstände] bestimmenden Einfluss auf den Betrieb eines Ladepunkts ausübt“ (§ 2 Nr. 8 LSV) und damit Verantwortung für den Betrieb übernimmt. Als Betreiber können damit sowohl der Eigentümer, als auch ein Mieter oder Pächter gewertet werden. Er ist zudem verpflichtet, die Einhaltung der Ladesäulenverordnung (LSV) zu gewährleisten. Laut LSV muss er den Betrieb der Ladeinfrastruktur beaufsichtigen, wozu unter anderem die Funktionsfähigkeit, Wartung und Reparatur zählen. Außerdem muss er die energiewirtschaftlich konforme Einbindung in das Stromnetz koordinieren. Er muss das punktuelle Laden ermöglichen, wozu er auch Dienstleister engagieren kann.

➤ **Definition der Ladepunkte**

Wie bereits in Kapitel 2.1 dargelegt, gilt es zu beachten, dass nach EnWG „ein (Verteiler-) Netzbetreiber nicht zugleich Eigentümer von Ladepunkten für Elektromobile sein [darf] noch diese Ladepunkte entwickeln, verwalten oder betreiben“ darf (Maslaton 2023, S. 31; § 7c Abs. 1 Satz 1 EnWG).

Hierzu wird zwischen dem **Betreiber der Ladepunkte** und dem **Betreiber der Stromnetze** unterschieden. Ersterer gilt auf Grundlage des EnWG weder als Energieversorger noch als Netzbetreiber. Der Betreiber der Stromnetze wiederum kann vermeiden als Netzbetreiber eingestuft zu werden, wenn die Ladepunkte wie folgt definiert werden (vgl. Maslaton 2023):

➤ **Kundenanlage** (§ 3 Nr. 24a bzw. Nr. 24b EnWG):

Hier entfallen sämtliche Regelungen nach dem EnWG. Das Modell ist mit Risiken behaftet, da der Betreiber sich selbst als Kundenanlage einstufen kann. Sollte im Falle einer Prüfung eine falsche Einordnung festgestellt werden, müssen Nachzahlungen erfolgen.

Kundenanlagen müssen in einem räumlich verbundenen Gebiet aufgestellt sein, mit dem Energieversorgungsnetz oder der Erzeugungsanlage verbunden sein und für die Kundschaft diskriminierungsfrei zugänglich sein (vgl. § 3 Nr. 24a und b EnWG). Weiter kann unterschieden werden zwischen:

(1) einer normalen Kundenanlage, wo zusätzlich ein unverfälschter Wettbewerb vorgeschrieben ist und (2) einer Kundenanlage zur betrieblichen Eigenversorgung, die der betriebsinternen Energieversorgung dient. Sie darf bis 10 % des Gesamtbetriebs der Anlage betragen.

➤ **Geschlossenes Verteilernetz (§ 110 EnWG):**

Die strengen Regelungen des EnWG entfallen nur teilweise, weshalb die Einordnung als Kundenanlage attraktiver ist. Die Genehmigung erteilt die zuständige Landesregulierungsbehörde. Das geschlossene Verteilernetz kann nicht mit dem Modell der Kundenanlage kombiniert werden. Eine Einstufung als Netzbetreiber würde dennoch stattfinden. Diese Alternative ist in Erwägung zu ziehen, wenn eine Einstufung als Kundenanlage nicht möglich sein sollte.

➤ **Reine Eigenversorgung:**

Hier entfallen sämtliche Regelungen nach dem EnWG. Sämtliche Ladepunkte müssen vom Betreiber des Stromnetzes selbst betrieben werden. Der Betreiber der Ladepunkte und der Betreiber der Stromnetze ist demnach identisch.

Akteure als Betreiber

➤ **Verkehrsbetriebe als Betreiber:**

Grundsätzlich sind Unternehmen einer Gemeinde mit einem öffentlichen Zweck beauftragt und sind im Sinne der kommunalen Daseinsvorsorge tätig (vgl. Maslaton 2023, S. 64; Kommunalrecht der Länder). Beim Ausbau der Ladeinfrastruktur und der Einhaltung der Ziele der Bundesregierung kommt den Kommunen eine besondere Aufgabe zu. Das zur Verfügung stellen von Ladestrom kann demnach in den Bereich der Daseinsvorsorge gefasst werden (§ 71 Abs. 2 Nr. 4 Satz 2 ThürKO), weshalb die Verkehrsbetriebe als Unternehmen der Kommune diese Aufgabe grundsätzlich übernehmen können.

Das Modell der reinen Eigenversorgung ist hierbei aus energiewirtschaftsrechtlicher Sicht aufgrund der einfachen Bedingungen am ehesten zu empfehlen (Maslaton 2023, S. 70).

➤ **Kommune als Betreiber:**

Die Kommune selbst wäre als Dritter zu bewerten, die als Eigenbetrieb, kommunale Anstalt des öffentlichen Rechts oder in der Rechtsform des Privatrechts auftreten kann. Grundsätzlich käme hierbei am ehesten das Modell der Kundenanlage zur betrieblichen Eigenversorgung zu tragen (Maslaton 2023, S. 70f.). Sie kann den Betrieb im Rahmen der Vorgaben auch an Dritte erteilen. Folgende Geschäftsmodelle kommen für die Kommune in Frage (vgl. Maslaton 2023, S. 70ff):

(1) Integriert-reguliertes Marktmodell: Der Betrieb der LIS erfolgt als Teil des Elektrizitätsverteilernetzes über den Verteilnetzbetreiber. Die Stromlieferung findet über Dritte statt (Netzbetreiber darf nicht Stromlieferant sein). Der Verkehrsbetrieb wäre hierbei allerdings wieder ein Netzbetreiber.

(2) (Teil-)wettbewerblicher Betrieb: Der Betrieb der LIS erfolgt außerhalb des Elektrizitätsverteilernetzes durch Dritte oder den Verkehrsbetrieb. Von Vorteil wäre, dass der Verkehrsbetrieb Betreiber der Ladeinfrastruktur sein könnte, ohne selbst zum Netzbetreiber zu werden. Der Verkehrsbetrieb kann zudem die Stromlieferung übernehmen (bis zur Obergrenze von 100.000 Kund*innen).

(3) Separiert-regulierter Betrieb: Aufbau LIS erfolgt getrennt von den Elektrizitätsverteilernetzen und Stromlieferanten. Der Betrieb wird in der Regel von Dritten durchgeführt. Von Vorteil wäre, dass der Verkehrsbetrieb weder zum Netzbetreiber noch zum Energielieferanten wird. Nachteil wären die geringeren Regulierungsmöglichkeiten durch die öffentliche Hand, diese könnten aber z.B. durch befristete Vergaben oder Lizenzmodelle bis zu einem gewissen Grad erfolgen.

5.3 Ökonomische Analyse und Geschäftsmodell

Die vorliegende Analyse wird aus Sicht eines **ÖPNV-Unternehmens** durchgeführt. Das Unternehmen betreibt ein Stadtbahnsystem und steht vor der Herausforderung, eigene vollelektrische Fahrzeuge zu betreiben und zu finanzieren. Dies können Linienbusse, Kleinbusse für den städtischen und ländlichen Linienbedarfsverkehr (LBV=On-Demand-Verkehr) oder Fahrzeuge von Sub-Unternehmern sein. Im Falle der Sub-Unternehmen wiederum können dies Taxifahrzeuge sein, die zum Beispiel zeitweise als Anruf-Sammel-Taxis Dienstleistungen ausführen.

Das ÖPNV-Unternehmen hat aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu entscheiden, mit welcher Ladekapazität im Sinne von Reichweite die E-Fahrzeuge angeschafft werden. Eine hohe Reichweite ermöglicht in Abhängigkeit der Betriebsanforderungen ein reines Depotladen in Betriebspausen und Zeiten geringerer Fahrzeuganforderung. Eine geringere Reichweite bietet den Vorteil geringerer Fahrzeuglebenszykluskosten. In diesem Fall müssen bei hoher Betriebsanforderung Lademöglichkeiten für das Zwischenladen im Betrieb ermöglicht werden. Hohe Betriebsanforderungen sind charakterisiert durch lange Bedienweiten, lange Betriebszeiten und die Länge der Hauptverkehrszeiten, die die benötigte Fahrzeuganzahl determiniert.

Das ÖPNV-Unternehmen hat sich diesem Trade-Off zu stellen. Werden aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht Lademöglichkeiten für das Zwischenladen von Fahrzeugen sinnvoll, muss das Unternehmen eruieren, ob es möglich und betriebswirtschaftlich sinnvoll ist die eigenen Fahrzeuge an öffentlich verfügbaren Ladeinfrastrukturen zu laden. Ist diese Ladeinfrastruktur verfügbar und das am für den Betrieb geeigneten Ort? Falls nicht, kann eine Ladeinfrastruktur, z.B. von den städtischen Elektrizitätswerken, installiert werden. Aufgrund der (Nicht-)Verfügbarkeit des kommunalen Mittelspannungsnetzes, kann eine Einrichtung einer DC-LEO Ladesäule betriebswirtschaftlich sinnvoll sein, d.h. es liegt ein Geschäftsmodell für das Laden von elektrischen Fahrzeugen vor.

In diesem Geschäftsmodell sind drei Fälle miteinander zu vergleichen:

1. „Volllader Depotladen“: Reines Depotladen (Volllader) wird ermöglicht durch die Fahrzeuganschaffung mit ausreichend hoher Reichweite.
2. „Gelegenheitslader LIS Stadt“: Geladen wird nachts im Depot und an betriebsgeeigneten Stellen im Netz (Gelegenheitslader). Es wird Ladeinfrastruktur angeschafft durch einen „Dritten“. Das ÖPNV-Unternehmen lädt seine Fahrzeuge an dieser Ladeinfrastruktur.
3. „Gelegenheitslader DC-LEO LIS“: Das ÖPNV-Unternehmen schafft DC-LEO-Ladeinfrastruktur an und betreibt diese, damit Fahrzeuge an Stadtbahnhaltestellen zwischenladen können (Gelegenheitslader).

Die folgende Tabelle zeigt die drei Betrachtungsfälle mit jeweils zu berücksichtigten Kostenelementen, die den Trade-Off ausmachen und eine Einschätzung der Kosten in der Skala „gering“ und „hoch“ im Vergleich der Fälle untereinander gibt. Neben den Kosten werden auch mögliche zusätzliche Erlöse aufgeführt:

Tabelle 12: Qualitative Einschätzung von Wirkungen betriebswirtschaftlicher Kriterien

Kosten	Depotlader Vollader	LIS Stadt Gelegenheitslader	DC-LEO LIS Gelegenheitslader	Beschreibung
E-Fahrzeuge ÖV-Unternehmen	hoch	gering	gering	Kosten für E-Fahrzeuge bezogen auf Antriebssystem batterieelektrisch
Kostenauswirkung auf Betrieb - Flexibilität Standortwahl LIS	entfällt	hoch	gering	Die Verfügbarkeit des Mittelspannungsnetzes schränkt die Standortwahl ein. Somit können Standorte vom LIS-Betreiber gewählt werden, die für den ÖV-Betrieb ungünstig sind.
LIS Anschaffung, Inbetriebnahme und Betrieb	entfällt	keine	hoch	Wird eine LIS der Stadt für den ÖV-Betrieb genutzt, fallen ausschließlich Nutzungskosten an, die dann höher sind als würde eine eigene DC-LEO LIS angeschafft und betrieben werden.
Energiekosten	gering	hoch	gering	
Straßenbahnrekuperation	entfällt	keine	hoch	Straßenbahnfahrzeuge rekuperieren Bremsenergie in das Oberleitungsteilnetz. Ist weder ein Abnehmer (z.B. andere Tram) oder ein Speicher vorhanden, wird diese Energie in Wärme umgewandelt. DC-LEO LIS kann ein Abnehmer dieser Energie sein.
Erlöse	Depotlader Vollader	LIS Stadt Gelegenheitslader	DC-LEO LIS Gelegenheitslader	Beschreibung
Erlöse durch Dritte	keine	keine	hoch	Erlöse, in diesem Sinne negativen Kosten
Erlöse durch ÖV-Pull-Effekte	keine	keine	hoch	Park-Ride-Nutzer laden den PKW an Umsteigestation; gewinn zusätzlicher ÖV-Kunden

Volkswirtschaftliche Wirkungen

Volkswirtschaftlich zu betrachtende Wirkungen treffen ein bei Ausbau von LIS, sowohl bei dem Betreibermodell ÖV-Unternehmen als auch bei einem Betreibermodell „Städtischer Betreiber“. Folgende Tabelle gibt einen Überblick der Wirkungen mit einer qualitativen Einschätzung zur Höhe der Wirkungen im direkten Vergleich, ob eine herkömmliche LIS errichtet wird oder eine DC-LEO LIS.

Tabelle 13: Qualitative Einschätzung von Wirkungen volkswirtschaftlicher Kriterien

Kriterium	LIS Stadt	DC-LEO LIS	Beschreibung
Flächenerschließung LIS	gering	hoch	Kapazität Mittelspannungsnetz ist schlecht ausgebaut bzw. nicht verfügbar, daher können durch DC-LEO neue Standorte für LIS erschlossen werden bzw. das Mittelspannungsnetz wird durch DC-LEO geschont, damit weitere LIS errichtet werden können.
Ausbaugeschwindigkeit LIS	gering	hoch	DC-LEO kann schneller eingerichtet werden als städtische LIS, somit wird eine schnellere Verfügbarmachung ermöglicht
Anschlusskosten LIS	hoch	gering	Entfernung zum Mittelspannungsnetz; Kosten steigen zur Entfernung exponentiell
Vernetzung von Verkehrsträgern im Sinne von inter- und multimodaler Nutzung	gering	hoch	Die Einrichtung von Mobilitätsstationen an Stadtbahnhaltestellen ist hinsichtlich des inter- und multimodalen Angebotes bzw. deren Nutzung sinnvoll.
Städtische Gestaltung / Denkmalschutz	gering	hoch	DC-LEO LIS sind kleiner als städtische LIS und bei denkmalgeschützten städtischen Plätzen besser geeignet
Erschließung des ländlichen Raumes durch den ÖSPV mit E-Fahrzeugen	gering	Hoch	An Endhaltestellen von Stadt- und Straßenbahnen können mittels DC-LEO kosteneffizient E-Fahrzeuge des ÖSPV geladen wird. Dies fördert die Erschließung des Umlandes. Besonders attraktiv ist dies mit PKW des Linienbedarfsverkehrs, da die Batteriekapazität und die Ladezeiten geringer sind.

5.4 Methode für räumlichen Transfer der DC-LEO Technologie

Für den Zugriff und die Verwendung der DC-LEO Technologie sind in Kapitel die identifizierten Usecases vorgestellt und deren konkreten Bedürfnisse sowie Anforderungen aufgezeigt. Das Potenzial für eine erfolgreiche Anwendung der DC-LEO Technologie gestaltet sich dabei je nach Usecase und räumlichen Gegebenheiten unterschiedlich aus.

Um dieses Potenzial für die Implementierung der DC-LEO Technologie für ein Gebiet präzise ableiten zu können, wurde eine Transfer-Methode entwickelt. Auf Basis von GIS-Modellen und Geodaten wird auf öffentliche Daten zugegriffen. Je nach Stadt und Standort können damit konkrete Flächen identifiziert werden, die je nach Usecase ein unterschiedliches Potenzial versprechen.

Für die Transfer-Methode sind OSM Tags und Geodaten aufgelistet, die zum Übertragen herangezogen werden.

In Tabelle 14 ist ein Ausschnitt von den kategorisierten Geodaten abgebildet, die das Vorgehen und die Bewertung veranschaulichen. Jeder Class (z.B. „Polizei“) ist ein Usecase zugeordnet (z.B. „Zielort“). Die Bewertung nach einer 3-stufigen Skala mit „+“, „o“ und „-“ zeigt wie hoch das Potenzial ist, dass viele Nutzer:innen auf die DC-LEO-Ladesäule zugreifen.

Grundsätzlich orientiert sich die Einordnung in die entsprechende Bewertung unter anderem an einer hohen Nutzungsfrequenz, Verweilmöglichkeiten, vorhandenen Arbeitgeberstellen sowie der Attraktivität als Zwischenziel und Zielort.

Die ausführliche Tabelle ist auf Anfrage bei der Autorenschaft erhältlich.

Tabelle 14: Ausschnitt Transfer-Methode für GIS-Model zur Kategorisierung der Geodaten (Legende Bewertung: (+) primärer Usecase | (o) sekundärer Usecase | (-) kein Usecase)

Kategorie / Layer	Class	Bewertung	Art Usecase	OSM Tags
Interessenpunkte				
Public	Polizei	+	Zielort	amenity=police
	Rathaus	+	Arbeitgeber, Zielort	amenity=townhall
	Gerichtsgebäude	+	Zielort	amenity=courthouse
Bildung	Universität	+	Laden ohne eigenen Stellplatz, Zielort	amenity=university
	Schule	o	Laden ohne eigenen Stellplatz	amenity=school
	Kindergarten	o	Arbeitgeber	amenity=kindergarten
Gesundheit	Apotheke	o	Arbeitgeber	amenity=pharmacy
	Krankenhaus	+	Arbeitgeber, Zielort	amenity=hostpital
	Ärzte	+	Zielort	amenity=doctors
Freizeit	Theater	+	Arbeitgeber, Zielort	amenity=theatre
	Nachtclub/Diskotheek	o	Zielort	amenity=nightclub
	Kino	+	Zielort	amenity=cinema
Sport	Sportzentrum	+	Laden ohne eigenen Stellplatz	leisure=sport_centre
	Spielfeld	+	Laden ohne eigenen Stellplatz	leisure=pitch
	Schwimmbad/Wasserpark	+	Laden ohne eigenen Stellplatz, Zielort	amenity=swimming_pool, leisure=swimming_pool, sport=swimming, leisure=water_park
Verpflegung	Restaurant	+	Zwischenziel, Zielort	amenity=restaurant
	Fastfood-Restaurant	+	Laden ohne eigenen Stellplatz, Zwischenziel	amenity=fast_food
	Hotel	+	Zielort	tourism=hotel

Unterkunft (innen)	Motel	+	Zielort	tourism=motel
Unterkunft (außen)	Campingplatz	+	Zielort	tourism=camping_site
	Wohnwagenplatz	+	Zielort	tourism=caravan_site
Einkaufen	Supermarkt	+	Laden ohne eigenen Stellplatz, Zwischenziel	shop=supermarket
	Bäcker	o		shop=bakery
Geld	Bank	+	Zielort	amenity=bank
	Geldautomat	-		amenity=atm
Tourismus	Touristeninformation	+	Zwischenziel, Zielort	tourism=information
	Museum	+	Zwischenziel, Zielort	tourism=museum
Sonstiges	Toilette	-		amenity=toilet
	Bank	-		amenity=bench
Straßen und Wege				
	unklassifiziert	+	Laden ohne eigenen Stellplatz, Zielort	highway=unclassified
	wohnen	+	Laden ohne eigenen Stellplatz, Zielort	highway=residential
Eisenbahnen, U-Bahnen, Straßenbahnen, Aufzüge und Seilbahnen				
	Schiene	-		railway=rail (unless traction=* also set)
	Stadtbahn	-		railway=light_rail
Landnutzung und Bodenbedeckung				
	Park	+	Laden ohne eigenen Stellplatz	leisure=park, leisure=common
	Wohnen	+	Laden ohne eigenen Stellplatz	landuse=residential

6 Fazit

Um die notwendigen politischen und klimaschutzrelevanten Zielsetzungen im Verkehrsbereich erfüllen zu können, sind zusätzlich zu den quantitativ zu erreichenden Vorgaben an Ladepunkten und Batterieelektrischen Fahrzeugen, gesellschaftlich akzeptierte und kreative Lösungen notwendig, die minimalinvasive Eingriffe in das gebaute städtebauliche Umfeld darstellen. Der grundlegende Ansatz des Forschungsprojekt DC-LEO ist daher aktueller und gefragter denn je.

Im Rahmen der Projektlaufzeit konnte die rechtliche und technische Umsetzbarkeit einer Schnellladeinfrastruktur an Straßenbahnnetzen erfolgreich nachgewiesen werden. Das größte Hindernis ist die Einhaltung aller Rahmenbedingungen bei der Umsetzung von konkreten Standorten (s. Kapitel 2). Eine generalisierte Ableitung von Parametern hat sich als nicht praxisnah und zielführend erwiesen, eine standortspezifische Prüfung ist in der Umsetzung notwendig.

Im Vergleich zum klassischen Aufbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum ist die Anzahl der Stakeholder bei der Nutzung der Straßenbahninfrastruktur gestiegen (s. Kapitel 3) und erhöht nochmals die Komplexität des Aufbaus.

Durch die vorgegebenen stadtstrukturellen Merkmale der Ladeinfrastruktur an Straßenbahnnetzen sind entsprechende Rahmenbedingungen bei der Identifizierung von Usecases gegeben (s. Kapitel 4). Im Projektverlauf konnte eine Vielzahl an Usecases abgeleitet werden.

Nichtsdestotrotz spricht die Art der Ladeinfrastruktur eine Vielzahl an potenziellen Nutzern an, der Bedarf ist vorhanden (s. Kapitel 5). Im Zentrum der Frage steht einerseits die des Betreibers – die rechtlich einfachste Lösung ist der Betrieb der Ladeinfrastruktur durch den zuständigen Verkehrsbetrieb. Andererseits gehört dies nicht zu den klassischen Aufgaben eines Verkehrsbetriebs.

Zudem konnte im Rahmen der Projektlaufzeit keine quantitative Analyse eines Geschäftsmodells vorgenommen werden. Dies ist aber zwingend notwendig für einen umfassenden Ergebnistransfer. Für die Übertragbarkeit kann es sich zudem als förderlich erweisen, mit der DC-LEO-Ladeinfrastruktur nicht alle Usecases bedienen zu wollen, sondern sich expliziten Usecases zu verschreiben: ein erfolgversprechender Anwendungsfall kann die Ladung von Pkw-/Bus-gestützten On-Demand-Verkehren an Straßenbahndaltestellen sein.

7 Literaturverzeichnis

Arnhold, O. et al. 2020. Leitfaden zur Suchraum- und Standortidentifizierung sowie Empfehlungen für Melde- und Genehmigungsverfahren in der Ladeinfrastrukturplanung. Online verfügbar unter https://www.thega.de/fileadmin/user_upload/leitfaden_zur%20suchraum-und_standortidentifizierung.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Bamberg, Carsten; Lackner, Jascha; Siegemund, Stefan (2020): dena-STUDIE: Privates Ladeinfrastrukturpotenzial in Deutschland. Herausforderungen bei der Entwicklung der privaten Ladeinfrastruktur zur Beschleunigung des Markthochlaufs der Elektromobilität in Deutschland. Hg. v. dena Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena-STUDIE_Privates_Ladeinfrastrukturpotenzial_in_Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Bauer, Uta; Stein, Thomas; Langer, Victoria (Hg.) (2020): Emissionen sparen, Platz schaffen, mobil sein. Handlungsleitfaden City2Share. Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (City2Share). <https://backend.repository.difu.de/server/api/core/bitstreams/d4b3e5dd-e8c8-42f1-91dc-c39b52062d4a/content>, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Bayern Innovativ (2019): Ultra-E-Studie-Kernergebnisse-DE. Markt- und Geschäftsmodelle für Ultra-Schnellladen. Kernergebnisse der Studie 1. Hg. v. Bayerische Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH. Online verfügbar unter <https://www.bayern-innovativ.de/uwao-api/faila/files/bypath/pdf-dokumente/kompetenzstelle-elektromobilitaet-bayern/ultra-e/Ultra-E-Studie-Kernergebnisse-DE.pdf?mod=2020-12-11T08:35:07.262Z&published=false>, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Bayern Innovativ (2021): Whitepaper "Was macht Ladeorte attraktiv? Was macht Erfolgskriterien für die Elektromobilität in Bayern". Hg. v. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. Online verfügbar unter <https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/erfolgskriterien-fuer-die-elektromobilitaet-in-bayern>, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

bcs (2023a): Aktuelle Zahlen und Fakten zum CarSharing in Deutschland. Hg. v. Bundesverband CarSharing e.V. Online verfügbar unter <https://www.carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen/aktuelle-zahlen-fakten-zum-carsharing-deutschland>, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

bcs (2023b): CarSharing in Deutschland 2023. Fact Sheet. Hg. v. Bundesverband CarSharing e.V. Online verfügbar unter https://carsharing.de/sites/default/files/uploads/factsheet_carsharing_in_deutschland_2023_v3.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Blanck, Ruth; Zimmer, Wiebke; Runke, Matthias; Kresin, Johanna; Klinks, Stefan; Mottschall, Moritz et al. (2021): Mobilität in die Zukunft steuern: Gerecht, individuell und nachhaltig. Fiskalische Rahmenbedingungen für eine postfossile Mobilität. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Texte, 85/2021). Online verfügbar unter

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/2021-11-18_texte_85-2021_mobilitaet-zukunft-steuern.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

BMDV (2022): Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge. Artikel zur Umsetzung der Clean Vehicles Directive. Hg. v. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. Online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/clean-vehicles-directive.html>, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Bundesgesetzblatt (12.01.2021): Wohnungseigentumsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Januar 2021, WEG. In: Bundesgesetzblatt 2021. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/woeigg/BJNR001750951.html>, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Bundesgesetzblatt (18.03.2021): Gesetz zum Aufbau einer gebäudeintegrierten Lade- und Leistungsinfrastruktur für Elektromobilität, GEIG. In: Bundesgesetzblatt 2021. Online verfügbar unter http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl121s0354.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022). Einfach laden in der Kommune. Leitfaden zur Vergabe und Genehmigung von Ladeinfrastruktur für kommunale Akteure. Abrufbar unter: https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2022/07/Leitfaden-Ladeinfrastruktur-Kommunen_web.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Bundesverband Taxi und Mietwagen e.V. (2021): Bundesfahrplan eTaxi. Online verfügbar unter https://bundesverband.taxi/wp-content/uploads/2021/10/211008_Bundesfahrplan_eTAXI.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2024..

Bünger, Ulrich; Nicolai, Steffen; Jan Zerhusen; Monsalve, Christian; Kharboutli, Samir; Michalski, Jan; Ruhe, Staphan, Albrecht, Uwe (2019): Infrastrukturbedarf E-Mobilitaet. Analyse eines koordinierten Infrastrukturaufbaus zur Versorgung von Batterie- und Brennstoffzellen-Pkw in Deutschland. Bericht zum Forschungsprojekt der Ludwig-Bölkow-Stiftung. Hg. v. Ludwig-Bölkow-Stiftung. Online verfügbar unter https://stiftung.adac.de/app/uploads/2019/06/IBeMo_Abschlussbericht_final_190625_LBST_Zerhusen.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Chini, Benjamin; Klitzsch, Cathrin (2022): Elektromobilität im Handel 2022. EHI-WHITEPAPER. Hg. v. EHI Retail Institute e. V. Online verfügbar unter <https://www.ehi.org/produkt/whitepaper-elektromobilitaet-im-handel-2022>, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

DEHOGA (2022): Wesentliche Ergebnisse der DEHOGA Umfrage zur Ladeinfrastruktur im Gastgewerbe (Juli 2022). Hg. v. Deutscher Hotel- und Gaststättenverband e.V. Online verfügbar unter https://www.dehoga-bundesverband.de/fileadmin/Startseite/01_UEber_uns/11_Aktionen_Initiativen/Umweltcheck/Wesentliche_Ergebnisse_der_DEHOGA_Umfrage_zur_Lad_1594232860.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2024.

Die Bundesregierung (Hg.) (2019): Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung. Ziele und Maßnahmen für den Ladeinfrastrukturausbau bis 2030. Berlin. Online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur.pdf?blob=publicationFile>, zuletzt aktualisiert am 19.06.2024, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

EnBW (2023): Wie hoch ist der Stromverbrauch von Elektroautos? Online verfügbar unter <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/wie-hoch-ist-der-stromverbrauch-von-elektroautos/>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Esch et al., (2024). „ Analysis of the Integration of a DC-Charging Station into a Tram Grid by using Long-Term Field Measurements and a PHIL Setup”. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/document/10562295>, zuletzt geprüft am 24.06.2024.

EUPD Research (2021): Elektromobilität erhöht den Strombedarf der privaten Haushalte bereits heute um 1,3 TWh - EUPD Research. Online verfügbar unter <https://www.eupd-research.com/elektromobilitaet-erhoeht-den-strombedarf-der-privaten-haushalte-bereits-heute-um-13-twh/>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Europäisches Parlament (2019): CO2-Emissionen von Autos. Zahlen und Fakten. Hg. v. Europäisches Parlament. Online verfügbar unter <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissionen-von-autos-zahlen-und-fakten-infografik>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Faltenbacher, Michael; Bopp, Julian; Kupferschmid, Stefan (2021): Projektuebersicht 2020/2021 Zero-Emission-Busse in Deutschland. Im Rahmen der Programmbegleitforschung Innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Berlin. Online verfügbar unter https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/09/210922_Projektuebersicht-Zero-Emission-Busse-in-Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Frick, R.; Belart, B.; Schmied, M.; Grimm, B.; Schmücker, D. (2014): Langstreckenmobilität - Aktuelle Trends und Zukunftsperspektiven. Studie im Auftrag des Ifmo. Institut für Mobilitätsforschung. Online verfügbar unter https://www.ifmo.de/files/publications_content/2014/ifmo_2014_Langstreckenmobilitaet_de.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Gnann, Till; Speth, Daniel; Plötz, Patrick; Wietschel, Martin; Krail, Michael (2022): Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Rückblick und Ausblick bis 2030. Working Paper Sustainability and Innovation. Karlsruhe (S05/2022). Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/251947>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

infas (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. Unter Mitarbeit von Robert Follmer, Dana Gruschwitz, Birgit Jesske und Sylvia Quandt. DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Verkehrsforschung; infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft. Online verfügbar unter https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/Mobility%20in%20Germany%202008_Projects%20Presentation.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

KBA (2021): Monatliche Neuzulassungen - Neuzulassungsbarometer im Dezember 2021. Hg. v. Kraftfahrtbundesamt. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/MonatlicheNeuzulassungen/2021/202112_Glmonatlich/202112_nzbarometer/202112_n_barometer.html?nn=3504038&fromStatistic=3504038&yearFilter=2021&monthFilter=12_Dezember&fromStatistic=3536106&yearFilter=2021&monthFilter=12_Dezember, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

KBA (2022): Jahresbilanz - Personenkraftwagen am 1. Januar 2022 nach ausgewählten Merkmalen. Hg. v. Kraftfahrtbundesamt. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/2022/2022_b_jahresbilanz_tabellen.html?nn=3532350&fromStatistic=3532350&yearFilter=2022&fromStatistic=3532350&yearFilter=2022, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Keller, Robert; Stohr, Alexander; Weibelzahl, Martin; Wolf, Linda (2022): Elektromobilität im ländlichen Raum. Handlungsempfehlungen für die Gestaltung der Mobilität von Morgen. Hg. v. NABU. Institutsteil Wirtschaftsinformatik, Fraunhofer-Institut für Angewandte. Online verfügbar unter https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/verkehr/auto/220504_studie_elektromobilitaet_auf_dem_land_fit_nabu.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

KfW Research (2020): Großes Potential für Ausbau der Elektromobilität in Deutschland durch private Ladestationen | KfW. PRESSEMITTEILUNG VOM 12.11.2020/ KfW. Online verfügbar unter https://www.kfw.de/%c3%9cber-die-KfW/Newsroom/Aktuelles/Pressemitteilungen-Details_617088.html, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Kindl, Annette; Wolf, Oliver; Gläser, Markus, Reuter, Christian (2018): Smart Station – Die Haltestelle als Einstieg in die multimodale Mobilität. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter https://fops.de/wp-content/uploads/2020/07/700918_smartStation_Studie.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Klausmann, Florian (2023): Schnellladen in der Stadt 2. Simulationsbasierte Analyse der Bedarfe und energetischen Anforderungen von urbanen DC-Ladeparks. Begleitforschung Projekt USP-BW. Hg. v. Fraunhofer IAO. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://public-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/c7586b1e-bfb2-4fc7-9ea9-c94cb72d2b4d/content>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Klitzsch, Cathrin (2022): Elektromobilität im Handel 2022. Hg. v. EHI Retail Institute GmbH. Köln. Online verfügbar unter <https://www.ehi.org/produkt/whitepaper-elektromobilitaet-im-handel-2022/?action=downloadrequest&id=dff6075ecd2a834400398a1473ad9a0b#payment-form>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Kötter, Andreas (2022): Auto-Professor Dudenhöffer. „Es gibt keine Alternative zum Elektro-Pkw“. In: *RedaktionsNetzwerk Deutschland*, 04.10.2022. Online verfügbar unter <https://www.rnd.de/e-mobility/auto-professor-dudenhoeffer-es-gibt-keine-alternative-zum-elektro-pkw-WB6FQYMSSNFCBJ4XFCXC34B5U.html>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Magdolen, Miriam; Chlond, Bastian; Schulz, Angelika; Nobis, Claudia; Jödden, Christian; Sauer, Andreas et al. (2022): Handlungsoptionen für eine ökologische Gestaltung der Langstreckenmobilität im Personenverkehr. Hg. v. Umweltbundesamt (Texte, 51/2022). Online verfügbar unter https://elib.dlr.de/146898/1/texte_51-2022_handlungsoptionen_fuer_eine_oekologische_gestaltung_der_langstreckenmobilitaet_im_persenverkehr.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Magdowski, Annika; Bonin, Michael von; Frischmuth, Felix; Gauglitz, Philip (2021): Prognostizierter Hochlauf der Ladeinfrastruktur in Hamburg und Modellierung des Ladestrombedarfs von Elektroautos für Niederspannungsnetze. In: *Hamburger Beiträge zum technischen Klimaschutz* (3), S.

93–101. Online verfügbar unter <https://opensu.ub.hsu-hh.de/handle/10.24405/13959>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Minnich, Lukas (2020): Akzeptanz und Perspektiven von Elektromobilität in Südhessen. Ergebnisse aus der Begleitforschung in Kooperation mit der Entega AG. Öko-Institut e.V. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Begleitforschung-E-Mobilitaet_Suedhessen.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

München (2023): Erster von 200 Mobilitätspunkten eröffnet. Hg. v. Stadt München (Rathaus Umschau, 104/2023). Online verfügbar unter <https://ru.muenchen.de/2023/104/Erster-von-200-Mobilitaetspunkten-eroeffnet-107309>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2024). Öffentliche Ladeinfrastruktur. Report der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur. Online verfügbar unter: https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2024/04/oeLIS_Report_2024_Feb-Mrz.pdf, zuletzt geprüft am 20.06.2024

Nefzger, Emil (2020): Kostenvorteil von E-Autos schmilzt. Tanken ist billiger als laden. In: *DER SPIEGEL*, 25.09.2020. Online verfügbar unter <https://www.spiegel.de/auto/elektroauto-vs-diesel-und-benziner-strompreis-als-kostenfalle-a-6d8f929e-d742-439e-8de5-0f5bda3f5ecc>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Nehrke, Gunnar (2020): Verkehrsentlastung durch CarSharing. Fact-Sheet. Hg. v. Bundesverband CarSharing e.V. Online verfügbar unter https://www.carsharing.de/sites/default/files/uploads/bcs_factsheet20_verkehrsentlastung_0.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

newmotion (Hg.) (2020): EV Driver Survey Report 2020. newmotion - A Member of the Shell Group. Online verfügbar unter <https://a.storyblok.com/f/85281/e5b2f07a4f/ev-driver-survey-report-2020-de-4jr9.pdf>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Nobis, Claudia; Kuhnimhof, Tobias (2019): Mobilität in Deutschland – MiD 2017. Ergebnisbericht. Hg. v. BMVI, infas, DLR, IVT, infas 360. Bonn, Berlin. Bonn. Online verfügbar unter https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

NOW (2021a): eBusTool Batteriebusse. Online verfügbar unter <https://www.ebustool.de/antriebsformen/batteriebusse/>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

NOW (2021b): Leitfaden für Busse mit alternativen Antrieben. Unter Mitarbeit von Thoralf Knotte. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Online verfügbar unter https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/03/Leitfaden-fuer-Busse-mit-alternativen-Antrieben_NOW.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

NOW (2022): Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Strassengüterverkehr. MARKTENTWICKLUNG KLIMAFREUNDLICHER TECHNOLOGIEN IM SCHWEREN STRASSEN-GÜTERVERKEHR Auswertung der Cleanroom-Gespräche 2022 mit Nutzfahrzeugeherstellern. Hg. v. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. NOW GmbH - Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur. Online verfügbar unter <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2023/02/Marktentwicklung-klimafreundlicher-Technologien-im-schweren-Strassengueterverkehr.pdf>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

NPM (2020): Flächendeckende Ladeinfrastruktur. Bericht 2020. Unter Mitarbeit von Nationale Plattform Zukunft der Mobilität und Arbeitsgruppe 5. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Berlin. Online verfügbar unter https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/10/NPM_AG5_FlaechendeckendeLadeinfrastruktur_final.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

NPM (2021): Ladeinfrastruktur für batterieelektrische LKW. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, AG5. Online verfügbar unter https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/04/NPM_AG5_Ladeinfrastruktur_ELkw.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Peters, Marco; Weber, Björn (2023): #Klimahacks · Mach dein Projekt: Mobilitätsstationen Klimahacks_Mobilitätsstationen.pdf. Hg. v. Deutsches Institut für Urbanistik (difu). Online verfügbar unter <https://backend.repository.difu.de/server/api/core/bitstreams/4d17f4f5-e011-431e-9b5d-2b187f7be08f/content>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Pless, Shanti; Allen, Amy; Myers, Lissa; Goldwasser, David; Meintz, Andrew; Polly, Ben; Frank, Stephen (2020): Integrating Electric Vehicle Charging Infrastructure into Commercial Buildings and Mixed-Use Communities: Design, Modeling, and Control Optimization Opportunities: Preprint. Hg. v. National Renewable Energy Laboratory. Online verfügbar unter <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/77438.pdf>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Poppe, Anna-maria (2022): Teurer Strom gegen teuren Sprit. Wer fährt billiger, Verbrenner oder E-Auto? In: *EFAHRER.com*, 08.05.2022. Online verfügbar unter https://efahrer.chip.de/news/teurer-strom-gegen-teuren-sprit-wer-faehrt-billiger-verbrenner-oder-e-auto_107491, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Pützschler, Marena; Hacker, Florian (2020): Unternehmen als Wegbereiter für Elektromobilität. Hg. v. Agora Verkehrswende. Online verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2020/compan-e/Agora-Verkehrswende_Unternehmen_als_Wegbereiter.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

PwC (2022): E-Bus-Radar 2022. Das Jahrzehnt des E-Busses hat begonnen! Unter Mitarbeit von Maximilian Rohs und Hansjörg Arnold. im Auftrag des BMWK. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/branchen-und-markte/oeffentlicher-sektor/e-bus-radar-2022.pdf>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Raum, Markus; Belz, Benjamin; Kümmell, Steffen (2019): Ladetechnik. In: Helmut Tschöke, Peter Gutzmer und Thomas Pfund (Hg.): Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Grundlagen - vom Mikro-Hybrid zum vollelektrischen Antrieb. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 395–407.

Shell Recharge Solution (Hg.) (2022): Ergebnisse des EV-Driver-Survey-Reports 2022. Befragung von Fahrern von Elektrofahrzeugen | Shell Recharge Solutions. Online verfügbar unter <https://shellrecharge.com/de-de/solutions/wissenszentrum/berichte-und-fallstudien/bericht-zur-shell-recharge-umfrage-unter-fahrern-von-elektrofahrzeugen>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

SPD (2021). MEHR FORTSCHRITT WAGEN. Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). Online verfügbar unter:

https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf,
zuletzt geprüft am 20.06.2024

Stein, Thomas; Bauer, Uta (Hg.) (2019): Mobilitätsstationen in der kommunalen Praxis. Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem BMU-Forschungsprojekt City2Share und weiteren kommunalen Praxisbeispielen. Difu-Sonderveröffentlichung. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH. Online verfügbar unter <https://backend.repository.difu.de/server/api/core/bitstreams/595ffdb7-c74c-46d0-bbd0-5d2953b40c23/content>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

The Mobility House (2023): Ladedauer und Reichweite von Elektroautos | . Ratgeber. Online verfügbar unter https://www.mobilityhouse.com/de_de/knowledge-center/artikel/ladezeitenuebersicht-fuer-elektroautos, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Unger-Azadi, Evelin; Overs, Christoph; Jaquet, Dennis; Othengrafen, Meike; Denzer, Alexander; Pachan, Kai (2022): Handbuch Mobilstationen Nordrhein-Westfalen. ZNM-Handbuch-Mobilstationen-3.-Auflage. Geschäftsstelle Zukunftsnetz Mobilität NRW. Köln. Online verfügbar unter <https://www.zukunftsnetz-mobilitaet.nrw.de/media/2022/4/19/bf4aadbf3be968af79e921de6b85bb2/ZNM-Handbuch-Mobilstationen-3.-Auflage.pdf>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

UScale.GmbH (2022): Public Charging-Studie 2022. Daten statt Meinungen: (Halb-)öffentliche Ladeangebote aus Nutzersicht. Online verfügbar unter: <https://uscale.digital/wp-content/uploads/2022/10/Public-Charging-Studie-2022-Ausschnitt.pdf>, zuletzt geprüft am 20.06.2024

Vitale, Sandro (2022): Höhere Ladestrompreise für Elektroautos. Wo Schnellladen wie viel kostet und warum. In: *Auto Motor und Sport*, 13.04.2022. Online verfügbar unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/ladestrom-preise-steigen-elektroauto-fahren-teurer/>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Wendorff, Jannik (2019): Ladeinfrastruktur für Elektromobilität – Ein Erfolgsfaktor im stationären Einzelhandel? In: Cordula Neiberger und Peter Pez (Hg.): Einzelhandel und Stadtverkehr - Neue Entwicklungstendenzen durch Digitalisierung und Stadtgestaltung. Tagung "Einzelhandel und Stadtverkehr, neue Entwicklungstendenzen durch Digitalisierung und Stadtgestaltung", Lüneburg, Germany, 2018-06-07 - 2018-06-09. Würzburg: Würzburg University Press (Geographische Handelsforschung, 28), S. 71–83. Online verfügbar unter <http://publications.rwth-aachen.de/record/787733/files/wendorff.pdf>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Wermuth, Manfred (2012): Mobilitätsstudie "Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland. KiD 2010. Ergebnisse im Überblick. Hg. v. WVI Prof. Dr. Manfred Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH. im Auftrag des BMVBS. Braunschweig. Online verfügbar unter https://www.dlr.de/cs/Portaldata/10/Resources/dokumente/daten_berichte/kid2010/KiD2010_-_Ueberblicksbericht.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Windt, Alexander; Arnhold, Oliver (2020): Ladeinfrastruktur nach 2025/2030. Szenarien für den Markthochlauf. Hg. v. NOW GmbH - Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur. Berlin. Online verfügbar unter https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/11/Studie_Ladeinfrastruktur-nach-2025-2.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

ZNM (2022): Handbuch Mobilstationen Nordrhein-Westfalen. 3. Aufl. Unter Mitarbeit von Lisa Gottheil, Judith Peters, Katja Naefe, Jan Pfeiffer, Reineke, Steffen und Timo Resch. Online verfügbar unter <https://www.zukunftsnetz-mobilitaet.nrw.de/media/2022/4/19/bf4aadb4f3be968af79e921de6b85bb2/ZNM-Handbuch-Mobilstationen-3.-Auflage.pdf>, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

ZVEI e.V.; GdW; ZVEH; VDA (Hg.) (2022): Ladeinfrastruktur und Umfeldmaßnahmen für Wohnungswirtschaft und Verwaltung. Leitfaden. Online verfügbar unter https://www.gdw.de/media/2022/03/leitfaden_ladeinfrastruktur_umfeldmassnahmen_final-1.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2024.

Impressum

Herausgeber:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Verkehrssystemtechnik
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Autorinnen und Autoren in alphabetischer Reihenfolge:

Elke Bouillon
Gerrit Bremer
Jens Gumz
Karsten Hager
Torsten Koch
Dr. Alexandra König
Matthias Kresel
Sandra Parno
Prof. Dr. Wolfgang Rid
Benedikt Scheier
Christoph Webel

Zitierempfehlung:

Bouillon et al. (2024). Forschungsprojekt DC-LEO:
Handlungsleitfaden. DOI:10.5281/zenodo.13220442

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dieses Projekt wurde
im Rahmen der
Förderlinie „IKT für
Elektromobilität“ vom
Bundesministerium für
Wirtschaft und
Klimaschutz gefördert