



ANALYSE

Bidirektionales Laden

Wie es sich finanziell auszahlen kann, die Antriebsbatterien von Elektrofahrzeugen als Speicher für das Stromnetz einzusetzen

Impressum

Bidirektionales Laden

Wie es sich finanziell auszahlen kann, die Antriebsbatterien von Elektrofahrzeugen als Speicher für das Stromnetz einzusetzen

ANALYSE

ERSTELLT IM AUFTRAG VON

Agora Verkehrswende

Agora Transport Transformation gGmbH
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 | 10178 Berlin
www.agora-verkehrswende.de
info@agora-verkehrswende.de

PROJEKTLEITUNG

Fanny Tausendteufel
fanny.tausendteufel@agora-verkehrswende.de

DURCHFÜHRUNG

Reiner-Lemoine-Institut (RLI)

Rudower Chaussee 12 | 12489 Berlin
<https://reiner-lemoine-institut.de/>
info@rl-institut.de

Autoren:

Gombodshaw-Johann Boß (RLI)
Julian Brendel (RLI)
Jakob Gemassmer (RLI)

Korrektorat: Planet neun

Satz/Grafik: Urs Karcher

Titelbild: iStock/Ranko Veuger

DANKSAGUNG

Im Rahmen des Projekts führte das RLI Expert:innen-interviews mit Vertreter:innen von 50Hertz, Westnetz und Rabot Energy durch. Wir danken den Interviewpartner:innen herzlich für ihre fachliche Expertise. Die aus den Gesprächen gewonnenen Positionen und Erkenntnisse sind in verschiedene Teile dieses Berichts eingeflossen. Die Schlussfolgerungen und Ergebnisse dieser Veröffentlichung spiegeln jedoch nicht notwendigerweise die Meinungen der teilnehmenden Personen wider. Die Verantwortung für den Inhalt liegt ausschließlich bei Agora Verkehrswende.

Bitte zitieren als:

Agora Verkehrswende (2025): *Bidirektionales Laden. Wie es sich finanziell auszahlen kann, die Antriebsbatterien von Elektrofahrzeugen als Speicher für das Stromnetz einzusetzen*

Veröffentlichung: November 2025

137-2025-DE

www.agora-verkehrswende.de

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

mit der Elektromobilität wachsen die Verkehrswelt und das Stromsystem zusammen. Elektrofahrzeuge sind, anders als Verbrennerfahrzeuge, mehr als nur Verkehrsmittel. Ihre Batterie kann auch als elektrische Anlage dienen, die Strom flexibel aufnimmt, speichert und abgibt. Diese Flexibilität ist im Stromsystem für verschiedene Zwecke nützlich – etwa um Strom aus einer heimischen Photovoltaikanlage oder aus dem öffentlichen Netz zwischenspeichern, wenn er gerade nicht gebraucht wird; oder umgekehrt, um Strom wieder in einen Haushalt oder in das Netz einzuspeisen, wenn er gebraucht wird.

In einer früheren Publikation sind wir bereits auf das gesteuerte Laden eingegangen, also auf Anwendungsfälle, bei denen der Ladevorgang variiert, je nachdem wie viel Strom im Netz verfügbar ist oder wie sehr die Übertragungskapazitäten ausgelastet sind. In der vorliegenden Publikation geht es um das bidirektionale Laden, also um Anwendungsfälle, bei denen der Strom nicht nur gezielt in die Batterie aufgenommen, sondern auch gezielt abgegeben wird.

Die Analyse richtet sich erneut vor allem an ein Publikum aus der Verkehrswelt, das bisher nur wenig mit Fragen der Stromversorgung zu hatte. Dafür trägt sie Erkenntnisse aus vorliegenden Studien und aus Interviews mit Expertinnen und Expertinnen aus der Energiebranche zusammen. Ziel ist es zum einen, die Begriffe, Anwendungsfälle und Zusammenhänge zu erläutern; zum anderen liegt der Schwerpunkt auf der Frage, inwiefern bidirektionales Laden finanziell attraktiv sein kann.

Bidirektionales Laden wird sich am ehesten durchsetzen, wenn Nutzer:innen von Elektrofahrzeugen damit Geld verdienen können. Unsere Analyse zeigt anhand des aktuellen Forschungsstands, dass dies in einigen Nutzungsfällen realisierbar ist. Allmählich kommen auch immer mehr Fahrzeuge und Wallboxen auf den Markt, die für bidirektionales Laden geeignet sind.

Gleichzeitig wird deutlich, dass die Voraussetzungen für bidirektionales Laden an einigen Stellen noch geschaffen oder verbessert werden müssen. Mit dieser Analyse möchten wir den Dialog über diese Fragen erleichtern.

Wir freuen uns auf die weitere Diskussion und wünschen Ihnen eine anregende Lektüre.

Christian Hochfeld

Direktor
für das Team von Agora Verkehrswende
Berlin, im November 2025

Ergebnisse und Empfehlungen

1

Die Batterien von Elektrofahrzeugen können als flexible Speicher die Kosten der Energiewende senken. Mit dem Ausbau erneuerbarer Energien gewinnt Flexibilität im Stromsystem zunehmend an Bedeutung. Bidirektionales Laden kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die schwankende Einspeisung aus Wind- und Solarenergie auszugleichen und die Netzstabilität zu sichern. Die Einbindung von Elektrofahrzeugen als flexible Speicher trägt zu einer kosteneffizienten Energiewende bei.

2

Bidirektionales Laden kann die Gesamtkosten für Elektrofahrzeuge senken. Beim bidirektionalen Laden kann Strom auch vom Auto zurück ins Haus oder ins Stromnetz fließen. Ist zum Beispiel der Strompreis hoch, kann der günstiger eingekaufte Strom im Haus genutzt oder auf dem Strommarkt verkauft werden. Das reduziert die Stromkosten für die jährliche Fahrleistung von Elektrofahrzeugen.

3

Die Rückeinspeisung in das Stromnetz (Vehicle-to-Grid) bietet ein hohes Gewinnpotenzial. Durch den Handel am Strommarkt lassen sich Arbitragegewinne von bis zu 500 Euro pro Jahr realisieren. Alternativ bietet die Bereitstellung von Regelenenergie ein ähnliches Gewinnpotenzial. Die Gewinne sind allerdings insbesondere von Preisschwankungen am Strommarkt abhängig.

4

In Kombination mit der Eigenversorgung (Vehicle-to-Home/Building) sind zusätzliche Einsparungen möglich. Wird das Elektrofahrzeug bei Nutzung einer PV-Anlage zudem zur Eigenversorgung eines privaten Haushalts oder gewerblichen Gebäudes genutzt, erhöht das die Gewinne. Vehicle-to-Home-Anwendungen allein bringen im Vergleich zu gesteuertem Laden hingegen kaum Kostenvorteile, da die Mehrkosten für bidirektionale Ladeinfrastruktur die Gewinne häufig übersteigen.

5

Um das Potenzial des bidirektionalen Ladens voll auszuschöpfen, braucht es eine Reform der politischen Rahmenbedingungen. Wenn sich die Rückeinspeisung in das Stromnetz finanziell lohnt, wird bidirektionaler Laden eine breite Anwendung finden. Flexible Netzanschlussvereinbarungen (*Flexible Connection Agreements, FCA*) können dabei zielführend sein. Mit ihnen können Netzbetreiber sicherstellen, dass das Be- und Entladen netzverträglich erfolgt. Im Gegenzug können sie Netzentgelte für zwischengespeicherten Strom reduzieren, was die individuellen Stromkosten senken würde. Technische Voraussetzung dafür ist der zügige Ausbau intelligenter Messsysteme, damit unter anderem ausreichend Informationen zur Netzauslastung vorliegen.

Inhalt

Vorwort	3
Ergebnisse und Empfehlungen	4
1 Hintergrund und Zielsetzung	7
2 Nutzungsformen des bidirektionalen Ladens	8
3 Herausforderungen auf dem Weg zur Marktreife	10
3.1 Verfügbarkeit von Technik und Infrastruktur	10
3.2 Akzeptanz	10
3.3 Aktueller regulatorischer Rahmen	11
3.4 Stand der Marktintegration aus Sicht der Nutzer:innen	11
4 Wirtschaftlichkeit von bidirektionalem Laden	13
4.1 Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von bidirektionalem Laden	13
4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ausgewählter Nutzer:innenprofile	14
4.2.1 Privater Pkw ohne PV	14
4.2.2 Privater Pkw mit PV	16
4.2.3 Gewerblicher Lkw mit PV	17
4.3 Bewertung der Nutzungsformen für verschiedene Nutzer:innenprofile	19
5 Handlungsoptionen für den Markthochlauf	20
Literaturverzeichnis	23
Abkürzungsverzeichnis	26
Abbildungsverzeichnis	27
Tabellenverzeichnis	28

1 | Hintergrund und Zielsetzung

Zwar nimmt der Bestand an Elektrofahrzeugen in Deutschland zu, jedoch ist der Absatz von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) nicht ausreichend, um die Klimaziele im Verkehrssektor zu erreichen (Wisbert & Voit, 2025). Aktuelle Studien zeigen, dass der mangelnde Absatz insbesondere auf den hohen Kaufpreis von BEV und damit auf die Wirtschaftlichkeit zurückzuführen sind (DAT, 2025). Ein besonderes Potenzial liegt hier im bidirektionalen Laden. Bidirektionales Laden ermöglicht es, Strom nicht nur aufzunehmen, sondern ihn auch wieder abzugeben, zum Beispiel an das Hausstromnetz oder direkt ins Stromnetz. Dadurch wird das Fahrzeug zum mobilen Stromspeicher.

Bidirektionales Laden bietet dem Stromsystem wertvolle Flexibilität. Das Stromsystem ist aufgrund der Umstellung des Energiesystems auf Flexibilität angewiesen, um die Schwankungen bei der Erzeugung aus erneuerbaren Quellen auszugleichen und das Stromnetz stabil zu halten (FfE, 2025b). Das deutsche Stromsystem wird zunehmend von erneuerbaren Energiequellen wie Windkraft und Photovoltaik (PV) gespeist, um das Ziel der Treibhausgasneutralität im Jahr 2045 zu erreichen (UBA, 2025). Im ersten Halbjahr 2025 wurde etwa 61 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Quellen gewonnen. Der Anteil von Braunkohle und Steinkohle lag bei rund 23 Prozent, während etwa 14 Prozent des Stroms aus Gas gewonnen wurden (Fraunhofer ISE, 2025). Im Rahmen des Kohleausstiegs werden bis spätestens 2038 rund 31 Gigawatt an Kohlekraftwerkskapazitäten abgeschaltet.

Das prognostizierte Wachstum von Elektrofahrzeugen bedeutet auch einen erhöhten Strombedarf (NOW GmbH, 2024b). Gleichzeitiges Laden kann zudem Lastspitzen verursachen, was zu einer Belastung des Stromnetzes führt (BMW Group et al., 2024). Allerdings können Elektrofahrzeuge durch die Anpassung ihres Ladeverhaltens diese Nachteile nicht nur größtenteils auflösen, sondern sogar das Stromsystem entlasten. Die Flexibilität von Elektrofahrzeugen – sowohl durch das gesteuerte Laden als auch Entladen – kann die Kosten des Stromsystems deutlich senken. Durch bidirektionales Laden könnten die Kosten des Energiesystems in Europa um rund 8,6 Prozent sinken. Bis 2040 wären Elektrofahrzeuge in der Lage, etwa 4 bis 9 Prozent des jährlichen Strombedarfs zu decken und in Spitzenzeiten 15 bis 20 Prozent des momentanen Bedarfs bereitzustellen (EY & Eurelectric, 2025; Fraunhofer ISE & Fraunhofer ISI, 2024). Damit

ließe sich der Bedarf an stationären Stromspeichern um bis zu 92 Prozent verringern (Fraunhofer ISE & Fraunhofer ISI, 2024). Auch für Deutschland ergibt sich daraus ein erhebliches Potenzial zur Erreichung der Klimaziele (BMW Group et al., 2024).

Von diesen Kostenersparnissen im Stromsektor können auch E-Auto-Nutzer:innen profitieren, wenn das bidirektionale Laden entsprechend vergütet wird. Allerdings steckt bidirektionales Laden insbesondere im Nutzfahrzeugsegment noch in den Kinderschuhen. In der frühen Marktphase ist mit zusätzlichen Investitionskosten für Nutzer:innen von bidirektionalen Systemen zu rechnen (e-mobil BW et al., 2023). Diesen Mehrkosten stehen gegebenenfalls reduzierte Strombezugskosten sowie Einnahmen durch die Teilnahme am Strommarkt gegenüber (NOW GmbH, 2024a). Damit Nutzer:innen bidirektionales Laden von BEV akzeptieren und nutzen wollen, ist ein finanzieller Mehrwert für sie nötig (Fraunhofer ISE & Fraunhofer ISI, 2024).

Basierend auf vorhandenen Studien sowie Expert:inneninterviews mit Netzbetreibern und Energiedienstleistern analysieren wir, welche energiewirtschaftlichen Nutzungsformen für Elektrofahrzeuge relevant sind, wie sich bidirektionales Laden auf die Wirtschaftlichkeit für die Nutzer:innen auswirkt und welche Voraussetzungen für einen erfolgreichen Markthochlauf in Deutschland erforderlich sind.

2 | Nutzungsformen des bidirektionalen Ladens

Bidirektionales Laden bedeutet, dass ein Elektrofahrzeug nicht nur Strom aufnehmen, sondern auch wieder abgeben kann. Die verschiedenen Nutzungsformen werden unter dem Begriff **Vehicle-to-Everything (V2X)** zusammengefasst (BMW Group et al., 2024).

In Abgrenzung dazu steht das **unidirektionale Laden (V1G)**, also Ladestrategien, die ohne die Rückspeisung von Strom aus der Fahrzeugbatterie arbeiten. Wer beispielsweise Stromtarife mit dynamischen Preisen hat, kann bereits heute das Laden an Zeiten günstiger Strompreise anpassen und dadurch Kosten sparen. Bei diesen Tarifen richtet sich der Strompreis alle 15 Minuten nach dem aktuellen Preis an der Strombörse. Seit 2025 sind alle Stromanbieter dazu verpflichtet einen solchen Tarif anzubieten (§ 41a EnWG).

Fließt Strom vom Elektrofahrzeug in das eigene Hausstromnetz, spricht man von **Vehicle-to-Home (V2H)** und im gewerblichen Bereich von **Vehicle-to-Building (V2B)**. So kann die Fahrzeugbatterie zum Beispiel mit überschüssigem Solarstrom von der eigenen PV-Anlage oder

mit günstigem Strom aus dem Stromnetz geladen werden und später wieder Strom ins Haus zurückspeisen. Durch die Kopplung mit einer PV-Anlage kann so mehr eigener Solarstrom genutzt und es muss weniger Strom aus dem Netz bezogen werden (Eigenverbrauchsoptimierung). Außerdem kann das Fahrzeug im Fall eines Stromausfalls auch als Notstromversorgung für das Haus dienen (NOW GmbH, 2024a).

Darüber hinaus können Elektrofahrzeuge in Zukunft auch direkt am Strommarkt teilnehmen, indem sie Strom in das Stromnetz zurückspeisen. Diese Nutzungsformen werden unter dem Begriff **Vehicle-to-Grid (V2G)** zusammengefasst:

Relevante Nutzungsformen des bidirektionalen Ladens			Tabelle 1
Nutzungsform	Funktionsweise	Nutzen	Verfügbarkeit und Voraussetzungen
V2H/B	Strom fließt zwischen Fahrzeug und Gebäude: laden mit Solarstrom oder günstigem Netzstrom, Rückspeisung ins Hausnetz	• spart Stromkosten • höhere Nutzung von selbst erzeugtem Solarstrom • Notstromversorgung möglich	• bereits technisch möglich
Arbitrage (V2G)	Ausnutzung schwankender Börsenstrompreise: laden bei niedrigen Preisen, entladen bei hohen Preisen	• Zusatzerlöse für Nutzer:innen • effizientere Nutzung von Preis-schwankungen	• kurzfristig umsetzbar • i.d.R. Aggregator notwendig
Regelenergie (V2G)	Fahrzeugbatterien stellen Strom am Regelenergiemarkt bereit oder nehmen ihn auf, um die Frequenz im Netz zu stabilisieren.	• Einnahmen durch Teilnahme am Regelenergiemarkt • Beitrag zur Stabilität von Frequenz und Spannung im Stromnetz	• ab ca. 2027 erwartet • i.d.R. Aggregator notwendig • Präqualifikation beim Übertragungsnetzbetreiber notwendig
Redispatch (V2G)	Gezielte Lastverschiebung oder Einspeisung, um Netzüberlastungen zu vermeiden	• hilft, Überlastungen im Stromnetz zu vermeiden • bessere Integration erneuerbarer Energien	• mittelfristig relevant • i.d.R. Aggregator notwendig • derzeit fehlen Marktmechanismen für BEV
Agora Verkehrswende (2025) Quelle: (BMW Group et al., 2024; FfE, 2023; NOW GmbH, 2024a), eigene Darstellung (2025)			

Nachfolgend sind die Nutzungsformen detaillierter beschrieben:

- **Arbitrage:** Strom wird in Deutschland unter anderem an der Strombörse EPEX gehandelt. Die Preise können je nach Uhrzeit und Netzlast stark schwanken – jede Viertelstunde hat einen eigenen Strompreis. Um die unterschiedlichen Preise auszunutzen, kann ein Fahrzeug laden, wenn die Preise an der Strombörse niedrig sind, und Strom ins Stromnetz entladen, wenn die Preise hoch sind. Dadurch können Kosten reduziert oder zusätzliche Einnahmen erzielt werden. Durch den einheitlichen Energiemarkt besteht die Gefahr der Überlastung der Verteilnetze, sollten alle dezentralen Anlagen (zum Beispiel mobile und stationäre Speicher) über ein allgemeines Marktsignal gleichzeitig agieren (ETA-Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft, 2024).
- **Regelenergie:** Die Regelenergie gleicht kurzfristige Unterschiede zwischen Stromerzeugung und Last im Netz aus und sorgt dafür, dass die Netzfrequenz in einem engen Toleranzbereich um 50 Hertz bleibt. Die Verantwortung liegt dabei bei den vier deutschen Übertragungsnetzbetreibern. Über Aggregatoren (siehe unten) können Nutzer:innen ihre Batterien am Regelenergiemarkt anbieten. Es gibt drei Arten von Regelenergie: Primärregelung, Sekundärregelung und Tertiär- beziehungsweise Minutenreserve. Sie unterscheiden sich durch Reaktionszeiten von 30 Sekunden, fünf Minuten beziehungsweise 12,5 Minuten und werden in separaten Auktionen vermarktet. Aufgrund ihrer kurzen Reaktionszeiten sind Batterien besonders für die Vermarktung von Primär- und Sekundärregelenergie geeignet (Daimler Truck AG & TenneT TSO GmbH, 2022).
- **Redispatch:** Redispatch ist ein Eingriff des Stromnetzbetreibers in den Betrieb von Kraftwerken zur Vermeidung und Beseitigung von Netzengpässen aufgrund mangelnder Übertragungskapazitäten im Netz. Technisch könnte diese Dienstleistung auch durch bidirektionale Elektrofahrzeuge erbracht werden.

Da die Batterie eines einzelnen Elektrofahrzeugs für den Markt meist zu klein ist beziehungsweise zu wenig Leistung aufbringen kann, werden viele Fahrzeuge über **Aggregatoren** gebündelt. Sie fassen die Flexibilität mehrerer Fahrzeuge in einem virtuellen Kraftwerk zusammen, handeln diese an der Börse oder stellen sie für Netzbetreiber bereit. Die Erlöse werden anteilig an die Nutzer:innen ausgezahlt (e-mobil BW et al., 2023).

Die Anwendung **Vehicle-to-Vehicle (V2V)**, also die Energieübertragung zwischen zwei Fahrzeugen, kann in speziellen Situationen praktisch sein (zum Beispiel im Depot von Nutzfahrzeugen). V2V ermöglicht die interne Nutzung günstig geladener Energie zwischen mehreren Fahrzeugen, flexibilisiert Ladezeiten, senkt so gegebenenfalls Betriebskosten und reduziert Lastspitzen im Depot (Biedenbach & Strunz, 2024).

Im Pkw-Bereich haben **Vehicle-to-Load (V2L)**, also die Versorgung externer Verbraucher über eine Steckdose, oder V2V bei den hier betrachteten Nutzer:innenprofilen jedoch keinen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit (NOW GmbH, 2024a) und werden daher in der weiteren Analyse nicht betrachtet.

Um die Potenziale vollständig zu erschließen, bestehen in Deutschland noch einige Herausforderungen, die im Folgenden zusammengefasst werden.

3 | Herausforderungen auf dem Weg zur Marktreife

In Deutschland sind V2H/B-Anwendungen heute bereits technisch möglich und können ohne regulatorische Änderungen umgesetzt werden. Rückenwind bietet die Einführung dynamischer Stromtarife zum Januar 2025 sowie die Einführung zeitvariabler Netzentgelte zum April 2025 (Hackmann et al., 2025). Bei V2G-Anwendungen bestehen hingegen noch größere regulatorische und wirtschaftliche Hürden (NOW GmbH, 2024a).

3.1 Verfügbarkeit von Technik und Infrastruktur

Für die Umsetzung von bidirektionalem Laden sind mehrere Bausteine aufseiten der Nutzenden notwendig:

- Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur, die bidirektional laden können,
- intelligente Messsysteme (iMSys), die Informationen zu Strompreisen und Netzentgelten weitergeben können, und
- Energie-Management-Systeme (EMS), die Signale an Ladeinfrastruktur weitergeben können.

Derzeit und auch künftig kommen immer mehr bidirektional-fähige Fahrzeuge (Pkw und Nutzfahrzeuge) sowie Wallboxen auf den Markt. Anfangs meist in herstellereigenen Systemen, doch mit einheitlichen Standards könnten sich diese Lösungen schnell in der Breite durchsetzen (NOW GmbH, 2024a).

Anfang 2024 gab es bereits zwölf Pkw-Modelle sowie zehn verschiedene Wallboxtypen auf dem Markt (FfE, 2024c). Aktuelle Marktübersichten gehen mittlerweile von 22 Pkw-Modellen (Diermann, 2025) und 29 Wallboxen aus (Bidirektionale Wallboxen, 2025). Im Nutzfahrzeug-Bereich verfügen erste Hersteller über bidirektionale Modelle, allerdings nur für den Einsatz in Pilotprojekten – diese sind aber aktuell noch nicht am Markt verfügbar (TÜV Rheinland Consulting GmbH, 2024).

Smart Meter müssen in Deutschland den Anforderungen des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) genügen, um als intelligentes Messsystem (iMSys) zugelassen zu werden (Entwurf eines GNDew,

2023). Diese bestehen aus einem digitalen Stromzähler – auch moderne Messeinrichtung genannt (mME) – und einem Kommunikationsmodul, das *Smart-Meter-Gateway* (SMGW). Die mME erfasst den Energieverbrauch hochaufgelöst und das SMGW übermittelt Daten wie Verbrauchs- und Einspeisedaten verschlüsselt an Netz- und Messstellenbetreiber sowie an den Energieversorger.

Der Rollout in Deutschland verläuft bisher schleppend. Ende März 2025 lag der Anteil installierter *Smart Meter* erst bei 2,8 Prozent (BNetzA, 2025b), während bis Ende 2030 95 Prozent aller verpflichtenden Einbaufälle bis zu einem Verbrauch von 100.000 Kilowattstunden pro Jahr mit *Smart Metern* ausgestattet sein sollen (GNDew, 2023). Für V2H ist ein iMSys nicht zwingend erforderlich, da das Energiemanagement auch lokal erfolgen kann. Für V2G-Anwendungen wie Arbitrage oder Regelernergie ist es jedoch eine Voraussetzung. Nach dem Messstellenbetriebsgesetz ist die viertelstundengenaue Abrechnung Voraussetzung für die Teilnahme am deutschen Energiemarkt (§§ 19, 29–31 MsbG; §§ 9, 10 EEG).

Das EMS ist eine bei Nutzer:innen installierte Software und optimiert die Energieflüsse (Lastmanagement) zwischen Fahrzeug, Gebäude und Stromnetz. Mehrere Anbieter verkaufen bereits ihre Lösungen am Markt, es gibt jedoch noch Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Interoperabilität (FfE, 2025c).

3.2 Akzeptanz

Die Akzeptanz der Nutzer:innen ist entscheidend für den Rollout bidirektionaler BEV. Viele Nutzer:innen haben Sorge, dass durch gesteuertes oder bidirektionales Laden ihr Fahrzeug nicht ausreichend geladen ist. Hier braucht es entsprechende Aufklärung, dass minimale Ladestände von Nutzer:innen vorgegeben werden können. Zudem bestehen insbesondere Vorbehalte hinsichtlich der Mehrbelastung durch wiederholte Lade- und Entladevorgänge der Batterie (Fraunhofer ISI et al., 2024). Durch die Nutzung eines Lastmanagement zur Steuerung der Lastflüsse kann sich die Batterielebensdauer um bis zu 3,5 bis 10 Prozent im Vergleich zum ungesteuerten Laden verlängern. V2G-Einsätze verursachen ersten Studien zufolge hingegen geringe Alterungseffekte (nach

zehn Jahren etwa 1,7 bis 5,8 Prozent Kapazitätsverlust). In aktuellen Herstellergarantien werden bidirektionale Anwendungsfälle zudem oftmals nicht oder nur in einem sehr beschränkten Umfang gestattet. Dadurch bleiben Unsicherheiten und Vorbehalte bei Nutzer:innen bestehen (e-mobil BW et al., 2023; RWTH & The Mobility House Energy, 2025).

3.3 Aktueller regulatorischer Rahmen

Die aktuelle Gesetzgebung erschwert häufig noch die Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit für bidirektionales Laden. Einzelne Anwendungsfälle wie der *Redispatch* sind mit der heutigen Regulatorik noch unmöglich.

- Der Rechtsrahmen für die Anwendungsfälle V2H/V2B ist für die meisten Anwendungsfälle ausreichend (e-mobil BW et al., 2023).
- Für Anwendungsfälle mit Rückspeisung ins öffentliche Stromnetz (V2G) fallen Netzentgelte, Steuern und Konzessionsabgaben sowohl beim Ein- als auch beim Ausspeisen von Strom durch mobile Speicher (Elektrofahrzeuge) an. V2G-Anwendungen wie der **Arbitrage** Handel werden dadurch unwirtschaftlicher. Stationäre Speicher können dagegen in gewissen Fällen von Netzentgelten und der Stromsteuer beim Rückspeisen von zwischengespeichertem Strom befreit werden (§ 118 EnWG, § 5 StromStG). Ein Grund für diese Ungleichheit ist, dass es keine gültige Definition im Energierecht gibt, welche bidirektionale Ladeeinrichtungen als Speicher definiert (BBH, 2024). Zwar betonen einzelne Paragraphen wie § 14c EnWG oder § 21 EnFG die Bedeutung von Flexibilität, jedoch fehlen klare Anreize und ein Rechtsrahmen für V2G, in dem mobile und stationäre Speicher gleichgestellt sind (e-mobil BW et al., 2023; FfE, 2023).
- Für die Teilnahme am **Regelenergiemarkt** ist eine Präqualifizierung erforderlich, bei der Nachweise zur technischen Eignung und Zuverlässigkeit beim ÜNB erbracht werden müssen (50Hertz Transmission GmbH et al., 2024). Da einzelne Ladeeinrichtungen die geforderte Mindestleistung (siehe Kapitel 2) in der Regel nicht erreichen, erfolgt die Bereitstellung von Regelenergie über die Aggregation mehrerer (mobiler) Speicher (FfE, 2023).
- Es gibt noch keine regulatorische Möglichkeit für dezentrale Anlagen, Leistung für **Redispatch**-Maß-

nahmen bereitzustellen (das aktuelle Regime wird *Redispatch 2.0* genannt) (e-mobil BW et al., 2023).

Die Gesetzgebung um das Thema bidirektionales Laden ist sehr dynamisch. Ein im Juli 2025 vorgestellter Referentenentwurf zur Änderung des Energiesteuer- und Stromsteuergesetzes schlägt erstmals eine klare rechtliche Definition des bidirektionalen Ladens von BEV vor und soll eine doppelte Steuerentstehung vermeiden (BMF, 2025). Im September 2025 folgte der Entwurf zur *Marktintegration Speicher und Ladepunkte* der Bundesnetzagentur. Dieser soll eine gleichzeitige Nutzung von Fahrzeugbatterien zur Eigenverbrauchsoptimierung von PV-Strom (V2H) und zur Beteiligung am Strommarkt (V2G) ermöglichen (BNetzA, 2025d).

3.4 Stand der Marktintegration aus Sicht der Nutzer:innen

Vehicle-to-Home-Anwendungen zur Eigenverbrauchsoptimierung von PV-Strom und der Optimierung der Stromkosten bei dynamischen Stromtarifen können unter Berücksichtigung der Voraussetzungen (siehe Abschnitt 3.1) bereits heute umgesetzt werden. Während V2G-Anwendungen bis vor kurzer Zeit in Europa vornehmlich in Forschungsprojekten untersucht wurden (Fraunhofer ISE & Fraunhofer ISI, 2024), kommen mittlerweile vermehrt Angebote für Nutzer:innen von Elektroautos auf den Markt. In Frankreich wurde 2024 die erste V2G-Lösung für Nutzer:innen eingeführt. In einer Kooperation von Renault, Mobilize und The Mobility House können Besitzer:innen eines Renault 5 ihr Fahrzeug bidirektional laden und überschüssige Energie ins Stromnetz zurückspeisen. Dies wird durch die bidirektionale AC-Ladestation und einen speziellen Energievertrag ermöglicht. Sie erhalten 10 Cent pro Stunde, in der das Fahrzeug angeschlossen ist (The Mobility House Energy, 2024).

Mit Utrecht Energized wurde 2025 in den Niederlanden das erste städtische Großprojekt zum bidirektionalen Laden gestartet. In Kooperation zwischen der Renault Group, MyWheels, We Drive Solar und der Stadt Utrecht sind zunächst 50 Renault 5 in einem Carsharing-System mit bidirektionalen AC-Ladestationen im Einsatz, der Ausbau auf bis zu 500 Fahrzeuge ist geplant. Ziel ist es, überschüssigen Solarstrom aus den Photovoltaikanlagen

der Stadt zwischenzuspeichern und bei Bedarf ins Netz zurückzuführen. Langfristig soll so rund zehn Prozent der regional benötigten Flexibilität abgedeckt werden (Renault Group, 2025).

Auch in Deutschland entstehen aktuell erste proprietäre Angebote für Nutzer:innen. So bietet der Fahrzeughersteller BMW in Kooperation mit dem Energieversorger E.ON an, dass Nutzer:innen ihr Fahrzeug über die hauseigene DC-Wallbox für V2G zur Verfügung stellen können. Im Gegenzug bekommen sie eine feste Vergütung von bis zu 720 Euro pro Jahr je nach Standzeit am Ladepunkt (E.ON & BMW, 2025).

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über das wirtschaftliche Potenzial von bidirektionalem Laden für verschiedene Nutzungsformen und Nutzer:innenprofile.

4 | Wirtschaftlichkeit von bidirektionalem Laden

Wie ein Elektroauto geladen wird, hat Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit. Wie groß diese sind, hängt von verschiedenen, teils zusammenhängenden Faktoren ab, welche in diesem Abschnitt erläutert werden.

Für die Bewertung haben wir drei verschiedene Nutzer:innenprofile betrachtet:

- privates Laden eines Pkw ohne PV-Anlage,
- privates Laden eines Pkw mit PV-Anlage sowie
- gewerbliches Laden eines schweren Nutzfahrzeuges (Lkw).

4.1 Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von bidirektionalem Laden

Je nach Nutzer:innenprofil und Nutzungsform des bidirektionalen Ladens hängt die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Einflussfaktoren ab. Die relevantesten energiewirtschaftlichen Einflussfaktoren sind:

Standzeit und Ladeorte: Je länger das Fahrzeug an die bidirektionale Ladestation angeschlossen ist, desto mehr Flexibilität steht für die Optimierung der jeweiligen Strategie zur Verfügung. Umso mehr Flexibilität zur Verfügung steht, desto höher – unter der Annahme einer entsprechenden Vergütung – ist das Erlöspotenzial des bidirektionalen Ladens. Im Fall von V2H/V2BANwendungen zur PV-Eigenverbrauchserhöhung gilt dies insbesondere für die Zeiten, in denen PV-Überschussstrom gespeichert werden kann; bei Strategien zur Ausnutzung von dynamischen Strompreisen entsprechend für die Zeiten von besonders hohen und niedrigen Marktpreisen.

Batteriekapazität: Je größer die Batteriekapazität des Fahrzeuges, desto mehr Energie kann zwischengespeichert werden und entsprechend mehr Flexibilität steht zur Verfügung. Der Einfluss der Batteriekapazität ist insbesondere bei V2B- und V2G-Anwendungen wesentlich. Da Fahrzeugbatterien heutzutage oft bereits eine Kapazität von 80 Kilowattstunden haben, ist der durchschnittliche Stromverbrauch eines Drei- bis Vierpersonenhaushalts von etwa 8,5 Kilowattstunden pro Tag oft bereits für mehrere Tage abgedeckt. Kapazitätsunterschiede haben daher nur minimale Auswirkungen auf die Flexibilität, die bei V2H-Anwendungen zur Verfügung steht.

PV-Vergütung: Die Differenz zwischen dem Preis von Netzstrom und der Vergütung für eingespeisten PV-Strom ist entscheidend dafür, wie rentabel es ist, eigenerzeugten PV-Strom selbst zu verbrauchen oder in das Stromnetz einzuspeisen. Je geringer die Vergütung von PV-Strom im Vergleich zu den Strombezugskosten ist, desto höher sind die Einsparungen, wenn das bidirektionale Laden für die Eigenverbrauchsoptimierung genutzt wird. Bei der Direktvermarktung von PV-Strom können andersherum auch hohe Gewinne erzielt werden, wenn zwischengespeicherter Strom zu Zeiten sehr hoher Strompreise ins Netz eingespeist wird.

Dynamik des Strommarktes: Kurzfristige Preisunterschiede am Strommarkt entscheiden über die Erlöspotenziale von zeitlicher Arbitrage (V2G) sowie V2H-Anwendungen zur Stromkostenoptimierung. Die Entwicklung der Preisvolatilität hängt unter anderem vom Ausbau volatiler Energiequellen sowie der Flexibilität des Stromverbrauchs und den Speicherkapazitäten ab. Es ist zu erwarten, dass die Volatilität der Preise zunächst auf einem hohen Niveau bleibt und um das Jahr 2030 abnehmen könnte (Navia Simon & Diaz Anadon, 2025). Drei Strommärkte spielen eine besondere Rolle für die Vermarktung von Flexibilität. Mögliche Erlöse sind mit dem kontinuierlichen *Intraday-Handel* am größten, aber auch auf dem *Day-Ahead*- und *Intraday-Markt* sind Erlöse möglich.

Netzentgelte: Zeitvariable Netzentgelte können die Einsparungspotenziale von gesteuertem und bidirektionalem Laden beeinflussen. Mit den Festlegungen der Bundesnetzagentur auf Basis von § 14a EnWG sind Verteilnetzbetreiber verpflichtet reduzierte Netzentgelte anzubieten, welche auch eine zeitvariable Komponente haben können: In Zeiten niedriger Netzauslastung gelten reduzierte Preise, in Zeiten hoher Netzauslastung erhöhte Preise. Durch Verlagerung des Strombezugs in Niedrigpreisenzeiten können entsprechend, sowohl beim unidirektionalen als auch beim bidirektionalen Laden, Einsparungen erzielt werden. Dabei kann es zu Wechselwirkungen mit dynamischen Stromtarifen kommen, wobei sich beide Effekte verstärken oder vermindern können. In Situationen in denen beispielsweise viel erneuerbare Energien im Stromsystem verfügbar und Strompreise niedrig sind, kann es zu Mehrverbrauch und dadurch zu einer hohen Netzauslastung kommen.

tung kommen. Eine geringe Stromnachfrage hat jedoch gleichermaßen niedrige Stromkosten wie eine geringe Netzauslastung zur Folge. In den quantitativen Darstellungen in Kapitel 4.2 sind entsprechend weder zusätzliche Einsparungen noch deren Verminderung berücksichtigt.

Regelenergiemarkt: Der Markt für Regelenergie ist begrenzt und beträgt etwa 600 Megawatt für Primärregelleistung sowie je 2.000 Megawatt für positive und negative Sekundärregelleistung, wobei diese Werte seit Jahren rückläufig sind (BNetzA, 2025c). Bidirektionale Fahrzeuge können für mehr Angebot auf dem Regelenergiemarkt sorgen. Dies hätte sinkende Preise zur Folge, weshalb Erlösabschätzungen für die Zukunft mit Unsicherheiten verbunden sind.

Gewährleistung der Batterie: Die Garantiebedingungen der Fahrzeughersteller beschränken oft die Energiemenge, die der Batterie für V2X-Anwendungen entnommen werden darf. Da die Erlöspotenziale von der zur Verfügung stehenden Energiemenge abhängig sind, haben die Garantiebedingungen einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ausgewählter Nutzer:innenprofile

Im Folgenden wird die Wirtschaftlichkeit von bidirektionalem Laden für drei ausgewählte Profile dargestellt. Dazu wurden die Gesamtkosten (Total Cost of Ownership – TCO) für die relevantesten Nutzungsformen je Kund:innenprofil bestimmt. Im Ergebnis ist der Unterschied zu ungesteuertem Laden dargestellt. Dazu werden die erhöhten Kosten für Ladeinfrastruktur, Messtechnik und Energiemanagement mit Einsparungen bei Stromkosten sowie Erlöspotenzialen durch den Stromhandel in Zusammenhang gebracht. Schwer abschätzbar und daher nicht betrachtet wurden Kosten für Aggregation und Vermarktung der Flexibilität, welche in den V2G-Anwendungen anfallen.

Es wird von einer Einspeisevergütung von 8,2 Cent je eingespeister Kilowattstunde ausgegangen. Unter aktuellen regulatorischen Rahmenbedingungen wird keine Einspeisevergütung für Strom gezahlt, der in einem Speicher zwischengespeichert wird, der sowohl erneuerbaren als auch sogenannten Graustrom aus dem allgemeinen Stromnetz bezieht. Die Bundesnetzagentur hat im aktu-

ellen Prozess zur Marktintegration von Speichern und Ladepunkten (MiSpeL) einen Vorschlag vorgestellt, wie dies in Zukunft jedoch möglich sein soll. Die folgenden Abschätzungen gehen davon aus, dass ein Messkonzept vorliegt, dass sicherstellt, dass kein PV-Strom im Auto zwischengespeichert wird und später mit Einspeisevergütung ins Stromnetz geladen werden.

Die Einsparpotenziale der TCO hängen, wie dargestellt, von verschiedenen Faktoren ab. In den betrachteten Studien wurden jeweils einzelne Einflussfaktoren variiert. Die hier dargestellte Spanne ergibt sich aus den maximalen und minimalen Einsparpotenzialen für die betrachteten Anwendungsfälle.

4.2.1 Privater Pkw ohne PV

Die ersten beiden Kund:innenprofile zeigen den Fall für einen Pkw, welcher zu Hause geladen wird, im ersten Fall ohne, im zweiten Fall mit PV-Anlage. Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Annahmen. Die Analyse dieser Anwendungsfälle basiert, soweit nicht anders angegeben, auf den Simulationsergebnissen der Studie *Bidirektionales Laden – Anwendungsfälle aus Nutzersicht* der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE, 2024a). Für das Kund:innenprofil 1 – Privater Pkw ohne PV-Anlage (siehe Tabelle 2) wurden neben dem Basisszenario „ungesteuertes Laden“ drei weitere Anwendungsfälle betrachtet. Abbildung 1 zeigt die Einflüsse auf die Gesamtkosten.

- **Referenzszenario „gesteuertes Laden“:** Hierbei handelt es sich um eine unidirektionale Ladestrategie, bei welcher die Ladezeiten auf die schwankenden Strompreise angepasst werden, um Energiekosten zu minimieren. Unter Berücksichtigung der oben genannten Einflussfaktoren ist durch diese Strategie eine Einsparung in den jährlichen Gesamtkosten zwischen etwa 50 Euro und 200 Euro zu erwarten. Den größten Einfluss hat dabei die Dynamik am Strommarkt.
- **V2H mit dynamischem Stromtarif:** Wird zusätzlich günstiger Strom im Fahrzeug zwischengespeichert und bei Bedarf in das Gebäude zurückgespeist, erhöht sich das Einsparungspotenzial bei den Stromkosten. Da jedoch auch höhere Kosten für die bidirektionale Ladeinfrastruktur entstehen, reduzieren sich die Gesamtkosteneinsparungen. Es sind somit Verluste von bis zu 50 Euro sowie Einsparungen von bis zu 150 Euro möglich.

Kund:innenprofil 1 und 2 – Privater Pkw (ohne und mit PV-Anlage)

Tabelle 2

Jahresfahrleistung	13.500 km
Batteriekapazität	60 kWh
Verbrauch	0,186 kWh/km
Ladeleistung	11 kW
PV	7 kWp (nur für Nutzer:innenprofil mit PV) Keine Betrachtung von Investitions- und Betriebskosten
Strompreise	Börsenstrompreise von 2021 und 2022 auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt der EPEX Spot
Regelenergiemarkt	Vergütung für Vorhaltung von Primärregelleistung in Deutschland 2019, 2020 (FfE, 2022)
jährliche Mehrkosten für Ladeinfrastruktur und IT-Systeme im Vergleich zu ungesteuertem Laden (Erwartungswerte für 2030)	35 €/a für gesteuertes Laden 200 €/a für bidirektionales Laden

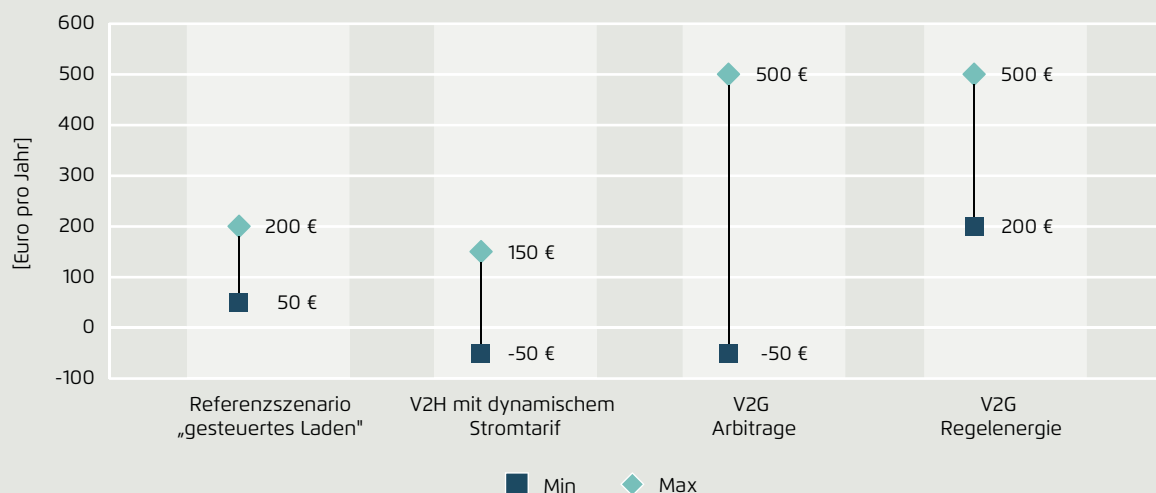
Agora Verkehrswende (2025)

- **V2G Arbitrage:** Durch zeitliche Arbitrage erhöhen sich die TCO-Einsparungen auf bis zu 500 Euro im Jahr, jedoch sind auch weiterhin Verluste in Höhe von bis zu 50 Euro möglich. Maßgeblich sind auch hier die Preisunterschiede am Strommarkt. Das vollständige Ausschöpfen der Potenziale für den Arbitragehandel

kann zur Folge haben, dass große Energiemengen im Auto zwischengespeichert werden. Diese übersteigen voraussichtlich die Garantiebedingungen der Fahrzeugbatterie. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die eingesetzte Batteriekapazität zu reduzieren und dennoch einen Großteil der wirtschaftlichen Potenzi-

Erwartete Gesamtkostenreduktion für 2030 für private Pkw ohne PV-Anlage durch bidirektionales Laden im Vergleich zum Direktladen

Abbildung 1



Agora Verkehrswende (2025) | Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von FfE (2024a), FfE (2022)

ale auszunutzen, indem man sich auf den rentableren Anteil der Arbitragegeschäfte beschränkt.

- **V2G Regelenergie:** Durch die Vorhaltung von Primärregelleistung sind TCO-Einsparungen in Höhe von 200 Euro bis 500 Euro möglich. Den größten Einfluss hat hier die Standzeit am Ladepunkt. Nicht berücksichtigt wurden anfallende Kosten für eine lokale Messung der Netzfrequenz.

Haushalte mit Elektrofahrzeug und dynamischen Stromtarifen können häufig bereits einen Großteil der Einsparungspotenziale durch gesteuertes Laden heben, während V2H durch die entstehenden Mehrkosten nicht in jedem Fall wirtschaftlich ist. Auch der Arbitragehandel durch V2G birgt gewisse Unsicherheiten, jedoch sind hier die größten Einsparungspotenziale vorhanden. Bei jährlichen Gesamtkosten von etwa 6.000 Euro für Elektrofahrzeuge liegen die Einsparungen bei den Gesamtkosten demnach bei bis zu acht Prozent.

4.2.2 Privater Pkw mit PV

Für das Kund:innenprofil 2 – Privater Pkw mit PV-Anlage (siehe Tabelle 2) wurden neben dem Basisszenario „ungesteuertes Laden“ drei weitere Anwendungsfälle

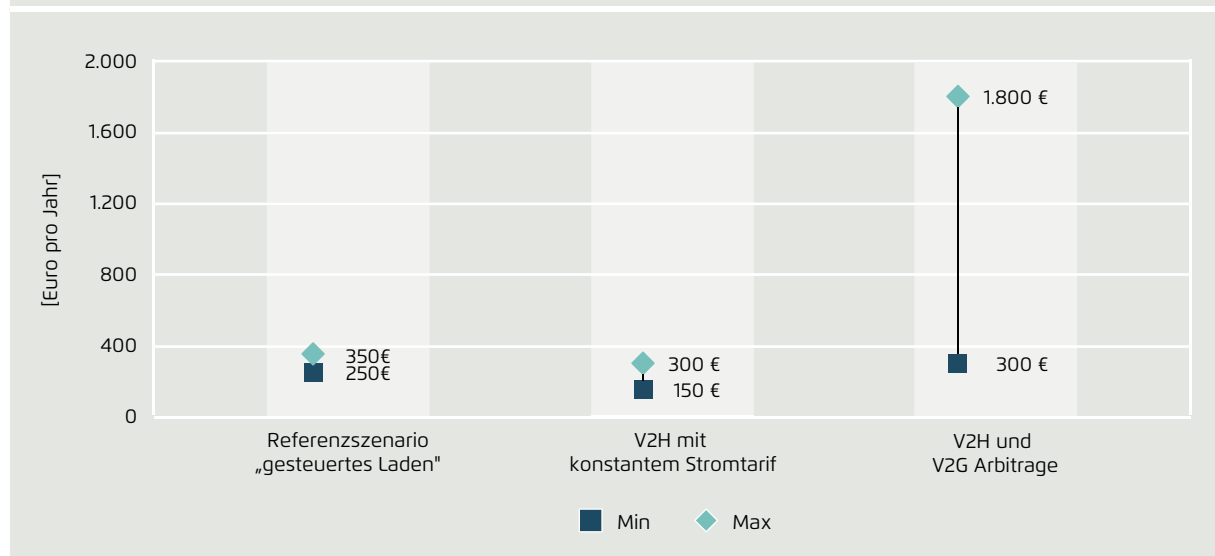
betrachtet. Die Einflüsse auf die Gesamtkosten werden in Abbildung 2 dargestellt.

- **Referenzszenario „gesteuertes Laden“:** Für den Fall mit PV-Anlage wird die erwartete PV-Erzeugung berücksichtigt, um das Ladeverhalten anzupassen und Energiekosten zu minimieren. Die Kosten für Strombezug aus dem Netz sind hier als konstant angenommen.¹ Durch diese Strategie sind Einsparungen in den jährlichen Gesamtkosten zwischen 250 Euro und 350 Euro zu erwarten. Haupteinflussfaktoren sind hier der Unterschied zwischen Strompreis und PV-Vergütung sowie die Standzeiten des Fahrzeugs.
- **V2H mit konstantem Stromtarif:** Wird zusätzlich in der eigenen PV-Anlage erzeugter Strom im Fahrzeug zwischengespeichert und bei Bedarf in das Gebäude zurückgespeist, erhöht sich das Einsparungspotenzial bei den Stromkosten. Auch hier werden konstante

- 1 Kurzfristige Strompreisunterschiede haben einen deutlichen Effekt auf die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Ladestrategien (siehe 4.1). Für das gesteuerte Laden mit PV-Anlage wurde in den hier ausgewerteten Studien ein konstanter Strompreis angenommen. Die Berücksichtigung schwankender Strompreise würde das Erlöspotenzial zusätzlich erhöhen.

Erwartete Gesamtkostenreduktion für 2030 für private Pkw mit PV-Anlage durch bidirektionales Laden im Vergleich zum Direktladen

Abbildung 2



Agora Verkehrswende (2025) | Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von FfE (2024a)

Strombezugskosten angenommen. Da jedoch auch höhere Kosten für die bidirektionale Ladeinfrastruktur entstehen, reduzieren sich die Gesamtkosteneinsparungen auf 150 Euro bis 300 Euro.

- **V2H und V2G Arbitrage:** Diese Strategie verknüpft dynamische Strompreise für den Netzbezug mit einer lokalen PV-Erzeugung. Diese recht komplexe Steuerung optimiert den Strombedarf von Fahrzeug und Gebäude, um diesen durch PV-Strom beziehungsweise günstigen Netzstrom zu decken und betreibt darüber hinaus zeitliche Arbitrage. Die potenziellen TCO-Einsparungen erhöhen sich dadurch auf 300 Euro bis 1.800 Euro. Maßgeblich für die Erlöse aus dem Arbitragehandel ist auch hier die Dynamik am Strommarkt. Durch die angenommene Direktvermarktung von zwischengespeichertem Strom aus PV spielt auch das Preisniveau am Strommarkt eine entscheidende Rolle. Durch die sehr hohen Preise und Preisspitzen im Jahr 2022 ist der Maximalwert sehr hoch. Das mittlere Preisniveau an der Strombörse lag im Jahr 2024 nur noch bei etwa einem Drittel der damaligen Preise (energy-charts, 2025). Wie im oben beschriebenen Fall ohne PV-Erzeugung können auch hier hohe Batteriezyklen erreicht werden. Eine Begrenzung der Zyklenzahl ist jedoch möglich.

Die Steigerung des Eigenverbrauchs von PV-Strom durch gesteuertes Laden führt zu erheblichen Einsparungen. Durch V2H kann der Eigenverbrauch weiter

gesteigert werden, jedoch führen die erhöhten Kosten für Ladeinfrastruktur und Energiemanagement nicht zwingend zu höheren Einsparungen bei den Gesamtkosten. Die Kombination aus dynamischen Strompreisen, Eigenverbrauchsoptimierung und Arbitrage (V2H und V2G) stellt zwar die komplexeste Nutzungsform dar, verspricht aber auch die größten Einsparpotenziale. Bezogen auf die Gesamtkosten sind so Einsparungen von bis zu 30 Prozent möglich.

4.2.3 Gewerblicher Lkw mit PV

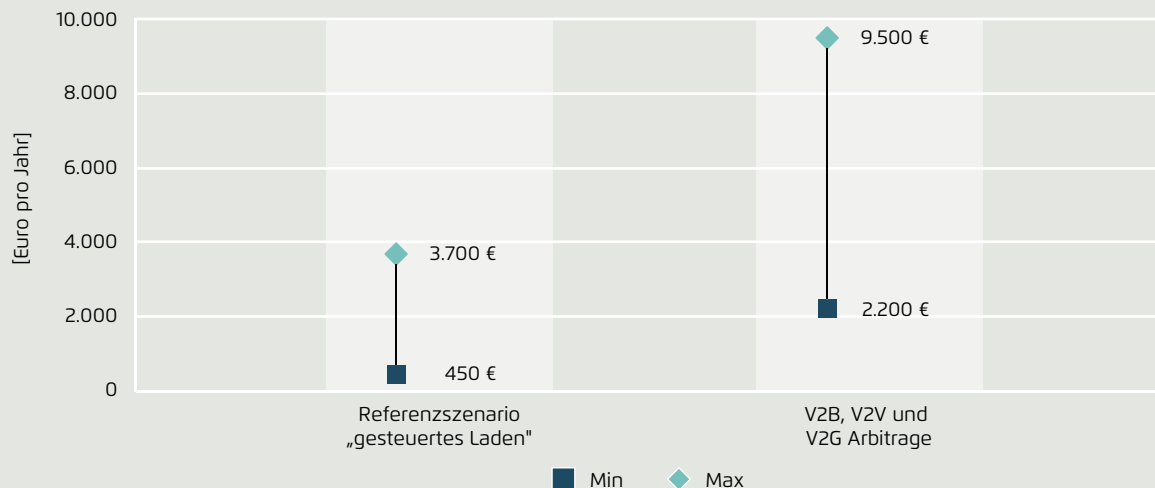
Für das Kunden:innenprofil 3 wurde ein gewerbliches Depot mit im Lokal- und Regionalverkehr eingesetzten Elektro-Lkw (Klasse N3) betrachtet. Tabelle 3 zeigt die wichtigsten Annahmen. Die Analyse dieser Anwendungsfälle basiert, auf den Simulationsergebnissen der Studie *Multi-Use Optimization of a Depot for Battery-Electric Heavy-Duty Trucks* (Biedenbach & Strunz, 2024).

Für das Kund:innenprofil 3, schwerer Elektro-Lkw (siehe Tabelle 3), dient ebenfalls das gesteuerte Laden als Referenzszenario. Die minimalen Ergebnismwerte ergeben sich aus den Strompreisen von 2021. Aufgrund des höheren Preisniveaus 2022 steigen die möglichen Einnahmen, sodass die Maximalerlöse daraus resultieren. Aufgrund der begrenzten Studienlage wurde lediglich ein Anwendungsfall für das bidirektionale Laden betrachtet:

Kund:innenprofil 3 – Schwerer Elektro-Lkw mit PV		Tabelle 3
Jahresfahrleistung	40.000 km	
Batteriekapazität	375 kWh	
Verbrauch	1,18 kWh/km	
Ladeleistung	100 kW	
durchschnittliche Standzeit Depot/Tag	15 h	
PV	1.000 kWp Keine Betrachtung von Investitions- und Betriebskosten	
Strompreise	Börsenstrompreise von 2021 und 2022 auf dem kontinuierlichen Intraday-Markt der EPEX-Spot	
jährliche Mehrkosten für Ladeinfrastruktur und IT-Systeme im Vergleich zu ungesteuertem Laden (Erwartungswerte für 2030)	1.100 €/BET/a für gesteuertes bidirektionales Laden (eigene Annahmen auf Basis von (FfE, 2024b; ICCT, 2021))	
Agora Verkehrswende (2025)		

Erwartete TCO-Reduktion für 2030 für schwere Elektro-Lkw mit PV-Anlage

Abbildung 3



Agora Verkehrswende (2025) | Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von Biedenbach & Strunz (2024)

- **Referenzszenario „gesteuertes Laden“:** Für die Kombination einer PV-Anlage (Eigenverbrauchsoptimierung) und einem dynamischen Stromtarif ergeben sich 2021 nur geringe Einsparpotenziale im Bereich von rund 450 Euro. Bei volatilen Strompreisen, wie im Jahr 2022, können hingegen Erlöse in Höhe von etwa 3.700 Euro erzielt werden.
- **V2B, V2V und V2G Arbitrage:** Die kombinierte und optimierte Nutzung von V2B-, V2V- und V2G-Ladestrategien zeigt das größte Reduktionspotenzial. Die Kombination von Eigenverbrauchsoptimierung und Arbitrage-Handel ermöglicht Erlöse von 2.200 Euro im Jahr 2021 bis zu 9.500 Euro pro Jahr (2022).

Die großen Spannen (siehe Abbildung 3) ergeben sich aus den unter 4.1 beschriebenen Faktoren. Auch hier spielt die gestiegene Dynamik des Strommarktes im Jahr 2022 eine entscheidende Rolle. Bei angenommenen jährlichen TCO von etwa 90.000 bis 136.000 Euro für einen Elektro-Lkw (ICCT, 2021) ergeben sich so Einsparpotenziale in der Größenordnung von bis zu 10,5 Prozent im Jahr. Die höheren absoluten Einsparpotenziale im Vergleich zum Pkw ergeben sich vor allem aus der größeren Batteriekapazität und den höheren Ladeleistungen. Im Bereich der Regelennergiebereitstellung durch Nutzfahrzeuge gibt es nach unseren Recherchen lediglich eine

Studie zur Potenzialabschätzung. Hierbei wird jedoch lediglich das unidirektionale Verschieben der Ladevorgänge betrachtet. Nach der Studie von Daimler Truck AG & TenneT TSO GmbH (2022) könnten sich durch geeignetes Lademanagement bereits Potenziale im Bereich von etwa 4.700 bis 12.000 Euro pro Jahr (Bezugsjahr 2021 bis 2022) und Lkw ergeben. In dieser Studie wurden etwaige zusätzliche Kosten durch präqualifizierte Ladeinfrastruktur, Frequenzmessung, gegebenenfalls größere Netzanschlüsse (zur Erhöhung der Flexibilität), Batteriedegradation, Netzentgelte, Vermarktungsgebühren sowie die erneute Beschaffung der ins Netz abgegebenen Energie nicht betrachtet. Durch bidirektionales Laden könnten die Erlöse weiter erhöht werden. Hierbei müssten jedoch die genannten zusätzlichen Kosten gegenübergestellt werden (Daimler Truck AG & TenneT TSO GmbH, 2022). Im Nutzfahrzeugbereich allgemein sind die Nutzungsformen des bidirektionalen Ladens im Einzelfall zu prüfen: kurzen Standzeiten im Depot steht die gute Planbarkeit der Verfügbarkeit gegenüber.

4.3 Bewertung der Nutzungsformen für verschiedene Nutzer:innenprofile

Wie die aktuellen Studien zeigen, bietet vor allem die Kombination von V2H/B und V2G für Nutzer:innen großes Potenzial, da sie sowohl Einsparungen bei den Stromkosten als auch zusätzliche Einnahmen ermöglicht (EY & Eurelectric, 2025; NOW GmbH, 2024). Die Potenziale zur Reduzierung der Stromkosten bei dynamischen Tarifen oder zur Steigerung des Eigenverbrauchs von PV-Strom durch reine V2H/B-Anwendungen können dagegen bereits zu einem Großteil durch gesteuertes Laden gehoben werden. Für Pkw können in diesem Bereich die Mehrkosten für bidirektionales Laden auch zu einer negativen TCO-Bilanz führen. Für den Erfolg und die breite Umsetzung von bidirektionalem Laden ist es daher zentral, dass V2G-Geschäftsmodelle ermöglicht werden. Die daraus resultierenden Kostenersparnisse könnten den Hochlauf der Elektromobilität unterstützen, da die hohen Kosten weiterhin als der größte Nachteil an Elektroautos wahrgenommen werden (Lieselot Vanha-verbeke et al., 2024).

Während V2H- und V2B-Anwendungen bereits umsetzbar sind, beschränken sich V2G-Angebote noch auf einzelne Anbieter und Pilotprojekte. Eine breite Anwendung von V2G-Anwendungsfällen bis 2030 wird als möglich erachtet (NOW GmbH, 2024a) (FfE, 2025c). Dazu muss der Hochlauf jedoch durch regulatorische Maßnahmen, Standards, technische Weiterentwicklungen und akzeptanzsteigernde Maßnahmen flankiert werden.

5 | Handlungsoptionen für den Markthochlauf

In der Literatur werden insbesondere folgende Handlungsoptionen aufgezeigt.

Smart-Meter-Rollout beschleunigen

Der Rollout von iMSys stellt einen zentralen Baustein für den Hochlauf des bidirektionalen Ladens dar, da er für viele bidirektionale Nutzungsformen eine Voraussetzung ist (NOW GmbH, 2024a). Um den Ausbau weiter zu beschleunigen, sollten klare Konsequenzen bei Pflichtverletzungen durch die zuständigen Messstellenbetreiber umgesetzt werden (FfE, 2025a). Zusätzlich könnten insbesondere kleinere Betreiber durch Kooperationen unterstützt werden, um eine Verzögerung des gesetzlich festgelegten Ausbaus zu vermeiden (FfE, 2025c). Adressat wäre hier insbesondere die Bundesnetzagentur.

Netzdienliche Flexibilitäten ermöglichen

Um die Kosteneffizienz für Systemdienstleistungen zu erhöhen, sollte die Bereitstellung von Regelleistung und *Redispatch* durch mobile Speicher ermöglicht werden (FfE, 2025c). Für die Integration in *Redispatch*-Maßnahmen wäre die Entwicklung eines anreizbasierten Systems sinnvoll, das die freiwillige Bereitstellung von Flexibilität durch kleine dezentrale Fahrzeuge und Anlagen ermöglicht (FfE, 2023). Eine mögliche Lösung könnte ein hybrides Modell aus kostenbasiertem Ansatz (*Redispatch* 2 beziehungsweise 3.0) und einem marktlich organisierten Modell sein (frontier economics, 2024).

Für die Teilnahme am Regelergiemarkt ist insbesondere die Vereinfachung und Automatisierung des Präqualifizierungsprozesses entscheidend, um die großflächige Integration mobiler Speicher zu ermöglichen. Darüber hinaus sind Experimentierräume notwendig, damit Netzbetreiber praktische Erfahrungen bei der Umsetzung dieser Beschaffungskonzepte sammeln und somit dezentrale Flexibilitäten effektiv nutzen können (FfE, 2025c).

Dies könnte zum einen neue Vermarktungsmöglichkeiten für bidirektionale Fahrzeuge ermöglichen und gleichzeitig den Netzausbaubedarf reduzieren (New Energy Alliance, 2025). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Flexibilitätsabrufe eines Netzbetreibers Auswirkungen auf angrenzende Netzebenen und Betreiber haben können. Eine klare Abgrenzung der Verantwortlichkeiten sowie ein koordinierter Informationsaustausch zwischen

ÜNB und VNB sind daher erforderlich, um potenzielle Probleme zu vermeiden und Flexibilitätsanforderungen kosteneffizient zu erfüllen. Erste Ansätze, wie die Plattform DA/RE, existieren bereits, sind jedoch noch nicht flächendeckend umgesetzt (ebd.).

Aggregierte Fahrzeugflotten sollten gleichberechtigt und ohne Benachteiligung Zugang zu den Strom- beziehungsweise Flexibilitätsmärkten erhalten (FfE, 2023). Die Teilnahme am Energiemarkt wird voraussichtlich durch den aktuellen Prozess der Bundesnetzagentur zur Marktintegration von Speichern und Ladepunkten (MiSpeL) erleichtert (BNetzA, 2025a).

Adressaten wären hier insbesondere politische Entscheidungsträger:innen sowie Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber.

Einheitliche Standards vorantreiben

Herstellerübergreifende Lösungen sind von großer Bedeutung, damit Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur unabhängig vom Anbieter reibungslos zusammenarbeiten können (NOW GmbH, 2024a). Ein Großteil der erforderlichen Standards, etwa Kommunikationsstandards wie ISO 15118-20 für DC, OCPP 2.1/EEBUS, wurde bereits definiert. Der ISO-Kommunikationsstandard 15118-20 muss jedoch weiterhin optimiert (FfE, 2025c) sowie für AC erstellt werden, um eine breite Umsetzung zu ermöglichen. Dabei sollten kollaborative Ansätze, wie die „Task 53“ der Internationalen Energieagentur, unterstützt werden (evtcp, 2025).

Unterschiedliche Netzanschlussbedingungen innerhalb der verschiedenen VNB erschweren zudem die Planungssicherheit für LIS-Hersteller und behindern die Interoperabilität. Daher sind harmonisierte technische Netzanschlussbedingungen (TAB) durch alle VNB für AC-Ladeinfrastruktur und *On-Board-Charger* von zentraler Bedeutung (e-mobil BW et al., 2023).

Weitere sicherheitstechnisch relevante Normen, wie die IEC 61851-1 (AC) und IEC 61851-23 (DC) für Rückspiegelung, sind derzeit noch nicht verfügbar (voraussichtlich 2026 beziehungsweise ohne aktuellen Zeitplan). Die Anforderungen an die Fahrzeugschnittstelle (AC/DC) sollten im Rahmen der nächsten, noch nicht gestarteten

Überarbeitung der ISO-5474-Reihe (Edition 2, Teile 1–3) definiert werden (ETA-Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft, 2024).

Adressaten wären hier insbesondere Automobilhersteller, Ladeinfrastrukturhersteller, Verteilnetzbetreiber sowie Normungsgremien.

Vertrauen in zusätzliche Batterienutzung aufbauen

Um Bedenken hinsichtlich der Degradation der Fahrzeugbatterie und der Auswirkungen auf Herstellergarantien zu adressieren, ist weitere Forschung zu den Auswirkungen von V2G notwendig (BMW Group et al., 2024; e-mobil BW et al., 2023). Der Einsatz technisch verbesserter Batterien und/oder ein optimiertes Batteriemanagement könnten die Effizienz steigern und die Auswirkungen der erhöhten Nutzung weiter minimieren (FfE, 2025c). Für die Endnutzer:innen könnte ein Ansatz mit virtuellem Kilometerstand, bei dem Batteriezyklen für bidirektionales Laden in „virtuelle Kilometer“ umgerechnet werden, eine leicht verständliche Möglichkeit bieten, diese in die Herstellergarantie zu integrieren (BMW Group et al., 2024). Erste OEMs setzen alternativ auf die Begrenzung der Energiemenge beziehungsweise der Betriebsdauer der Entladefunktion (zum Beispiel VW, 2025).

Adressaten wären hier insbesondere politische Entscheidungsträger:innen und Automobilhersteller.

Netzintegration bidirektionaler Fahrzeuge sichern

Netzbetreiber sollten bidirektionales Laden frühzeitig als Schlüsseltechnologie in ihre Netzplanung integrieren. Um Überlastungen durch dezentrale Systeme im Verteilnetz zu vermeiden, sind marktwirtschaftliche Anreize in Kombination mit Koordinationsmechanismen erforderlich. Dies könnte beispielsweise durch eine Koordinierungsfunktion auf Betriebsebene durch VNB geschehen, um eine netzdienliche Nutzung bidirektionaler Fahrzeuge zu ermöglichen und den Bedarf an zusätzlichem Netzausbau zu reduzieren (VDE FNN, 2022). Alternativ oder ergänzend wird vorgeschlagen, flexible Netzanschlussvereinbarungen (FCA) einzuführen, die es Netzbetreibern ermöglichen, die Entnahme- oder Einspeiseleistung bidirektionaler Fahrzeuge statisch oder dynamisch zu begrenzen. Im Gegenzug könnten den Anschlussnehmern beispielsweise angepasste Netzentgelte angeboten werden (FfE, 2025c). Darüber hinaus

sollten Investitionen in Digitalisierung eine verbesserte Überwachung und Steuerung im Niederspannungsnetz ermöglichen (e-mobil BW et al., 2023).

Adressaten wären hier insbesondere Verteilnetzbetreiber und die Bundesnetzagentur.

Gleichstellung von stationären und mobilen Speichern sicherstellen²

Um Rechtssicherheit beim bidirektionalen Laden zu gewährleisten, sei es notwendig, mobile und stationäre Speicher gleichzustellen hinsichtlich Steuern, Netzentgelten, Konzessionsabgaben und Umlagen. Eine Grundvoraussetzung dazu ist eine rechtssichere Definition von mobilen Speichern und bidirektionalem Laden (e-mobil BW et al., 2023).

Um diese Gleichstellung hinsichtlich der anfallenden Stromsteuer zu erreichen, muss das Stromsteuergesetz entsprechend angepasst werden (BBH, 2024; EY & Eurelectric, 2025). Der aktuelle Referentenentwurf zum Stromsteuergesetz enthält bereits die wesentlichen Weichenstellungen (BMF, 2025).

Im Rahmen des AgNes-Prozesses prüft die Bundesnetzagentur derzeit neue Netzentgeltmodelle, darunter Erzeugerbeiträge, Grund- und Leistungspreise, dynamische Tarife, Harmonisierung sowie spezielle Regelungen für Speicher, einschließlich mobiler Speicher, um eine netzdienliche Integration zu gewährleisten (BnetzA, 2025). Die Gleichstellung mobiler und stationärer Speicher muss auch bezüglich der Netzentgeltsystematik gewährleistet werden (FfE, 2025c).

2 In der Debatte wird oft vereinfachend von einer Gleichstellung stationärer und mobiler Speicher gesprochen. Mobile Speicher sind im geltenden Rechtsrahmen jedoch nicht grundsätzlich benachteiligt. § 118 Absatz 6 EnWG befreit Speicheranlagen beim Netzbezug von Netzentgelten, sofern der Strom ausschließlich zur Zwischenspeicherung und anschließenden Wiedereinspeisung dient. In der Praxis profitieren davon vor allem netzgekoppelte Großspeicher. (Stationäre) Heimspeicher fallen in der Regel nicht darunter, weil sie typischerweise Teil der Kundenanlage sind und Netzstrom nicht ausschließlich zur Wiedereinspeisung zwischenspeichern.

Adressaten wären hier insbesondere Verteilnetzbetreiber und die Bundesnetzagentur.

Bidirektionales Laden fördern und Gesellschaft aufklären

Neben den technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen spielt die Akzeptanz der Nutzer:innen von BEV eine entscheidende Rolle für die breite Umsetzung des bidirektionalen Ladens. Daher sind zusätzliche Informationskampagnen und Demonstrationsprojekte erforderlich, um gesellschaftliche Vorbehalte gegenüber dem bidirektionalen Laden abzubauen (e-mobil BW et al., 2023; EY & Eurelectric, 2025).

Ein entscheidendes Kriterium für den Erfolg des bidirektionalen Ladens wird die Amortisationsdauer der zusätzlichen Investitionskosten in entsprechende Systeme sein. Zudem bedarf es des Vertrauens der Kund:innen, dass durch intelligente Planung und Aggregation der Fahrzeuge keine wesentlichen negativen Auswirkungen auf die Fahrzeugverfügbarkeit zu erwarten sind (FfE, 2025c). Im Hinblick auf die Amortisationsdauer und Aufklärung könnten Förderprogramme den *Rol-lout* und die Skalierung bei Herstellenden unterstützen. Idealerweise sollten diese Programme an den Stand der technischen Entwicklungen und bestehenden Standards geknüpft sein, um die Verbreitung interoperabler Systeme gezielt zu fördern (e-mobil BW et al., 2023).

Um das Vertrauen der Nutzer:innen weiter zu stärken, sind einheitliche Marktprodukte und deren Kommunikation die Grundlage (e-mobil BW et al., 2023). Dabei sollten die individuellen Bedürfnisse, wie beispielsweise ein Mindest- beziehungsweise Ziel-Ladezustand für kommerziell und privat genutzte Fahrzeuge, berücksichtigt und in entsprechende Geschäftsmodelle umgesetzt werden (EY & Eurelectric, 2025; FfE, 2025c).

Adressaten wären hier insbesondere politische Entscheidungsträger:innen und Aggregatoren.

Literaturverzeichnis

50Hertz Transmission GmbH, TransnetBW GmbH, Amprion GmbH, & TenneT TSO GmbH. (2024). *Leitfaden für die Präqualifikation von Elektrofahrzeugen und anderen nicht-ortsfesten Anlagen.* URL: https://www.regelleistung.net/xspproxy/api/StaticFiles/Regelleistung/Infos_f%C3%BCr_Anbieter/Wie_werde_ich_Regelenergieanbieter_Pr%C3%A4qualifikation/Gemeinsame_Unterlagen/Leitfaden_PQ_bei%20_Elektrofahrzeugen_%20und_nicht-ortsfesten_%20Anlagen.pdf

BBH. (2024). *Bidirektionales Laden als Schlüssel für die Energiewende.* BBH-Blog. URL: <https://www.bbh-blog.de/allgemein/bidirektionales-laden-als-schluesel-fuer-die-energiewende/>

Bidirektionale Wallboxen. (2025). *Marktübersicht bidirektionaler Ladestationen. Bidirektionale Wallboxen.* URL: <https://bidirektionale-wallboxen.de/marktuebersicht/>

Biedenbach, F. und Strunz, K. (2024). *Multi-Use Optimization of a Depot for Battery-Electric Heavy-Duty Trucks.* *World Electric Vehicle Journal*, 15(3), S. 84. URL: <https://doi.org/10.3390/wevj15030084>.

BMF. (2025). *Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes vom 23.07.2025.* URL: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Gesetzestexte/Gesetze_Gesetzesvorhaben/Abteilungen/Abteilung_III/21_Legislaturperiode/2025-07-23-Energie-Strom-StG/1-Referentenentwurf.pdf?__blob=publicationFile&v=3

BMW Group, dcbeL, Energinet, E.ON, Jedlix/Kraken Technologies, Renault Group, & TenneT. (2024). *European Coalition for bidirectional Charging—Joint Report of the European Working Groups 1 and 2.* URL: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/coalition-of-the-willing-on-bidirectional-charging-en.pdf?__blob=publicationFile&v=8

BNetzA. (2025a). *Bundesnetzagentur—Festlegungsverfahren zur Marktintegration von Speichern und Ladepunkten (MiSpeL).* URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergie/EEG_Aufsicht/MiSpeL/start.html

BNetzA. (2025b). *Bundesnetzagentur—Homepage—Roll-out intelligente Messsysteme: Quartalsweise Erhebungen.* URL: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/NetzzugangMesswesen/Mess-undZaehlwesen/iMSys/artikel.html>

BNetzA. (2025c). *Development in the electricity and gas markets—Key Findings.* Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Bundeskartellamt Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/Areas/ElectricityGas/Monitoring/key_monitoringreport2024.pdf?__blob=publicationFile&v=3&

BnetzA. (2025). *Diskussionspapier: Rahmenfestlegung Allgemeine Netzentgeltsystematik Strom (AgNes).* URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/GBK-GZ/2025/GBK-25-01-1%233_AgNes/Downloads/Diskussionspapier_Verfahrenseinkleitung.pdf?__blob=publicationFile&v=6

BNetzA. (2025d). *Bundesnetzagentur ermöglicht flexible Speichernutzung und bidirektionales Laden von Autos.* URL: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2025/20250919_MiSpeL.html?nn=659670

Daimler Truck AG, & TenneT TSO GmbH. (2022). *Flexibility marketing options for charging processes of electric medium-duty and heavy-duty commercial vehicles.* URL: <https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2022-11/Daimler%20Truck%20TenneT%20Feasibility%20Study.pdf>

DAT. (2025). *DAT-Report 025 | Kurzbericht.* URL: https://www.dat.de/fileadmin/protected/DAT_Report/2025/DAT-Report-2025-Kurzbericht.pdf

Diermann, R. (2025, August 14). *(S+) Intelligentes Laden: So wird das E-Auto zur Geldmaschine.* *Der Spiegel.* URL: <https://www.spiegel.de/auto/elektroauto-laden-so-wird-das-e-auto-zur-geldmaschine-a-04887100-0049-430e-addd-e080193cbbbc>

e-mobil BW, NRW.Energy4Climate, P3 automotive, & Boesche Rechtsanwälte. (2023). *Bidirektionales Laden in Deutschland – Marktentwicklung und Potenziale.* URL: https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Potenzialanalyse_bidirektionales_Laden.pdf

GNDEW. (2023) Entwurf eines Gesetzes zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende, No. Ausschussdrucksache 20(25)278, Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz.

E.ON, & BMW. (2025). BMW und E.ON starten V2G-Angebot für Privatkunden. URL: <https://www.electrive.net/2025/09/10/bmw-und-e-on-starten-v2g-angebot-fuer-privatkunden/>

ETA-Expertenkreis Transformation der Automobilwirtschaft. (2024). *Normungs-Roadmap Bidirektionales Laden.* URL: https://expertenkreis-automobilwirtschaft.de/media/pages/home/74a7c86854-1733485069/expertenkreis-transformation-automobilwirtschaft_roadmap_bidirektionales-laden_final_20241031.pdf

evtcp. (2025). *Task 53: Interoperability of Bidirectional Charging (INBID) – EV TCP.* URL: <https://evtcp.org/task/task-53/>

EY, & Eurelectric. (2025). *Plugging into potential: Unleashing the untapped flexibility of EVs—Why smart charging is essential for a more sustainable and resilient energy system.* URL: <https://evision.eurelectric.org/wp-content/uploads/2025/03/EY-Eurelectric-Plugging-into-potential-unleashing-the-untapped-flexibility-of-EVs.pdf>

FfE. (2022). *BDL Use-Case Primärregelleistung Steckbrief.* URL: https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2022/02/Steckbrief_Primaerregelleistung.pdf

FfE. (2023). *BDL – Bidirektionales Lademanagement [FfE].* URL: <https://ffe.de/wp-content/uploads/2023/03/BDL-Abschlussbericht.pdf>

FfE. (2024a). *Bidirektionales Laden – Anwendungsfälle aus Nutzersicht.* Abschlussbericht zur Studie im Auftrag des ADAC e. V. (S. 97). FfE.

FfE. (2024b). *Konsistente Parameterbereiche zur Modellierung intelligenter Elektrofahrzeuge im Energiesystem.* URL: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/discussion-paper-konsistente-parameterbereiche-zur-modellierung-intelligenter-elektrofahrzeuge-im-energiesystem>

FfE. (2024c). *V2X Monitor.* URL: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/v2x-monitor/>

FfE. (2025a). *Smart Meter Light in der Diskussion – Fortschritt oder Flickerwerk?* (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.). DOI: 10.34805/ffe-11-25

FfE. (2025b). *V2G Integration in Europe – A comparison of the implementation of bidirectional charging in France, the UK and Germany.*

FfE. (2025c). *V2G-Potenziale freisetzen – Von Hürden zu Lösungen.* [Ergebnisbericht]. URL: https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2025/09/FfE_V2G_Potenziale_Heben_Ergebnisbericht.pdf

Fraunhofer ISE. (2025). *Öffentliche Nettostromerzeugung im ersten Halbjahr 2025.* Fraunhofer ISE. URL: https://www.energy-charts.info/downloads/Stromerzeugung_2025_Halbjahr.pdf

Fraunhofer ISE, & Fraunhofer ISI. (2024). *Potential of a full EV-power-system-integration in Europe and how to realise it.* Study on behalf of Transport & Environment (T&E) Europe. URL: https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2024_10_Study_V2G_EU-Potential_Final.pdf

Fraunhofer ISI, Prognos, Noer, & Zum goldenen Hirsch. (2024). *AKZEPTANZ VON GESTEUERTEM LADEN UNTER ELEKTROFAHRZEUG NUTZENDEN IN DEUTSCHLAND – KURZSTUDIE.* URL: <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/054062a5-c350-43c2-98d4-47e535086e92/content>

frontier economics. (2024). *Hybrides Redispatch – Modell: Integration von Kleinanlagen und Optionen für den Umgang mit Marktfach und Inc-dec-gaming – Eine Studie im Auftrag von TransnetBW und TenneT.* URL: https://www.transnetbw.de/_Resources/Persisent/2/1/4/4/2144f33f644f0e00fb772377109561c30dce-3b0e/2024-Frontier-Marktbasierter%20Redispatch.pdf

Hackmann, M., von Guttenberg, L., & Herbold, B. (2025). *Bidirectional Charging – Worth the Hype?* P3. URL: <https://www.p3-group.com/wp-content/uploads/2025/03/P3-Bidirectional-Charging%E2%80%93Worth-the-Hype.pdf>

ICCT. (2021). *Total cost of ownership von sattelzugmaschinen in Deutschland: Batterieelektrisch gegen diesel.* URL: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/DE-TCO-BETs-Europe-fact-sheet-v3-dec21.pdf>

Lieselot Vanhaverbeke, Dennis Verbist, & Gabriela Barrera. (2024). *Consumer Monitor 2023.* European Commission.

Navia Simon, D., & Diaz Anadon, L. (2025). *Power price stability and the insurance value of renewable technologies.* Nature Energy, 10(3), 329–341. URL: <https://doi.org/10.1038/s41560-025-01704-0>

New Energy Alliance. (2025). *Die Rolle der Dezentralen Lösungen im gesamtkosteneffizienten Energiesystem.* URL: https://cdn.prod.website-files.com/68b95acfc63166be1c5b8586/68daa0530b851b2e06ef83f5_250929_Die%20Rolle%20der%20Dezentralen%20LoCC%88sungen%20im%20gesamtkosteneffizienten%20Energiesystem.pdf

NOW GmbH. (2024a). *Bidirektionales Laden diskriminierungsfrei ermöglichen – Handlungsempfehlungen des Beirats der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur zur Umsetzung der Maßnahme 47 des Masterplans Ladeinfrastruktur II [Positionspapier].* Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. URL: https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2024/03/Bidirektionales-Laden_final_240306.pdf

NOW GmbH. (2024b). *Herstellerebefragung E-Pkw Marktentwicklung und Technologietrends.* URL: https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2024/04/NOW_Factsheet_Clean-Room_240411.pdf

Renault Group. (2025). *Utrecht becomes Europe's first city with a vehicle-to-grid (V2G) car-sharing service.* Newsroom Renault Group. URL: <https://media.renaultgroup.com/utrecht-becomes-europes-first-city-with-a-vehicle-to-grid-v2g-carsharing-service/>

RWTH, & The Mobility House Energy. (2025). *Studie bestätigt: Bidirektionales Laden beeinträchtigt die Lebensdauer von Elektroauto-Batterien nicht – Intelligentes Laden (V1G) verbessert die Batteriealterung signifikant und erhöht die Reichweite.*

URL: <https://www.forum-csr.net/News/24211/Studie-bestaetigt-Bidirektionales-Laden-beeintraechtigt-die-Lebensdauer-von-Elektroauto-Batterien-nicht.html>

The Mobility House Energy. (2024). *Charge for Free – Renault, Mobilize, and TMH launch V2G.* URL: https://www.mobilityhouse.com/int_en/our-company/newsroom/article/charge-for-free-renault-group-mobilize-and-the-mobility-house-launch-vehicle-to-grid-in-france-while-germany-is-establishing-the-regulatory-framework

TÜV Rheinland Consulting GmbH. (2024). *Netzintegration von elektrifizierten schweren Nutzfahrzeugen – Ein Impulspapier der Begleitforschung Elektro-Mobil.* URL: https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2024/07/Impulspapier_Netzintegration-von-elektrifizierten-schweren-Nutzfahrzeugen.pdf

UBA. (2025). *Treibhausgas-minderungsziele Deutschlands [Text].* Umweltbundesamt; Umweltbundesamt. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-minderungsziele-deutschlands>

VDE FNN. (2022). *Gesamtkonzept zur Steuerung mit intelligenten Messsystemen (VDE FNN Impuls).* URL: <https://www.vde.com/resource/blob/2199366/c0105f2fb4cdc5e8a6f9a97467db64d6/gesamtkonzept-steuerung-pdf-data.pdf>

VW. (2025). *Bidirektionales Laden | Laden und Reichweite | Volkswagen Deutschland.* URL: <https://www.volkswagen.de/de/elektrofahrzeuge/laden-und-reichweite/smartes-laden.html>

Wisbert, H. S., & Voit, A.-K. (2025). *Optimierte Förderung von Elektrofahrzeugen als Schlüssel zur Erreichung nationaler Klimaziele.* Wirtschaftsdienst, 105(5), 339–344. URL: <https://doi.org/10.2478/wd-2025-0088>

Abkürzungsverzeichnis

a	Annum (Jahr)
AC	Alternating Current (Wechselstrom)
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug
BNetzA	Bundesnetzagentur
DC	Direct Current (Gleichstrom)
EPEX	European Power Exchange
EMS	Energiemanagementsystem
EnFG	Energiefinanzierungsgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
GNDEW	Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende
mMe	moderne Messeinrichtung
Pkw	Personenkraftwagen
PQ-Prozesse	Präqualifizierungsprozesse
PV	Photovoltaik
iMSys	intelligentes Messsystem
LIS	Ladeinfrastruktur
Lkw	Lastkraftwagen
OEM	Original Equipment Manufacturer (vornehmlich Fahrzeughersteller)
SMGW	Smart-Meter-Gateway
StromStG	Stromsteuergesetz
TCO	Total Cost of Ownership (Gesamtkosten)
V2B	Vehicle to Building
V2H	Vehicle to Home
V2G	Vehicle to Grid
V2L	Vehicle to Load
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything
VNB	Verteilnetzbetreiber
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Erwartete Gesamtkostenreduktion für 2030 für private Pkw ohne PV-Anlage durch bidirektionales Laden im Vergleich zum Direktladen
- Abbildung 2:** Erwartete Gesamtkostenreduktion für 2030 für private Pkw mit PV-Anlage durch bidirektionales Laden im Vergleich zum Direktladen
- Abbildung 3:** TCO-Reduktion schwerer Elektro-Lkw mit PV-Anlage

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Relevante Nutzungsformen des bidirektionalen Ladens
Tabelle 2:	Kund:innenprofil 1 & 2 - Privater Pkw (ohne und mit PV-Anlage)
Tabelle 3:	Kund:innenprofil 3 - Schweres Nutzfahrzeug

Publikationen von Agora Verkehrswende

Elektrisch mobil im sozialen Dienst

Stimmungsbild und Perspektiven zur Elektrifizierung von Pkw-Flotten in Wohlfahrtsverbänden

Stoffkreisläufe für Antriebsbatterien

Rohstoffpotenziale des Batterierecyclings in der Automobilindustrie und Optionen zur Erfüllung der erweiterten Herstellerverantwortung in Europa

Verantwortung für die Zukunft der Mobilität

Empfehlungen für Vorhaben aus dem Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD mit Mehrwert für wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit, soziale Ausgewogenheit und Klimaschutz im Verkehr

Starke Batterieindustrie, starker Automobilstandort

Neun Thesen zum Ausbau der Batterieproduktion für Elektromobilität in Deutschland und Europa

Von der Mobilitätsberatung zum Mobilitätsdialog

Neun Thesen zu Gesprächen auf Augenhöhe als Baustein für die Mobilitätswende

Weichenstellungen für die Bahnpolitik

Einschätzungen und Empfehlungen zur Verbesserung des Schienennetzes, Steuerung der Deutschen Bahn und Förderung des Bahnverkehrs

Bezahlbare Elektroautos in die Breite bringen

Optionen für ein industrie-, klima- und sozialpolitisch ausgewogenes Förderprogramm für den Privatwagenmarkt in Deutschland

Kabinettstück Verkehrswende

Empfehlungen für ressortübergreifenden Klimaschutz im Verkehr als Wegbereiter für Wettbewerbsfähigkeit und soziale Gerechtigkeit

Vom Fortschritt in Fragmenten zum Gemeinschaftswerk im Ganzen

Bilanz der Klimapolitik im Verkehr zum Ende der Ampelkoalition mit Empfehlungen für einen Kurs auf Klimaneutralität, Wettbewerbsfähigkeit und soziale Gerechtigkeit

Letzte Chance für 15 Millionen E-Autos bis 2030 (Langfassung)

Wie eine schnelle Transformation zur Elektromobilität in Deutschland noch gelingen kann und warum die Einbindung chinesischer Automobilhersteller dabei eine wichtige Rolle spielt

Parken nach Feierabend und Ladenschluss

Warum es sich lohnt, Parkraum von Bürogebäuden, Einzelhandel und Mehrfamilienhäusern mehrfach zu nutzen, und wie Kommunen dies voranbringen können

Netzanschluss für den Straßenverkehr

Herausforderungen und Empfehlungen für eine schnelle und kosteneffiziente Integration von Ladeinfrastruktur in das Stromnetz

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-verkehrswende.de

Agora Verkehrswende ist ein Thinktank für klimaneutrale Mobilität mit Sitz in Berlin. Im Dialog mit Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft setzt sich die überparteiliche und gemeinnützige Organisation dafür ein, die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor auf null zu senken. Dafür entwickelt das Team wissenschaftlich fundierte Analysen, Strategien und Lösungsvorschläge.

Agora Verkehrswende

Anna-Louisa-Karsch-Str. 2 | 10178 Berlin
www.agora-verkehrswende.de
info@agora-verkehrswende.de

