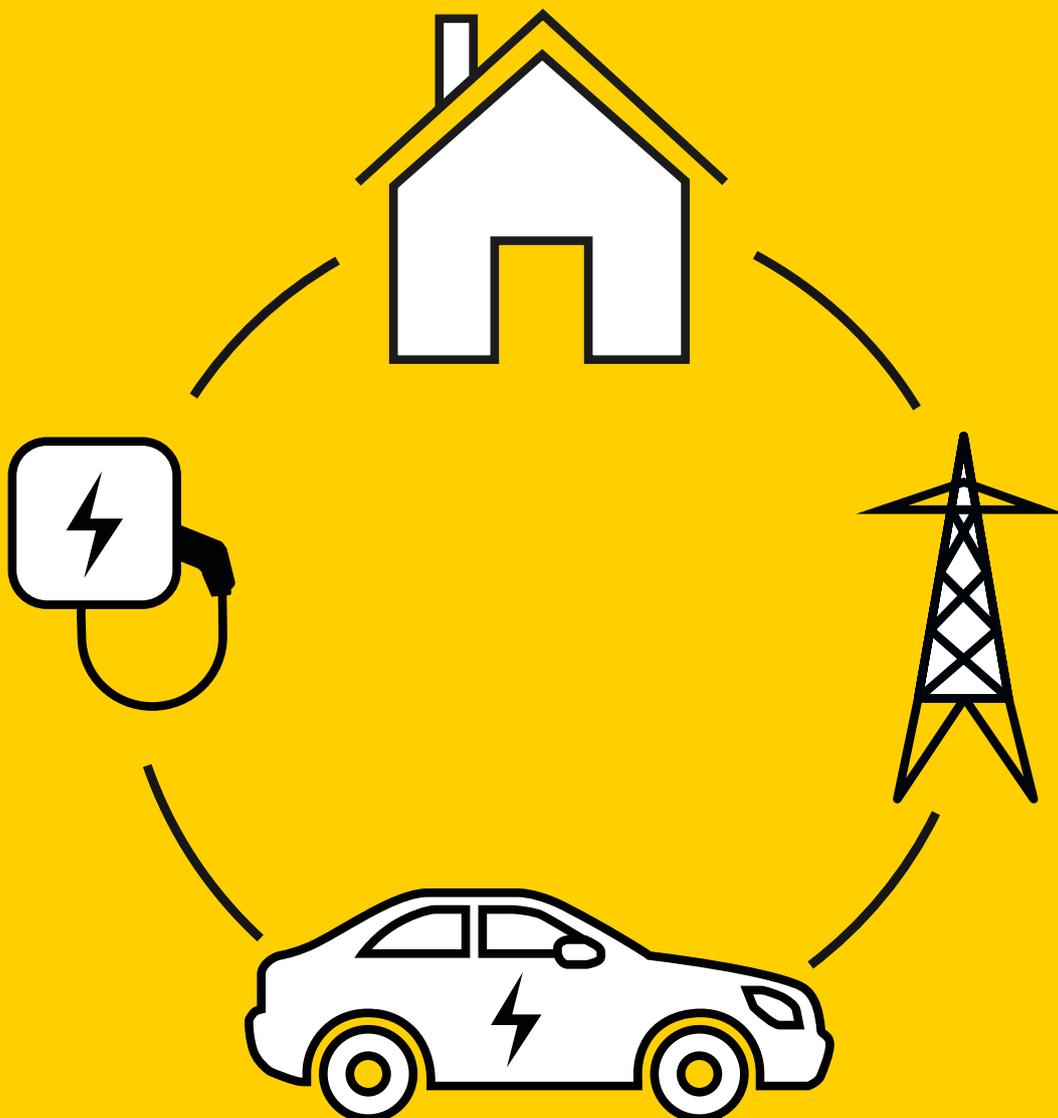


Bidirektionales Laden – Anwendungsfälle aus Nutzersicht

ADAC Studie zur Mobilität – Zwischenbericht



Bidirektionales Laden – Anwendungsfälle aus Nutzersicht

Zwischenbericht zur ADAC-Studie

Handlungsempfehlungen

Was wird benötigt, damit die Anwendung von bidirektionalem Laden für viele Nutzer:innen vorteilhaft wird?

- 1** Die hohen Anschaffungskosten von bidirektional fähigen Wallboxen stellen bisher ein großes Hemmnis dar. Der Staat könnte ihren Kauf in der Startphase des Marktes durch einen Zuschuss unterstützen.

- 2** Die Befreiung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Netzentgelten, die für stationäre Speicher gilt, sollte auf gleiche Weise auch für zwischengespeicherten Strom aus bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen gelten.

- 3** Garantiebedingungen der Fahrzeugbatterie sind an eine feste Grenze von zulässigen Vollzyklen geknüpft. Hersteller sollten eine flexible Nutzung der Fahrzeugbatterie für bidirektionales Laden ermöglichen.

- 4** Kommunikationsstandards zwischen Komponenten sind unmittelbar nach Finalisierung nicht immer offen zugänglich. Diese sollten kostenfrei für alle Akteure verfügbar sein, um eine schnelle, großflächige Implementierung zu ermöglichen.

Einleitung

Mit bidirektionalem Laden von Elektrofahrzeugen ist es möglich, Strom nicht nur in die Batterie des Elektrofahrzeugs einzuspeichern, sondern ihn auch wieder aus dem Elektrofahrzeug zu entnehmen. Die Fahrzeugbatterie wird zum Energiespeicher, der sich flexibel für Elektrogeräte/Stromverbraucher im eigenen Haushalt nutzen lässt oder in Zukunft auch in das öffentliche Stromnetz einspeisen kann. Damit lassen sich im Haushalt Kosten senken sowie im Stromnetz Flexibilitäten schaffen, die vergütet werden. Das Elektrofahrzeug wird zur Brücke zwischen Mobilität und Energiesystem.

Bisher wurde die Technologie vor allem als technische Herausforderung begriffen und daher besonders von der Industrie und von Stromnetzbetreibern vorangetrieben. Mit zunehmender Marktreife von bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen und Ladestationen rücken nun Nutzen und Risiken für die Endanwender:innen des bidirektionalen Ladens in den Vordergrund. Schließlich sind sie es, die über das zentrale Element im System verfügen: das Elektrofahrzeug mit seiner Batterie. Nur mit einer hohen Kundenakzeptanz wird sich bidirektionales Laden in der Breite durchsetzen und damit sein volles Potenzial zur Netzstabilisierung und Erzeugungsflexibilisierung in einem zunehmend volatilen Stromsystem ausspielen können.

Die vorliegende Broschüre ist ein Zwischenbericht einer vom ADAC e.V. bei der FfE in Auftrag gegebenen

Studie zum Thema *Bidirektionales Laden – Anwendungsfälle aus Nutzersicht*. Der Zwischenbericht erlaubt einen schnellen Einstieg in die Thematik, indem er die kurz- und mittelfristig relevanten Anwendungsmöglichkeiten für bidirektionales Laden erläutert. Er stellt den aktuellen Stand der Technik dar und trägt die wesentlichen Erkenntnisse aus der Untersuchung zusammen. Nutzer:innen von Elektrofahrzeugen wird eine erste Orientierung über mögliche Erlöspotenziale mit der neuen Technologie ermöglicht. Für Entscheider:innen in Politik und Wirtschaft formuliert der Zwischenbericht erste Handlungsempfehlungen, um bidirektionales Laden für Anwender:innen attraktiv zu gestalten und damit einen breiten Markthochlauf anzuregen. Ein vollumfänglicher Abschlussbericht wird in Kürze veröffentlicht.

Inhalt

Aktueller Stand des bidirektionalen Ladens	S. 4
Anwendungsfälle – Übersicht	S. 6
Anwendungsfälle – Steckbriefe	S. 7
Anwendungsfälle - Auswertungsbeispiel PV-Eigenverbrauchsoptimierung	S. 12
Fazit	S. 15

Bidirektionales Laden kann die Stromkosten von Nutzer:innen senken. Je nach Anwendungsfall kann die Eigenversorgung durch eine eigene PV-Anlage gesteigert oder die Stabilität des Energiesystems unterstützt werden.

Dennoch gibt es Rahmenbedingungen, durch die sich manche Anwendungsfälle noch nicht finanziell tragen. Hier formuliert die Studie Handlungsempfehlungen, die die Rentabilität von Anwendungsfällen verbessern und einen erfolgreichen Hochlauf der Technologie fördern.

Aktueller Stand des bidirektionalen Ladens

Der Absatz von Elektrofahrzeugen nimmt deutlich zu und die politischen Erwartungen von 15 Mio. Elektrofahrzeugen im Jahr 2030 sind hoch. Elektrofahrzeuge werden somit zunehmend ein relevanter Teil des gesamten Energiesystems und tragen durch bidirektionales Laden zu dessen Weiterentwicklung bei.

Die Entwicklung des bidirektionalen Ladens ist technisch bereits weit entwickelt. Doch regulatorisch besteht noch Handlungsbedarf, wobei einige Anwendungsfälle schon heute grundsätzlich möglich sind. Zur Umsetzung müssen die entsprechenden Voraussetzungen am Ladepunkt geschaffen und bidirektional ladefähige Elektrofahrzeuge genutzt werden. Von ersten Umsetzungen ist ab Mitte 2024 auszugehen. Für private Nutzer:innen sind neben dem privaten, nicht öffentlichen Ladepunkt (Wallbox) oftmals weitere Komponenten je nach Anwendungsfall sinnvoll (siehe Abbildung 1).

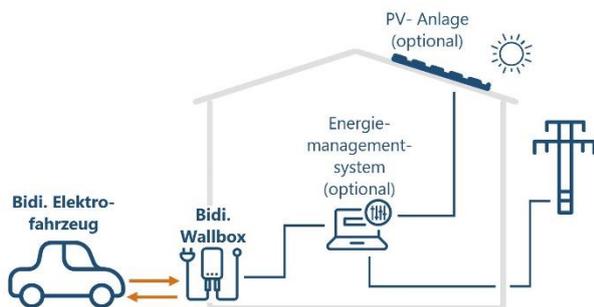


Abbildung 1: Beispielhafte Umsetzung des bidirektionalen Ladens zuhause (schematisch)

Wird Strom aus der Fahrzeugbatterie nur in das eigene Heimnetz (z. B. Wohngebäude) entladen, ist der Begriff „Vehicle-to-Home“ (V2H) geläufig. Mit „Vehicle-to-Business“ (V2B) wird eine Rückspeisung in Unternehmen beschrieben. Bei V2H- und V2B-Anwendungen wird also nicht in das öffentliche Stromnetz entladen. Wird Strom aus dem Elektrofahrzeug in das öffentliche Stromnetz zurückgespeist, ist der Begriff „Vehicle-to-Grid“ (V2G) gebräuchlich [1].

Was ist technologisch relevant?

Die Batterien von Elektrofahrzeugen führen technisch bedingt nur Gleichstrom (engl. direct current, DC). Daher muss Strom aus dem öffentlichen Stromnetz, welches mit Wechselstrom (engl. alternating current, AC)

betrieben wird, vor dem Laden des Elektrofahrzeugs in Gleichstrom umgewandelt werden. Dies erfolgt mittels eines Stromrichters, der entweder in der Wallbox oder im Elektrofahrzeug verbaut ist. Entsprechend sind die Mehrkosten entweder dem Elektrofahrzeug oder der Wallbox zuzuordnen. Viele Fahrzeughersteller in Europa haben sich gegenwärtig dafür entschieden, bidirektionales Laden primär durch **DC-Wallboxen** zu ermöglichen. Der Gleichstrom aus der Fahrzeugbatterie wird dabei in der Wallbox in Wechselstrom umgewandelt.

Um eine standardisierte Kommunikation zwischen Elektrofahrzeug und Wallbox sicherzustellen, wurde im April 2022 die Norm **ISO 15118-20** veröffentlicht. Sie regelt die standardisierte High-Level-Kommunikation zwischen Elektrofahrzeug und Wallbox. Darunter fallen z. B. der Datenaustausch über die gewünschte Abfahrtszeit der Fahrzeugnutzer:innen und der dann benötigte Batteriefüllstand bei Abfahrt. Als Standard der Kommunikation zwischen Wallbox und dahinterliegender IT-Infrastruktur hat sich das Open Charge Point Protocol (**OCPP**) etabliert [2, 3]. Via OCPP können neben Ladeinfrastrukturbetreibern zum Beispiel auch Anbieter für die gewinnorientierte Vermarktung von Strom (z. B. Energiedienstleister) über die Wallbox mit den Elektrofahrzeugen kommunizieren.

Relevante **Steckertypen** für bidirektionales Laden sind vor allem CCS/Combo 2 und CHAdeMO. Der CHAdeMO-Standard definiert über das Steckerdesign hinaus auch das Kommunikationsprotokoll, über welches Elektrofahrzeug und Wallbox den Ladevorgang steuern, und ist vor allem bei asiatischen Fahrzeugherstellern verbreitet. In Europa ist der CHAdeMO-Standard rückläufig und stattdessen der CCS-Stecker für DC-Laden aktueller Standard [4, 5, 6].

Wie entwickelt sich der Markt?

Der Markt für **bidirektional ladefähige Elektrofahrzeuge** entwickelt sich hoch dynamisch. Fast alle Hersteller arbeiten intensiv an der Technologie. Einige bidirektional ladefähige Modelle sind bereits auf dem Markt, insbesondere in Asien auf Basis des CHAdeMO-Standards. In Europa sind erste sog. „bidi-ready“ Elektrofahrzeuge seit diesem Jahr verfügbar. „Bidi-ready“ bedeutet, dass das Fahrzeug zum Zeitpunkt der Markteinführung noch nicht vollumfänglich

bidirektional ladefähig ist, es dies aber durch ein Softwareupdate des Herstellers erreichen kann. Einige Hersteller – auch aus Deutschland – haben eine baldige Markteinführung von vollumfänglich bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen inklusive Umsetzung der ISO 15118-20 angekündigt [7, 8, 9]. In den folgenden Jahren wird sich die Verfügbarkeit entsprechender Modelle voraussichtlich erheblich vergrößern.

Wie der Fahrzeugmarkt befindet sich auch der Markt für **bidirektional fähige DC-Wallboxen** in einer dynamischen Entwicklung. Die Anzahl an zeitnah verfügbaren bidirektional fähigen Wallbox-Modellen ist daher schwer abzuschätzen. Aktuell gilt, dass die Auswahl an verfügbaren oder angekündigten Modellen gering ist. Zudem ist die Preisspanne dieser Wallboxen derzeit noch sehr groß. Ein aktueller Marktüberblick über verfügbare und angekündigte Modelle findet sich im Abschlussbericht.

Welche Mehrkosten verursacht bidirektionales Laden?

Im Vergleich zum ungesteuerten Direktladen, bei dem das Elektrofahrzeug unidirektional mit einer herkömmlichen AC-Wallbox lädt, entstehen beim bidirektionalen Laden vor allem durch die **Anschaffung einer bidirektional fähigen DC-Wallbox** Mehrkosten. Die etwas aufwendigere Installation, die Messtechnik und deren Betrieb sowie das optionale Energiemanagement, das die Kommunikation zwischen den verbauten Komponenten (z. B. der Wallbox) optimal umsetzt, führen zu weiteren Kosten [10].

In Abbildung 2 sind geschätzte Mehrkosten für die Jahre 2024 und 2030 als Kostenspannen abgebildet. Kurzfristig können diese bis zu 5.800 € betragen. Mittel- bis langfristig dürften sich die anfallenden Mehrkosten ungefähr halbieren. Für Nutzer:innen bedeutet dies, dass sie durch bidirektionales Laden jährliche Erlöse von etwa 300 € bis 600 € erzielen müssen, damit sich die Investition nach ca. 10 Jahren amortisiert hat. Ab 2030 reichen jährliche Erlöse von ca. 100 € bis

300 €, dass bidirektionales Laden für Nutzer:innen Kostenersparnisse bei den Energiekosten erzielt.

Was sind rechtliche Hindernisse?

Grundsätzlich gibt es keine rechtlichen Hindernisse, die das bidirektionale Laden grundlegend einschränken. Allerdings hemmt die Komplexität bei der rechtskonformen Ausgestaltung von Stromlieferverträgen und Stromtarifen die Anzahl und Möglichkeiten von Angeboten am Markt - zumindest für V2G.

Zudem gibt es im Bereich V2G regulatorische Hemmnisse, die die Wirtschaftlichkeit der Anwendungsfälle stark beeinträchtigen. Problematisch ist hier z. B. die sogenannte **Doppelbelastung** durch Steuern, Abgaben und Umlagen. Auf Strom, der in die Fahrzeugbatterie geladen, dort zwischengespeichert und später in das Stromnetz entladen wird, müssen sowohl beim Laden als auch beim Entladen Steuern, Abgaben und Umlagen gezahlt werden. Zwar sind Fahrzeugbatterien bei einer Rückspeisung ins Stromnetz von einigen wenigen Umlagen befreit (KWKG-Umlage, Offshore-Netzzumlage, § 19 StromNEV-Umlage), diese machen zusammen jedoch nur einen kleinen Teil der insgesamt zu zahlenden Steuern, Abgaben und Umlagen aus (gegenwärtig etwa 10 %) [11]. Demgegenüber sind stationäre Batteriespeicher bei Rückspeisung in das Stromnetz von der Stromsteuer und den Netzentgelten befreit, was einer deutlich höheren Befreiung gleichkommt (gegenwärtig etwa 90 %). Hinzu kommt, dass diese Befreiung auch für Speicherverluste gilt, was für Fahrzeugbatterien nicht der Fall ist [11]. Die aktuelle Rechtslage ist demnach stark auf die Förderung stationärer Batteriespeicher ausgerichtet. Eine Gleichbehandlung von Fahrzeugbatterien könnte bidirektionales Laden und vor allem die Rückspeisung in das öffentliche Stromnetz (V2G) deutlich attraktiver machen. Eine ausführliche Betrachtung der rechtlichen Aspekte findet sich im Abschlussbericht.

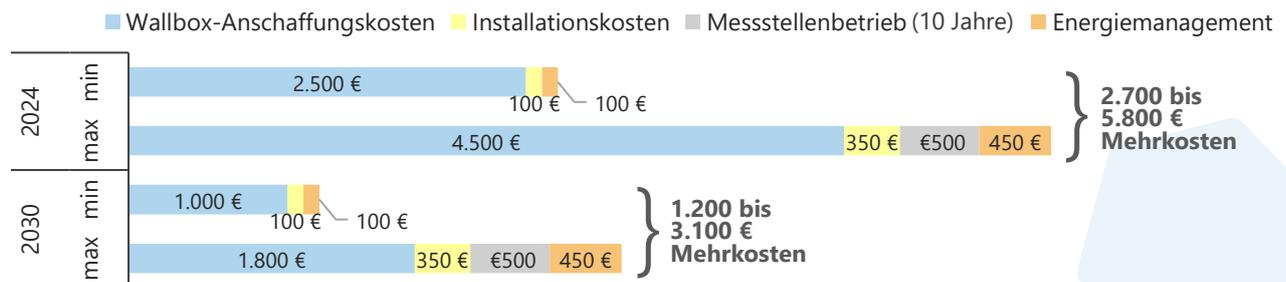


Abbildung 2: Minimale und maximale Mehrkosten für bidirektionales Laden im Vergleich zu ungesteuertem Direktladen

Anwendungsfälle – Übersicht

Im Abschlussbericht werden fünf Anwendungsfälle für bidirektionales Laden im Detail analysiert. Die wichtigsten Aspekte jedes Anwendungsfalls werden in diesem Zwischenbericht in Form von Steckbriefen zusammengefasst.

Betrachtet werden folgende fünf Anwendungsfälle:

- Dynamische Stromtarife (V2H)
- PV-Eigenverbrauchsoptimierung (V2H)
- Zeitliche Arbitrage (V2G)
- PV-Eigenverbrauchsoptimierung mit zeitlicher Arbitrage (V2G)
- Systemdienstleistungen durch Vorhaltung von Batteriekapazität (V2G)

Die Fokussierung auf konkrete Anwendungsfälle erlaubt die praxisnahe Betrachtung zentraler technischer, regulatorischer und wirtschaftlicher Aspekte des bidirektionalen Ladens. Ein Teil der Fälle ist für alle Eigentümer:innen von bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen relevant, ein anderer Teil nur für Wohngebäude- und PV-Anlagenbesitzer:innen.

Die Steckbriefe beinhalten neben der Beschreibung des jeweiligen Anwendungsfalls ein Schaubild, das die typische Lade- und Entladestrategie an einem exemplarischen Tag darstellt. Zudem werden Kernergebnisse der durchgeführten **Simulationen** und identifizierte Herausforderungen beschrieben. Dabei sind die Simulationen das Fundament, auf dem Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen beruhen. In der Studie werden Erlöspotenziale jedes Anwendungsfalls detailliert aus Sicht der Nutzer:innen untersucht. Der Zwischenbericht beschränkt sich auf einen Fall - PV-Eigenverbrauchsoptimierung -, an dem die Simulationen und Erkenntnisse erläutert werden.

Was wird simuliert?

Ziel der Simulationen ist, die Nutzung von bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen repräsentativ zu untersuchen, finanzielle Mehrwerte herauszustellen und die wichtigsten Einflussfaktoren zu identifizieren. Dazu wurden Simulationen mit dem Modell *eFlame* der FfE durchgeführt. Im Modell werden die Lade- und Entladestrategien bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge unter Berücksichtigung aller geltenden Randbedingungen für den Betrachtungszeitraum eines Jahres optimiert. Ziel ist, die Gesamtstromkosten

zu minimieren. Wichtige Ergebnisse der Simulationen sind dabei u. a. die Stromkosten des Haushalts, Erlöse aus Stromverkauf, ge- und entladene Energiemengen und Lade- sowie Entladeleistungen [12, 13, 14].

Bis auf den Anwendungsfall *Systemdienstleistungen*, der deskriptiv behandelt wird, werden alle Anwendungsfälle als Basisfall simuliert:

- **Basisfall:** Durchschnittswerte privater Elektrofahrzeug-Nutzer:innen, wie 60-kWh-Fahrzeuggatterie, 11 kW Lade-/Entladeleistung, Strompreise 2021

Zusätzlich werden je Anwendungsfall drei bis vier unterschiedliche Varianten simuliert:

- **Variante „2022“:** Berechnungen mit Strompreisen 2022 (mittlere Haushalts- und Großhandelspreise)
- **Variante „Nicht-Pendler“:** Variation der Fahrzeug-Nutzer:innen, nur Nicht-Pendler (bspw. Personen im Homeoffice, Rentner:innen, Zweitwagen)
- **Variante „Umlagenbefreiung“:** Simulation von verbesserten Rahmenbedingungen bei Steuern, Abgaben und Umlagen (nur V2G Fälle)

Zusätzlich erlaubt das Modell die Begrenzung der sog. äquivalenten Vollzyklen auf 20 pro Jahr. Ein äquivalenter Vollzyklus ist erreicht, wenn die Summe aus Lade- und Entladevorgängen einer vollständigen Ladung und einer vollständigen Entladung entspricht.

Pro Anwendungsfall werden 200 einzelne Simulationsläufe (für die Variante „Nicht-Pendler“ 100 Simulationen) durchgeführt, in denen je ein individuelles Nutzungsverhalten mit einem Elektrofahrzeug in Verbindung mit einem Haushalt und, sofern relevant, mit einer PV-Anlage abgebildet wird. Stationäre Hausbatteriespeicher oder Wärmepumpen werden nicht simuliert, um den Fokus der Analysen auf das Elektrofahrzeug zu legen. Als Ergebnis wird jeweils der Durchschnittswert aller Simulationsläufe eines Falls dargestellt. Um Rückschlüsse bezüglich der Kostenersparnis ziehen zu können, werden Ergebnisse des bidirektionalen Ladens mit denen für **Direktladen**, d. h. das Fahrzeug wird an der privaten Wallbox direkt vollgeladen, sobald es zuhause ist, verglichen. Außerdem kann **gesteuertes Laden**, also unidirektionales Laden, bei dem der Ladevorgang zeitlich verschoben werden kann, analysiert werden (entsprechende Auswertungen finden sich im Abschlussbericht). Die Kostenersparnisse werden den durch die Technologie entstehenden Mehrkosten gegenübergestellt.

Dynamische Stromtarife (V2H)

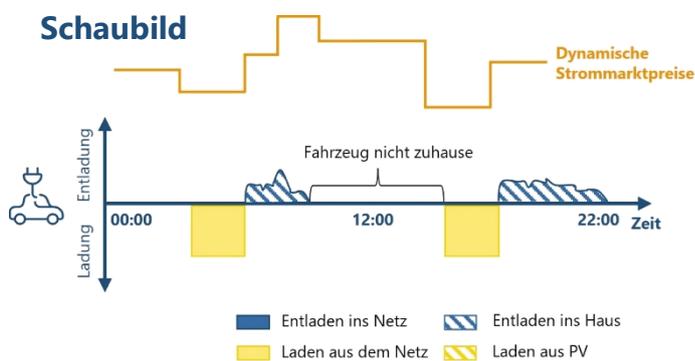
Nutzung dynamischer Stromtarife gemäß §41a EnWG ohne Rückspeisung ins Netz



Beschreibung

Nutzer:innen schließen einen dynamischen Stromtarif ab, bei dem die Strompreise auf Basis von Großhandelsstrommarktpreisen variieren. Die Ladevorgänge werden anhand dieser dynamischen Stromtarife optimiert. Das Elektrofahrzeug lädt somit zu Zeitpunkten niedriger Strompreise aus dem Netz. Es wird entladen, um den Verbrauch im Haushalt zu decken. In das öffentliche Stromnetz wird nicht entladen. Durch die Lade- und Entladestrategie können die Strombezugskosten verringert werden.

Schaubild



Anwendungskategorie V2H

Ladeort



Steuerung



Anreiz



Mehrwert für den Nutzer



Simulationen

- Die Gesamtstromkosten werden durch bidirektionales Laden gesenkt, obwohl das Preisniveau der dynamischen Stromtarife in den Simulationen höher ist als der herkömmliche Haushaltsstrompreis.
- 12 % bis 27 % des Haushaltsstromverbrauchs können aus der Fahrzeugbatterie gedeckt werden.
- Wichtige Einflussfaktoren sind die Preisspannen des dynamischen Stromtarifs, der Preisunterschied zwischen dynamischem Stromtarif und Haushaltsstrompreis sowie der Haushaltsstromverbrauch.
- In allen Varianten entstehen weniger als 20 zusätzliche Vollzyklen pro Jahr durch bidirektionales Laden.

↓
150 - 370 €/Jahr



Stromkosten
(insgesamt)

Wichtige Parameter: Haushaltsverbrauch: ~ 3.100 kWh/Jahr; statischer Strompreis: 32 ct/kWh



Aktueller Stand und Herausforderungen

- Für die zeitlich hochaufgelöste Abrechnung wird ein digitaler Stromzähler und entsprechende Expertise des Stromlieferanten benötigt.
- Technisch gibt es nur noch kleineren Entwicklungsbedarf (bspw. Energiemanagement).
- Aufgrund von hoher Ladegleichzeitigkeit (viele Fahrzeuge, die gleichzeitig laden) bei niedrigen Strompreisen sind kurzfristig Netzengpässe zu erwarten. Eine Anpassung der dynamischen Stromtarife kann dem entgegenwirken.
- Regulatorisch ist der Fall bereits heute grundsätzlich umsetzbar (keine Rückspeisung ins Stromnetz).

PV-Eigenverbrauchsoptimierung (V2H)

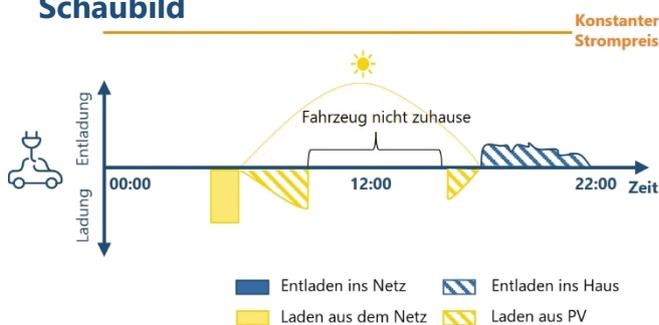
Kostensparnis durch bidirektionales Laden von eigenerzeugtem PV-Strom



Beschreibung

Lade- und Entladevorgänge des Elektrofahrzeugs maximieren den Eigenverbrauch von eigenerzeugtem PV-Strom. Überschussstrom aus der eigenen PV-Anlage, der nicht direkt verbraucht werden kann, wird in der Fahrzeugbatterie zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt zur Versorgung des Haushalts genutzt. So wird Netzbezug vermieden, wodurch sich Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad erhöhen und Strombezugskosten (bei konstantem Strompreis) reduzieren.

Schaubild



Anwendungskategorie V2H (Eigenoptimierung)

Ladeort



Steuerung



Anreiz

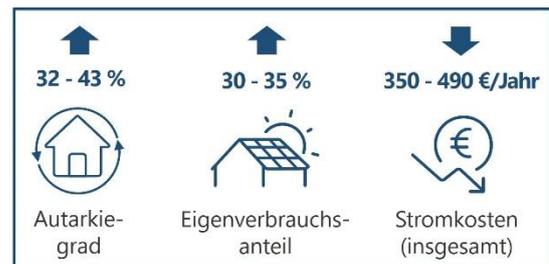


Mehrwert für den Nutzer



Simulationen

- Bidirektionales Laden kann in allen Varianten Kosten senken und Eigenverbrauchsanteil sowie Autarkiegrad erhöhen.
- Zwischen 350 und 490 €/Jahr an Stromkosten können durch bidirektionales Laden gespart werden.
- Wichtige Einflussfaktoren sind der Preisunterschied zwischen Haushaltsstrompreis und PV-Einspeisevergütung sowie das Fahrverhalten der Nutzer:innen.
- In allen Varianten entstehen weniger als 20 zusätzliche Vollzyklen pro Jahr durch bidirektionales Laden.



Wichtige Parameter: Haushaltsverbrauch: ~ 3.100 kWh/Jahr; PV-Anlage: 7 kWp; statischer Strompreis: 32 ct/kWh; PV-Einspeisevergütung: 8 ct/kWh



Aktueller Stand und Herausforderungen

- Technisch gibt es nur noch kleineren Entwicklungsbedarf (bspw. Energiemanagement).
- Regulatorisch ist der Fall bereits heute umsetzbar (da keine Rückspeisung ins Stromnetz).
- „Beständiger Anwendungsfall“, d. h. verhältnismäßig geringe Abhängigkeit von Einflussgrößen wie Haushaltsstrompreis, PV-Einspeisevergütung, PV-Anlagengröße, Haushaltsgröße, Nutzung und Verfügbarkeit des Elektrofahrzeugs.

Zeitliche Arbitrage (V2G)

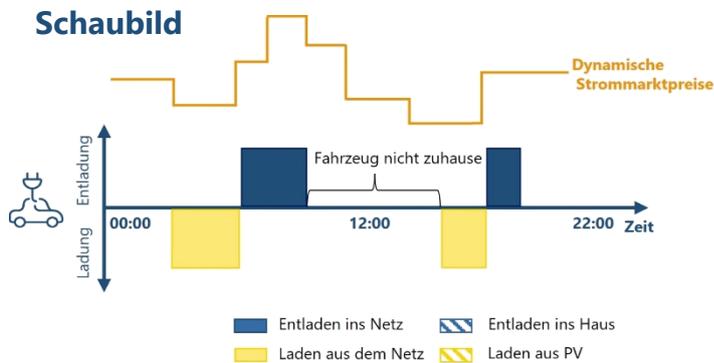
Kostensparnis durch Handel am Strommarkt



Beschreibung

Lade- und Entladevorgänge werden auf Basis der Großhandelsstrommarktpreise (Intraday-Markt) optimiert. Das Elektrofahrzeug lädt zu Zeitpunkten mit niedrigen Strompreisen und entlädt zu Zeiten mit hohen Strompreisen ins öffentliche Stromnetz (Arbitrage-Geschäft). Durch zukünftig weiter steigende Anteile volatiler, erneuerbarer Energien variieren die Marktpreise mitunter stark, was hohe Erlöspotenziale verspricht. Der Haushalt bleibt von diesem Anwendungsfall unberührt.

Schaubild



Anwendungskategorie V2G

Ladeort



Steuerung



Anreiz



Mehrwert für den Nutzer



Simulationen

- In allen Varianten können die Gesamtstromkosten durch bidirektionales Laden gesenkt werden.
- Je nach Variante sind sehr hohe Kostensparnisse mit diesem Anwendungsfall möglich.
- Wichtigste Einflussfaktoren sind die Preisspannen am Großhandelsstrommarkt und eine mögliche Befreiung von Steuern, Abgaben und Umlagen auf rückgespeisten Strom.
- In einigen Varianten entstehen mehr als 20 zusätzliche Vollzyklen pro Jahr durch bidirektionales Laden, wodurch etwaige Garantiebedingungen von Fahrzeugherstellern verletzt werden könnten.

↓
150 - 690 €/Jahr



Stromkosten
(insgesamt)

Wichtige Parameter: Strommarktpreise 2021/ 2022



Aktueller Stand und Herausforderungen

- Für die zeitlich hochaufgelöste Abrechnung wird ein intelligenter Stromzähler und entsprechende Expertise des Stromlieferanten benötigt. Zudem muss ein Energiedienstleister mit eingebunden werden.
- Fahrzeugbatterie und -leistungselektronik werden durch häufiges Laden und Entladen mehr belastet, was durch das Hinterlegen eines Schwellwertes (minimale Preisdifferenz) reduziert werden kann.
- Hohe Ladegleichzeitigkeit bei niedrigen Strompreisen lässt kurzfristig Netzengpässe erwarten. Preisgesteuertes Laden reduziert allerdings die Preisdifferenzen und somit auch die Ladegleichzeitigkeit.
- Regulatorisch ist bidirektionales Laden noch nicht zufriedenstellend definiert. Es gibt derzeit nicht die gleiche Befreiung von Steuern, Abgaben und Umlagen wie bei stationären Batteriespeichern.

PV-Eigenverbrauchserhöhung mit zeitlicher Arbitrage (V2G)

Kostensparnis durch PV-Eigenverbrauch und Handel am Strommarkt



Beschreibung

Lade- und Entladevorgänge werden auf Basis der Großhandelsstrommarktpreise unter Einbezug der eigenen PV-Anlage optimiert. Eigenerzeugter PV-Strom wird prioritär geladen. PV-Überschussstrom wird in der Fahrzeugbatterie zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt zur Versorgung des Haushalts entladen. Zusätzlich wird zu Zeiten günstiger Marktpreise geladen und es kann zu Zeiten hoher Marktpreise entladen werden, um Strom an den Märkten zu verkaufen (Arbitrage-Geschäft). So werden Strombezugskosten minimiert und gleichzeitig Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad erhöht.

Schaubild



Anwendungs-
kategorie V2H/V2G

Ladeort



Steuerung



Anreiz

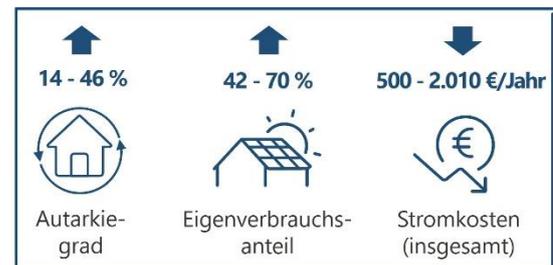


Mehrwert für
den Nutzer



Simulationen

- Die Gesamtstromkosten können durch bidirektionales Laden gesenkt werden, je nach Variante sind sehr hohe Kostensparnisse oder sogar Mehreinnahmen mit diesem Anwendungsfall möglich.
- Wichtige Einflussfaktoren sind die Preisspannen am Großhandelsstrommarkt, die PV-Anlagen- und Haushaltsgröße und die Befreiung von Steuern, Abgaben und Umlagen auf rückgespeisten Strom.
- In einigen Varianten entstehen mehr als 20 zusätzliche Vollzyklen pro Jahr durch bidirektionales Laden, wodurch etwaige Garantiebedingungen verletzt werden könnten.



Wichtige Parameter: Haushaltsverbrauch: ~ 3.100 kWh/Jahr; PV-Anlage: 7 kWp; Strommarktpreise 2021/ 2022; PV-Einspeisevergütung: 8 ct/kWh



Aktueller Stand und Herausforderungen

- Technisch gibt es noch Entwicklungsbedarf aufgrund der Komplexität des Anwendungsfalls.
- Für die zeitlich hochaufgelöste Abrechnung wird ein intelligenter Stromzähler und entsprechende Expertise des Stromlieferanten benötigt. Zudem muss ein Energiedienstleister mit eingebunden werden.
- Fahrzeugbatterie und -leistungselektronik werden durch häufiges Laden und Entladen mehr belastet, was durch das Hinterlegen eines Schwellwertes (minimale Preisdifferenz) reduziert werden kann.
- Regulatorisch ist bidirektionales Laden noch nicht zufriedenstellend definiert.

Systemdienstleistungen durch Vorhaltung von Batteriekapazität (V2G)

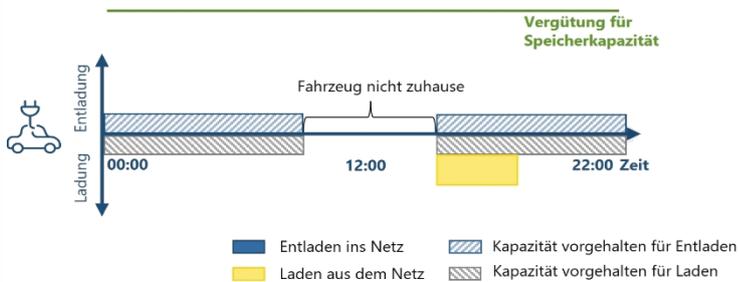
Zusaterlöse durch systemdienliche Nutzung der Fahrzeugbatterie



Beschreibung

Ein festgelegter Anteil der Batteriekapazität des Elektrofahrzeugs wird für Systemdienstleistungen von Eigentümer:innen an einen Anbieter (Energiedienstleister) „vermietet“ und vorgehalten. Der Anbieter kann diese Kapazität gemäß der festgelegten Bedingungen nutzen. Das verlässliche Zurverfügungstellen der Batteriekapazität wird entsprechend finanziell entlohnt.

Schaubild



Anwendungs-
kategorie V2G

Ladeort



Steuerung



Anreiz



Mehrwert für
den Nutzer



Erkenntnisse

- Generell ist die Erbringung von Systemdienstleistungen aus Sicht der Nutzer:innen ein einfacher Anwendungsfall, da kein Bedarf für weitere Komponenten, wie bspw. eine PV-Anlage, besteht.
- Technisch ist die Erbringung von Systemdienstleistungen schon heute möglich.
- Die Größe des Marktes ist limitiert: für die Erbringung von Primärregelleistung (schnellste Regelleistung) würden z. B. ca. 60.000 angesteckte Elektrofahrzeuge ausreichen. Infolgedessen ist auch die Anzahl an Nutzer:innen, die von diesem Anwendungsfall profitieren können, limitiert.
- Die Preisentwicklung an den entsprechenden Märkten ist schwer abzuschätzen, weshalb es kaum möglich ist, verlässliche Erlöspotenziale für diesen Anwendungsfall auszuweisen.



Aktueller Stand und Herausforderungen

- Anwendungsfall mit hohem Entwicklungsbedarf, bspw. Standards zur Vorhaltung und zum Abruf der vorgehaltenen Kapazität speziell für bidirektional ladefähige Elektrofahrzeuge.
- Die Zulassung von Anlagen zur Marktteilnahme bei Systemdienstleistungen (Präqualifikation) ist aufwendig. Wenn jedes bidirektional ladefähige Elektrofahrzeug einzeln präqualifiziert werden muss, stellt dies eine große strukturelle Herausforderung dar.
- Zudem sind Marktmodelle, konkrete Vertragsbedingungen (bspw. eine Mindeststundenzahl der Zurverfügungstellung des Fahrzeugs) und die Höhe der Entlohnung für die Vorhaltung noch nicht ausgestaltet.

Anwendungsfälle – Auswertungsbeispiel

PV-Eigenverbrauchsoptimierung

An dieser Stelle wird die PV-Eigenverbrauchsoptimierung detailliert vorgestellt, da dieser Anwendungsfall aufgrund der verhältnismäßig leichten Realisierbarkeit für Nutzer:innen interessant ist. Alle anderen Anwendungsfälle werden im Abschlussbericht ausführlich erörtert.

Wie funktioniert der Anwendungsfall?

Der Anwendungsfall hat zum Ziel, den Eigenverbrauch des durch die eigene PV-Anlage erzeugten Stroms vor Ort zu maximieren. Dazu wird die Lade- und Entladestrategie des Elektrofahrzeugs so optimiert, dass Strom aus der PV-Anlage zu Zeiten, in denen dieser nicht direkt im Haushalt verbraucht werden kann, im Fahrzeug zwischengespeichert wird. Zu Zeiten, in denen kein PV-Strom produziert wird, wird der zwischengespeicherte Strom aus dem Fahrzeug entladen und im Haushalt verbraucht. Falls der PV-Strom nicht ausreicht, um das Fahrzeug zu laden oder den Haushaltsverbrauch zu decken, wird zusätzlich Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen. Zu keinem Zeitpunkt wird aus dem Fahrzeug entladener Strom in das öffentliche Netz gespeist. Das Fahrzeug wird nie unter eine feste Mindestgrenze entladen. Nutzer:innen können einen Zielfüllstand für den gewünschten Abfahrtszeitpunkt festlegen, sodass das Fahrzeug für geplante Fahrten immer ausreichend geladen ist.

Neben dem Eigenverbrauchsanteil wird durch diesen Anwendungsfall auch der Autarkiegrad des Haushalts erhöht. Nutzer:innen müssen also insgesamt weniger Strom aus dem öffentlichen Netz beziehen und sind dadurch unabhängiger. Zudem ist die Zielsetzung der Eigenverbrauchsoptimierung gleichbedeutend mit einer Minimierung der Stromkosten für die Nutzer:innen, da es immer kostengünstiger ist, eigenerzeugten PV-Strom direkt vor Ort zu verbrauchen oder im Elektrofahrzeug zwischenzuspeichern, als den PV-Strom ins öffentliche Netz einzuspeisen (und später Strom zum Haushaltsstrompreis zu beziehen). Der Grund dafür ist, dass der Haushaltsstrompreis in der Vergangenheit immer deutlich höher war als die Einspeisevergütung für PV-Strom. Auch in Zukunft wird die Einspeisevergütung aller Voraussicht nach geringer sein als der Haushaltsstrompreis. Aus technischer Sicht ist der Anwendungsfall bereits heute umsetzbar. Es bedarf einer intelligenten Steuerung in der

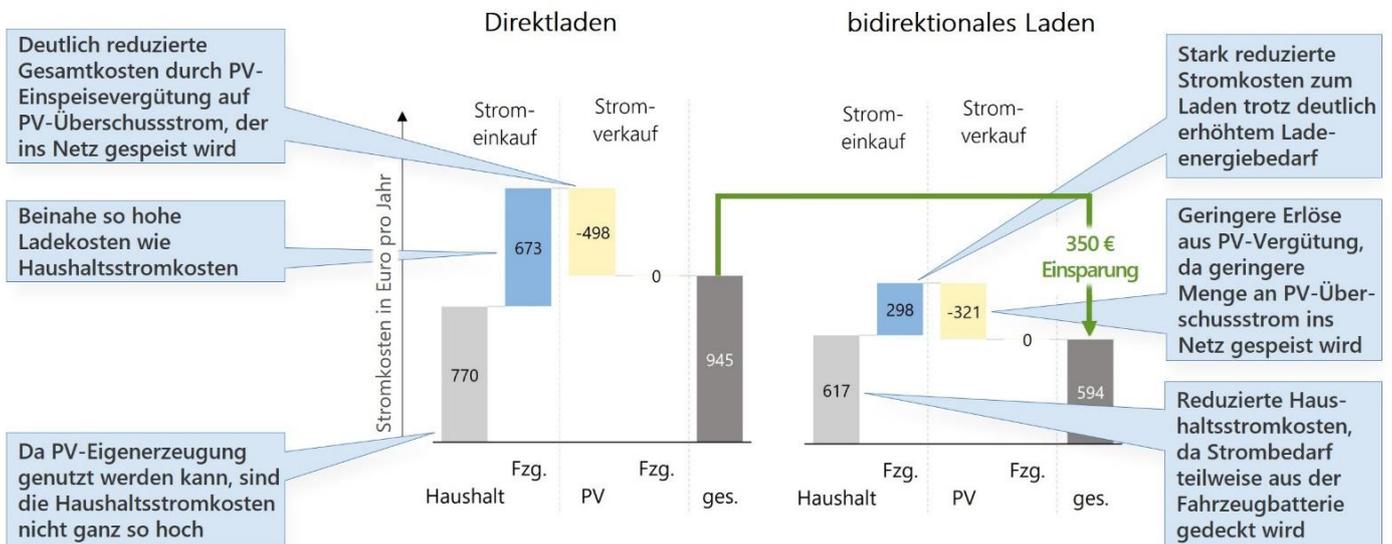
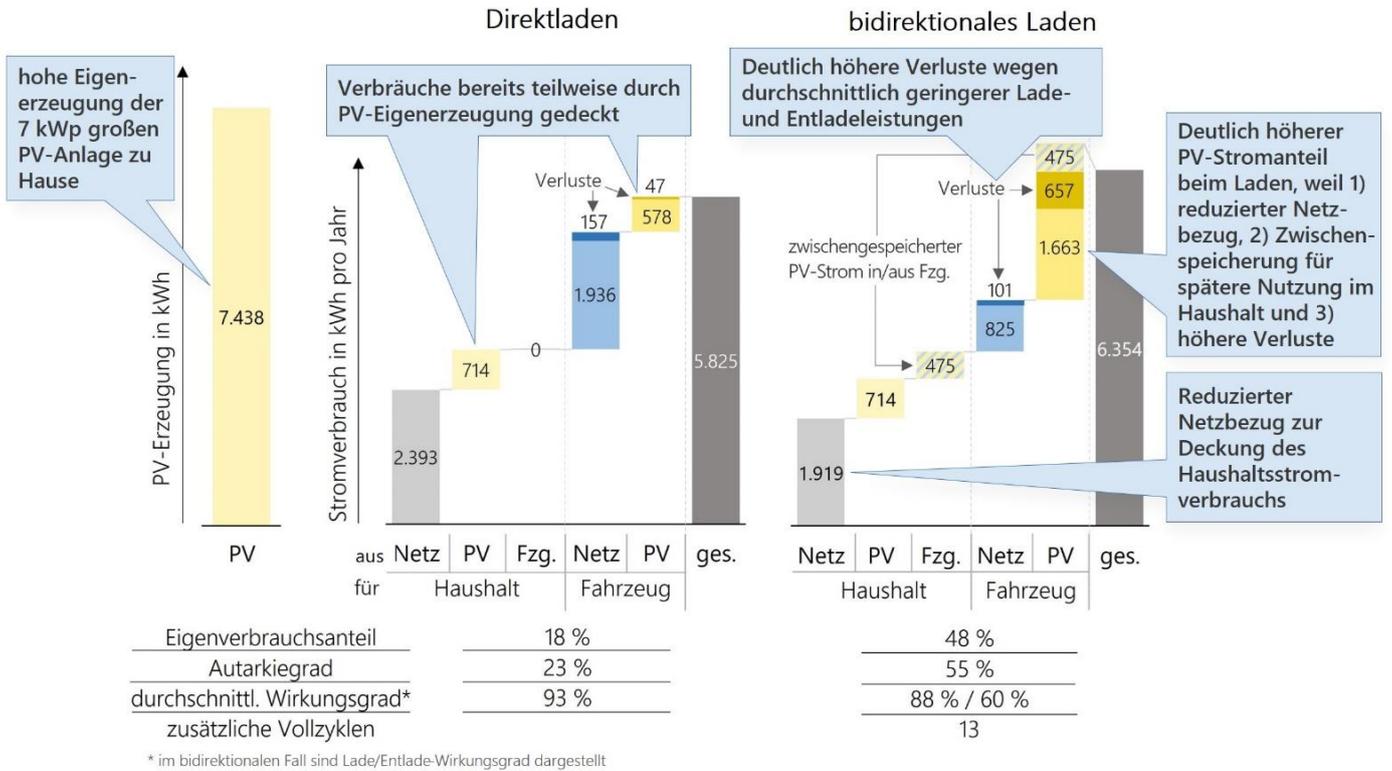
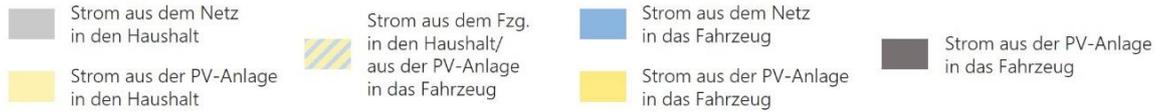
bidirektional fähigen Wallbox oder eines Energiemanagementsystems sowie entsprechender Messtechnik, um PV-Eigenverbrauchsoptimierung umzusetzen. Auch aus rechtlicher Sicht bestehen keine Hindernisse, solange messtechnisch sichergestellt ist, dass ins öffentliche Netz gespeister PV-Strom tatsächlich direkt aus der PV-Anlage und nicht aus dem Elektrofahrzeug stammt.

Welcher Mehrwert ergibt sich für Nutzer:innen aus den Simulationen?

Alle Simulationsergebnisse zeigen, dass sich durch PV-Eigenverbrauchsoptimierung nicht nur Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad erhöhen lassen, sondern auch immer Stromkosten eingespart werden. Wie im entsprechenden Steckbrief dargestellt, liegen die Kostenersparnisse bei jährlich 350 € bis 490 € im Vergleich zum ungesteuerten Direktladen. Es lohnt sich aus Sicht der Nutzer:innen mit Eigenheim und PV-Anlage also, eigenerzeugten PV-Strom im Elektrofahrzeug für den späteren Verbrauch vor Ort zwischenzuspeichern – und das trotz der Speicherverluste, die bei der Zwischenspeicherung im Elektrofahrzeug entstehen. Unter Einbezug der Mehrkosten, die bei Anschaffung der nötigen Komponenten entstehen (siehe S. 5), kann der Anwendungsfall je nach Gegebenheiten vor Ort bereits nach kurzer Zeit für einige Nutzer:innen profitabel sein.

Die **rechts dargestellte Abbildung** zeigt exemplarisch die Ergebnisse für den **Basisfall** (Durchschnittswerte von 200 Simulationen). Dabei werden Simulationsergebnisse des bidirektionalen Ladens im direkten Vergleich zum Direktladen (ungesteuert) und relevante Kennzahlen dargestellt. Wichtige Erkenntnisse sind in den blauen Boxen vermerkt. Im oberen Abschnitt sind die jährliche PV-Erzeugung und der jährliche Stromverbrauch von Haushalt und Fahrzeug zu sehen, wobei nach der Stromherkunft (aus dem öffentlichen Netz, der PV-Anlage oder dem Elektrofahrzeug) unterschieden wird. Zudem werden Lade- und Speicherverluste des Elektrofahrzeugs ausgewiesen. Im unteren Abschnitt sind jährliche Stromkosten und Erlöse dargestellt. Für die Gesamtkosten werden Stromkosten für Haushalt und Fahrzeug aufaddiert und die Erlöse aus dem Verkauf von PV-Strom mittels PV-Einspeisevergütung davon abgezogen.

Simulationsergebnisse Basisfall PV-Eigenverbrauchsoptimierung



Im Basisfall lässt sich der Eigenverbrauchsanteil durch bidirektionales Laden um 30 Prozentpunkte und der Autarkiegrad um 32 Prozentpunkte erhöhen. Aufgrund geringerer Lade- und Entladeleistungen steigen die Verluste beim bidirektionalen Laden an (eine ausführliche Erklärung dazu findet sich im Abschlussbericht). Zudem ergeben sich beim bidirektionalen Laden 13 zusätzliche äquivalente Vollzyklen, was ein moderater Wert ist und vermutlich keinen Einfluss auf etwaige Garantiebedingungen haben würde.

Aus Kostensicht lassen sich durch das bidirektionale Laden im Basisfall jährlich 350 € Kosten einsparen. Die Ersparnisse liegen gemessen an den zu erwarteten Mehrkosten für den Basisfall in einem Bereich, in dem der Anwendungsfall nicht für alle, aber für einige Nutzer:innen profitabel sein wird. Da die Kostenersparnisse tendenziell stabil bleiben, Mehrkosten jedoch sinken werden, wird der Fall zukünftig für immer mehr Nutzer:innen attraktiv werden.

Tipps für Nutzer:innen

Worauf sollte man achten?



Bei der erstmaligen Installation von digitalen Stromzählern und Mess-technik sollte ein interoperables, erweiterbares Messkonzept direkt in Erwägung gezogen werden. So werden Nutzer:innen in der Wahl des Anwendungsfalles nicht eingeschränkt.



Ein Energiemanagementsystem sollte trotz zusätzlicher Anschaffungskosten immer berücksichtigt werden. Es ermöglicht die Umsetzung vieler Anwendungsfälle und die Einbindung von Komponenten unterschiedlicher Hersteller (bspw. auch Wärmepumpen oder stationäre Batteriespeicher). Persönliche Datenschutzansprüche sollten bei der Wahl eines Herstellers mit einbezogen werden.



Die zusätzliche Nutzung der Fahrzeugbatterie durch bidirektionales Laden sollte nicht als prinzipielles Hindernis gesehen werden. Die durch bidirektionales Laden möglichen Kostenvorteile überwiegen in vielen Fällen gegenüber einer zusätzlichen Batteriealterung.



Ein Heimspeicher für die PV-Anlage ist in vielen Fällen nicht zwingend notwendig. Ein bidirektional ladendes Elektrofahrzeug kann einen ähnlichen Mehrwert bei geringeren Kosten bieten.



Ebenso sollte bei Neukauf eines Elektrofahrzeugs darauf geachtet werden, dass dieses bidirektionales Laden beherrscht oder in Zukunft mittels Softwareupdate (Stichwort "bidi-ready") umsetzen kann.



Wenn Nutzer:innen bidirektionales Laden umsetzen, ist es wichtig, dass das Elektrofahrzeug so oft und lange wie möglich an der Wallbox angeschlossen ist.



Falls zukünftig am Markt verfügbar, sollte ein gemeinsamer Wechselrichter für PV-Anlagen und DC-Wallboxen in Betracht gezogen werden. So können Anschaffungskosten reduziert werden.

Fazit

Durch bidirektionales Laden können die Stromkosten privater Haushalte reduziert werden. Zusätzlich können in Verbindung mit einer eigenen PV-Anlage Autarkiegrad und Eigenverbrauchsanteil weiter gesteigert werden. Neben der Beschreibung finanzieller Mehrwerte ergeben sich aus der Studie auch Tipps für Nutzer:innen (links).

Bidirektionales Laden wird mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energien im Stromnetz immer relevanter. Allerdings sind die Mehrkosten für das bidirektionale Laden kurz- bis mittelfristig noch so hoch, dass sich die Technologie zunächst nur für eine kleine Gruppe an Nutzer:innen - abhängig vom individuellen Nutzungsverhalten - finanziell lohnen wird. Langfristig jedoch wird die Umsetzung der Anwendungsfälle aller Voraussicht nach rentabler werden, da Mehrkosten der Anschaffung und des Betriebs sinken werden. Um diesen Skaleneffekt zu unterstützen, sollte der Kauf einer bidirektional fähigen DC-Wallbox für einen schnellen Markthochlauf in den nächsten Jahren bezuschusst werden. Deren hohe Anschaffungskosten stellen aktuell ein großes Hemmnis dar. Erfreulich wenig Hemmnisse sind im Bereich der Technik festzustellen: nach erfolgter Veröffentlichung der Norm ISO 15118-20 haben die Fahrzeughersteller eine Basis, um bidirektional ladefähige Elektrofahrzeuge in Serie zu bauen. Gleiches gilt für entsprechende Wallboxen. In Europa sind seit diesem Jahr erste sog. „bidi-ready“ Fahrzeuge verfügbar. Ab Mitte 2024 ist mit einer größeren Auswahl an bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen und entsprechenden Wallboxen zu rechnen. Für einen zügigen Markthochlauf sollten neue Kommunikationsstandards unmittelbar nach deren Finalisierung kostenfrei für alle Akteure verfügbar sein, um eine schnelle, großflächige Implementierung zu ermöglichen.

Aus rechtlicher Sicht bestehen keine Hemmnisse, die bidirektionales Laden grundlegend verhindern. Allerdings sind manche Rahmenbedingungen nicht ausreichend konkret für bidirektionales Laden ausgestaltet, z. B. bei der Einordnung bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge als mobile Speicher. Diese sollten regulatorisch wie stationäre Speicher behandelt werden, um eine Doppelbelastung durch Steuern, Abgaben und Umlagen bei Ausspeicherung in das öffentliche Stromnetz auszuschließen. Hierbei geht es mindestens um die Befreiung der Netzentgelte und

der Stromsteuer. Der Ladepunkt sollte als Bezugspunkt für die Saldierung der Strommengen definiert werden. Zudem ist eine Begrenzung der maximal zulässigen, durch bidirektionales Laden zusätzlich verursachten Vollzyklen durch die Fahrzeughersteller nicht sinnvoll. Nutzer:innen sollten selbst entscheiden können, ob sie für mögliche Erlöse durch bidirektionales Laden eine zusätzliche Alterung der Batterie durch zusätzliche Vollzyklen in Kauf nehmen wollen.

Da die Technologie zeitnah marktreif ist, sollten am bidirektionalen Laden interessierte Nutzer:innen verstärkt der Frage nachgehen, welche Anwendungsfälle für sie relevant sein können. Je Anwendungsfall kommt der Zwischenbericht zu folgenden Aussagen:

- Die Umsetzung der **PV-Eigenverbrauchsoptimierung** ist einfach und für Eigentümer:innen mit einer eigenen PV-Anlage eine Möglichkeit ihren Autarkiegrad zu erhöhen und die Strombezugskosten im Haushalt deutlich zu senken.
- Es ist derzeit noch fraglich, ob die zu erwartenden Kostenersparnisse durch **dynamische Stromtarife** die Mehrkosten einer zeitnahen Investition in ein bidirektional ladefähiges Elektrofahrzeug und die benötigten Komponenten ausgleichen können.
- Die Umsetzung von **zeitlicher Arbitrage** steigert die Anforderungen an das Messkonzept und durch die zusätzliche Rolle eines Energiedienstleisters die Komplexität. Je nach Strommarktpreisen und untertägigen Preisspannen werden aber hohe Kostenersparnisse für Nutzer:innen ermöglicht.
- Die **Kombination von PV-Eigenverbrauchsoptimierung mit zeitlicher Arbitrage** ist technisch aufwändig, kann aber für PV-Anlagenbesitzer:innen sehr profitabel werden.
- Zum aktuellen Zeitpunkt ist keine **Systemdienstleistung** für die Integration von bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen ausgereift. Es fehlt an ausgestalteten Rahmenbedingungen und Konzepten zur Einbindung.

Eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Anwendungsfälle, weitere technische Informationen und eine rechtlich-regulatorische Einordnung werden zeitnah im Abschlussbericht veröffentlicht. Insgesamt lässt sich feststellen, dass es für private Nutzer:innen ratsam ist, beim Kauf des nächsten Fahrzeuges ein bidirektional ladefähiges Elektrofahrzeug inklusive entsprechender Wallbox in Betracht zu ziehen.

Literaturverzeichnis

- [1] BDL – Bidirektionales Lademanagement - Abschlussbericht der FfE. München: FfE, 2023.
- [2] OCA: OCPP 2.0.1 Part 0 - Introduction. Arnhem, Niederlande: Open Charge Alliance, 2020.
- [3] Open Charge Point Protocol 2.0.1. In <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/>. (Abruf am 2023-08-07); Arnhem, Niederlande: Open Charge Alliance, 2023.
- [4] Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure. Ausgefertigt am 2014-10-22, Version vom 2017-11-18; Brussels: European Parliament and the Council, 2017.
- [5] Monitoringbericht 2022 - Stand 1. Februar 2023. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA), 2023.
- [6] Monitoringbericht 2018. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2019.
- [7] Pressemitteilung: Komfortabel, vernetzt und nachhaltig: neue Lösungen für das Laden der elektrischen Volkswagen Modelle. In <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/komfortabel-ernetzt-und-nachhaltig-neue-loesungen-fuer-das-laden-der-elektrischen-volkswagen-modelle-7695>. (Abruf am 2023-07-24); Wolfsburg: Volkswagen AG, 2021.
- [8] Pressemeldung: Mobilize wählt The Mobility House für ihren Vehicle-To-Grid-Service. In https://www.mobilityhouse.com/de_de/unser-unternehmen/presse/artikel/mobilize-waehlthe-mobility-house-fur-ihren-vehicle-to-grid-service. (Abruf am 2023-07-24); München, Zürich: The Mobility House, 2023.
- [9] Gemeinsame Pressemitteilung: Kooperation mit Pioniercharakter: BMW Group und E.ON schaffen mit „Connected Home Charging“ das erste europaweite Ökosystem für intelligentes Laden zuhause. In <https://www.eon.com/de/ueber-uns/presse/pressemitteilungen/2023/bmw-group-und-eon-schaffen-connected-home-charging.html>. (Abruf am 2023-07-26); Essen: E.ON SE, 2023.
- [10] Dossow, Patrick et al.: BDL Mehrkosten - Steckbrief. München: FfE, 2022.
- [11] Jooß, Niklas et al.: Einfluss der Befreiung von Strompreisbestandteilen auf den Use Case vehicle to grid. ETG Kongress 2023, Kassel: FfE, 2023.
- [12] Kern, Timo et al.: eFlame – electric Flexibility assessment modeling environment. In <https://www.ffe.de/tools/eflame-electric-flexibility-assessment-modeling-environment/>. (Abruf am 2023-08-7); München: FfE, 2023.
- [13] Kern, Timo et al.: Revenue opportunities by integrating combined vehicle-to-home and vehicle-to-grid applications in smart homes. In: Applied Energy online. München: FfE, 2021.
- [14] Fattler, Steffen: Economic and Environmental Assessment of Electric Vehicle Charging Strategies. Dissertation. Herausgegeben durch die TU München, geprüft von Wagner, Ulrich und Wietschel, Martin: München, 2021.

Herausgeber



Am Blütenanger 71
80995 München
+49 (0)89 158121-0
info@ffe.de
www.ffe.de

Zwischenbericht zur Studie

Bidirektionales Laden – Anwendungsfälle aus
Nutzersicht

Veröffentlicht am

05.09.2023

Projektleitung

Jakob Zahler, Patrick Dossow

Bearbeiter:innen

Patrick Dossow, Jakob Zahler, Philipp Stedem,
Kristin Wagner, Dr.-Ing. Timo Kern

Stellv. wissenschaftlicher Leiter

Dr.-Ing. Serafin von Roon

Geschäftsleitung

Dr.-Ing. Christoph Pellingner
Dr.-Ing. Serafin von Roon
Dr.-Ing. Andrej Guminski
Dr.-Ing. Anna Gruber

Im Auftrag von

ADAC e.V.

Bitte zitieren als

FfE (2023): Bidirektionales Laden – Anwendungsfälle
aus Nutzersicht. Zwischenbericht zur Studie im Auf-
trag des ADAC e.V.

ADAC e.V.
Ressort Verkehr
Hansastraße 19
80686 München
adac.de
E-Mail: verkehr.team@adac.de