Fraunhofer

BiFlex Industrie



Bidirektionales Laden an Unternehmensstandorten

Technische Grundlagen, Einsatzmöglichkeiten und Rahmenbedingungen

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

VDE

thuga

chargeBIG powered by MAHLE

Hochschule Karlsruhe University of Applied Sciences

HKA

MARQUARDT

ambibox

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt Nationales Metrologieinstitut

chargebyte

SMART LAB

LADE

Enit

BIDIREKTIONALES LADEN AN UNTERNEHMENSSTANDORTEN

Technische Grundlagen, Einsatzmöglichkeiten und Rahmenbedingungen

Johanna-Viktoria Rößner	**Fraunhofer ISE**	**johanna-viktoria.roessner@ise.fraunhfoer.de**
Sebastian Flemming	**Fraunhofer IOSB-AST**	**sebastian.flemming@iosb-ast.fraunhofer.de**
Jan Eberbach	**Enit (Böhme & Weihs GmbH)**	**jan.eberbach@enit.io**
Luca Husemann	**Universität Duisburg-Essen**	**luca.husemann@uni-due.de**
Anita Porsche	**Marquardt GmbH**	**anita.porsche@marquardt.com**
Dr. Robert Kohrs	**Fraunhofer ISE**	**robert.kohrs@ise.fraunhofer.de**
Leonardo Zingano	**smartlab Innovationsgesellschaft mbH**	**leonardo.zingano@smartlab.de**
Luis Rother	**Fraunhofer ISE**	**luis.rother@ise.fraunhofer.de**

Dieser Bericht kondensiert Ergebnisse des BMWE-geförderten Forschungsprojekts „*BiFlex-Industrie*“ (MV23020) und wurde unter Führung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE vom Projektkonsortium erstellt. Weitere Infos und Veröffentlichungen auf der Projektwebsite: https://www.biflexindustrie.de/

Zitationsvorschlag:
Rößner, J.-V.; Flemming, S.; Eberbach, J.; Husemann, L.; Porsche, A.; Kohrs, R.; Zingano, L.; Rother, L.: *Bidirektionales Laden an Unternehmensstandorten. Technische Grundlagen, Einsatzmöglichkeiten und Rahmenbedingungen*. Fraunhofer ISE, Freiburg, 2026

Stand: Herbst 2026
Version 2611-1

Zusammenfassung

Warum bidirektionales Laden an Unternehmensstandorten relevant ist
Die Elektrifizierung von Fuhrparks und Mitarbeitermobilität ist an Unternehmensstandorten bereits im Gange und macht den Aufbau von Ladeinfrastruktur (LIS) ohnehin erforderlich. Unternehmensstandorte bringen dabei besondere Voraussetzungen mit: Fahrzeuge stehen während der Arbeitszeit oft über Stunden und häufig zeitgleich mit vorhandener PV-Erzeugung. Gleichzeitig ermöglicht die Bündelung vieler Fahrzeuge eine koordinierte Nutzung ihrer Flexibilität. Gleichzeitig gilt: Entscheidend für die tatsächliche Umsetzung ist die Wirtschaftlichkeit – Netz- und Systemdienlichkeit stellen sich nicht automatisch ein, sondern müssen aktiv gestaltet werden. Der Nutzen ist zudem stark standortabhängig; eine pauschale Aussage zur Vorteilhaftigkeit ist nicht möglich.

Anwendungsfälle und Nutzenpotenziale
Für die Einordnung von Anwendungsfällen (AWF) ist die Unterscheidung zwischen „Behind-the-Meter" (lokale Optimierung, Steuerung durch das Unternehmen) und „In-Front-of-the-Meter" (Steuerung durch Lieferanten/Netzbetreiber) zentral. Der größte und am konkretesten belegte Nutzen entsteht im Behind-the-Meter-Bereich, insbesondere durch Peak Shaving, die Erhöhung des PV-Eigenverbrauchs und die Nutzung dynamischer Stromtarife – häufig in Kombination (Multi-Use).

Technische und organisatorische Voraussetzungen
Technisch stehen mit AC- und DC-Ladearchitekturen zwei grundsätzlich gleichwertige Wege zur Verfügung, die sich in der Position der Leistungselektronik (Fahrzeug vs. Ladestation) unterscheiden; keiner der beiden Ansätze hat sich am Markt als klar überlegen erwiesen. Für die praktische Umsetzung ist zudem der Stand der Normung relevant: Obwohl für AC-bidirektionales Laden inzwischen ein standardisierter Kommunikationsrahmen vorliegt, kommen derzeit noch überwiegend herstellerspezifische Lösungen zum Einsatz.
Organisatorisch-technisch übernimmt das Energiemanagementsystem (EMS) die zentrale Koordinationsrolle: Es führt Daten zu Netzbezug, Erzeugung, Fahrzeugverfügbarkeit und Preissignalen zusammen und erzeugt daraus Lade-/Entladevorgaben, die vom Lademanagementsystem technisch umgesetzt werden. Die Erfahrungen aus dem Projekt BiFlex-Industrie zeigen, dass die Integration bidirektionaler LIS machbar, aber anspruchsvoll ist. Fahrzeug, Lademanagementsystem und EMS müssen entlang der gesamten Kommunikationskette zuverlässig zusammenarbeiten. Datenverfügbarkeit ist ein kritischer Erfolgsfaktor; mit steigender Systemkomplexität steigt die beobachtete Fehlerhäufigkeit. An den Demonstrationsstandorten waren mehrmonatige Stabilisierungsphasen erforderlich.

Regulatorische Voraussetzungen
Regulatorische Rahmenbedingungen werden häufig als wesentliches Hemmnis für bidirektionales Laden wahrgenommen. Für viele wirtschaftlich attraktive Anwendungen innerhalb der Kundenanlage bestehen jedoch keine grundlegenden regulatorischen Hindernisse. Herausforderungen ergeben sich vor allem bei Marktintegration, Bilanzierung, Messung und Abrechnung. Gleichzeitig wurden in den vergangenen Jahren wichtige Fortschritte bei Netzentgelten, Umlagen und der Einordnung von Speichern erzielt. Mit der Festlegung zur Marktintegration von Speichern und Ladepunkten (MiSpeL) werden weitere Rahmenbedingungen für die standardisierte Einbindung bidirektionaler Ladeanwendungen geschaffen.

Herausforderungen und offene Punkte
Zentrale Hemmnisse liegen weniger in der grundsätzlichen technischen Machbarkeit als in der Integrationskomplexität, der teils noch fehlenden Standardisierung, einzelnen offenen regulatorischen Fragen sowie der hohen Heterogenität von Unternehmensstandorten – insbesondere bei KMU, die häufig weder personelle Kapazitäten noch spezifisches Know-how für ein eigenständiges Energie- und Lademanagement besitzen. Hierfür zeichnet sich ein Trend zu Full-Service-Angeboten ab.

Schlussfolgerungen
Bidirektionales Laden ist technisch erprobt und kann an geeigneten Standorten einen belegbaren wirtschaftlichen Zusatznutzen erzeugen – vor allem über Lastspitzenreduktion und verbesserte Eigenverbrauchsnutzung, weniger über Marktarbitrage. Der Nutzen ist jedoch im Einzelfall zu prüfen, da er stark von Fuhrpark, Lastprofil und vorhandener Erzeugung abhängt. Wer den Aufbau von LIS ohnehin plant, sollte die bidirektionale Option von Anfang an mitdenken, sich zugleich aber der noch bestehenden technischen Integrationsaufwände und offenen regulatorischen Fragen bewusst sein.

Inhalt

Zusammenfassung **3**

Inhalt **4**

I Abkürzungsverzeichnis **5**

I I Tabellenverzeichnis **6**

I I I Abbildungsverzeichnis **7**

1 Warum jetzt? **8**

2 Anwendungsfälle und Nutzenpotenziale **11**
2.1 Peak Shaving 11
2.2 EE-Eigenverbrauch 12
2.3 Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung und dynamische Stromtarife 13
2.4 Inselbetrieb und Notstromversorgung 14
2.5 Lokaler EE-Eigenverbrauch kombiniert mit dynamischen Stromtarif 15

3 Wirtschaftlichkeit **17**
3.1 Energieprofil 17
3.2 Flottenprofil 18

4 Standort-Schnellcheck **20**

5 Technik, Standards und Architektur **25**
5.1 AC- und DC-Laden 25
5.2 Normung und Interoperabilität 26
5.3 Systemarchitektur und Akteure 26
5.4 EMS und Systemintegration 27
5.5 Daten, Prognosen und Nutzerinformationen 30

6 Organisation und Akzeptanz **32**
6.1 Regulatorik 32
6.2 Organisation 34
6.3 Abrechnung 35
6.4 Akzeptanz 36

7 Praxisbeispiele **39**
7.1 Marquardt (Rietheim-Weilheim) 39
7.2 MAHLE chargeBIG (Stuttgart-Bad Cannstatt) 39
7.3 LADE (Mainz) 39
7.4 Fraunhofer IAO (Stuttgart) 40
7.5 COBIS (Sindelfingen) 40
7.6 Fraunhofer ISE (Freiburg) 40
7.7 BS|ENERGY (Braunschweig) 41

8 Umsetzungsfahrplan **42**

9 Literatur **44**

I Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation
AWF	Anwendungsfall
B2C	Business-to-Consumer
CCS	Combined Charging System
CDR	Charge Detail Record
CPO	Charge Point Operator
CO_2	Kohlendioxid
DC	Direct Current (Gleichstrom)
EE	Erneuerbare Energien
EEX	European Energy Exchange
EMS	Energiemanagementsystem
EnFG	Energiefinanzierungsgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
H2I	Home-to-Industry
ISO	International Organization for Standardization
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LIS	Ladeinfrastruktur
NAV	Niederspannungsanschlussverordnung
NT	Niedertarif
OCPP	Open Charge Point Protocol
OCPI	Open Charge Point Interface
PV	Photovoltaik
SoC	State of Charge (Ladezustand der Batterie)
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
V2G	Vehicle-to-Grid
V2H	Vehicle-to-Home
V2I	Vehicle-to-Industry
V2M	Vehicle-to-Market
V2X	Vehicle-to-X

I I Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Standort-Schnellcheck: Mobilitätsbedarf und Flottenstruktur 20
Tabelle 4.2: Standort-Schnellcheck: Energieinfrastruktur, Daten und Preisstruktur 21
Tabelle 4.3: Standort-Schnellcheck: Organisation, Betrieb und Akzeptanz 22
Tabelle 4.4: Auswertung des Standort-Schnellchecks 23
Tabelle 4.5: Interpretation der Ergebnisse des Standort-Schnellchecks 23
Tabelle 5.1: Vergleich von AC- und DC-basierten bidirektionalen Ladearchitekturen 25
Tabelle 5.2: Komponenten eines bidirektionalen Energiesystems und deren Aufgaben 27
Tabelle 6.1: Maßnahmen zur Förderung der Akzeptanz bidirektionalen Ladens 38

I I I Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Antriebstechnologien im PKW-Verkehr bis 2045 [2] 8
Abbildung 2: Speicherverteilung bis 2026 [3] 9
Abbildung 3: Untergliederung von V2I-AWF 11
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Lastspitzenreduktion durch bidirektionales Laden 12
Abbildung 5: Erhöhung des Eigenverbrauchs erneuerbarer Energien durch bidirektionales Laden 13
Abbildung 6: Tarifoptimierter Lade- und Entladebetrieb auf Basis dynamischer Strompreise 14
Abbildung 7: Versorgung eines Unternehmensstandorts im Inselbetrieb durch bidirektionale Elektrofahrzeuge 15
Abbildung 8: Kombination von Eigenverbrauchsoptimierung und dynamischen Stromtarifen im Multi-Use-Betrieb 16
Abbildung 9: Exemplarische jährliche Energiekosten eines Unternehmensstandorts für unterschiedliche LIS- und Betriebsführungskonzepte 19
Abbildung 11: Symbolhafte Darstellung der Rolle eines EMS 28
Abbildung 12: Customer Journey zur Einführung von bidirektionalem Laden 42

1 Warum jetzt?

Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2045 klimaneutral zu werden. Der Verkehrssektor hat zu diesem Ziel in den vergangenen Jahren vergleichsweise wenig beigetragen, während gleichzeitig eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen in diesem Sektor erwartet wird. Nach übereinstimmender Einschätzung aus der Forschung ist die batterieelektrische Mobilität mittelfristig der einzig realistische Weg, um den Verkehrssektor spürbar zu dekarbonisieren – allerdings nur in Verbindung mit einem zunehmend erneuerbar geprägten Stromsystem. Abbildung 1 zeigt die fast vollständige Verdrängung der Verbrenner durch Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb.

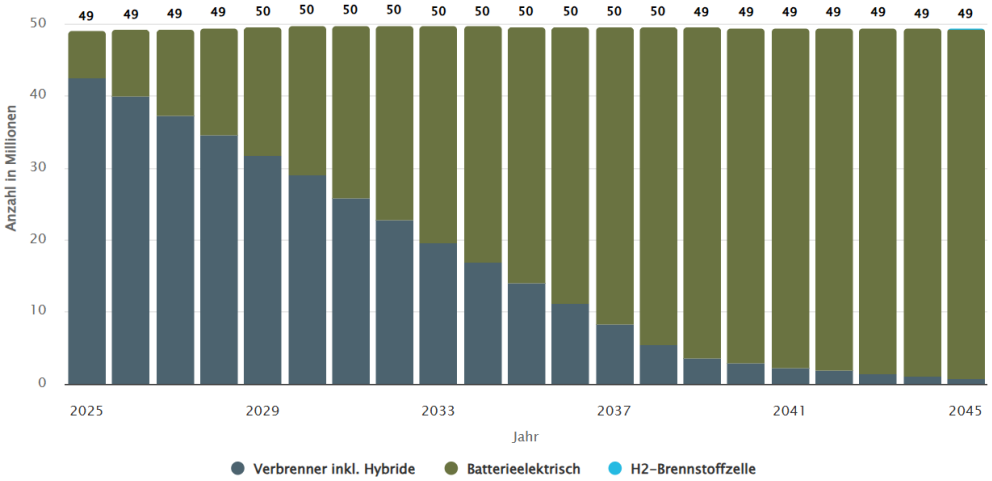


Abbildung 1: Antriebstechnologien im PKW-Verkehr bis 2045 [2]

Unternehmen befinden sich mitten in diesem Wandel: Fuhrparks werden zunehmend elektrifiziert, ebenso ein wachsender Teil der Mitarbeitermobilität. Der Aufbau von LIS an Unternehmensstandorten ist damit zunehmend erforderlich – sowohl aufgrund der fortschreitenden Elektrifizierung von Fahrzeugflotten als auch durch regulatorische Vorgaben wie des Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetzes, das für bestimmte Neu- und Bestandsgebäude Ladeinfrastruktur bzw. entsprechende Vorbereitungen vorsieht. Unternehmensstandorte sind damit ein Ort, an dem sich die Elektrifizierung der Mobilität unmittelbar mit der Energieversorgung des Betriebs verbindet. Wer den Ausbau der LIS ohnehin plant, sollte diesen Zusammenhang von Anfang an mitdenken. Bei größeren Fahrzeugflotten können die erforderlichen Ladeleistungen erhebliche Auswirkungen auf Netzanschluss, Transformatoren und weitere Bestandteile der elektrischen Infrastruktur haben. Gleichzeitig können Fahrzeugbatterien am Unternehmensstandort über ihren eigentlichen Mobilitätszweck hinaus einen betrieblichen Zusatznutzen stiften. Bereits mit unidirektionalem, gesteuertem Laden lassen sich Ladezeitpunkte in günstige Phasen verschieben und Lastspitzen abmildern; bidirektionales Laden erweitert diesen Spielraum zusätzlich um die Möglichkeit der Rückspeisung – etwa zur weiteren Reduktion leistungsabhängiger Netzentgelte oder zur besseren Nutzung zeitvariabler Strompreise. LIS sollte deshalb stets als Bestandteil des Gesamtsystems und nicht isoliert betrachtet werden.

Unternehmensstandorte bringen für bidirektionales Laden einige Voraussetzungen mit, die an anderen Standorten so nicht gegeben sind. Fahrzeuge stehen während der Arbeitszeit oft über mehrere Stunden am Stück – häufig genau in der Zeit, in der eine vorhandene PV-Anlage Strom erzeugt. Diese zeitliche Überschneidung von Standzeit und Erzeugung ist eine zentrale Voraussetzung dafür, dass Fahrzeugbatterien überhaupt sinnvoll als Flexibilitätsressource genutzt werden können.

Hinzu kommt, dass an einem Standort in der Regel eine größere Zahl an Fahrzeugen zusammenkommt – Dienstwagen ebenso wie private Fahrzeuge von Mitarbeitenden.

Diese Bündelung ist Voraussetzung für eine zentrale, koordinierte Steuerung: Einzelne Fahrzeuge leisten für sich genommen nur einen geringen Beitrag zur Energieoptimierung; erst die Aggregation vieler Fahrzeuge zu einem gemeinsam steuerbaren „Flottenkraftwerk“ macht das Potenzial praktisch nutzbar. Unternehmensstandorte bieten damit – im Vergleich etwa zu einzelnen privaten Haushalten – von vornherein eine planbare, konzentrierte und gut steuerbare Ausgangsbasis.
Der weitere Ausbau erneuerbarer Energien erfordert erhebliche zusätzliche Speicherkapazitäten, um die schwankende Erzeugung aus Wind und Sonne auszugleichen. Nach einer Abschätzung wird in Deutschland bis 2045 ein Speicherbedarf in der Größenordnung von mehreren hundert Gigawattstunden erwartet. Batteriespeicher, sowohl stationär als auch mobil in Fahrzeugen, rücken deshalb stärker in den Fokus. Nach derselben Abschätzung könnte ein erheblicher Teil dieses künftigen Speicherbedarfs – möglicherweise mehr als die Hälfte – durch mobile Fahrzeugbatterien gedeckt werden, sofern deren Nutzung gelingt. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Energiespeicherverteilung bis 2026.

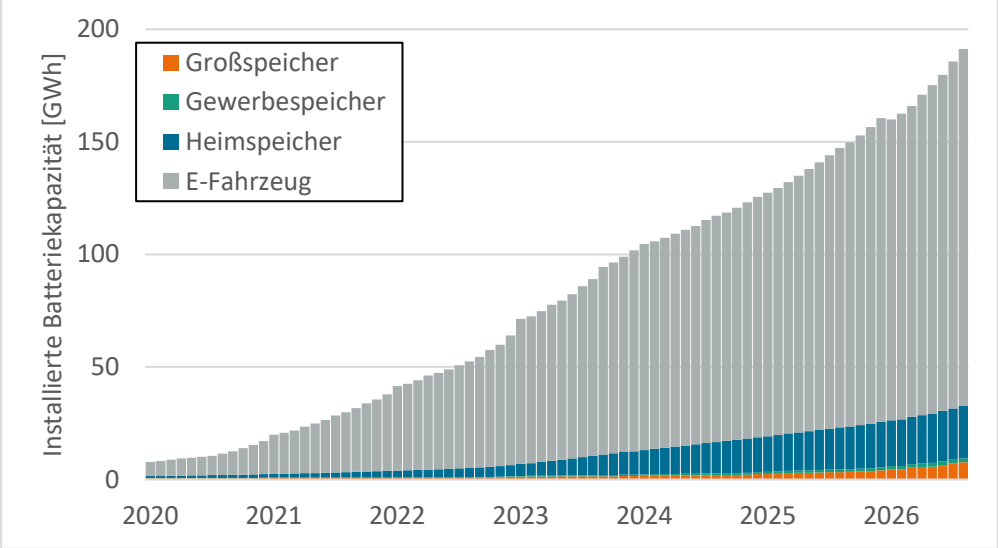


Abbildung 2: Speicherverteilung bis 2026 [3]

Eine vereinfachte Modellrechnung veranschaulicht die Größenordnung des Potenzials: Bei einem angenommenen Bestand von 49 Millionen batterieelektrischen Fahrzeugen mit je rund 10 kW Ladeleistung und rund 50 kWh Batteriekapazität ergäbe sich eine Anschlussleistung von etwa 490 GW und eine Speicherkapazität von rund 2,5 TWh. Diese Zahlen sind als grobe Orientierungsgrößen zu verstehen, nicht als belastbare Prognose.
Wichtig ist auch: Netzdienlichkeit stellt sich nicht automatisch ein, sobald Fahrzeuge bidirektional laden können. Sie muss aktiv gestaltet werden. Bisher wird bidirektionales Laden überwiegend „Behind-the-Meter“ eingesetzt, also zur betrieblichen Optimierung von Lastspitzen und Strombezugskosten. Die netzdienliche Nutzung als Systemdienstleistung – etwa zur Stabilisierung des Netzes – ist der nächste zu erschließende Entwicklungsschritt. Fahrzeugbatterien stehen dabei zugleich in einer gewissen Konkurrenz zu stationären Großbatteriespeichern, die aktuell in großem Umfang zugebaut werden und einfacher zu steuern sind. Langfristig gilt jedoch: Wenn Fahrzeuge ohnehin elektrisch sind und an vielen Standorten stehen, liegt es nahe, dieses Potenzial nicht ungenutzt zu lassen.
Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bringen für bidirektionales Laden sehr heterogene Voraussetzungen mit. Größe, Fuhrparkzusammensetzung, Lastprofile und vorhandene Eigenerzeugung unterscheiden sich von Standort zu Standort erheblich, sodass sich derzeit keine pauschale, allgemeingültige Aussage zum Nutzen ableiten lässt – jede Betrachtung ist im Kern standortspezifisch.

Gleichzeitig verfügen viele KMU weder über die personellen Kapazitäten noch über die spezifische Kompetenz, ein eigenes Energie- und Lademanagement für bidirektionales Laden selbst aufzubauen und zu betreiben. In der Praxis zeichnet sich deshalb ein Trend zu Full-Service-Angeboten ab, die diesen Aufwand für die Unternehmen übernehmen. Dennoch haben auch KMU einen hohen Bedarf an CO2-neutraler Mobilität und stellen in der Summe ein relevantes Flexibilitätspotenzial dar – vorausgesetzt, es stehen funktionierende, einfach nutzbare und auf ihre Situation passende Systeme zur Verfügung. Diesen Einstieg für KMU zu erleichtern, ist eines der zentralen Anliegen dieses Leitfadens.

Auch wenn – wie in den folgenden Kapiteln deutlich wird – nicht alle regulatorischen, technischen und organisatorischen Fragen für einen flächendeckenden Einsatz bereits abschließend geklärt sind, zeigen die beschriebenen Entwicklungen: Die Auseinandersetzung mit bidirektionalem Laden lohnt sich für Unternehmen bereits heute.

2 Anwendungsfälle und Nutzenpotenziale

Die Einsatzmöglichkeiten bidirektionalen Ladens werden häufig unter dem Oberbegriff Vehicle-to-X (V2X) zusammengefasst. Je nachdem, wem die bereitgestellte Energie oder Flexibilität zugutekommt, lassen sich unterschiedliche AWF unterscheiden. Grundsätzlich wird dabei zwischen Anwendungen innerhalb der Kundenanlage (Behind-the-Meter) und Anwendungen mit Wirkung auf das öffentliche Energiesystem (In-Front-of-the-Meter) unterschieden.
Bei Behind-the-Meter-Anwendungen wird die Flexibilität von Elektrofahrzeugen genutzt, um den Energieverbrauch eines Unternehmensstandorts zu optimieren. Die erzeugten Vorteile entstehen dabei unmittelbar innerhalb der Kundenanlage, beispielsweise durch die Reduktion von Lastspitzen, die Erhöhung des Eigenverbrauchs erneuerbarer Energien, die Nutzung dynamischer Stromtarife oder die Bereitstellung von Notstromfunktionen. Die wirtschaftlichen Effekte kommen direkt dem Standortbetreiber zugute und können bereits heute ohne eine Teilnahme an externen Energiemärkten realisiert werden.
In-Front-of-the-Meter-Anwendungen hingegen stellen Flexibilität für das öffentliche Energiesystem bereit. Hierzu zählen beispielsweise netzdienliche Anwendungen oder die Vermarktung von Flexibilität an Energie- und Regelleistungsmärkten. Die erzielten Erlöse entstehen nicht primär durch die Optimierung des eigenen Energieverbrauchs, sondern durch die Bereitstellung von Leistungen für Dritte. Solche Anwendungen erfordern in der Regel zusätzliche technische, regulatorische und organisatorische Voraussetzungen und befinden sich vielerorts noch im Markthochlauf.

Die AWF können nach Art der Nutzung der Flexibilität bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge in Vehicle-to-Industry (V2I), Vehicle-to-Market (V2M), Vehicle-to-Grid (V2G) und Home-to-Industry (H2I) unterteilt werden [4]. Für Unternehmensstandorte sind insbesondere Anwendungen aus dem Bereich Vehicle-to-Industry (V2I) relevant. Darunter wird die Nutzung der Flexibilität bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge und Fahrzeugflotten innerhalb der eigenen Kundenanlage verstanden. Der Schwerpunkt dieses Leitfadens liegt daher auf Behind-the-Meter-Anwendungen, da diese für viele Unternehmen bereits heute die größten und direkt erschließbaren wirtschaftlichen Potenziale bieten.

2.1 Peak Shaving

Beim Peak Shaving wird die Lade- und Entladeflexibilität einer Elektrofahrzeugflotte gezielt eingesetzt, um den maximalen Leistungsbezug aus dem öffentlichen Stromnetz zu begrenzen. Durch ein intelligentes Energiemanagement wird die Ladeleistung in Zeiten hoher Grundlast reduziert oder durch die Rückspeisung aus den Fahrzeugbatterien aktiv kompensiert.

Strategischer Nutzen

Die Leistungsbezugskosten eines Unternehmens werden maßgeblich durch die Jahreshöchstlast (meist basierend auf 15-Minuten-Mittelwerten) bestimmt. Peak Shaving adressiert direkt diese leistungsbezogenen Netzentgelte:

Reduktion der Fixkosten: Durch die Kappung von Lastspitzen wird die abrechnungsrelevante Jahreshöchstlast minimiert, was zu einer signifikanten Senkung der Netzentgelte führt.

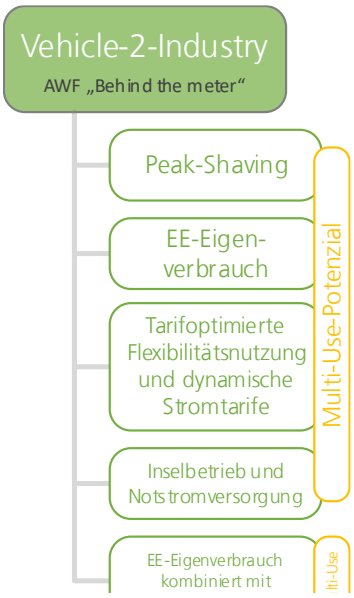


Abbildung 3: Untergliederung von V2I-AWF

Virtuelle Netzkapazitätserweiterung: Bidirektionales Entladen ermöglicht es, Spitzenlasten intern zu decken, ohne die physische Kapazität des Netzanschlusses erweitern zu müssen. Dies vermeidet kostspielige und zeitintensive bauliche Maßnahmen am Netzanschluss.

Umsetzungsstufen

1. **Intelligentes Lastmanagement (Smart Charging):** Gezielte Drosselung oder Unterbrechung der Ladevorgänge bei drohender Überschreitung definierter Leistungsgrenzen.
2. **Aktive Lastkappung (Bidirektional):** Aktive Rückspeisung von Energie aus den Fahrzeugen in das interne Netz, um die Lastkurve effektiv zu glätten.

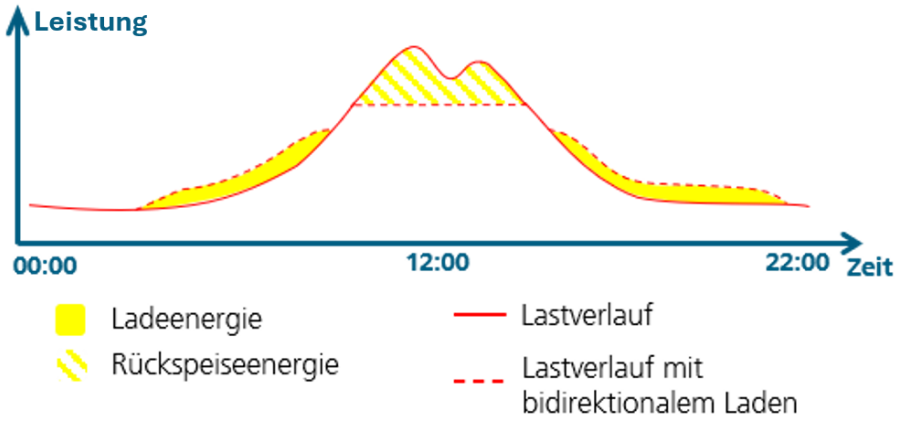


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Lastspitzenreduktion durch bidirektionales Laden

2.2 EE-Eigenverbrauch

Dieser AWF zielt darauf ab, den Eigenverbrauch lokal erzeugter erneuerbarer Energien (EE) zu maximieren. Anstatt Energieüberschüsse aus Anlagen wie Photovoltaik zu geringen Einspeisevergütungen in das öffentliche Netz abzuführen, dienen die Batterien der Elektrofahrzeugflotte als flexible Pufferspeicher. Die Ladevorgänge werden präzise auf die Zeiträume der maximalen Energiebereitstellung abgestimmt.

Strategischer Nutzen

Die direkte Nutzung selbst erzeugter Energie ist wirtschaftlich weitaus attraktiver als der Bezug von Strom aus dem Versorgungsnetz.

Optimierung der Energiekosten: Durch die Maximierung des Eigenverbrauchs werden die energiebezogenen Kosten (Arbeitspreise) konsequent gesenkt.

Nachhaltigkeitsstrategie: Die lokale Nutzung grüner Energie verbessert den CO2-Fußabdruck des Unternehmens nachhaltig und unterstützt die Erreichung der Klimaneutralität des Unternehmens

Wahrnehmung des Unternehmens: Die Bereitstellung von kostengünstigem, lokal erzeugtem Strom steigert die Attraktivität des Unternehmens für Mitarbeitende und fördert die Bindung an den Standort.

Umsetzungsstufen

1. **Synchronisiertes Laden:** Die Ladeleistung wird dynamisch an die aktuelle EE-Erzeugung angepasst, um Überschüsse primär in den Fahrzeugen zu speichern.
2. **Bidirektionale Energiebereitstellung:** Die gespeicherte EE-Energie wird in Zeiten geringer Erzeugung (z. B. bei Unterdeckung der Unternehmenslast)

wieder zurückgespeist, wodurch die Abhängigkeit vom externen Netz weiter reduziert wird.

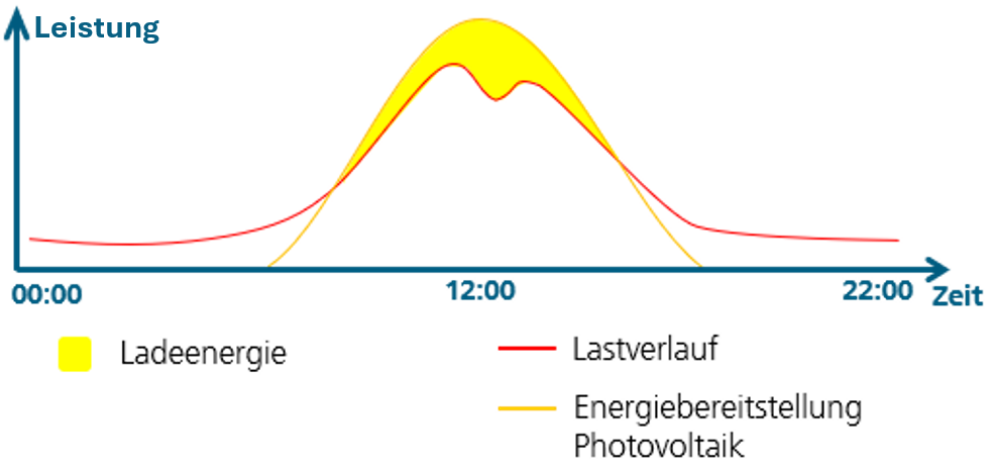


Abbildung 5: Erhöhung des Eigenverbrauchs erneuerbarer Energien durch bidirektionales Laden

2.3 Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung und dynamische Stromtarife

Die tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung steuert Lade- und Entladevorgänge in Abhängigkeit vom jeweils gültigen Arbeitspreis. Angesichts der gesetzlichen Verpflichtung zur Bereitstellung dynamischer Stromtarife (gemäß EnWG) bietet sich hier die Chance, Preissignale der Spotmärkte (Day-Ahead- und Intraday-Märkte) direkt in den Betriebsmodus der Flotte zu integrieren.

Strategischer Nutzen

Das Unternehmen nutzt die Fahrzeugflotte als finanzielles Instrument zur Optimierung der Beschaffungskosten:

Kostenminimierung durch Zeitverschiebung: Der Energiebedarf der Flotte wird systematisch in Zeitfenster mit niedrigen Marktpreisen verlagert.

Arbitrage-Potenzial durch Bidirektionalität: In Phasen hoher Preisvolatilität können Fahrzeuge Energie zurückspeisen, um teure Zukäufe während Preisspitzen zu vermeiden.

Optimierung der Betriebskosten: Die Kombination aus dynamischen Tarifen und bidirektionaler Flexibilität reduziert die Gesamtkosten für die Mobilitätsinfrastruktur erheblich.

Implementierung und Anforderungen

Die Umsetzung erfolgt je nach Tarifstruktur in zwei Varianten:

1. **Statische Tarifoptimierung:** Umsetzung basierend auf festen Preisstrukturen (z. B. HT/NT-Tarifen) mittels lokaler Parametrierung.

2. **Dynamische Marktoptimierung:** Vollautomatische Steuerung durch zyklische Kommunikation mit dem Energieversorger. Hierbei werden die Preisprognosen des Folgetages mit den prognostizierten Verweildauern und dem Ladebedarf der Fahrzeuge abgeglichen, um einen kostenoptimalen Ladeplan zu ge-

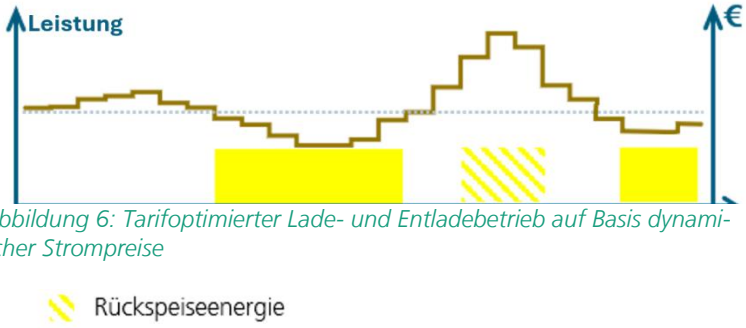


Abbildung 6: Tarifoptimierter Lade- und Entladebetrieb auf Basis dynamischer Strompreise

nerieren.

2.4 Inselbetrieb und Notstromversorgung

Der AWF „Inselbetrieb“ bzw. „Notstromversorgung“ nutzt die installierte Batteriekapazität einer Elektrofahrzeugflotte, um bei einem Ausfall des öffentlichen Versorgungsnetzes die Energieversorgung eines Standortes aufrechtzuerhalten. In einem Blackout-Szenario fungieren die Fahrzeuge als mobile Energiequellen, die das interne Netz stützen und so die Betriebskontinuität kritischer Prozesse sicherstellen, bis die Netzversorgung wiederhergestellt ist.

Strategischer Nutzen

Die Integration bidirektionaler Fahrzeuge in das Notstromkonzept steigert die energetische Resilienz des Unternehmens erheblich:

- **Sicherung des Betriebsstatus:** Durch die Bereitstellung einer temporären Autarkie werden produktionskritische Ausfälle und damit verbundene wirtschaftliche Schäden minimiert.
- **Risikomanagement und Sicherheit:** Die Notstromversorgung ermöglicht es, Anlagen kontrolliert in sichere Betriebszustände zu überführen und potenzielle Umwelt- oder Sicherheitsrisiken, die durch einen abrupten Stromausfall entstehen könnten, zu vermeiden.
- **Effiziente Ressourcennutzung:** Anstatt in stationäre Notstromaggregate (z. B. Dieselgeneratoren) zu investieren, wird die ohnehin vorhandene Kapazität der Elektrofahrzeugflotte als redundante Energiequelle genutzt.

Umsetzungsstrategien

Je nach Kritikalität der Betriebsabläufe können zwei Strategien verfolgt werden:

1. **Vollständige Lastabdeckung:** Die verfügbare Energie der Flotte wird genutzt, um den gesamten Energiebedarf des Standortes zu decken, bis die Kapazitäten erschöpft sind oder das Netz wieder online geht.
2. **Priorisierte Laststeuerung (Unterbrechungsfreie Stromversorgungs-(USV)-Funktionalität):** Die Verbraucher werden anhand unternehmensspezifischer Kriterien segmentiert. In einem Ausfallszenario werden nur hochpriorisierte, kritische Lasten versorgt. Diese Vorgehensweise maximiert die

Überbrückungszeit für essenzielle Systeme und gewährleistet einen geordneten Shutdown nicht-kritischer Bereiche.

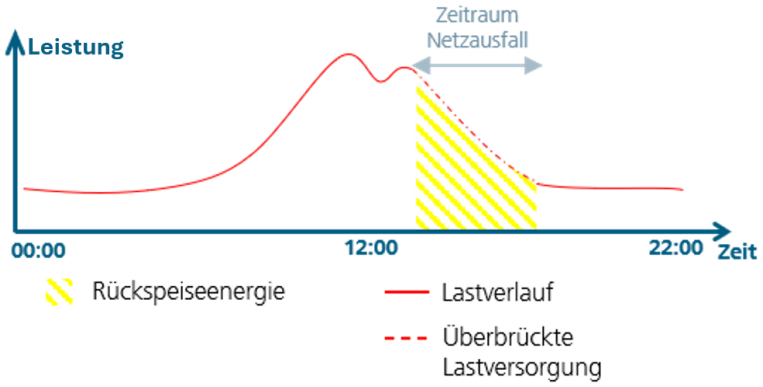


Abbildung 7: Versorgung eines Unternehmensstandorts im Inselbetrieb durch bidirektionale Elektrofahrzeuge

2.5 Lokaler EE-Eigenverbrauch kombiniert mit dynamischen Stromtarif

Dieser AWF demonstriert das Multi-Use-Potenzial bidirektionaler LIS. Anstatt einzelne Optimierungsziele zu verfolgen, werden die Maximierung des lokalen EE-Eigenverbrauchs und die Nutzung dynamischer Stromtarife zu einer ganzheitlichen Energiestrategie kombiniert. Das Ziel ist es, die Ladeenergiebedarfe der Flotte stets über den kostengünstigsten verfügbaren Kanal zu decken: prioritär über die eigene Erzeugung und sekundär über marktoptimierte Bezugszeiträume.

Strategischer Nutzen

Durch die Kombination beider Ansätze steigern Sie die Auslastung und Effizienz Ihrer Flexibilitätsressourcen (Fahrzeugbatterien) signifikant:

Hierarchische Kostenminimierung: Das System priorisiert die Nutzung von kostenlosem Solarstrom (EE-Eigenverbrauch). In Zeiten ohne lokale Erzeugung greift die tarifoptimierte Steuerung, um den Strombezug in die günstigsten Marktphasen zu verschieben.

Maximierung der Arbitrage-Effekte: Durch die bidirektionale Fähigkeit können Fahrzeuge Energie speichern, die entweder kostenfrei (lokal EE) oder günstig (dynamischer Tarif) bezogen wurde, und diese in Hochpreisphasen zurückspeisen. Dies senkt die Gesamtkosten des Strombezugs für das gesamte Unternehmen.

Optimierte Ressourcenallokation nach Nutzergruppen: Das System kann unterschiedliche Nutzerprofile strategisch steuern:

Mitarbeiterfahrzeuge: Nutzung der tagsüber vorhandenen Fahrzeuge zur Maximierung des PV-Eigenverbrauchs.

Dienstflotte: Nutzung der nachts anwesenden Fahrzeuge zur Ausnutzung dynamischer Niedrigpreisphasen.

Umsetzungsstrategie

Die Steuerung folgt einer intelligenten Prioritätenmatrix:

1. **Priorität (Lokale Erzeugung): Bei EE-Überschüs**sen wird die Ladeleistung maximiert, um die Netzeinspeisung zu minimieren und den Eigenverbrauch zu steigern.
2. **Priorität (Marktoptimierung):** Außerhalb der EE-Erzeugungszeiten steuert das System die Ladevorgänge basierend auf den Preissignalen des dynamischen Stromtarifs.

3. **Priorität (Strategische Rückspeisung):** In Phasen hoher Marktpreise oder bei Unterdeckung der lokalen Erzeugung wird gespeicherte Energie zurückgegeben, um teure Zukäufe zu vermeiden.

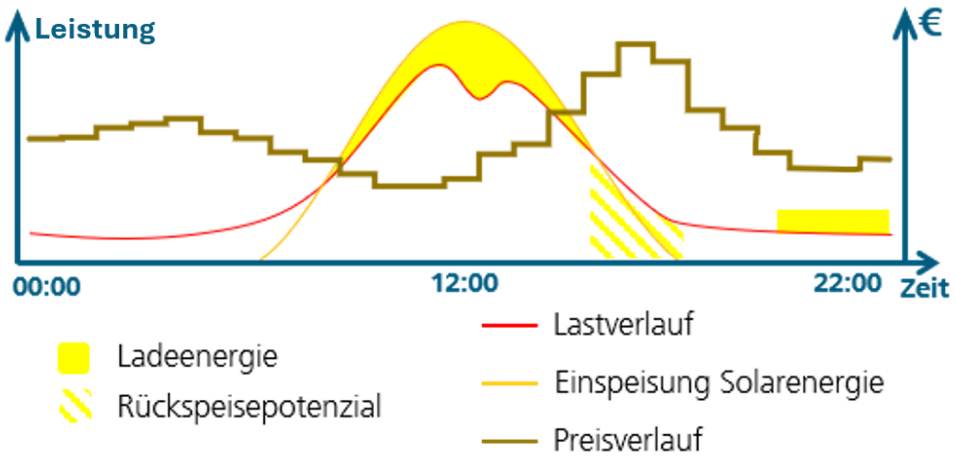


Abbildung 8: Kombination von Eigenverbrauchsoptimierung und dynamischen Stromtarifen im Multi-Use-Betrieb

Zusammenfassender Mehrwert
Das Unternehmen erreicht durch diesen integrierten Ansatz eine maximale Reduktion der Energiekosten bei gleichzeitiger Verbesserung des CO2-Fußabdrucks. Die Elektrofahrzeugflotte wird somit vom reinen Kostenfaktor zu einem aktiven Element des betrieblichen Energiemanagements.

3 Wirtschaftlichkeit

Bidirektionales Laden birgt ein vielversprechendes wirtschaftliches Potenzial. Dennoch lässt sich die Frage, ob bidirektionales Laden für einen Unternehmensstandort wirtschaftlich sinnvoll ist, nicht pauschal beantworten. Dafür sind die Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einzelner AWF oder deren Kombinationen zu vielfältig. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die wesentlichen Einflussgrößen und zeigt exemplarisch, welche Einsparungen durch bidirektionales Laden möglich sein können. Den potenziellen Einsparungen und Erlösen stehen dabei die Kosten gegenüber, die mit einer Investition in bidirektionale LIS verbunden sind.
Der wirtschaftliche Nutzen hängt jeweils vom zugrunde liegenden AWF ab. Beim Peak Shaving entsteht der Nutzen durch die Reduzierung von Lastspitzen und die damit verbundene Verringerung leistungsabhängiger Netzentgelte. In einzelnen im Projekt Bi-Flex-Industrie untersuchten Szenarien konnten bereits durch die Nutzung eines einzelnen bidirektional betriebenen Fahrzeugs relevante Einsparungen in der Größenordnung von rund 2.000 € pro Jahr erzielt werden. Die tatsächlichen Einsparungen hängen jedoch maßgeblich von Netzanschluss, Lastprofil und Tarifstruktur des jeweiligen Unternehmensstandorts ab. Bei der Eigenverbrauchsoptimierung wird der Netzbezug insgesamt reduziert, sodass weniger Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen werden muss. Bei der Nutzung dynamischer Stromtarife ergibt sich ein Arbitrage-Effekt, bei dem Energie zu günstigen Preisen bezogen und zu Zeiten höherer Strompreise aus der Fahrzeugbatterie bereitgestellt wird. AWF wie Notstromversorgung oder Inselbetrieb zeichnen sich hingegen dadurch aus, dass sie im Vergleich zu einer Investition in stationäre Notstromaggregate geringere Opportunitätskosten verursachen.
Grundlegende Voraussetzung für den Betrieb bidirektionaler LIS, aber auch für die intelligente Steuerung unidirektionaler LIS, ist ein EMS (siehe Kapitel 5.2). Darauf aufbauend entstehen zunächst Kosten für die Errichtung der Ladeinfrastruktur. Die Investitionskosten bidirektionaler LIS liegen grundsätzlich über denen vergleichbarer unidirektionaler Systeme. Wird ohnehin Ladeinfrastruktur aufgebaut, sind für die Entscheidung über bidirektionales Laden jedoch vor allem die Mehrkosten gegenüber einer unidirektionalen Lösung relevant.
Die Höhe dieser Mehrkosten hängt maßgeblich von der eingesetzten Technologie ab. AC-LIS wird am Markt in der Regel zu deutlich geringeren Kosten angeboten als leistungsgleiche DC-LIS. Der wesentliche Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen Positionierung der Leistungselektronik: Bei DC-Ladesystemen befindet sich der Ladeumrichter in der Ladeinfrastruktur, während er bei AC-Ladesystemen im Fahrzeug integriert ist (siehe Kapitel 5.1). Zusätzliche Kosten entstehen durch Planung, Installation, Integration der LIS in das Energiemanagement sowie durch Wartung und Versicherung im laufenden Betrieb. Diese Kosten unterscheiden sich jedoch häufig nur geringfügig von denen vergleichbarer unidirektionaler Systeme.
Den Investitionskosten stehen potenzielle Einsparungen gegenüber. Das wirtschaftliche Potenzial bidirektionalen Ladens für lokale AWF hängt wesentlich von den spezifischen Eigenschaften eines Unternehmensstandorts ab. Dabei gilt grundsätzlich, dass die Einsparungen immer relativ zum Energieprofil des jeweiligen Standorts zu betrachten sind. Ausgangspunkt jeder Bewertung sind somit die energetischen Randbedingungen, die bestimmen, welche Optimierungsmaßnahmen wirtschaftlich sinnvoll sind.

3.1 Energieprofil

Bei der Analyse des Energieprofils ist insbesondere die zeitliche Struktur des Stromverbrauchs relevant. Entscheidend ist dabei, ob Lastspitzen auftreten und zu welchen Zeitpunkten diese entstehen. Einzelne hohe Lastspitzen lassen sich häufig gezielt abfangen und können dadurch die leistungsabhängigen Netzentgelte reduzieren. Für die

Abschätzung der Wirtschaftlichkeit ist deshalb die Kenntnis der jeweiligen Netzentgelte erforderlich, die vom zuständigen Netzbetreiber unter Aufsicht der Bundesnetzagentur festgelegt werden.
Bei eher gleichmäßigen Lastprofilen kann hingegen die zeitliche Verschiebung des Strombezugs in Abhängigkeit der Strompreise wirtschaftlich attraktiver sein. Die Höhe möglicher Einsparungen hängt dabei unmittelbar vom gewählten Stromtarif ab. Erst dynamische beziehungsweise zeitvariable Tarife schaffen die Grundlage dafür, dass eine zeitliche Verlagerung von Lade- und Entladevorgängen zu wirtschaftlichen Vorteilen führt. Sind am Unternehmensstandort zusätzliche Erzeugungsanlagen, beispielsweise PV-Anlagen, vorhanden, eröffnet sich darüber hinaus die Möglichkeit, den Netzbezug insgesamt zu reduzieren.

3.2 Flottenprofil

Neben dem Energieprofil spielt das Flottenprofil eine zentrale Rolle. Es bestimmt, in welchem Umfang die energetischen Anforderungen eines Unternehmens durch bidirektionales Laden überhaupt adressiert werden können. Die maximal erreichbaren Einsparungen hängen wesentlich von der verfügbaren aggregierten Speicherkapazität der Fahrzeugflotte ab. Entscheidend sind daher die Anzahl der Fahrzeuge, die Größe ihrer Batterien sowie deren zeitliche Verfügbarkeit.
Die Verfügbarkeit der Fahrzeuge muss dabei mit dem Auftreten potenzieller Lastspitzen oder mit Zeiten hoher erneuerbarer Stromerzeugung zusammenfallen. Lange und planbare Standzeiten während der Arbeitszeit stellen deshalb grundsätzlich günstige Voraussetzungen für bidirektionale Anwendungen dar. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass insbesondere bei Mitarbeiterfahrzeugen häufig zusätzliche finanzielle oder organisatorische Anreize erforderlich sind, damit Fahrzeuge tatsächlich regelmäßig angeschlossen werden.
Aus der Kombination von Energie- und Flottenprofil lässt sich schließlich der tatsächliche Bedarf an bidirektionaler Ladeinfrastruktur ableiten. Dabei ist zu beachten, dass ein größerer Fahrzeugbestand nicht automatisch zu höheren wirtschaftlichen Vorteilen führt. Ab einer bestimmten verfügbaren Speicherkapazität können Lastspitzen bereits vollständig reduziert oder lokale Erzeugungsüberschüsse vollständig genutzt werden. Zusätzliche Fahrzeuge führen dann nicht zwangsläufig zu weiteren Einsparungen. Die größten wirtschaftlichen Vorteile entstehen häufig bereits durch den Übergang von ungesteuertem zu intelligent gesteuertem Laden. Bidirektionale Funktionen können diese Potenziale zusätzlich erweitern, erhöhen jedoch nicht zwangsläufig die Wirtschaftlichkeit im selben Maß.
Ist die für einen lokalen AWF erforderliche Anzahl an Fahrzeugen erreicht und stehen weitere Fahrzeuge zur Verfügung, können diese grundsätzlich für zusätzliche In-Front-of-the-Meter-Anwendungen genutzt werden.
Einen beispielhaften Eindruck vom wirtschaftlichen Potenzial verschiedener AWF vermittelt das nachfolgende Beispiel. Betrachtet wird ein Unternehmensstandort mit dynamischem Stromtarif sowie einer Flotte aus Pool- und Dienstfahrzeugen, die tagsüber überwiegend am Unternehmensstandort verfügbar sind. Insgesamt stehen an diesem Standort 37 Ladepunkte zur Verfügung. Die folgende Abbildung zeigt die möglichen Einsparungen durch intelligentes Laden, durch eine teilweise Ausstattung mit bidirektionaler LIS sowie durch eine vollständig bidirektionale Ladeinfrastruktur. Die dargestellte Optimierung kombiniert Peak Shaving und die Nutzung dynamischer Stromtarife. Grundlage der Werte sind empirische Untersuchungen und Simulationen aus dem Projekt BiFlex-Industrie.

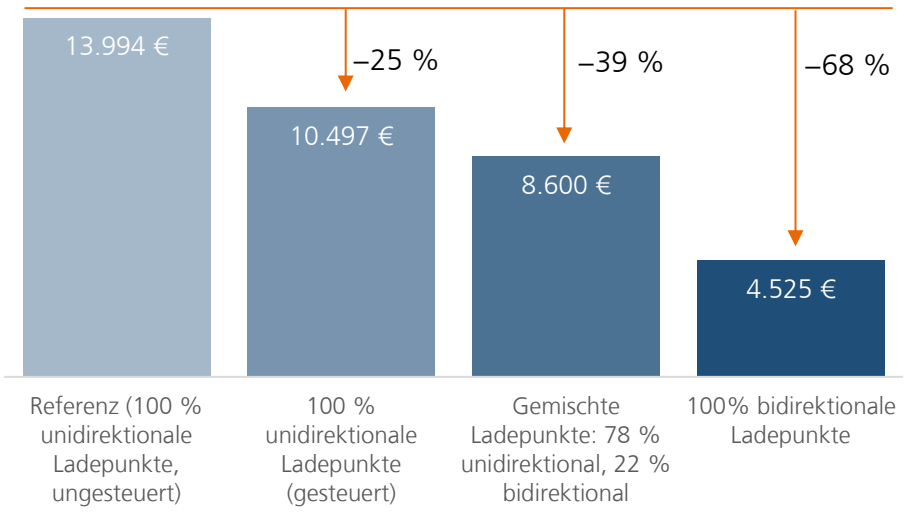


Abbildung 9: Exemplarische jährliche Energiekosten eines Unternehmensstandorts für unterschiedliche LIS- und Betriebsführungskonzepte

Die dargestellten Einsparungen verdeutlichen das grundsätzlich hohe wirtschaftliche Potenzial bidirektionalen Ladens. Die Ergebnisse sind jedoch nicht allgemein auf andere Unternehmensstandorte übertragbar. Für jeden Standort müssen die jeweiligen technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen individuell analysiert werden, um belastbare Aussagen über das tatsächlich vorhandene Potenzial treffen zu können.
Eine ausführliche Darstellung der Wirtschaftlichkeit des bidirektionalen Ladens findet sich in [1].

4 Standort-Schnellcheck

Der Standort-Schnellcheck unterstützt Unternehmen bei einer ersten Einschätzung, ob die Voraussetzungen für bidirektionales Laden an einem Unternehmensstandort grundsätzlich günstig sind. Er ersetzt keine technische Planung oder Wirtschaftlichkeitsrechnung, zeigt jedoch, in welchen Bereichen bereits gute Ausgangsbedingungen bestehen und wo vor einer Umsetzung vertiefte Analysen erforderlich sind.

Bewertungslogik

Wählen Sie je Prüffrage genau eine Ampelfarbe. Grün steht für eine gute Voraussetzung oder ein hohes erschließbares Potenzial, Gelb für teilweise erfüllte Voraussetzungen beziehungsweise Klärungsbedarf und Rot für derzeit ungünstige Ausgangsbedingungen oder einen höheren Vorbereitungsaufwand. Die Ampel ist als Orientierung zu verstehen: Ein rotes Kriterium schließt eine Umsetzung nicht grundsätzlich aus.

Betrieblicher Mobilitätsbedarf und Flottenstruktur

Die nutzbare Flexibilität wird durch Fahrzeugbestand, Elektrifizierungsgrad, technische Eignung, Nutzungskonzept, Anwesenheit und Mobilitätsbedarf bestimmt. Die Fragen führen daher vom allgemeinen Flottenpotenzial zur tatsächlich steuerbaren Flexibilität.

Tabelle 4.1: Standort-Schnellcheck: Mobilitätsbedarf und Flottenstruktur

Prüffrage	Grün · 2 Punkte	Gelb · 1 Punkt	Rot · 0 Punkte
Fahrzeugbestand im Unternehmen Wie viele betrieblich genutzte Pool-, Dienst-, Service-, Logistik- oder Werksfahrzeuge bestehen insgesamt?	Mehr als 20 Fahrzeuge	5 bis 20 Fahrzeuge	Weniger als 5 Fahrzeuge
Elektrifizierungsgrad und Ausbauplanung Wie viele Fahrzeuge sind bereits elektrisch oder verbindlich zur Elektrifizierung vorgesehen?	Relevanter Anteil elektrisch oder verbindliche Ausbauplanung	Einzelne Elektrofahrzeuge; weiterer Ausbau grundsätzlich vorgesehen	Keine Elektrofahrzeuge und keine konkrete Planung
Bidirektional ladefähige Fahrzeuge Stehen heute oder im Rahmen der geplanten Flottenentwicklung bidirektional ladefähige Fahrzeuge für den Standort zur Verfügung?	Mehrere geeignete Fahrzeuge verfügbar oder verbindlich beschafft	Einzelne geeignete Fahrzeuge oder Beschaffung wird geprüft	Keine geeigneten Fahrzeuge und keine Beschaffungsplanung
Steuerbarkeit der Fahrzeugnutzung Wie gut lassen sich Nutzungsanforderungen, Abfahrtszeiten und Ladeprioritäten organisatorisch steuern?	Überwiegend zentral disponierte Pool-, Service- oder Flottenfahrzeuge	Gemischte Flotte mit teilweise steuerbaren Fahrzeugen	Überwiegend individuell genutzte Fahrzeuge ohne zentrale Steuerungsmöglichkeit
Gleichzeitige Verfügbarkeit und Standzeiten Wie viele geeignete Fahrzeuge stehen typischerweise gleichzeitig und über einen ausreichend langen Zeitraum für Lade- oder Flexibilitätsmaßnahmen zur Verfügung?	Viele Fahrzeuge gleichzeitig verfügbar und meist länger als 6 Stunden planbar vor Ort	Verfügbarkeit oder Aufenthaltsdauer schwanken, sind aber teilweise prognostizierbar	Nur wenige Fahrzeuge verfügbar oder meist kurze bzw. schlecht planbare Aufenthaltszeiten
Batteriekapazität zu Fahrbedarf Bleibt nach Erfüllung des Mobilitätsbedarfs überhaupt noch ausreichend Batteriekapazität für Flexibilitätsanwendungen übrig?	Deutliche Reserve; täglicher Fahrbedarf gering	Reserve vorhanden, aber nutzungsabhängig	Kapazität weitgehend für Fahrten benötigt

Prüffrage	Grün · 2 Punkte	Gelb · 1 Punkt	Rot · 0 Punkte
Flottenleistung zu Standortspitze Ist die gleichzeitig steuerbare Lade- bzw. Entladeleistung der Fahrzeugflotte ausreichend, um die Lastspitze des Standorts spürbar zu beeinflussen?	Die steuerbare Flottenleistung entspricht mehr als 20 % der bisherigen Lastspitze	Die steuerbare Flottenleistung entspricht 10 bis 20 % der bisherigen Lastspitze	Die steuerbare Flottenleistung entspricht weniger als 10 % der bisherigen Lastspitze oder ist unbekannt

Energieinfrastruktur, Daten und Preisstruktur

In diesem Bereich werden die technisch-wirtschaftlichen Hebel des Standorts betrachtet. Eine vorhandene Lade- und Dateninfrastruktur senkt den Einführungsaufwand. Leistungspreise, wiederkehrende Lastspitzen, Eigenerzeugung und zeitvariable Arbeitspreise können geeignete AWF begründen.

Tabelle 4.2: Standort-Schnellcheck: Energieinfrastruktur, Daten und Preisstruktur

Prüffrage	Grün · 2 Punkte	Gelb · 1 Punkt	Rot · 0 Punkte
LIS Ist am Standort eine ausreichend ausgebaute und steuerbare LIS vorhanden oder mit vertretbarem Aufwand realisierbar?	Mehrere steuerbare Ladepunkte mit dokumentierten Schnittstellen	Ladepunkte vorhanden, Steuerbarkeit oder Schnittstellen unklar	Keine LIS oder nur nicht steuerbare Einzellösungen
Bidirektionale Kompatibilität Sind Fahrzeuge, LIS und Schnittstellen für den Einsatz bidirektionaler Ladeanwendungen technisch kompatibel?	Kompatible Komponenten vorhanden oder konkret beschaffbar	Einzelne Komponenten geeignet; Systemfreigabe offen	Keine geeigneten Komponenten oder technische Prüfung fehlt
Netzanschluss und Reserven Verfügt der Standort über ausreichende Netzanschlusskapazitäten für den geplanten Ausbau von Lade- und Flexibilitätsanwendungen?	Anschlussdaten und Reserven bekannt; Ausbau nicht kritisch	Prüfung oder Abstimmung mit Netzbetreiber erforderlich	Anschluss ausgelastet oder Unterlagen fehlen
Leistungspreis im Stromvertrag Besteht durch den Stromvertrag ein wirtschaftlich relevantes Potenzial zur Reduzierung von Leistungsspitzen?	Leistungspreis ist bekannt und wirtschaftlich relevant	Leistungspreis vorhanden, Bedeutung noch nicht bewertet	Kein relevanter Leistungspreis oder Vertragsstruktur unbekannt
Bisherige Lastspitze Sind Höhe, Zeitpunkt und Ursache der bisherigen Lastspitzen am Standort bekannt?	15-Minuten-Höchstlast und Ursachen bekannt	Wert bekannt, Ursachen oder Wiederholbarkeit unklar	Lastspitze nicht bekannt
Lastprofil und Fahrzeugüberschneidung Stehen Fahrzeuge typischerweise zu den Zeitpunkten am Standort zur Verfügung, in denen hohe elektrische Lasten auftreten?	Regelmäßige zeitliche Überschneidung	Teilweise oder saisonale Überschneidung	Keine Überschneidung oder Daten fehlen

Prüffrage	Grün · 2 Punkte	Gelb · 1 Punkt	Rot · 0 Punkte
Eigenerzeugung und Überschüsse Entstehen am Standort regelmäßig Energieüberschüsse, die durch Fahrzeuge gespeichert oder zeitlich verschoben genutzt werden können?	Relevante Überschüsse während Fahrzeuganwesenheit	Eigenerzeugung vorhanden, Überschüsse begrenzt oder unklar	Keine Eigenerzeugung und keine Planung
Tarif- und Beschaffungsflexibilität Kann das Unternehmen von zeitvariablen Strompreisen oder flexiblen Beschaffungsmodellen profitieren?	Dynamischer/variabler Tarif oder flexible Beschaffung nutzbar	Tarifwechsel beziehungsweise Anpassung grundsätzlich möglich	Starrer Tarif; keine kurzfristige Anpassungsmöglichkeit
Energiemonitoring und Datenqualität Liegen ausreichend Energiedaten und Lastganginformationen vor, um Flexibilitätspotenziale belastbar bewerten zu können?	Mindestens 12 Monate vollständige Lastgangdaten; relevante Unterzähler	Daten teilweise vorhanden oder mit Lücken	Keine geeigneten Zeitreihen verfügbar
EMS Ist ein EMS vorhanden oder kann eine zentrale Steuerung der Energieflüsse am Standort aufgebaut werden?	EMS vorhanden, erweiterbar und mit geeigneten Schnittstellen	Teilfunktionen vorhanden; Integrationsprüfung erforderlich	Kein EMS und keine steuerbare Systemumgebung

Organisation, Betrieb und Akzeptanz

Bidirektionales Laden verbindet Fuhrpark, Energieversorgung, IT und die Anforderungen der Fahrzeugnutzenden. Klare Verantwortlichkeiten, definierte Mobilitätsprioritäten und ein geregelter Umgang mit Störungen sind daher ebenso wichtig wie die Technik.

Tabelle 4.3: Standort-Schnellcheck: Organisation, Betrieb und Akzeptanz

Prüffrage	Grün · 2 Punkte	Gelb · 1 Punkt	Rot · 0 Punkte
Verantwortung und Projektteam Sind die Verantwortlichkeiten für Planung, Umsetzung und Betrieb von Lade- und Flexibilitätslösungen im Unternehmen klar definiert?	Verantwortliche benannt; relevante Bereiche eingebunden	Zuständigkeiten teilweise geklärt	Keine klare Verantwortung
Mobilitätsanforderungen und Fahrtenplanung Lassen sich Mobilitätsanforderungen wie Abfahrtszeiten, Mindest-Ladezustände und Fahrzeugprioritäten ausreichend zuverlässig erfassen und planen?	Digital verfügbar und überwiegend planbar	Teilweise digital oder nur für einzelne Fahrzeuggruppen	Nicht verfügbar oder überwiegend spontan

Prüffrage	Grün · 2 Punkte	Gelb · 1 Punkt	Rot · 0 Punkte
IT, Schnittstellen und Datenfreigaben Sind die erforderlichen IT-Schnittstellen, Datenfreigaben und Verantwortlichkeiten für die Systemintegration geklärt?	Anforderungen und Verantwortliche geklärt	Grundsätzlich lösbar, Detailprüfung offen	Wesentliche IT- oder Freigabehürden ungeklärt
Betriebs- und Ausfallkonzept Existiert ein Konzept zur Absicherung des Fahrzeugbetriebs bei Kommunikations- oder Systemausfällen?	Fallback-Logik, Mindest-SoC der Fahrzeuge und Störungsprozess definiert	Konzept vorgesehen, aber noch nicht ausgearbeitet	Kein Ausfallkonzept
Nutzerakzeptanz und Anreize Werden die Nutzenden die geplanten Lade- und Flexibilitätsmaßnahmen voraussichtlich akzeptieren und unterstützen?	Nutzende früh eingebunden; Regeln und Nutzen klar	Information geplant; Rückmeldungen noch offen	Vorbehalte oder keine Kommunikationsplanung

Auswertung des Standort-Schnellchecks

Übertragen Sie für jede Frage den zugehörigen Punktwert. Bilden Sie zunächst Teilsummen je Kategorie und anschließend die Gesamtsumme. Maximal sind 44 Punkte erreichbar. Zusätzlich zur Gesamtbewertung sollten rote Einzelkriterien separat betrachtet werden, da sie auf konkrete technische, wirtschaftliche oder organisatorische Hürden hinweisen können.

Tabelle 4.4: Auswertung des Standort-Schnellchecks

Kategorie	Anzahl Fragen	Maximale Punktzahl	Ihre Punkte
Mobilität und Flottenstruktur	7	14	
Energieinfrastruktur, Daten und Preisstruktur	10	20	
Organisation, Betrieb und Akzeptanz	5	10	
Gesamtergebnis	22	44	

Tabelle 4.5: Interpretation der Ergebnisse des Standort-Schnellchecks

Punktbereich	Einordnung	Empfohlener nächster Schritt
🟢 **33–44 Punkte**	**Hohe Eignung**	Gute Ausgangsbedingungen. Empfohlen werden eine standortspezifische Potenzialanalyse, die Priorisierung geeigneter Use Cases und die technische Vorplanung.
🟡 **20–32 Punkte**	**Mittlere Eignung**	Relevante Potenziale sind vorhanden. Vor einer Investitionsentscheidung sollten insbesondere gelbe und rote Kriterien durch Datenanalyse, Systemprüfung und Wirtschaftlichkeitsrechnung geklärt werden.

🔴 **0–19 Punkte**	**Derzeit geringe Eignung**	Zunächst sollten Grundlagen wie Flottenelektrifizierung, transparente Last- und Fahrzeugdaten, steuerbare LIS sowie klare Zuständigkeiten aufgebaut werden.

Hinweis: Die Schwellenwerte dienen der strukturierten Erstorientierung und sind keine allgemeingültigen Wirtschaftlichkeitsgrenzen. Für die Investitionsentscheidung sind mindestens Lastgang-, Tarif-, Flotten- und Investitionsdaten sowie die technische Kompatibilität der vorgesehenen Komponenten standortspezifisch zu prüfen.

5 Technik, Standards und Architektur

5.1 AC- und DC-Laden

Das Stromnetz liefert Wechselstrom (AC), während die Batterie eines Elektrofahrzeugs mit Gleichstrom (DC) geladen wird. Für jeden Ladevorgang – unabhängig davon, ob geladen oder rückgespeist wird – muss daher an einer Stelle im System eine Umwandlung von AC nach DC bzw. von DC nach AC erfolgen. Diese Umwandlung übernimmt die Leistungselektronik. Der grundlegende Unterschied zwischen AC- und DC-Ladearchitekturen liegt darin, wo diese Umwandlung stattfindet.
Bei AC-Laden befindet sich die Leistungselektronik – der sogenannte Onboard Charger – im Fahrzeug. Die Ladestation (Wallbox) liefert lediglich Wechselstrom; die Umwandlung in Gleichstrom für die Batterie erfolgt fahrzeugseitig. Beim Rückspeisen übernimmt derselbe Onboard Charger die Umwandlung von DC zurück zu AC.
Bei DC-Laden ist die komplette Leistungselektronik in der Ladestation verbaut. Das Fahrzeug erhält (bzw. liefert bei Rückspeisung) bereits umgewandelten Gleichstrom, der direkt auf die Batterie wirkt.
Die folgende Übersicht fasst die zentralen Unterschiede zusammen:

Tabelle 5.1: Vergleich von AC- und DC-basierten bidirektionalen Ladearchitekturen

Merkmal	**AC-Laden**	**DC-Laden**
Position der Leistungselektronik	im Fahrzeug (Onboard Charger)	in der Ladestation
Steckertyp (Beispiel)	Typ 2	CCS 2
Zusammenspiel der Komponenten	Wallbox und Fahrzeugelektronik müssen aufeinander abgestimmt sein	Leistungselektronik vollständig in einer Einheit
Integration in bestehende Infrastruktur	ermöglicht ggf. Nachrüstung bestehender Ladepunkte durch Austausch des Controllers	ermöglicht Anbindung von Bestandsfahrzeugen über die vorhandene Ladeschnittstelle

Aus fachlicher Sicht ergibt sich daraus eine unterschiedliche Eignung: AC-Technologie kann bestehende LIS ggf. einfacher erweitern, da im Wesentlichen der Controller angepasst wird; DC-Technologie kann leichter mit am Markt vorhandenen Fahrzeugen und deren bestehenden Ladeschnittstellen kombiniert werden. Während AC-Ladeinfrastruktur im Regelfall kostengünstiger als vergleichbare DC-Ladeinfrastruktur beschafft werden kann, sind die Kostenanteile für bidirektionale Funktionalitäten auf Fahrzeugseite aufgrund fehlender Transparenz seitens der Hersteller derzeit nicht belastbar quantifizierbar.

Beide Architekturen müssen die geltenden Netzanschlussbedingungen (Gridcodes) einhalten. Aus den Erfahrungen der Demonstrationsstandorte ergeben sich Hinweise darauf, dass unterschiedliche nationale Netzanschlussanforderungen bereits heute zu Kompatibilitätsproblemen führen können: So wurde beobachtet, dass ein für die Niederlande freigeschaltetes Fahrzeug in Deutschland die bidirektionale Kommunikation verweigerte, weil es über GPS eine andere Gridcode-Zone erkannte.
Bei AC-Laden erschwert die Aufteilung der Leistungselektronik auf zwei separate, ggf. herstellerverschiedene Komponenten (Fahrzeug und Wallbox) zusätzlich die Zertifizierung und den Austausch einzelner Komponenten, da beide Seiten funktional zusammenspielen müssen.

5.2 Normung und Interoperabilität

Für die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladepunkt ist die Norm EN ISO 15118-20:2022 relevant, die seit 2022 grundsätzlich bidirektionales Laden ermöglichen soll. Für die praktische Umsetzung bei AC-Laden wird aktuell zusätzlich ein noch in der Veröffentlichung befindliches Amendment benötigt. Entsprechend existieren derzeit fahrzeugseitig noch keine standardisierten, sondern nur herstellerspezifische (proprietäre) Lösungen.
Konkret regelt die Delegierte Verordnung (EU) 2025/656 die Ergänzung von Anhang II der Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR). Danach müssen öffentlich zugängliche AC- und DC-Ladepunkte, die ab dem 1. Januar 2027 installiert oder renoviert werden, mindestens ISO 15118-20 erfüllen. Die Vorgabe gilt also nicht pauschal für alle bestehenden öffentlichen Ladepunkte.
ISO 15118-20 beschreibt verschiedene Kommunikationsabläufe zwischen Fahrzeug und Ladepunkt. Dazu gehören auch Funktionen für bidirektionales Laden. Die AFIR verlangt aber nicht, dass sämtliche in der Norm beschriebenen Funktionen umgesetzt werden. Die Erwägungsgründe der Delegierten Verordnung stellen ausdrücklich auf die jeweils relevanten obligatorischen und optionalen Funktionen sowie die unterschiedlichen Anwendungsfälle ab.
Das bedeutet: Ein Ladepunkt kann die AFIR-Anforderung an die Kommunikationsschnittstelle erfüllen, ohne tatsächlich Energie vom Fahrzeug ins Netz oder in eine andere Verbrauchseinrichtung zurückspeisen zu können. Dafür sind zusätzliche technische Voraussetzungen erforderlich, etwa eine bidirektionale Leistungselektronik und die entsprechende Netzintegration.
An den Pilotstandorten im Projekt BiFlex-Industrie wird die Lade- bzw. Entladeleistung unabhängig von der Architektur auf rund 11 kW begrenzt. Grund ist u.a., dass die Fahrzeugbatterie in diesem Leistungsbereich passiv gekühlt werden kann, ohne dass ein aktiver Kühlkreislauf mit zusätzlichem Eigenverbrauch anspringen muss.
Hinweis: Ob und in welchem Umfang bidirektionales AC-Laden bei einzelnen Fahrzeugmodellen tatsächlich verfügbar ist, ist von der jeweiligen Herstellerfreigabe abhängig und nicht Gegenstand dieses Kapitels.

5.3 Systemarchitektur und Akteure

Für den Betrieb bidirektionaler Ladesysteme müssen verschiedene technische und organisatorische Akteure zusammenwirken. Dazu gehören insbesondere Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur, Energiemanagementsysteme, Netzbetreiber, Energieversorger sowie gegebenenfalls weitere Dienstleister. Die Vielzahl dieser Schnittstellen verdeutlicht, dass bidirektionales Laden nicht als Einzeltechnologie betrachtet werden kann, sondern als Teil eines umfassenden Energiesystems.
Die technologische Hard- und Software ist bereits vorhanden, für eine einwandfreie Funktion ist es allerdings wichtig, dass die Systeme untereinander kompatibel sind. Ein großer Teil dessen ist durch inter-organisationaler Absprachen zwischen den beitragenden Akteuren betroffen, die weit außerhalb der Grenzen eines Unternehmens, das bidirektionales Laden nutzt, stattfinden.
Es ist wichtig, dass LIS und Elektrofahrzeuge untereinander kompatibel sind. Die alleinige technische Funktionalität zum bidirektionalen Laden bedeutet aktuell noch nicht, dass beide Komponenten zusammen funktionieren.
Das Management der mobilen Batterien erfolgt über das EMS als zentrale technische Koordinationsinstanz der Energieflüsse zur Erfüllung der AWF Behind-the-Meter (siehe Kapitel 4.1). Dafür ist eine Anbindung an die Backend Strukturen der LIS und der Fahrzeuge notwendig. An diese Strukturen muss auch ein Abrechnungs- bzw. Mobilitätsdienstleister angebunden werden, der einzelne Ladevorgänge autorisiert, erfasst und abrechnet. Es müssen sowohl der Energieversorger als auch Netzbetreiber mit

eingebunden werden. Vom Energieversorger muss es die Möglichkeit geben flexible Stromtarife wählen zu können. Der Netzbetreiber ist für die Netzanschlussbedingungen verantwortlich und legt die zulässigen Bezugs- und Einspeiseleistungen (im Fall von In-Front-of-the-Meter-AWF) fest. Nicht zu vernachlässigen sind die Mitarbeiter, deren Fahrt- und Ladezeiten berücksichtigt werden müssen. Idealerweise können Mitarbeiter Lade- und Abfahrtszeiten sowie den dabei gewünschten SoC in einem Interface (gekoppelt an das EMS oder das Backend der LIS) angeben.
Die zentrale Aufgabe eines nutzenden Unternehmens selbst besteht darin, die für das bidirektionale Laden erforderlichen Fahrzeuge (und deren Batteriekapazitäten) innerhalb definierter Zeitfenster bereitzustellen. Die Verantwortlichkeiten dafür sind bei Flotten, bzw. Energiemanagern angesiedelt. Darüber hinaus können Informationen zu Fahrzeugverfügbarkeit, nutzbarer Kapazität und zulässigen Lade- und Entladezeiten mit den betrieblichen Mobilitäts- und Energieanforderungen bereitgestellt werden.
In Zukunft wird es nicht notwendig sein, dass ein Unternehmensstandort selbst für die Orchestrierung der einzelnen Komponenten zuständig ist. Stattdessen werden umfassende Angebote gemacht werden, die bidirektionales Laden ergänzend oder vollständig, über die Schnittstelle zu einem Marktakteur realisiert werden.

5.4 EMS und Systemintegration

Die Systemumgebung für bidirektionales Laden umfasst mehrere Komponenten, die technisch und informationell miteinander verbunden sind. Die folgende Übersicht fasst die wesentlichen Elemente und ihre Aufgaben zusammen:

Tabelle 5.2: Komponenten eines bidirektionalen Energiesystems und deren Aufgaben

Komponente	Aufgabe im Gesamtsystem
Bidirektional ladefähige Fahrzeuge	Stellen Speicherkapazität als Flexibilitätsressource bereit; Verfügbarkeit abhängig von Mobilitätsbedarf
Ladepunkte / LIS	Technische Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Energiesystem; Ausführung von Lade-/Entladebefehlen
Lademanagementsystem	Verteilung der verfügbaren Leistung auf einzelne Ladepunkte, Kommunikation mit Ladesäulen/Fahrzeugen
EMS	Zusammenführung aller relevanten Daten, Optimierung und Erzeugung von Lade-/Entladefahrplänen
Netzanschluss / Übergabezähler	Liefert die abrechnungs- und leistungsrelevante Referenzgröße (z. B. für Lastspitzenmanagement)
Wechselrichter PV-Anlage (falls vorhanden)	Zusätzliche Erzeugungsquelle; Datenquelle für PV-Prognosen für Eigenverbrauchsoptimierung
Stationärer Speicher (falls vorhanden)	Ergänzende Flexibilität neben der Fahrzeugflotte
Fahrtenplanung / Nutzerangaben (z. B. App)	Liefert Informationen zu Verfügbarkeit, Standzeiten und gewünschtem Ladezustand

Das EMS bildet die zentrale Koordinationsinstanz für die Integration bidirektionaler LIS in das Energiesystem eines Unternehmensstandorts. Es verarbeitet Messwerte des

Übergabezählers und ggf. eines Submetering-Systems, bindet die Ladepunkte für Statuserfassung und Steuerung ein, nutzt Prognosedaten (PV-Ertrag, Strompreise, Lastgang) und berücksichtigt Informationen zur Fahrzeugverfügbarkeit aus der Fahrtenplanung. Ergänzt werden diese Daten durch externe Anreiz- und Prognoseinformationen, beispielsweise zu dynamischen Energiepreisen, erwarteten Leistungsspitzen oder Erzeugungsprognosen. Auf Basis dieser Informationen und der definierten Randbedingungen aus dem Betrieb der Fahrzeuge berechnet das EMS Lade- und Entladesollwerte für die bidirektionale LIS und übermittelt diese als Steuerbefehle an die nachgelagerten Systeme. Diese Datenflüsse laufen über unterschiedliche Kommunikationsschnittstellen zusammen, deren konkrete technische Ausprägung standortabhängig ist. Wichtig für das Verständnis ist weniger die einzelne Schnittstelle als das Prinzip: Ohne durchgängige, verlässliche Datenverbindung zwischen Fahrzeug, Ladepunkt, Lademanagementsystem und EMS ist eine koordinierte Steuerung nicht möglich.

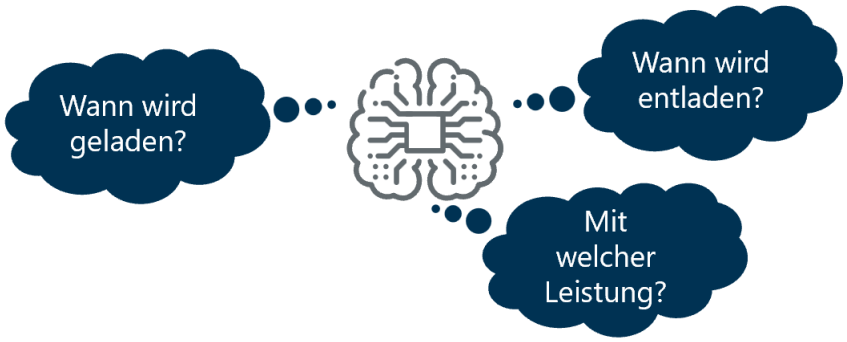


Abbildung 10: Symbolhafte Darstellung der Rolle eines EMS

Von zentraler Bedeutung ist die Abgrenzung zwischen **Energiemanagement** und **Lademanagement.** Das EMS kann als „Gehirn" des bidirektionalen Ladens verstanden werden: Es entscheidet, wann Fahrzeuge geladen oder entladen werden und mit welcher Leistung dies erfolgt. Das Lademanagementsystem setzt diese Vorgaben technisch um, indem es die verfügbare Leistung auf die einzelnen Ladepunkte verteilt und die Kommunikation mit den Ladesäulen bzw. Fahrzeugen abwickelt.
In der Praxis kann z. B. ein cloudbasiertes Lademanagementsystem die Steuerung der bidirektionalen Ladepunkte übernehmen, während ein bereits vorhandenes EMS weiterhin bestehende Standortfunktionen wie Lastmanagement oder Lastabschaltungen ausführt. Können die beiden Systeme nicht direkt miteinander kommunizieren, kann eine zusätzliche Steuerungs- oder Integrationskomponente als Schnittstelle zwischen Lademanagement und EMS erforderlich sein. Die Integration bidirektionalen Ladens bedeutet in der Praxis also häufig keine vollständige Neukonzeption, sondern eine Erweiterung bestehender Systemlandschaften.

Steuerung und Betriebsführung
Die Steuerungslogik des EMS muss betriebliche Energieziele (z. B. Lastspitzenreduktion, Eigenverbrauchsoptimierung, kostenoptimierter Bezug) mit den Mobilitätsanforderungen der Fahrzeugnutzenden in Einklang bringen. Je nach Zielsetzung des Unternehmens können unterschiedliche Betriebsführungsstrategien zum Einsatz kommen:

- **Morgens:** Entladung der Fahrzeuge zur Deckung der Ankunftsspitze, unter Berücksichtigung des vom Nutzer benötigten Mindest-Ladezustands (SoC) für die spätere Abfahrt.
- **Mittags:** Zurückhaltender Betrieb, um keine zusätzliche Lastspitze parallel zu anderen Verbrauchern (z. B. Kantine) zu erzeugen.

- **Nachmittags:** Ladung, sobald günstige PV-Erzeugung oder niedrige Börsenstrompreise vorliegen; Ladung erfolgt dabei nur bis knapp unter die vom Fahrzeughersteller vorgegebene SoC-Grenze, um weiterhin Steuerungsspielraum zu erhalten.

Diese Beispiele zeigen, dass das EMS nicht ausschließlich energieökonomisch optimiert, sondern die Fahrzeugverfügbarkeit als Randbedingung einbezieht. In der Praxis ergeben sich dabei Zielkonflikte, etwa wenn ein Nutzer auf einen bestimmten Ladezustand angewiesen ist, während gleichzeitig eine Lastspitze vermieden werden soll. Wie mit solchen Konflikten umzugehen ist – etwa durch feste Priorisierungsregeln oder Einzelfallentscheidungen –ist standortspezifisch zu klären.
Für die Betriebsführung kann das Konzept eines Leistungskorridors genutzt werden. Hierbei wird auf Basis aggregierter Fahrzeugdaten eine minimale und maximale verfügbare Lade- bzw. Entladeleistung bestimmt, innerhalb derer das EMS Lastverschiebungen vornehmen kann, ohne die Mobilitätsanforderungen zu verletzen. Dieses Konzept verdeutlicht, dass belastbare Prognosen zur Fahrzeugverfügbarkeit eine wesentliche Randbedingung für eine wirksame Steuerung sind.

Die Einbindung bidirektionaler LIS in bestehende Unternehmensstrukturen stellt in der Praxis eine technisch anspruchsvolle Integrationsaufgabe dar. Dabei zeigt sich, dass bestehende EMS oder Gebäudeleittechnik nicht immer in der Lage sind, neue digitale Steuersignale bidirektionaler Ladepunkte direkt zu verarbeiten. In solchen Fällen kann eine zusätzliche technische Übersetzungsebene oder Integrationskomponente erforderlich werden. Gleichzeitig ist die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Daten ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Fehlende oder lückenhafte Informationen, beispielsweise infolge von Kommunikationsausfällen, zeitweise nicht erreichbaren Fahrzeugen oder inkonsistenten Statusmeldungen, können die Steuerungsqualität unmittelbar beeinträchtigen. Ohne verlässliche Daten sind weder belastbare Prognosen noch eine korrekte Ausführung von Fahrplänen möglich. Mit zunehmender Zahl beteiligter Komponenten steigt zudem die Systemkomplexität. Fahrzeuge, Ladepunkte, Lademanagementsysteme, EMS, Kommunikationsnetzwerke und Prognosemodule müssen zuverlässig zusammenspielen, wodurch auch die Fehleranfälligkeit zunimmt. Die Erfahrungen aus den Demonstrationsstandorten in BiFlex-Industrie zeigen, dass häufig eine längere Inbetriebnahme- und Stabilisierungsphase erforderlich ist, in der Störungen identifiziert, analysiert und schrittweise behoben werden. Zusätzliche Herausforderungen ergeben sich durch herstellerabhängige Unterschiede im Verhalten von Fahrzeug- und Ladepunkt-Firmware. In der Praxis verhalten sich Systeme nicht immer wie dokumentiert oder erwartet, während Betreibende auf diese Komponenten oftmals keinen direkten Einfluss haben. Anpassungen erfolgen deshalb häufig über Monitoring, Parametrierung und iterative Fehlerbehebung. Darüber hinaus hat sich die Bedeutung eines geeigneten Ausfallkonzepts gezeigt. Insbesondere in hybriden EMS-Architekturen mit lokaler und zentraler Steuerung sollte sichergestellt werden, dass auch bei Ausfällen einzelner Komponenten oder Kommunikationsverbindungen die grundlegenden Anforderungen der Nutzenden, beispielsweise hinsichtlich eines erforderlichen Ladezustands, zuverlässig erfüllt werden können.

Insgesamt bestätigen die Projekterfahrungen aus BiFlex-Industrie, dass die technische Integration bidirektionalen Ladens machbar ist, jedoch einen nicht zu unterschätzenden Aufwand für Systemabstimmung, Datenqualität und laufendes Monitoring erfordert. Eine vollständige Fehlerfreiheit ist auch nach längerer Betriebszeit nicht garantiert; entscheidend ist ein systematischer Umgang mit auftretenden Störungen sowie eine realistische Erwartungshaltung an die Inbetriebnahmephase.

5.5 Daten, Prognosen und Nutzerinformationen

Daten bilden die zentrale Grundlage für die Planung, den Betrieb und die Optimierung bidirektionaler Ladesysteme. Für den wirtschaftlichen Betrieb bidirektionaler Ladesysteme müssen Informationen aus verschiedenen Quellen zusammengeführt werden. Da kontinuierlich Daten aus Fahrzeugen, Ladepunkten, EMS, Gebäuden und Energiemärkten anfallen, können innerhalb kurzer Zeit sehr große Datenmengen entstehen. Insbesondere bei größeren Fahrzeugflotten können täglich Millionen von Messwerten erzeugt, gespeichert und verarbeitet werden. Die Erfassung, Speicherung und Analyse dieser Big-Data-Mengen stellt eine wichtige Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb bidirektionaler Ladesysteme dar. Moderne Datenanalyseverfahren und KI-gestützte Prognosen ermöglichen eine genauere Vorhersage von Energiebedarfen, Fahrzeugverfügbarkeiten und Flexibilitätspotenzialen. Daten werden dadurch zu einer strategischen Ressource, die maßgeblich über die Effizienz und Wirtschaftlichkeit zukünftiger bidirektionaler Energiesysteme entscheidet.

Bestimmung von Flexibilitäten
Für die Berechnung von Flexibilitätspotenzialen sind insbesondere Fahrzeug- und Betriebsdaten relevant. Dazu zählen beispielsweise der Ladezustand der Batterie (State of Charge, SoC), Lade- und Entladeleistungen, Ankunfts- und Abfahrtszeiten, Fahrprofile sowie die Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Standort. Zusammen mit Daten aus dem EMS, wie Lastgängen, Strompreisen oder der Erzeugung aus Photovoltaikanlagen, entsteht ein Gesamtbild der verfügbaren Energieressourcen. Auf dieser Basis können EMS entscheiden, wann Fahrzeuge geladen, wann Energie aus den Fahrzeugbatterien bereitgestellt und welche Flexibilitäten für betriebliche oder energiewirtschaftliche Anwendungen genutzt werden können.

Nutzerpräferenzen und Mobilitätsanforderungen
Neben technischen Daten spielen die Bedürfnisse der Fahrzeugnutzenden eine entscheidende Rolle. Die tatsächliche Flexibilität eines Fahrzeugs hängt nicht nur vom aktuellen Ladezustand ab, sondern vor allem davon, wann das Fahrzeug wieder benötigt wird und welche Reichweite zu diesem Zeitpunkt verfügbar sein muss.
Zur Erfassung solcher Informationen werden häufig Benutzeranwendungen (User Apps) eingesetzt. Über diese können Nutzende beispielsweise geplante Abfahrtszeiten, erwartete Fahrstrecken, regelmäßige Nutzungsmuster oder gewünschte Mindestladezustände hinterlegen. Diese Informationen ermöglichen es dem EMS, individuelle Mobilitätsanforderungen zu berücksichtigen und gleichzeitig möglichst viel Flexibilität für das Energiesystem bereitzustellen.
Ein wesentlicher Bestandteil dabei ist das Mobilitätsverhalten der Fahrzeugnutzenden. Von besonderem Interesse sind Informationen darüber, wann Fahrzeuge typischerweise am Standort ankommen, wann sie wieder abfahren und wie lange sie für bidirektionale Anwendungen zur Verfügung stehen. Diese Informationen können entweder direkt aus Fahrzeug- und Telematikdaten abgeleitet oder mithilfe von KI- und Prognoseverfahren aus historischen Fahrmustern vorhergesagt werden. Während direkt erfasste Informationen in der Regel eine höhere Genauigkeit aufweisen, ermöglichen Prognoseverfahren auch dann eine Abschätzung der Fahrzeugverfügbarkeit, wenn keine expliziten Nutzereingaben vorliegen.
Neben dem Mobilitätsverhalten müssen weitere Nutzerpräferenzen berücksichtigt werden. Hierzu gehören insbesondere Mindestanforderungen an den Ladezustand der Fahrzeugbatterie zum Zeitpunkt der Abfahrt. Ein Nutzender kann beispielsweise festlegen, dass das Fahrzeug bei der nächsten Abfahrt mindestens 80 Prozent Ladezustand aufweisen muss. Solche Anforderungen definieren Randbedingungen, innerhalb derer Flexibilitäten genutzt werden dürfen.
Darüber hinaus können Nutzende individuelle Grenzen für positive und negative Flexibilitäten vorgeben. Positive Flexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Fahrzeugs, zusätzliche Energie aufzunehmen, beispielsweise durch zeitlich verschobenes Laden. Negative

Flexibilität beschreibt dagegen die Möglichkeit, bereits gespeicherte Energie aus der Fahrzeugbatterie für betriebliche oder energiewirtschaftliche Zwecke bereitzustellen. Die von den Nutzenden definierten Grenzen stellen sicher, dass diese Flexibilitäten nur in einem Umfang genutzt werden, der die individuelle Mobilität nicht einschränkt.
Die Berücksichtigung von Nutzerpräferenzen ist zudem ein wesentlicher Faktor für die Akzeptanz bidirektionaler Ladesysteme. Nur wenn sichergestellt ist, dass Fahrzeuge zum gewünschten Zeitpunkt mit ausreichender Reichweite zur Verfügung stehen, werden Nutzende bereit sein, ihre Fahrzeugbatterie als flexible Energiequelle bereitzustellen. Nutzerdaten schaffen somit die notwendige Balance zwischen energetischer Optimierung und den individuellen Mobilitätsbedürfnissen der Fahrzeugnutzenden. Sie sind daher ein wesentlicher Baustein für den erfolgreichen und langfristigen Einsatz bidirektionaler Ladesysteme.

6 Organisation und Akzeptanz

6.1 Regulatorik

Aus energierechtlicher Sicht besteht kein grundsätzliches Verbot für bidirektionales Laden oder die Rückspeisung von Energie aus Fahrzeugbatterien. Weder das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) noch die Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) schließen eine solche Nutzung aus. Ein bidirektionaler Ladepunkt bleibt jedoch an die technischen Anschlussbedingungen des jeweiligen Netzbetreibers gebunden. Insbesondere bei netzgekoppelten Anwendungen müssen die Anforderungen der geltenden VDE-Anwendungsregeln sowie die jeweiligen Technischen Anschlussbedingungen eingehalten werden.
Gleichzeitig zeigt sich, dass viele aktuelle Diskussionen weniger die technische Zulässigkeit als vielmehr die energiewirtschaftliche Einordnung betreffen. Dies gilt insbesondere für die zukünftige Behandlung von Ladepunktbetreibern, Aggregatoren und Speichern im Strommarkt. Mehrere Fragen zur Marktrollenverteilung werden derzeit im Rahmen regulatorischer Weiterentwicklungen diskutiert und sind zum Zeitpunkt der Veröffentlichung noch nicht abschließend geklärt.

6.1.1 Strompreisbestandteile, Netzentgelte und Mehrfachbelastungen

Eine der am häufigsten diskutierten Fragestellungen betrifft die sogenannte Doppelbelastung von zwischengespeicherter Energie. Dabei wird häufig angenommen, dass bereits die Rückspeisung von Strom aus einer Fahrzeugbatterie zusätzliche Abgaben oder Umlagen auslöst. Tatsächlich entsteht eine mögliche Mehrfachbelastung erst dann, wenn die zuvor eingespeicherte Energie erneut aus dem Netz entnommen wird.
Bei der KWK-Umlage, der Offshore-Netzumlage sowie der Stromnetzumlage wurde mit § 21 EnFG inzwischen eine Verweisregelung geschaffen, die eine Saldierung der Energieflüsse am Ladepunkt ermöglicht. Für zurückgespeiste und später wieder entnommene Energiemengen können diese Umlagen dadurch entfallen. Die Regelung wurde allerdings ursprünglich für stationäre Speicher entwickelt. Voraussetzung ist nach aktuellem Stand, dass Ein- und Ausspeisung innerhalb desselben Netzes erfolgen. Mobile Speicher wie Elektrofahrzeuge profitieren deshalb nicht in allen Nutzungsszenarien in gleichem Maße von dieser Regelung.
Für die Wasserstoffumlage und die Konzessionsabgabe existiert eine vergleichbare Verweisregelung derzeit nicht. Eine Saldierung ist daher aktuell nicht vorgesehen. Während die praktische Relevanz der Wasserstoffumlage derzeit vergleichsweise gering eingeschätzt wird, bleibt die regulatorische Behandlung dieses Bestandteils auch weiterhin zu beobachten.
Auch bei den Netzentgelten wurden zuletzt Anpassungen vorgenommen. Seit der Ergänzung der Stromnetzentgeltverordnung ist grundsätzlich eine Saldierung möglich, allerdings ebenfalls mit der Einschränkung, dass sich Ein- und Ausspeisung auf dasselbe Netz beziehen müssen. Die angestrebte Gleichstellung mobiler und stationärer Speicher ist damit noch nicht vollständig erreicht.
Im Bereich der Stromsteuer wurde inzwischen gesetzlich klargestellt, dass der Ladepunktbetreiber als Letztverbraucher gilt und Fahrzeugnutzende durch die Rückspeisung von Energie nicht selbst zu Energieversorgern werden. Damit wurde zwar die Frage der Steuerschuldnerschaft geklärt, eine generelle Lösung möglicher steuerlicher Mehrfachbelastungen ergibt sich daraus jedoch noch nicht. Entsprechende Fragestellungen werden gegenwärtig unter anderem im Rahmen der Festlegung zur Marktintegration von Speichern und Ladepunkten diskutiert.

6.1.2 Energiemärkte, Bilanzierung und Flexibilitätsvermarktung

Sobald Energie nicht ausschließlich innerhalb einer Kundenanlage genutzt wird, sondern in den Strommarkt eingebunden werden soll, treten zusätzliche regulatorische Anforderungen hinzu. Dies betrifft insbesondere Vehicle-to-Grid-Anwendungen sowie andere Formen der Flexibilitätsvermarktung.
Die Regelungen zu steuerbaren Verbrauchseinrichtungen nach § 14a EnWG können grundsätzlich auch auf bidirektionale, nicht öffentlich zugängliche Ladepunkte angewendet werden. Die aktuelle Regelung bezieht sich jedoch primär auf die Verbrauchsrichtung. Für eingespeiste Energiemengen ist derzeit keine automatische spiegelbildliche Behandlung vorgesehen.
Besonders relevant ist die Bilanzkreispflicht. Für aus Fahrzeugbatterien in das öffentliche Netz eingespeiste Strommengen existiert keine Bagatellgrenze. Jede eingespeiste Kilowattstunde muss einem Bilanzkreis zugeordnet werden. In der Praxis wird diese Verpflichtung jedoch in der Regel nicht vom Fahrzeugnutzer selbst wahrgenommen, sondern auf Energieversorger, Aggregatoren oder andere Marktakteure übertragen. Dadurch lassen sich die organisatorischen Anforderungen für Unternehmen deutlich reduzieren.
Mit dem Instrument des Energy Sharing zeichnet sich darüber hinaus ein neuer regulatorischer Ansatz ab. Grundsätzlich können auch bidirektionale Anwendungen Bestandteil von Energy-Sharing-Konzepten sein. Die derzeitige Ausgestaltung beschränkt sich jedoch auf Grünstrom und sieht zudem Beschränkungen hinsichtlich der beteiligten Unternehmensgrößen vor. Dadurch bleibt die praktische Bedeutung für bidirektionale Ladeanwendungen zunächst auf bestimmte Anwendungsfälle begrenzt.
Eine weitere Einschränkung betrifft Herkunftsnachweise. Für Strom, der zunächst in einer Fahrzeugbatterie gespeichert und anschließend wieder eingespeist wird, wird derzeit kein eigenständiger Herkunftsnachweis ausgestellt. Die Eigenschaft als erneuerbarer Strom kann deshalb nicht ohne Weiteres an nachgelagerte Marktteilnehmer weitergegeben werden. Dies kann zukünftige Geschäftsmodelle im Bereich der Vermarktung erneuerbarer Energien beeinflussen.

6.1.3 Messung, Eichrecht und MiSpeL

Nahezu alle regulatorischen Erleichterungen und Saldierungsregelungen setzen einen präzisen Nachweis der Energieflüsse voraus. Eine Grundvoraussetzung für bidirektionale Anwendungen ist daher die mess- und eichrechtskonforme Erfassung der bezogenen und eingespeisten Energiemengen. In der Praxis bedeutet dies insbesondere die Verwendung geeigneter Zweirichtungsmessungen sowie konsistenter Mess- und Abrechnungskonzepte.
Viele heute noch offene Detailfragen betreffen weniger das materielle Recht als die praktische Marktintegration von Speichern und Ladepunkten. Hier setzt die aktuelle Festlegung der Bundesnetzagentur „MiSpeL“ an. Ziel von MiSpeL ist die Einbindung von Speichern und Ladepunkten in Marktkommunikation, Bilanzierung, Messwesen und energiewirtschaftliche Prozesse. Dabei werden unter anderem Fragen der Bilanzkreiszuordnung, der Saldierung von Energiemengen, der Marktrollen sowie der technischen Nachweisführung adressiert.
Für die weitere Verbreitung netzdienlicher und marktorientierter bidirektionaler Anwendungen dürfte MiSpeL deshalb von zentraler Bedeutung sein. Viele der derzeit noch bestehenden Unsicherheiten betreffen nicht das grundsätzliche "Ob", sondern das standardisierte und massentaugliche "Wie" der Integration in bestehende Marktprozesse.

Die Analysen im Projekt BiFlex-Industrie zeigen, dass ein Großteil der untersuchten regulatorischen Fragestellungen bereits heute rechtssicher beantwortbar ist. Ein umfangreiches Arbeitsdokument hierzu mit über 50 Detailfragen und -antworten wird vom Fraunhofer ISE noch vor Ende 2026 veröffentlicht. Gleichzeitig bestehen weiterhin einige Themenfelder, die für die zukünftige Wirtschaftlichkeit und Skalierung bidirektionaler Anwendungen relevant sind. Hierzu zählen insbesondere die regulatorische Gleichstellung mobiler und stationärer Speicher, die Behandlung einzelner Umlagen und Entgeltbestandteile sowie die zukünftige Ausgestaltung von Marktrollen und Marktprozessen für Ladepunkte und Speicher.

6.2 Organisation

Bereits in der Planungsphase sind die technischen Rahmenbedingungen am Standort umfassend zu bewerten. Hierzu gehört insbesondere die verfügbare Anschlussleistung des bestehenden Netzanschlusses sowie die Prüfung, ob zusätzliche Leistungskapazitäten durch den zuständigen Netzbetreiber bereitgestellt werden können. Da bidirektionale Ladesysteme sowohl Energie beziehen als auch in das Netz bzw. in das betriebliche Energiesystem einspeisen können, sind die Netzanschlussbedingungen frühzeitig mit dem Netzbetreiber abzustimmen. Dabei müssen Anforderungen hinsichtlich Netzsicherheit, Schutzkonzepten, Lastmanagement sowie des Netz-Parallelbetriebs berücksichtigt werden. Dies umfasst insbesondere die Einhaltung der relevanten VDE-Anwendungsregeln und die Definition der Betriebsweise im Fall von Rückspeisungen.
Ein weiterer wesentlicher Aspekt betrifft die energiewirtschaftliche und steuerrechtliche Behandlung der Stromflüsse. Insbesondere an Standorten mit einem jährlichen Stromverbrauch von mehr als 1 GWh sowie bei produzierenden Unternehmen sind die Anforderungen zur Erfassung und Abgrenzung von Drittstrommengen frühzeitig zu berücksichtigen. Hierzu sind für die Ladepunkte geeignete Mess- und Abrechnungskonzepte zu implementieren. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich um produzierende Unternehmen handelt, die Stromsteuerentlastungen, Spitzenausgleichsregelungen oder weitere energierechtliche Vergünstigungen in Anspruch werden. Eine revisionssichere Erfassung sämtlicher Strommengen ist hierbei Voraussetzung.
Bei der Standortplanung spielen die verfügbaren Flächen eine entscheidende Rolle. Neben der eigentlichen Anzahl der Ladepunkte sind Aspekte wie Zugänglichkeit, Verkehrsführung, Nutzerkomfort, Erweiterbarkeit sowie die wirtschaftliche Leitungsführung zu berücksichtigen. Kurze Kabelwege zwischen Netzanschlusspunkt, Energieverteilung und LIS reduzieren Investitionskosten und elektrische Verluste. Gleichzeitig müssen die Anforderungen an die Abrechnungssysteme, die Nutzeridentifikation sowie die Integration in bestehende Parkraum- und Zutrittskonzepte berücksichtigt werden.
Die Auslegung des Ladeparks orientiert sich maßgeblich an der zukünftigen Fahrzeugflotte des Unternehmens. Hierzu sind die Anzahl der Elektrofahrzeuge, deren Batteriekapazitäten, typische Standzeiten sowie die täglichen Fahrprofile zu analysieren. Erst auf dieser Basis lässt sich das wirtschaftlich nutzbare Flexibilitätspotenzial für netzdienliche Anwendungen und Eigenverbrauchsoptimierungen bestimmen. Besonders attraktiv sind Fahrzeugflotten mit regelmäßigen und planbaren Standzeiten, da diese eine gezielte Be- und Entladung ermöglichen.
Soll der Ladepark zusätzlich für Mitarbeitende zur Verfügung stehen, sind transparente und rechtssichere Abrechnungsmodalitäten erforderlich. Hierzu zählen die nutzerbezogene Erfassung der Ladevorgänge, die Zuordnung von Stromkosten sowie die Berücksichtigung steuerlicher Vorgaben bei geldwerten Vorteilen. Darüber hinaus ist festzulegen, ob das Laden kostenfrei, zu Selbstkosten oder auf Basis marktüblicher Tarife erfolgt. Die gewählte Abrechnungslösung sollte dabei sowohl dienstliche als auch private Ladevorgänge eindeutig voneinander trennen können.
Zur wirtschaftlichen Optimierung des Gesamtsystems empfiehlt sich die Integration weiterer Energiekomponenten wie Photovoltaikanlagen, stationärer Batteriespeicher und intelligenter EMS. Hierdurch können Eigenverbrauchsquoten gesteigert,

Lastspitzen reduziert und zusätzliche Erlöspotenziale aus Flexibilitätsmärkten erschlossen werden.
Der Aufbau eines bidirektionalen Ladeparks stellt somit nicht ausschließlich ein Infrastrukturprojekt dar, sondern die Implementierung eines komplexen Energiesystems an der Schnittstelle von Mobilität, Energieversorgung, Netzbetrieb und Regulierung. Eine erfolgreiche Umsetzung erfordert deshalb die frühzeitige Einbindung von Netzbetreibern, Energieversorgern, Steuer- und Energierechtsexperten sowie den verantwortlichen Fachbereichen für Fuhrpark, Facility Management und Energiemanagement.

6.3 Abrechnung

Die Einführung des bidirektionalen Ladens am Unternehmensstandort erfordert eine transparente und nachvollziehbare Abrechnung der Lade- und Entladevorgänge. Da bestehende Abrechnungssysteme in der Regel auf unidirektionale Ladevorgänge ausgelegt sind, müssen Prozesse, Vergütungsmechanismen und vertragliche Regelungen erweitert werden, um bidirektionale Energieflüsse eindeutig zu erfassen, nachvollziehbar zu dokumentieren und korrekt abzurechnen.
Gleichzeitig verändert sich die Rolle der Mitarbeitenden. Mit dem bidirektionalen Laden werden Mitarbeiterfahrzeuge von reinen Verbrauchern elektrischer Energie zu flexiblen Energiespeichern. Die Mitarbeitenden treten damit neben ihrer Rolle als Fahrstromkunden auch als Flexibilitätsanbieter auf. Aus dieser erweiterten Rolle ergeben sich zusätzliche Anforderungen an Vergütung, Datenverarbeitung und vertragliche Rahmenbedingungen, die berücksichtigt werden müssen.
Die konkrete Ausgestaltung von Abrechnung, Vergütung und Vertragsmodell hängt dabei maßgeblich von der jeweiligen Nutzergruppe ab. Insbesondere hinsichtlich der Kostenverantwortung, der Anreizsetzung und bestehender vertraglicher Regelungen bestehen Unterschiede zwischen Mitarbeitenden mit Privatfahrzeug und Mitarbeitenden mit Dienstwagen. Diese Unterschiede müssen bei der Konzeption von Vergütungs- und Abrechnungsmodellen berücksichtigt werden.

Für die Abrechnung sind zwei Nutzergruppen zu unterscheiden: Mitarbeitende mit Privatfahrzeug und Mitarbeitende mit Dienstwagen.
Die Ausgangssituation beider Gruppen unterscheidet sich deutlich. Mitarbeitende mit Privatfahrzeug tragen die Energiekosten ihrer Ladevorgänge selbst und benötigen daher beispielsweise einen finanziellen Anreiz für die Teilnahme am bidirektionalen Laden. Dieser Anreiz kann über verschiedene Vergütungsmodelle bereitgestellt werden.
Bei Dienstwagenfahrenden erfolgt die Stromversorgung in der Regel im Rahmen der bestehenden Dienstwagenregelung. Die Mitarbeitenden tragen die Kosten der Ladevorgänge häufig nicht selbst und verfügen daher über einen anderen Anreizmechanismus als Privatfahrzeugnutzende. Während Rechte und Pflichten zur Fahrzeugnutzung vertraglich geregelt sind, ist die Teilnahme am bidirektionalen Laden in bestehenden Dienstwagenverträgen häufig noch nicht berücksichtigt.

Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen sind je Nutzergruppe verschiedene Abrechnungsansätze erforderlich:

- Mitarbeitende mit Privatfahrzeug: Abwicklung über ein Business-to-Consumer-(B2C)-Abrechnungsmodell zwischen Unternehmen und Mitarbeitendem.
- Mitarbeitende mit Dienstwagen: Abwicklung über interne Verrechnungs- und Abrechnungsprozesse innerhalb des Unternehmens.

Für Mitarbeitende mit Privatfahrzeug können unterschiedliche Vergütungsmodelle eingesetzt werden. Dazu zählen insbesondere:

- Gutschriftenmodelle, bei denen die erbrachte Flexibilität mit Ladekosten verrechnet wird.
- Direkte Vergütungsmodelle, bei denen eine finanzielle Auszahlung an die teilnehmenden Mitarbeitenden erfolgt.

Die Auswahl des Vergütungsmodells sollte transparent, nachvollziehbar und wirtschaftlich attraktiv gestaltet werden. Unterschiedliche Vergütungsmodelle erfordern unterschiedliche Abrechnungslogiken und Prozessabläufe, was den Implementierungs- und Verwaltungsaufwand entsprechend erhöhen kann.

Eine faire und transparente Abrechnung setzt voraus, dass alle relevanten Energie- und Flexibilitätsflüsse eindeutig erfasst und nachvollziehbar dokumentiert werden. Mitarbeitende müssen die Möglichkeit haben, die zugrunde liegenden Abrechnungsdaten einzusehen und die Abrechnung zu überprüfen. Die Teilnahmebedingungen am bidirektionalen Laden sowie das jeweilige Vergütungsmodell sollten vertraglich vereinbart werden. Hierzu gehören insbesondere Regelungen zu:

- Voraussetzungen für die Teilnahme,
- Art und Höhe der Vergütung,
- Verantwortlichkeiten der Beteiligten,
- Datenverarbeitung und Datennutzung,
- Transparenz- und Informationspflichten.

Für einen wirtschaftlichen und skalierbaren Betrieb sind standardisierte Daten- und Abrechnungsprozesse erforderlich, insbesondere für Messwerte, Zeitbezug, Geräteidentifikation, Preiszuordnung, Prüf- und Nachweisbarkeit. Eine zentrale Grundlage hierfür bilden standardisierte Schnittstellen (wie z. B. OCPI) und die darüber ausgetauschten Charge Detail Records (CDRs). Diese dokumentieren relevante Lade- und Entladevorgänge und dienen als Basis für die Ermittlung von Energiemengen, Flexibilitätsleistungen und Vergütungsansprüchen.
Die Verwendung etablierter Standards erleichtert die Integration unterschiedlicher Fahrzeuge, LIS und Backend-Systeme und schafft die Voraussetzung für eine automatisierte, transparente und rechtssichere Abrechnung bidirektionaler Ladevorgänge.

Handlungsempfehlungen für Unternehmen

Für die erfolgreiche Einführung bidirektionaler Ladeanwendungen sollten Unternehmen frühzeitig die Voraussetzungen für eine transparente und skalierbare Abrechnung schaffen. Dazu gehören insbesondere die Identifikation relevanter Nutzergruppen, die Auswahl geeigneter Vergütungsmodelle sowie die Anpassung bestehender Vertrags- und Dienstwagenregelungen.
Darüber sollte sichergestellt werden, dass LIS, Backend-Systeme und Abrechnungsprozesse bidirektionale Energieflüsse eindeutig erfassen und verarbeiten können. Der Einsatz standardisierter Schnittstellen und Datenformate bildet hierbei die Grundlage für eine automatisierte und rechtssichere Abrechnung.
Eine transparente Kommunikation der Teilnahmebedingungen, Verantwortlichkeiten und Vergütungsregelungen stärkt zudem die Akzeptanz bei den Mitarbeitenden und schafft die Voraussetzungen für die langfristige Nutzung bidirektionaler Ladeanwendungen am Unternehmensstandort.

6.4 Akzeptanz

Die Umsetzung der verschiedenen AWF und deren wirtschaftlicher Erfolg ist schlussendlich von der Bereitschaft der Mitarbeitenden abhängig, ein Fahrzeug einzustecken und zum bidirektionalen Laden zur Verfügung zu stellen. Gerade in Anbetracht einer vergleichsweise vorsichtigen Einstellung vieler Menschen gegenüber der Elektromobilität im Allgemeinen, können bei Anwendern des bidirektionalen Ladens jedoch zusätzliche Bedenken und Sorgen auftreten. Besonders hoch ist die Sorge von Mitarbeitenden

mit privaten Fahrzeugen bezüglich einer zusätzlichen Batteriealterung durch eine größere Anzahl an Ladezyklen. Gerade durch die Unerfahrenheit in der Nutzung, sind zu Beginn auch hohe Wünsche in der Mobilitätsungebundenheit gefordert. Das betrifft zum einen die Verpflichtung, ein Fahrzeug für einen bestimmten Zeitraum einzustecken als auch den garantierten minimalen Ladezustand bei Abfahrt.
Für die Bereitstellung der Privatfahrzeuge wird eine Vergütung erwartet. Dabei ist es weniger entscheidend, wie das Vergütungsmodell ausfällt (z. B. Pauschale oder je entladender kWh) als dass überhaupt eine Vergütung gezahlt wird. Zusätzlicher Ladekomfort, wie beispielsweise ein besserer Parkplatz hat nur einen untergeordneten Einfluss auf die Akzeptanz, senken aber die erwartete Vergütung. Die Bedenken der Batteriealterung können sehr gut durch die Aufklärung der Mitarbeitenden reduziert werden, denn die aktuellen Forschungen zeigen keinen kritischen Einfluss von bidirektionalem Laden auf die Batteriegesundheit. Die Mobilitätsfreiheit kann anfänglich gut über das Gewähren von Kontrolle gelöst werden, indem die Mitarbeitenden die Möglichkeit bekommen eigenständigen gewünschte Ladezustände beim Abfahrtszeitpunkt anzugeben. Darüber hinaus haben Erhebungen während der Nutzung gezeigt, dass sich bereits nach kurzer Nutzungsdauer, die Abgabe von Kontrolle über den Ladevorgang überwiegend akzeptiert wird, solange die benötigte Reichweite gesichert ist. [5, 6, 7]
Tabelle 6.1 fasst die wesentlichen Handlungsfelder und Empfehlungen zusammen.

Tabelle 6.1: Maßnahmen zur Förderung der Akzeptanz bidirektionalen Ladens

Akzeptanz von bidirektionalem Laden in der Industrie			
Vertrauen und Datenschutz verankern	**Nutzerzentrierte und flexible Vertragsmodelle anbieten**	**Zielgruppengerechte Anreizsysteme schaffen**	**Wissensaufbau und Transparenz fördern**
Transparente Regelungen und Einblicke in das Erfassen von Ladedaten unter Einbeziehung des Betriebsrates. Garantieren eines geschützten Datenaustauschs. Ausschließen von Bewegungsprofilen.	Wahrung der Flexibilität von Mitarbeitenden durch eigenständiges Festlegen der Mindestreichweite per App. Angepasste Verträge für die Nutzer von Dienst und Privatfahrzeugen.	Aufwandsentschädigung ab ca. 20 € bis 35 € pro Monat sichert hohe Akzeptanz. Überdachte oder bevorzugte Parkplätze nahe am Eingang senken die geforderte Vergütung. Ermöglichen von variabler Vergütung (z. B. nach entnommener Energiemenge)	Gezielte Aufklärung zum Abbau von Bedenken bezüglich der Batteriedegradation Aufbau von praktischer Nutzungserfahrung. Betriebliche Schulungen und Pilotprojekte, um Berührungsängste abzubauen.

7 Praxisbeispiele

Vom Industriebetrieb mit eigener Erzeugung über Bürogebäude und Forschungseinrichtungen bis zur Laborumgebung: Die Praxisbeispiele decken bewusst ein breites Spektrum ab. Sie verdeutlichen damit welche AWF, Architekturen und praktischen Hürden in der Umsetzung relevant sein können.

7.1 Marquardt (Rietheim-Weilheim)

Am Standort der MARQUARDT GmbH werden bidirektionale Ladeanwendungen in eine bestehende Unternehmensinfrastruktur mit umfangreicher Ladeinfrastruktur, eigener Mittelspannungsanbindung und betriebseigenen Transformatoren integriert. Neben bestehenden AC- und DC-Ladepunkten wurden im Projekt zusätzliche bidirektionale AC- und DC-Ladepunkte installiert. Zum Einsatz kommen zehn VW ID.4 sowie zwei Polestar 3. Die Anwendungsfälle konzentrieren sich auf Peak Shaving und die tarifoptimierte Nutzung der Fahrzeugbatterien. Perspektivisch wird außerdem die Einbindung in weitergehende netzdienliche Anwendungen betrachtet. Eine Besonderheit des Standorts besteht darin, dass der zuständige Netzbetreiber keine Rückspeisung in das öffentliche Netz zulässt. Deshalb wurde eine technische Einspeisesperre implementiert, wodurch die Nutzung auf Anwendungen innerhalb der Kundenanlage beschränkt bleibt. Gleichzeitig zeigte sich, dass die Integration bidirektionaler Ladepunkte zusätzliche Anforderungen an Messkonzept, Kommunikationsinfrastruktur und Systemintegration stellt. Die Fahrzeugnutzenden übermitteln ihre Mobilitätsanforderungen über eine Nutzeranwendung, während Prognosedaten und Lastinformationen in die Steuerung einfließen. Die Erfahrungen zeigen, dass bidirektionales Laden auch an komplexen Industriestandorten mit bestehender Ladeinfrastruktur integriert werden kann, die technische und regulatorische Einbindung jedoch einen erheblichen Planungs- und Abstimmungsaufwand erfordert.

7.2 MAHLE chargeBIG (Stuttgart-Bad Cannstatt)

An diesem Standort stehen Peak Shaving und EE-Eigenverbrauchsoptimierung mit einer 70-kWp-PV-Anlage im Vordergrund. Der Demonstrator folgt einem zentralisierten Schaltschrankkonzept, das Komponenten bündelt und Installations- und Wartungsaufwand senkt. Die Potenzialanalyse ergab Einsparungen von 327–412 € je Fahrzeug und Jahr, vor allem durch Spitzenlastreduktion geringere Batteriedegradationskosten (siehe Kapitel 6.1). Als unerwartet schwierig erwies sich das Messkonzept: Das eigene Mittelspannungsnetz mit mehreren Trafos verhindert eine belastbare Erfassung auf Niederspannungsebene, sodass Regelungsdaten teils simulativ bereitgestellt werden und die Abgrenzung der PV-Eigenstrom-Herkunft für die Abrechnung erheblichen Mehraufwand erfordert.

7.3 LADE (Mainz)

Am Standort der LADE GmbH werden Lade- und Entladevorgänge so optimiert, dass der Einsatz volatiler erneuerbarer Energien maximiert wird. Fahrzeuge laden bevorzugt bei hohem EE-Anteil im Strommix. Ergänzt werden die Netzstützung auf Verteilnetzebene (mit den Mainzer Netzen) und H2I. Das lokale EMS „LADEgenius" verarbeitet dabei Messdaten von Ladepunkten, Zählern, PV und Trafostation und erhält aus dem „LADEportal" Prognosen zu Standzeiten und Ladebedarf. Da am Standort nur eine

geringe Anzahl von Fahrzeugen zur Verfügung steht, wurde entschieden, auf einen DC-Ladepunkt zu verzichten und vier AC-Ladepunkte zu installieren.

7.4 Fraunhofer IAO (Stuttgart)

Am Standort des Fraunhofer IAO wird bidirektionales Laden in einem Parkhaus mit bestehender Lade- und Speicherinfrastruktur untersucht. Zum Einsatz kommen AC- und DC-bidirektionale Ladepunkte sowie mehrere Testfahrzeuge unterschiedlicher Hersteller. Die Anwendungsfälle umfassen Peak Shaving, tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung und Home-to-Industry-Anwendungen.
Eine zentrale Herausforderung besteht darin, dass die installierte Ladeleistung die verfügbare Transformatorleistung übersteigen kann. Dadurch wird ein leistungsfähiges Lastmanagement zur zwingenden Voraussetzung für den Betrieb. Gleichzeitig werden Prognoseverfahren und KI-gestützte Methoden zur Fahrplanoptimierung untersucht. Der Standort zeigt exemplarisch, wie bidirektionales Laden mit bestehender Gebäude- und Parkhausinfrastruktur kombiniert werden kann und welche Rolle intelligentes Lastmanagement für die Integration größerer Fahrzeugflotten spielt.

7.5 COBIS (Sindelfingen)

Am Hauptsitz der COBIS Group wird bidirektionales Laden in ein Energiesystem integriert, das bereits Photovoltaik (70 kWp). und Blockheizkraftwerk umfasst.
Das Lastmanagementsystem von Enit steuert zwei bidirektionale DC-Wallboxen (Ambibox) anhand von kurzfristigen Last- und PV-Prognosen. Übergeordnete Betriebsführungsziele sind dabei die Maximierung der PV-Eigenversorgung und die Reduktion des Netzbezugs bis auf 0 kW. Bewusst wird aus Kosten- und Datenverfügbarkeitsgründen auf DC-Technologie gesetzt. Eine eichrechtskonforme externe Abrechnung der bidirektionalen Ladevorgänge ist dabei nicht vorgesehen, da die Nutzung der Wallboxen durch Mitarbeiter der COBIS Group mit Poolfahrzeugen direkt dem Unternehmen zugerechnet werden kann.

7.6 Fraunhofer ISE (Freiburg)

Der Standort unterscheidet sich von den übrigen Demonstratoren dadurch, dass neben realen Fahrzeugen auch reproduzierbare Laborversuche durchgeführt werden können. Dadurch lassen sich einzelne Betriebsstrategien, Kommunikationsabläufe und Fehlerszenarien gezielt untersuchen und mit realen Betriebsdaten vergleichen. Am Fraunhofer ISE wurden Inselbetrieb (Notstromversorgung) und ein Multi-Use-Case (Peak Shaving, Eigenbedarfsoptimierung, Tarifoptimierung) zeitlich getrennt in einer reproduzierbaren Laborumgebung untersucht: Nicht vorhersehbare Größen (PV-Leistung, Last, Preise) werden emuliert, angeschlossen werden reale Fahrzeuge oder der Simulator EV.twin. Im Inselbetrieb spannt ein Hybrid-Wechselrichter mit kleinem stationärem Speicher das Inselnetz auf. Die Fahrzeuge werden bedarfsgesteuert ent- oder geladen. Herausforderungen sind die automatisierte Umschaltung zwischen Netz- und Inselbetrieb bei gleichzeitigem Internetausfall, sowie die hohen Standby-Verluste bei geringer Last. Ungeklärt war zudem, ob die Ladesäulen über OCPP (Open Charge Point Protocol) durch einen CPO angesteuert werden können.

7.7 BS|ENERGY (Braunschweig)

Am Standort der BS|ENERGY wurden fünf bidirektionale DC-Wallboxen für insgesamt fünf VW ID.3 Poolfahrzeuge betrieben, die der Netzbetriebssparte für tägliche Servicefahrten zur Verfügung standen. Die Fahrzeuge waren somit meist am Wochenende planbar zur Verfügung. Untersucht wurden Betriebsführungskonzepte für Peak Shaving, Eigenversorgungsoptimierung und preisoptimiertes Beladen bei dynamischen Stromtarifen durch die Behind-the-Meter Integration der Fahrzeuge in die Kundenanlage eines Schulungsgebäudes (inkl. 98,8-kWp-PV-Anlage). Mit dem EMS von Enit wurden dabei zwei Generationen von Steueralgorithmik getestet inkl. einem Einsatz 12-stündiger Prognosen für die Fahrplanberechnung. Eine direktes Abrechnungskonzept wurde nicht vorgesehen; da die Poolfahrzeuge direkt dem Unternehmen zugeordnet waren. „In-Front-of-the-Meter"-AWF (Beschaffungsoptimierung, Regelenergie, Arbitrage) wurden durch die beteiligte THÜGA nur konzeptionell untersucht, da ihre Umsetzung derzeit an regulatorischen und technischen Einschränkungen scheitert.

8 Umsetzungsfahrplan

Die Einführung von gesteuertem oder bidirektionalem Laden ist kein reines Infrastrukturprojekt, sondern ein schrittweiser Transformationsprozess, bei dem Mobilität, Energieversorgung, IT-Systeme und betriebliche Abläufe zusammengeführt werden. Während sich der konkrete Nutzen von Standort zu Standort unterscheiden kann, zeigen die Erfahrungen aus BiFlex-Industrie, dass ein strukturiertes Vorgehen dazu beiträgt, technische Risiken zu reduzieren, Investitionen zielgerichtet zu planen und wirtschaftliche Potenziale frühzeitig sichtbar zu machen.

Der nachfolgende Umsetzungsfahrplan beschreibt eine praxisnahe Customer Journey aus Sicht eines Unternehmens. Die einzelnen Schritte bauen aufeinander auf und führen von der ersten Potenzialbewertung bis zu einem kontinuierlich optimierten Betrieb. Dabei handelt es sich nicht um einen starren Projektplan. Je nach Ausgangssituation können einzelne Schritte parallel erfolgen oder unterschiedlich umfangreich ausfallen.



Abbildung 11: Customer Journey zur Einführung von bidirektionalem Laden

Standort-Eignung prüfen

Zu Beginn wird geprüft, ob der Standort grundsätzlich geeignete Voraussetzungen bietet. Relevant sind vor allem Fahrzeugzahl und Standzeiten, Elektrifizierungsplanung, Lastspitzen und Leistungspreise, vorhandene Eigenerzeugung, verfügbare Energiedaten sowie bestehende Energie- und Lademanagementsysteme. Der Standort-Schnellcheck unterstützt diese erste Einordnung; eine detaillierte Planung oder Wirtschaftlichkeitsrechnung ersetzt er nicht.

Ziele und AWF definieren

Anschließend werden Zielsetzung und prioritäre AWF festgelegt. Typische Ziele sind Peak Shaving, ein höherer PV-Eigenverbrauch, die Nutzung dynamischer Stromtarife oder Resilienzfunktionen. Häufig ist eine Kombination mehrerer AWF möglich und sinnvoll. Eine klare Priorisierung schafft die Grundlage für die technische Auslegung und vermeidet unnötige Investitionen.

Technische Systemarchitektur auslegen

Aus den priorisierten AWF wird eine technische Zielarchitektur abgeleitet. Sie umfasst die Planung und messtechnische Erfassung von Fahrzeugen, Ladepunkten, Netzanschluss, gegebenenfalls PV-Anlagen und stationäre Speicher sowie EMS und Nutzer- oder Flottensysteme. Besondere Aufmerksamkeit gilt den Schnittstellen und der Kompatibilität mit der bestehenden Systemlandschaft, da hier erfahrungsgemäß ein wesentlicher Teil des Integrationsaufwands entsteht.

Wirtschaftlichkeit bewerten

Vor der Investitionsentscheidung ist eine standortspezifische Wirtschaftlichkeitsbewertung erforderlich. Gegenüberzustellen sind insbesondere (Mehr-)Kosten für LIS, Netzanschluss, Systemintegration und IT sowie mögliche Einsparungen bei Leistungs- und Strombezugskosten, ein höherer Eigenverbrauch und gegebenenfalls vermiedener Netzausbau. Intelligentes unidirektionales Laden erschließt häufig bereits einen großen Teil des Potenzials; der zusätzliche Nutzen bidirektionaler Funktionen hängt stark von den Standortbedingungen ab.

Umsetzung und Integration

Nach der Entscheidung werden LIS, Fahrzeuge und Energiemanagement technisch integriert und die erforderlichen Kommunikationsschnittstellen eingerichtet. Funktions-, Sicherheits- und Ausfalltests sowie eine nachvollziehbare Systemdokumentation gehören zur Inbetriebnahme. Da die Integration die Abstimmung mehrerer Akteure und Systeme erfordert, sollte für Schnittstellenabstimmung, Datenqualität, firmwareabhängige Besonderheiten und die Betriebsstabilisierung ausreichend Zeit eingeplant werden.

Betrieb und Nutzer aktivieren

Im Betrieb müssen Mobilitätsanforderungen und Energieoptimierung zuverlässig zusammengeführt werden. Dazu werden Verantwortlichkeiten, Mindest-Ladezustände, Priorisierungs- und Ausfallregeln festgelegt und den Nutzenden transparent vermittelt. Unterschiedliche Anforderungen von Pool-, Service- und personengebundenen Dienstfahrzeugen sollten berücksichtigt werden, damit Akzeptanz und verfügbare Flexibilität gleichermaßen gesichert sind.

Messen, auswerten und optimieren

Nach der Inbetriebnahme werden Betrieb und Nutzen regelmäßig überprüft. Dafür genügen zunächst wenige aussagekräftige Kennzahlen, etwa Fahrzeugverfügbarkeit, Ladeenergie, Lastspitzenreduktion, Eigenverbrauch und Stromkosteneinsparungen. Auf dieser Basis können Steuerungsparameter angepasst, weitere Fahrzeuge oder Verbraucher eingebunden und zusätzliche AWF schrittweise aktiviert werden.

9 Literatur

[1] *Wirtschaftlichkeit und Geschäftsmodelle bidirektionaler Flexibilitäten von Flottenkraftwerken in und um Unternehmen*, Universität Duisburg-Essen, verfügbar unter: https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00088211 (zuletzt abgerufen am 17.11.2026).

[2] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (2024): *Transformationspfade | Anwendungstechnologien*, Energy-Charts, verfügbar unter: https://energy-charts.info/charts/remod_sector_data_2024/chart.htm?l=de&c=DE&stackLabelSumDecimals=0&stackLabelPartSumDecimals=1&source=car (zuletzt abgerufen am 17.11.2026).

[3] Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA), RWTH Aachen University: *Battery Charts – Batteriedaten und Analysen*, verfügbar unter: https://battery-charts.de/de/home-de/ (zuletzt abgerufen am 17.11.2026).

[4] Flemming et al. (2025): *Kategorien und Anwendungsfälle zum bidirektionalen Laden von Elektrofahrzeugen*. DOI: https://doi.org/10.24406/PUBLICA-4478.

[5] Meyer, David; Kraus, Lisa; Husemann, Luca; Proff, Heike (2025): *Willingness of employees to accept bidirectional charging at the workplace*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 139, Artikel 104517. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104517.

[6] Drees, Lisa; Meyer, David; Proff, Heike (2026): *Exploring employee acceptance of industrial vehicle-to-grid systems: The role of trust, perceived barriers and benefits*. Technological Forecasting and Social Change, 227, Artikel 124648. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2026.124648.

[7] Meyer, David; Husemann, Luca; Proff, Heike (2025): *Drivers and barriers influencing companies' adoption of bidirectional fleets*. Transportation Research Procedia, 92, S. 77–99. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.12.099