



BiFlex

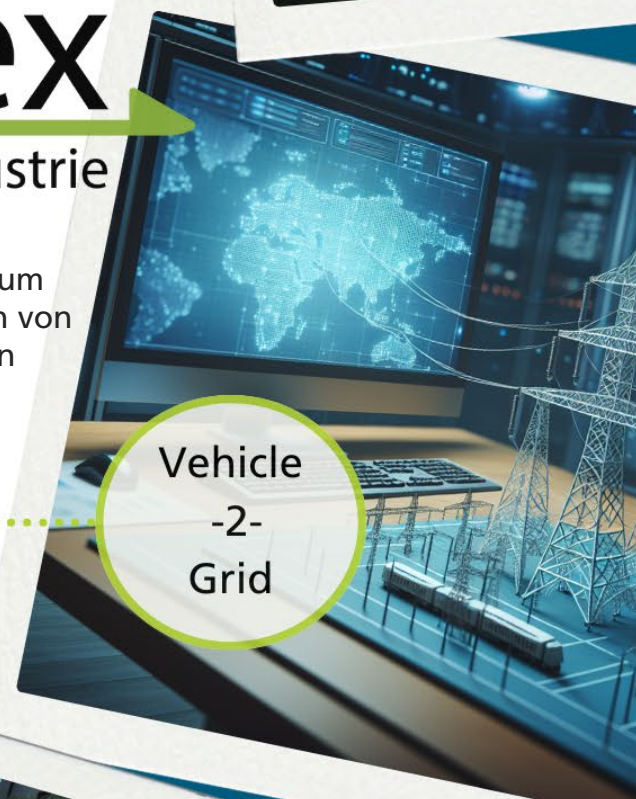
Industrie

Kategorien und Anwendungsfälle zum bidirektionalen Laden von Elektrofahrzeugen

Home
-2-
Industry

Vehicle
-2-
Grid

Vehicle
-2-
Industry



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Kategorien und Anwendungsfälle zum bidirektionalen Laden von Elektrofahrzeugen

Leitung

Institutsteil Angewandte Systemtechnik (AST) des Fraunhofer IOSB

Am Vogelherd 90, 98693 Ilmenau

Sebastian Flemming ^a, sebastian.flemming@iosb-ast.fraunhofer.de

Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Sebastian Flemming ^a, sebastian.flemming@iosb-ast.fraunhofer.de

Domenic Planert ^a, domenic.planert@iosb-ast.fraunhofer.de

Marc Schmid ^b, marc.schmid@iao.fraunhofer.de

Arne Surmann ^c, arne.surmann@ise.fraunhofer.de

Anna Rothenhäusler ^c, anna.rothenhaeisler@ise.fraunhofer.de

Valery Greil ^d, valery.greil@thuega.de

Martens, Sven ^d, sven.martens@thuega.de

Funk, Kieron ^d, kieron.funk@thuega.de

David Meyer ^e, david.meyer@uni-due.de

Tomas Kasemets ^f, tk@lade.de

Thomas Schwarz ^g, thomas.schwarz@marquardt.com

Jan Eberbach ^h, jan.eberbach@enit.io

Nadine Wehking ⁱ, nadine.wehking@mahle.com

Sebastian Wagner ^j, sebastian.wagner03@sap.com

^a Fraunhofer IOSB-AST, Am Vogelherd 90, 98693 Ilmenau

^b Fraunhofer IAO, Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

^c Fraunhofer ISE, Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg

^d Thüga Aktiengesellschaft, Nymphenburger Straße 39, 80335 München

^e Universität Duisburg-Essen, Forsthausweg 2, 47057 Duisburg

^f LADE GmbH, Wilhelm-Maybach-Straße 11, 55129 Mainz

^g Marquardt Management SE, Schloss-Straße 16, 78604 Rietheim-Weilheim

^h Enit Energy IT Systems GmbH, Mercystraße 26, 79100 Freiburg

ⁱ MAHLE chargeBIG GmbH, Pragstraße 18, 70376 Stuttgart

^j SAP Deutschland SE & Co. KG, Hasso-Plattner-Ring 7, 69190 Walldorf

Veröffentlichung

Veröffentlicht: Mai 2025

DOI: 10.24406/publica-4478

Bildnachweise

Titelbild: KI-generiert mit DALL-E

Hinweise

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Flexibilität	4
3	In-front-of-the-meter / Behind-the-meter	5
3.1	Behind-the-meter	5
3.2	In-front-of-the-meter	6
4	Beschreibung der Kategorien zur Einordnung von Anwendungsfällen zum bidirektionalen Laden	8
4.1	Vehicle-to-X	8
4.2	Vehicle-to-Industry	8
4.3	Vehicle-to-Market	9
4.4	Vehicle-to-Grid	10
4.5	Home-to-Industry	10
5	Vehicle-to-Industry	11
5.1	Peak-Shaving	12
5.2	Lokaler EE-Eigenverbrauch	13
5.3	Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung und dynamische Stromtarife	14
5.4	Inselbetrieb und Notstromversorgung	15
5.5	Lokaler EE-Eigenverbrauch kombiniert mit dynamischen Stromtarif	16
6	Vehicle-to-Market	19
6.1	Beschaffungsoptimierung und Arbitrage Handel	20
7	Vehicle-to-Grid	22
7.1	Netzdienliche Steuerung von Verbrauchsanlagen	23
7.2	Unterstützung Schwarz-Start	24
7.3	Regelenergie	25
8	Home-to-Industry	27
8.1	Laden zu Hause	28
9	Zusammenfassung	29
10	Literatur	30

1 Einleitung

Im Rahmen des durch das BMWK (Förderkennzeichen: 01MV23020, Laufzeit: 10/2023 - 09/2026) öffentlich geförderten Projekts „BiFlex-Industrie - Bidirektionale Flexibilität durch Flottenkraftwerke in und um Unternehmen“ werden die Potentiale des bidirektionalen Ladens und rückspeisefähiger Elektrofahrzeuge für Gewerbe- und Industrieunternehmen und das elektrische Energiesystem untersucht.

Verschiedene Transformationsszenarien sehen einen Bedarf an Batteriespeichersystemen zum kurz- bis mittelfristigen Ausgleich von Last und erneuerbarer Energiebereitstellung im deutschen Energieversorgungssystem 2045 bei mehreren hundert Gigawattstunden (GWh_{el}) Speicherkapazität [1]. Neben stationären elektrischen Energiespeichern erscheinen Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen aufgrund ihrer Standzeiten an Ladepunkten, der vergleichsweise hohen elektrischen Leistungsfähigkeit und Speicherkapazität für diesen Zweck prädestiniert einen Beitrag zu leisten.

Die Herausforderung besteht darin, diese kleinteilige, verteilte und schwer planbare Flexibilität der einzelnen Fahrzeuge für weitere Anwendungsfälle zum Mehrwert sowohl für Unternehmen, die einen elektrifizierten Fuhrpark (Service- und Dienstfahrzeuge, Laden der Mitarbeitenden) betreiben als auch das Energiesystem verfügbar zu machen, ohne dass das eigentliche Mobilitätsbedürfnis der Elektrofahrzeugnutzenden beeinträchtigt und eingeschränkt wird.

Ein Teilziel des Projektes liegt auf der Identifikation und Beschreibung von Anwendungsfällen für bidirektionales Laden als Ressource im Unternehmen („Behind-the-meter“), für den Energiemarkt sowie den Netzbetrieb („In-front-of-the-meter“) aus Sicht der Energieversorgung.

Der Fokus lag hierbei auf den im Projektkonsortium identifizierten und zur Demonstration und näheren Untersuchung als am relevantesten erachteten Kategorien sowie zugeordneten Anwendungsfällen zum bidirektionalen Laden von Elektrofahrzeugen.

Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit bei der Benennung und Beschreibung aller denkbaren Anwendungsfälle zum bidirektionalen Laden.

Es folgt eine kurze Einordnung der Begrifflichkeiten „Flexibilität“ sowie „In-front-of-the-meter“ und „Behind-the-meter“. Anschließend erfolgt die Beschreibung der Kategorien und Einordnung identifizierter Anwendungsfälle zum bidirektionalen Laden.

2 Flexibilität

„Flexibilität ist die Veränderung von Einspeisung oder Entnahme in Reaktion auf ein externes Signal (Preissignal oder Aktivierung), mit dem Ziel eine Dienstleistung im Energiesystem zu erbringen. Die Parameter, um Flexibilität zu charakterisieren beinhalten: die Höhe der Leistungsveränderung, die Dauer, die Veränderungsrate, die Reaktionszeit, den Ort etc.“ [2]

Übertragen auf die Last- und Verbraucherseite bzw. Energieentnahme bedeutet „Flexibilität“, die Fähigkeit zur Lastverschiebung durch die zeitliche Entkopplung des Energieverbrauchs vom Energiebedarf. Während auf der Seite der Energiebereitstellung bzw. -einspeisung, Flexibilität die Fähigkeit der Anpassung der Energiebereitstellung an den Energieverbrauch darstellt.

Alle Elektrofahrzeuge bieten beim Laden auf der Seite der Energieentnahme (bzw. Energieverbrauch) die Fähigkeit zur Lastverschiebung, durch die Möglichkeit der flexiblen Deckung des (Lade-)Energiebedarfs innerhalb der Verweildauer am Ladepunkt. Bei bidirektional ladefähigen Fahrzeugen kommt zusätzlich die Möglichkeit hinzu, einen Teil der geladenen Energie zeitversetzt wieder abzugeben und die über den Mobilitätsbedarf hinaus geladene Energie (> (Lade-)Energiebedarf) aus dem Fahrzeug bzw. der Fahrzeugflotte zu entnehmen und anderen Verbrauchern und Anwendungsfällen bereitzustellen. Bidirektional ladefähige Elektrofahrzeuge bieten somit sowohl die Möglichkeit Flexibilität auf der Seite des Energieverbrauchs / -entnahme als auch der Energiebereitstellung / -einspeisung bereitzustellen.

3 In-front-of-the-meter / Behind-the-meter

Die Energieversorgung stellt grundlegende Dienstleistungen für Haushalte, Unternehmen und Industrie bereit. Durch die Weiterentwicklung der Branche resultieren neue Begriffe und Konzepte wie „Behind-the-meter“ („Hinter dem Zähler“) und „In-front-of-the-meter“ („Vor dem Zähler“). Die Begrifflichkeiten beziehen sich auf unterschiedliche Punkte an denen Energiebereitstellung / -erzeugung, Energieverbrauch und Energiemanagement im Energiesystem zusammenkommen. [3]

Nachfolgend werden die Bezeichnung „Behind-the-meter“ und „In-front-of-the-meter“ kurz dargestellt und beschrieben.

3.1 Behind-the-meter

„Behind-the-meter“ beschreibt energiebezogene Aktivitäten und Maßnahmen, die auf Seite der Energieverbraucher stattfinden, typischerweise innerhalb einer Kundenanlage, hinter dem Stromzähler und Netzanschlusspunkt. Dabei geht es um die lokale Energiebereitstellung / -erzeugung, Energieverbrauch, Energiespeicherung sowie das Management von Energie unter Verwendung lokaler Energieressourcen und zugehörigen Komponenten und Anlagen. Zu den lokalen Ressourcen gehören aktiv steuerbare Komponenten des lokalen Energiesystems und Flexibilität vor Ort, wie z.B. Lasten bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge. Ein „Behind-the-meter-system“ stellt elektrische Energie bereit, die vor Ort direkt genutzt werden kann, ohne die Kundenanlage zu verlassen und den abrechnungsrelevanten (Haupt-)Zähler zu durchlaufen. [3]

Nachfolgende Abbildung 1 visualisiert beispielhaft das Zusammenspiel lokaler Komponenten und Energieanlagen mit einem lokalen Energiemanagement im Kern.

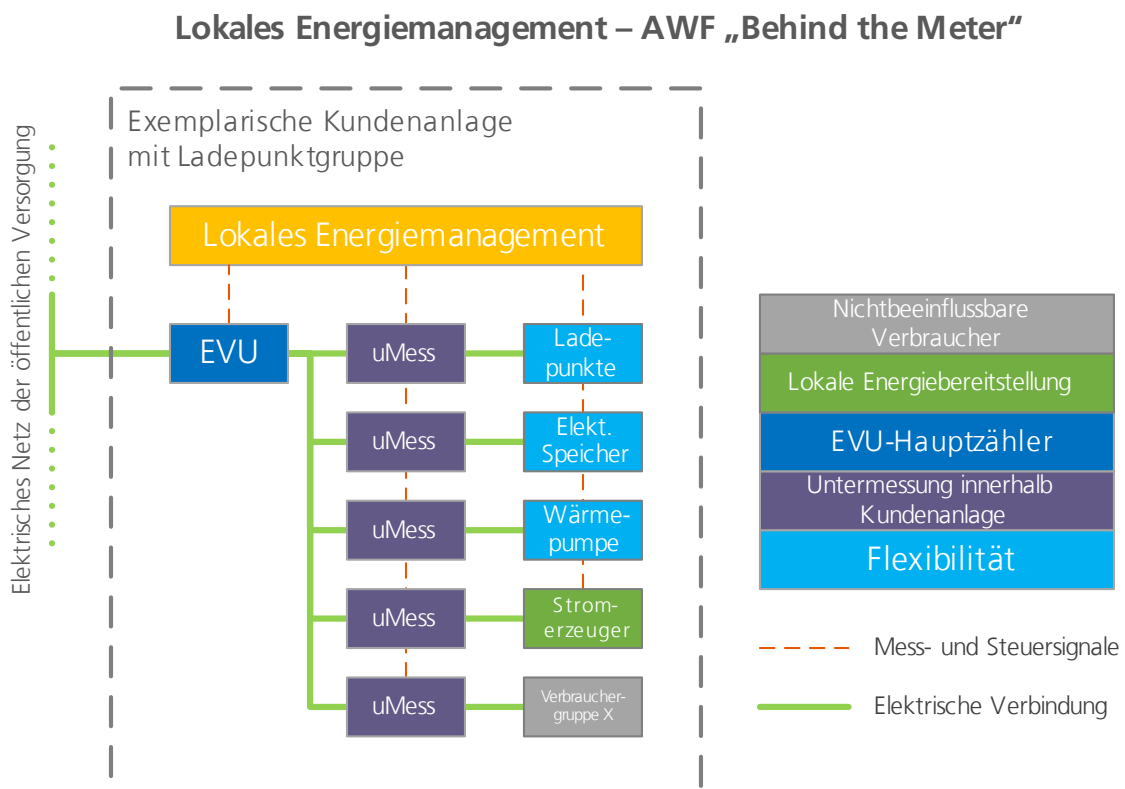


Abbildung 1: Visualisierung "Behind-the-meter"

Bei Kategorien und Anwendungsfällen „Behind-the-meter“ stellt ein lokales Energiemanagement sowohl die Basis für die Erfassung und Verarbeitung von Messwerten aus dem lokalen

Energiesystem als auch den Kern zur Generierung von Steuersignalen zur aktiven Beeinflussung aktiver Anlagen und Flexibilitäten (im Projekt „BiFlex-Industrie“ insbesondere die bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeuge) zur Umsetzung von Anwendungsfällen dar. Typische „Behind-the-meter“-Anwendungsfälle sind:

- [Peak-Shaving](#)
- [Lokaler EE-Eigenverbrauch](#)
- [Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung und dynamische Stromtarife](#)
- [Inselbetrieb und Notstromversorgung](#)
- [Laden zu Hause](#)

3.2 In-front-of-the-meter

Im Unterschied zu „Behind-the-meter“ beschreibt „In-front-of-the-meter“ energiebezogene Aktivitäten und Maßnahmen, die auf Seite der Energieversorgung stattfinden und überwiegend große Energieerzeugungs-, -übertragungs- und -verteilungsinfrastrukturen betreffen. Diese Aktivitäten werden vor allem von Energieversorgungsunternehmen (Lieferanten und Netzbetreibern) verwaltet und genutzt. [3]

In der Rolle „Lieferant“ dienen die Aktivitäten der Energiebeschaffung zur Deckung des Energiebedarfs eines breiten Kundenportfolios. Lieferanten können hierbei auf Marktsignale (EEX-Börsenpreissignal) reagieren und verfügbare Flexibilität ihres Kundenportfolios einzusetzen, um die Energiebeschaffung am Markt zu optimieren. Während in der Rolle „Netzbetreiber“ mit der Flexibilität innerhalb eines Netzgebietes auf den Zustand des Netzes und Engpässe reagiert werden kann und die Flexibilität für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen Einsatz findet.

In der nachfolgenden Abbildung 2 wird der Zusammenhang von unterschiedlichen Kundenanlagen und lokalen Energiemanagementsystem mit einem übergeordneten Energiemanagement visualisiert.

Übergeordnetes Energiemanagement – AWF „In Front of the Meter“

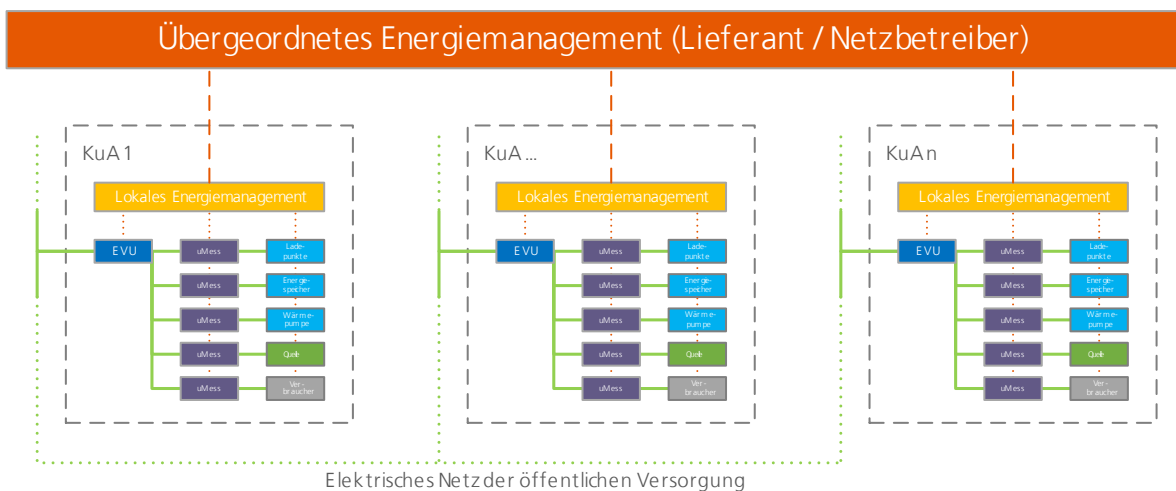


Abbildung 2: Visualisierung "In-front-of-the-meter"

Auch bei den Kategorien und Anwendungsfällen „In-front-of-the-meter“ stellen lokale Energiemanagementsysteme die Basis für die Aufnahme von Messwerten aus den lokalen Energiesystemen bzw. Kundenanlagen dar. Über die lokalen Energiemanagementsysteme erfolgt der Datenaustausch mit den übergeordneten Energiemanagementsystemen beim Lieferanten und Netzbetreiber. Im Rahmen des übergeordneten Energiemanagements erfolgt die Generierung von Steuersignalen zur aktiven Beeinflussung von steuerbaren Lasten und Flexibilitäten (im Projekt „BiFlex-Industrie“ insbesondere die bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeuge) zur Umsetzung der Anwendungsfälle aus den Kategorien und Anwendungsfällen „In-front-of-the-meter“. Durch „In-

front-of-the-meter“ Systeme gemanagten Energieflüsse beeinflussen den Energiefluss über den (Haupt-)Zähler von Kundenanlagen.

Die Quelle des Steuersignals zur Beeinflussung von Ladevorgängen gibt Ausschlag, ob Kategorie und zugehörige Anwendungsfälle als „In-front-of-the-meter“ oder „Behind-the-meter“ eingeordnet werden.

Zu „In-front-of-the-meter“ – Anwendungsfällen gehören:

- [Beschaffungsoptimierung und Arbitrage Handel](#)
- [Netzdienliche Steuerung von Verbrauchsanlagen](#)
- [Unterstützung Schwarz-Start](#)
- [Regelenergie](#)

4 Beschreibung der Kategorien zur Einordnung von Anwendungsfällen zum bidirektionalen Laden

Im Rahmen des Projektes erfolgt die Gliederung der Anwendungsfälle zur gezielten Nutzung der Flexibilität von bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen über die Kategorien Vehicle-to-Industry (V2I), Vehicle-to-Market (V2M), Vehicle-to-Grid (V2G) und Home-to-Industry (H2I), wobei Vehicle-to-X (V2X) die allgemeine Oberkategorie darstellt (siehe Abbildung 3).

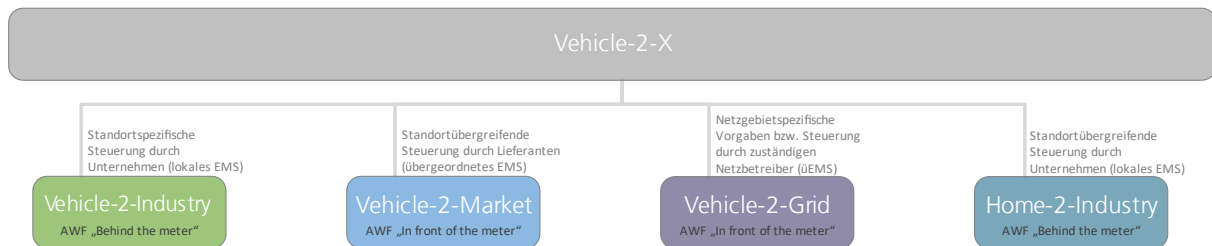


Abbildung 3: Kategorien zum bidirektionalen Laden

Für ein einheitliches Verständnis der Begrifflichkeiten sind die Kategorien nachfolgend beschrieben. Anschließend erfolgt darauf aufbauend die Einordnung und Beschreibung der konkreten Anwendungsfälle zum bidirektionalen Laden.

4.1 Vehicle-to-X

Die Kategorie „Vehicle-to-X“ kann in erster Überlegung als „Fahrzeug zu irgendwas“ übersetzt und verstanden werden.

Bei der Beschreibung ähnlicher Begrifflichkeiten, wie „Power-to-X“, wird zumeist die Wandlung von elektrischer und erneuerbarer Energie (Power) in stofflich bzw. chemische Energie (X), wie synthetische Kraftstoffe insbesondere Wasserstoff beschrieben. Damit beschreibt „Power-to-X“ vorrangig eine Technologie zur Herstellung synthetischer Grund-, Brenn- und Kraftstoffe unter Einsatz elektrischer Energie. [4]

Eine Übertragung auf „Vehicle-to-X“ bedeutet die Nutzung der aus der Traktionsbatterie von Elektrofahrzeugen ausgespeisten elektrischen Energie zur Wandlung in chemische Energie zu nutzen. Dies erscheint aufgrund der Wirkungsgradkette (Lade- und Entladewirkungsgrade der Leistungselektronik und Traktionsbatterie) als ineffizient im Vergleich die elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen direkt in chemische Energie, wie Wasserstoff zu wandeln.

Vor dem Hintergrund werden **die weiteren Kategorien** „Vehicle-to-Industry“, Vehicle-to-Market“, „Vehicle-to-Grid“ sowie „Home-to-Industry“ **unter „Vehicle-to-X“** subsumiert und **zusammengefasst** (vgl. Abbildung 3).

4.2 Vehicle-to-Industry

Im Rahmen des Projektes wird unter „Vehicle-to-Industry“ die Nutzung der (Lade- / Entlade-) Flexibilität bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge und -flotten zum Mehrwert aus Sicht des Unternehmens in dessen Energiesystem bzw. Kundenanlage die Ladepunktgruppe integriert ist verstanden. Der gezielte Einsatz bidirektional ladefähiger **Elektrofahrzeuge als Flexibilitätsressource im Unternehmen** dient hierbei zum Mehrwert für das Unternehmen und zielt mit den verschiedenen Anwendungsfällen darauf ab, die **Energiekosten** zur Deckung der Energiebedarfe **des Unternehmens zu minimieren**. Entsprechend erfolgt die (anwendungsfallsspezifische) Steuerung der Lade- und Entladevorgänge durch das Unternehmen, in dessen Kundenanlage die Ladepunktgruppe integriert ist. Somit handelt es sich bei denen, der Kategorie „Vehicle-

to-Industry“ zugeordneten Anwendungsfällen, um **anwendungsfallsspezifische Steuerung** von bidirektionalen-Ladevorgängen, die hinter dem Zähler („**Behind-the-meter**“) innerhalb einer Kundenanlage stattfinden.

In [5, 6] sind vergleichbare Ansätze für die Betrachtung und Nutzung von Flexibilität bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge unter der Bezeichnung „Vehicle-to-Building“ und „Vehicle-to-Home“ zu finden. Hierbei werden weitgehend dieselben Anwendungsfälle gesehen, die in einzelnen Kundenanlagen stattfinden und die Integration von Elektromobilität am Beispiel Gebäudeenergiesysteme bzw. Eigenheimen darstellen.

4.3 Vehicle-to-Market

„Vehicle-to-Market“ bezeichnet die Kategorie, bei der **Elektrofahrzeuge als interaktive Teilnehmer an Energiemärkten** agieren. Hierbei erfolgt die Nutzung der (Lade- / Entlade-) Flexibilität bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge, um elektrische Energie gezielt aufzunehmen, zu speichern und zu entladen und damit aktiv am Energiemarkt und -handel teilzunehmen.

In [7] wird hierbei von marktdienlicher Flexibilitätsnutzung gesprochen, wobei nach markt- und netz- sowie systemdienlichen Einsatzfeldern zur Flexibilitätsnutzung von bidirektionalen Ladevorgängen unterschieden wird. Im Rahmen von BiFlex-Industrie erfolgt die Zuordnung marktdienlicher Flexibilitätsnutzung zur Kategorie „Vehicle-to-Market“, während netz- und systemdienliche Flexibilitätsnutzung der Kategorie „Vehicle-to-Grid“ zugeordnet werden. Diese Einordnung erfolgt ebenfalls unter Berücksichtigung der energiewirtschaftlichen Rollen im deutschen Energiesystem und berücksichtigt von welchem Akteur der Steuerbefehl zur aktiven Beeinflussung von Ladevorgängen ausgelöst wird. Bei den Anwendungsfällen der Kategorie V2M kommt das Steuersignal vom Lieferanten während bei V2G das Steuersignal durch den zuständigen Netzbetreiber für netz- sowie systemdienliche Anwendungsfälle ausgelöst wird.

Der Handel am Strommarkt erfolgt prädictiv, d. h. die Beschaffung der elektrischen Energie zur Deckung von Energiebedarfen erfolgt im Vorfeld des Auftretens des Energieverbrauchs. Ein großer Teil der Energie wird dabei über mittel- und langfristige Kontrakte am Terminmarkt oder dem außerbörslichen Handel (Over-the-Counter – OTC) gehandelt. Der **kurzfristige Handel** erfolgt am sogenannten Spotmarkt, wobei, in Abhängigkeit des Lieferhorizontes, nach **Day-Ahead- und Intraday-Strommarkt** unterschieden wird. [8]

Für die Anwendungsfälle der Kategorie V2M sind auf Grund der bedingt planbaren Verfügbarkeit an Flexibilität bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge an Ladepunkten die kurzfristigen Märkte relevant. Während beim Day-Ahead-Handel die Energiebeschaffung für den nächsten Tag erfolgt, ermöglicht der Intraday-Handel nachgelagerte kurzfristige Anpassungen beim Stromhandel innerhalb desselben Tages. V2M-Initiativen zielen darauf ab, den wirtschaftlichen **Wert von Elektrofahrzeugen zu erhöhen**, die Integration erneuerbarer Energiequellen zu fördern und die Effizienz des Gesamtenergiesystems zu steigern [9].

Im Rahmen von V2M erfolgt die Nutzung und **Steuerung** der bidirektionalen **Ladevorgänge** der Elektrofahrzeuge aus **Sicht des Lieferanten**, mit dem ein Stromliefervertrag zur elektrischen Versorgung der Ladepunktgruppe oder des Unternehmens, in dessen Kundenanlage die Ladepunktgruppe integriert ist, besteht. Entsprechend handelt es sich hierbei um Anwendungsfälle **„In-front-of-the-meter“**. Aus Sicht des Unternehmens erfolgt eine Vermarktung der Flexibilität an den Lieferanten, mit dem ein Stromliefervertrag besteht. Der Lieferant nutzt die Flexibilität der Elektrofahrzeuge in seinem Versorgungsportfolio, um die Energiebeschaffung am Energiemarkt (EEX) zu optimieren.

4.4 Vehicle-to-Grid

Energieversorgungsunternehmen in der Rolle Netzbetreiber sind verantwortlich zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit und Aufrechterhaltung des Netzbetriebs und sind verpflichtet Maßnahmen zu ergreifen, um potenzielle Gefährdungen des Netzbetriebs entgegenzuwirken und Störungen zu beseitigen [10].

Mit „Vehicle-to-Grid“ wird die Kategorie bezeichnet bei der die **Elektrofahrzeuge** in beide Richtungen (Laden zur Lasterhöhung und Entladen zur Energiebereitstellung) **durch Steuersignale aus dem Netzbetrieb mit dem Stromnetz interagieren**. Dabei wird nicht nur Strom aus dem Netz für das Laden der Traktionsbatterien der Elektrofahrzeuge und -flotten bezogen, sondern die Fahrzeuge können zusätzlich als mobile, dezentrale Zwischenspeicherressource fungieren und elektrische Energie zurück ins elektrische Versorgungsnetz speisen. Die Nutzung bidirektionaler Lade- / Entladeflexibilität ermöglicht neue, zusätzliche Optionen, um einen Betrag zur Steigerung der Resilienz und effizienten Betrieb des elektrischen Netzes zu leisten. Bidirektionale Ladevorgänge der Kategorie „Vehicle-to-Grid“ werden zum **Bereitstellen und Erbringen von Netz- und Systemdienstleistungen** eingesetzt. Im Bereich „Vehicle-to-Grid“ erfolgt die Nutzung und Steuerung der bidirektionalen Ladevorgänge aus Sicht des zuständigen Netzbetreibers, in dessen Netzgebiet die Ladepunktgruppe oder das Unternehmen in dessen Kundenanlage die Ladepunktgruppe angeschlossen ist. Entsprechend handelt es sich hierbei um **Anwendungsfälle „In-front-of-the-meter“**.

Im Unterschied zur Beschreibung von „Vehicle-to-Grid“ in [5], bezieht sich die Betrachtung der Anwendungsfälle in erster Linie auf netz- und systemdienliche Anwendungen mit Steuerung zur Beeinflussung von bidirektionalen Ladevorgängen durch den zuständigen Netzbetreiber.

4.5 Home-to-Industry

Mit „Home-to-Industry“ wird der **Wirkungsbereich** der Anwendungsfälle aus dem Bereich „Vehicle-to-Industry“ **auf Ladepunkte von Mitarbeitende zu Hause erweitert**. Damit wird die zeitliche Verfügbarkeit an Flexibilität für das Unternehmen gesteigert und erweitert damit die Möglichkeiten zur **Flexibilitätsnutzung** für die Anwendungsfälle. Durch „Home-to-Industry“ wird es einem Unternehmen möglich nicht nur die Flexibilität der Elektrofahrzeuge an den Unternehmensstandorten zu nutzen, sondern auch die Flexibilität der Elektrofahrzeuge, die bei den **Mitarbeitenden zu Hause an Ladepunkten** befinden. Dies ist der Fall, wenn ein Mitarbeitender sein Dienst- und / oder Servicefahrzeug auch für seinem privaten Alltag verwenden und zu Hause laden kann. Der Rahmen der Betrachtung stellt ein **kundenanlagenübergreifender Stromliefervertrag** dar, d. h. der Stromliefervertrag des Unternehmens gilt auch für die **teilnehmenden Ladepunkte bei den Mitarbeitenden zu Hause**. Die Anwendungsfälle der Kategorie „Home-to-Industry“ sieht entsprechend vor, dass die Lade- und Entladevorgänge über das **Energie- und / oder Lademanagement des Unternehmens** beeinflusst werden können. Daher werden die Anwendungsfälle der Kategorie „Home-to-Industry“ analog zu „Vehicle-to-Industry“ der Betrachtung **„Behind-the-meter“** zugeordnet.

5 Vehicle-to-Industry

Generelle Anforderungen:

Die Kommunikationsfähigkeit zwischen Elektrofahrzeugen, Ladeinfrastruktur sowie Informations- und Kommunikationstechnologische (IKT)-Infrastruktur des Unternehmens stellt für die Anwendungsfälle aus der Kategorie „Vehicle-to-Industry“ die Grundvoraussetzung dar. Des Weiteren ist die zyklische Verfügbarkeit abrechnungsrelevanter Lastgangmessungen (Intelligente Messsysteme zur Erfassung und Abrechnung der Kundenanlage oder zeitsynchrone Parallelmessung) am Netzanschlusspunkt der betrachteten Kundenanlage des Unternehmens relevant sowie Informationen zur Energiebereitstellung einer ggf. vorhandenen erneuerbaren Energieanlage. Zur Einplanung und Steuerung von Ladevorgängen durch Energiemanagementsysteme sind Informationen zum Fahrzeugzustand bei Plug-In, den gewünschten Fahrzeugzustand bei Plug-Off und weitere Fahrzeugparameter erforderlich. Zu diesen gehören Informationen zum Ladezustand (State-of-Charge - SoC) des Fahrzeugs bei Plug-In, den gewünschten Ladezustand bei Plug-Off sowie den geplanten Abfahrzeitpunkt, die Nennlade- und -entladeleistung des Fahrzeugs und Ladepunktes sowie die Kapazität der Traktionsbatterie des Fahrzeugs. Bei Anwendungsfällen aus dem Bereich „Vehicle-to-Industry“ erfolgt keine Rückspeisung in das elektrische Netz der öffentlichen Versorgung als Effekt einer Ausspeicherung durch die Elektrofahrzeuge.

Beteiligte Akteure:

Fahrzeugnutzer, Fahrzeugeigentümer (Batteriedegradation bidirektionalem Laden), Unternehmen (Facility Manager, Energiebeauftragter (DIN ISO 16247, DIN ISO 50001, ...)), Gegebenenfalls: Charge-Point-Operator (CPO) und Elektromobilitätsprovider (EMP), Eigentümer / Betreiber lokale EE-Anlage(n), Energieversorgungsunternehmen (Lieferant als Anbieter eines dynamischen Stromtarifs oder Servicedienstleister)

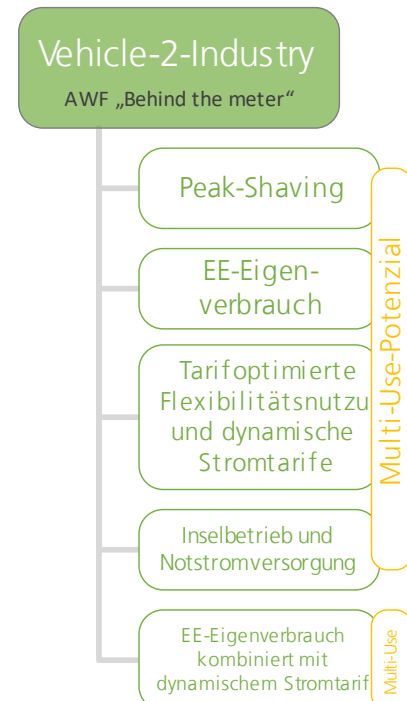


Abbildung 4: Anwendungsfälle der Kategorie V2I

5.1 Peak-Shaving

Beschreibung:

Im Anwendungsfall „Peak-Shaving“ findet die Lade-Entlade-Flexibilität von Elektrofahrzeugen einer Unternehmensflotte sowie (ggf.) Fahrzeuge der Mitarbeitenden eines Unternehmens oder Unternehmensstandortes zur Minimierung des Leistungsbezugs aus dem elektrischen Netz der öffentlichen Versorgung Verwendung. Hierbei findet die Nachladung des elektrifizierten Fuhrparks bei niedriger Last der restlichen Verbraucher innerhalb der Kundenanlage statt und soll Lastspitzen am Netzanschlusspunkt der Kundenanlage vermeiden. Die Elektrofahrzeuge dienen hierbei als Flexibilitätsressource innerhalb einer Kundenanlage an einem Standort eines Unternehmens.

In Zeiträumen eines hohen Leistungsbedarfs der weiteren nicht steuerbaren Verbraucher am Unternehmensstandort können durch die Elektrofahrzeuge ein Teil der in der Traktionsbatterien gespeicherten elektrischen Energie zurück in die Kundenanlage des Unternehmens gespeist und dadurch den Leistungsbezug aus dem elektrischen Netz der öffentlichen Versorgung reduziert und Lastspitzen vermieden werden. [6]

Use Case & User Story:

Elektrische Energiekosten für den Energiebezug aus dem elektrischen Netz der öffentlichen Versorgung gliedern sich in zwei Bestandteile, die arbeitsbezogenen Kosten zur Abrechnung der aus dem Versorgungsnetz bezogenen elektrischen Energie [€/kWh] und leistungsbezogenen Kosten (Netz-Leistungspreis) zur Abrechnung der höchsten im Laufe eines Jahres aufgetretenen Lastspitze [€/kW] bezogen auf den 15-Minuten-Mittelwert beim Energiebezug des Unternehmens (Kundenanlage). Die leistungsbezogenen Kosten liegen dabei abhängig vom zuständigen Netzbetreiber derzeit zum Teil jenseits der 200 €/kW/Jahr [11]. Ein zufälliger Zusammenfall des zusätzlichen Leistungs- und Energiebedarfs durch Elektrofahrzeuge und der weiteren elektrischen Lasten innerhalb einer Kundenanlage eines Unternehmens kann die abrechnungsrelevante Jahreshöchstlast steigern. Durch die Nutzung der Lade-Entlade-Flexibilität bidirektionaler Ladevorgänge kombiniert mit intelligentem Energie- und Lademanagement kann die Leistungserhöhung vermieden bzw. minimiert werden. Der Anwendungsfall adressiert die leistungsbezogenen Bestandteile (Netz-Leistungspreis) bei den Energiebezugskosten.

Varianten:

Für den Anwendungsfall „Peak-Shaving“ kann in zwei Varianten unterschieden werden:

Variante 1:

Peak-Shaving mit Elektrofahrzeugen als steuerbare Lasten zur gezielten Reduktion der Ladeleistung und Vermeidung der Beladung von Elektrofahrzeugen in Zeiträumen hoher Leistungsaufnahme der restlichen Verbraucher im betrachteten Energiesystem bzw. der Kundenanlage des Unternehmens.

- ➔ Vermeidung der Steigerung der Jahreshöchstlast beim Energiebezug aus dem elektrischen Netz der öffentlichen Versorgung.

Variante 2:

Peak-Shaving mit Elektrofahrzeugen als steuerbare Lasten zur gezielten Reduktion der Ladeleistung beim Annähern an eine parametrisierte Leistungsgrenze für die gesamte Kundenanlage eines Unternehmens. Bei Gefahr der Überschreitung der Leistungsgrenze erfolgt gezieltes Entladen der Elektrofahrzeuge mit dem Ziel der Reduzierung des Leistungsbezugs aus dem elektrischen Netz der öffentlichen Versorgung und Minimierung von Lastspitzen. Durch gezieltes Entladen der E-Fahrzeuge bei hohem Leistungsbedarf der weiteren Verbraucher im betrachteten Energiesystem bzw. der Kundenanlage eines Unternehmens über die Kapazität des

Netzanschlusses hinaus, kann auf diesem Weg virtuell die Leistungsfähigkeit des Netzanschlusses erweitert werden [12].

- Lastglättung und Reduzierung des Leistungsbedarfs / Jahreshöchstlast sowie
- Möglichkeit der virtuellen Kapazitätserweiterung des Netzanschlusses

Anreize:

Der Anreiz zur Umsetzung für das Unternehmen besteht aus der Senkung der leistungsbezogenen Kosten zur Abrechnung der im Laufe eines Jahres aufgetretenen Jahreshöchstlast.

5.2 Lokaler EE-Eigenverbrauch

Beschreibung:

Im Anwendungsfall „EE-Eigenverbrauch“ werden die Traktionsbatterien der Elektrofahrzeuge einer Unternehmensflotte sowie (ggf.) Fahrzeuge der Mitarbeitenden zur Maximierung der Nutzung der elektrischen Energie aus der eigenen EE-Anlage innerhalb einer Kundenanlage eingesetzt. Die Nachladung der Elektrofahrzeuge wird hierbei gezielt in Zeiten verlagert, in der die Energiebereitstellung aus der lokalen EE-Anlage, die Last des Unternehmens übersteigt und eine Rückspeisung ins öffentliche Netz resultiert. Lokale Erzeugungsüberschüsse werden damit gezielt zur Ladung der E-Fahrzeugflotte des Unternehmens genutzt, die Einspeisung von EE-Überschüssen zu reduzieren und den lokalen Nutzen des eigenen EE-Stroms zu steigern. [6]

Use Case & User Story:

Die lokale und direkte Nutzung der Energie aus der eigenen EE-Anlage, stellt sich für das Unternehmen wirtschaftlicher dar als der Energiebezug aus dem elektrischen Netz der öffentlichen Versorgung. Durch eine Steigerung und Maximierung des lokalen (EE-Eigen-)Energieverbrauchs aus der eigenen EE-Anlage wird der Energiebezug aus dem elektrischen Versorgungsnetz und damit die Energiebezugskosten des Unternehmens minimiert. Der Anwendungsfall adressiert die energiebezogenen Bestandteile (Arbeitspreis) bei den Energiebezugskosten.

Variante:

Die Elektrofahrzeuge dienen als Flexibilitätsressource innerhalb einer Kundenanlage eines Unternehmens. Bei der Nutzung der Flexibilitätsressource „Elektrofahrzeuge“ für den Anwendungsfall „Lokaler EE-Eigenverbrauch“ erfolgt eine zielgerichtete Ladung der Elektrofahrzeuge (vorrangig) in Zeiträumen, wenn durch die eigene EE-Anlage mehr elektrische Energie bereitgestellt wird (EE-Überschüsse), als die Last der restlichen Verbraucher am Unternehmensstandort benötigen. Im Anwendungsfall „Lokaler EE-Eigenverbrauch“ erfolgt somit die gezielte Lasterhöhung in Zeiträumen von lokalen Erzeugungsüberschüsse aus der eigenen EE-Anlage. Dadurch wird die Überschusseinspeisung in das elektrische Netz der öffentlichen Versorgung reduziert und der Nutzen der selbsterzeugten Energie im Unternehmen erhöht. Darüber hinaus besitzt bidirektionales Laden das Potenzial, die aus der EE-Anlage aufgenommene und eingespeicherte erneuerbare Energie bei Unterdeckung der Unternehmenslast wieder auszuspeisen und auf diesem Weg die Nutzung der selbsterzeugten Energie für das Unternehmen weiter zu steigern.

- Maximierung der Eigennutzung elektrischer Energie aus der EE-Anlage des Unternehmens

Anforderungen des Anwendungsfalls über die allgemeinen Anforderungen von V2I hinaus:

Es sind zusätzlich auch die Messwerte zur lokalen erneuerbaren Energiebereitstellung notwendig.

Anreize:

Durch eine Nutzung der Flexibilität von Elektrofahrzeugen mit der Möglichkeit der Verlagerung der Fahrzeugladelasten in Zeiten der erneuerbaren Energiebereitstellung aus der eigenen EE-Anlage sinkt der Bezug elektrischer Energie aus dem Versorgungsnetz und die damit verbundenen Energiebezugskosten. Durch die Möglichkeit des Entladens der Fahrzeuge, der zuvor aus der eigenen Anlage aufgenommenen Energie kann der EE-Eigenverbrauch weiter gesteigert und die Energiebezugskosten zusätzlich minimiert werden. Dadurch kann ein Unternehmen mit eigenen lokalen EE-Anlagen in Verbindung mit der Nutzung des Lastverschiebepotenzials der Elektrofahrzeuge seiner Mitarbeitenden einen attraktiven Ladepreis anbieten und damit die Bindung seiner Mitarbeitenden sowie die Arbeitgeberattraktivität steigern. Des Weiteren ist der genutzte Strom aus lokalen EE-Quellen umweltfreundlich und verbessert den CO₂-Footprint zum Einsatz kommenden Strommix des Unternehmens.

5.3 Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung und dynamische Stromtarife

Beschreibung:

Der Anwendungsfall „Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung und dynamische Stromtarife“ beschreibt den Einsatz von Lade- / Entladevorgängen von Elektrofahrzeugen und -flotten in Abhängigkeit des zum Zeitpunkt gültigen Arbeitspreises für das Unternehmen in dessen Energiesystem die Ladepunkte integriert sind. Die Lade-Flexibilität von Elektrofahrzeugen wird in diesem Anwendungsfall dazu genutzt den Energiebedarf der Fahrzeuge möglichst in Zeiträume günstiger Energiebezugskosten zu verlagern und dadurch minimale Energiebezugskosten zur Deckung der Ladeenergiebedarfe der Elektrofahrzeuge zu verursachen. Bidirektionale Ladevorgänge bieten darüber hinaus Potenzial, die in den Fahrzeugen gespeicherte elektrische Energie in Zeiträumen hoher Energiebezugskosten bereitzustellen und in die Kundenanlage des Unternehmens einzuspeisen. [6, 13, 14]

Use Case & User Story:

Energieversorgungsunternehmen (Rolle: Lieferant) sind seit 2025 verpflichtet ihren Kunden mit intelligentem Messsystem einen dynamischen Stromtarif anzubieten. Der Gesetzgeber definiert als dynamischen Tarif in § 3 Nr. 31b EnWG einen Stromliefervertrag der die Preisschwankungen auf den Spotmärkten, einschließlich der Day-Ahead- und Intraday-Märkte in den Abrechnungsintervallen des jeweiligen Marktes widerspiegelt. [15]

Der Anwendungsfall adressiert den energiebezogenen Bestandteil der Energiebezugskosten. Die Nutzung der Entladefähigkeit von bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen zur (teilweisen) Deckung des Energiebedarfs anderer Verbraucher im Unternehmen kann eine Reduzierung der Energiebezugskosten des Unternehmens ermöglichen. Es ist anzunehmen, dass Fahrzeuge das Unternehmen mit einem höheren Ladezustand verlassen, als bei der Ankunft vorhanden war, unabhängig davon wie zwischenzeitlich be- und entladen wurde. Die Ladeenergiebedarfe der Fahrzeuge steigern den elektrischen Energiebedarf des Unternehmens.

Varianten:

Dieser Anwendungsfall kann in zwei Varianten unterschieden werden:

Variante 1 (Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung):

Bei einer planmäßigen, typtagspezifischen Variabilität des Preissignals (z. B. HT-NT-Tarif) erfolgt eine zielgerichtete Ladung der Elektrofahrzeuge (wenn möglich vorrangig) im Zeitraum, wenn

der niedrigere Energiepreis gilt. Potenzial zur Entladung der Fahrzeuge und Einspeisung in die Kundenanlage des Unternehmens besteht in Zeiträumen mit Gültigkeit des höheren Energiepreises, um währenddessen den Energiebezug aus dem Versorgungsnetz und damit die Energiebezugskosten zu reduzieren.

Variante 2 (Dynamische Stromtarife):

Bei einer vollständigen Variabilität des Preissignals (dynamischer Tarif) erfolgt eine zielgerichtete Ladung der Elektrofahrzeuge (wenn möglich vorrangig) in Zeiträumen niedriger Energiepreise innerhalb eines Tages. Potenzial zur Entladung besteht in Zeiträumen höherer Energiepreise eines Tages. Ziel ist möglichst viel der Ladeenergiebedarfe der E-Fahrzeuge in den Zeitraum des niedrigsten Energiepreises des Tages zu verlagern. Über den Ladebedarf der Fahrzeuge hinaus geladene Energie kann in Zeiträumen höheren Energiepreise ausgespeist werden, um die Energiebezugskosten des Unternehmens zu reduzieren.

Anforderungen des Anwendungsfalls über die allgemeinen Anforderungen von V2I hinaus:

Für eine Einplanung von Lade- und Entladevorgängen und Nutzung der Flexibilität zur Anpassung von Ladevorgängen in Abhängigkeit von Preissignalen bedarf es Informationen, wie sich der Arbeitspreis im Zeitraum der Verweildauer der Fahrzeuge am Ladepunkt darstellt.

Je nach Variante des Anwendungsfall fügen sich weitere Anforderungen hinzu:

- Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung: Bei einer planmäßigen, typtagspezifischen Variabilität des Preissignals ist eine statische Parametrierung in einer lokalen Energiemanagement- oder Lademanagementlösung möglich.
- Dynamische Stromtarife: Bei vollständig dynamischen Stromtarifen bedarf es einer zyklischen Kommunikation mit dem Anbieter / Lieferanten des genutzten dynamischen Tarifs, um die für den Folgetag gültige Preisinformationen für ein lokale Energiemanagement- oder Lademanagementlösung verfügbar zu bekommen.

Zusammen mit den Informationen zur Verweildauer (Zeitpunkte und Zeitraum zwischen Plug-In und Plug-Off) und den Ladeenergiebedarfen der Elektrofahrzeuge lassen sich Ladepläne ermitteln, die die Ladeenergiebedarfe in Zeiträume günstiger Energiebezugskosten verlagern und damit kostenminimale Beladungen der Elektrofahrzeuge in Aussicht stellen.

Anreize:

Durch eine mögliche Verschiebung der Nachladung der Elektrofahrzeuge in Zeiten mit niedrigeren Preisen und die mögliche Entladung in höheren Preisbereichen sinken die Arbeitskosten zur Beschaffung der Energie für das Unternehmen. Das Unternehmen kann seinen Mitarbeitenden einen attraktiven Ladepreis anbieten und stärkt die Bindung der Mitarbeitenden sowie die Arbeitgeberattraktivität.

5.4 Inselbetrieb und Notstromversorgung

Beschreibung:

Im Anwendungsfall „Inselbetrieb“ bzw. „Notstromversorgung“ finden die Traktionsbatterien von Elektrofahrzeugen einer Unternehmensflotte sowie (ggf.) Fahrzeuge der Mitarbeitenden Verwendung zur Deckung des Energiebedarfs einer Kundenanlage eines Unternehmens oder Unternehmensstandortes in Folge eines Ausfalls des elektrischen Versorgungsnetzes. Hierbei wird genutzt, dass im Falle eines Stromausfalls / Blackouts die bereits in den Traktionsbatterien gespeicherte Energie als Energiequelle für die Anlagen eines Unternehmens dienen kann, um die Betriebskontinuität sicherzustellen. Je nach gespeicherter Energiemenge ist zu unterscheiden, welchen Anlagen die höchste Priorität zugesprochen werden und versorgt bleiben. Das Ziel ist im besten Fall mittels der optimierten Nutzung der Traktionsbatterien den Zeitraum des Stromausfalls / Blackouts zu überbrücken, bis eine Versorgung über das öffentliche Netz wiederhergestellt ist. Ist dies nicht möglich, soll der Zeitraum, in der die Notversorgung über die

Unternehmensflotte nicht gedeckt werden kann, möglichst auf ein Minimum begrenzt werden. [6, 13]

Use Case & User Story:

Durch die Entladeflexibilität wird die Resilienz der Energieversorgung des Unternehmens gesteigert und ermöglicht bei Ausfall des elektrischen Versorgungsnetzes eine zeitweise autarke Versorgung und trägt somit zur Versorgungssicherheit unternehmenskritischer Prozesse bei. Dadurch können je nach Prozessart sowohl wirtschaftliche Schäden als auch gegebenenfalls direkte Auswirkungen auf die Umwelt minimiert werden.

Varianten:

Dieser Anwendungsfall kann in zwei Varianten unterschieden werden:

Variante 1:

Bereitstellung des Energiebedarfs aller Lasten einer Kundenanlage eines Unternehmens oder Unternehmensstandortes bis dieses zusätzliche Energiedeckungspotential durch die Traktionsbatterien ausgespeichert und erschöpft ist.

→ Direkte Weiterversorgung aller anderen Verbraucher des Unternehmens.

Variante 2:

Segmentierung der Verbraucher anhand einer Prioritätseinstufung, basierend auf unternehmensspezifischen Kriterien. Diese Vorgehensweise unterstützt den Entscheidungsprozess während eines Versorgungsausfalls, um festzulegen, welche Verbraucher priorisiert bedient werden sollen.

→ Priorisierte Weiterversorgung kritischer Verbraucher des Unternehmens zum Erreichen sicherer Betriebszustände (USV-Funktion).

Anforderungen des Anwendungsfalls über die allgemeinen Anforderungen von V2I hinaus:

Für diesen Anwendungsfall sind weitere Anforderungen zu erfüllen. Es muss ein inselfähiges und netzbildendes Batteriesystem existieren und die entsprechenden Verbraucher auf den Inselbetrieb wechseln können (z. B. mittels elektrisch gesteuerter Leistungsschalter). Für die zweite Variante ist zusätzlich die Einstufung der Priorität der Verbraucher notwendig.

Anreize:

Der Anreiz für das Unternehmen entsteht durch die Möglichkeit im Falle eines Netzausfalls mit Notstrom den Betrieb, zum Teil eingeschränkt, zeitweise weiterführen und Anlagen in sichere Betriebszustände bringen zu können.

5.5 Lokaler EE-Eigenverbrauch kombiniert mit dynamischen Stromtarif

Beschreibung:

Im Anwendungsfall „Lokaler EE-Eigenverbrauch kombiniert mit dynamischem Stromtarif“ handelt es sich um ein Beispiel zur Kombination von Anwendungsfällen und exemplarischen Darstellung des Multi-Use-Potenzials von Anwendungsfällen für das gesteuerte Laden / Entladen bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur.

Im Anwendungsfall „Lokaler EE-Eigenverbrauch“ (vgl. Abschnitt 5.2) wird die Flexibilität der Elektrofahrzeuge gezielt dazu genutzt, möglichst viel der selbst lokal bereitgestellten erneuerbaren Energie innerhalb der Kundenanlage des Unternehmens direkt zu nutzen. Im Anwendungsfall „Tarifoptimierte Flexibilitätsnutzung und dynamische Stromtarife“ (vgl. Abschnitt 5.3) wird die Flexibilität der Elektrofahrzeuge zum einen zum gezielten Verlagern der Ladelast der Elektrofahrzeuge in Zeiträume niedriger Energiebezugskosten genutzt und zum anderen dazu, durch

gezieltes Entladen der Fahrzeuge in Zeiträumen hoher Energiebezugskosten den Energiebezug aus dem elektrischen Versorgungsnetz zu minimieren. Sowohl das gezielte Laden in Zeiträume niedriger Energiebezugskosten als auch das gezielte Entladen in Zeiträumen hoher Energiebezugskosten minimiert die Energiebezugskosten für ein Unternehmen.

Durch eine Kombination von Anwendungsfällen wird die Nutzung der Flexibilität von Elektrofahrzeugen gesteigert. Die Nutzung der Flexibilität zum Eigenverbrauch der aus der eigenen EE-Anlage bereitgestellten elektrischen Energie stellt die kostengünstigste Möglichkeit zur Deckung des Ladeenergiebedarfes der Elektrofahrzeuge dar. Während ein dynamischer Stromtarif auch außerhalb der Zeiträume der Energiebereitstellung aus der eigenen EE-Anlage, die Flexibilität der Elektrofahrzeuge nutzt, um die Ladeenergiebedarfe der Fahrzeuge in Zeiträume niedriger Energiebezugskosten zu verschieben. Durch die Ausspeicherfähigkeit der Fahrzeugbatterie bei bidirektionalen Ladevorgängen, kann die zuvor günstiger geladene Energie zur Energiebedarfsdeckung anderer Verbraucher innerhalb der Kundenanlage des Unternehmens Einsatz finden und auf diesem Weg dazu beitragen, die Energiebezugskosten des Unternehmens weiter zu minimieren.

Use Case & User Story:

Eine Nutzergruppe von Ladepunkten im Unternehmen können die privaten Fahrzeuge der Mitarbeitenden sein. Die Fahrzeuge der Mitarbeitenden stehen üblicherweise tagsüber an den Ladepunkten des Unternehmens. Die Flexibilität dieser Nutzergruppe erscheint somit prädestiniert zur Verschiebung des Energiebedarfs der Fahrzeuge in Zeiten der Energiebereitstellung aus der unternehmenseigenen PV-Anlage zur Steigerung des EE-Eigenverbrauchs. Eine weitere Nutzergruppe (Dienst- und Servicefahrzeuge) von Ladepunkten im Unternehmen stellen elektrifizierte Dienst- und Servicefahrzeuge des Unternehmens dar. Diese Fahrzeuge stehen zumeist überwiegend über Nacht, außerhalb der Geschäftszeiten an den Ladepunkten des Unternehmens. Somit erscheint die Nutzung der Flexibilität diese Nutzergruppe als geeignet, die Fahrzeugenergiebedarfe in Zeiträume niedriger Energiebezugskosten während der Nachtstunden zu verschieben. Beide Anwendungsfälle tragen dazu bei, die Energiekosten des Unternehmens zu minimieren. Durch die bidirektionale Ladefähigkeit der Elektrofahrzeuge besteht darüber hinaus die Möglichkeit der Fahrzeugentladung in Hochpreiszeiten, der zuvor günstiger aufgenommenen Energie (PV-Eigenstrom und / oder günstigeren Strom aus dem öffentlichen Netz).

Variante:

Die Elektrofahrzeuge dienen als Flexibilitätsressource innerhalb der Kundenanlage eines Unternehmens. Durch die Nutzung der Flexibilitätsressource „Elektrofahrzeuge“ für EE-Eigenverbrauch kombiniert mit einem dynamischen Stromtarif wird die Nachladung der Elektrofahrzeuge gezielt in Zeiträume verlagert, wenn durch die eigene EE-Anlage mehr elektrische Energie bereitgestellt wird (EE-Überschüsse) als die Last der restlichen Verbraucher am Unternehmensstandort benötigen. Dadurch wird der EE-Eigenverbrauch gesteigert und die Netzeinspeisung lokaler EE-Überschüsse reduziert. Darüber hinaus bietet ein dynamischer Stromtarif Möglichkeiten, die Flexibilitätsnutzung auch außerhalb von Zeiträumen von EE-Überschüssen in Zeiträumen mit niedrigem Bezugspreis zu verlagern, um damit die Energiebezugskosten zu reduzieren.

Bei der über die Fahrzeugenergiebedarfe hinaus geladene Energie aus EE-Überschüssen oder während niedrigerem Energiebezugspreis aufgenommenen Energie, besteht durch die Entladeoption der Fahrzeuge beim bidirek das Potenzial in Zeiträumen höherer Preise den Energiebezug aus dem elektrischen Versorgungsnetz zu reduzieren und damit ebenfalls die Energiebezugskosten.

- Steigerung der Nutzung lokal bereitgestellten erneuerbaren Energie aus der eigenen EE-Anlage und Nutzung von Niedrigpreiszeiträumen zur Deckung der Ladeenergiebedarfe.

Anforderungen des Anwendungsfalls über die allgemeinen Anforderungen von V2I hinaus:

Kombination aus den weiteren Anforderungen der beiden zu Grunde liegenden Anwendungsfälle.

Anreize:

Die Anreize für diesen Anwendungsfall resultieren aus den Anreizen beider hier zusammengeführten Anwendungsfälle „Lokalen EE-Eigenverbrauch“ kombiniert mit einem „Dynamischen Stromtarif“ für den Reststrombezug und Versorgung der Kundenanlage, wenn die eigene EE-Anlage nicht ausreichend Energie bereitstellt, die Last zu decken.

Anreiz durch „Lokalen EE-Eigenverbrauch“: Durch eine Nutzung der Flexibilität von Elektrofahrzeugen durch die Möglichkeit einer Verlagerung der Fahrzeugladelasten in Zeiten der erneuerbaren Energiebereitstellung aus der eigenen EE-Anlage sinkt der Bezug elektrischer Energie aus dem elektrischen Versorgungsnetz und die damit verbundenen Energiebezugskosten. Durch die Möglichkeit des Entladens der E-Fahrzeuge der zuvor aus der eigenen EE-Anlage aufgenommenen Energie (über den Ladeenergiebedarf hinaus) kann der EE-Eigenverbrauch weiter gesteigert und die Energiebezugskosten zusätzlich reduziert werden. Des Weiteren ist der genutzte Strom aus lokalen EE-Quellen umweltfreundlich und verbessert den CO₂-Footprint des zum Einsatz kommenden Strommix im Unternehmen.

Anreiz durch „Dynamischen Stromtarif“: Durch die Flexibilität von Elektrofahrzeugen und die Möglichkeit der Verschiebung der Ladelast in Zeiträume mit niedrigeren Preisen kann der energiebezogene Bestandteil (Arbeitskosten) an den Energiebezugskosten minimiert werden. Darüber hinaus bietet die Entladefähigkeit bidirektionaler Ladevorgänge die Möglichkeit die zuvor zu niedrigeren Preisen aufgenommene Energie (über den Ladeenergiebedarf hinaus) zu Zeiten höherer Preisbereiche auszuspeisen, um den Energiebezug aus dem elektrischen Versorgungsnetz während Zeiträume höherer Energiebezugskosten zu minimieren und damit ebenfalls die Energiebezugskosten.

6 Vehicle-to-Market

Generelle Anforderungen:

Die robuste und sichere Kommunikationsfähigkeit zwischen Elektrofahrzeugen, Ladeinfrastruktur und Informations- und Kommunikationstechnologischer (IKT-)Infrastruktur des Unternehmens sowie zum Lieferanten und Marktplatz stellt für die Anwendungsfälle der Kategorie „Vehicle-to-Market“ die Voraussetzungen dar.

Die Energiebeschaffung am Markt erfolgt im Vorfeld vor dem eigentlichen Auftreten des Energieverbrauchs. Im Abschnitt 4.3 wurde dargestellt, dass aufgrund der bedingten Planbarkeit von (sowohl unidirektionalen als auch) bidirektionalen Ladevorgängen nur die kurzfristigen Strommärkte: Day-Ahead und Intraday für Vehicle-2-Market von Relevanz sind.

Um mit bidirektional ladefähigen Elektrofahrzeugen und zugehöriger Ladeinfrastruktur an den Strommärkten aktiv teilzunehmen zu können, werden sowohl Preisprognosen für den Day-Ahead- als auch Intraday-Handel benötigt. Ebenfalls ist eine Prognose der nicht steuerbaren (bzw. nicht flexiblen) Last des Unternehmens / Kundenanlage mit Ladepunktgruppe von Vorteil. Des Weiteren sind für die Anwendungsfälle der Kategorie „Vehicle-to-Market“ Prognosen der Flexibilität der Elektrofahrzeuge (EV-Flexibilitätsprognosen) zur Verfügbarkeit und Verweildauer am Ladepunkt bzw. Ladepunktgruppe und die Fahrzeugenergiebedarfe erforderlich. Alle zu prognostizierenden Größen stellen Eingangsgrößen für eine darauf abgestimmte kostenoptimale Planung des Flexibilitätseinsatzes der bidirektionalen Ladevorgänge zur Teilnahme an den Märkten dar.

Idealerweise kann eine Aggregation der flexibilitätsbeschreibenden Parameter der einzelnen Elektrofahrzeuge auf Ebene der gesamten Ladepunktgruppe einer Kundenanlage erfolgen, so dass keine flexibilitätsbeschreibenden Größen je Ladevorgang notwendig werden, um den Ladestandort zu optimieren. Durch eine Flexibilitätsaggregation wird eine Reduzierung der Anzahl an Eingangsdaten zur Steuerung von Ladevorgängen ganzer Ladepunktgruppen sowie eine Reduktion der zu übertragenden Informationen möglich.

Beteiligte Akteure:

Energieversorgungsunternehmen (Rolle: Lieferant), Fahrzeugnutzer, Fahrzeugeigentümer, Unternehmen (Facility Manager, Energiebeauftragter (z. B.: DIN ISO 16247, DIN ISO 50001, ...))
Gegebenenfalls: Charge-Point-Operator (CPO) und Elektromobilitätsprovider (EMP)

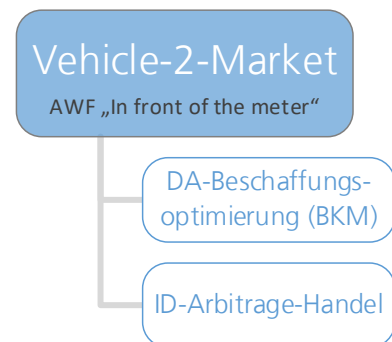


Abbildung 5: Anwendungsfälle der Kategorie V2M

6.1 Beschaffungsoptimierung und Arbitrage Handel

Beschreibung:

Der Anwendungsfall „Beschaffungsoptimierung“ beschreibt das Integrieren und Nutzen der Lade-Entlade-Flexibilität bidirektional ladefähiger Elektrofahrzeuge in das Bilanzkreismanagement eines Lieferanten. Anbieter von Stromlieferverträgen (Lieferanten) beliefern ihre Kunden mit elektrischer Energie. Der Energiebedarf zur Belieferung des gesamten Kundenportfolios eines Lieferanten wird im Rahmen des Bilanzkreismanagements durch den Bilanzkreisverantwortlichen zusammengefasst, um anschließend die zur Lieferung notwendige elektrische Energie am Markt zu beschaffen. An den Spotmärkten wird Strom im Vorfeld am vortägigen Markt (Day-Ahead) und im untertägigen Markt (Intraday) gehandelt [16].

Der Beschaffungspreis für elektrische Energie am Day-Ahead-Markt (DA-Markt) ist dynamisch und kann stündlich variieren (nach Umstellung in 2025 auch viertelstündlich [17, 18]). Der Handel am Intraday-Markt (ID-Markt) erfolgt bereits in viertelstündlichen Zeitscheiben / -einheiten [18]. Bei einer denkbaren Nutzung der Flexibilität von Elektrofahrzeugen im zu beliefernden Kundenportfolio erhält ein Energieversorgungsunternehmen (Rolle: Lieferant) einen zusätzlichen Freiheitsgrad seine Energiebeschaffung am Markt zu optimieren.

Als Erweiterung zur Beschaffungsoptimierung am DA-Markt beschreibt der Anwendungsfall „Arbitragehandel“ den zusätzlichen Handel elektrischer Energie am nachgelagerten ID-Markt mit dem Ziel, von Preisschwankungen zwischen DA- und ID-Strommarkt zu profitieren. Im Allgemeinen beschreibt Arbitrage-Handel das Nutzen von Preisunterschieden eines Guts an unterschiedlichen Marktplätzen mit dem Ziel Gewinne zu erzielen (hier: Preisunterschiede zwischen DA- und ID-Markt). [19]

Use Case & User Story:

In Abhängigkeit der Höhe des flexiblen Energiebedarfs am Gesamtenergiebedarf eines Unternehmens, welches dem Lieferanten die Flexibilität der Elektrofahrzeuge zur Verfügung stellt, könnte als Motivation ein spezieller Stromliefervertrag dienen. Dieser sollte so gestaltet werden, dass dieser sowohl das Unternehmen als auch nachgelagert die Fahrzeugeigentümer und -nutzer motiviert, die Flexibilität der Elektrofahrzeuge / -flotte dem Lieferanten, welcher das Unternehmen mit elektrischer Energie beliefert, zu Verfügung zu stellen.

Varianten:

Die Varianten Beschaffungsoptimierung und Arbitrage Handel sind nachfolgend kurz dargestellt.

Variante 1 (Beschaffungsoptimierung am DA-Markt):

Im Rahmen der Beschaffung von elektrischer Energie am Day-Ahead-Markt wird die Nutzung der EV-Flexibilität optimal geplant und dabei die Fahrzeugenergiebedarfe im Versorgungsportfolio eines Lieferanten möglichst in Zeiträume niedriger Marktpreise (EEX-Strombörse) verlagert. Bei zeitweisen besonders hohen Marktpreisen bietet die Möglichkeit des Ausspeicherns bei bidirektionalen Ladevorgängen das Potenzial, die für den Zeitraum / Zeitscheibe am Markt zu beschaffende Energie zu reduzieren, um die Kosten für die Energiebeschaffung des Lieferanten zur Versorgung des Kundenportfolios zu minimieren. Die Flexibilität aus bidirektionalen Ladevorgängen kann zusätzlich dazu beitragen, den Betrieb von im Bilanzkreis verorteten Erzeugungsanlagen zu optimieren indem bspw. teure An- und Abfahrvorgänge vermieden werden.

- ➔ Kostenminimale Energiebeschaffung zur Versorgung des gesamten Kundenportfolios eines Lieferanten am Day-Ahead-Markt.

Variante 2 (Arbitrage Handel am ID-Markt):

Aufgrund von Preisunterschieden zwischen Day-Ahead- und Intra-Day-Markt resultieren neue Optimierungspotenziale für die Nutzung und den Einsatz der Flexibilität von Elektrofahrzeugen. Dabei können diese Schwankungen durch das gezielte Entladen der Elektrofahrzeuge bei

einem höheren Preis und wieder Laden bei einem niedrigeren Preis genutzt werden, um den wirtschaftlichen Nutzen des Flexibilitätseinsatzes der Elektrofahrzeuge / Ladepunkte zusätzlich zu steigern. [6, 13]

→ Nutzen von Preisunterschieden für elektrischen Energie zu einem Zeitpunkt an unterschiedlichen Märkten mit dem Ziel der Gewinnmitnahme.

Anreize:

Der Anreiz eines Unternehmens seinem Lieferanten die Flexibilität in seiner Kundenanlage stattfindender bidirektionaler Ladevorgänge für die Energiebeschaffung am Markt verfügbar zu machen, könnte in einem für das Unternehmen attraktiven Stromliefervertrag liegen. Der Anreiz des Unternehmens resultiert aus einem Angebot des Lieferanten, die Flexibilität des Unternehmens nutzen zu können. So könnte bspw. ein attraktiver Arbeitspreis beim Energiebezug sowohl das Unternehmen als auch Fahrzeugeigentümer und -nutzer motivieren dem Lieferanten die Flexibilität zur Verfügung zu stellen.

7 Vehicle-to-Grid

Generelle Anforderungen:

Die Kommunikationsfähigkeit zwischen Elektrofahrzeugen, Ladeinfrastruktur und Informations- und Kommunikationstechnologische (IKT-)Infrastruktur des Unternehmens stellt für die für Anwendungsfälle der Kategorie „Vehicle-to-Grid“ die Grundvoraussetzung dar.

Wie im Abschnitt 4.4 dargestellt sind Netzbetreiber verantwortlich zur Aufrechterhaltung des Netzbetriebes und verpflichtet Maßnahmen zur Sicherheit und Zuverlässigkeit des elektrischen Energieversorgungssystems zu ergreifen. Hierfür bedarf es für die Anwendungsfälle der Kategorie „Vehicle-to-Grid“ einer Kommunikationsverbindung zum zuständigen Netzbetreiber, um bidirektionale Ladevorgänge aktiv zu beeinflussen.

Das Steuersignal zur präventiven und netzorientierten Steuerung gelangt vom Netzbetreiber über ein intelligentes Messsystem (iMSys) mit Steuerbox zur Direktsteuerung und / oder ein lokales Energiemanagement zum Elektrofahrzeug als steuerbare Verbrauchseinrichtung (SteuVE) [20]. Darüber hinaus ist die messtechnische Erfassung der Leistungs- und Energieaufnahme der gesamten Ladepunktgruppe bzw. Kundenanlage (mittels iMSys) zum Nachweis zur Umsetzung einer Anpassung der Leistungsaufnahme / -abgabe auf Basis des Steuersignals relevant [20, 21].

Für eine Einplanung von Elektrofahrzeugen als steuerbare Verbrauchseinrichtung in Netzbetriebsplanungsprozesse sowie zum Bereitstellen und Erbringen von Systemdienstleistung (SDL) sind Prognosen der Flexibilität und der gesicherten Leistung an Ladepunkten befindlicher Elektrofahrzeuge von hoher Relevanz, um diese als steuerbare, system- und netzdienliche Ressource einbeziehen zu können. Analog zur Kategorie „Vehicle-to-Market“ ist auch bei der Kategorie „Vehicle-to-Grid“ und den Anwendungsfällen zur Bereitstellung und Erbringung von Systemdienstleistungen idealerweise eine Aggregation der Flexibilität / Flexibilitätsprognose möglich, um die Anzahl an Informationen aus dem Netzgebiet zur Netzzustandsermittlung und -analysen zu reduzieren und bei der Bereitstellung und Erbringung von Systemdienstleistungen Einsatz finden zu können.

Beteiligte Akteure:

Energieversorgungsunternehmen (Rolle: Netzbetreiber), Fahrzeugnutzer, Fahrzeugeigentümer, Unternehmen (Facility Manager, Energiebeauftragter (z. B.: DIN ISO 16247, DIN ISO 50001, ...))
Gegebenenfalls: Charge-Point-Operator (CPO) und Elektromobilitätsprovider (EMP)

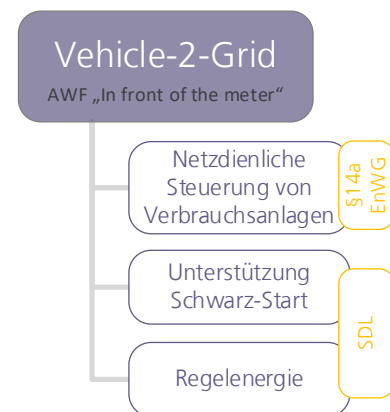


Abbildung 6: Anwendungsfälle der Kategorie V2G

7.1 Netzdienliche Steuerung von Verbrauchsanlagen

Beschreibung:

Im Anwendungsfall „Netzdienliche Steuerung von Verbrauchsanlagen“ werden die Elektrofahrzeuge zur Stabilisierung des elektrischen Versorgungsnetzes eingesetzt. Netzbetreiber sind verpflichtet Maßnahmen zu ergreifen, potenzielle Gefährdungen des Netzbetriebs entgegenzuwirken und Störungen zu beseitigen. Hierfür ist der Netzbetreiber berechtigt die Leistungsaufnahme von steuerbaren Verbrauchseinrichtung (steuVE) zeitweise zu beeinflussen. Steuerbare Verbrauchseinrichtungen sind u. a. nicht öffentliche Ladepunkte für Elektrofahrzeuge, die einen unmittelbar oder mittelbar Netzanschluss an die Netzebenen 6 und 7 aufweisen. Betreiber von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen werden durch Anreize motiviert die technischen Voraussetzungen zur Teilnahme an der netzorientierten Steuerung (§ 14a EnWG [22]) zu schaffen. Hierfür sind 3 Module [23] definiert, die monetäre Anreize liefern, wenn eine oder mehrere steuerbare Verbrauchseinrichtungen gemäß § 14a EnWG [22] beliefert werden.

Eine Teilnahme ist für alle steuerbaren Verbrauchseinrichtungen mit einer Nennleistung über 4,2 kW [24] bei Netzanschlüssen ab dem 01.01.2024 verpflichtend und für alle vorher in Betrieb genommenen Verbrauchseinrichtungen, die den Kriterien entsprechen, bleibt eine Teilnahme zur netzorientierten Steuerung bis Ende 2028 freiwillig. Die anreizliefernden Module 1 und 2 sind ab dem 01.01.2024 und das Modell 3 ab 01.04.2025 anzuwenden. Das Modul 3 kann mit dem Anreiz von Modul 1 kombiniert werden, während eine Kombination mit Modul 2 nicht möglich ist. [23]

Use Case & User Story:

Bei unmittelbarem oder mittelbarem Netzanschluss an die Netzebenen 6 und 7 sind die Betreiber von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen zur Teilnahme an der netzorientierten Steuerung nach § 14a EnWG verpflichtet [22]. Die Verantwortung zur Sicherstellung des Netzbetriebs und Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit liegt beim zuständigen Netzbetreiber. Im Anwendungsfall „Netzdienliche Steuerung von Verbrauchsanlagen“ erfolgt die Nutzung von Elektrofahrzeugen als steuerbare Verbrauchseinrichtung durch den zuständigen Netzbetreiber zur Vermeidung von Netzengpässen. Als Anreiz für den Betreiber von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen, die technischen Voraussetzungen zu schaffen, dem Netzbetreiber steuernden Durchgriff zur Beeinflussung der Leistungsaufnahme von Ladepunkten einzuräumen, hat der Betreiber ein Anrecht auf reduzierte Netzentgelte (Module 1-3) [23].

Module:

Es sind für diesen Anwendungsfall drei unterschiedliche Module definiert die als Anreiz dienen:

Modul 1 (Pauschale Netzentgeltreduzierung):

Entspricht dem Standardmodul welches automatisch zum Tragen kommt, wenn Betreiber von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen keine Entscheidung getroffen haben. Die Pauschale zur Reduzierung der Netzentgelte beträgt 80 €/a zzgl. einer netzbetreiberspezifischen Stabilitätsprämie. [23]

Modul 2 (Prozentuale Netzentgeltreduzierung):

Die Alternative zum Standardmodul (Modul 1) gewährt eine Reduzierung der im Arbeitspreis enthaltenen Netzentgelte um 60 %. Hierfür ist eine Messung des Verbrauchs der steuerbaren Verbrauchseinrichtung(en) über separaten Zählpunkt erforderlich. [23]

Modul 3 (Zeitvariable Netzentgeltreduzierung):

Das Modul 3 kann ergänzend zum Standardmodul (Modul 1) gewählt werden. Die Ausgestaltung des zeitvariablen Netzentgeltes erfolgt mit drei Tarifstufen (Standardtarifstufe (ST), Hochlasttarifstufe (HT), Niedriglasttarifstufe (NT)), wobei jede Tarifstufe mindestens einmal innerhalb eines Tages (24h) zum Tragen kommt. [23]

Anreize:

Der Anreiz für das Unternehmen ist monetär und entsteht je nach gewähltem Modul durch eine Pauschale (Modul 1) in möglicher Verbindung mit einer zeitvariablen Netzentgeltreduzierung (Modul 3) oder Reduzierung des Anteils von in den Arbeitskosten gehaltenen Netzentgelten (Modul 2).

7.2 Unterstützung Schwarz-Start

Beschreibung:

Die im Anwendungsfall „Unterstützung Schwarz-Start“ verfolgte Zielstellung ist die Unterstützung des Wiederaufbaus des elektrischen Netzes der öffentlichen Versorgung in Folge eines großflächigen Stromausfalls (sog. Blackout). Nicht alle Kraftwerke, die zur Wiederherstellung der normalen Versorgungssituation erforderlich sind, sind schwarzstartfähig und benötigen zum Start und Hochlauf aus dem Stillstand extern zugeführte Energie, die aus schwarzstartfähigen Kraftwerken sowie Anlagen und Systemen mit Flexibilität bereitgestellt werden können. [25]
Ausgangspunkt für diesen Anwendungsfall bildet der Anwendungsfall „Inselbetrieb und Notstromversorgung“ (siehe Abschnitt 5.4). Durch Wiederherstellen der elektrischen Verbindung zum elektrischen Versorgungsnetz und einer Steigerung der Fahrzeugausspeicherung über den lokalen (Notstrom-)Energiebedarf hinaus, kann zusätzlich Energie für das elektrische Netz bereitgestellt werden und unterstützt damit sowohl den Netzwiederaufbau als auch die verfügbare Energie zum Starten nicht schwarzstartfähiger Kraftwerke.

Use Case & User Story:

In Folge eines Ausfalls des öffentlichen Versorgungsnetzes kann temporär die elektrische Versorgung im Unternehmen über die Rückspeiseoption der Elektrofahrzeuge am Unternehmensstandort bidirektionaler Ladevorgänge erfolgen, um kritische Systeme und Anlagen im Unternehmen mindestens in einen sicheren Zustand fahren zu können (vgl. Anwendungsfall „Inselbetrieb und Notstromversorgung“ siehe Abschnitt 5.4).

Die koordinierte Wiederherstellung des elektrischen Versorgungsnetzes nach einem großflächigen Stromausfall erfolgt durch den regelzonenverantwortlichen Übertragungsnetzbetreiber und den Netzwiederaufbauplan. Im Netzwiederaufbauplan enthalten sind die Strategien, wie das Übertragungsnetz schrittweise wieder unter Spannung gesetzt werden kann. Zum schrittweisen Wiederaufbau des Netzes sind schwarzstartfähige Stromerzeugungsanlagen (sog. Schwarzstartanlagen) erforderlich, die eigenständig und ohne externe Spannungsversorgung ein Teilnetz unter Spannung setzen können. Des Weiteren müssen Schwarzstartanlagen Leistung vorhalten und bereitstellen sowie zur Netzfrequenz- und Spannungsregelung beitragen können. [26]

Durch die technische Möglichkeit zur Rückspeisung von bidirektional-ladefähigen Fahrzeugen und Unternehmensflotten über den unternehmensspezifischen (Notstrom-)Energiebedarf hinaus, könnten Unternehmen den Wiederaufbau des Netzes, die Energieverfügbarkeit zum Anfahren von Kraftwerken und damit die Wiederherstellung der elektrischen Versorgung über das öffentliche Stromnetz unterstützen.

Die Energiebeschaffung für den Netzwiederaufbau und dem Hochlauf nicht schwarzstartfähiger Kraftwerke erfolgt entsprechend der „Marktgestützten Beschaffung von Schwarzstartfähigkeit“ nach den von der Bundesnetzagentur (BK6-21-023) bekanntgegebenen Rahmenbedingungen. Eine grundlegende Voraussetzung für die Teilnahme an der marktgestützten Beschaffung ist, dass Anbieter die technischen und organisatorischen Anforderungen gemäß BK6-18-249 der Bundesnetzagentur erfüllen. [26]

Variante:

Der zuständige Netzbetreiber ist verantwortlich und koordiniert die Wiederinbetriebsetzung des elektrischen Versorgungsnetzes und Hochfahren von Kraftwerkkapazitäten zur Wiederherstellung der ursprünglichen Versorgungssituation nach einem Strom- bzw. Netzausfall. Auf ein Signal des Netzbetreibers hin, erfolgt die Wiederherstellung der elektrischen Verbindung zum Versorgungsnetz sowie die gesteuerte und zielgerichtete Entladung bidirektional ladbarer Fahrzeuge, sodass eine Einspeisung in das elektrische Versorgungsnetz resultiert. Zusammen mit der Netzeinspeisung anderer Kraftwerke und Flexibilitäten (z. B. elektrische Energiespeicher) am Netz kann die bereitgestellte Energie aus der Rückspeisung von Elektrofahrzeugen beitragen, das elektrische Versorgungsnetz wiederaufzubauen und nichtschwarzstartfähige Kraftwerke hochzufahren. So ist beispielsweise denkbar, dass die bidirektional ladefähigen Fahrzeuge an den Ladepunkten bei der Netzwiederkehr in einen Stabilisierungsmodus gehen, Leistung vorhalten und zur Netzfrequenz- und Spannungsregelung beitragen, bis die elektrische Versorgung über das Versorgungsnetz vollumfänglich wiederhergestellt ist und in den normalen Betriebszustand zurückgekehrt werden kann.

Anreize:

Der Anreiz für das Unternehmen mit bidirektional ladefähigen Fahrzeugen und Flotten beim Schwarzstart zu unterstützen, resultiert aus mehreren Aspekten. Zum einen kann schneller zum normalen Netzbetrieb zurückgekehrt und vollumfänglich der Normalbetrieb im Unternehmen wieder aufgenommen werden. Zum anderen kann für das Unternehmen Erlöse durch die „Marktgestützte Beschaffung von Schwarzstartfähigkeit“ erzielt werden.

7.3 Regelennergie

Beschreibung:

Im elektrischen Energiesystem muss zu jedem Zeitpunkt die Energiebereitstellung (bzw. Energieerzeugung) und der Energieverbrauch im Gleichgewicht befinden. Kern des Anwendungsfalls „Regelennergie“ ist unvorhergesehene Leistungsunterschiede zwischen der Seite der Energiebereitstellung und des Energieverbrauchs auszugleichen. Eine Überdeckung der Last ($P_{\text{Erzeugung}} > P_{\text{Last}}$) führt zu einer Steigerung der Netzfrequenz über 50 Hz, während eine Unterdeckung der Last ($P_{\text{Erzeugung}} < P_{\text{Last}}$) zu einer Reduzierung der Netzfrequenz unter 50 Hz führt. Die Organisation zum Bereitstellen, Vorhalten und Erbringen von Regelennergie zur Aufrechterhaltung der Systemstabilität und Versorgungssicherheit liegt in der Verantwortung der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB). Der Aufruf zur Erbringung von Regelennergie erfolgt durch zuständigen Übertragungsnetzbetreiber für seine Regelzone. [13, 27]

Use Case & User Story:

Um Regelennergie anbieten zu können, müssen Stromerzeugungsanlagen mindestens eine elektrische Leistungsfähigkeit von einem Megawatt aufweisen. Die Bereitstellung der geforderten Mindestleistung kann durch den Zusammenschluss mehrerer Erzeugungsanlagen erfolgen und ermöglicht durch „Pooling“ kleinerer Erzeugungsanlagen auch größere Regelennergieabrufe des ÜNBs zu realisieren. Der Nachweis Regelennergie erbringen zu können, erfolgt über den Nachweis zur Präqualifikation der Anlage(n). Elektrische Verbraucher können ebenfalls teilnehmen und negative Regelennergie anbieten. Beispielsweise ist es denkbar, dass ein teilnehmendes Unternehmen, vom Netzbetreiber das Steuersignal erhält, negative Regelleistung zu erbringen und seine Produktion hochfährt und / oder Flexibilität einsetzt, um überschüssigen Strom aus dem Netz aufzunehmen. Erlöse aus der Vermarktung der Regelennergie werden auf Erbringung teilhabenden Anlagen aufgeteilt. [27]

Varianten:

Zum Ausgleich von Unterschieden zwischen Energiebereitstellung und Energieverbrauch kann der Übertragungsnetzbetreiber auf drei Arten von Regelenergie zurückgreifen [27], die nachfolgend kurz dargestellt sind.

Primärregelleistung:

Primärregelleistung (PRL) wird zur Frequenzregelung und damit zur schnellen Stabilisierung des Stromnetzes eingesetzt. Der Regelbereich der Netzfrequenz liegt zwischen 49,8 und 50,2 Hz. Ab einer Frequenz von über 50,01 Hz wird negative Regelleistung und unter 49,99 Hz positive Regelleistung erforderlich, um Energieerzeugung und -verbrauch in Einklang zu bringen. Die Regelung der Höhe des Abrufs der positiven bzw. negativen Regelleistung wird lokal vom PRL-Bereitsteller nach der eigenständigen Messung der Netzfrequenz durchgeführt. Bei der Bereitstellung wird die volle Leistung innerhalb von 30 Sekunden benötigt und ist bis zu 15 Minuten aufrechtzuerhalten. [27]

Sekundärregelleistung:

ÜNBs nutzen Sekundärregelleistung (SRL), wenn die PRL nicht ausreicht, um Frequenzabweichungen auszuregulieren. Nach den Vorgaben des Netzregelverbundes sollte die SRL nach spätestens 15 Minuten den primären Regelvorgang abgelöst haben, damit die PRL wieder zur Verfügung steht. Die Bereitstellung der SRL muss innerhalb von fünf Minuten in voller Höhe zur Verfügung stehen und für den Zeitraum zwischen 30 Sekunden und 15 Minuten aufrechterhalten werden. [27]

Minutenreserveleistung:

Aufgabe der Minutenreserveleistung (MRL) ist, die Sekundärregelung durch das Anfahren betriebsbereiter Kraftwerke mit längeren Anfahrzeiten abzulösen. Im Unterschied zu PRL und SRL handelt es sich bei MRL weniger um eine Regelung auf Basis der Netzfrequenz, sondern um eine Fahrplananpassung für die an der Regelleistungsbereitstellung beteiligter flexibler Anlagen und Kraftwerke durch die ÜNBs. Hierdurch werden die zuvor aktivierte PRL und die SRL wieder für einen möglichen Bedarfsfolgefall frei. Die Bereitstellung MRL muss innerhalb von 15 Minuten in voller Höhe zur Verfügung stehen und für den Zeitraum von 15 bis zu 60 Minuten aufrechterhalten werden. [27]

Anreize:

Der vorrangige Anreiz für Unternehmen einen Beitrag für die Sicherung der Netzstabilität zu leisten, resultiert aus der Vergütung für die angebotene Regelenergieart. Sowohl das Vorhalten von Leistung als auch die erbrachte Leistung sowie die eingespeiste Energie können je nach Regelenergieart vergütet werden. Wichtig zu beachten, dass bei Abruf der Regelleistung durch den ÜNB die abgerufene Leistung zu den angebotenen Zeitpunkten sicher zur Verfügung gestellt werden und entsprechend abrufbar sein muss (sog. gesicherte Leistung - ggf. mit Redundanzen abzusichern). Nichterbringung können Strafen oder Sanktionen durch den ÜNB zur Folge haben. [28]

8 Home-to-Industry

Generelle Anforderungen:

Die Kommunikationsfähigkeit zwischen Elektrofahrzeugen, Ladeinfrastruktur und Informations- und Kommunikationstechnologische (IKT-)Infrastruktur des Unternehmens stellt hierfür die Grundvoraussetzung dar.

Des Weiteren ist die zyklische Verfügbarkeit der abrechnungsrelevanten Lastgangmessungen (Intelligente Messsysteme zur Erfassung und Abrechnung einer Kundenanlage oder zeitsynchrone Parallelmessung) am Netzanschlusspunkt der betrachteten Kundenanlage des Unternehmens und dem Ladepunkt / Wallbox beim Mitarbeitenden am Wohnort erforderlich.

Zur Einplanung von Ladevorgängen in Energiemanagementsystemen sind Informationen zum Fahrzeugzustand bei Plug-In, den gewünschten Fahrzeugzustand bei Plug-Off und weitere Fahrzeugparameter erforderlich. Zu diesen gehören die Informationen zum Ladezustand des Fahrzeugs bei Plug-In, den gewünschten Ladezustand und Abfahrtszeitpunkt zum Plug-Off, die Nennlade- und -entladeleistung des Fahrzeugs und des Ladepunktes sowie Kapazität der Traktionsbatterie des Fahrzeugs.

Es soll keine Rückspeisung in das elektrische Netz der öffentlichen Versorgung als Effekt der Entladung der Elektrofahrzeuge vorkommen.

Beteiligte Akteure:

Fahrzeugnutzer und Wohnungs- bzw. Hauseigentümer des Fahrzeugnutzers, Fahrzeugeigentümer, Unternehmen (Facility Manager, Energiebeauftragter (z. B.: DIN ISO 16247, DIN ISO 50001, ...)). Gegebenenfalls: Charge-Point-Operator (CPO) und Elektromobilitätsprovider (EMP)

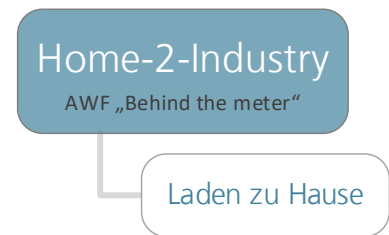


Abbildung 7: Anwendungsfälle der Kategorie H2I

8.1 Laden zu Hause

Beschreibung:

Der Anwendungsfall „Laden zu Hause“ sieht die Erweiterung der Anwendungsfälle aus dem Bereich „Vehicle-to-Industry“ und Anwendung auf die Ladeinfrastruktur am Wohnort der Mitarbeitenden vor. Durch Einbeziehung der Ladeinfrastruktur an den Wohnorten der Mitarbeitenden wird eine Ausdehnung der zeitlichen Verfügbarkeit der Flexibilität des bidirektionalen Ladens ermöglicht. Durch diese Vergrößerung sind die Nutzungsmöglichkeiten nicht mehr nur auf den zeitlichen Bereich der Fahrzeugverweildauer am Unternehmen begrenzt, sondern können auch auf die Standzeit am Wohnort der Mitarbeitenden erweitert geplant und optimiert werden.

Use Case & User Story:

Durch die Nutzbarkeit der Flexibilität von Fahrzeugen der Mitarbeitenden am Wohnort erfolgt eine Erweiterung des Wirkungsbereiches der Anwendungsfälle aus dem Bereich „Vehicle-to-Industry“. Beispielsweise der Anwendungsfall „Lokaler EE-Eigenverbrauch kombiniert mit dynamischen Stromtarif“ (siehe Abschnitt 5.5) ermöglicht unter Einbeziehung der Ladeinfrastruktur der Mitarbeitenden zu Hause, das gezielte Laden und Speichern von Energie bei hoher EE-Erzeugung am Wohnort und / oder Zeiten mit niedrigem Strompreis während der Nachtstunden. Auf diesem Weg kann die Flexibilität der Elektrofahrzeuge durch die Standzeiten der Fahrzeuge an den Wohnorten der Mitarbeitenden eingebunden werden. Die am Wohnort aufgenommene elektrische Energie, die nicht zum Zweck der Mobilität dient, könnte während Zeiträume höherer Preise am Unternehmensstandort Einsatz finden den Energiebezug und damit die Energiebezugskosten reduzieren. Für das Unternehmen erhöht sich so die zeitliche Verfügbarkeit der Flexibilität von angeschlossenen Elektrofahrzeugen und damit die Optimierungsmöglichkeit zur Flexibilitätsnutzung von Elektrofahrzeugen.

Varianten:

Beispielhaft werden zwei Erweiterungen von Anwendungsfällen betrachtet:

Variante 1:

Die an beiden Standorten aufgenommene erneuerbare Energie kann zusätzlich beim jeweils anderen Standort zur Energiebedarfsdeckung eingesetzt werden. Das Elektrofahrzeug dient dabei als Energietransport zwischen den Standorten und vergrößert den Zeitbereich, in dem die bidirektionale Lade- / Entladeflexibilität genutzt werden kann.

Variante 2:

Erweiterung der Varianten zur tarifoptimierten Flexibilitätsnutzung und Laden mit dynamischen Stromtarifen auf das Laden beim Mitarbeitenden zu Hause. Diese nutzen für die Ladeinfrastruktur am Wohnort denselben Tarif, wie das Unternehmen, bei dem die Mitarbeitenden beschäftigt sind. So ist denkbar, dass das Elektrofahrzeug zum Beispiel nachts mehr günstigeren Strom beim Mitarbeitenden zuhause aufnimmt, als dieser zum Mobilitätszweck benötigt, um später die elektrische Energie zu Hochpreiszeiten am Unternehmensstandort dem Fahrzeug zu entnehmen und den Energiebezug des Unternehmens während dieser Zeiten zu reduzieren.

Anreize:

Anreize für ein Unternehmen den Anwendungsfall „Laden zu Hause“ zu ermöglichen sind eine Steigerung der Arbeitgeberattraktivität und Bindung der Mitarbeitenden. Darüber hinaus bietet der Anwendungsfall eine mögliche Minimierung der Energiebezugskosten. Als Anreiz für die Mitarbeitenden dient ein attraktives Ladeangebot das sowohl am Arbeitsplatz als auch zu Hause genutzt werden kann.

9 Zusammenfassung

Die Zunahme an Elektrofahrzeugen und der erwartete Zuwachs in den kommenden Jahren führt zu einem steigenden Energiebedarf im elektrischen Energiesystem und koppelt die Sektoren Strom und Verkehr bzw. Mobilität. Diese neue und zusätzliche Verbrauchergruppe der Elektrofahrzeuge besitzt eine vergleichsweise hohe elektrische Leistungsfähigkeit und Speicherkapazität sowie Flexibilitätspotenzial beim Erfüllen der Ladeenergiebedarfe. Durch die Weiterentwicklung der Lade-technik und -infrastruktur zum bidirektionalen Laden können Elektrofahrzeuge und -flotten durch die zusätzliche Entladefähigkeit erweiterte Flexibilität bereitstellen und als elektrischer Zwischenspeicher fungieren.

Der Fokus der Untersuchung lag auf der Identifikation von Kategorien und Anwendungsfällen zum bidirektionalen Laden, die sowohl zum Mehrwert für Unternehmen, die einen elektrifizierten Fuhrpark (Service- und Dienstfahrzeuge, Laden der Mitarbeitenden) und Ladeinfrastruktur betreiben als auch zum Mehrwert für das Energiesystem dienen können. Hierzu wurden durch das Projektkonsortium verschiedene Anwendungsfälle identifiziert und beschrieben, die in einem ersten Schritt den Kategorien „Vehicle-to-Industry“, „Vehicle-to-Market“, „Vehicle-to-Grid“ und „Home-to-Industry“ zugeordnet wurden. Jede Kategorie ist gekennzeichnet durch eine grundlegende Beschreibung, einer kurzen Darstellung der grundsätzlichen Anforderungen und Rahmenbedingungen und gibt einen Kurzüberblick zu den beteiligten Akteuren. Darüber hinaus erfolgt eine Einordnung der Konzepte „Behind-the-meter“ und „In-front-of-the-meter“.

Die überwiegenden Anreize zur Umsetzung der beschriebenen Anwendungsfälle zum bidirektionalen Laden für Unternehmen sind monetärer Art und steigern die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur, in dem die Ladeenergiebedarfe möglichst kostenminimal bedient werden. Hierbei wird die Flexibilität der Fahrzeuge zum einen genutzt, um die Ladeenergiebedarfe in Zeiten zu verlagern, in denen die Energiekosten möglichst gering sind. Zum anderen bietet bidirektionales Laden die Möglichkeit den Fahrzeugen elektrische Energie wieder zu entnehmen und anderen Verbrauchern zur Verfügung zu stellen, wenn die Stromkosten besonders hoch sind. Darüber hinaus resultieren Anreize aus der Möglichkeit der Gestaltung attraktiver Ladeangebote für die elektrifizierte Unternehmensflotte aber auch für das Laden der Fahrzeuge der Mitarbeitenden und trägt damit zur Arbeitgeberattraktivität und Mitarbeiterbindung bei. Des Weiteren resultieren gesellschaftliche Anreize Ladeenergiebedarfe möglichst CO₂-neutral zu bedienen und die Energiewende zu unterstützen sowie Beiträge zur Netzstabilität und Resilienz des Energiesystems zu leisten.

Ein Großteil der betrachteten Anwendungsfälle (insbesondere aus der Kategorie „Vehicle-to-Industry“) sind bereits unter heutigen Gesichtspunkten realisier- und umsetzbar, unterscheiden sich jedoch in der Komplexität. Unter anderem kann die gezielte Flexibilitätsnutzung von Elektrofahrzeugen Lastspitzen vermeiden, den EE-Eigenverbrauch steigern und die Überschusseinspeisung aus der eigenen EE-Anlage minimieren. Dadurch können Ladekosten reduziert und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der eigenen EE-Anlage(n) und Ladeinfrastruktur gesteigert werden. Die Entlademöglichkeit beim bidirektionalen Laden bietet darüber hinaus die Option einen Teil der geladenen Energie anderen Verbrauchern zur Verfügung zu stellen und die Energiekosten weiter zu reduzieren.

Für eine Umsetzung der beschriebenen Anwendungsfälle aus der Kategorie „Vehicle-to-Market“ und einer aktiven Teilnahme von Elektrofahrzeugflotten am Energiemarkt werden verschiedene Energieprognosen benötigt, um die Flexibilität von Elektrofahrzeugen an den Spotmärkten optimal zu berücksichtigen und die Planbarkeit der Fahrzeugbeladungen zu erreichen. Die Anwendungsfälle der Kategorie „Vehicle-to-Grid“ sind für Netzbetreiber relevant, die Flexibilität von Elektrofahrzeugflotten einsetzen zu können, um Netzengpässen entgegenzuwirken und Systemdienstleistungen bereitzustellen und damit zur Resilienz des Energiesystems beizutragen. Sowohl bei Anwendungsfällen der Kategorie „Vehicle-to-Market“ als auch denen der Kategorie „Vehicle-to-Grid“ besteht noch Forschungsbedarf sowohl bei der Prognose und Aggregation der Flexibilität von Elektrofahrzeugen als auch der Ermittlung der Potenziale der Anwendungsfälle zur Flexibilitätsnutzung für Markt- und Netzbetriebsprozesse.

10 Literatur

- 1 *Dr. Bernhard Wille-Haußmann*. Kurzstudie: Batteriegroßspeicher an ehemaligen Kraftwerksstandorten sinnvoll. Im Internet: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2022/fraunhofer-ise-kurzstudie-batteriegrossspeicher-an-ehemaligen-kraftwerksstandorten-sinnvoll.html>; Stand: 25.02.2025
- 2 *Bundesnetzagentur*. Flexibilität im Stromversorgungssystem. Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität; 2017
- 3 *Pieter D'haen*. Understanding "Behind the Meter" and "In Front of the Meter" in the Utilities Sector (25.02.2025). Im Internet: <https://www.sseenergysolutions.co.uk/behind-the-meter-and-in-front-of-the-meter>
- 4 *BMUV*. Was ist Power-to-X, die Technologie einfach erklärt. Im Internet: <https://www.bmuv.de/media/was-ist-power-to-x-die-technologie-einfach-erklart>; Stand: 28.11.2024 15:45
- 5 *Leippi A, Otteny F, Zernickel M, Klingler A-L*. Power Transfer Vehicle-to-Home (V2H): Fraunhofer Society; 2024
- 6 *FfE*. Bidirektionales Laden – Anwendungsfälle aus Nutzersicht. Zwischenbericht zur Studie im Auftrag des ADAC e.V.; 2023
- 7 *FfE*. Bidirektionales Laden – Bidirektionales Lademanagement. Abschlussbericht der FfE; 2023
- 8 *Bundesnetzagentur*. Energiemarkt erklärt: Großhandelspreise. Im Internet: <https://www.smarde.de/page/home/wiki-article/518/562>; Stand: 03.02.2025
- 9 *Sven Martens (Thüga Aktiengesellschaft)*. Fachgespräch (04.02.2025). Im Internet: sven.martens@thuega.de; 04.02.2025
- 10 *Bundesnetzagentur*. Netzengpassmanagement. Im Internet: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Netzengpassmanagement/start.html>; Stand: 31.03.2025
- 11 *Thomas Schwarz (Marquardt GmbH)*. Fachgespräch (02.04.2024). Im Internet: Thomas.Schwarz@marquardt.com; 02.04.2024
- 12 *Tomas Kasemets (Lade GmbH)*. Fachgespräch (01.10.2024). Im Internet: tk@lade.de; 01.10.2024
- 13 *Nymoer H, Kimpel T, Kaschade C*. Initiative „Bidirektionales Laden“-Positionspapier zu notwendigen regulatorischen Anpassungen im Kontext des bidirektionalen Ladens. Berlin.[Online]. 2022
- 14 *Kühnbach M, Klobasa M, Stephan A, Lux B, Frank F, Surmann A, Kähler J, Biener W, Kamaci Z, John R*. Potential of a full EV-power-system-integration in Europe and how to realise it. Study on behalf of Transport & Environment (T&E) Europe. Freiburg, Karlsruhe (Germany): Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI.; 2024
- 15 *Becker Büttner Held*. Dynamische Tarife Pflicht und Kür. Im Internet: <https://www.bbb-blog.de/events/event/dynamische-tarife-pflicht-und-kuer-webinar-2>; Stand: 21.05.2024
- 16 *Bundesnetzagentur*. Nomierte Strommarktbetreiber. Im Internet: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/HandelundVertrieb/NEMO/start.html>; Stand: 24.01.2025
- 17 *Intense*. Umstellung der EPEX SPOT Day-Ahead Auktion auf Viertelstundenprodukte. Im Internet: <https://www.intense.de/magazin/epex-spot-day-ahead-auktion-viertelstundenprodukte-umstellung/>; Stand: 24.01.2025
- 18 *epexspot*. New 15-minute products in Market Coupling. Im Internet: <https://www.epexspot.com/en/new-15-minute-products-market-coupling>
- 19 *Next Kraftwerke GmbH*. Was ist Arbitrage? Im Internet: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/arbitrage>; Stand: 09.01.2025
- 20 *Jens Lück (Bundesnetzagentur)*. Aktueller Sachstand zu §14a EnWG; 12.11.2024

- 21 *Elisabeth Kolb (EnBW AG)*. Teilen von EV-Daten als Schlüsselfaktor für den Markterfolg von bidirektionalem Laden; 25.06.2024
- 22 *EnWG*. Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23. Dezember 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 448) geändert worden ist
- 23 *Beschlusskammer 8*. Festlegung von Netzentgelten für steuerbarere Anschlüsse und Verbrauchseinrichtungen (NSAVER) nach § 14a EnWG (BK8-22/010-A)
- 24 *Beschlusskammer 6*. Festlegung zur Durchführung der netzorientierten Steuerung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen und steuerbaren Netzanschlüssen nach § 14a EnWG (BK6-22-300)
- 25 *Netztransparenz*. Marktgestützte Beschaffung von Schwarzstartfähigkeit. Im Internet: <https://www.netztransparenz.de/de-de/Systemdienstleistungen/Versorgungswiederaufbau/Marktgest%C3%BCtzte-Beschaffung-von-Schwarzstartf%C3%A4higkeit>; Stand: 20.01.2025
- 26 *Next Kraftwerke GmbH*. Was ist Regelenergie? Im Internet: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/regelenergie>; Stand: 14.11.2024
- 27 *Next Kraftwerke GmbH*. Was ist Sekundärregelleistung? Im Internet: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/sekundaerreserve#auktion-der-sekundrregelleistung>; Stand: 12.02.2025