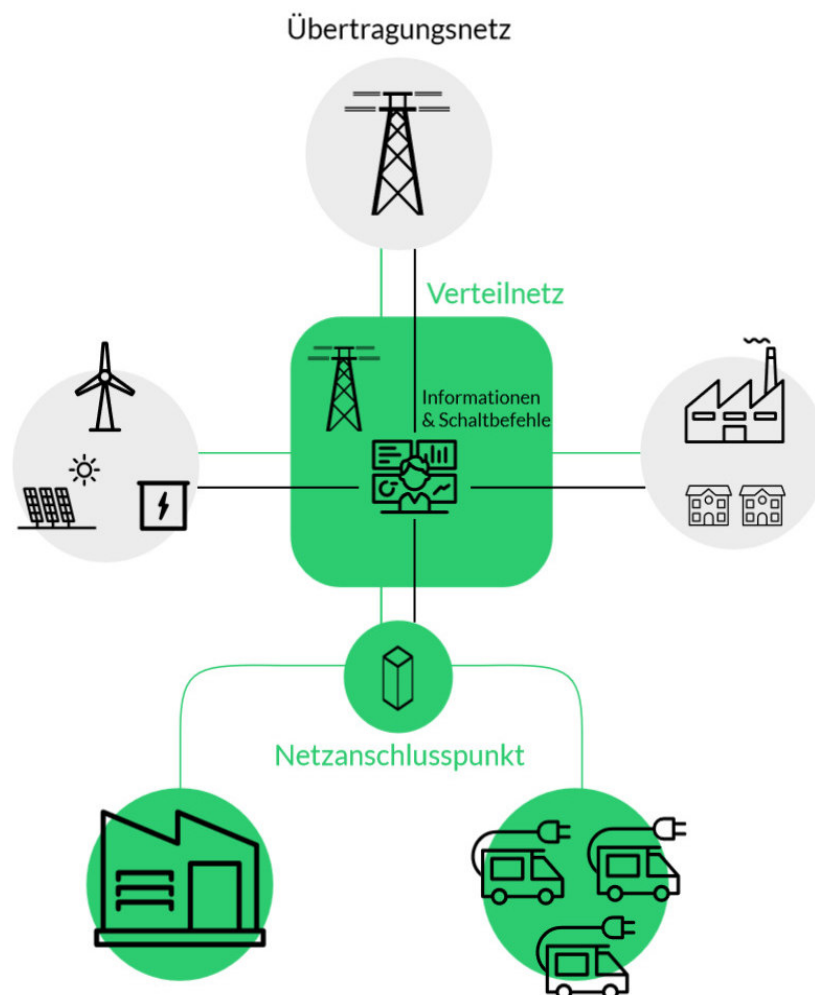


Whitepaper

Netzdienlicher Betrieb elektrifizierter Flotten



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

1. Hintergrund

Aufgrund der Energie- und Verkehrswende müssen die bisher weitgehend unabhängig voneinander funktionierenden Systeme Straßenverkehr und Stromnetz immer stärker miteinander vernetzt werden. Für Unternehmen, die Fahrzeugflotten oder Stromnetze betreiben, ergeben sich dadurch eine Reihe von neuen Chancen, aber auch Herausforderungen. Dazu gehören ein höherer, gleichzeitiger Strombedarf, aber auch das Potenzial zur Lastverschiebung aufgrund langer Standzeiten. Dies macht eine möglichst effiziente Nutzung von Strom und Infrastruktur erforderlich. Dieses Whitepaper zeigt die Vorzüge von intelligentem und netzdienlichem Ladeverhalten.

Im Stromsystem müssen Nachfrage nach elektrischer Energie und deren Bereitstellung in zeitliche Deckung gebracht werden. Diese Aufgabe wird immer komplexer, weil die volatile Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien steigt und die Elektrifizierung in den Sektoren Verkehr, Wärme und Industrie zunimmt. Während im konventionellen Energiesystem die Stromerzeugung durch Regelung der Kraftwerke an den Verbrauch angepasst wurde, erfordert das erneuerbare Energiesystem immer mehr Flexibilität beim Stromverbrauch. Wenn der Deutsche Bundestag, Regulierungsbehörden und Netzbetreiber hierfür die richtigen Anreize setzen, können Anschlussnehmer wie Unternehmen, die Flotten von Elektromobilen betreiben, von netzdienlichem Verhalten profitieren.

2. Anwendungsbereich

Dieses Whitepaper fasst die zentralen Erkenntnisse des Forschungsprojektes *Netz_eLOG - Intelligente Netzintegration der elektrifizierten Logistik* zusammen. Darin haben das Reiner Lemoine Institut, IAV und die E.DIS Netz GmbH am Beispiel des Fuhrparks eines Logistikunternehmens Auswirkungen der Elektromobilität auf das Stromnetz untersucht. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Programms „Erneuerbar Mobil“ im Zeitraum 2019-2023 gefördert. Die Inhalte richten sich an Unternehmen und Akteure, die:

- Fahrzeugflotten betreiben
- Stromnetze betreiben

Die Erkenntnisse zeigen, wie **Flottenbetreibende** unter dem aktuellen Gesetzes- und Regelwerk von netzdienlichem Laden profitieren können. Gegenstand der Ausführungen ist das **Laden auf nicht-öffentlichem Betriebsgelände mit längeren Standzeiten**. Die langen Standzeiten bestimmter Fahrzeugflotten ermöglichen eine hinreichende Flexibilität bei der Verschiebung von Ladezeiten.

Das Laden an öffentlichen Ladepunkten und insbesondere Schnellladepunkten mit hoher Ladeleistung ist nicht Gegenstand der Erkenntnisse des Projekts. Diese Ladepunkte sollen in der Regel nicht länger blockiert werden, als nötig. Somit bestehen dort nur sehr geringe Möglichkeiten zur zeitlichen Lastverschiebung.

Zum anderen soll das Whitepaper **Stromnetzbetreibern** dabei helfen, die absehbaren **Auswirkungen elektrifizierter gewerblicher Flotten auf das Stromnetz** besser einschätzen zu können. Ebenso beinhaltet es Möglichkeiten für Steuerungseingriffe in das Ladeverhalten von gewerblichen Flotten und die Kommunikation mit den Flottenbetreibenden.

3. Flexibilität beim Strombezug

Auf welche Weise und in welchem Umfang Flottenbetreibende durch das Anbieten von Flexibilität beim Laden ihrer Elektrofahrzeuge profitieren können, ist von einer Reihe von Faktoren abhängig. Sie lassen sich in zwei Gruppen einteilen.

3.1 Betriebliche Voraussetzungen:

Die Einsatzzeiten der Fahrzeuge und die zurückgelegten Strecken geben vor, zu welchen Zeiten und in welchem Umfang die Flotte Flexibilität anbieten kann. Hinzu kommen weitere Stromverbraucher wie beispielsweise die Gebäudelast (Beleuchtung, kleine Elektrogeräte usw.) und gegebenenfalls größere Maschinen, deren zeitlicher Strombezug ebenfalls berücksichtigt werden muss. Die Planbarkeit und Regelmäßigkeit von Ladeprozessen spielen im besonderen Maße eine Rolle für die Nutzung von Flexibilität.

3.2 Technische Voraussetzungen:

Die Flexibilität einer elektrischen Flotte hängt zum einen vom Energiebedarf und der maximal abrufbaren Ladeleistung durch die Flotte ab. Der Energiebedarf ist abhängig von der Flottengröße und den täglichen Fahrleistungen. Die maximale Ladeleistung am Standort ergibt sich aus der maximalen Ladeleistung aller gleichzeitig an der Ladeinfrastruktur angeschlossenen E-Fahrzeuge und kann gegebenenfalls durch den Netzanschlusspunkt begrenzt sein. Die maximale Ladeleistung eines Fahrzeugs wird durch die technischen Voraussetzungen seitens der Ladeinfrastruktur und seitens des Fahrzeugs definiert. Darüber hinaus wird die Ladeleistung oft fahrzeugseitig durch das Batteriemangement begrenzt, um die Batterie zu schonen. Für eine Nutzung der Flexibilität ist zudem die notwendige IT-Infrastruktur und Messtechnik erforderlich. Größere elektrische Flotten sind für gewöhnlich an die Mittelspannung angeschlossen und haben eine registrierende Leistungsmessung (RLM).

4. Netzanschluss der Ladeinfrastruktur

Beim Anschließen von Ladeinfrastruktur an das Stromnetz sind verschiedene Voraussetzungen zu beachten. Grundsätzlich besteht eine Meldepflicht von Ladepunkten gegenüber dem Netzbetreiber sowie eine Genehmigungspflicht für Ladepunkte, die eine Ladeleistung von 11 kW übersteigen. Weitere technische Notwendigkeiten sind im Leitfaden „Netzintegration Elektromobilität“¹ von VDE/FNN beschrieben.

Bei der Dimensionierung des Netzanschlusses sind nicht nur der Energiebedarf der Elektrofahrzeuge und die Standzeiten zu berücksichtigen, sondern auch die Gleichzeitigkeit mit anderen Verbrauchern. Um die Investitionskosten gering zu halten, ist aus aktueller Sicht zu empfehlen den **Netzanschluss so gering wie möglich zu dimensionieren**. Gleichzeitig sollten Flottenbetreibende **bei der Auslegung des Netzanschlusses zukünftige Strombedarfe wie etwa die Erweiterung der elektrischen Flotte mitdenken**. Eine nachträgliche Erweiterung ist mit Zusatzkosten verbunden. Ein lokaler Energiespeicher kann für einen zeitlichen Ausgleich des Strombezugs sorgen und so helfen Lastspitzen zu vermeiden. Dabei ist zu beachten, dass ein niedrig dimensionierter Netzanschluss die Leistungsflexibilität beschränkt. Es besteht somit ein Zielkonflikt zwischen maximaler Flexibilitätsnutzung und Begrenzung des Netzanschlusspunkts.

5. Lademanagement elektrischer Flotten

Grundlage für die Nutzung von Flexibilität in Form von Ladestrategien ist, dass die Standzeit des Fahrzeugs die Ladezeit mit maximaler Leistung überschreitet. Bei der Anwendung von Ladestrategien ist gegebenenfalls das Zusammenspiel mit anderen Verbrauchern am Standort sowie der Einspeisung lokaler Erzeugungsanlagen zu beachten.

5.1 Laden ohne Berücksichtigung des Stromnetzes

- **Unkontrolliertes Laden:** Sofortiges Vollladen mit der maximalen Ladeleistung beim Anschließen an den Ladepunkt. Diese Strategie erfordert kein Lastmanagementsystem, so dass hier Investitions- und Betriebskosten gespart werden können. Die Fahrzeuge sind schnellstmöglich wieder einsatzbereit. Je nach Gleichzeitigkeit ihrer Ankunft kann es zu hohen, abrechnungsrelevanten Leistungsspitzen kommen. Unkontrolliertes Laden bringt für den Netzbetreiber auch die Herausforderung mit sich, dass entstehende Leistungsspitzen oft in bereits stark beanspruchten Starklastzeiten am frühen Abend fallen.

¹ <https://www.vde.com/resource/blob/1896384/8dc2a98adff3baa259d9e98ec2800bd4/fnn-hinweis--netzintegration-e-mobilitaet-data.pdf>

- **Ausgeglichenes Laden:** Laden mit möglichst geringer Ladeleistung über die Standzeit der Fahrzeuge hinweg. Dies sorgt für einen ausgeglichenen Leistungsbezug und senkt damit abrechnungsrelevante Leistungsspitzen. Das Lastmanagement benötigt hierzu Informationen zur nächsten Abfahrtszeit der Fahrzeuge. Ein Nachteil des ausgeglichenen Ladens ist, dass die Leistungsspitzen anderer Verbraucher am Standort nicht berücksichtigt werden.
- **Peak-Shaving:** Diese Ladestrategie sieht vor, dass bestehende Leistungsspitzen am Netzanschluss möglichst nicht durch die Elektromobilität erhöht werden. Hierzu müssen im Lastmanagement andere Lasten am Standort berücksichtigt und auch prognostiziert werden.

5.2 Laden mit Berücksichtigung des Stromnetzes

- **Marktorientiertes Laden:** Laden nach aktuellem Strompreis an der Strombörse. Kunden profitieren vom niedrigen Börsenpreis und das Stromnetz wird durch den antizyklischen Strombezug entlastet. Allerdings besteht hierbei das Risiko einer Übersteuerung, da der Strompreis deutschlandweit einheitlich ist und das Marktsignal somit ebenfalls. Zudem spiegelt der Strompreis an der Börse nicht zwingend den Netzzustand vor Ort wider. Einige Energieversorgungsunternehmen bieten bereits dynamische Stromtarife an.
- **Hochlastzeitfenster vermeiden:** Diese Ladestrategie ergibt sich aus den Möglichkeiten, die der §19.2 der Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV)² für Anschlüsse an der Mittelspannung bietet. Hierbei werden vom Stromnetzbetreiber ausgewiesene Zeitfenster, in denen erfahrungsgemäß der Strombezug im Netz besonders hoch ist, beim Laden ausgespart. Anschlussnehmer profitieren von diesem Modell, da lediglich die maximale Leistungsspitze innerhalb des Hochlastzeitfensters relevant für die Abrechnung ist. Das Stromnetz profitiert dadurch, dass es in den Hochlastzeitfenstern nicht zusätzlich belastet wird. Es ist kein komplexes Lastmanagement erforderlich.

5.3 Zukünftig denkbare Ladekonzepte

- **Zeitvariable Netzentgelte:** Das Modell funktioniert ähnlich wie das marktorientierte Laden, jedoch ohne Berücksichtigung des individuellen Netzzustandes vor Ort. Der Netzbetreiber gibt anhand seiner Netzzustandsprognose für den kommenden Tag zeitlich aufgelöste Netzentgelte bekannt, die den Strombezug in Zeiten von Stromüberschuss belohnen und in Zeiten von großer Stromnachfrage bestrafen. Auch hier besteht das Risiko einer Übersteuerung. Verschieben zu viele

² https://www.gesetze-im-internet.de/stromnev/_19.html

Stromkunden in einem Netzgebiet ihren Strombezug in Zeiten mit geringen Netzentgelten können dort neue Leistungsspitzen auftreten.

- **Ladefahrplan:** Individuelle Abstimmung des Ladefahrplans zwischen den Flottenbetreibenden und dem Netzbetreiber. Flottenbetreibende übermitteln den geplanten Strombezug für den kommenden Tag an den Netzbetreiber. Dieser prüft den voraussichtlichen Netzzustand und fordert gegebenenfalls Änderungen innerhalb vorher festgelegter Grenzen. Mit diesem Modell lassen sich ungewollte Lastspitzen, wie sie bei der Methode der zeitvariablen Netzentgelte auftreten können, vermeiden. Der Planungs- und Kommunikationsaufwand ist deutlich höher.

Sowohl für das Modell *Zeitvariable Netzentgelte* als auch *Ladefahrplan* gibt es bislang keine gesetzliche Grundlage. Diese Modelle sind somit theoretischer Natur, bieten aber hohes Potenzial für eine effiziente Nutzung des Stromnetzes.

6. Technische Ausführung von Ladeinfrastruktur

Bei der Installation von Ladeinfrastruktur sollten Flottenbetreibende schon jetzt die Vorzüge eines intelligenten Lademanagements mitdenken und gegebenenfalls die technischen Voraussetzungen dafür schaffen.

Dazu gehören kommunikationsfähige Ladeinfrastruktur und Fahrzeuge, vorzugsweise nach den aktuellsten **OCPP-Standards**³. Diese ermöglichen unter anderem die Autorisierung und Übermittlung von fahrzeugspezifischen Daten (wie etwa dem Batteriefüllstand) sowie die Übermittlung von Steuerbefehlen bis hin zur direkten Netzkommunikation (OpenADR)⁴. Ebenso kann eine Echtzeitmessung am Netzanschlusspunkt sinnvoll sein, wenn zukünftig im Sinne eines ganzheitlichen Energiemanagements am Standort eine **Harmonisierung mit anderen Stromverbrauchern** stattfinden soll. Des Weiteren sollten Flottenbetreibende beim Aufbau von Ladeinfrastruktur auf eine ausreichende IT-Sicherheit achten. Dies beinhaltet unter anderem eine verschlüsselte Kommunikation zwischen Ladepunkten und dem Backend und eine Absicherung gegen unerlaubte Zugriffe von außen. Weiterhin sollte auf ausreichende Verfügbarkeitszeiten des Backends geachtet werden in Bezug auf wartungsbedingte Ausfälle sowie der Absicherung zum Beispiel gegen Stromausfälle oder Überhitzung.

³ OCPP – Open Chargepoint Protocol

⁴ OpenADR – Open Automated Demand Response (vgl. Anwendung im [Forschungsprojekt „ELBE“](#))

7. Auswirkungen auf das Stromnetz

Netzdienlich geladenen Elektromobile können einen positiven Effekt auf das Netz haben, da sie helfen die **erzeugten und die nachgefragten Strommengen in Einklang** zu bringen. Dies hat eine positive Wirkung auf das Klima, da die Abregelung von Erneuerbaren-Energien-Anlagen und das Zurückgreifen auf steuerbare fossile Kraftwerke verringert werden können. Wenn E-Fahrzeuge nicht netzdienlich geladen werden, stellen immer höhere Lastspitzen, aufgrund zunehmender Elektrifizierung des Verkehrs, eine Herausforderung für die Stromnetze dar.

Im Forschungsprojekt „Netz_eLOG“ wurden die unmittelbaren Auswirkungen des Ladens einer größeren Flotte von E-Fahrzeugen auf die Spannungsqualität am Netzanschlusspunkt untersucht. Hierbei konnten weder bei der Gesamtspannungsverzerrung noch beim Kurzzeitflickerfaktor negative Auswirkungen durch die Ladevorgänge festgestellt werden. Daraus kann geschlossen werden, dass die verbaute Technik in modernen Fahrzeugen und Ladeinfrastrukturen in der Lage ist, negative Rückwirkungen auf das Stromnetz weitestgehend zu verhindern und dass auch ein **großflächiger Einsatz von E-Fahrzeugen nicht zu unbeherrschbaren Netzzrückwirkungen führen wird**.

8. Geschäftsmodelle

8.1 Reduktion von abrechnungsrelevanten Leistungsspitzen

Für Strombeziehende, deren Stromverbräuche durch eine registrierende Leistungsmessung erfasst werden, ist die Vermeidung von Leistungsspitzen eine Möglichkeit Stromkosten zu reduzieren. Hierbei muss die höchste Leistungsspitze innerhalb eines Abrechnungszeitraums (in der Regel ein Jahr) so gering wie möglich gehalten werden, da diese den zu zahlenden Leistungspreis festlegt. Eine Reduzierung der Leistungsspitze kann durch ausgeglichenes Laden oder Peak-Shaving erreicht werden. Wird ein dynamischer Stromtarif genutzt, ist eine Abwägung zwischen Ersparnissen beim Arbeitspreis durch erhöhten Strombezug in Zeiten günstigen Stroms und dem daraus resultierenden Leistungspreis zu treffen.

8.2 Anbieten von Lastreduktion in der Mittelspannung

Das Anbieten von flexiblem Strombezug in der Mittelspannung wird in § 19.2 der StromNEV geregelt. Diese sieht vor, dass Netzbetreiber Hochlastzeitfenster definieren können, zu denen die Stromnachfrage im Netz erfahrungsgemäß besonders hoch ist. Diese Zeitfenster werden von den Netzbetreibern individuell im Herbst für das gesamte folgende Jahr festgelegt. In der Regel betrifft es die frühen Abendstunden und die Wintermonate. Erfüllen Anschlussnehmende die in § 19.2 StromNEV genannten Bedingungen und entscheiden sie

sich den reduzierten Netzentgelttarif in Anspruch zu nehmen, sind lediglich die Leistungsspitzen in den definierten Hochlastzeitfenstern abrechnungsrelevant. Damit richtet sich der Leistungspreis der Netzentgelte nach der höchsten Leistungsspitze in den Hochlastzeitfenstern. So wird ein Anreiz geschaffen Leistungsspitzen in diesen Zeiträumen zu vermeiden. Der Arbeitspreis der Netzentgelte bleibt von der Regelung unberührt.

8.3 Nutzung dynamischer Stromtarife

Neben diesen gesetzlichen Anreizmodellen für eine netzdienliche Lastverschiebung gibt es für Flottenbetreibende auch die Möglichkeit von den zeitlichen Preisunterschieden an der deutschen Strombörse zu profitieren. Die Preisbildung für Strom ist durch Angebot und Nachfrage bestimmt. Eine Orientierung des Strombezugs am Börsenstrompreis kann also auch eine netzdienliche Funktion haben.⁵ Hierzu bieten einige Energieversorgungsunternehmen bereits dynamische Stromtarife an, mit denen Kundinnen und Kunden von niedrigen Börsenpreisen profitieren können. Voraussetzung hierfür ist ein intelligentes Messsystem, mit dem der Strombezug viertelstündlich genau messbar ist.

8.4 Gemeinsame Nutzung von Ladeinfrastruktur (Multi-Use-Konzepte)

Eine weitere Möglichkeit die Wirtschaftlichkeit von Ladeinfrastruktur zu erhöhen, ist deren gemeinschaftliche Nutzung mit anderen Akteuren gegen eine Gebühr. Dies kann die am Standort bestehende Flexibilität beim Bezug von Ladestrom einschränken. Auch hier gilt es eine wirtschaftliche Abwägung zu treffen.

⁵ Die Preisbildung an der Strombörse erfolgt über den ganzen deutschen und teilweise europäischen Markt und kann den lokalen Netzzustand nicht berücksichtigen.