



Innovationsimpuls für eine zukunftsfähige Netzintegration von Elektromobilität

Bericht zur Pilotdemonstration und weiteren
Simulationsergebnissen zur Konzepterprobung

23.01.2023



Innovationsimpuls für eine zukunftsfähige Netzintegration von Elektromobilität

BERICHT ZUR PILOTDEMONSTRATION UND WEITEREN SIMULATIONSERGEBNISSEN ZUR KONZEPTERPROBUNG

Prof. Dr. Michael Lehmann (MITNETZ)
Steve Bahn (MITNETZ)
Dr. Niklas Schirmer (Elli)
Johanna Kardel (Elli)
Dr. Patrick Hennig (Elli)
Dr. Henning Schuster (E-Bridge)
Kilian Bienert (E-Bridge)
Philipp Laschet (E-Bridge)

23.01.2023

Das Copyright für die veröffentlichten vom Autor selbst erstellten Objekte sowie Inhalte der Folien bleiben allein dem Autor vorbehalten. Eine Vervielfältigung, Verwendung oder Änderung solcher Grafiken, Tondokumente, Videosequenzen und Texte in anderen elektronischen oder gedruckten Publikationen ist ohne ausdrückliche schriftliche Zustimmung des Autors nicht gestattet. Weiter gelten bei Unstimmigkeiten mit der elektronischen Version die Inhalte des original ausgedruckten Foliensatzes der E-Bridge Consulting GmbH. E-Bridge Consulting GmbH lehnt jede Verantwortung für jeden direkten, indirekten, konsequenten bzw. zufälligen Schaden, der durch die nicht autorisierte Nutzung der Inhalte und Daten bzw. dem Unvermögen in der Nutzung der Information und Daten, die Bestandteil dieses Dokumentes sind, entstanden sind, ab. Die Inhalte dieses Dokumentes dürfen nur an Dritte in der vollständigen Form, mit dem Copyright versehen, der Untersagung von Änderungen sowie dem Disclaimer der E-Bridge Consulting GmbH weitergegeben werden. E-Bridge Consulting GmbH, Bonn, Germany. Alle Rechte vorbehalten.

INHALTSVERZEICHNIS

MANAGEMENT SUMMARY

MANAGEMENT SUMMARY (English version)

1	Hintergrund	1
2	Funktionsweise von Anreizsystem und Netz-Check-In	2
2.1	Ziel von Anreizsystem und Netz-Check-In	2
2.2	Anreizsystem mit Netz-Check-In: Prozessablauf	2
3	Exemplarische Untersuchungen zur Erprobung des Konzeptes	4
3.1	Nachweis der technischen Machbarkeit im Rahmen der Pilotdemonstration	4
3.2	Ergänzende quantitative Untersuchungen	8
4	Zusammenfassung	15



Abbildung 3: Konzeptioneller Ansatz der smarten Netzintegration. Da der Netz-Check-In in der Pilotkonfiguration erwartungsgemäß dafür sorgt, dass keine Niederspannungsengpässe auftreten, wurde auf die Implementierung von Notfallmaßnahmen in der Pilotdemonstration verzichtet.

Im Sommer 2022 erprobten der Smart-Charging-Anbieter Elli und der Netzbetreiber MITNETZ Strom das vorgestellte Anreizsystem und den Netz-Check-In in einer **gemeinsamen Pilotdemonstration** unter Einbindung von **rund 20 privaten Elektroautosbesitzern** als Pilotteilnehmer.

Das Anreizsystem und der Netz-Check-In konnten **auf bestehender Technik aufbauen** und **innerhalb eines halben Jahres technisch umgesetzt** werden.

Mit Anwendung des Netz-Check-Ins konnte das **Auftreten von Engpässen im betrachteten Ortsnetz vollständig vermieden** werden. Die Wahrnehmung der Pilotteilnehmer fiel hierbei durchwegs positiv aus – **80 % der Pilotteilnehmer gaben an, an der Fortführung des Konzeptes interessiert zu sein.**

Zusätzlich zu der Pilotausdemonstration als Feldtest wurden auf Basis der Pilotdaten **ergänzende Simulationen** durchgeführt, um das Gesamtkonzept unter unterschiedlichen Konfigurationen zu testen.

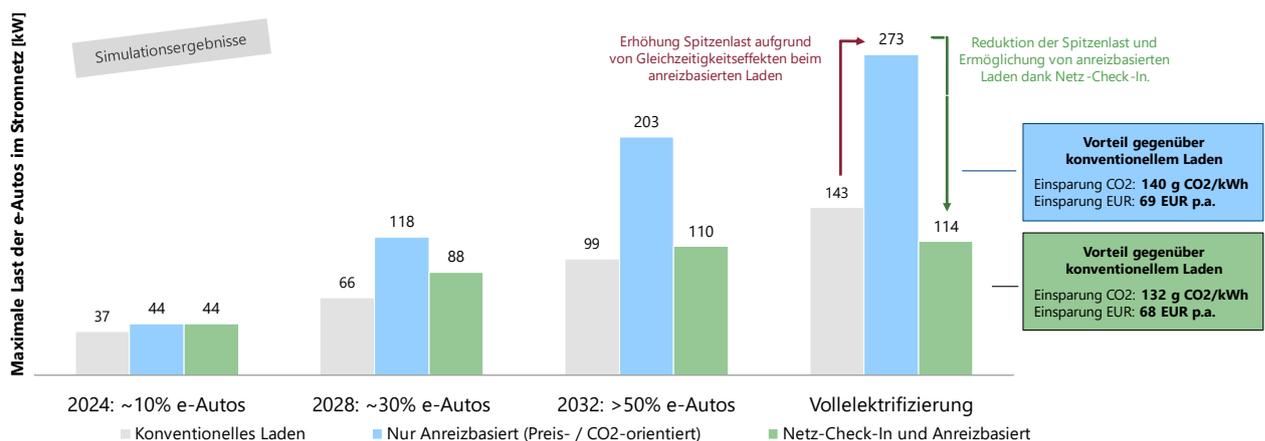


Abbildung 4: Maximale Last der Elektroautos am Niederspannungsstrang [kW]

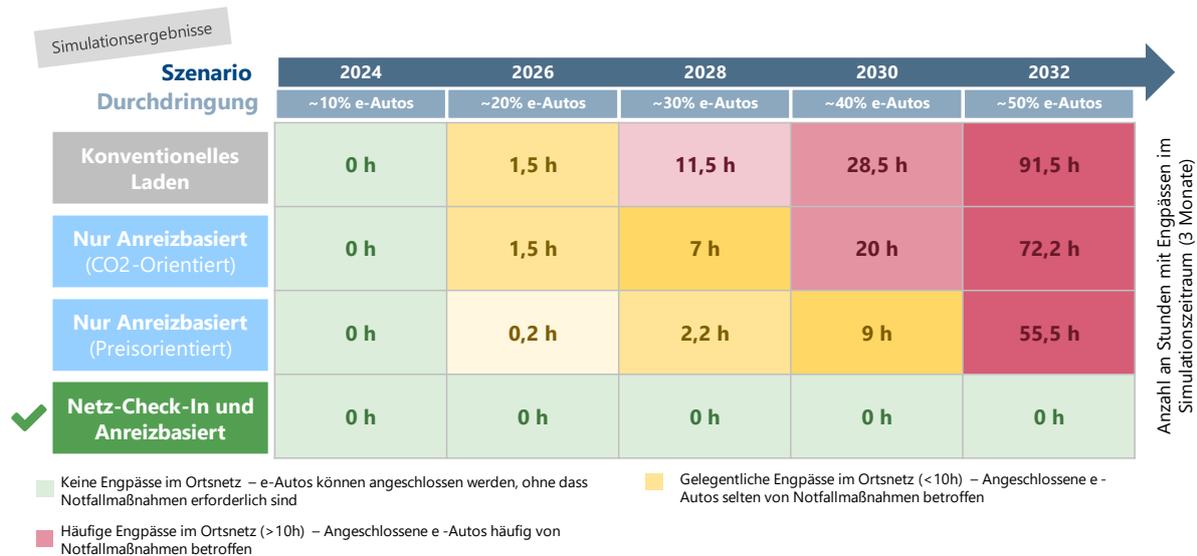


Abbildung 5: Anzahl an Stunden mit Engpässen im Simulationszeitraum (3 Monate) nach Lademodus ¹

Smartes Laden hilft, vorhandene Netze besser auszulasten: Durch den Netz-Check-in lassen sich **fünfmal so viele Elektroautos an das Stromnetz** anschließen, ohne dass auf eine Abregelung des Strombezugs im Rahmen von Notfallmaßnahmen zurückgegriffen werden muss.

Smartes Laden reduziert teure Netzeingriffe: Im Jahr 2030 könnten allein im Netzgebiet der MITNETZ Strom **jährlich bis zu 180 GWh** an Ladestrom zur Vermeidung von Redispatchmaßnahmen in Zeiten von EE-Überschüssen verschoben werden. Mit diesem Flexibilitätspotenzial ließe sich **fast das Doppelte** des heutigen Redispatchvolumens der MITNETZ Strom (100 GWh in 2022) einsparen.

Smartes Laden senkt die CO₂-Emissionen: Durch die zeitliche Synchronisierung des Ladevorgangs mit der regionalen EE-Einspeisung durch Anreizsystem mit Netz-Check-In lassen sich **ein Drittel der CO₂-Emissionen des verladenen Ladestroms einsparen** – ohne Komfortverlust beim E-Autobesitzer.

Smartes Laden kann sich für den Kunden lohnen: Der Elektroautobesitzer kann mit der Flexibilität des Ladevorgangs finanziell von niedrigen Netzentgelten in Zeiten hoher EE-Einspeisung profitieren. Im Projekt konnten **Netzentgelteinsparungen von jährlich 60 % gegenüber einem nicht-flexiblen Verbraucher** allein durch zeitvariable Netzentgelte erzielt werden.

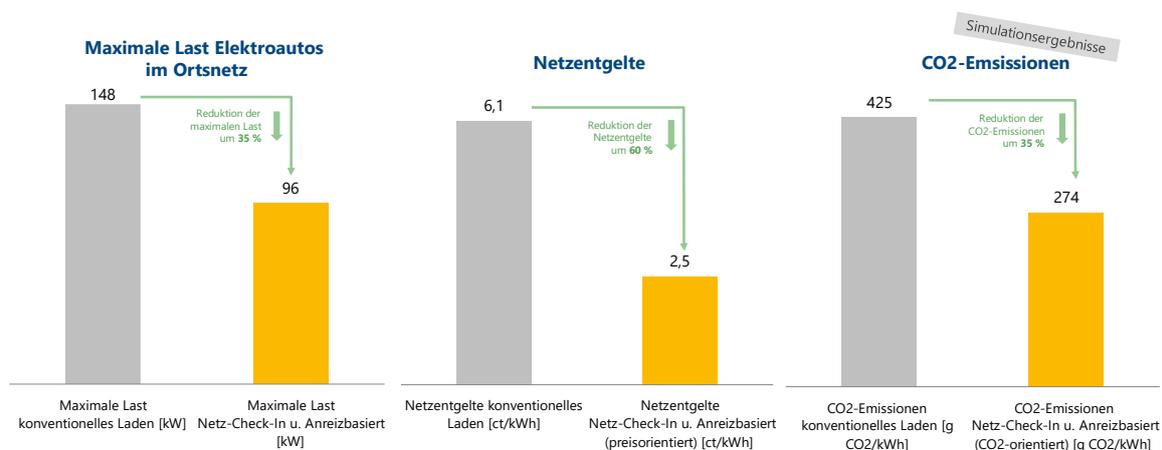


Abbildung 6: Vorteile vom Smarten Laden für Netzbetreiber und Elektroautobesitzer

¹ Annahme: Kein Netzausbau

MANAGEMENT SUMMARY (English version)

Many distribution networks are already experiencing congestions due to high feed-in from wind power and PV power plants – and the trend is rising.

In 2020, more than 6,000 GWh of electricity from renewables had to be curtailed by feed-in management in Germany – which would allow 2.6 million electric vehicles to run for an entire year.

The flexibility potential of electric vehicles is enormous and can be a key to a successful energy transition.

The flexibility in the charging process can be used to synchronize electricity consumption with the regional feed-in of renewable energy. This can reduce grid congestions today at higher voltage levels.

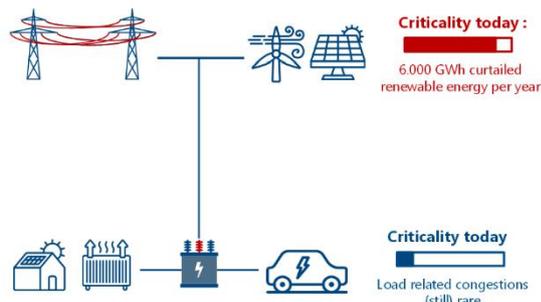


Abbildung 7: Current situation in distribution networks

Although grid congestions at the low voltage level are still rare today, the requirements resulting from a strong ramp-up of electromobility in combination with increasing electrification of heating. The power demand is increasing faster than grid expansion can follow.

A smart and future-proof integration of e-mobility must make the best possible use of its flexibility and local grid capacities.

With the present concept, Elli, a brand of the Volkswagen Group, and MITNETZ STROM, with the support of E-Bridge, are presenting

an innovative impulse for future-proof grid integration of electromobility.

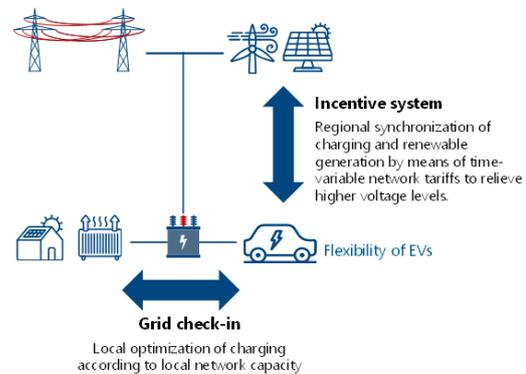


Abbildung 8: Approach for a smart and future-proof integration of e-mobility

The process framework is provided by a mechanism for smart flexibilization of grid usage – the “**grid check-in**”. The charging schedule is automatically confirmed by the network operator, who reconciles it with the available grid capacities. The reconciliation avoids curative congestion measures in the low-voltage level and thus interventions in the charging processes.

An incentive system based on time-variable grid tariffs by the network operator can profitably increase the flexibility potential in the low voltage level for grid operators and EV owners. The grid operator uses time-variable grid tariffs based on congestion forecasts to incentivize regional synchronization of RE generation and EV charging, thereby relieving the grid. Incentive schemes generally carry the risk of leading to higher levels of simultaneity than a purely demand-responsive grid use would entail. In combination with grid check-in, this risk can be prevented so that the flexibility potential in low voltage can be raised, while at the same time direct intervention by the grid operator remains the exception.

Direct intervention in the charging process as an **emergency measure** is still possible but is only intended for emergencies as a last resort in the form of a power reduction.

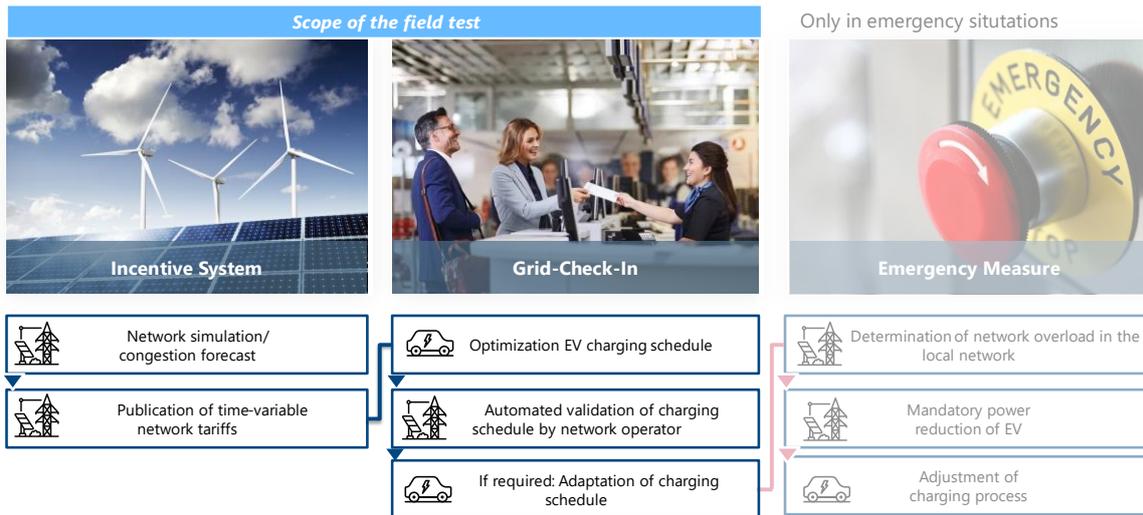


Abbildung 9: Conceptual approach for a smart grid integration. Since the grid check-in in the field test configuration ensures that there are no low voltage grid congestions, the implementation of emergency measures in the pilot demonstration was obsolete.

In summer 2022, the Smart Charging provider Elli and the grid operator MITNETZ Strom tested the incentive system and the grid check-in in a **joint pilot demonstration** involving around **20 private electric vehicle owners** as pilot participants.

The incentive system and the grid check-in were **built on existing technology** and were **technically implemented within half a year**.

With the application of the grid check-in, the **occurrence of grid congestions in the considered local grid could be completely avoided**. The perception of the pilot participants was consistently positive – **80% of the pilot participants stated that they were interested in continuing the project**.

In addition to the pilot demonstration as a field test, **additional simulations were conducted based on the pilot data** to test the overall concept under different configurations.

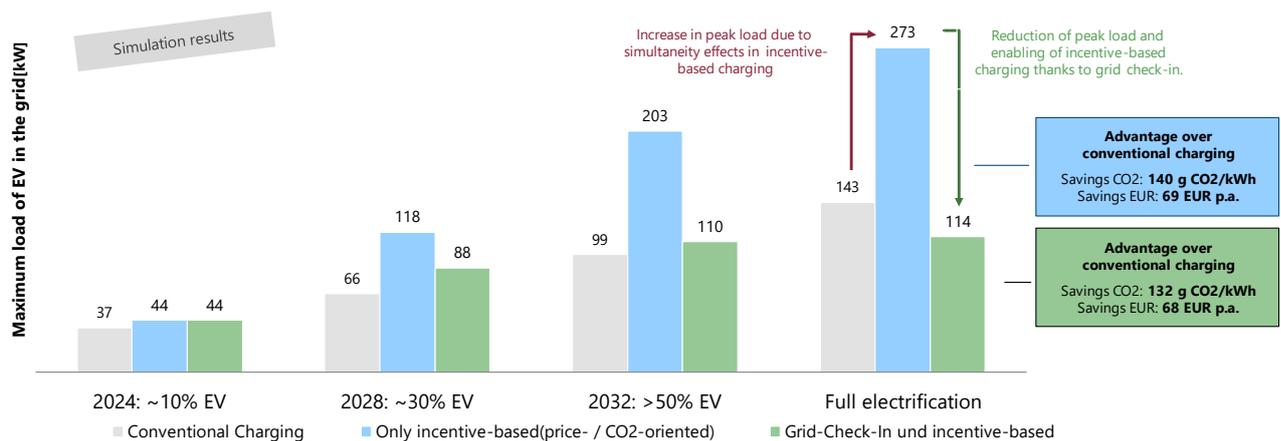


Abbildung 10: Maximum load of electric vehicles on the low voltage strand [kW]

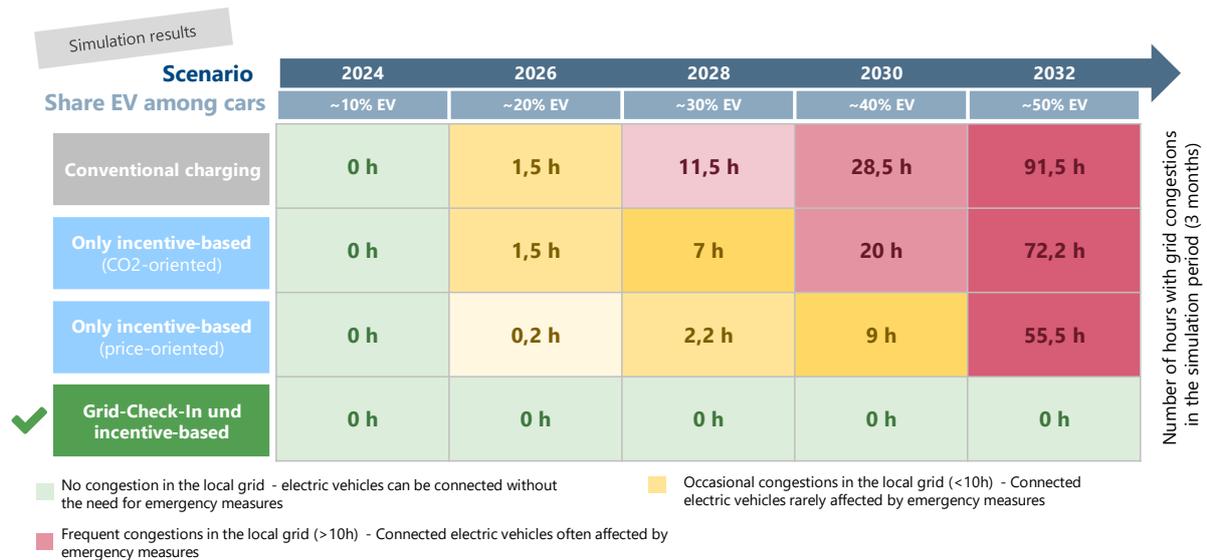


Abbildung 11: Number of hours with grid congestions in the simulation period (3 months)²

Smart charging helps to better utilize existing networks: By using the grid check-in, **five times as many electric vehicles can be connected to the power grid** without having to resort to regulating power consumption as part of emergency measures.

regional renewable energy generation through an incentive system with grid check-in, **a third of the CO₂ emissions from the charged electricity can be saved** without compromising the comfort of the electric vehicle owner.

Smart charging reduces curtailment costs: By 2030, in the MITNETZ Strom network area alone, up to 180 GWh of charging electricity could be shifted to avoid redispatch measures during times of excess renewable energy. With this flexibility, almost **twice the current redispatch volume of MITNETZ Strom (100 GWh in 2022) could be saved.**

Smart charging can be beneficial for the customer: The electric vehicle owner can financially benefit from the flexibility of the charging process by taking advantage of low network tariffs during times of high renewable energy generation. In the project, **network tariff savings of 60% annually compared to a non-flexible consumer** were achieved solely through time-variable network tariffs.

Smart charging lowers CO₂ emissions: By synchronizing the charging process with

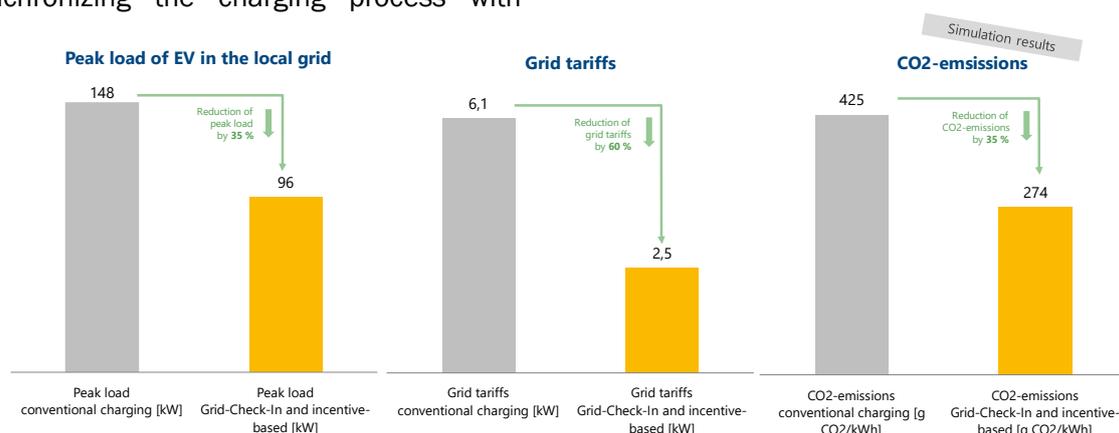


Abbildung 122: Advantages of smart charging

² Assumption: No network expansion

1 Hintergrund

Die Energiewende schreitet mit hoher Dynamik voran und stellt enorme Anforderungen an das Stromnetz. In vielen Netzen gibt es bereits heute Netzengpässe aufgrund hoher Einspeisung von Windkraft- und PV-Anlagen – Tendenz steigend. Auch die Elektromobilität nimmt Fahrt auf. Der Bestand von Elektroautos (PHEV³ und BEV⁴) in Deutschland hat sich innerhalb von 18 Monate zwischen Anfang 2020 (ca. 240.000 Elektroautos) und Q3/2022 (ca. 1.585.000 Elektroautos) mehr als versechsfacht.

Das Flexibilitätspotenzial der Elektromobilität ist enorm und kann dazu beitragen, die Anforderungen der Energiewende bewältigen zu können. Die lange Standzeiten und die Planbarkeit der regelmäßigen Ladevorgänge an privaten Wallboxen bilden ideale Bedingungen, um das Flexibilitätspotenzial der Elektroautos durch innovative Ladekonzepte zu erschließen.

In der Veröffentlichung „Innovationsimpuls für eine zukunftsfähige Netzintegration von Elektromobilität“ wurde im Juni 2022 ein von Elli – Volkswagen Group Charging GmbH und MITNETZ STROM mit Unterstützung von E-Bridge entwickeltes Konzept zur Netzintegration der Elektromobilität vorgestellt. Das Gesamtkonzept sieht eine Kombination aus Anreizen über zeitvariablen Netztarife (präventiv), Planwertdatenaustausch (Netz-Check-In) sowie die Möglichkeit von Notfallmaßnahmen (kurativ) vor.

Im Sommer 2022 wurde das vorgestellte Konzept im Rahmen einer Pilotdemonstration unter Realbedingungen getestet und die Ergebnisse im Anschluss mit weiterführenden Simulationen auf ihre Übertragbarkeit erprobt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im vorliegenden Bericht vorgestellt.

³ PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle - Plug-in-Hybrid

⁴ BEV: Battery Electric Vehicle – Ausschließlich batteriebetriebenes Elektrofahrzeug

2 Funktionsweise von Anreizsystem und Netz-Check-In

Das Konzept verfolgt einen zweistufigen Ansatz und vermeidet sowohl die EE-Abregelung als auch Leistungsabsenkungen beim Ladevorgang von Elektroautos durch den Netzbetreiber: Incentiviert durch Netztarife des Netzbetreibers optimieren Elektroautos ihre Ladefahrpläne und können so zur vorrangigen EE-Nutzung beitragen (z. B. Vermeidung regionaler EE-Abregelung), Netzbetreiber bestätigen automatisch den optimierten Ladefahrplan des Elektroautos (Vermeidung von Notfallmaßnahmen). Notfallmaßnahmen (Leistungsabsenkungen durch den Netzbetreiber oder ungeplantes Sofortladen/Losfahren) treten nur in Ausnahmesituationen auf.

2.1 Ziel von Anreizsystem und Netz-Check-In

Durch ein **Anreizsystem basierend auf zeitvariablen Netztarifen durch den Netzbetreiber** soll das Flexibilitätspotenzial in der Niederspannung für Netzbetreiber und Elektroautobesitzer gewinnbringend gehoben werden. Der Netzbetreiber incentiviert über zeitvariable Netztarife eine **regionale Synchronisation der EE-Erzeugung und Elektroauto-Ladevorgänge**.

Anreizsysteme beinhalten gleichzeitig das Risiko, dass diese zu **höheren Gleichzeitigkeitsgraden** führen, als es eine rein bedarfsorientierte Netznutzung mit sich bringen würde. Dies kann wiederum zu lastbedingten Engpässen im Niederspannungsnetz führen. Durch eine Kombination des Anreizsystems mit dem Netz-Check-In kann diesem Risiko vorgebeugt werden, sodass das Flexibilitätspotenzial in der Niederspannung gehoben werden kann, während gleichzeitig direkte Eingriffe des Netzbetreibers im Rahmen von Notfallmaßnahmen (umgesetzt als minimalinvasive verbindliche Aufforderung zur Leistungsabsenkung) die Ausnahme bleiben.

Die Interaktion zwischen Elektroautobesitzer und Netzbetreiber sollte durch einen professionellen Marktakteur organisiert und vollständig automatisiert werden. Diese Aufgabe kann über einen sogenannten **Smart-Charging-Anbieter** erfolgen. Dieser kann – muss aber nicht zwangsläufig – personenidentisch mit dem Lieferanten des Elektroautos sein.



Abbildung 13: Übersicht Gesamtkonzept

2.2 Anreizsystem mit Netz-Check-In: Prozessablauf

Der Netzbetreiber führt auf Basis ihm vorliegender Struktur- und Planungsdaten Netzprognosen durch, um zukünftige Netzengpässe in der höheren Spannungsebene zu prognostizieren. Um diese im Vorfeld zu verhindern, veröffentlicht der Netzbetreiber mit ausreichend zeitlichem Vorlauf (z. B. 72 Stunden) für ein bestimmtes Netzgebiet eine Zeitreihe regionaler, zeitvariabler und auf die Energiemenge bezogener Netztarife in Richtung der Smart-Charging-Anbieter.

Der Netz-Check-In startet als vollautomatisierter Prozess, sobald der Elektroautobesitzer das Elektroauto zum Laden an das Netz anschließt („Plug-In“). Die kundenindividuellen Ladesettings (z. B. Standzeiten, gewünschter Mindestladezustand der Batterie) werden dem Smart-Charging-Anbieter durch den Elektroautobesitzer per App bekannt gemacht. Auf Basis dieser Ladesettings wird mit dem „Plug-In“ ein Ladewunsch generiert und so der Optimierungsprozess beim Smart-Charging-Anbieter gestartet.

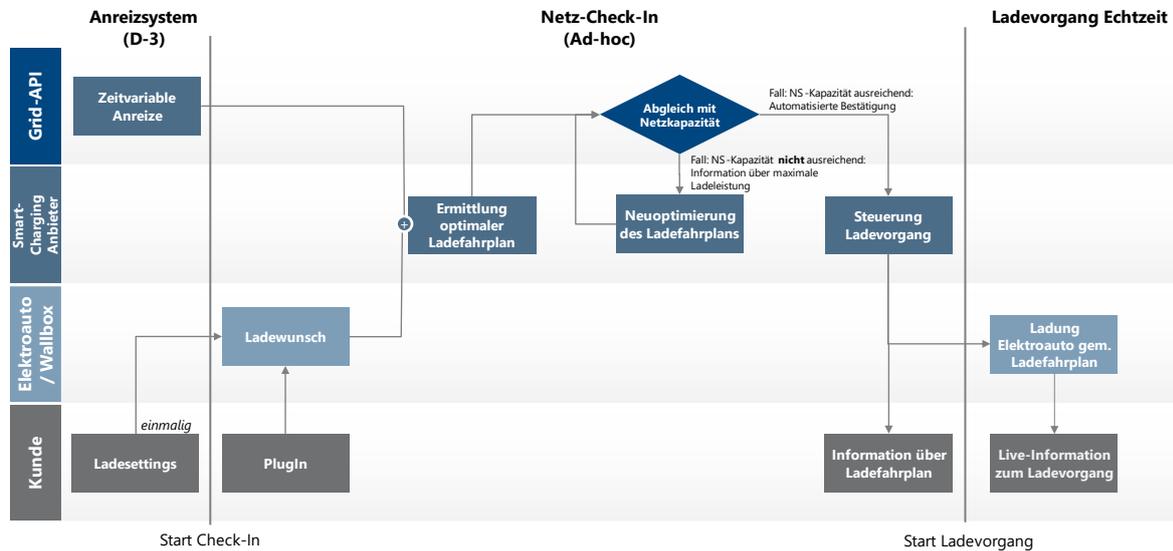


Abbildung 14: Funktionsweise Anreizsystem und Netz-Check-In

Der Smart-Charging-Anbieter ermittelt für den Ladewunsch unter Berücksichtigung der Netztarife einen optimalen Ladefahrplan, den er an den Netzbetreiber übermittelt. Der Netzbetreiber gleicht den Ladefahrplan mit der auf Basis von Messungen und Prognosen ermittelten verfügbaren Niederspannungskapazität ab.

Sollte der Ladefahrplan des Elektroautos die verfügbare Kapazität zu keinem Zeitpunkt überschreiten, bestätigt der Netzbetreiber den Ladefahrplan gegenüber dem Smart-Charging-Anbieter. Ist dagegen eine Überschreitung der verfügbaren Kapazitäten absehbar, übermittelt der Netzbetreiber die für den in Frage kommenden Ladezeitraum maximale Ladeleistung. Der Smart-Charging-Anbieter kann anhand dieser Restriktion eine erneute Optimierung durchführen, welche wiederum vom Netzbetreiber zu validieren ist.

Nach Abschluss des vollautomatisierten Optimierungsprozesses, welcher in der Praxis wenige Sekunden dauert, erhält der Elektroautobesitzer eine Information über den abgestimmten Ladefahrplan. Entsprechend dieses Ladefahrplans kann der Smart-Charging-Anbieter den Ladevorgang des Elektroautos steuern. Eine direkte Steuerung durch den Netzbetreiber ist nicht notwendig.

3 Exemplarische Untersuchungen zur Erprobung des Konzeptes

Die gemeinsam zwischen dem Netzbetreiber MITNETZ Strom und dem Smart-Charging-Anbieter Elli durchgeführten Pilotdemonstration und Simulationen zeigen: Das Gesamtkonzept ist technisch mit moderatem Umsetzungsaufwand implementierbar und ermöglicht die Erschließung des Flexibilitätspotenzials aus Elektroautos bei optimaler Auslastung des Ortsnetzes.

3.1 Nachweis der technischen Machbarkeit im Rahmen der Pilotdemonstration

3.1.1 Pilotkonzept

Im Sommer 2022 erprobten der Smart-Charging-Anbieter Elli und Netzbetreiber MITNETZ Strom das in Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. vorgestellte Anreizsystem und Netz-Check-In in einer gemeinsamen Pilotdemonstration unter Einbindung von privaten Elektroautobesitzern.

Fokus der Pilotdemonstration ist die Erprobung der technischen Umsetzbarkeit des Gesamtkonzeptes und die Untersuchung des Nutzerverhaltens unter Echtbedingungen.

Die erfolgte Pilotdemonstration bildet das in Kapitel 2 vorgestellte Konzept nach. Entsprechend wurde ein Anreizsystem und der Netz-Check-In erprobt. Hierbei wurde den Besitzern der Elektroautos weiterhin die Möglichkeit zum Sofortladen gegeben. In der Pilotdemonstration wurden keine verbindliche Leistungsbegrenzungen im Rahmen von Notfallmaßnahmen implementiert, da der Netz-Check-In dafür sorgt, dass Niederspannungsengpässe nur in sehr seltenen Ausnahmesituationen auftreten, sodass erwartungsgemäß in der Pilotkonfiguration praktisch keine Notfallmaßnahmen vorkommen.



Abbildung 15: Untersuchte Elemente des Gesamtkonzeptes im Rahmen der Pilotdemonstration

Im Rahmen des Anreizsystems wurden von MITNETZ Strom dreistufige, zeitvariable und 1/4-stündliche Netzentgelte vorgegeben. Die Basis für die Ermittlung der Netzentgeltstufen durch MITNETZ Strom ist die erwartete Netzauslastung in der HS-Ebene aufgrund regionaler EE-Überschüsse. Das erprobte Anreizsystem zielt somit auf eine Synchronisation der Ladevorgänge mit der EE-Erzeugung zur Vermeidung von Engpässen in der HS-Ebene ab. Das Netzgebiet der MITNETZ Strom ist mit einer hohen installierten EE-Leistung und einer entsprechend hohen Anzahl an erzeugungsbedingten Engpässen ein idealer Anwendungsfall für smartes netzdienliches Laden.

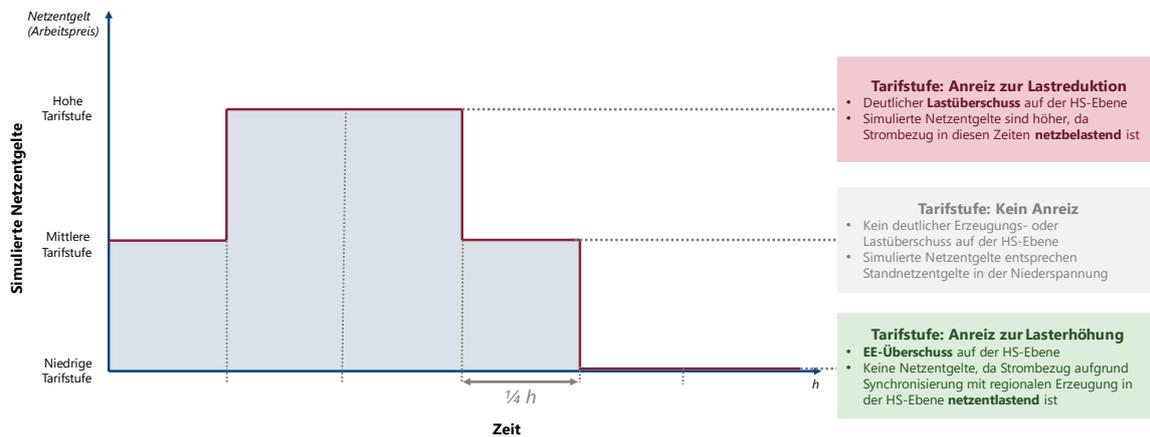


Abbildung 16: Tarifstufen zeitvariabler Netzentgelte im Piloten mit exemplarischer Zeitreihe

Die Erprobung des Netz-Check-Ins erfolgte durch Integration der realen Ladevorgänge der Pilotteilnehmer in eine virtuelle Kopie eines realen Niederspannungsstranges (Ortsnetz in Brachwitz, Sachsen-Anhalt). Das Ortsnetz Brachwitz wurde gewählt, da es einen typischen Anwendungsfall für den Netz-Check-In darstellt: Es handelt sich um ein Niederspannungsnetz in einem ländlich geprägten Gebiet mit vorwiegend Einfamilienhäusern (insgesamt 56 Haushalte im Niederspannungsstrang) und einer entsprechend hohen Anzahl an PKW. Neben der Auslastung des Ortsnetzes durch die (virtuell) angeschlossenen Elektroautos wurde auch der Stromverbrauch der Haushalte anhand von Erfahrungswerten abgebildet.

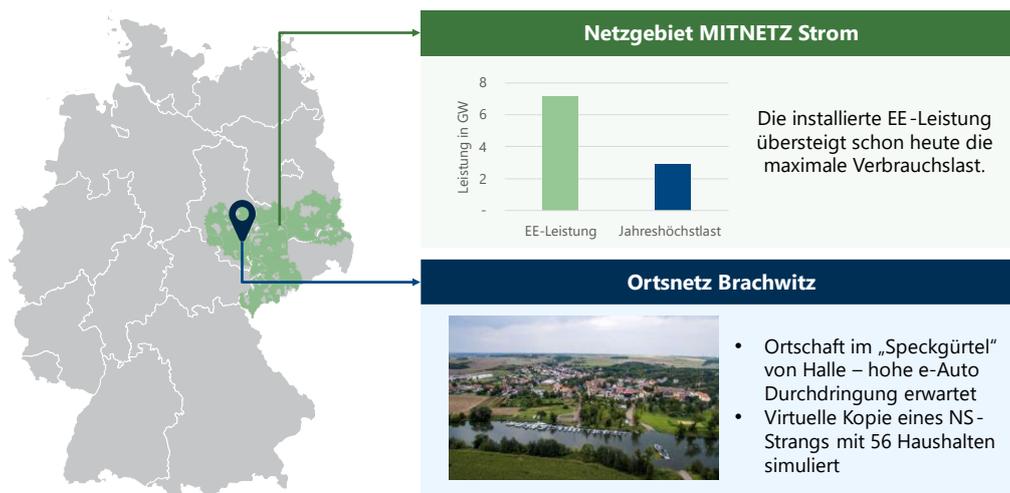


Abbildung 17: Regionale Verortung der Pilotdemonstration

Das Nutzerverhalten wurde durch Einbindung realer Elektroautobesitzer mit eigener Wallbox am Wohnort erprobt.

Der entscheidende Faktor für das Funktionieren von Anreizsystem und Netz-Check-In ist eine Bereitschaft zur Teilnahme und Mitwirkung der Endverbraucher. Die Abbildung des Nutzerverhaltens erfolgte daher durch Aufnahme realer Elektroautobesitzer als Pilotteilnehmer. Entsprechend des typischen Anwendungsfalls für das untersuchte Konzept handelt es sich ausschließlich um Besitzer vollelektrischer PKW mit Wallbox mit digitaler Schnittstelle am Wohnort. Am Ende wurden insgesamt rund 20 Pilotteilnehmer gewonnen.

Seitens der Pilotteilnehmer wurde der Aufwand für die Teilnahme am Piloten minimal gehalten. So bestand mit dem Vorhandensein einer kompatiblen digitalen Wallbox kein zusätzlicher Hardware- oder Montagebedarf. Auch im Rahmen der operativen Pilotdurchführung wurde der Nutzeraufwand gering gehalten. Für das smarte Laden der Elektroautos erfolgte die kundenseitige Interaktion

ausschließlich über die Elli Charging App, über welche die mögliche Ladezeiträume angegeben sowie der Ladestatus eingesehen werden kann.

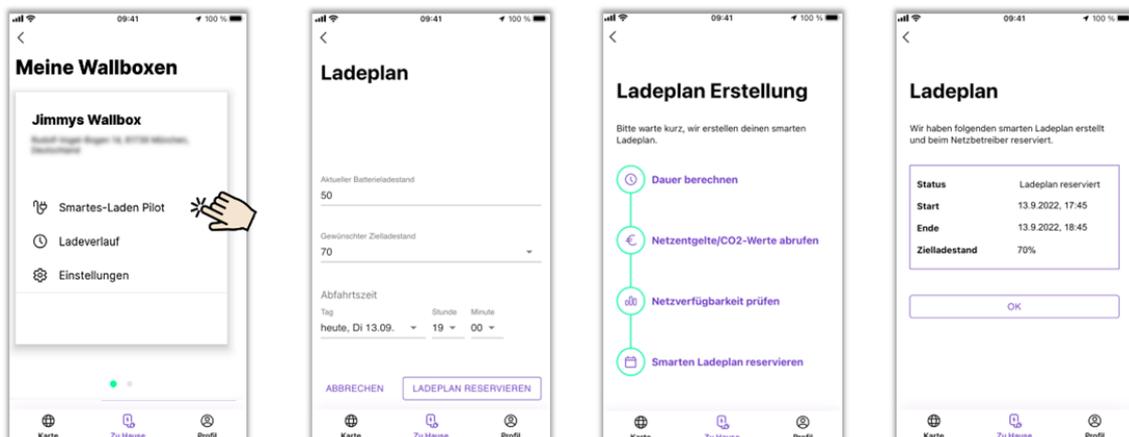


Abbildung 18: Meldung von möglichen Ladezeiträumen per Charging App in der Pilotdemonstration

Zur Klärung technischer Rückfragen und Aufnahme von Nutzerfeedback wurde über den gesamten Pilotzeitraum ein enger Austausch mit den Pilotteilnehmern im Rahmen diverser Onlinesessions und bilateralen Gesprächen mit Elli-Ansprechpersonen gehalten.

3.1.2 Technische Umsetzung

Das Anreizsystem und der Netz-Check-In konnten auf bestehender Technik aufbauen und in kurzer Zeit technisch umgesetzt werden.

Seitens MITNETZ Strom konnte der Pilot komplett auf bestehende Technik umgesetzt werden. Ein Testsystem für das Anreizsystem und Netz-Check-In inklusive der Simulation des virtuellen Netzes ist bereits aus laufenden Forschungsprojekten vorhanden.

Auf Seiten des Smart Charging Anbieters Elli war die Implementierung der Software-Schnittstelle über eine bestehende REST-API mit dem MITNETZ-System erforderlich. Zudem mussten die Optimierungsmechanismen zur Generierung der Ladevorgänge entsprechend der zeitvariablen Netzentgelte, der gemeldeten verfügbaren Ladezeiträume und verfügbarer Netzkapazitäten softwaretechnisch implementiert werden.

Die Elektroautos der Pilotteilnehmer wurden in das Elli-Backend eingebunden. Zur automatischen Übermittlung des Ladestands genügte eine einmalige Zustimmung des Pilotteilnehmers. Für die Anwendung des Anreizsystems und des Netz-Check-Ins ist in der Elli Charging App eine zusätzliche „Smartes-Laden Pilot“-Funktion aktiviert, in welcher der Pilotteilnehmer die Abfahrtszeit und den gewünschten Zielladewert eingibt. Mit dieser Eingabe muss seitens des Pilotteilnehmers nur noch das Elektroauto eingesteckt werden. Den Rest übernimmt die Elli Charging App automatisch. Der Algorithmus ermittelt auf Basis der Eingaben des Pilotteilnehmers den optimalen Ladefahrplan und schlägt Alternativen vor, sollte eine Netzrestriktionen vorliegen. Die Alternativen werden dem Kunden zur Bestätigung vorgelegt. Der Ladevorgang wird über das Elli-Backend durch die Wallbox gesteuert. Das Funktionieren des Konzeptes setzt die Internetfähigkeit der Wallbox voraus.

Hardwareseitig konnte auch Elli komplett auf bestehende Technik aufbauen. Als verwendete Wallboxen im Piloten kamen die Wallboxen *Charger Pro* oder *Connect* von Elli bzw. von Volkswagen zum Einsatz, über welche auch die Steuerung der im Elli-Backend generierten Ladevorgänge erfolgte. Als Elektroautos wurden die Modelle *ID.3*, *ID.4* oder *ID.5* von Volkswagen eingesetzt.

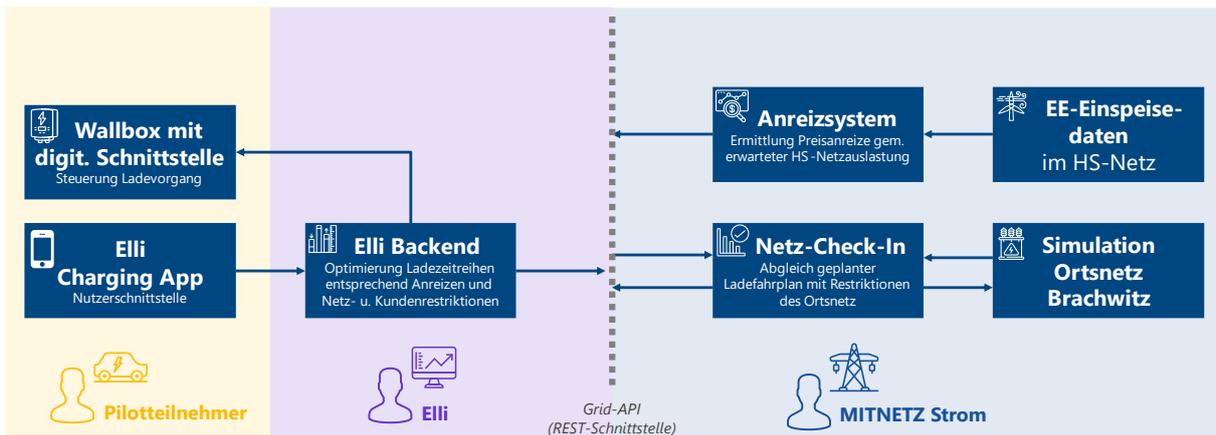


Abbildung 19: Technische Umsetzung smartes Ladens mit Anreizsystem und Netz-Check-In im Piloten

Das Pilotkonzept konnte somit mit moderatem Aufwand implementiert werden, sodass der Systemaufbau im Zeitraum von Dezember 2021 bis Mai 2022 innerhalb eines halben Jahres erfolgte.

3.1.3 Ergebnisse aus der Pilotdurchführung

Nach erfolgreichem Systemaufbau und Akquise der Pilotteilnehmer im Winter und Frühjahr 2022 konnte die Pilotdemonstration für einen dreimonatigen Testzeitraum vom 01.07.2022 bis 30.09.2022 erfolgen.

Mit Anwendung des Netz-Check-Ins konnte das Auftreten von Engpässen im betrachteten Ortsnetz vollständig vermieden werden.

Die Funktionsweise des Netz-Check-Ins zur Vermeidung von lastbedingten Engpässen im Ortsnetz konnte nachgewiesen werden. Über den gesamten Zeitraum konnten Engpässe im virtuellen Ortsnetz dank Netz-Check-In erfolgreich vermieden werden. Abbildung 20 zeigt exemplarisch, wie die vorhandenen Netzkapazitäten (rote Kurve: Verfügbare Kapazität im Ortsnetz) durch Verschiebung der Ladezeiträume optimal genutzt werden konnten – ohne auf eine Abregelung der Ladevorgänge zurückgreifen zu müssen.

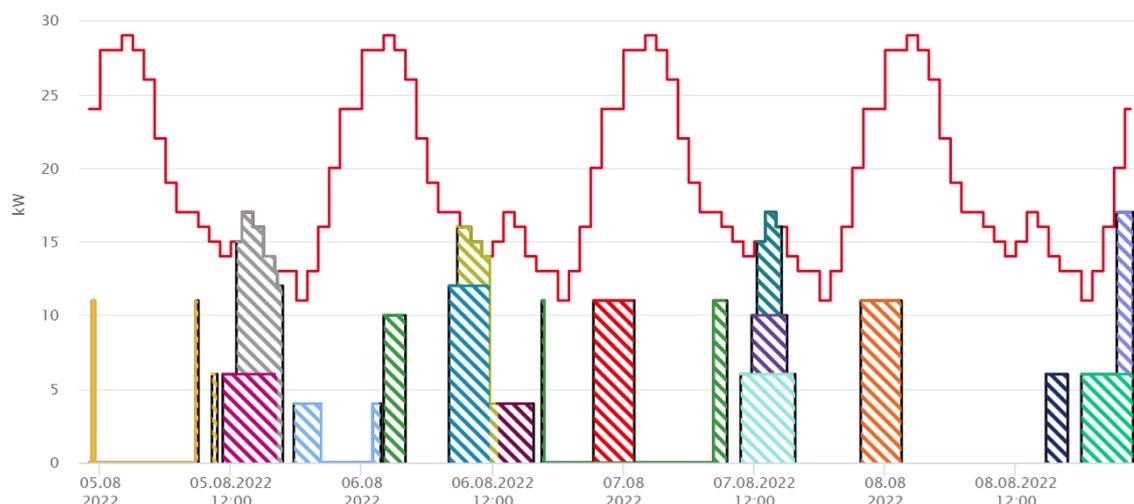


Abbildung 20: Exemplarische Darstellung der Netzauslastung mit Netz-Check-In – Rote Kurve: verfügbare Kapazität im Ortsnetz, schraffierte Flächen: optimierte Ladevorgänge der Elektroautos nach Netz-Check-In

Die Wahrnehmung der Pilotteilnehmer fiel durchwegs positiv aus – 80 % der Pilotteilnehmer gaben an, an der Fortführung des Konzeptes interessiert zu sein.

Auch das Kundenfeedback zum Abschluss des Piloten fiel positiv aus: Dank der Aufrechterhaltung eines direkten Kontaktes mit den Pilotteilnehmern und eines guten Funktionierens der Systeme zeigten sich die Pilotteilnehmer eigenen Angaben zufolge sehr zufrieden mit dem Pilotkonzept. So wurde keine Einschränkung des Ladeverhaltens im Rahmen des smarten Ladens wahrgenommen. 80 % der Pilotteilnehmer gaben an, an der Fortführung des Konzeptes interessiert zu sein.

*„Ich schließe das Auto an, stelle in der App meine gewünschte Abfahrtszeit ein und den Rest macht das System von allein. Es ist wirklich kinderleicht.“
- Peter, Pilotteilnehmer*

Zur Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit und Effektivität des Gesamtkonzeptes sollte bei weiteren Entwicklungen der Schwerpunkt auf eine Automatisierung der nutzerseitigen Vorgänge gelegt werden. Insbesondere gilt es, die Angabe der Flexibilitätszeitfenster für die mögliche Verschiebung der Ladevorgänge zu vereinfachen. Das könnte auch dazu beitragen, die Dauer und v.a. Anzahl der verfügbaren Flexibilitätszeitfenster zu erhöhen. Auch müssten weitere Erlösmöglichkeiten, wie beispielsweise durch Arbitrage-Geschäfte im Optimierungsmodell des Smart Charging Anbieters, berücksichtigt werden.

3.2 Ergänzende quantitative Untersuchungen

3.2.1 Rahmenbedingungen der Simulationen

Um das Gesamtkonzept unter unterschiedlichen Konfigurationen zu testen, wurden ergänzend zu den Untersuchungen aus der Pilotdemonstration Simulationen vorgenommen, wobei weitestgehend die Rahmenbedingungen aus den Piloten übernommen wurden. Entsprechend wurden als Eingangsdaten die realen Ladedaten aus der Pilotdemonstration herangezogen. Auch der Simulationszeitraum und das herangenommene virtuelle Netz sind analog zur Pilotdemonstration.

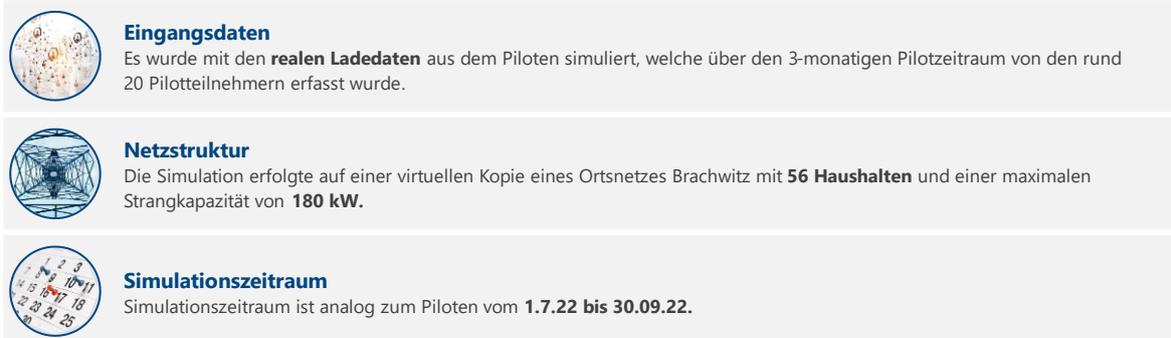


Abbildung 21: Fakten zu den Simulationen

Die Simulationen zielen darauf ab, die Folgen für Netzauslastung, erschließbares Flexibilitätspotenzial und Kundennutzen bei unterschiedlichen Lademodi und Elektroauto-Durchdringung zu untersuchen.

Abbildung 22 gibt eine Übersicht über die fünf simulierten Lademodi. Neben der Variation der herangenommenen Systeme (mit/ohne Anreizsystem, mit/ohne Netz-Check-In) wurde beim Anreizsystem ebenfalls zwischen incentiviertem Laden entsprechend den CO₂-Einsparungen (CO₂-Laden) und incentiviertem Laden über preisvariable Anreize durch den Netzbetreiber (preisorientiertes Laden) unterschieden. Der Ansatz zum preisorientierten Laden ist im Sinne

dreistufiger zeitvariable Netzentgelte für flexible Verbraucher mit den Preisstufen i.H.v. 0 %, 50 % und 100 %⁵ der genehmigten Netzentgelte ausgelegt

	Anreizsystem	Netz-Check-In	Beschreibung
Konventionelles Laden	✗	✗	„ Normales Laden “ – der Ladevorgang beginnt sobald das e-Auto an die Wallbox angeschlossen wird.
Nur Anreizbasiert - Preisorientiert	✓ <small>Preisorientiert</small>	✗	Der Ladevorgang wird innerhalb des vom e-Auto-Besitzer angegebenen Zeitfensters zeitlich verschoben, sodass bei einem dreistufigen zeitvariablen Netzentgeltmodell die Netzentgelte minimiert werden .
Nur Anreizbasiert - CO2-orientiert	✓ <small>CO2-orientiert</small>	✗	Der Ladevorgang wird innerhalb des vom e-Auto-Besitzer angegebenen Zeitfensters zeitlich verschoben, sodass die CO2-Emissionen der verladenen Energiemenge entsprechend des Strommixes minimiert werden .
Netz-Check-In und Anreizbasiert - Preisorientiert	✓ <small>Preisorientiert</small>	✓ <small>Preisorientiert</small>	Der Ladevorgang wird innerhalb des vom e-Auto-Besitzer angegebenen Zeitfenster unter Berücksichtigung der Restriktionen des Ortsnetzes zeitlich verschoben, sodass bei einem dreistufigen Netzentgeltmodell die Netzentgelte minimiert werden .
Netz-Check-In und Anreizbasiert - CO2-orientiert	✓ <small>CO2-orientiert</small>	✓ <small>CO2-orientiert</small>	Der Ladevorgang wird innerhalb des vom e-Auto-Besitzer angegebenen Zeitfenster unter Berücksichtigung der Restriktionen des Ortsnetzes im Netz-Check-In zeitlich verschoben, sodass die CO2-Emissionen der verladenen Energiemenge entsprechend des Strommixes minimiert werden .

Abbildung 22: Erläuterung zu den simulierten Lademodi

Abbildung 23 gibt eine Übersicht über die Szenarioannahmen zur E-Mobility-Durchdringung im simulierten Ortsnetz. Das den jeweiligen Durchdringungsgraden zugeordnete Jahr orientiert sich an dem Jahr, an dem dieser Elektrifizierungsgrad erreicht werden soll.

Szenario	Elektrifizierungsgrad e-Autos	Anzahl e-Autos je 100 Haushalte	Anzahl e-Autos im virtuellen Netz
2024	10 %	20	11
2026	20 %	35	20
2028	30 %	50	28
2030	40 %	70	39
2032	50 %	100	56
„Vollelektrifizierung“	100 %	180	100

Abbildung 23: Szenarioannahmen zur E-Mobility-Durchdringung im simulierten Ortsnetz Brachwitz (56 Haushalte)

3.2.2 Simulationsergebnisse

Nachfolgend werden die bedeutendsten Erkenntnisse erläutert, welche im Rahmen der Simulationen beobachtet wurden.

Smartes Laden und Netzverträglichkeit sind kein Widerspruch: Der Netz-Check-In schützt die Niederspannungsnetze und ermöglicht den vollen Einsatz der Flexibilität von Elektromobilität für Markt und Netz.

Abbildung 24 stellt die maximale Last im Betrachtungszeitraum für verschiedene Lademodi und Szenarien dar. Bei alleiniger Anwendung eines Anreizsystems ohne Netz-Check-In lässt sich ein deutlicher Anstieg der maximalen Last der Elektroautos aufgrund der externen Anreize beobachten

⁵ Als Netzentgeltstruktur für flexible Verbraucher wurden 3 Netzentgeltstufen in der Höhe von 0 ct/kWh, 3 ct/kWh und 6 ct/kWh angenommen

- so verdoppelt sich die maximale Last bei hoher Elektroauto-Durchdringung gegenüber dem konventionellen Laden.

Dieser Gleichzeitigkeitseffekt lässt sich durch die Kombination des Anreizsystems mit dem Netz-Check-In praktisch vollständig kompensieren. Der Netz-Check-In ist in der Lage, die maximale Last bei incentivierten Laden auf das Niveau von konventionellen Laden zurückzubringen.

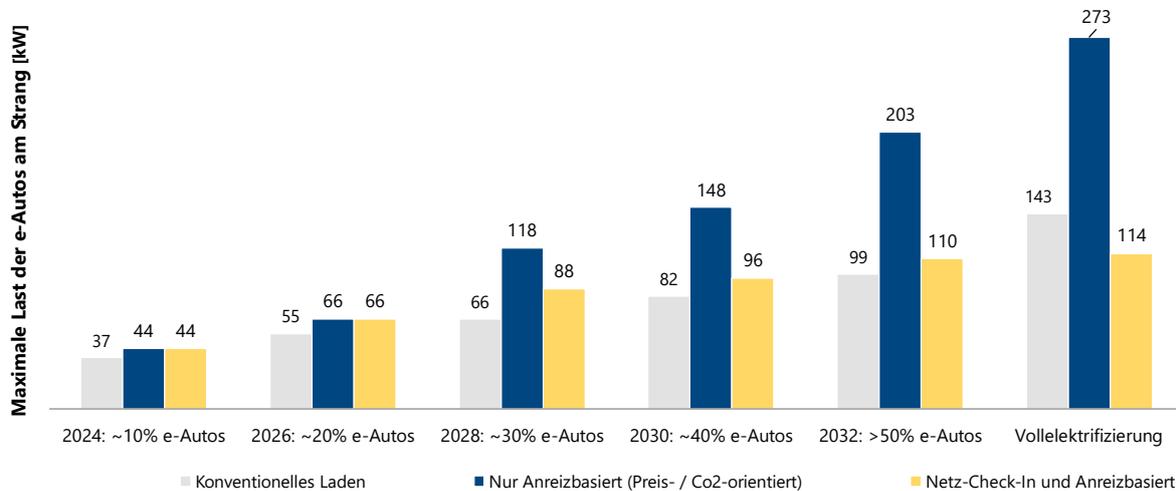


Abbildung 24: Maximale Last der E-Autos am Strang [kW]

Smartes Laden hilft, vorhandene Netze besser auszulasten: Durch den Netz-Check-in lassen sich bis zu fünfmal so viele Elektroautos an das Ortsnetz anschließen, ehe zu einer Abregelung des Strombezugs im Rahmen von Notfallmaßnahmen zurückgegriffen werden muss.

Abbildung 25 zeigt für unterschiedliche Durchdringungsgrade und Lademodi den Anteil des gesamten Ladebedarfs, der aufgrund von lastbedingten Engpässen im Ortsnetz im Rahmen von Notfallmaßnahmen durch den Netzbetreiber abgeregelt werden muss.

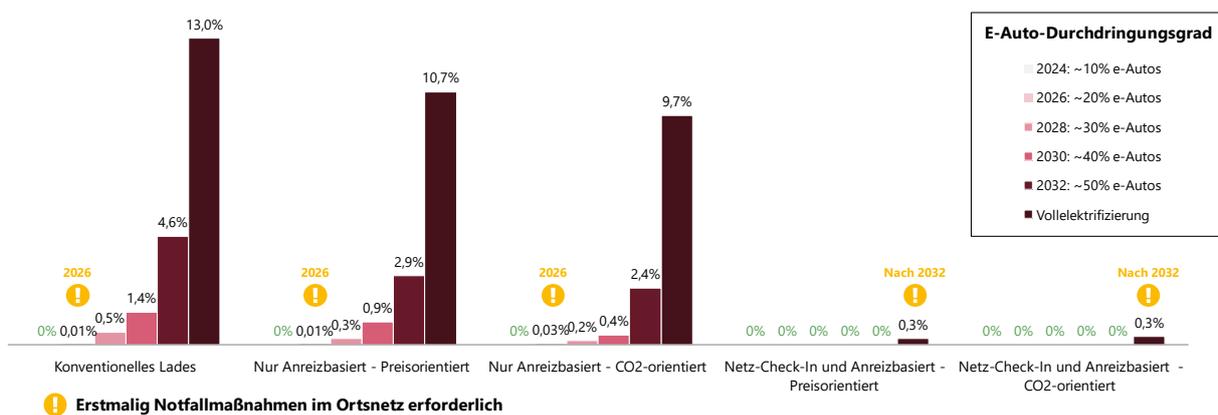


Abbildung 25: Anteil des aufgrund von Netzengpässen im Rahmen von Notfallmaßnahmen abgeregelten Ladebedarfs in Prozent der gesamten Ladeenergie

Bei allen Lademodi ohne Netz-Check-In treten schon bei einem Durchdringungsgrad von 20 % (2026 erreicht) lokale Engpässe auf, die mit Notfallmaßnahmen behoben werden müssen. Die aufgrund der Engpässe abzuregelnde Ladeenergie nimmt mit steigender Elektroautodurchdringung massiv zu. Bei einer Vollelektrifizierung kann im betrachteten Netz ca. 10 % des Ladebedarfs aufgrund der Beschränkungen des Ortsnetzes nicht bedient werden.

Diese Beobachtung bestätigt sich bei der Betrachtung der Stunden im Simulationszeitraum, zu welchen ein Engpass im Ortsnetz auftritt (Abbildung 26). Bei 20 %-iger Elektroautodurchdringung treten ohne Netz-Check-In noch relativ selten Engpässe im Ortsnetz auf. Das Auftreten von Engpässen nimmt mit steigender Elektroautodurchdringung aber rasant zu: So treten im dreimonatigen Simulationszeitraum bei 50 %-iger E-Auto-Durchdringung (2032 erreicht) in allen Szenarien ohne Netz-Check-In in mindestens 50 Stunden Engpässe auf, wenn auch preisorientiertes Laden etwas besser abschneidet als konventionelles und CO₂-orientiertes Laden.

Bei Anwendung des Netz-Check-Ins zeichnet sich dagegen ein anderes Bild ab: Dank des Netz-Check-Ins lassen sich bis zu einem Elektrifizierungsgrad von 50 % sämtliche Engpässe im Ortsnetz vermeiden. Im betrachteten Ortsnetz würde der Netz-Check-In es dem Netzbetreiber somit erlauben, bis zu 5-mal so viele Elektroautos anzubinden, bevor es zu Engpässen und dem Erfordernis von kurativen Notfallmaßnahmen kommt.

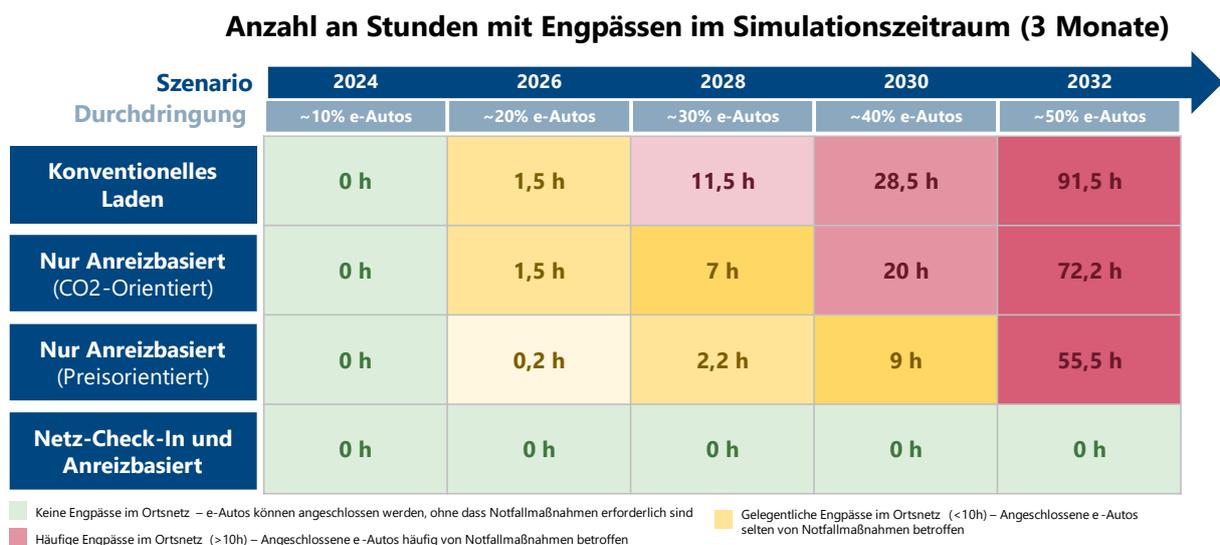


Abbildung 26: Anzahl an Stunden mit Engpässen im Simulationszeitraum (3 Monate) nach Lademodus (ohne Netzausbau)⁶

Smartes Laden reduziert teure Netzeingriffe: Mit dem in 2030 im Netzgebiet der MITNETZ Strom erschließbaren Flexibilitätspotenzial aus Ladestrom (180 GWh⁷) ließe sich fast das Doppelte des heutigen Redispatchvolumens der MITNETZ Strom (100 GWh in 2022⁸) einsparen. So ließen sich die steigenden Kosten für die engpassbedingte Abregelung von EE-Strom (bundesweit 800 Mio. € allein in 2021⁹) signifikant reduzieren.

Die Bereitstellung zeitvariabler Preisanreize durch den Netzbetreiber (z. B. über zeitvariable Netzentgelte) zielt auf die Erschließung des Flexibilitätspotenzials aus Ladevorgängen für eine regionale Synchronisation von Last und EE-Erzeugung und somit der Vermeidung von erzeugungsbedingten Engpässen in den höheren Netzebenen ab.

Abbildung 27 stellt dar, wie viel der gesamten geladenen Energie für Elektroautos dank des Anreizsystems in Zeiträumen mit EE-Überschüssen verschoben werden konnte. Demnach können dank des Anreizsystems zusätzlich zwischen 9 bis 14 % der Ladeenergie für eine Entlastung der höheren Netzebenen genutzt werden. Da die Preisanreize der zeitvariablen Netzentgelte im

⁶ Annahme: Netzstruktur ist in allen Simulationen statisch. Es erfolgt kein Netzausbau.

⁷ ~750.000 E-Autos in 2030 im Netzgebiet der MITNETZ Strom

⁸ Quelle: MITNETZ Strom

⁹ Quelle: BNetzA-Bericht zu Netzengpassmanagementmaßnahmen zweites Quartal 2022

Simulationszeitraum günstig lagen, fällt der Anteil netzdienlich verschobener Ladeenergie für preisorientiertes Laden leicht höher aus als für CO₂-orientiertes Laden.

Mit der Zunahme der angeschlossenen Elektroautos erhöht sich die Auslastung des Niederspannungsnetzes. Aufgrund der höheren Auslastung des Niederspannungsnetzes verringern sich bei Anwendung des Netz-Check-Ins die Freiheitsgerade für eine Verschiebung des Ladestroms als Reaktion auf die Signale aus dem Anreizsystem (nicht alle Elektroautos können zu Zeiten günstiger Anreize laden, da zu diesen Zeiten das Niederspannungsnetz voll ausgelastet ist und der Netz-Check-In eine weitere Verschiebung der Ladevorgänge in diese Zeiträume verhindert). Aus diesem Grund ist die als Reaktion auf Preisanreize verschobene Ladeenergie bei Vollelektrifizierung um jeweils 4 % geringer als bei einer niedrigen Elektroautodurchdringung von 10 %.

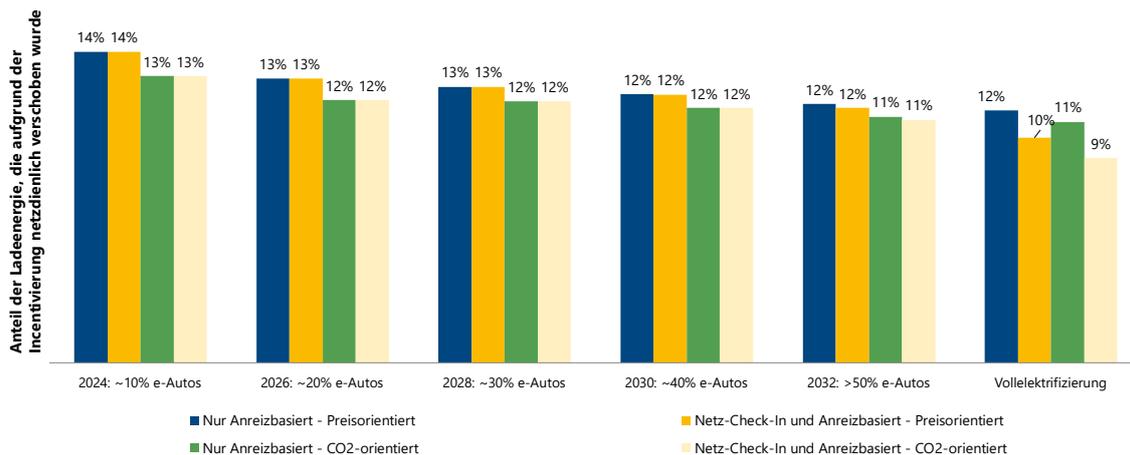


Abbildung 27: Anteil der Ladeenergie, die aufgrund des Anreizsystems netzdienlich verschoben wurde

Das dank incentivierten Ladens großflächig für netzdienliche Zwecke erschließbare Flexibilitätspotenzial aus Elektromobilität ist beachtlich. Allein im Netzgebiet der MITNETZ Strom könnten die schätzungsweise 750.000 Elektroautos in 2030 ca. 180 GWh¹⁰ an Energie jährlich zur Synchronisation mit der regionalen EE-Erzeugung und somit der Entlastung der höheren Netzebenen beitragen. Mit dem 2030 erschließbarem Flexibilitätspotenzial ließe sich somit fast das Doppelte des heutigen Redispatchvolumens (100 GWh in 2022) der MITNETZ Strom einsparen.

Bei bundesweiter Anwendung des Anreizsystems zur Vermeidung von EE-Abregelung ist das Kosteneinsparpotenzial beträchtlich. Wegen Netzengpässen mussten 2021 5.800 GWh an EE-Strom abgeregelt werden, was zu Kosten i.H.v. 800 Mio. € führte¹¹. Zum Vergleich: 2030 könnten bundesweit ca. 4.700 GWh des erzeugten Ladestroms für eine Synchronisierung mit der regionalen EE-Erzeugung und Vermeidung von Netzengpässen erschlossen werden. Das Kosteneinsparpotenzial durch den netzdienlichen Einsatz von Ladestrom liegt im Bereich mehrerer hundert Millionen Euro jährlich.

¹⁰ Annahme: Jährlicher Ladebedarf eines E-Autos: 2.000 kWh

¹¹ Quelle: Bericht Netzengpassmanagement BNetzA

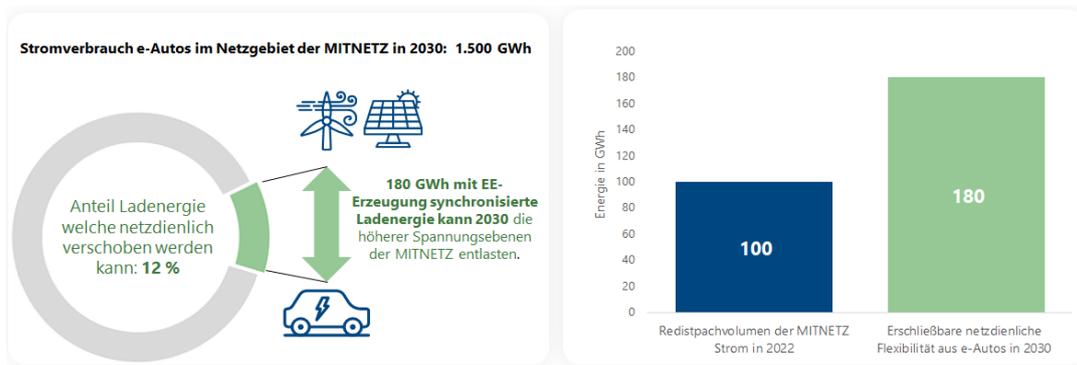


Abbildung 28: Flexibilitätpotenzial aus E-Mobilität zur Entlastung der höheren Netzebenen im Netzgebiet der MITNETZ Strom

Smartes Laden senkt die CO₂-Emissionen des Ladestroms: Durch die zeitliche Synchronisierung des Ladevorgangs mit der regionalen EE-Einspeisung durch Anreizsystem mit Netz-Check-In lassen sich ein Drittel der CO₂-Emissionen des geladenen Ladestroms einsparen - ohne Komfortverlust für den Elektroautobesitzer.

Beim sogenannten CO₂-Laden wird das Laden zu Zeiten eines hohen EE-Anteils und geringer fossiler Erzeugung im Strommix priorisiert. Entsprechend lässt sich bei diesem Modus des smarten incentivierten Ladens der individuelle CO₂-Fußabdruck des geladenen Stroms reduzieren.

Abbildung 29 stellt beispielhaft die spezifischen Emissionen für das Szenario 2030 (40 % E-Autos) bei verschiedenen Lademodi dar. Allein bei preisorientiertem Laden (entsprechend der Preissignale des Netzbetreibers zur Entlastung der höheren Spannungsebenen) lassen sich 20 % der spezifischen CO₂-Emissionen als „Mitnahmeeffekt“ ergänzend zu den erzielten finanziellen Vorteilen einsparen. Beim reinem CO₂-Laden (Fokus auf eine Synchronisation mit EE-Erzeugung) können weitere 15 % an Emissionen am Ladestrom eingespart werden. Insgesamt kann ein Elektroautobesitzer die spezifischen CO₂-Emissionen des verladenen Stroms um bis zu einem Drittel reduzieren, ohne etwaige Komfortverluste zu erleiden.

Erfolgt die Synchronisation des Ladevorgangs und der regionalen EE-Einspeisung zu Zeiten von EE-Erzeugungsüberschüssen, welche aufgrund von beschränkter Netzrestriktionen nicht durch das überlagerte Netz abtransportiert werden können, kommt ein weiterer positiver Effekt zum Tragen: Anstatt den regionalen EE-Überschussstrom abzuregeln und die Ersatzenergie durch das Hochfahren emissionsreicher konventioneller Erzeuger ausgleichen zu müssen, kann mehr EE-Strom regional durch die smart ladenden Elektroautos verbraucht werden. Der individuelle CO₂-Abdruck des Ladestroms sinkt weiter und der EE-Anteil im gesamten Strommix wird erhöht.

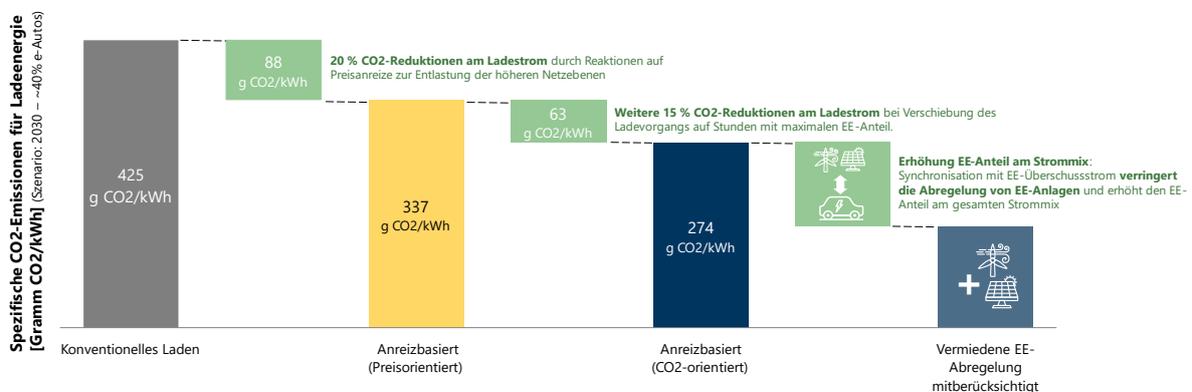


Abbildung 29: Spezifische CO₂-Emissionen für Ladeenergie („Szenario 2030“)

Smartes Laden kann sich für den Kunden lohnen: Der Elektroautobesitzer kann mit der Flexibilität des Ladevorgangs finanziell von niedrigen Netzentgelten in Zeiten hoher EE-Einspeisung profitieren. Im Projekt konnten Netzentgelt-Einsparungen von jährlich 60 % gegenüber einem nicht-flexiblen Verbraucher erzielt werden.

Die finanziellen Vorteile für den E-Auto-Besitzer durch Inanspruchnahme der zeitvariablen Anreize fallen ähnlich deutlich aus. In Abbildung 30 sind für das Szenario 2030 (40 % E-Autos) die im Rahmen der Simulation resultierenden durchschnittliche Netzentgelte bei normalem Laden mit konventionellen Netzentgelten und bei smartem Laden mit zeitvariablen Netzentgelten abgebildet. Durch smartes Laden kann der Elektroautobesitzer bis zu 60 % der Netzentgelte einsparen – auch hier ohne jeglichen Komfortverlust. Bei einem typischen Stromverbrauch eines Elektroautos von 2.000 kWh im Jahr könnten pro Elektroauto jährlich ca. 70 € eingespart werden.

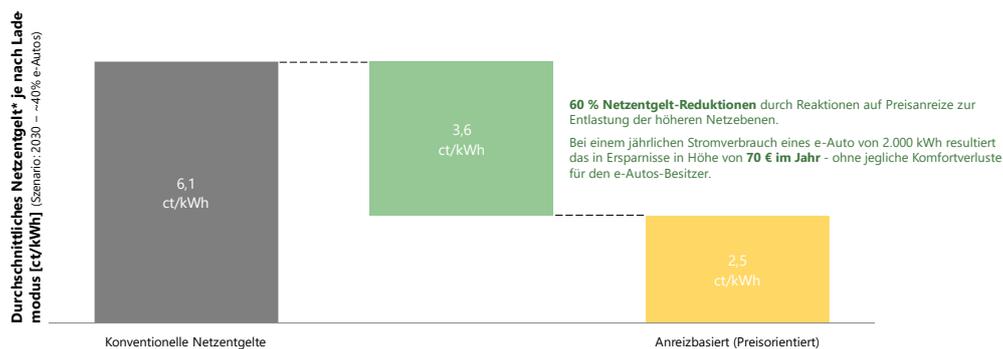


Abbildung 30: Durchschnittliches Netzentgelt¹² je nach Lademodus („Szenario 2030“)

Smartes Laden kann eine Win-Win-Situation für Netzbetreiber und Kunden darstellen: Der Netz-Check-In erlaubt es, die Vorteile von Anreizsystem für Elektroautobesitzer und Netzbetreiber uneingeschränkt zu erschließen.

Die in den vorherigen Punkten aufgeführten Vorteile von smartem Laden für Netzbetreiber und E-Autobesitzer lassen sich nahezu uneingeschränkt auch bei Kombination des Anreizsystems mit dem Netz-Check-In erschließen. Abbildung 31 zeigt die Verringerung der maximalen Last der Elektroautos, der Netzentgelte und spezifischen CO₂-Emissionen des Ladestroms je Lademodus (Szenario 2030 – 40 % Elektroautodurchdringung).

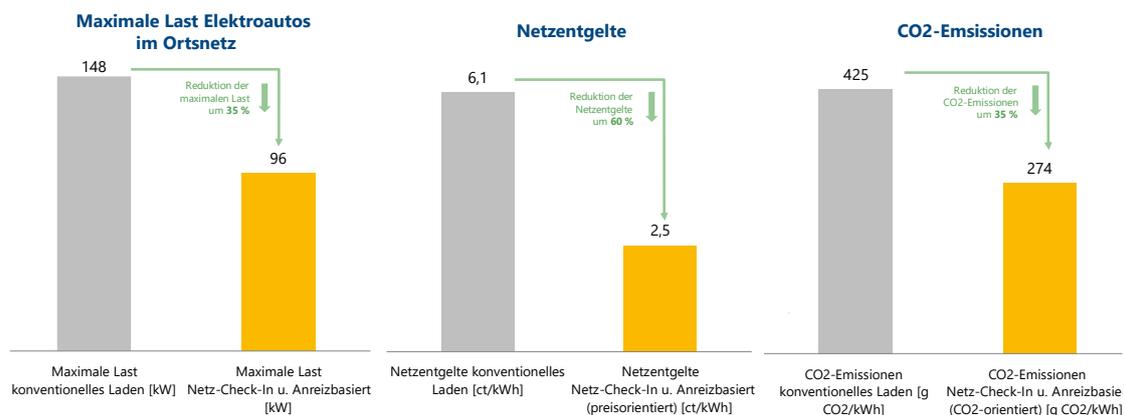


Abbildung 31: Vorteile von smarten Laden für Netzbetreiber und Elektroautobesitzer

¹² Als Netzentgeltstruktur für flexible Verbraucher wurden 3 Netzentgeltstufen in der Höhe von 0 ct/kWh, 3 ct/kWh und 6 ct/kWh angenommen

4 Zusammenfassung

Im Rahmen einer Pilotdemonstration und ergänzender Simulationen wurde die Vorteilhaftigkeit des entwickelten Konzeptes zur smarten Netzintegration der Elektromobilität geprüft. Das Konzept sieht die Anwendung eines Anreizsystems nach dem Prinzip zeitvariabler Netzentgelte in Kombination mit einem planwertbasierten Ansatz – dem sogenannten Netz-Check-In – vor.

Die Pilotdemonstration wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Netzbetreiber MITNETZ Strom und dem Smart Charging Anbieter Elli innerhalb eines Zeitraumes von 12 Monaten geplant, aufgebaut und durchgeführt. In der Pilotdemonstration zeigte sich, dass das Konzept mit moderatem Aufwand auf Basis bestehender Technik umsetzbar ist.

Da im Rahmen des Piloten verbraucherseitig keine Einschränkungen beim Laden wahrgenommen wurden, fiel die Akzeptanz für smartes Laden sehr hoch aus: **Mehr als 80 % der Pilotteilnehmer gaben an, an der Weiterführung des Piloten interessiert zu sein.** Es zeigt sich, dass Verbraucher bei Einführung eines Anreizsystem mit zeitvariablen Netzentgelten **bis zu 60 % der Netzentgelte einsparen** können, ohne Komfortverluste hinnehmen zu müssen.

Zugleich **erhöht der Netz-Check-In die Aufnahmefähigkeit des Niederspannungsnetzes** für Elektroautos (bis zu 5-fach erhöhte Aufnahmefähigkeit). Private Wallboxen für Elektroautobesitzer können hierdurch eher genehmigt werden, während es dem Netzbetreiber ermöglicht, wird die maximale Last durch Elektroautos dank des Netz-Check-Ins zu verringern (ca. 35 % Lastreduktion in den Simulationen).

Dank des Anreizsystems kann der Netzbetreiber außerdem eine **regionale Synchronisierung der Last aus Elektroautos und EE-Erzeugung bewirken.** Im Jahr 2030 könnten allein im Netzgebiet der MITNETZ Strom jährlich bis zu 180 GWh an Ladestrom zur Vermeidung von Redispatchmaßnahmen erschlossen werden. Mit diesem Flexibilitätspotenzial ließe sich fast das Doppelte des heutigen Redispatchvolumens der MITNETZ Strom (100 GWh in 2022) einsparen.

Durch eine Synchronisierung von EE-Erzeugung und Ladevorgängen im Rahmen von CO₂-Laden zeigte sich zudem, dass sich die **CO₂-Emissionen für den Ladestrom um bis zu 30 % reduzieren** lassen. Der schnelle Aufbau und die Umsetzung der Pilotdemonstration auf Basis bestehender Technik von Elli und MITNETZ Strom zeigte zudem, dass das vorgestellte Konzept mit **moderatem Umsetzungsaufwand und kurzfristig umsetzbar** ist.



Abbildung 32: In Pilotdemonstration und Simulationen beobachtete Vorteile für Elektroautobesitzer, Netzbetreiber und Energiewende

Neben den nachweisbaren und messbaren Vorteilen von Anreizsystem und Netz-Check-In sei an dieser Stelle auch erwähnt, dass die systematische Umsetzung dieses Konzeptes auch eine Reihe weiterer positiver Effekte mit sich führen würde.

So profitiert der Netzbetreiber dank des Erhalts von Ladedaten der Elektroautos von einer **verbesserten Transparenz über das eigene Netz**, sodass Hot Spots der Elektromobilität leichter zu identifizieren sind und von diesem für einen effizienten Netzausbau berücksichtigt werden können.

Netznutzer und Stromkunden profitieren zudem auch ohne Nutzung des Anreizsystems und Netz-Check-In finanziell: Dank insgesamt geringerer Netzkosten und eines höheren Stromverbrauchs aufgrund zusätzlich angeschlossener Elektroautos **fallen auch die konventionellen Netzentgelte geringer aus**. Gleichzeitig lässt sich dank der regionalen Synchronisierung von Last und EE-Erzeugung auch der **EE-Anteil am Strommix erhöhen**, was wiederum den Großhandelsmarktpreis für Strom reduziert.

Die Anwendbarkeit des Netz-Check-Ins und des Anreizsystems ist nicht auf unidirektional ladende Elektroautos beschränkt. Auch andere **Kleinstflexibilitäten, insbesondere Wärmepumpen, Heimspeicher und rückspeisenden Elektroautos (Vehicle-to-Grid)**, können in das Netz-Check-In und Anreizsystem integriert werden.



Abbildung 33: Weitere Vorteile von Anreizsystem und Netz-Check-In

Mit dem Anreizsystem in Kombination mit dem Netz-Check-In liegt ein **mit dem aktuellen Stand der Technik umsetzbares Konzept** zur Netzintegration der Elektromobilität vor, welches die Flexibilität der Elektroautos für netzdienliche Zwecke erschließbar macht und zudem das Niederspannungsnetz vor hohen Gleichzeitigkeiten bei den Ladevorgängen schützt. Die Umsetzung dieses Konzeptes fällt hierbei nicht zu Lasten einer einzelnen Partei aus – vielmehr profitieren alle Akteure (Elektroautobesitzer, Netzbetreiber, Energiewende, dritter Stromverbraucher), was eine breite Akzeptanz für das Konzept ermöglicht.

ANHANG

- A. Abkürzungsverzeichnis
- B. Abbildungsverzeichnis

A. Abkürzungsverzeichnis

BEV	Battery Electric Vehicle - Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BNetzA	Bundesnetzagentur
EE	Erneuerbare Energien
EMS	Energiemanagementsystem
EV	Electric Vehicle - Elektroauto
HöSp	Höchstspannung
HS	Hochspannung
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
MS	Mittelspannung
NAV	Niederspannungsanschlussverordnung
NS	Niederspannung
ONS	Ortsnetzstation
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle - Plug-in-Hybrid
PV	Photovoltaik
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VNB	Verteilnetzbetreiber

B. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aktuelle Situation in deutschen Verteilnetzen	I
Abbildung 2: Ansatz zur smarten Netzintegration	I
Abbildung 3: Konzeptioneller Ansatz der smarten Netzintegration. Da der Netz-Check-In in der Pilotkonfiguration erwartungsgemäß dafür sorgt, dass keine Niederspannungsengpässe auftreten, wurde auf die Implementierung von Notfallmaßnahmen in der Pilotdemonstration verzichtet.	I
Abbildung 4: Maximale Last der Elektroautos am Niederspannungsstrang [kW]	I
Abbildung 5: Anzahl an Stunden mit Engpässen im Simulationszeitraum (3 Monate) nach Lademodus	II
Abbildung 6: Vorteile vom Smarten Laden für Netzbetreiber und Elektroautobesitzer	II
Abbildung 7: Current situation in distribution networks	I
Abbildung 8: Approach for a smart and future-proof integration of e-mobility	I
Abbildung 9: Conceptual approach for a smart grid integration. Since the grid check-in in the field test configuration ensures that there are no low voltage grid congestions, the implementation of emergency measures in the pilot demonstration was obsolete.	I
Abbildung 10: Maximum load of electric vehicles on the low voltage strand [kW]	I
Abbildung 11: Number of hours with grid congestions in the simulation period (3 months)	II
Abbildung 12: Advantages of smart charging	II
Abbildung 13: Übersicht Gesamtkonzept	2
Abbildung 14: Funktionsweise Anreizsystem und Netz-Check-In	3
Abbildung 15: Untersuchte Elemente des Gesamtkonzeptes im Rahmen der Pilotdemonstration	4
Abbildung 16: Tarifstufen zeitvariabler Netzentgelte im Piloten mit exemplarischer Zeitreihe	5
Abbildung 17: Regionale Verortung der Pilotdemonstration	5
Abbildung 18: Meldung von möglichen Ladezeiträumen per Charging App in der Pilotdemonstration	6
Abbildung 19: Technische Umsetzung smartes Ladens mit Anreizsystem und Netz-Check-In im Piloten	7
Abbildung 20: Exemplarische Darstellung der Netzauslastung mit Netz-Check-In – Rote Kurve: verfügbare Kapazität im Ortsnetz, schraffierte Flächen: optimierte Ladevorgänge der Elektroautos nach Netz-Check-In	7
Abbildung 21: Fakten zu den Simulationen	8
Abbildung 22: Erläuterung zu den simulierten Lademodi	9
Abbildung 23: Szenarioannahmen zur E-Mobility-Durchdringung im simulierten Ortsnetz Brachwitz (56 Haushalte)	9
Abbildung 24: Maximale Last der E-Autos am Strang [kW]	10
Abbildung 25: Anteil des aufgrund von Netzengpässen im Rahmen von Notfallmaßnahmen abgeregelten Ladebedarfs in Prozent der gesamten Ladeenergie	10
Abbildung 26: Anzahl an Stunden mit Engpässen im Simulationszeitraum (3 Monate) nach Lademodus (ohne Netzausbau)	11
Abbildung 27: Anteil der Ladeenergie, die aufgrund des Anreizsystems netzdienlich verschoben wurde	12
Abbildung 28: Flexibilitätspotenzial aus E-Mobilität zur Entlastung der höheren Netzebenen im Netzgebiet der MITNETZ Strom	13
Abbildung 29: Spezifische CO ₂ -Emissionen für Ladeenergie („Szenario 2030“)	13
Abbildung 30: Durchschnittliches Netzentgelt je nach Lademodus („Szenario 2030“)	14

Abbildung 31: Vorteile von smarten Laden für Netzbetreiber und Elektroautobesitzer	14
Abbildung 32: In Pilotdemonstration und Simulationen beobachtete Vorteile für Elektroautobesitzer, Netzbetreiber und Energiewende	15
Abbildung 33: Weitere Vorteile von Anreizsystem und Netz-Check-In	16

KOMPETENZ
IN ENERGIE

