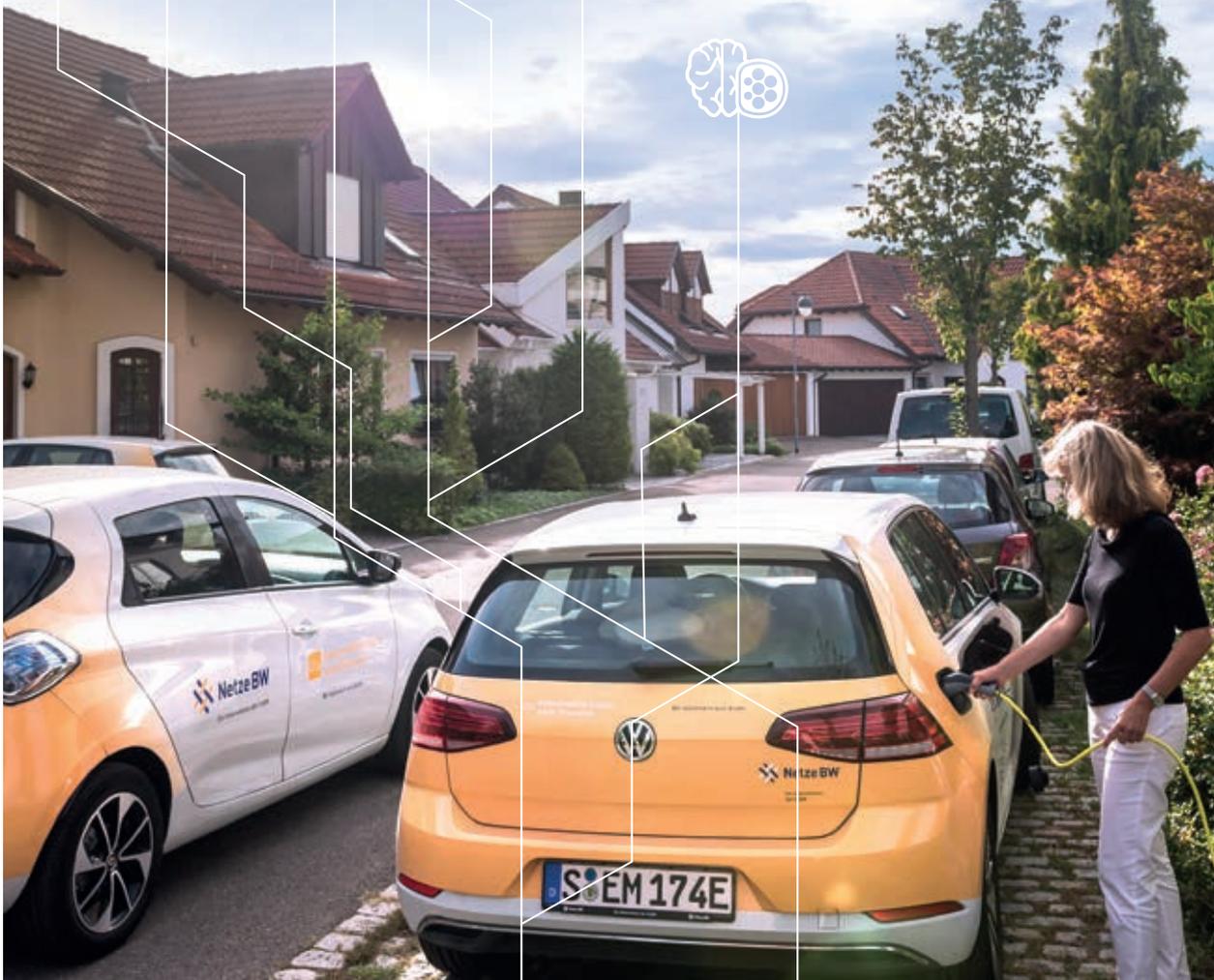




# DIE E-MOBILITY- ALLEE

Das Stromnetz-Reallabor zur Erforschung  
des zukünftigen E-Mobility-Alltags



# INHALT



WAS PASSIERT, WENN ALLE LADEN?\_10



10 HAUSHALTE, 11 ELEKTROFAHRZEUGE, 10 LEBENSSTILE – ABER NUR EIN STROMKABEL \_12



DIE E-PIONIERE DER BELCHENSTRASSE – ZWEI ERFAHRUNGSBERICHTE \_16

AUSBlick: E-MOBILITY IM ALLTAG – DIE NETZE BW PLANT WEITERE PROJEKTE \_42





## DIE ZUKUNFT FÄHRT ELEKTRISCH \_ 6

Grußworte Dr. Martin Konermann und Oberbürgermeister Christof Bolay	4
Die Zukunft fährt elektrisch	6
E-Mobility braucht starke Stromnetze	8
Was passiert, wenn alle laden?	10
10 Haushalte, 11 Elektrofahrzeuge, 10 Lebensstile – aber nur ein Stromkabel	12
Gezielt ins Netz eingreifen	14
Die E-Pioniere der Belchenstraße – zwei Erfahrungsberichte	16
Gemeinsam zum Projekterfolg	22
Das System bleibt stabil: eine positive Bilanz	24
E-Mobility im Alltag – die Netze BW plant weitere Projekte	42

» Wir wollen uns nicht allein auf theoretische Berechnungen und Prognosen verlassen, sondern live beobachten und testen. Wenn der Hochlauf der Elektromobilität dann tatsächlich Fahrt aufnimmt, sind wir gerüstet. «



# LIEBE LESERINNEN UND LESER

Elektromobilität ist ein bedeutendes Thema unserer Zeit, und ihr Durchbruch in den Massenmarkt steht unmittelbar bevor. Wenn der Strom aus erneuerbaren Energien gewonnen wird, ist Elektromobilität klimaschonend, lokal emissionsfrei, effizient in der Energienutzung und leise. Sie eröffnet zahlreiche Chancen, stellt uns aber auch vor große Herausforderungen.

Diese Herausforderungen gehen wir als Netzbetreiber offensiv an, um so einen Beitrag zu leisten, dass sich diese neue Technologie schnell durchsetzt, und die Weichen für die Zukunft zu stellen. Dabei verlassen wir uns nicht allein auf theoretische Berechnungen und Prognosen, sondern wollen mit unseren Kunden die Praktikabilität der Lösungen im Alltag beobachten und weiter verbessern.

Deshalb haben wir in der E-MOBILITY-ALLEE in Ostfildern bei Stuttgart über anderthalb Jahre hinweg getestet, wie unsere Kunden mit Elektromobilität umgehen, wie diese neue Technologie unser Stromnetz beeinflusst und welche Lösungen wir heute und in Zukunft bereithalten müssen. Wenn Elektromobilität dann flächendeckend Fahrt aufnimmt und sich endgültig durchsetzt, sind wir vorbereitet. Dass unser Projekt weltweite Aufmerksamkeit auf sich zieht und unsere Lösungen nun als Blaupause dienen, freut mich besonders – umso mehr als verschiedene Schwesterprojekte der E-MOBILITY-ALLEE bereits in den Startlöchern stehen.

Ihr

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Koneremann'. The signature is fluid and cursive.

Dr. Martin Koneremann  
Technischer Geschäftsführer Netze BW GmbH

- Die E-MOBILITY-ALLEE leistet einen wertvollen Beitrag für die weitere Etablierung der Elektromobilität. Für das Gelingen einer nachhaltigen Entwicklung sind die Erkenntnisse von großer Bedeutung. ■ ■

## SEHR GEEHRTE DAMEN UND HERREN



Das Thema Elektromobilität ist in den Schlagzeilen – zu Recht. Denn diese Technik wird entscheidend zum Gelingen der Verkehrswende beitragen. Dennoch existieren immer noch zahlreiche Vorbehalte, die sich insbesondere auf die Ladeinfrastruktur beziehen.

Können unsere Stromnetze überhaupt so viele Elektrofahrzeuge versorgen? Um diese Frage zu beantworten, hat die Netze BW das eigene Stromnetz einem Praxis-Stresstest unterzogen. Dass dafür Ostfildern ausgesucht wurde, freut mich – denn auch wir sehen in der Elektromobilität einen wesentlichen Baustein. Dabei gehen wir mit gutem Beispiel voran. In den vergangenen Jahren haben wir eine elektromobile Fahrzeugflotte aufgebaut. Vom Baubetriebshof bis hin zur Ortspolizeibehörde sind zahlreiche Mitarbeitende inzwischen mit Elektrofahrzeugen unterwegs. Und selbst der Dienstwagen des Oberbürgermeisters fährt mittlerweile elektrisch.

Darüber hinaus haben wir beim Thema Mobilität weitere Aspekte im Blick: vom Fahrrad über den ÖPNV bis hin zum Fußgänger. Nur wenn wir die verschiedenen Interessen unter einen Hut bringen, wird die Verkehrswende gelingen. Auch deshalb war es richtig, die Belchenstraße als E-MOBILITY-ALLEE auszuwählen.

Ihr

Christof Bolay  
Oberbürgermeister Ostfildern

## Die Ausgangssituation für das Reallabor E-MOBILITY-ALLEE



### ➤ DEUTSCHLAND

➤ ENDE 2018:  
142.000 ELEKTROFAHRZEUGE

### ➤ BADEN-WÜRTTEMBERG

➤ ENDE 2018:  
21.159 ELEKTROFAHRZEUGE

### ➤ OSTFILDERN

➤ E-MOBILITY-ALLEE  
➤ START DES PILOTPROJEKTS:  
30. JUNI 2018

### ➤ BELCHENSTRASSE

➤ EIN STROMKABEL,  
50% ELEKTROFAHRZEUGE

# DIE ZUKUNFT FÄHRT ELEKTRISCH

Klimawandel und CO<sub>2</sub>-Vermeidung: Es gibt kaum Themen, die aktuell so intensiv diskutiert werden wie diese. Ein Ausbau der Elektromobilität kann wesentlich zum Klimaschutz beitragen – insbesondere dann, wenn der erforderliche Strom aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Voraussetzung ist, dass die Stromnetze und die dazugehörige Infrastruktur auf neue Anforderungen vorbereitet sind.

Es wird elektrisch: 2018 ist der weltweite Bestand an Elektroautos um rund 74 Prozent auf 5,6 Millionen gestiegen. Mit über 1,2 Millionen verkauften Fahrzeugen wurde dabei mehr als jedes zweite Elektroauto in China zugelassen. Auch in den USA, vor allem in Kalifornien, hat sich die Nachfrage deutlich erhöht. In Europa zeigt die Zulassungskurve ebenfalls nach oben – allerdings, je nach Land, unterschiedlich stark.

## Norwegen auf der Überholspur

Trendsetter in Europa ist Norwegen. Dort boomt der Markt für elektrisch betriebene Fahrzeuge – unter anderem aufgrund hoher staatlicher Förderung für die Käufer und zahlreicher Vergünstigungen für die Nutzer. So hatte 2018 bereits mehr als die Hälfte aller neu zugelassenen Fahrzeuge in Norwegen einen Elektroantrieb. Auch in Deutschland steigen die Zahlen, jedoch langsamer: 2018 wurden rund 68.000 neue Elektroautos verkauft – ein Plus von 26 Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Damit ist Deutschland nach Norwegen der zweitgrößte Markt in Europa. Ende 2018 waren hierzulande rund 142.000 batteriebetriebene Autos unterwegs. Vor allem die Diskussionen um Schadstoffgrenzwerte und Fahrverbote sorgen für eine Belebung. Dennoch hinkt Deutschland den eigenen Ambitionen etwas hinterher. So musste die Bundesregierung ihr Ziel, bis 2020 rund 1 Million Elektrofahrzeuge auf die Straßen zu bringen, auf 2022 verschieben. Bis 2030 sollen es sogar 7 bis 10 Millionen sein. Dafür sind erhebliche Anstrengungen erforderlich – beispielsweise beim Ausbau der Ladeinfrastruktur.

## Die Stromnetze müssen fit gemacht werden

Sollte die Anzahl der Elektrofahrzeuge, wie vorgesehen, stark nach oben gehen, ergeben sich große Herausforderungen für die Stromversorgungssysteme. Was beispielsweise geschieht, wenn Tausende von Autos gleichzeitig zu Hause geladen werden? Dann können hohe Belastungen im lokalen Stromnetz entstehen – Spitzen, für die es nicht ausgelegt ist. Schließlich wurden in der Vergangenheit Verbrauchstypen wie die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge bei der Dimensionierung der Netze nicht berücksichtigt.

Aufgrund der bisherigen Entwicklungen lässt sich prognostizieren: Auch in Deutschland werden immer mehr Menschen elektrisch fahren. Deshalb befasst sich die Netze BW als größter Verteilnetzbetreiber in Baden-Württemberg intensiv mit dem Thema und bereitet das Stromnetz optimal auf die anstehende Mobilitätswende vor.

42%



Das Ziel:  
7 bis 10 Millionen Elektrofahrzeuge auf  
Deutschlands Straßen bis 2030

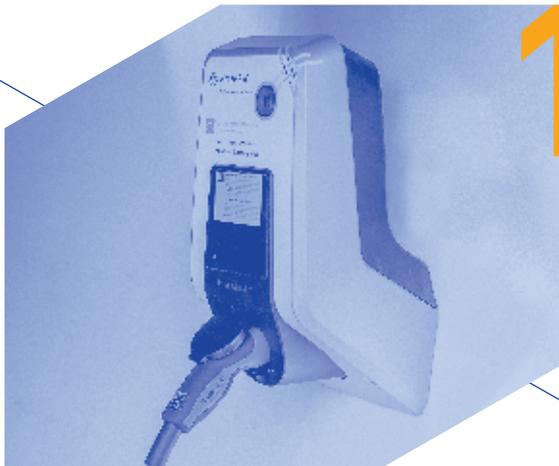
weniger CO<sub>2</sub> bis 2030 (im Vergleich zu 1990)  
gemäß dem Klimaschutzziel Baden-Württemberg –  
unter anderem durch neue, klimaschonende Mobilität

# E-MOBILITY BRAUCHT STARKE STROMNETZE

Mit der wachsenden Anzahl von Elektrofahrzeugen steigt auch die Zahl der installierten Ladesysteme. Das erfordert ein leistungsstarkes Stromnetz. Schließlich soll zum Laden der Elektroautos jederzeit ausreichend Strom verfügbar sein. Dabei geht es, wenn viele Batterien gleichzeitig „Strom ziehen“, weniger um die Menge als um die Verteilung. Denn: Das Netz kann nur dann stabil sein, wenn dieselbe Menge an Strom eingespeist wie auch entnommen wird. Für Netzbetreiber ist es deshalb entscheidend, sich frühzeitig auf künftige Anforderungen einzustellen und Bedarfsspitzen zu antizipieren.

An erster Stelle steht für die Netze BW die sichere und zuverlässige Stromversorgung – und das rund um die Uhr. Daran soll auch der Ausbau der Elektromobilität nichts ändern. Deshalb entwickeln wir intelligente, kundenfreundliche Lösungen zur Ausgestaltung des Stromnetzes von morgen. Für die umfassende Netzverstärkung sind bis ins Jahr 2025 rund 500 Millionen Euro an Investitionen in die Mittel- und Niederspannungsnetze geplant.

In fünf Handlungsfeldern nimmt die Netze BW ihre Verantwortung für die Netzintegration der Elektromobilität wahr:



## 1 IDENTIFIZIEREN

**Wir wissen, was in unserem Netz geschieht.**

Durch frühzeitiges Erkennen neuer Ladeeinrichtungen wissen wir, wo Hotspot-Regionen der Elektromobilität entstehen. Wir kümmern uns darum und ergreifen geeignete Maßnahmen.

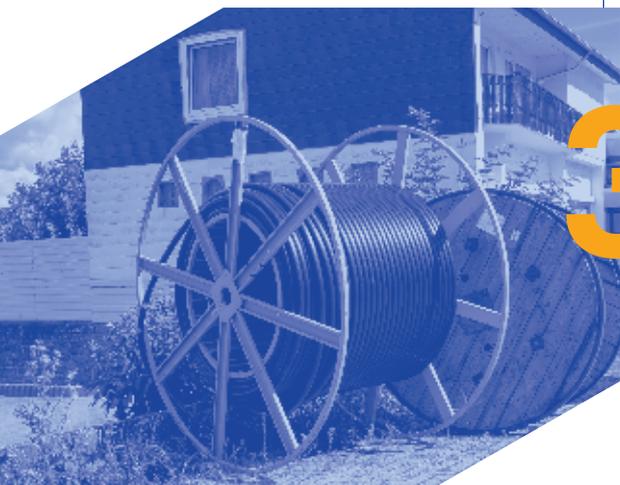
## ÜBERBRÜCKUNGS- LÖSUNGEN

**Wir sind vorbereitet, wenn Netzengpässe auftreten sollten.**

Versorgungssicherheit bedeutet auch, auf mögliche lokale Belastungen im Stromnetz reagieren zu können. Wir entwickeln, testen und standardisieren Lösungen, damit die Kunden ihre Elektrofahrzeuge auch dann laden können, wenn es zu Engpässen kommt.

## 2





## 3 NETZVERSTÄRKUNG

**Wir bauen unser Netz fortlaufend aus.**

Elektromobilität stellt neue Anforderungen an das Stromnetz. Wir berücksichtigen sie schon heute bei Netzplanung und Netzausbau.



## 4 INNOVATION UND INTELLIGENZ

**Wir setzen auf Einfallsreichtum, Kundennähe und Erfahrung.**

Wir entwickeln kontinuierlich innovative und kundenfreundliche Lösungen für ein intelligentes Stromnetz.

## GREMIEN- UND ÖFFENTLICHKEITS-ARBEIT

**Wir stemmen die Mobilitätswende nur gemeinsam.** Neue Mobilitätskonzepte erfordern den aktiven Austausch zwischen Akteuren verschiedener Branchen. Wir stehen unseren Partnern in allen Fragen, die mit der Netzintegration von Elektromobilität zu tun haben, kompetent zur Seite.

## 5



# WAS PASSIERT, WENN ALLE LADEN?

Haben wir genug Strom, wenn künftig immer mehr Menschen elektrisch fahren? Und was geschieht, wenn alle Bewohner einer Straße, die über dasselbe Stromkabel mit Energie versorgt werden, auf Elektrofahrzeuge umsteigen? Ist das Stromnetz darauf vorbereitet? Genau das untersuchte die Netze BW im deutschlandweit einmaligen Pilotprojekt E-MOBILITY-ALLEE.

In der E-MOBILITY-ALLEE testete die Netze BW in Kooperation mit der Stadt Ostfildern und verschiedenen Forschungspartnern, wie sich Elektromobilität auf das Stromnetz auswirkt – was es also heißt, wenn viele Anwohner in derselben Straße gleichzeitig auf Elektrofahrzeuge umsteigen. Zudem sollte ermittelt werden, wie der Einsatz von Batteriespeichern und intelligentem Lademanagement die Netzstabilität erhöhen kann.

➤ Dazu wurden zehn Haushalte in der Belchenstraße in Ostfildern für einen Zeitraum von anderthalb Jahren mit Elektrofahrzeugen und der entsprechenden Ladeinfrastruktur für zu Hause ausgestattet.

## Eine Straße voller Elektroautos

Die E-MOBILITY-ALLEE befindet sich in der Belchenstraße in Ostfildern bei Stuttgart. Die zehn teilnehmenden Haushalte repräsentieren ein typisches Wohngebiet mit Eigenheimen, wie es häufig in Ballungsräumen vorkommt – eine Konstellation also, in der schon bald relativ viele Elektroautos unterwegs sein könnten. Denn gerade den Einzugsgebieten von Großstädten mit viel privatem Parkraum wird in den kommenden Jahren eine Vorreiterrolle in puncto Elektromobilität zugesprochen.

Besonders wichtig für das Projekt: Alle Anwohner der Straße werden vom gleichen Stromkabel versorgt. Dadurch entstehen immer wieder hohe Lastspitzen, die sich beispielsweise mithilfe von Batteriespeichern und intelligentem Lademanagement minimieren lassen.

## Unterschiedliche Lebens- und Fahrgewohnheiten

Vom Vielfahrer bis hin zum Gelegenheitsfahrer, von der Familie mit Kindern bis hin zu Rentnern: Unsere Studie deckt ein breites Spektrum potenzieller E-Mobilitäts-Nutzer ab. Entsprechend unterschiedlich sind auch die Lebensstile, Fahrgewohnheiten und bisherigen Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen. Insgesamt gibt es in der E-MOBILITY-ALLEE 21 Haushalte. 10 Haushalte werden in das Pilotprojekt aufgenommen. Resultat ist eine Elektromobilitäts-Durchdringung von nahezu 50 Prozent.

Einfaches Laden direkt vor der Haustür.



Alle Projekthaushalte erhalten eine private Ladestation, damit sie ihre Elektrofahrzeuge direkt zu Hause laden können.



#### STATEMENT

„**Elektromobilität bedeutet für die Verteilnetze eine große Herausforderung:** Durch die erforderliche Ladeinfrastruktur greifen in kurzer Zeit zahlreiche Verbraucher mit hohem Bedarf aufs Netz zu. Um die benötigte Leistung bereitzustellen, sind umfangreiche Netzverstärkungsmaßnahmen notwendig. Im bundesweit einzigartigen Projekt E-MOBILITY-ALLEE haben wir die Auswirkungen, die Elektromobilität auf das Netz hat, in Echtzeit untersucht und innovative Lösungen zur Optimierung der Netzstabilität getestet. Unser Ziel ist klar: Wir wollen ein System bereitstellen, mit dessen Hilfe jeder Kunde laden kann, wo und wann er möchte.“

DR. MARTIN KONERMANN  
Technischer Geschäftsführer der Netze BW

# 10 HAUSHALTE, 11 ELEKTROFAHR- ZEUGE, 10 LEBENS- STILE – ABER NUR EIN STROMKABEL

## Elektrisch unterwegs und die Praxis erproben

Die Netze BW bringt mit ihrem Projekt in Ostfildern einen Praxistest auf die Straße. Dazu stellt sie den Teilnehmern rund anderthalb Jahre lang insgesamt elf Fahrzeuge zur Verfügung. Jeder Haushalt wird entweder mit einem VW e-Golf, einem BMW i3 oder einem Renault ZOE ausgestattet. Zudem dürfen alle Teilnehmer in einem rollierenden System jeweils drei Wochen lang einen Tesla Model S fahren.

Diese Vorgehensweise wird absichtlich gewählt, um einen Mix unterschiedlicher Fahrzeuge abzubilden und so Konstellationen vorwegzunehmen, die künftig typisch sein könnten. Bewusst erhalten die Teilnehmer ihre neuen Autos bereits einige Wochen vor der Testphase, um sich mit ihnen vertraut zu machen – für einige ist es der erste Kontakt mit einem Elektroauto überhaupt.

Damit die Teilnehmer die Fahrzeuge zu Hause laden können, erhalten sie von der Netze BW jeweils eine private Ladestation mit einer möglichen Ladeleistung von bis zu 22 kW – ergänzt durch zusätzliche Mess- und Steuerungstechnik. Diese Kombination ermöglicht den Fernzugriff auf jede Ladestation, wodurch sich wichtige Erkenntnisse hinsichtlich künftiger Lastprofile gewinnen lassen.

Alle Daten werden auf einem Server und in einer Datenbank gesammelt und ausgewertet. Mithilfe einer eigens entwickelten App haben die teilnehmenden Haushalte jederzeit die Möglichkeit, Informationen über ihren Verbrauch und den Ladezustand ihres Elektrofahrzeugs abzurufen.

## 5x VW E-GOLF

➤ 4-TÜRER  
BATTERIEKAPAZITÄT: 35,8 KWH  
LADEZEIT 100%: 5,30 H (AC)  
LADELEISTUNG: 7,2 KW (AC)  
LADEVERHALTEN: ZWEIPHASIG  
ALLTAGSREICHWEITE: 200 KM



# RENAULT ZOE 3x

➤ 4-TÜRER  
BATTERIEKAPAZITÄT: 41 KWH  
LADEZEIT 100%: 2,15 H (AC)  
LADELEISTUNG: 22 KW (AC)  
LADEVERHALTEN: DREIPHASIG  
ALLTAGSREICHWEITE: 250 KM



# 2x BMW i3

➤ 4-TÜRER  
BATTERIEKAPAZITÄT: 33 KWH  
LADEZEIT 100%: 3 H (AC)  
LADELEISTUNG: 11 KW (AC)  
LADEVERHALTEN: DREIPHASIG  
ALLTAGSREICHWEITE: 200 KM

# 1x TESLA MODEL S

➤ 4-TÜRER  
BATTERIEKAPAZITÄT: 75 KWH  
LADEZEIT 100%: 6 H (AC)  
LADELEISTUNG: 16,5 KW (AC)  
LADEVERHALTEN: DREIPHASIG  
ALLTAGSREICHWEITE: 400 KM



Mithilfe der eingesetzten Messtechnik hat die Netze BW die Belastung des örtlichen Netzes jederzeit im Blick.



# GEZIELT INS NETZ EINGREIFEN

Es wird noch einige Zeit dauern, bis das Stromnetz für die Anforderungen flächendeckender Elektromobilität ausgebaut ist. Schnell umsetzbare Lösungen, die der Netze BW bei Engpässen schon heute helfen, sind beispielsweise intelligentes Lademanagement und Batteriespeicher. In der E-MOBILITY-ALLEE werden sie praxisorientiert erprobt.

In einem ersten Schritt analysiert die Netze BW das Ladeverhalten der teilnehmenden Haushalte und die direkten Auswirkungen auf das Stromnetz. Laden wirklich alle Fahrzeugbesitzer gleichzeitig am Abend, oder verhalten sich Haushalte mit unterschiedlichen Lebensgewohnheiten im realen Alltag anders? Dabei nimmt die Netze BW zunächst keinerlei Einfluss auf die Lastprofile der privaten Ladeinfrastruktur.

Im zweiten Schritt wird getestet, inwiefern sich die Netzstabilität in der Praxis optimieren lässt. Der Hintergrund: Sobald mehrere Elektrofahrzeuge gleichzeitig geladen werden, können Spitzenbelastungen im Netz entstehen. Während des Projekts werden verschiedene Batteriespeicher und Lademanagementkonzepte untersucht.

So wird beispielsweise in einem der Projekthaushalte ein kleiner dezentraler Batteriespeicher installiert. Dieser gibt die in den Mittagsstunden gespeicherte Energie am Abend wieder an das Elektrofahrzeug ab. Konsequenz: Das öffentliche Stromnetz wird beim Ladevorgang nicht belastet. Auf diese Weise funktioniert auch das System mit einem großen zentralen Batteriespeicher, der direkt ins Netz integriert wird und das gleichzeitige Laden mehrerer Fahrzeuge kompensieren kann.

Daneben werden mehrere Konzepte für intelligentes Lademanagement getestet. Wenn Ladevorgänge verschoben oder reduziert werden, vermeidet man Lastspitzen und entlastet so das Netz insgesamt.



## Dezentraler Batteriespeicher

Der dezentrale Batteriespeicher wird zusammen mit der Ladestation direkt in die Elektroinstallation des Kunden integriert. Auf Basis einer lokalen Strommessung lassen sich Lastspitzen, die durch Ladevorgänge verursacht werden, kompensieren.

- NUTZBARE SPEICHERENERGIE: 19 KWH
- LEISTUNG: 20 KW



## Zentraler Batteriespeicher

Der zentrale Batteriespeicher wird am Ende des öffentlichen Stromkabels angeschlossen. Anhand der Messdaten aus dem Ortsnetz lässt sich der Speicher intelligent und präzise abgestimmt auf die aktuelle Netzbelastung steuern.

- NUTZBARE SPEICHERENERGIE: 66 KWH
- LEISTUNG: 60 KW



## Intelligentes Lademanagement

Intelligentes Lademanagement dient in erster Linie dazu, Ladevorgänge so zu optimieren, dass dabei die lokale Situation im Netz berücksichtigt und eine Überlastung vermieden wird. Im Projekt E-MOBILITY-ALLEE werden deshalb sowohl präventive als auch reaktive Lademanagementkonzepte entwickelt und angewandt. Die Projektteilnehmer können die aktuell möglichen Ladeleistungen über eine App abfragen.

### Präventives Lademanagement

Hier erhalten die Ladestationen feste Zeitpläne zur maximal verfügbaren Ladeleistung. Die Zeitpläne werden auf der Basis von Erfahrungswerten und Prognosen erstellt und berücksichtigen, wann das Netz voraussichtlich besonders stark ausgelastet ist.

Getestet werden zwei unterschiedliche Konzepte: sogenannte „Freigabegruppen“ und „Freigabequoten“. Bei der ersten Variante werden die zehn Testhaushalte in zwei Gruppen eingeteilt. Je nach Tageszeit können sie abwechselnd entweder mit maximaler oder mit minimaler Leistung laden.

Bei der Freigabequote können alle zehn Kunden immer mit der gleichen Leistung laden. Allerdings ist diese je nach Tageszeit begrenzt. Eine Mindestleistung von rund 5 kW ist zu jedem Zeitpunkt garantiert. Beide Methoden stellen sicher, dass nicht sämtliche Ladestationen zeitgleich ihr Maximum an Leistung abrufen können. Spitzenbelastungen bleiben also aus.

- Der Vorteil des präventiven Lademanagements besteht darin, dass der Kunde im Vorfeld weiß, über welche Ladeleistung er verfügt. Das sorgt für Planungssicherheit. Zusätzlich kann er bei Bedarf seine maximale Ladeleistung anfordern, sofern gerade freie Kapazitäten im Netz vorhanden sind.



Eine speziell entwickelte App zeigt den Projektteilnehmern wichtige Daten – zum Beispiel den aktuellen Ladestand.

### Reaktives Lademanagement

Durch die Auswertung vorhandener Messdaten aus dem Ortsnetz kann die Netze BW die Auslastung des Stromnetzes in Echtzeit überwachen und Ladevorgänge bei Bedarf gezielt und in Echtzeit ansteuern. Wird ein Netzengpass erkannt, erfolgt die stufenweise Reduzierung der Ladeleistung aller Ladestationen, um das Stromnetz zu entlasten. Eine Mindestleistung von rund 5 kW wird auch hierbei zu jedem Zeitpunkt garantiert. Ist der Engpass überwunden, wird die Ladeleistung wieder freigegeben.

- Der Vorteil eines reaktiven Lademanagements ist die hohe Verfügbarkeit der maximalen Ladeleistung: Die Leistung wird nur bei Bedarf über einen eng begrenzten Zeitraum eingeschränkt. Da die Abregelung jedoch kurzfristig bei einem Engpass erfolgt, hat der Kunde bei dieser Variante weniger Planungssicherheit. Allerdings ist es möglich, die Ladevorgänge nutzerfreundlich zu priorisieren und beispielsweise Mindestreichweiten zu garantieren, wenn der aktuelle Batteriezustand und eine bestimmte Abfahrtszeit bekannt sind. Ein solcher Eingriff ins Ladeverhalten ermöglicht die optimale Ausnutzung der Netzkapazität bei hohem Kundenkomfort.





# DIE E-PIONIERE DER BELCHEN- STRASSE

Zehn Familien aus derselben Straße in Ostfildern lassen sich anderthalb Jahre lang auf den elektromobilen Alltag ein. Das Pilotprojekt der Netze BW in Kooperation mit der Stadt Ostfildern und verschiedenen Forschungspartnern geht nun zu Ende – Zeit, ein Fazit zu ziehen. Zwei Teilnehmer berichten von ihren Erfahrungen.

# „MIT NEUGIER INS E-MOBILITY- PROJEKT“



Norbert Simianer hat Glück. Zu Beginn des Projekts werden die verschiedenen Fahrzeugtypen – BMW i3, VW e-Golf und Renault ZOE – an die Teilnehmer verlost. „Der ZOE hat die größte Reichweite. Daher hatte ich mir genau dieses Auto gewünscht“, erzählt Simianer. Und tatsächlich wird der kleine Franzose zu seinem neuen Alltagsbegleiter. „Zuvor hatte ich nur Erfahrungen mit meinem Hybridauto gemacht. Jetzt war ich gespannt, wie es ist, rein elektrisch unterwegs zu sein.“

➤ NAME: NORBERT SIMIANER, IM RUHESTAND  
HAUSHALT: 2 PERSONEN  
TESTFAHRZEUG: RENAULT ZOE  
FAHRLEISTUNG: RUND 16.000 KM

„Wie bei allen neuen Dingen muss man zu Anfang etwas experimentierfreudig sein.“

## Lautlos, aber kraftvoll

Wer von einem Benziner auf ein E-Auto umsteigt, wird im ersten Moment ein ungewohntes Gefühl haben – da ist sich der Pensionär sicher. „Wenn man Gas gibt, kommt man sehr zügig vom Fleck. Zugleich sind kaum Motorengeräusche zu hören“, sagt der ehemalige Schulrektor. Seine Frau und er gewöhnen sich jedoch schnell an das neue Fahrgefühl, und bald nutzen sie das Elektroauto so selbstverständlich wie ihr eigenes. Problemlos gestaltet sich das Laden an der sogenannten Wallbox in der heimischen Garage – nach nur rund 2 Stunden ist die Batterie voll.

## Ein Bonbon mit 460 PS

„Sozusagen als Bonbon durfte jeder Teilnehmer für drei Wochen den Tesla testen“, erzählt Norbert Simianer. Natürlich will man auf der Autobahn die 460 PS dieses dynamischen Wagens auf sich wirken lassen. „Da kam aber prompt die Meldung: Wenn Sie ans Ziel kommen wollen, müssen Sie 120 km/h fahren“, erinnert er sich schmunzelnd. Ein Navi, das präzise auf das E-Auto ausgerichtet ist, errechnet, ob der Zielort mit dem aktuellen Ladestand erreicht werden kann oder ob man eine Ladepause einlegen muss.



„Genauso wie beim Verbrennungsmotor frisst ‚Gas geben‘ nämlich Kilometer, aber auch Klimaanlage, Sitzheizung oder Gebläse reduzieren den Aktionsradius deutlich, das haben wir alles nach und nach herausgefunden“, sagt das Ehepaar Simianer.

### Reichweitenangst fährt am Anfang mit

Die Reichweite ist nach wie vor einer der kritischen Punkte bei der Elektromobilität. Das spüren auch die Teilnehmer des Pilotprojekts: „Vor allem am Anfang haben wir oft geladen, und wir waren unsicher, ob das Auto die angezeigte Leistung auch tatsächlich bringt“, sagt Norbert Simianer rückblickend. „Doch mit der Zeit wird man deutlich entspannter.“

### Persönliches Fazit

Reichweite und Ladezeit stellen noch Herausforderungen dar. Aber für Fahrer, die ihren Wagen vor allem auf Kurzstrecken benötigen, ist ein Elektroauto durchaus eine attraktive Alternative.

„Das Laden des Elektrofahrzeugs ist nicht schwerer, als einen Toaster an die Steckdose anzuschließen.“



➤ NAME: PETRA UND NORBERT FRANK,  
BEIDE BERUFSTÄTIG  
HAUSHALT: 4 PERSONEN  
TESTFAHRZEUG: VW E-GOLF  
FAHRLEISTUNG: RUND 26.000 KM



# „GESPRÄCHS- THEMA UNTER FREUNDEN“



„Es war für uns alle  
in der Straße  
ein tolles Erlebnis.“

Petra und Norbert Frank bezeichnen sich selbst als „technisch orientierte Menschen, die gern Neues ausprobieren“. Daher ist es für sie keine Frage, sich auf das Experiment E-Auto einzulassen. Der vierköpfigen Familie wird ein VW e-Golf zugewiesen. Nach Ende des Tests zeigt der Tacho rund 26.000 Kilometer an. Den Großteil davon ist Petra Frank gefahren. „Zu meiner Arbeit nach Reutlingen sind es rund 40 Kilometer“, erzählt sie. „Das ist eigentlich die ideale Strecke für das Fahrzeug.“ Am Arbeitsplatz stehen sogar Ladestationen bereit – doch diese hat sie selten genutzt: „In der Regel fahre ich zweimal hin und zurück, dann wird über Nacht aufgeladen.“ Trotzdem gibt sie zu: „Wer elektrisch fährt, muss rechnen. Wie weit ist es hin und zurück, wie viel Leistung schlucken die Klimaanlage und das Handy? Im Winter reduzieren kalte Temperaturen die Reichweite zusätzlich.“

## Erhöhte Reichweite dank Rekuperation

Umgekehrt kann man mit vorausschauendem Fahren die Batterie immer auch ein wenig aufladen – der Fachmann nennt dies Rekuperation. „Das macht einen Teil des Fahrspaßes bei Elektroautos aus“, erzählt Petra Frank. „Als wir neulich nach Stuttgart hinuntergefahren sind, haben wir Witze gemacht, dass wir fast mit mehr Leistung wieder heimkommen.“ Dem Ehepaar Frank besichert das Projekt eine Menge Experimentierfreude – und viele Gespräche zum Thema E-Mobilität im Freundes- und Bekanntenkreis. „Wir haben das Auto auch immer mal wieder ausgeliehen, damit sich die Leute selbst ein Bild davon machen konnten“, erzählt Norbert Frank. Und auch unter den teilnehmenden Nachbarn gibt es gerade zu Beginn regen Austausch – und auch Autotausch.

## „Die Elektromobilität ist noch nicht am Ziel, aber auf einem guten Weg.“



„Wenn man sich abends begegnet ist, hat man schon gefragt: ‚Wie ist es heute bei dir gelaufen? Wo hast du getankt?‘“, berichtet Petra Frank. Diese Gespräche sind seltener geworden – ein Zeichen dafür, dass die E-Mobilität im Alltag angekommen ist. Zumindest in der Belchenstraße.

### Zukunftsprojekte? Gern wieder!

Die Franks haben durchaus Gefallen am Alltag mit einem Elektroauto gefunden und sind sich einig: „Die Elektromobilität ist noch nicht am Ziel, aber auf einem guten Weg.“ Dennoch müsse man auf der momentanen „Entwicklungszwischenstufe“ beim Nachdenken über eine Anschaffung Themen wie Reichweite und Kosten in die Überlegungen miteinbeziehen – ebenso wie die Frage, wo der Strom eigentlich herkommt. Genau wie das Ehepaar Simianer von schräg gegenüber würde auch das Ehepaar Frank immer wieder bei einem solchen Projekt mitmachen – nicht zuletzt aufgrund der guten Betreuung durch die Netze BW im gesamten Projektverlauf. Petra Frank: „Von der Installationsphase bis heute haben wir uns immer gut informiert und aufgehoben gefühlt. Es war für uns alle in der Straße ein tolles Erlebnis.“



# GEMEINSAM ZUM PROJEKTERFOLG

Um den Feldtest wissenschaftlich möglichst breit aufzustellen, wird er gleich von drei Hochschulen begleitet. Daneben ist auch die enge Zusammenarbeit mit der Stadt Ostfildern von großer Bedeutung.

## KIT Karlsruhe

Das Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik (IEH) gehört zur Fakultät für Elektro- und Informationstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). In der Forschung liegt der Schwerpunkt darauf, intelligente Verteil- und Transportnetze zu modellieren, zu optimieren und zu steuern sowie Betriebsmittel zu berechnen und zu verbessern. Das KIT (IEH) unterstützt die E-MOBILITY-ALLEE bei den Themen zentraler und dezentraler Batteriespeicher.

### Die wissenschaftliche Begleitung im Detail

- Simulation und Betrieb von Batteriespeichern, die zur Überbrückung von Netzengpässen direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen sind (zentraler Batteriespeicher)
- Simulation und Betrieb von Batteriespeichern, die zur Überbrückung von Netzengpässen bei Kunden in die Hausinstallation integriert werden (dezentraler Batteriespeicher)
- Auswertung der Testergebnisse

## TU Dresden

Das Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH) der Technischen Universität Dresden und die Netze BW arbeiten seit vielen Jahren eng zusammen, wenn es um besondere Fragestellungen in Bezug auf Netzzrückwirkungen in Niederspannungsnetzen geht. Die Arbeitsgruppe „Power Quality“ des IEEH mit rund zehn Mitarbeitern misst, analysiert und beurteilt – auf der Basis langjähriger Erfahrung – Netzzrückwirkungen, Spannungsqualität und Stromqualität sowohl unter Laborbedingungen als auch im Stromnetz.

### Die wissenschaftliche Begleitung im Detail

- Messung und Bewertung der Spannungsqualität im Netz – mit und ohne Elektromobilität
- Analyse der Stromqualität beim Laden der Fahrzeuge im Labor und im Netz
- Gezielte Untersuchung der Spannungsqualität und Netzbelastung bei unterschiedlicher Anzahl von Fahrzeugen (koordiniertes Zuschalten der Fahrzeuge)

## RWTH Aachen

Das Institut für Hochspannungstechnik (IFHT) gehört zur Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der RWTH Aachen. Mehr als 60 seiner rund 90 Mitarbeiter sind Wissenschaftler, die ein breites Themenspektrum aus dem Bereich Energietechnik adressieren.

### Die wissenschaftliche Begleitung im Detail

- Untersuchung der Betriebszeiten und der Gleichzeitigkeit beim Einsatz von Ladestationen für Elektrofahrzeuge und Stromheizungen
- Simulation des Stromnetzes in der Belchenstraße und Identifikation von potenziellen Netzüberlastungen
- Entwicklung von Konzepten für intelligentes Lademanagement zur netzdienlichen Steuerung der Ladestationen
- Simulative Potenzialanalyse der Konzepte für intelligentes Lademanagement und Validierung anhand der Feldtestdaten
- Auswertung von Messdaten aus den Feldtests und Ableitung von Handlungsempfehlungen

## Die Netze BW GmbH – wir kümmern uns drum

Als größter Netzbetreiber in Baden-Württemberg sind wir ein starker, zuverlässiger Partner für mehr als 600 Kommunen und an über 70 Standorten regional präsent. Mit viel Engagement und Leidenschaft sorgen wir dafür, dass Baden-Württemberg sicher und zuverlässig mit Energie versorgt wird. Damit das auch in Zukunft so bleibt, arbeiten wir schon heute am Netz der nächsten Generation.

Mit einer steigenden Anzahl von Elektrofahrzeugen wächst auch die Zahl der installierten Ladeeinrichtungen. Deren hoher Ladebedarf macht ein leistungsstarkes Stromnetz erforderlich.



Das Projektteam der E-MOBILITY-ALLEE.

Als Netzbetreiber kümmern wir uns darum, dass jederzeit genug Leistung zum Laden der Elektroautos zur Verfügung steht. Mit intelligenten und kundenfreundlichen Lösungen zur Ausgestaltung des Stromnetzes von morgen und zusätzlichen Investitionen ins Verteilnetz übernehmen wir eine wichtige Rolle innerhalb der Mobilitätswende.

### INTERVIEW

#### „Wir möchten die Akzeptanz für Elektromobilität weiter steigern“

Im Gespräch erläutert die Baubürgermeisterin Ostfilderns, Monika Bader, die Bedeutung der E-MOBILITY-ALLEE für ihre Kommune.

**Frau Bader, wie wichtig ist Elektromobilität für Ihre Kommune?**

**Bader:** Elektromobilität ist ein wesentlicher Baustein unseres neuen Mobilitätskonzepts, das wir derzeit erarbeiten. Es geht darum, sämtliche Mobilitätsarten – im Individualverkehr wie im öffentlichen Nahverkehr – intelligent miteinander zu verknüpfen.

**Welche Erkenntnisse liefert Ihnen dabei ein Modellprojekt wie die E-MOBILITY-ALLEE?**

**Bader:** Das Projekt sorgt dafür, dass Akzeptanz und Begeisterung für Elektromobilität in der Bevölkerung weiter steigen. Die Menschen erkennen, dass die Technologie funktioniert. Sie verstehen aber auch immer besser, was es dazu alles braucht – etwa Ladestationen und zusätzliche Stromspeicher – und dass man seine Fahrten vielleicht etwas besser planen sollte als bisher.

**Wie planen Sie ein typisches Quartier der Zukunft?**

**Bader:** Spezifische Mobilitätskonzepte werden bereits mit den ersten stadtplanerischen Entwicklungen, also schon in den Auslobungen der Wettbewerbe, berücksichtigt. Wir denken die künftigen Anforderungen – unter anderem an zentrale intermodale Knotenpunkte und Parkleitsysteme – direkt mit und berücksichtigen den nötigen Platz für Ladesäulen ebenso wie für externe Stromspeicher und Ortsnetzstationen. Denn, auch das zeigen ja die Erfahrungen aus der Belchenstraße: Elektromobilität braucht ein sehr leistungsfähiges Stromnetz.



Monika Bader,  
Bürgermeisterin Ostfilderns

# DAS SYSTEM BLEIBT STABIL: EINE POSITIVE BILANZ

Mit ihrem Reallabor E-MOBILITY-ALLEE leistet die Netze BW Pionierarbeit und gewinnt unter anderem eine wichtige Erkenntnis: Wirkliche Spitzenbelastungen des örtlichen Stromnetzes bleiben während der gesamten Projektdauer aus.

Kommt es zum Chaos, wenn alle Projektteilnehmer gleichzeitig ihre Elektroautos laden? Diese Frage steht zu Beginn des Projekts in Ostfildern immer wieder im Raum. Doch die Abläufe im Reallabor zeigen schnell, dass die Sorge unbegründet ist. Zwar wird das Gros der Elektrofahrzeuge in den Abendstunden geladen. Doch wirkliche Spitzenbelastungen des örtlichen Stromnetzes bleiben während der gesamten Projektdauer aus – auch, weil es deutliche Unterschiede im Ladeverhalten der teilnehmenden Haushalte gibt: Maximal fünf der zehn Autos werden gleichzeitig geladen, und dies auch nur in seltenen Fällen. Während einige Teilnehmer ihren Wagen nahezu jeden Tag laden, werden andere Fahrzeuge nur einmal pro Woche ans Netz angeschlossen.

## Gute Ergebnisse mit intelligentem Lademanagement und Batteriespeichern

Auf die Stromnetze werden höhere Belastungen zukommen, wenn die Elektromobilität boomt. Dies zeigt sich auch in der E-MOBILITY-ALLEE – wenn der Anstieg auch weniger groß ist als befürchtet:

➤ In Spitzenzeiten am Abend liegt die Mehrbelastung des örtlichen Stromnetzes in der Belchenstraße nur rund 24 Prozent über dem Wert vor dem Projektzeitraum.

Batteriespeicher und intelligentes Lademanagement bewähren sich. Zu dem damit verbundenen Gesamtkonzept gehört, die Elektroautos zeitversetzt zu laden. Das Potenzial hierfür ist groß: Rund 7,5 Stunden lang sind die Fahrzeuge durchschnittlich mit der Ladestation verbunden – werden dabei aber nur ca. 2,5 Stunden lang wirklich aufgeladen.

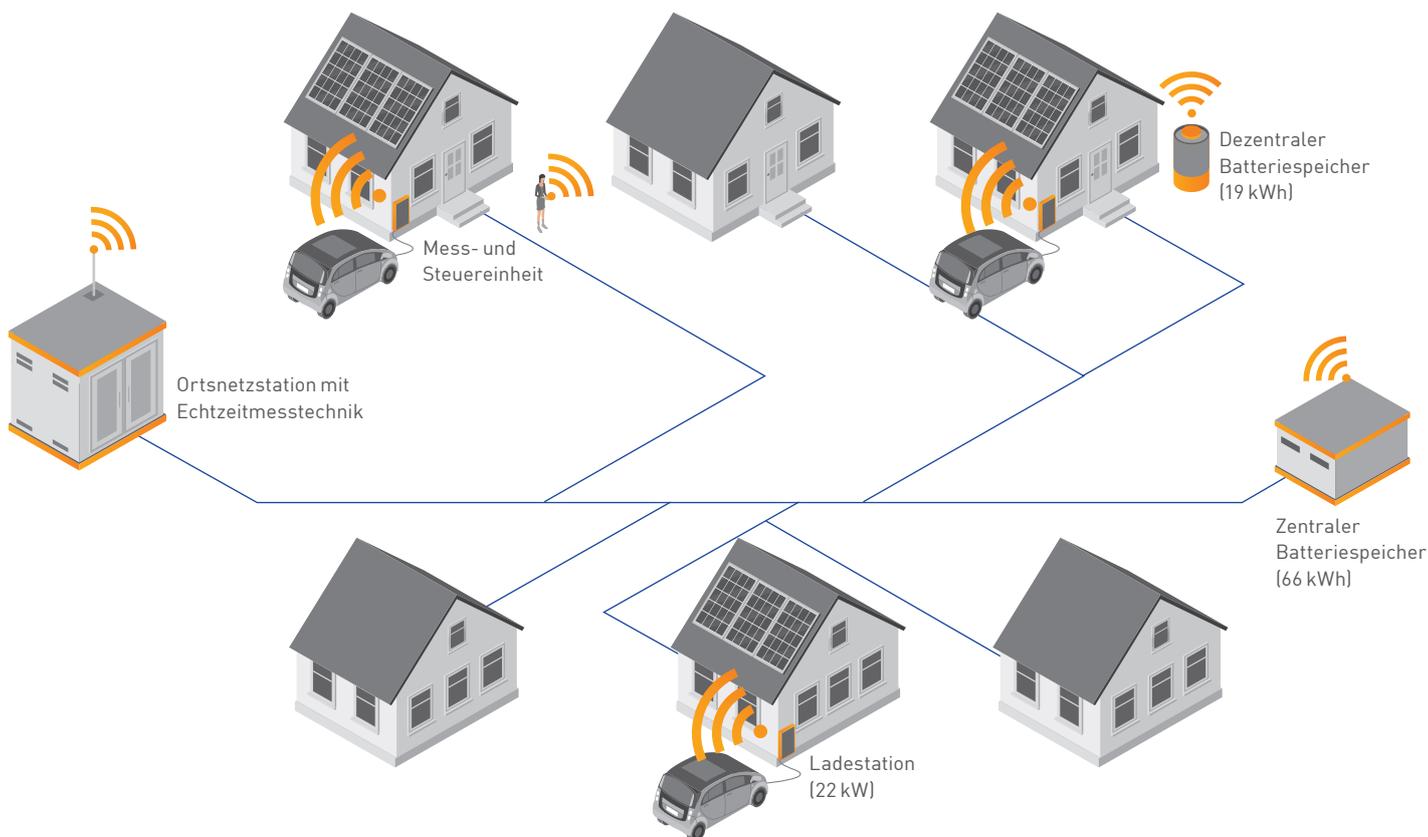
Dem intelligenten Lademanagementsystem steht also dreimal mehr Zeit zum Laden zur Verfügung, als der Ladevorgang tatsächlich benötigt. Diese Flexibilität kann das System nutzen, um die Autos dann zu laden, wenn die Netzbelastung am geringsten ist. Die Kunden merken davon nichts – am Morgen sind ihre Elektrofahrzeuge stets fahrbereit. Solche Lösungen können in Zukunft wesentlich dazu beitragen, dass die Kunden hohen Ladekomfort genießen, ohne dass es zu einer kritischen Netzbelastung kommt.

## Die Kunden vertrauen dem System

Sind die Kunden zu Beginn vielfach noch unsicher, wie weit eine Akkuladung reichen wird, so legt sich diese Sorge im Projektverlauf. Das Vertrauen in die Elektromobilität wächst, die Angst vor mangelnder Reichweite nimmt spürbar ab. Dies zeigt sich unter anderem darin, dass die Anzahl der Ladevorgänge pro Woche zurückgeht. Zusätzlich nimmt die generelle Begeisterung der Testhaushalte für Elektromobilität zu – vor allem in Bezug auf kürzere Fahrten. Einige der Teilnehmer überlegen sogar, auch über den Testzeitraum hinaus ein Elektrofahrzeug zu nutzen.



➤ Echtzeit-Monitoring, Datenverarbeitung,  
Steuerung, Betriebsführung



## Faktenbox E-MOBILITY-ALLEE

### Ladeverhalten

- Die Kunden verlieren die Reichweitenangst – in den späteren Phasen des Projekts gibt es weniger Ladevorgänge pro Woche als in der Anfangszeit.
- Geladen wird überwiegend abends zwischen 19:00 und 0:30 Uhr.
- Die Netzbelastung ist weniger hoch als befürchtet – durch das unterschiedliche Ladeverhalten der Kunden und eine Ladequote von maximal 50 Prozent.

### Lademanagement

- Die Kunden nehmen sich dreimal mehr Zeit zum Laden, als der Ladevorgang tatsächlich benötigt. Das gibt Raum für intelligentes Lademanagement, ohne dass die Kunden etwas von den Prozessen im Hintergrund bemerken. Engpässe im Netz können erfolgreich vermieden werden.

### Batteriespeicher

- Batteriespeicher erhöhen die Aufnahmekapazität von gleichzeitig ladenden Fahrzeugen im Stromnetz.
- Bereits kleine Batteriespeicher haben einen positiven Effekt.

# DAS LADEVERHALTEN IM ÜBERBLICK

Um die künftige Belastung der Stromnetze durch Elektromobilität abschätzen zu können, ist es von großer Bedeutung, das Ladeverhalten der Kunden zu kennen. Ob es zu Engpässen im Netz kommen kann, ist von verschiedenen Faktoren abhängig – zum Beispiel davon, wann und wie oft der Nutzer sein Auto lädt und ob der Ladevorgang mit weiteren Lasten im Netz zusammenfällt. Je mehr der Netzbetreiber über das typische Ladeverhalten seiner Kunden weiß, desto besser kann er künftige Lastspitzen in seinem Netz abschätzen und dieses vorausschauend auslegen. Die Projekthaushalte in der E-MOBILITY-ALLEE nutzen ihre Elektrofahrzeuge zu unterschiedlichen Zeiten und Zwecken. Entsprechend heterogen sind auch die Ladegewohnheiten.



Wann ein Kunde lädt, hängt von seinem individuellen Tagesrhythmus ab. Häufig wird allerdings am frühen Abend geladen.

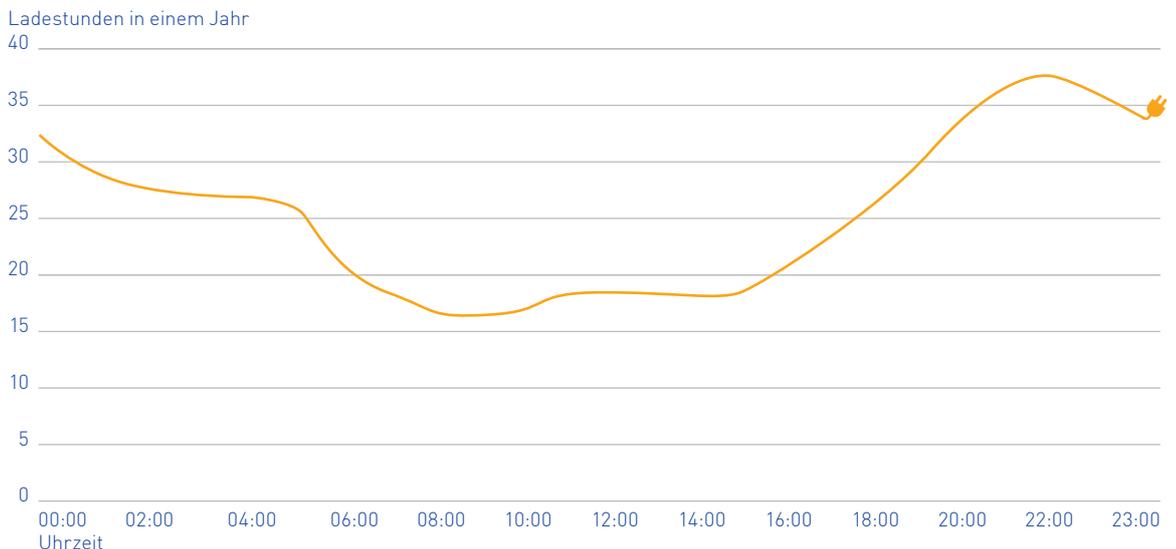
## Ein typischer Ladetag

Nach Beginn des Ladevorgangs bleiben die Fahrzeuge der E-MOBILITY-ALLEE im Schnitt 7,5 Stunden an die private Ladestation angeschlossen. Allerdings benötigt der reine Ladevorgang im Schnitt nur knapp 2,5 Stunden. Aus dieser Diskrepanz zwischen Ansteckzeit und echter Ladezeit lässt sich ableiten, wie viel Potenzial ein intelligentes Lademanagement bei drohenden Netzengpässen hat.

Grafik 1 veranschaulicht die Häufigkeit der Ladevorgänge im Verhältnis zur Uhrzeit (gemittelt über alle Teilnehmer und ein Jahr). Die meisten Ladevorgänge starten am späten Nachmittag. Daraus ergibt sich eine Zunahme der Ladevorgänge im Zeitraum von ca. 16:00 bis ca. 22:00 Uhr. Ab 22:00 Uhr sinkt die Ladekurve bis in den frühen Morgen. Am seltensten werden die Fahrzeuge zwischen 8:00 und 9:00 Uhr morgens geladen. Um diese Zeit starten vielmehr zahlreiche Fahrten.

### GRAFIK 1: WANN LÄDT EIN FAHRZEUG?

Der Verlauf stellt die Summe an Stunden dar, in denen Fahrzeuge der E-MOBILITY-ALLEE zu einer bestimmten Uhrzeit geladen werden; Messzeitraum: 1 Jahr.



## INTERVIEW

### „Das Reallabor hat uns in unserer Arbeit bestätigt“

Im Gespräch erläutert der Leiter des Projekts E-MOBILITY-ALLEE, Christian Bott, wie die Netze BW die Erfahrungen und Ergebnisse bewertet und welche Überraschungen es im Projektverlauf gab.

Was sind für Sie und das Projektteam die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Reallabor?

**Bott:** Insgesamt ziehen wir viele positive Lehren aus dem Projekt. Wir wissen nun, dass vor allem in den Abendstunden geladen wird. Das hatten wir zwar vorab bereits vermutet, der gelebte Alltag der teilnehmenden Haushalte brachte uns hier nun die Bestätigung. Ganz wichtig ist zudem die Erkenntnis, dass die Netzbelastung weniger hoch ist als befürchtet. Relativ wenige Kunden laden wirklich gleichzeitig – und falls doch, haben sich der Einsatz von Batteriespeichern und unser intelligentes Lademanagement in der Praxis bewährt. Denn egal, ob ein Ladevorgang in der Nacht 2 oder 5 Stunden dauerte – alle Kunden fanden am Morgen immer ein geladenes Auto vor.

Gab es im Projekt weitere überraschende Momente?

**Bott:** Die gab es! So stellten wir beispielsweise eine echte Verhaltensänderung bei den Teilnehmern fest. Viele von ihnen kamen durch das Projekt zum ersten Mal überhaupt mit Elektrofahrzeugen in Berührung. Anfangs waren sie eher skeptisch, was die Ladeleistung betrifft. Sie haben ihr Auto also deutlich früher geladen. Je länger sie jedoch die Elektroautos nutzten, desto größer wurde auch das Vertrauen in deren Reichweite: Die Anzahl der Ladevorgänge ging zurück. Überrascht hat uns zudem die große mediale Aufmerksamkeit, die das Projekt auslöste. Das zeigt, dass Elektromobilität ein großes Thema ist.

Christian Bott,  
Leiter des Projekts E-MOBILITY-ALLEE



Sie sprechen die teilnehmenden Haushalte an. Wie wichtig war Ihnen der persönliche Kontakt?

**Bott:** Ein regelmäßiger Austausch war uns die ganze Zeit über wichtig – schließlich sollen die individuellen Alltagserfahrungen der Teilnehmer in unsere weiteren Überlegungen einfließen. Wir haben die Kunden stets auf dem Laufenden gehalten und sie beispielsweise informiert, wenn eine neue Testphase startete. Im Anschluss daran wurden sie zu ihren Erfahrungen befragt.

Das Projekt E-MOBILITY-ALLEE ist abgeschlossen. Wie geht es weiter?

**Bott:** Es ist nun unsere Aufgabe, die technischen Schlüsse aus den Ergebnissen und Erfahrungen zu ziehen und in unserer künftigen Arbeit zu berücksichtigen. Es sind sicherlich technische Weiterentwicklungen notwendig. Aber das Reallabor hat grundsätzlich bestätigt, dass wir auf dem richtigen Weg sind. In weiteren Schritten wollen wir ähnliche Projekte speziell auf dem Land und für Mehrfamilienhäuser starten – denn auch diese Zielgruppen wollen künftig verstärkt mit hohem Komfort Elektroautos fahren.

## Die Ladepräferenzen der Kunden

An welchem Wochentag laden die Testhaushalte besonders oft? Hier kann im Laufe des Projektzeitraums kein eindeutiger Tag ermittelt werden. Erkennbar ist jedoch, dass jeder Haushalt nach und nach, bewusst oder unbewusst, einen gewissen Laderhythmus für sich findet. In Summe gleichen sich die unterschiedlichen Präferenzen aus, sodass man nicht generell sagen kann, ob Benutzer eines Elektrofahrzeugs bevorzugt unter der Woche oder am Wochenende laden.



## Auswirkungen auf das elektrische Haushaltslastprofil

Elektromobilität verändert das elektrische Haushaltslastprofil der teilnehmenden Haushalte erheblich. So stellt der Ladevorgang eines Elektrofahrzeugs eine deutliche Spitze im Tagesverlauf der elektrischen Haushaltslast dar. Im ausgewählten Beispielhaushalt (vgl. Grafik 3 rechts) liegt die Bezugsleistung über den Tag verteilt unterhalb von 3,3 kW. Wird das Elektrofahrzeug mit seiner Ladeleistung von 11 kW geladen, steigt die Spitze um das Dreifache an.

Auch die Jahreszeiten beeinflussen den Lastgang. Ganz allgemein gilt: Im Winter nutzt man das Auto gern für Strecken, die man im Sommer eventuell zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegt. Dazu kommt ein erhöhter Energiebedarf für das Heizen des Fahrzeugs. Im Sommer dagegen sind die Tage länger, sodass die Ladevorgänge in einem größeren Zeitfenster gestartet werden und sich besser verteilen – wodurch die durchschnittliche Belastung sinkt. Die unten stehende Tabelle vergleicht die Anzahl der Ladevorgänge, die geladene Energiemenge und die Veränderung der Last aufgrund der Jahreszeit.

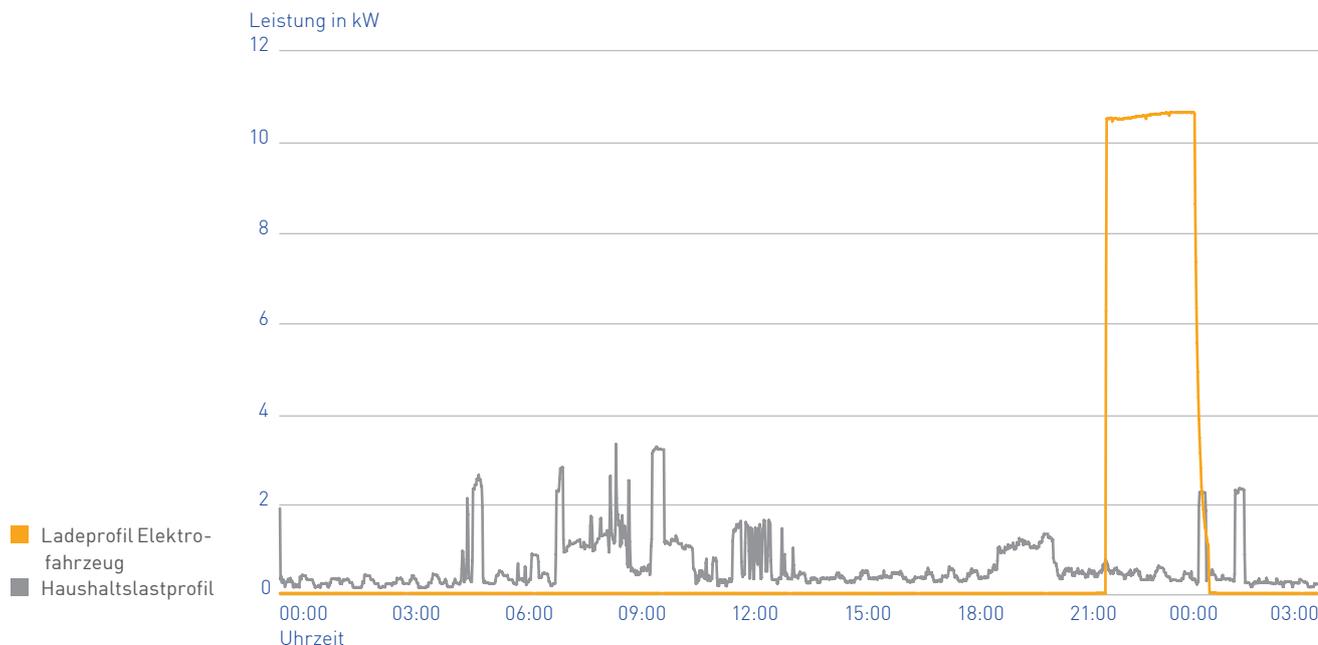
➤ GRAFIK 2: LADEINTENSITÄT IN ABHÄNGIGKEIT VON DER JAHRESZEIT

	Sommer	Winter
Durchschnittliche Anzahl Ladevorgänge pro Monat	10	13
Geladene Energiemenge pro Monat (Durchschnitt)	240 kWh	250 kWh
Belastung je Ladestation (Durchschnitt)*	-7 %	+11 %

\* In Bezug auf die mittlere jährliche Belastung je Ladestation.

### GRAFIK 3: HAUSHALTSLAST UND LADEVORGANG EINES ELEKTROFAHRZEUGS IM VERGLEICH (BEISPIELTAG)

Elektromobilität verändert das elektrische Haushaltslastprofil. Die Grafik verdeutlicht beispielhaft den Lastgang eines Kunden an einem Tag mit und ohne Laden eines Elektrofahrzeugs.



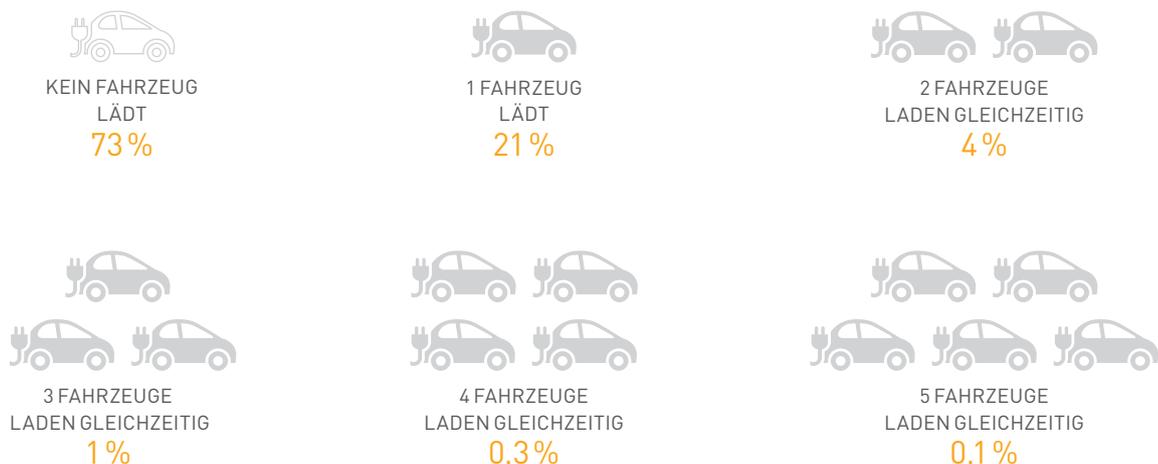
### Autos laden kaum gleichzeitig

Vergleicht man die Zeit pro Tag, zu der Autos in der E-MOBILITY-ALLEE geladen bzw. nicht geladen werden, so zeigt sich eines deutlich: Während der längsten Zeit des Tages (73 Prozent) finden keine aktiven Ladevorgänge statt. Der Anteil der Zeit, zu der lediglich eines der zehn Autos geladen wird, liegt bei rund 21 Prozent.

Dass mehrere Fahrzeuge parallel geladen werden, kommt nur selten vor. Während des gesamten Projektzeitraums werden nie mehr als fünf Fahrzeuge gleichzeitig geladen.

### GRAFIK 4: WIE HÄUFIG WERDEN FAHRZEUGE (GLEICHZEITIG) GELADEN?

Gemessene Gleichzeitigkeit von Ladevorgängen in der E-MOBILITY-ALLEE



## Wie Fahrzeuge laden

In der E-MOBILITY-ALLEE kommen insgesamt vier Elektrofahrzeugtypen zum Einsatz. Ihre jeweilige Ladecharakteristik hängt von der Ladeweise und den technischen Kennwerten ab. Unterschieden wird unter anderem zwischen der Ladeleistung, der Batteriekapazität und der Anzahl der verwendeten Stromphasen. Die Aufzeichnung des Ladevorgangs (Grafik 5) beginnt bei jedem Fahrzeug mit einem Ladestatus von 60 Prozent und endet bei 100 Prozent.

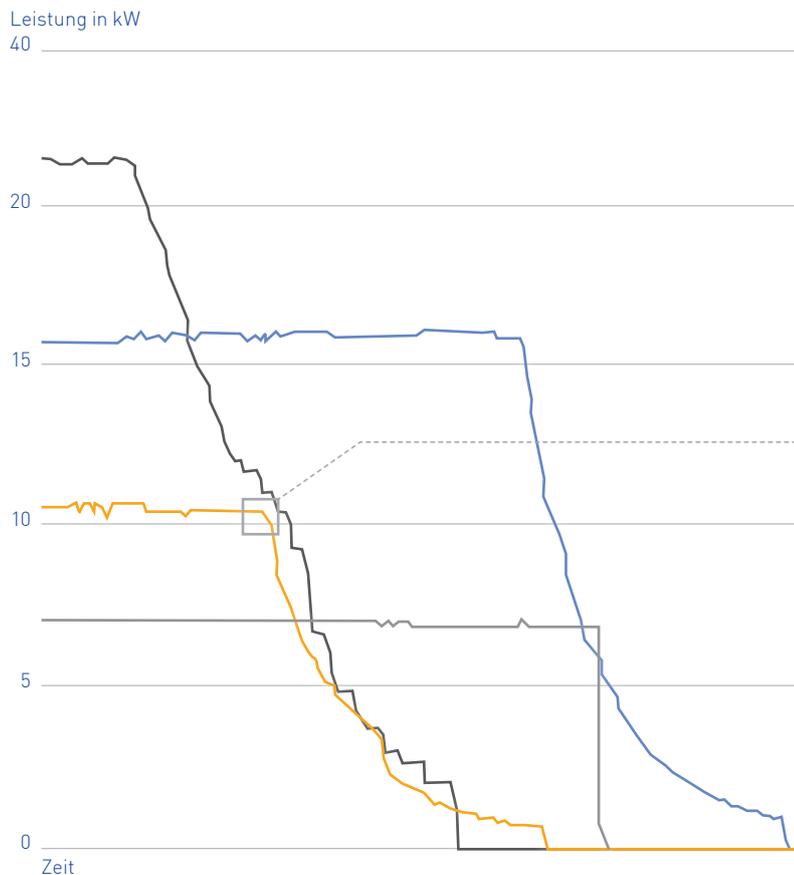
Einige Beispiele: Ein Renault ZOE nutzt zum Laden mit 22 kW alle drei Phasen des Drehstromanschlusses. Ab einem Ladestand von rund 75 Prozent werden sämtliche Phasen gleichmäßig gedrosselt. Bis 100 Prozent Kapazität erreicht sind, wird mit reduzierter Leistung weitergeladen. Ein BMW i3 nutzt ebenfalls alle drei Stromphasen. Und auch bei diesem Fahrzeug werden alle drei Phasen gedrosselt, sobald ein fortgeschrittener Ladestatus erreicht ist.

Die vergrößerte Darstellung von Grafik 5 bildet den damit verbundenen Vorgang ab: Zum Zeitpunkt  $t_0$  beginnt die Drosselung der Ladeleistung. Im Unterschied zum Renault ZOE werden allerdings ab dem Zeitpunkt  $t_1$  zwei der drei Phasen abgeschaltet, und der Ladevorgang wird einphasig fortgeführt. Ähnlich verhält es sich beim Tesla Model S. Hier werden die Phasen jedoch einzeln nacheinander abgeschaltet. Ein VW e-Golf nutzt durchgehend zwei Phasen zum Laden mit 7,2 kW.

Die unterschiedliche Nutzung der Phasen kann im Netz zu Unsymmetrien führen, die es auf ein gewisses Maß zu begrenzen gilt (bzw. die einen bestimmten Toleranzbereich nicht überschreiten dürfen). Deshalb ist es wichtig, die Ladecharakteristik der unterschiedlichen Fahrzeugtypen zu kennen.

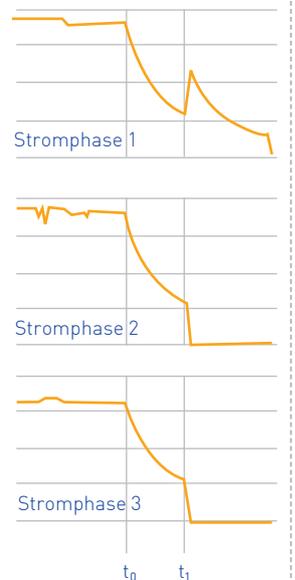
### GRAFIK 5: LADEVORGANG JE ELEKTROFAHRZEUG

Dargestellt wird der Ladevorgang je Elektrofahrzeug ab einem Ladestatus von 60%.



#### AUSZUG DER DREI PHASEN

Exemplarisch bei einem BMW i3



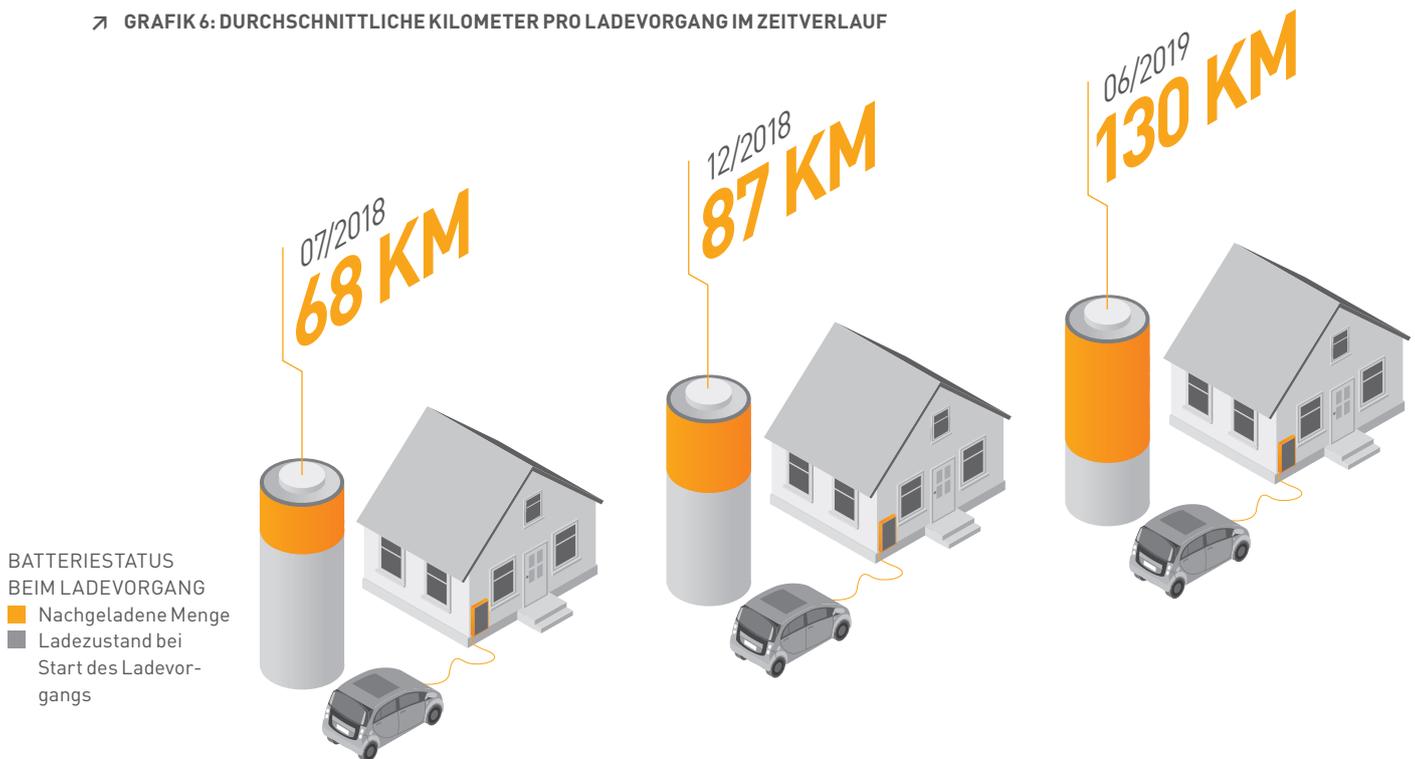
## Das Vertrauen nimmt zu

Durchschnittlich 200 kWh werden pro Monat und Fahrzeug nachgeladen. Mit dieser Energiemenge können die E-Pioniere jeweils rund 1.200 Kilometer weit fahren. Das entspricht einer Tagesstrecke von rund 43 Kilometern, die knapp über dem Bundesdurchschnitt (40 Kilometer) liegt. Die Stromkosten für das Laden belaufen sich im Schnitt auf monatlich rund 60 Euro.

Sind die Kunden zu Beginn vielfach noch skeptisch, was die Reichweite ihrer Fahrzeuge betrifft, nimmt die Sorge, unterwegs liegen zu bleiben, mit der Zeit spürbar ab. Dies zeigt sich unter anderem in einer sinkenden Anzahl von Ladevorgängen pro Woche.

Die nachgeladene Energiemenge pro Ladevorgang steigt bei den meisten Kunden tendenziell an. Grafik 6 zeigt, wie viele Kilometer im Lauf des Untersuchungszeitraums pro Ladevorgang nachgeladen werden. Das Ergebnis: Am Anfang werden nur relativ wenige Kilometer nachgeladen, da das Fahrzeug trotz eines hohen Ladezustands angesteckt wird. Nachdem sich die Reichweitenangst gelegt hat, bringt man sein Fahrzeug erst bei wirklich niedrigem Ladezustand zur hauseigenen Stromtankstelle, um entsprechend mehr Kilometer nachzuladen.

➤ GRAFIK 6: DURCHSCHNITTLICHE KILOMETER PRO LADEVORGANG IM ZEITVERLAUF



### Faktenbox E-Pioniere

- Durchschnittliche Fahrleistung: rund 1.200 Kilometer pro Monat
- Energieverbrauch pro Ladestation: durchschnittlich 200 kWh im Monat pro Elektrofahrzeug
- Stromkosten: durchschnittlich ca. 60 Euro pro Monat
- Durchschnittliche Standzeit an der privaten Ladestation: rund 7,5 Stunden
- Durchschnittliche reale Ladezeit: rund 2,5 Stunden
- Anschlusshäufigkeit: rund dreimal pro Woche
- Häufigste Ladezeit: Start zwischen 19:00 und 20:00 Uhr

## DIE SPANNUNGSQUALITÄT

Jeder ans Stromnetz angeschlossene elektrische Verbraucher verursacht mehr oder weniger starke Rückwirkungen auf die Spannung im Stromnetz. Um auch in Zukunft eine hohe Qualität der Energieversorgung sicherzustellen, ist es wichtig, die Auswirkungen der Elektromobilität auf die Spannung frühzeitig zu untersuchen.

Über den gesamten Testzeitraum in der E-MOBILITY-ALLEE finden am Anfang und am Ende des Stromkabels Messungen statt. Im Rahmen eines ausgewählten Messtages werden zudem alle zehn Elektrofahrzeuge gleichzeitig geladen. Alle Messungen und Tests werden durch die TU Dresden wissenschaftlich begleitet.

Die Spannungsqualität im vorhandenen Niederspannungsnetz ist sowohl mit als auch ohne Elektromobilität sehr gut. Alle gemessenen Merkmale bleiben innerhalb der normativen Vorgaben. Dennoch zeigt sich, dass Ladevorgänge einen sichtbaren Einfluss auf die Spannungsqualität haben. Auch ein Effekt auf die Phasen-Unsymmetrie ist erkennbar.

Grafik 7 (rechte Seite) zeigt den am Messtag ermittelten Strombezug in der E-MOBILITY-ALLEE. Grafik 8 zeigt die Spannungsdifferenz, die zwischen Leitungsanfang und Leitungsende auftritt, wenn alle 10 Elektrofahrzeuge gleichzeitig an die privaten Ladestationen angeschlossen werden. Der Spannungsfall über das Stromkabel steigt bei zehn Fahrzeugen auf annähernd 4 Prozent, was jedoch innerhalb der normativen Grenzen liegt. Die thermische Belastungsgrenze des Stromkabels wird nicht erreicht. Zu beachten ist: Bei der E-MOBILITY-ALLEE handelt es sich um eine vorstädtische Netzstruktur. In weitläufigeren ländlichen Stromnetzen kann Elektromobilität einen größeren Einfluss auf die Spannungsqualität haben.

### Faktenbox Spannungsqualität

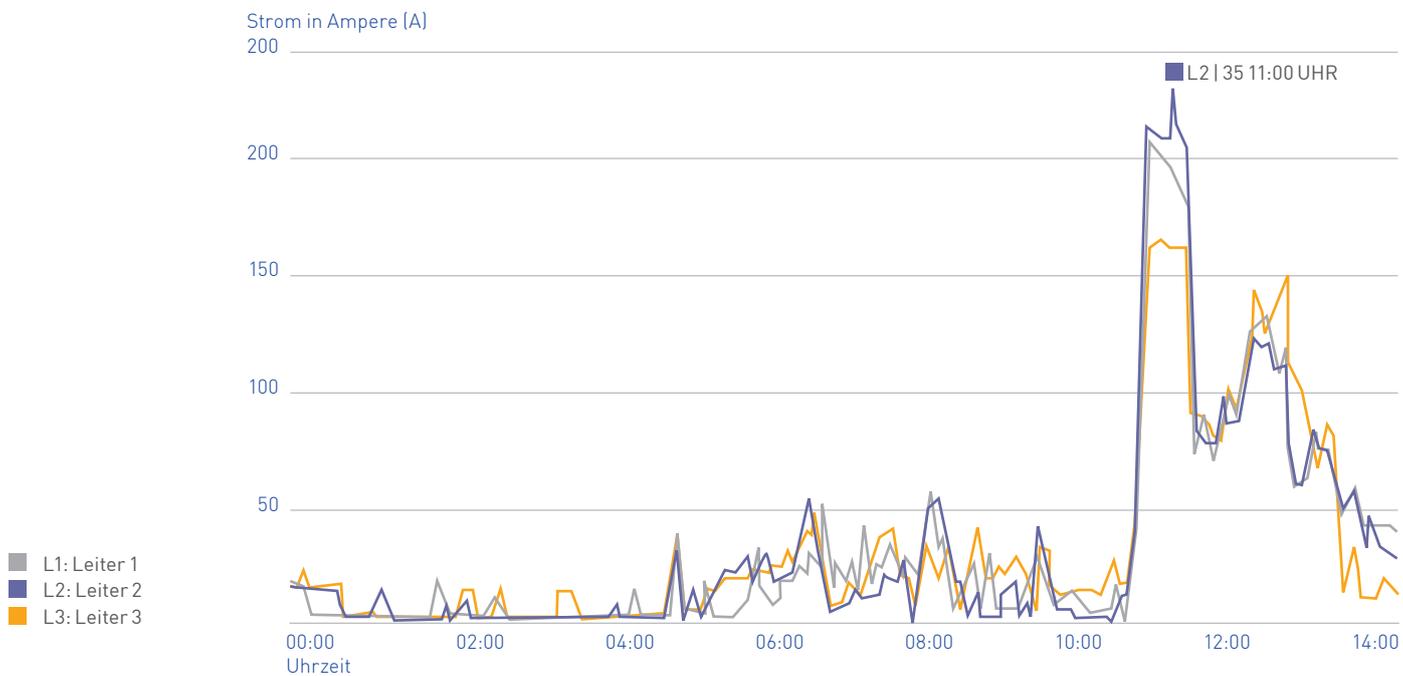
- Alle Anforderungen an die Spannungsqualität werden auch mit ladenden Elektrofahrzeugen eingehalten.
- In der E-MOBILITY-ALLEE stellt die thermische Belastung des Stromkabels den vorrangigen Engpass dar.
- Bei einer Zunahme von ein- oder zweiphasig ladenden Fahrzeugen können unzulässige Unsymmetrien entstehen.
- In weitläufigen ländlichen Stromnetzen kann Elektromobilität einen größeren Einfluss auf die Spannungsqualität haben.

Am Messtag wird „schweres Geschütz“ aufgeföhren, um den Einfluss der Elektromobilität auf die Spannungsqualität näher zu untersuchen – die TU Dresden begleitet die Versuche.



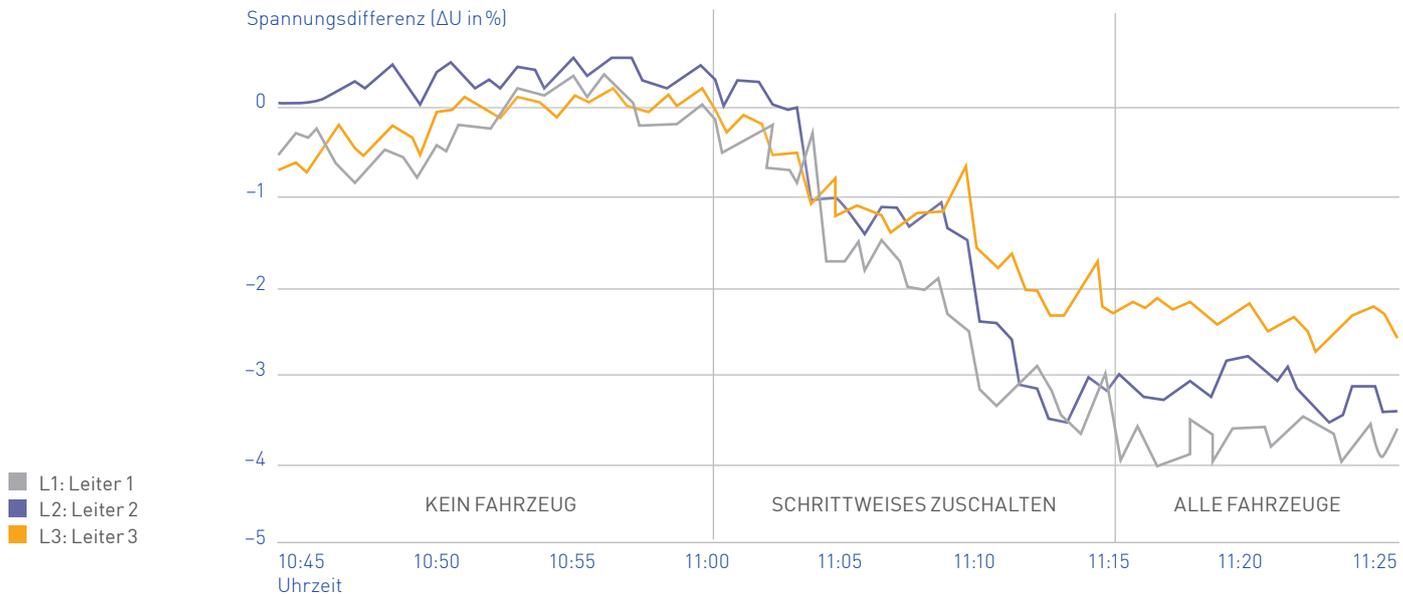
**GRAFIK 7: BELASTUNGSTEST STROMKABEL E-MOBILITY-ALLEE**

Gemessener Strom am Messtag, an dem alle 10 Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden



**GRAFIK 8: BELASTUNGSTEST STROMKABEL E-MOBILITY-ALLEE**

Gemessene Spannung am Messtag, an dem alle 10 Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden



# LADEMANAGEMENT ALS ERFOLGSGARANT

Mission erfüllt: Lademanagement verhindert Engpässe im Stromnetz. Alle getesteten Konzepte haben den gewünschten positiven Effekt. Einzig das spannungsgeführte Lademanagement zeigt Schwächen. So erweist sich Lademanagement als Schlüssel zur Netzintegration von Elektromobilität. Es verhindert Netzüberlastungen und sorgt dafür, dass die bestehende Netzinfrastruktur optimal genutzt wird.

Zahlreiche unterschiedliche Konzepte und Tests werden über Monate in der E-MOBILITY-ALLEE umgesetzt und wissenschaftlich von der RWTH Aachen begleitet. Ziel ist es, trotz des Eingriffs in die Ladeleistung die Mobilität der Kunden nicht einzuschränken. Dafür wird allen E-Pionieren jederzeit eine unbedingte dreiphasige Ladeleistung von 5,5 kW zugesichert. Zudem erhalten die Testkunden für den Notfall die Möglichkeit, jederzeit ihre maximale Ladeleistung anzufordern.

## Freies Laden

Während der Testphase „Freies Laden“ werden die Testkunden in keiner Weise eingeschränkt. Daraus resultiert eine theoretische maximale Ladeleistung von zehnmal 22 kW, also eine Gesamtleistung von 220 kW. Die Summe aus bisheriger Haushaltslast und Ladeleistung ergibt eine mögliche Netzbelastung von 174 Prozent. Aufgrund des heterogenen Ladeverhaltens kommt es jedoch lediglich zu einer realen Netzbelastung von 56 Prozent, was einem Anstieg von nur 24 Prozent entspricht.

Max. Ladeleistung = 220 kW  
 Worst-Case-Netzbelastung = 174 %  
 Reale Netzbelastung = 56 %  
 Verlängerung Ladedauer = +0 Min.

➤ **TEST „FREIGABEGRUPPE“**  
 Aufteilung in 2 Gruppen zu je 5 Fahrzeugen



## Präventives Lademanagement

Das präventive Lademanagement stellt die einfachste Steuerungsmöglichkeit für Ladestationen dar. Auf Grundlage historischer Mess- und Erfahrungswerte wird die zukünftige Auslastung im Stromnetz abgeschätzt. Darauf aufbauend werden für die Ladestationen Fahrpläne generiert, die einen Netzengpass vermeiden. Die Fahrpläne legen fest, wann an welcher Ladestation mit welcher Leistung geladen werden kann. Ein gleichzeitiges Laden vieler Fahrzeuge mit maximaler Leistung wird auf diese Weise ausgeschlossen.

In der E-MOBILITY-ALLEE werden als Konzepte „Freigabegruppen“ und „Freigabequoten“ getestet. Beim erstgenannten Konzept werden die Ladestationen in zwei Gruppen aufgeteilt. Die maximal zulässige dreiphasige Ladeleistung je Gruppe variiert zyklisch zwischen unbedingter Mindestleistung (5,5 kW) und Maximalleistung (22 kW). Beim Konzept „Freigabequote“ wird die zulässige Ladeleistung je 15 Minuten bestimmt und auf alle Testkunden gleichmäßig verteilt.

Das präventive Lademanagement im Rahmen der E-MOBILITY-ALLEE zeigt eindrucksvoll, wie die Netzinfrastruktur mit minimalem Aufwand optimiert ausgenutzt werden kann – und zwar ohne den Kunden wesentlich zu beeinträchtigen. Mithilfe verbesserter Prognosen ist es möglich, das Konzept noch effektiver zu machen. Die Anzahl unnötiger Abregelungen aufgrund falscher Vorhersagen lässt sich damit reduzieren.

Max. Ladeleistung = 138 kW  
 Worst-Case-Netzbelastung = 126 %  
 Reale Netzbelastung = 31 %  
 Verlängerung Ladedauer = +60 Min.

➤ **TEST „FREIGABEQUOTE“**  
 Alle 10 Fahrzeuge nehmen gleichzeitig teil.

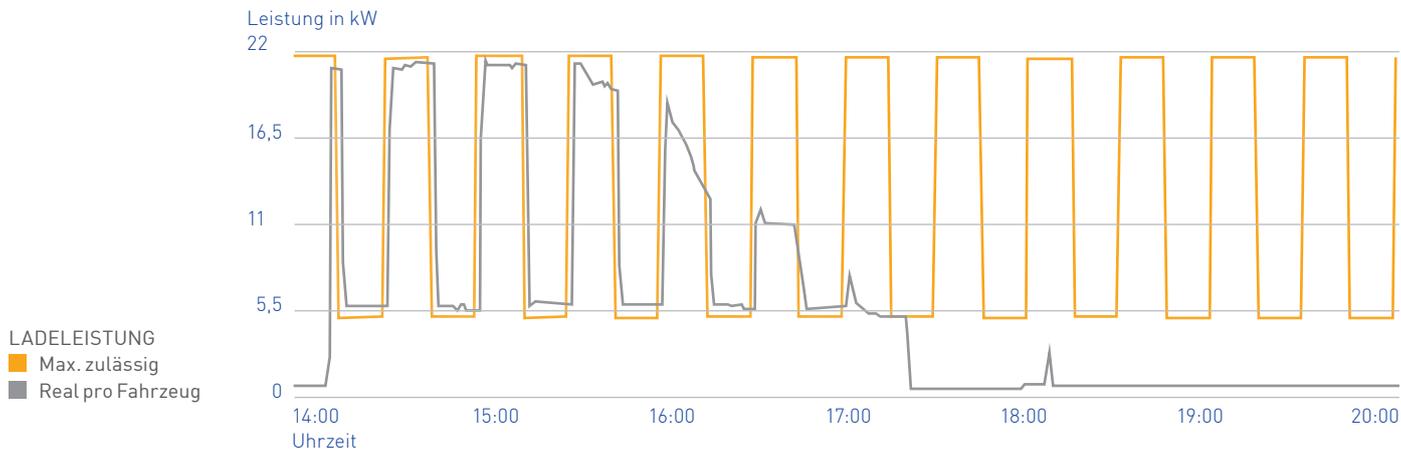


Die Grafiken 9 und 10 zeigen den Ladevorgang zweier Elektrofahrzeuge während der Testphase „Freigabegruppe“. In unserem Beispiel wechselt sich die Vorgabe der Maximal- und Minimalleistung in einem Zyklus von 15 Minuten ab.

So wird die auftretende Netzbelastung durch beide Ladevorgänge um fast 50 Prozent reduziert. Beide Fahrzeuge werden trotzdem in einer für den Testkunden ausreichenden Zeit geladen.

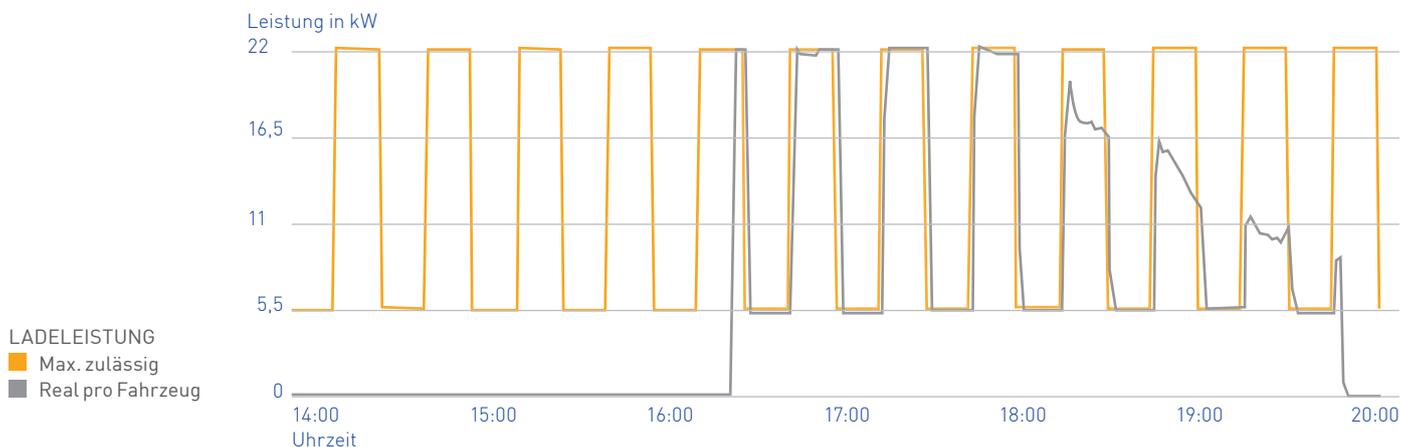
#### ➤ GRAFIK 9: GESTEUERTER LADEVORGANG DURCH FREIGABEGRUPPE 1

Die orangefarbene Linie gibt die maximal zulässige Ladeleistung in der jeweiligen Freigabegruppe vor. Die graue Linie stellt einen real aufgenommenen Ladevorgang eines Fahrzeugs der Freigabegruppe 1 dar.



#### ➤ GRAFIK 10: GESTEUERTER LADEVORGANG DURCH FREIGABEGRUPPE 2

Die orangefarbene Linie gibt die maximal zulässige Ladeleistung in der jeweiligen Freigabegruppe vor. Die graue Linie stellt einen real aufgenommenen Ladevorgang eines Fahrzeugs der Freigabegruppe 2 dar.



## Reaktives Lademanagement

Beim reaktiven Lademanagement wird die Ladeleistung der Elektrofahrzeuge anhand von Echtzeitwerten aus dem Ortsnetz angepasst. Im Gegensatz zum präventiven Lademanagement wird dabei der Ladevorgang nur dann eingeschränkt, wenn ein realer Engpass auftritt. Da im Stromnetz der E-MOBILITY-ALLEE keine Überlastung zu erwarten ist, wird der Engpass durch herabgesetzte Grenzwerte erzeugt. Im Projekt werden sowohl stromgeführtes als auch spannunggeführtes Lademanagement getestet.

## Stromgeführtes Lademanagement

Die hier zur Bewertung herangezogene Größe ist der Strom in der versorgenden Ortsnetzstation. Kommt es zur Überschreitung eines definierten Grenzwerts, wird die Nennleistung aller Ladestationen so lange stufenweise abgeregelt, bis der Grenzwert wieder unterschritten wird.

In der E-MOBILITY-ALLEE variieren die Grenzwerte und Stufen im Projektverlauf. Alle Tests führen zu der gewünschten Engpassbeseitigung, ohne dass die verlängerte Ladedauer von rund 40 Minuten eine Mobilitätseinschränkung für die Kunden mit sich bringt. Bei den Schrittweiten bewährt sich ein Wert von 30 Prozent, da kleinere Schrittweiten eine späte Engpassbeseitigung zur Folge haben.

Hervorzuheben ist, dass stromgeführtes Lademanagement für eine optimale Ausnutzung des Netzes sorgt. Abgeregelt wird erst, wenn ein realer Engpass auftritt. Als nachteilig kann die hohe Komplexität in der Umsetzung angesehen werden. Essenziell sind sowohl eine stabile Kommunikationsverbindung als auch geeignete Netzzustandsdaten.

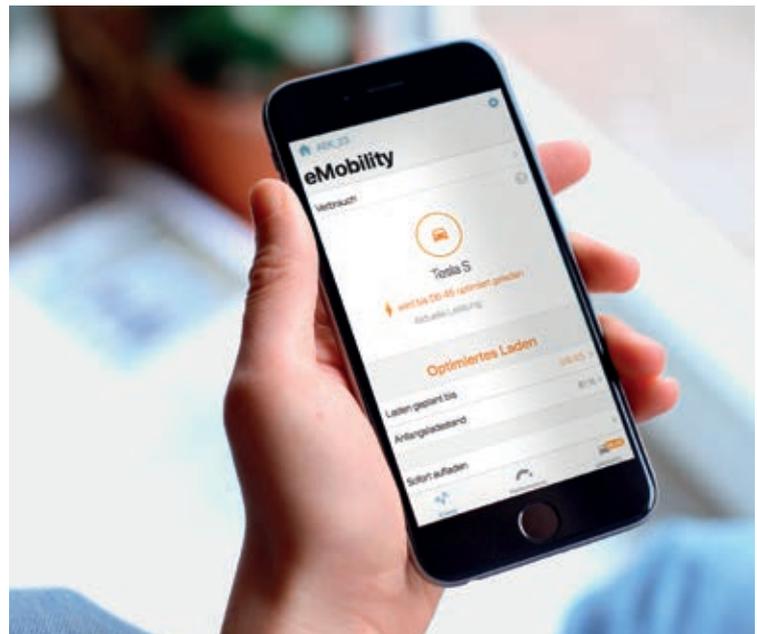
Im Rahmen unseres Praxistests wird das stromgeführte Lademanagement in einem weiteren Schritt kundenorientiert weiterentwickelt. Ziel ist es, den Testhaushalten eine Mindestfahrstrecke von 50 Kilometern ungesteuert bereitzustellen. Zudem soll eine an die Abfahrtszeit angelehnte Priorisierung bei der Abregelung erreicht werden. Um die Umsetzung dieser Ziele zu ermöglichen, müssen die Kunden ihren Ladezustand (SOC) und die gewünschte Abfahrtszeit in eine App eingeben. Im Verlauf des Projekts zeigt sich jedoch, dass der Mehrwert für die E-Fahrzeug-Nutzer eher gering ausfällt. Folglich gibt es auch wenig Motivation, die notwendigen Parameter zu übermitteln – zumal man im Projektverlauf schon sehr gute Erfahrungen mit anderen Lademanagementkonzepten gemacht hat. Sollte es künftig möglich sein, Parameter aus Elektrofahrzeugen automatisiert ins Lademanagement einfließen zu lassen, würde sich dies sicherlich positiv auswirken.

Max. Ladeleistung = 70 kW  
 Worst-Case-Netzbelastung = 73 %  
 Reale Netzbelastung = 36 %  
 Verlängerung Ladedauer = +40 Min.

## Faktenbox Lademanagement

- Intelligentes Lademanagement hat große Potenziale, denn die Projekthaushalte nehmen sich bis zu dreimal mehr Zeit zum Laden, als sie faktisch benötigen. Von eventuellen Eingriffen merken die Kunden nichts – und am Morgen sind ihre Fahrzeuge wieder komplett geladen. Gleichzeitig lassen sich Engpässe im Netz erfolgreich vermeiden.
- Bereits einfache Lademanagementkonzepte – z. B. Freigabegruppen – erzielen positive Effekte.
- Um Lademanagement optimal zu nutzen, sind eine stabile Kommunikationsverbindung und geeignete Netzzustandsdaten bzw. Daten aus den Elektrofahrzeugen notwendig.

➤ ABBILDUNG 11: WICHTIGE INFORMATIONEN VIA APP



Grafik 12 zeigt im oberen Verlauf den gemessenen Strom in der Ortsnetzstation (orangefarbene Linie). Bei Überschreiten des Grenzwerts (blaue Linie) wird die maximal zulässige Ladeleistung der Ladestationen in 10-Prozent-Schritten reduziert, bis der Strom wieder unterhalb des Grenzwerts liegt. Im unteren Teil der Grafik sind die entsprechenden Vorgaben der Ladeleistung (blaue Linie) dargestellt. Diese müssen von den Ladestationen (graue Linien) mit einer Reaktionszeit von maximal 5 Minuten umgesetzt werden.

Kurz nach dem Start des ersten Ladevorgangs (hellgraue Linie) reagiert das Lademanagement mit einer reduzierten zulässigen Ladeleistung (blaue Linie), die durch den zweiten Ladevorgang (dunkelgraue Linie) noch weiter verringert wird. Das stromgeführte Lademanagement kann als durchweg positiv bewertet werden.

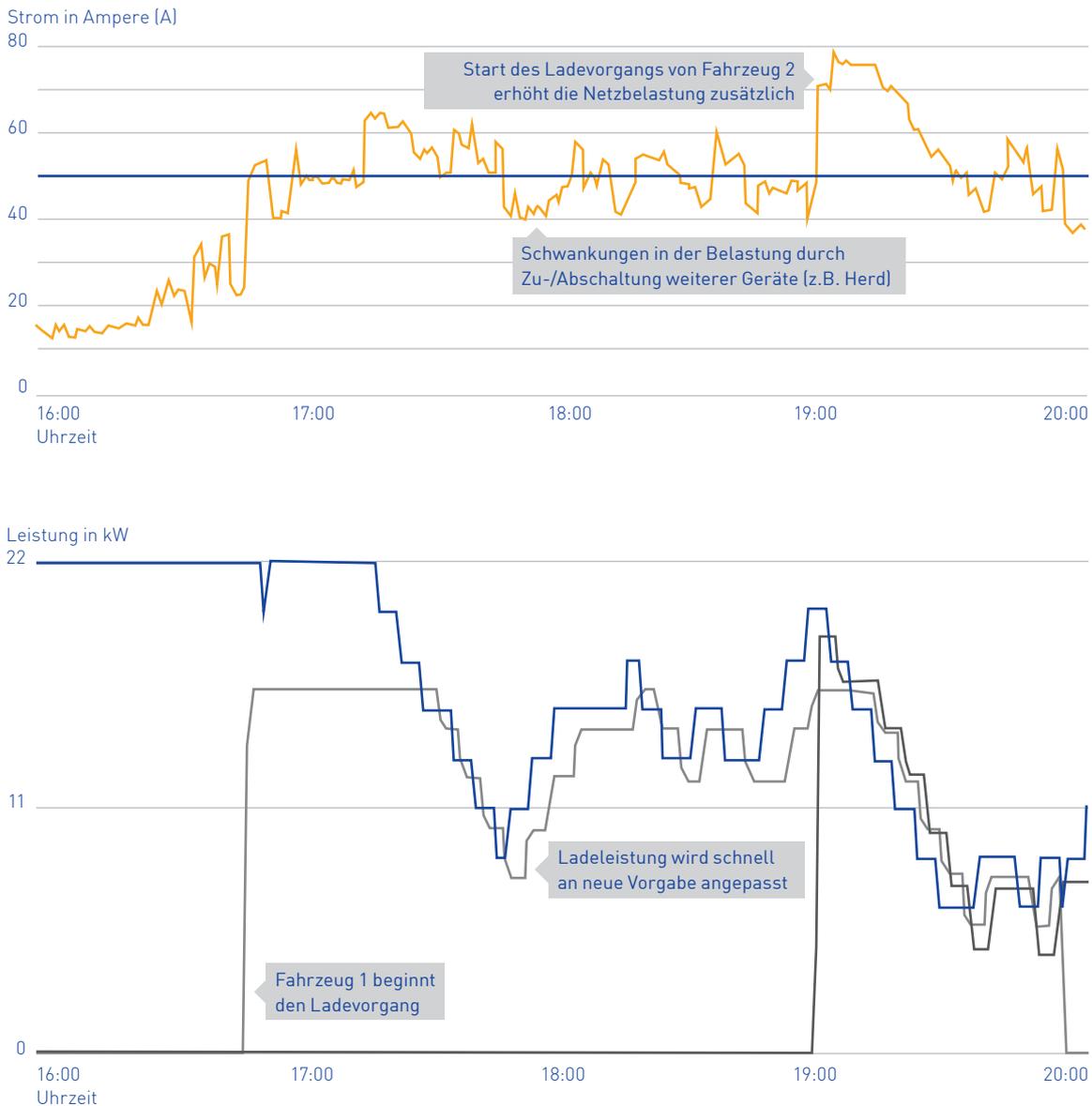
**GRAFIK 12: STROMGEFÜHRTES LADEMANAGEMENT**

Strommessung in der Ortsnetzstation

Grenzwert im Netz für mehrere Minuten überschritten

Lademanagement reagiert mit reduzierter Leistungsvorgabe, um die Belastung zu senken

- Strom im Ortsnetz
- Grenzwert/ Freigegebene Ladeleistung
- Ladevorgang Fahrzeug 1
- Ladevorgang Fahrzeug 2



## Das spannungsgeführte Lademanagement

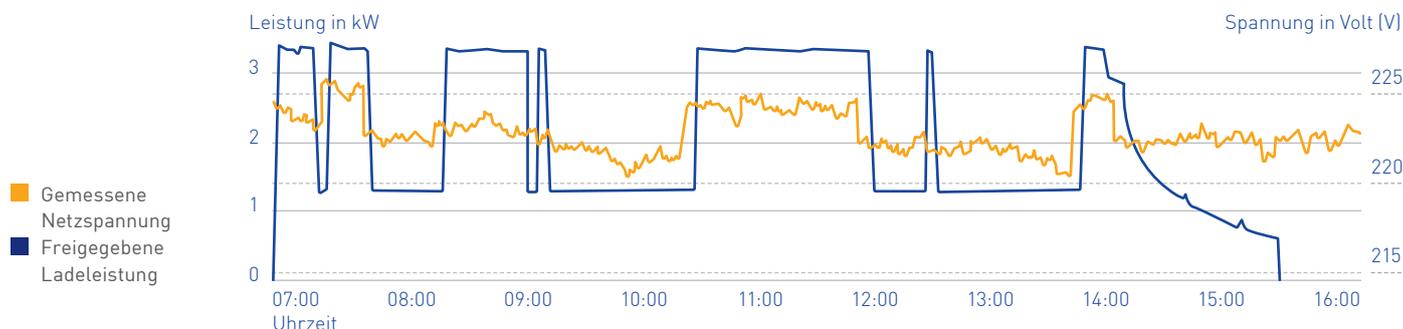
Beim spannungsgeführten Lademanagement passen alle Ladestationen ihre Ladeleistung selbstständig und automatisch der jeweiligen Netzsituation an, um das Stromnetz zu entlasten. Dafür überwachen sie die lokal anliegende Spannung des Stromnetzes. Sinkt die Spannung, kommt es zu einer höheren Netzauslastung. Zugleich reduzieren die Ladestationen ihre Leistung. Steigt die Spannung wieder, erhöht sich auch die Ladeleistung. Zusätzlich lernt jede Ladestation mittels künstlicher Intelligenz, welchen Bedarf die Elektrofahrzeuge typischerweise haben. So kann der Ladevorgang kundenfreundlich optimiert werden.

Allerdings zeigen sich in der E-MOBILITY-ALLEE auch Nachteile dieses Konzepts. So lässt sich aus der Netzspannung nur bedingt auf die Auslastung des Stromnetzes schließen. Daher kann eine Überlastung beim spannungsgeführten Lademanagement nicht ausgeschlossen werden. Durch die fehlende Abstimmung der Ladestationen untereinander werden die von der Ortsnetzstation weit entfernten Stationen häufiger in ihrer Leistung begrenzt.

Max. Ladeleistung = 220 kW  
 Worst-Case-Netzbelastung = 174 %  
 Reale Netzbelastung = 37 %

### ➤ GRAFIK 13: SPANNUNGSGEFÜHRTES LADEMANAGEMENT

In Abhängigkeit von der gemessenen Netzspannung (orangefarbene Linie) wird die freigegebene Ladeleistung (blaue Linie) an den Ladestationen bestimmt.



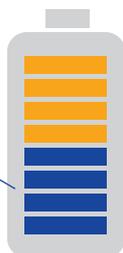
## BATTERIESPEICHER IN DER PRAXIS

Wie viele neue Ladestationen – insbesondere in Haushalten – künftig angeschlossen werden, ist nur schwer prognostizierbar. Als Möglichkeit zur zeitlichen Überbrückung bei einem notwendigen Ausbau des Netzes bietet sich der temporäre Einsatz von Batteriespeichern an. In der E-MOBILITY-ALLEE werden sowohl kleine dezentrale Batteriespeicher als auch eine große zentrale Lösung erprobt. Die Untersuchungen werden vom KIT wissenschaftlich begleitet.

### FAKTENBOX BATTERIESPEICHER

- Batteriespeicher können temporär Netzengpässe kompensieren.
- Ein kleiner dezentraler Batteriespeicher beim Kunden kann in der Regel schneller installiert werden als eine große zentrale Lösung im Netz.
- Ein großer zentraler Batteriespeicher im Netz ist in der Lage, auch das Laden mehrerer Elektrofahrzeuge zu kompensieren.
- Bei der Betriebsweise muss beachtet werden, dass sich das Nachladen des Batteriespeichers nicht negativ auf das Netz auswirkt.
- Durch den notwendigen Platzbedarf ist es nicht überall möglich, einen Batteriespeicher zu verwenden.

Ein dezentraler Batteriespeicher (19 kWh) kann die Spitzenbelastung durch einzelne Ladevorgänge deutlich reduzieren. Im Projekt werden aus dem Speicher nie mehr als 10 kWh bezogen. Er hätte also um rund 50 Prozent kleiner dimensioniert werden können.



## Der dezentrale Batteriespeicher

Ein dezentraler Batteriespeicher wird zusammen mit der Ladestation direkt in die kundeneigene Elektroinstallation integriert. Durch den verbauten Stromsensor ist er in der Lage, Ladevorgänge vor Ort zu erkennen und zu übernehmen. Konsequenz: Das öffentliche Stromnetz wird während des Ladevorgangs nicht belastet. Aufgrund seines dreiphasigen Anschlusses kann der Speicher auch ein- oder zweiphasige Ladevorgänge erkennen und kompensieren. Für das Nachladen wird im Batteriespeicher eine feste Freigabezeit hinterlegt, zu der er mit einer vorgegebenen Leistung von 6 kW selbst Strom tanken darf – ohne Probleme im öffentlichen Netz zu verursachen.

In der E-MOBILITY-ALLEE findet dieser Vorgang überwiegend am Nachmittag zwischen 13:00 und 16:00 Uhr statt, da das Netz zu dieser Zeit nur gering belastet ist.

### Vorteile dezentraler Batteriespeicher

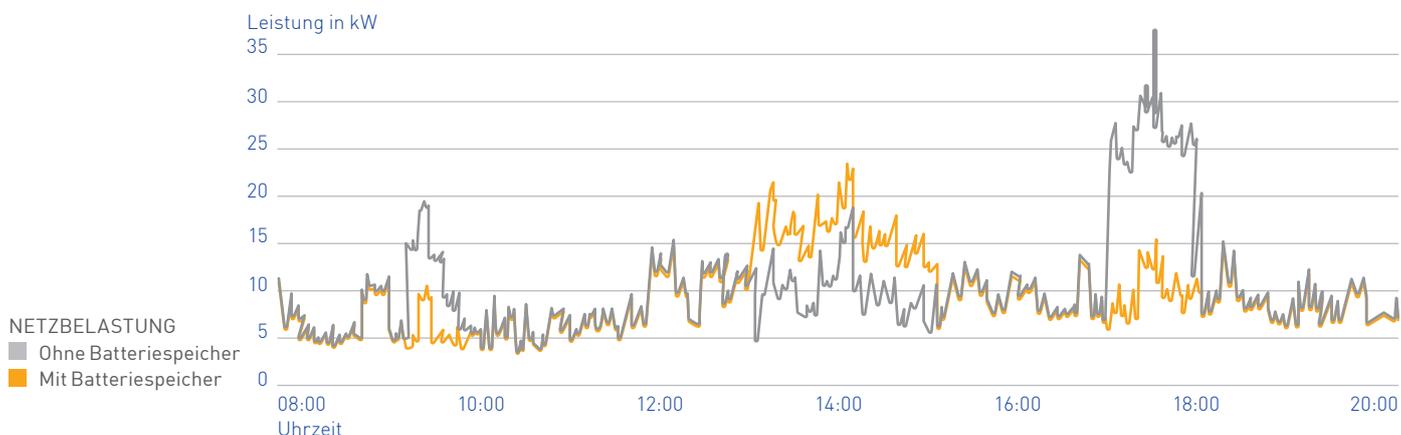
- Schnelle Installation, wenn Platz beim Kunden vorhanden ist
- Technisch einfach realisierbare Überbrückungslösung direkt beim Kunden

### Nachteile dezentraler Batteriespeicher

- Der Batteriespeicher kompensiert lediglich das Laden eines einzelnen Elektrofahrzeugs – dadurch ist ein wirtschaftlicher Einsatz nicht immer gewährleistet.

### ➤ GRAFIK 14: LEISTUNG DES BATTERIESPEICHERS INNERHALB EINES TAGES

In den Abendstunden, während das Auto lädt, ist die Netzbelastung mit Batteriespeicher deutlich geringer. Dafür geht sie in den Nachmittagsstunden, während der Batteriespeicher selbst langsam nachlädt, etwas nach oben.



## Der zentrale Batteriespeicher

Ein zentraler Batteriespeicher, der direkt an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen ist, bietet den Vorteil, dass er gleich mehrere ladende Elektrofahrzeuge kompensieren kann. In der E-MOBILITY-ALLEE werden drei Steuerungsvarianten erprobt.

### Zentraler Batteriespeicher – fahrplanbasierter Betrieb

Der Batteriespeicher wird anhand eines zuvor erstellten Fahrplans betrieben. Hierfür analysiert das Projektteam über mehrere Wochen die Belastung des Stromnetzes. Daraufhin legt man Zeiten für ein sinnvolles Be- bzw. Entladen des Speichers fest. Ein solcher Fahrplan setzt voraus, dass das Verbraucherverhalten der Kunden immer relativ gleich bleibt. Da dies nicht immer gewährleistet ist, lassen sich Lastspitzen nicht vollständig vermeiden – ein Nachteil des fahrplanbasierten Batteriespeicherbetriebs.

### Zentraler Batteriespeicher – spannungsgeführter Betrieb

Bei diesem Konzept passt der Batteriespeicher seine Be- und Entladeleistung selbstständig und automatisch der jeweiligen Netzsituation an und entlastet so das Stromnetz. Dafür überwacht er die lokal anliegende Spannung an seinem Anschlusspunkt. Sinkt die Spannung, kommt es zu einer höheren Auslastung des Stromnetzes. Durch die Entladung kann der Batteriespeicher dies ausgleichen. In der E-MOBILITY-ALLEE tritt auch beim Laden von mehreren Elektrofahrzeugen keine nennenswerte Spannungsänderung ein. Deswegen finden auch keine Be- und Entladevorgänge des Batteriespeichers statt. Anders könnte es im ländlichen Stromnetz mit längeren Kabelwegen aussehen, da hier mit einem größeren Spannungsabfall zu rechnen ist.

### Zentraler Batteriespeicher – stromgeführter Betrieb

Die hier zur Bewertung herangezogene Größe ist der Strom in der versorgenden Ortsnetzstation. Wird ein definierter Grenzwert überschritten, findet eine Entladung des Batteriespeichers statt – und zwar so lange, bis der Grenzwert wieder unterschritten ist. Zur Beladung des Speichers nutzt man Zeiten schwacher Netzbelastung unterhalb der festgelegten Grenze. Alle Tests in der E-MOBILITY-ALLEE führen zur gewünschten Engpassbeseitigung.

- Ein Speicher kann mögliche unsymmetrische Belastungen im Stromnetz verringern oder beseitigen.
- Der Batteriespeicher reagiert allgemein auf Netzengpässe, egal, ob diese von Elektrofahrzeugen oder von anderen leistungsstarken Verbrauchern hervorgerufen werden.

### Vorteile zentraler Batteriespeicher

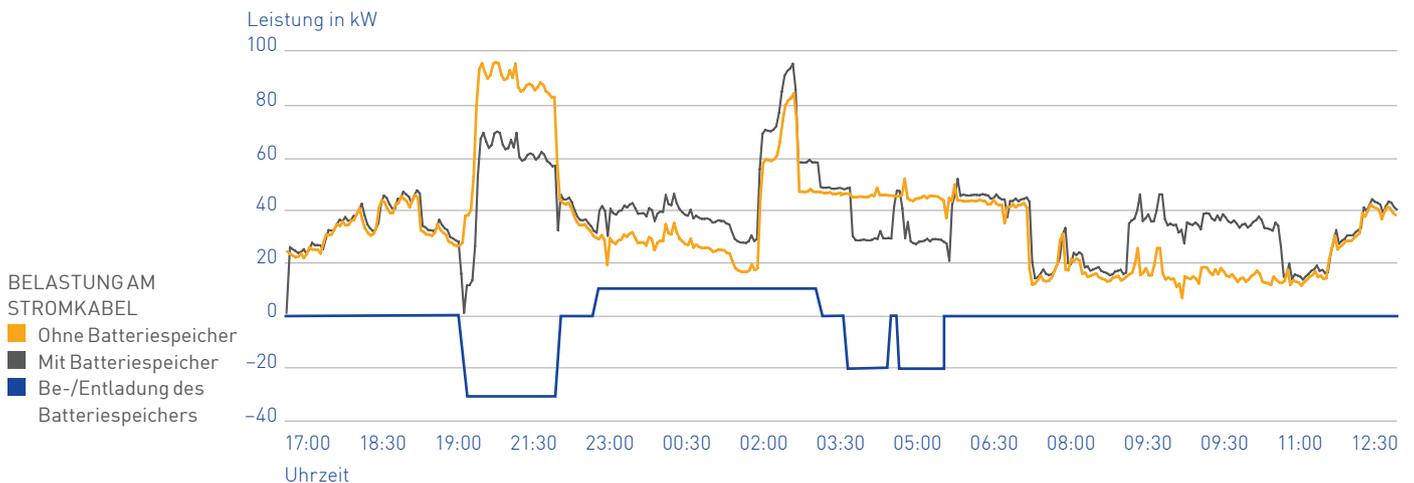
- Der Batteriespeicher kann auch das Laden mehrerer Elektrofahrzeuge kompensieren.

### Nachteile zentraler Batteriespeicher

- Es muss ein Aufstellungsort gefunden und genehmigt werden.
- Bei der Installation sind Tiefbauarbeiten erforderlich – dies ist meist mit großem Zeitaufwand verbunden.

### ➤ GRAFIK 15: ZENTRALER BATTERIESPEICHER – FAHRPLANBASIERTER BETRIEB

Das Diagramm zeigt, wie die Belastung des Stromkabels der E-MOBILITY-ALLEE ohne (orangefarbene Linie) und mit Batteriespeicher (schwarze Linie) verläuft. Die Belastung des Stromkabels kann mit dem Speicher durch entsprechende Be- und Entladung (blaue Linie) geglättet werden.



### ➤ GRAFIK 16: ZENTRALER BATTERIESPEICHER – STROMGEFÜHRTER BETRIEB

Das Diagramm zeigt, wie die Belastung des Stromkabels der E-MOBILITY-ALLEE ohne (orangefarbene Linie) und mit Batteriespeicher (schwarze Linie) entsprechend dem Grenzwert verläuft.



# STRATEGIEDIALOG AUTOMOBILWIRTSCHAFT BW

## Das Land fit machen für die Mobilität der Zukunft

Die Mobilität der Zukunft wird sich deutlich von der unterscheiden, die wir heute kennen. Neue Technologien, Services und Produkte werden eingeführt, die Elektrifizierung nimmt immer weiter zu. Dies erfordert ein Stromnetz, das auf alle Anforderungen vorbereitet ist. Deshalb ist die Mobilität der Zukunft auch und gerade ein Thema für die Netze BW – den größten Netzbetreiber in Baden-Württemberg.

Damit das Land auch weiterhin global führender Automobil- und Mobilitätsstandort bleibt, ist ein großer Transformationsprozess notwendig. Akteure aus unterschiedlichen gesellschaftlichen Bereichen sind gefordert, sich mehr und mehr zu vernetzen und gemeinsam ihre innovativen Potenziale zu nutzen.

Das Land hat deshalb 2017 den Strategiedialog Automobilwirtschaft Baden-Württemberg ins Leben gerufen. Im Rahmen dieser Initiative sollen sich Vertreter aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Arbeitnehmerverbänden, Verbraucherorganisationen, Umweltverbänden und Zivilgesellschaft regelmäßig austauschen und gemeinsam Projekte und konkrete Maßnahmen erarbeiten.

Die Aktivitäten des Strategiedialogs sollen Handlungsfelder und geeignete Instrumente aufzeigen, um den Wandel hin zu einer automatisierten, vernetzten und elektrischen Mobilität zu realisieren. Die Teilnehmer erarbeiten in sechs Themenfeldern Lösungsansätze für die Zukunft der Automobilwirtschaft und der Mobilität in Baden-Württemberg. Die Netze BW ist im Strategiedialog aktiv und bringt unter anderem die Erfahrungen aus dem Projekt E-MOBILITY-ALLEE mit ein.



Minister Franz Untersteller besucht die E-MOBILITY-ALLEE.



Besuch einer chinesischen Delegation in der Belchenstraße.

## Von Ostfeldern in die Welt

Die E-MOBILITY-ALLEE hat eines deutlich gezeigt: Elektromobilität hat hohe Relevanz, und zwar rund um den Globus. Als bundesweit bislang einzigartiges Pilotprojekt lieferte der Praxistest wichtige Ergebnisse auf dem Weg zur Mobilität der Zukunft. Ob Minister, Bundestagsabgeordnete oder Vertreter einzelner Kommunen – gerade auch die Politik war interessiert am Projekt und an den daraus gewonnenen Erkenntnissen. Wesentliche Informationen lieferte die E-MOBILITY-ALLEE auch für den Strategiedialog Automobilwirtschaft Baden-Württemberg.

Das Forschungsprojekt hatte jedoch nicht nur national, sondern auch international eine hohe Strahlkraft. Diese reichte bis nach Asien. So wurden in der Belchenstraße während des Projektverlaufs Delegationen aus China, Korea, Taiwan, Ungarn und den USA empfangen. Zudem fand die E-MOBILITY-ALLEE medial großen Anklang: Fachredakteure sowie Journalisten von regionalen und überregionalen Tageszeitungen, Automobilmagazinen und Fernsehsendern sprachen vor Ort mit dem Projektteam und den Teilnehmern, um dann in ganz Deutschland zu berichten.

- Das Auto wird neu erfunden. Es muss klimafreundlich und vernetzt sein. Darum geht es im Strategiedialog Automobilwirtschaft BW. Aus dem Autoland Baden-Württemberg soll ein Mobilitätsland werden. 📌 📌

FRANZ UNTERSTELLER

Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft in Baden-Württemberg

# E-MOBILITY IM ALLTAG – DIE NETZE BW PLANT WEITERE PROJEKTE

Das Projekt E-MOBILITY-ALLEE konzentrierte sich ganz auf Einfamilienhaushalte im urbanen Raum. In einem nächsten Schritt will die Netze BW ähnliche Reallabore für andere Wohnformen und -gebiete schaffen, zum Beispiel auf dem Land und in Mehrparteienhäusern.

Das Projekt in Ostfildern bei Stuttgart verlief positiv. Künftig sollen allerdings nicht nur Einfamilienhaushalte im urbanen Raum zu den regelmäßigen Nutzern von Elektroautos zählen. Deshalb plant die Netze BW aktuell mehrere neue „Netzlabe“. Sind in einem Mehrfamilienhaus ähnliche Erfahrungen und Herausforderungen zu erwarten wie in Ostfildern? Und wie sieht es in ländlichen Gebieten aus, wo die Grundbelastung der Stromnetze meist geringer ist, aber weitläufige Netzstrukturen eine Herausforderung für das Laden von Elektrofahrzeugen darstellen könnten?

Konkret erprobt die Netze BW seit November 2019 in Tamm bei Ludwigsburg das sogenannte E-MOBILITY-CARRÉ. Dabei handelt es sich um eine große Wohnanlage im Bestand mit Tiefgarage, in der 58 Ladestationen installiert werden. Wie verhalten sich die Bewohner eines Mehrfamilienhauses beim Laden? Und welche Auswirkungen ergeben sich für das Stromnetz? Hochrelevante Fragen – denn über 53 Prozent der Bestands-Wohneinheiten in Deutschland befinden sich in Mehrfamilienhäusern. Und auch deren Bewohner interessieren sich immer mehr für Elektrofahrzeuge. Deswegen möchte die Netze BW auch in dieser Konstellation die Integration von Elektrofahrzeugen ins Stromnetz untersuchen. Denn: Wenn eine große Zahl von Elektrofahrzeugen lädt, besteht die Herausforderung in der Gleichzeitigkeit – was bedeutet, dass eine hohe Anschlussleistung erforderlich ist. Diese steht in Wohngebieten jedoch nicht immer zur Verfügung. Daher sollen im Projekt verschiedene Lösungen

erprobt werden – zum Beispiel die Einrichtung eines separaten Hausanschlusses, der Einsatz eines Lademanagementsystems und die Verwendung eines Batteriespeichers, um die Anschlussleistung bedarfsgerecht zu optimieren. Bei allen Testszenarien steht neben den technischen Erkenntnissen immer auch die Akzeptanz bei den Testkunden im Fokus.

Das Potenzial von Elektromobilität wurde bisher vor allem in Städten und Ballungsräumen gesehen. Doch auch für den ländlichen Raum, wo es weniger öffentlichen Nahverkehr gibt, entstehen neue Chancen im Rahmen klimafreundlicher Mobilität. Während die Netzauslastung im ländlichen Raum insgesamt deutlich geringer ist als in urbanen Ballungsräumen, könnte eine deutliche Zunahme an Elektrofahrzeugen vor allem Schwierigkeiten in den Bereichen Netzqualität und Netzspannung mit sich bringen. Aus diesem Grund wird die Netze BW eine E-MOBILITY-CHAUSSEE im ländlichen Raum realisieren und genau diese Herausforderungen in der Praxis erforschen.

Auch bei der Konzeption ganzer Wohngebiete spielen innovative Mobilitätskonzepte künftig eine zentrale Rolle. Deshalb plant die Netze BW das NEUBAUGEBIET E-MOB-READY. Erstmals in einem Neubaugebiet sollen hier die Planungsprämissen, die die Netze BW für künftige Elektromobilität erarbeitet hat, bereits bei der Erschließung angewandt werden. Das bedeutet: Schon während der Planungsphase werden Flächen für Ortsnetzstationen reserviert. Eine Erschließung des Neubaugebiets mit genügend

Leerrohren sorgt dafür, dass im Bedarfsfall ohne großen zusätzlichen Aufwand schnell neue Kapazitäten zur Verfügung gestellt werden können. Zur Ermittlung des optimalen Ausbauezeitpunkts wird ein eigens entwickelter Stromsensor eingesetzt. Dieser erfasst in Echtzeit Daten aus den Niederspannungsabgängen und hilft, die Kapazitäten des Netzes effizient zu nutzen.

Darüber hinaus untersucht die Netze BW im Projekt INTELLIGENTES HEIMLADEN, wie sich Lademanagement und der Einsatz von intelligenten Zählern kombinieren lassen. Hierbei wird die Schnittstelle zwischen Ladestation und Stromnetz im Mittelpunkt des Interesses stehen.

Fazit: Die Netze BW wird sich auch in Zukunft intensiv mit Elektromobilität beschäftigen. Ziel ist es, zukunftsorientierte Mobilität voranzubringen – und zugleich weiterhin rund um die Uhr eine sichere Stromversorgung zu garantieren.



#### ➤ INTELLIGENTES HEIMLADEN

**FOKUS:** Lösungen für die intelligente Steuerung des Ladevorgangs zu Hause

**WO:** Private Haushalte an verschiedenen Orten in Baden-Württemberg mit 12 Elektrofahrzeugen

**WAS:** Ladeinfrastruktur, intelligentes Lademanagement, Netzüberwachung, Smart Meter



#### ➤ NEUBAUGEBIET E-MOB-READY

**FOKUS:** Erstmals wird ein Neubaugebiet für die Anforderungen der E-Mobilität ausgelegt

**WO:** Neubau Reihenhaussiedlung

**WAS:** Umsetzung der Planungsprämissen, erhöhte Leistung pro Haushalt, Verlegen von Leerrohren, reservierte Fläche für zusätzliche Ortsnetzstation, Netzüberwachung zur rechtzeitigen Identifikation des E-Mobilitäts-Hochlaufs, Unterstützung bei der Gebäudeplanung (Drehstrom in der Garage, Kabelkanäle etc.)



#### ➤ E-MOBILITY-CHAUSSÉE

**FOKUS:** Gewährleistung von Spannungsstabilität im ländlichen Raum – auch bei zunehmender E-Mobilität

**WO:** Langes Stromkabel, Haushalte/landwirtschaftlicher Betrieb, 5 Ladestationen und Elektrofahrzeuge

**WAS:** Ladeinfrastruktur, intelligentes Lademanagement, Netzüberwachung, zentraler Batteriespeicher, Strangregler



#### ➤ E-MOBILITY-CARRÉ

**FOKUS:** Lösungen für den komfortablen Netzanschluss für Mehrfamilienhäuser

**WO:** Bestandsgebäude mit Tiefgarage, 63 Wohneinheiten, 58 Ladestationen, 45 Elektrofahrzeugen, private Eigentümergemeinschaft

**WAS:** Komfortabler Netzanschluss, intelligente und ausbaufähige Ladeinfrastruktur, Netzüberwachung und Lademanagement, Heimspeicher, Kundenfeedback

**Netze BW GmbH**

Schelmenwasenstraße 15 · 70567 Stuttgart  
Telefon 0711 289-0 · kontakt@netze-bw.de  
www.netze-bw.de