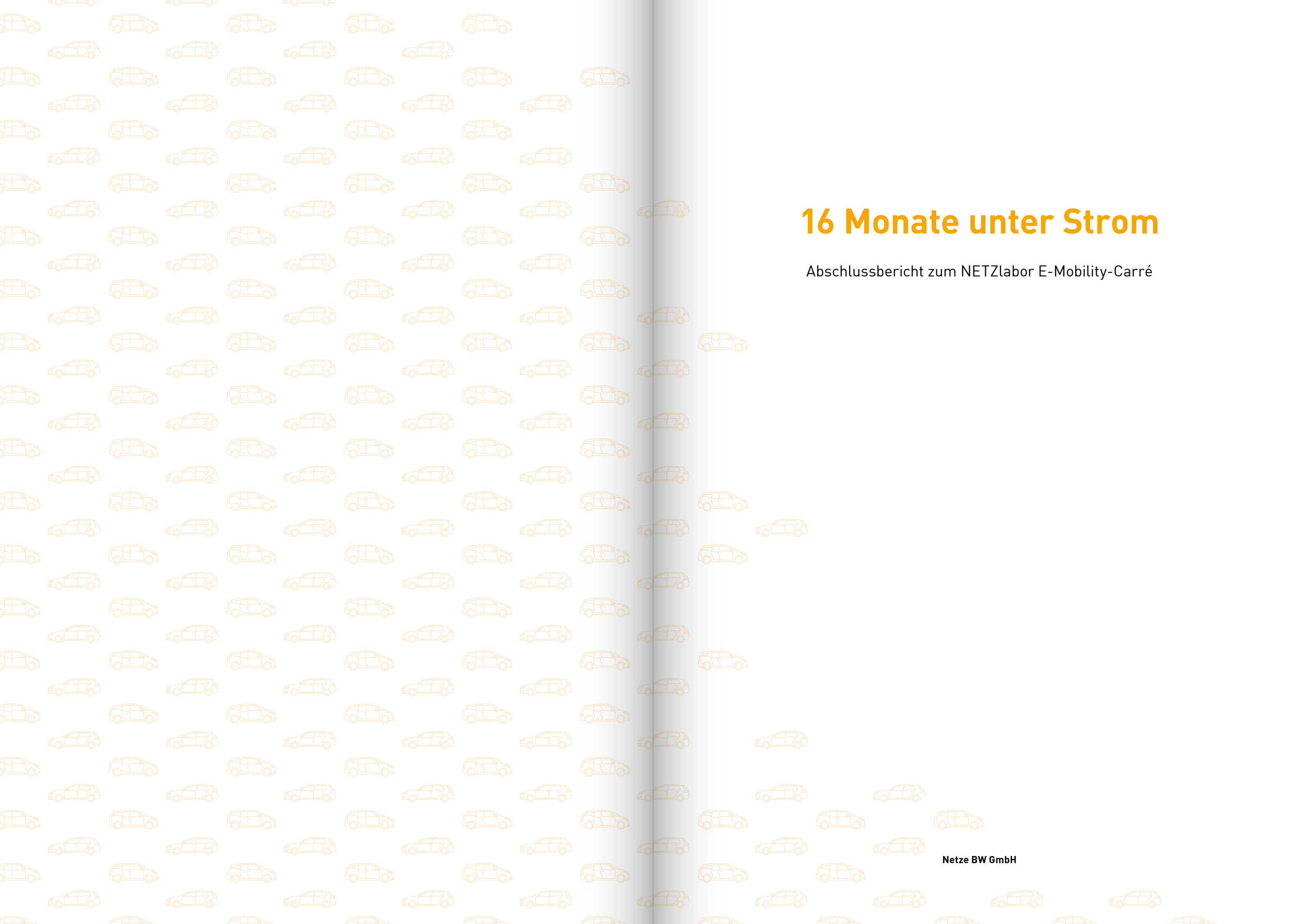


# 16 MONATE UNTER STROM

Wir elektrifizieren eine Tiefgarage.



# 16 Monate unter Strom

Abschlussbericht zum NETZlabor E-Mobility-Carré



# Liebe Leserinnen und Leser,

Fachwelt und Politik sind sich einig, dass im Bereich Verkehr eine wesentliche Reduktion der Treibhausgase nur gelingen kann, wenn der Verbrennungsmotor durch einen Elektromotor ersetzt und der Strom dafür perspektivisch komplett aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Zudem ist die Elektromobilität lokal emissionsfrei, effizient in der Energienutzung und leise. Wenn dieser Konsens weiter in konkretes Handeln mündet, wird es ein exponentielles Wachstum von Elektrofahrzeugen geben.

Perspektivisch kommen so bis zu 40 Millionen neue Kund\*innen in unser Stromnetz. Kund\*innen, die auf der einen Seite komfortabel – also zu jeder Zeit mit hoher Leistung und in ausreichend großer Menge – laden wollen. Auf der anderen Seite jedoch haben diese Kund\*innen mit 11 oder 22 Kilowatt den mit Abstand größten Leistungsbedarf, den wir bei Privathaushalten sehen.

Um diese Herausforderung für unser Stromnetz real zu erproben, haben wir mehrere NETZlabore ins Leben gerufen, u.a. die E-Mobility-Allee und das E-Mobility-Carré. Im ersten Schritt untersuchte die E-Mobility-Allee in Ostfildern die Integration von E-Fahrzeugen ins Stromnetz in vorstädtischen Gebieten mit Ein- oder Zweifamilienhäusern. Bei einem Anteil von 50 % E-Fahrzeugen haben wir wertvolle Erkenntnisse zum Ladeverhalten und zur Netzbelastung gewonnen. Nachdem dieses Szenario erfolgreich untersucht wurde, wechselte der Fokus auf Mehrfamilienhäuser in städtischen Regionen. In diesem zweiten Schritt haben wir im E-Mobility-Carré in Tamm in einer Tiefgarage einer großen Wohnanlage fast 70 % der Stellplätze elektrifiziert und die Bewohner\*innen mit E-Fahrzeugen ausgestattet. Mehrere Monate lang wurde getestet, ob und wie intelligentes Lademanagement in dieser Konstellation den Spagat zwischen komfortablem Laden

und Netzstabilität schaffen kann. Durch aktuelle Gesetzesänderungen und veränderte Rahmenbedingungen beobachten wir derzeit einen starken Anstieg der Anfragen für den Netzanschluss von privater Ladeinfrastruktur. So kommen die im E-Mobility-Carré gewonnenen Erkenntnisse jetzt genau zur rechten Zeit und ich bin froh, diese hier mit Ihnen teilen zu können.

Ein herzliches Dankeschön an alle, die dabei mitgeholfen haben! Insbesondere gilt mein Dank natürlich den E-Pionier\*innen in Tamm, aber auch den Beteiligten aus Elektrohandwerk, Politik, Forschung, Gremien, Verbänden und dem ganzen Netze BW-Team.

Dieses spannende Projekt hat unsere Erwartungen übererfüllt und zurecht bundesweit Beachtung gefunden. Wir freuen uns, wenn unsere Erkenntnisse und Erfahrungen dazu beitragen, den Hochlauf der Elektromobilität weiter voranzubringen.

**Dr. Martin Konermann**

Technischer Geschäftsführer Netze BW GmbH



# Liebe Leserinnen und Leser,

die Automobilwirtschaft ist die Halsschlagader unseres Landes – und sie steht vor großen Umbrüchen. Das E-Mobility-Carré von Netze BW kann zur Bewältigung dieses Strukturwandels beitragen. Im vergangenen Jahr konnte ich dieses spannende Projekt in Tamm vor Ort näher kennenlernen. Das E-Mobility-Carré gibt einen tiefen Einblick in die Auswirkungen von Elektromobilität auf unser Stromnetz und bereitet uns damit auf den Hochlauf der Elektromobilität in den kommenden Jahren vor.

Für unsere Automobilindustrie ist die derzeitige Transformation ein immenser Kraftakt, der durch die Coronapandemie noch vervielfacht wird. Darum unterstützt auch die Landesregierung diesen Prozess aktiv: Unser innovatives Arbeitsformat Strategiedialog Automobilindustrie hat alle Akteure – von den Autoherstellern und Zulieferern über die Wissenschaft und die Beschäftigten bis hin zur Zivilgesellschaft – an einen Tisch gebracht. Zusammen konnten wir die Elektrifizierung massiv voranbringen und unser Land mit Ladesäulen überziehen. Heute gilt Baden-Württemberg hier bundesweit als modellhaft. Mit dem Programm Charge@BW etwa fördern wir öffentlich und nichtöffentlich zugängliche Ladepunkte. Und mit dem Sicherheitsladenetz für Elektrofahrzeuge SAFE hat das Land schon jetzt für ein Grundnetz flächendeckender Ladeinfrastruktur gesorgt, das immer weiter ausgebaut wird.

Um unsere Klimaziele zu erreichen, ist die Elektrifizierung des Antriebsstranges aus erneuerbaren Energien einer der wirksamsten Hebel. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass die Stromnetze und die dazugehörige Infrastruktur auf die neuen Anforderungen gut vorbereitet sind. Deswegen gilt mein Dank allen Beteiligten am Projekt E-Mobility-Carré, die für die Vorfahrt der Elektromobilität einen wichtigen Beitrag geleistet haben.



**Dr. Andre Baumann**

Staatssekretär im Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, ehemaliger Bevollmächtigter des Landes beim Bund



# Sehr geehrte Damen und Herren,

ich freue mich und es macht mich auch ein wenig stolz, dass für dieses zukunftsweisende Projekt der Netze BW zur E-Mobilität die Gemeinde Tamm ausgewählt wurde. Tamm liegt in einem prosperierenden Wirtschaftsraum und ist mit 12.800 Einwohnern immerhin die größte nichtstädtische Gemeinde im Landkreis Ludwigsburg. Tradition und Fortschritt blicken in Tamm selbstbewusst in die Zukunft.

Wer hätte damals gedacht, als am 29. Januar 1886 Carl Benz sein „Fahrzeug mit Gasmotorenbetrieb“ zum Patent anmeldete, dass 134 Jahre später bundesweit 47,1 Millionen zugelassene PKWs auf Deutschlands Straßen unterwegs sein würden – diese Dimension war zur damaligen Zeit undenkbar. Durch technischen Fortschritt, Erfinderreichtum und Innovationen wurde die Technik des Verbrennungsmotors immer weiter entwickelt und verbessert. Dennoch müssen wir uns heute die Frage stellen, wie die Zukunft des Automobils aussehen kann. Auch heute stehen wir wieder vor einer einschneidenden Mobilitätswende, die unsere Gesellschaft nachhaltig verändern wird. Immerhin arbeiten in der Region ca. 200.000 Menschen in der Fahrzeugbauindustrie und erzielen damit 45 % des Umsatzes der gesamten Industrie in der Region Stuttgart.

Ebenso muss auch die Gemeinde Tamm hinsichtlich der Mobilitätsfrage neue Wege gehen. So plant die Gemeinde nach und nach die Umrüstung des kommunalen Fuhrparks auf alternative Antriebsmodelle. Weiterhin möchte die Gemeinde Tamm am Bahnhof eine Carsharing Station für E-Autos einrichten. An dieser fest eingerichteten Fahrzeugstation sollen Elektroautos für die Bevölkerung bereitgestellt werden. Das Regiorad sowie Ladestationen für Pedelecs am Bahnhof sollen das E-Mobilitätsangebot abrunden.

Meine Damen und Herren, „zwischen Tradition und Fortschritt“ müssen die Weichen nicht nur in der Automobilindustrie neu gestellt werden.

Die Herausforderungen an die Mobilität des 21. Jahrhunderts sind enorm. Sie müssen sowohl ökologisch als auch wirtschaftlichen Interessen gerecht werden. In diesem Sinne bedanke ich mich bei der Netze BW, die Tamm für dieses zukunftsweisende Projekt ausgewählt haben und bei den Eigentümern der Wohnanlage Pura Vida für die Offenheit und für die Bereitschaft, neue Wege auszuprobieren und dass sie sich bereit erklärt haben, an diesem innovativen Projekt mitzuwirken.



**Martin Bernhard**

Bürgermeister Tamm





# INHALTS VERZEICHNIS

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Die Welt muss grüner werden      | 12  |
| Netze BW macht das Stromnetz fit | 22  |
| NETZlabor E-Mobility-Carré       | 28  |
| 01 Planung                       | 34  |
| 02 Projektvorbereitung           | 40  |
| 03 Installation                  | 46  |
| 04 Fahrzeugübergabe              | 54  |
| 05 Testphase                     | 58  |
| 06 Fazit                         | 94  |
| Interview                        | 100 |
| 16 Monate unter Strom            | 106 |
| Die Zukunft fährt elektrisch     | 108 |
| Quellenverzeichnis & Impressum   | 110 |



# DIE WELT MUSS GRÜNER WERDEN

Politik. Wirtschaft. Gesellschaft. Überall ist der rasch voranschreitende Klimawandel und dessen ernstzunehmende Folgen ein intensiv diskutiertes Thema. Der Klimawandel kann nicht mehr vollkommen aufgehalten werden, aber wir können die Folgen noch deutlich abschwächen. So soll die Erderwärmung bis zum Ende dieses Jahrhunderts auf deutlich unter 2 Grad Celsius begrenzt werden – möglichst auf 1,5 Grad Celsius [1]. Dafür muss der Ausstoß von Treibhausgasen, vor allem von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), deutlich sinken.

Die Ursachen für den Klimawandel liegen in verschiedenen Bereichen, wie dem hohen Energieverbrauch der Industriestaaten, der Abholzung von Wäldern oder dem Schadstoffausstoß der Verbrennungsmotoren von PKWs und LKWs – um nur einige Beispiele zu nennen. Derzeit stammt rund ein Fünftel der EU-weiten Emissionen aus dem Verkehr, Tendenz steigend [2].

Vor diesem Hintergrund hat sich die Bundesregierung mit der Änderung des Klimaschutzgesetzes im Jahr 2021 [3] das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral zu werden. Schon bis 2030 müssen alle Bereiche – Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude und Land-

wirtschaft – ihre Treibhausgasemissionen noch stärker reduzieren. Als erste große Etappe auf dem Weg zur Klimaneutralität muss der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2030 um 65 % gegenüber 1990 verringert werden. Der Verkehrssektor ist neben den oben genannten Bereichen mit einem Anteil von circa 18 % einer der Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen in Deutschland.

Speziell für den Verkehrssektor ist durch das im Sommer 2021 von der EU-Kommission vorgelegte Maßnahmenpaket „Fit for 55“ [4] eine Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Minderungsziele zu erwarten. Nach dem Konzept der Kommission sollen sämtliche Neuwagen ab dem Jahr 2035 vollständig emissionsfrei sein. Das bedeutet ein faktisches Aus für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren und fossilen Kraftstoffen.





## Bereit für die Verkehrswende?

Für den Verkehrsbereich bedeuten die neuen Ziele der Bundesregierung, dass bis zum Jahr 2030 bereits 15 Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen erwartet werden. Zudem soll bis 2030 ein Drittel der Fahrleistung im schweren Straßengüterverkehr elektrisch oder auf Basis strombasierter Kraftstoffe erfolgen. Konkret bedeutet dies, dass selbst LKWs und Busse voraussichtlich elektrisch, betrieben durch Batterien oder Brennstoffzellen mit Wasserstoff, fahren werden. Auch Konzepte wie elektrische Oberleitungen an Autobahnen und Landstraßen werden erprobt.

Die Automobilbranche reagiert bereits auf diese Entwicklung in Form einer umfangreichen E-Mobilitätsstrategie mit einer größeren Modellvielfalt an E-Fahrzeugen. Durch steigende Reichweiten und schnellere Ladevorgänge dank höherer Ladeleistung soll Elektromobilität noch alltagstauglicher werden.

## Die Elektromobilität nimmt Fahrt auf

Um die E-Fahrzeuge rasch auf die Straße zu bringen und den ambitionierten Zielen optimal zu begegnen, benötigt es zusätzliche Investitionen, rechtliche Rahmenbedingungen und weitere Maßnahmen. Ein neuer „Zukunftsfond Automobilwirtschaft“ mit einer Milliarde Euro soll die Automobilindustrie bei ihrer Transformation hin zu nachhaltiger und digitaler Mobilität unterstützen [5].

Um auch den Menschen den Einstieg in die Elektromobilität attraktiv zu gestalten, wird die Elektromobilität in Deutschland stark gefördert. So gibt es bspw. Kaufprämien für den Erwerb eines E-Fahrzeuges und Steuererleichterungen. Dadurch sind die Kosten für E-Fahrzeuge heute schon in vielen Bereichen konkurrenzfähig zu Benzin- und Dieselfahrzeugen.

Die E-Mobilitätsstrategie der Automobilbranche und die Kaufanreize tragen dazu bei, dass die Anzahl der E-Fahrzeuge in Deutschland rasant steigt, aktuell so schnell wie noch nie zuvor. Noch im Laufe des Jahres 2021 wurde das Zwischenziel von einer Million Elektrofahrzeugen (inklusive Plug-in-Hybrid [6]) auf unseren Straßen erreicht.





# Ladeinfrastruktur – entscheidender Eckpfeiler der Elektromobilität

Grundvoraussetzung für den Umstieg auf die Elektromobilität ist eine flächendeckende und zuverlässige Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge. Infolgedessen sollen bis 2030 eine Million Lademöglichkeiten [7] im öffentlichen Raum geschaffen werden, im privaten Bereich und am Arbeitsplatz sogar noch deutlich mehr. Das sieht der „Masterplan Ladeinfrastruktur“ der Bundesregierung vor.

Grundsätzlich kann in zwei Arten des Ladens unterschieden werden: das private und das öffentliche Laden. Privat meint den nicht öffentlich zugänglichen Raum, also zuhause oder am Arbeitsplatz. Öffentlich umfasst

das Gelegenheitsladen beispielsweise beim Einkauf oder das Schnellladen auf langen Strecken an der Autobahn. Der maßgebliche Unterschied liegt hierbei in der Dauer, wie lange ein E-Fahrzeug sich am Ladepunkt befindet bzw. Zeit zum Laden von Energie hat. Entsprechend muss dem E-Fahrzeug mehr oder weniger Leistung für den Ladevorgang zur Verfügung gestellt werden. Durch die langen Standzeiten beim privaten Laden reichen geringere Ladeleistungen aus. Hier haben wir aktuell die üblichen 11kW- oder 22kW-Wallboxen. Beim öffentlichen Schnellladen reichen die Ladeleistungen aktuell bis 350kW.



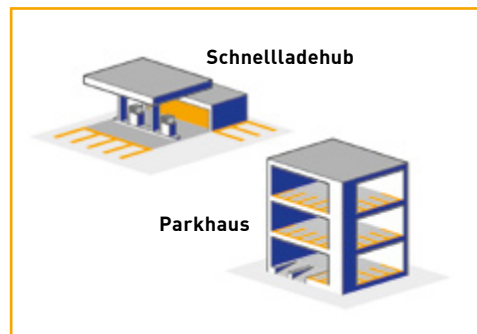
**Öffentliche Ladeinfrastruktur** umfasst das Gelegenheitsladen beispielsweise beim Einkauf oder das Laden an einem öffentlichem Schnellladehub in Städten oder an Raststätten auf langen Strecken entlang der Fernverkehrsstraßen.

**Private Ladeinfrastruktur im Wohnbereich** umfasst das Laden an nicht öffentlich zugänglichen Ladepunkten zuhause im Wohnbereich. Dies kann sowohl im Einfamilienhaus, Doppel- oder Reihenhauses, aber auch im Mehrfamilienhaus oder im Wohnquartier sein. Die meisten Ladevorgänge – etwa 70% – finden im privaten Umfeld statt.

**Private Ladeinfrastruktur im gewerblichen Bereich** für das Flottenladen sowie das Laden am Arbeitsplatz. Hierzu zählen neben E-PKWs auch leichte und schwere Nutzfahrzeuge (E-LKWs und E-Busse).

## ANWENDUNGSFÄLLE VON LADEINFRASTRUKTUR AN UNTERSCHIEDLICHEN STANDORTEN IM DETAIL

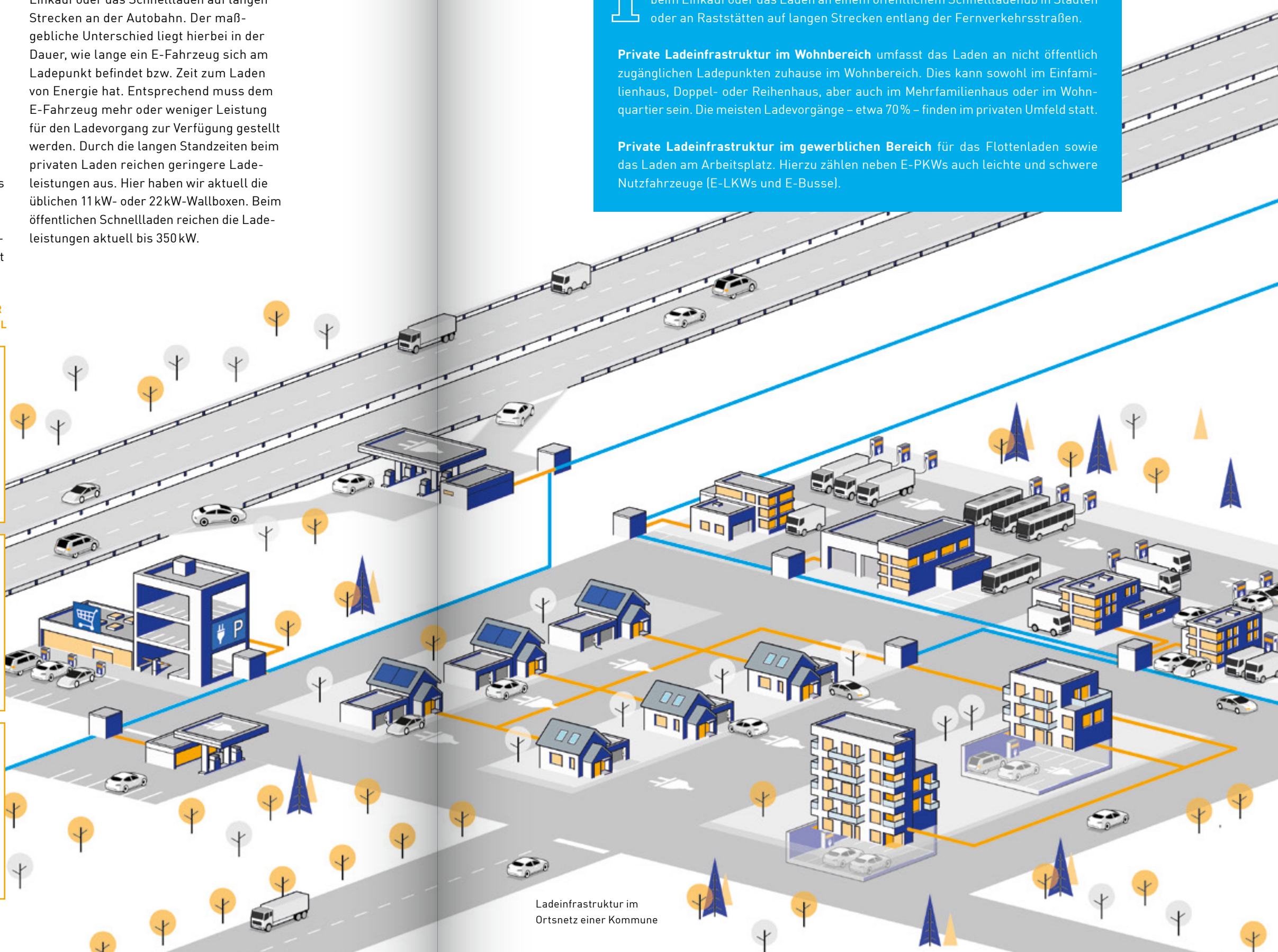
### ÖFFENTLICHE LADEINFRASTRUKTUR



### PRIVATE LADEINFRASTRUKTUR IM WOHNBEREICH



### PRIVATE LADEINFRASTRUKTUR IM GEWERBEBEREICH



Ladeinfrastruktur im Ortsnetz einer Kommune



# Elektromobilität braucht starke Stromnetze

Die Basis für den flächendeckenden Aufbau von Ladeinfrastruktur und die zuverlässige Versorgung von E-Fahrzeugen mit Strom ist ein leistungsfähiges Stromnetz. Denn ladende E-Fahrzeuge haben einen hohen Leistungsbedarf, der aus dem Stromnetz gedeckt werden muss.

Wie ist unser Stromnetz aufgebaut und in welcher Spannungsebene wird Ladeinfrastruktur angeschlossen?

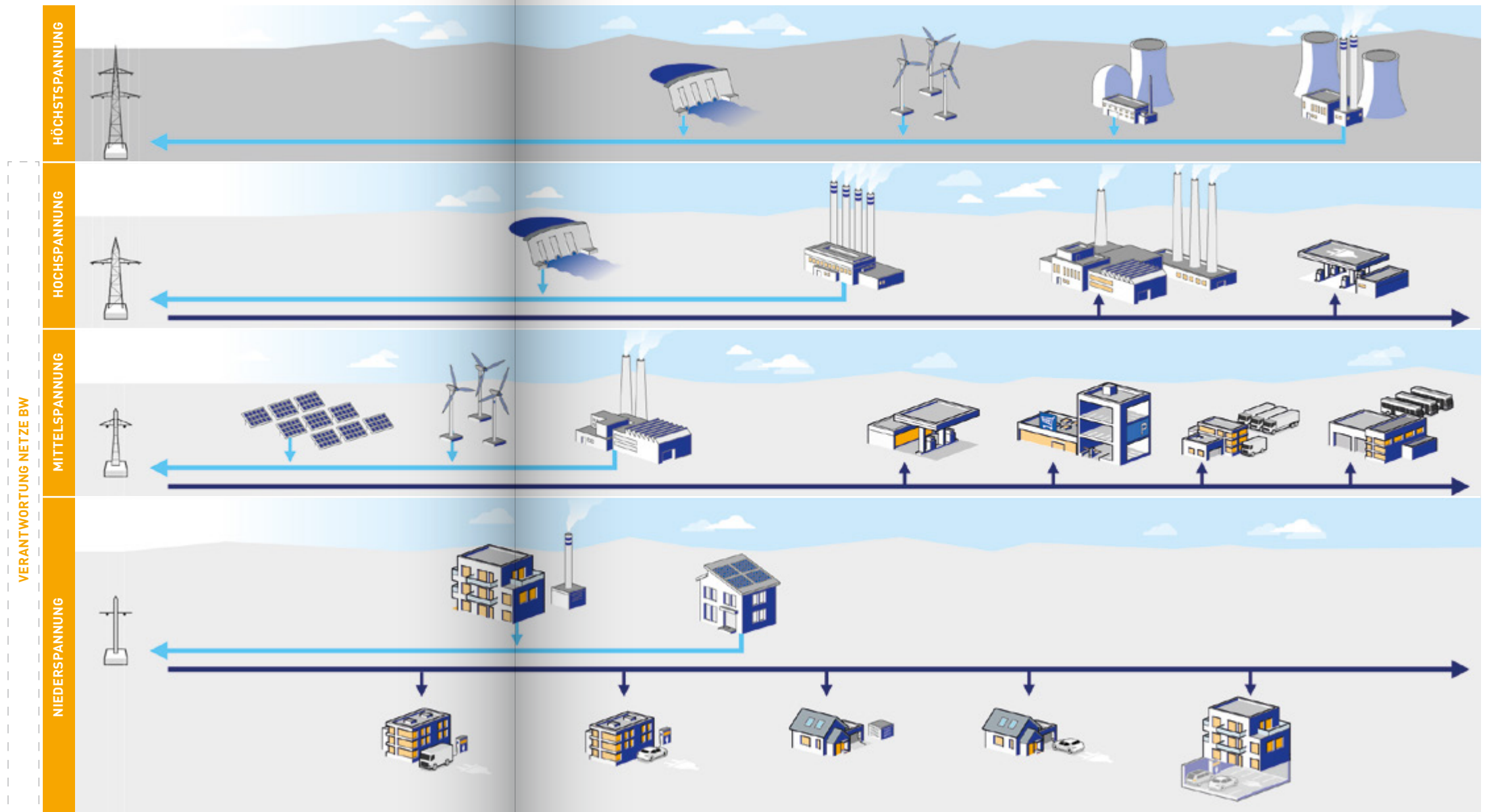
Für die Stromübertragung von Kraftwerken und dezentralen Erzeugungsanlagen hin zu den Verbrauchern ist unser Stromnetz zuständig. Das kann über Freileitungen auf Masten oder über Kabel unter der Erde stattfinden. Dafür gibt es vier Spannungsebenen: Die höchste Spannung beträgt 380 kV, die niedrigste 400 V (Drehstrom) – das ist die Spannung, die in der Elektroinstallation in deutschen Haushalten anliegt.

Das Höchstspannungsnetz arbeitet mit 380 und 220 kV. Mit ihm wird Strom über weite Strecken transportiert. Für diese Netzebene sind die sogenannten Übertragungsnetzbetreiber zuständig. Das Übertragungsnetz in Deutschland ist circa 36.600 km lang [8] und mit speziellen Kuppelleitungen mit den Stromnetzen anderer europäischer Länder verbunden. Gemeinsam bilden diese das europäische Verbundnetz.

Das Hochspannungsnetz mit 110 kV misst 86.000 km Länge. Zusammen mit dem Mittelspannungsnetz (30, 20 und 10 kV, 521.000 km) liefert es elektrische Energie für Unternehmen und Stadtwerke oder kleine Energieversorger. Von dort gelangt der Strom in den Orten und Städten im Niederspannungsnetz (230 oder 400 V, 1.194.000 km) weiter zu den Haushalten, zum Gewerbe und zu landwirtschaftlichen Betrieben.

Die benötigte Leistung bestimmt die Spannungsebene des Stromnetzes, in der die Ladeinfrastruktur angeschlossen wird. Private Ladeeinrichtungen im Wohnbereich werden daher maßgeblich in der Niederspannung angeschlossen. Öffentliche und gewerbliche Ladeparks mit hoher kumulierter Gesamtleistung werden aus der Mittelspannung mit Strom versorgt. Perspektivisch könnten einzelne Ladeparks

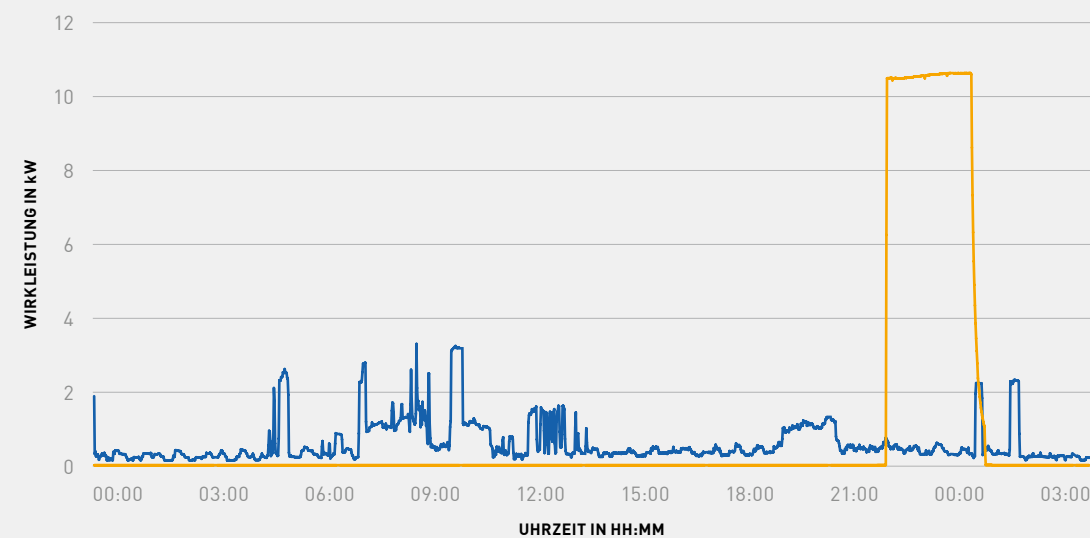
auch direkt mit dem Hochspannungsnetz verbunden werden. Vor allem dann, wenn weitere Fahrzeugarten, wie der batteriebetriebene LKW mit besonders hohen Ladeleistungen, betrachtet werden.





# Ein E-Auto lädt selten allein – Herausforderungen für das Niederspannungsnetz

Stromverbraucher, wie ladende Elektrofahrzeuge, spielten bei der ursprünglichen Konzeption und Auslegung unseres Niederspannungsnetzes noch keine Rolle. Deren Leistungsbedarf übersteigt den üblichen Haushaltsverbrauch jedoch deutlich (Abbildung 1). Dennoch ist unser Stromnetz durchaus in der Lage, vereinzelt auftretende Ladevorgänge zu verkraften. Kritisch wird es immer dann, wenn der Bezug hoher Ladeleistungen lokal zur gleichen Zeit auftritt. Tritt dieser Fall ein, kann der Leistungsbedarf der E-Fahrzeuge die Kapazitätsgrenze im Stromnetz übersteigen und es kann temporär zu kritischen Belastungsspitzen im Stromnetz kommen. Um das zu verhindern und um die Stromnetze gemäß dem Leistungsbedarf von E-Fahrzeugen ausreichend zu dimensionieren, ist die Anzahl der gleichzeitig ladenden E-Fahrzeuge eine wichtige Kenngröße für den Verteilnetzbetreiber.



**Abbildung 1:** Gängiges Lastprofil mit und ohne Elektrofahrzeug bei einem Einfamilienhaus (Referenzbeispiel aus E-Mobility-Allee mit Ladeleistung 11 kW)

Ladeprofil Elektrofahrzeug —  
Haushaltslastprofil —

Die meisten Ladevorgänge – etwa 70 % – finden im privaten Umfeld statt. Im Versorgungsgebiet der Netze BW wurden allein im Juni 2021 rund 1.600 neu installierte private Ladepunkte gemeldet – eine Steigerung von knapp 1.100 % gegenüber dem Vorjahr. Die größte Herausforderung beim privaten Laden ist somit die zeitgleiche Bereitstellung der Leistung für viele Verbraucher und mit der steigenden Anzahl installierter Ladeinfrastruktur nimmt auch die Wahrscheinlichkeit einer größeren Gleichzeitigkeit zu.

Daher ist es unerlässlich, den Verteilnetzbetreiber über neu installierte Ladeinfrastruktur frühzeitig in Kenntnis zu setzen. Nur so ist es möglich, den Hochlauf von Ladeinfrastruktur genauer zu prognostizieren, um rechtzeitig Netzverstärkungen anstoßen zu können. Intelligente Netzoptimierung und netzdienliches Lademanagement ermöglichen bis zum erfolgten Netzausbau eine Erhöhung der Aufnahmekapazität des bestehenden Netzes für E-Fahrzeuge. So kann der Netzbetreiber seinen Kunden einen schnellen Anschluss ihrer Ladepunkte und somit den Zugang zur Elektromobilität gewähren.

Beim öffentlichen Laden ist nicht die Leistungsbereitstellung die größte Herausforderung, sondern die Geschwindigkeit in der Umsetzung eines Netzanschlusses. Durch die Genehmigungspflicht werden Anfragen geprüft, berechnet und das Stromnetz entsprechend verstärkt. Allerdings dauern Genehmigungsverfahren, unter anderem für neue Leitungstrassen, oft lange, weshalb es für den Verteilnetzbetreiber entscheidend ist, möglichst frühzeitig in die Planung neuer Ladeinfrastruktur eingebunden zu werden.



# NETZE BW MACHT DAS STROMNETZ FIT FÜR DIE ZUKUNFT DER ELEKTRO- MOBILITÄT

Die Netze BW GmbH ist ein Unternehmen des EnBW-Konzerns und der größte Verteilnetzbetreiber in Baden-Württemberg. „Wir kümmern uns drum.“ Getreu diesem Markenversprechen sorgt die Netze BW rund um die Uhr dafür, dass Baden-Württemberg sicher und zuverlässig mit Energie versorgt wird. Denn als verlässlicher Partner für Kund\*innen und Kommunen hat die Garantie von Versorgungssicherheit höchste Priorität. Dafür hält der Verteilnetzbetreiber die Stromnetze in Schuss und investiert in die Netze der Zukunft. Als „Möglichmacher der Elektromobilität“ sieht die Netze BW sich in der besonderen Verantwortung, die zuverlässige, schnelle und kundenfreundliche Integration von Elektromobilität in das Stromnetz zu gewährleisten.

Damit E-Fahrzeuge schnellstmöglich in das Stromnetz integriert werden und die Kund\*innen zuverlässig laden können, hat die Netze BW relevante, ganzheitliche und zukunftsorientierte Handlungsschwerpunkte zur Realisierung in der Praxis definiert. Diese umfassen die Bereitstellung eines kundenzentrierten Netzanschlusses, die frühzeitige Erkennung von Netzengpässen durch Transparenz im Stromnetz, die intelligente Optimierung des bestehenden Stromnetzes sowie eine vorausschauende und zukunftssichere Netzentwicklung.





## KUNDENZENTRIERTER NETZANSCHLUSS

Die Anmeldung von Ladeinfrastruktur bei der Netze BW soll für die Kund\*innen unkompliziert und vor allen Dingen schnell sein. Um die steigenden Neuanmeldungen in einem kurzen Zeitraum bearbeiten zu können, entwickelt die Netze BW einen digitalen Ende-zu-Ende-Prozess für den Netzanschluss von Ladeinfrastruktur.

- › **Digitale Kundenschnittstelle zur Meldung von Ladeinfrastruktur mit Verkürzung von Rückmeldezeiten**
- › **Effiziente und schnelle Bearbeitung komplexer Kundenanfragen**
- › **Automatisierte und digitalisierte Planungs- und Netzberechnungsprozesse**



## TRANSPARENZ IM VERTEILNETZ

Durch die Zunahme an E-Fahrzeugen und dem damit verbundenen Aufbau von Ladeinfrastruktur wird die Lastsituation im Stromnetz verändert. Um Transparenz über die Verteilung der Ladepunkte und somit die Auslastung im Stromnetz zu haben, arbeitet die Netze BW an einer konsequenten Digitalisierung des Verteilnetzes in unterschiedlichen Bereichen:

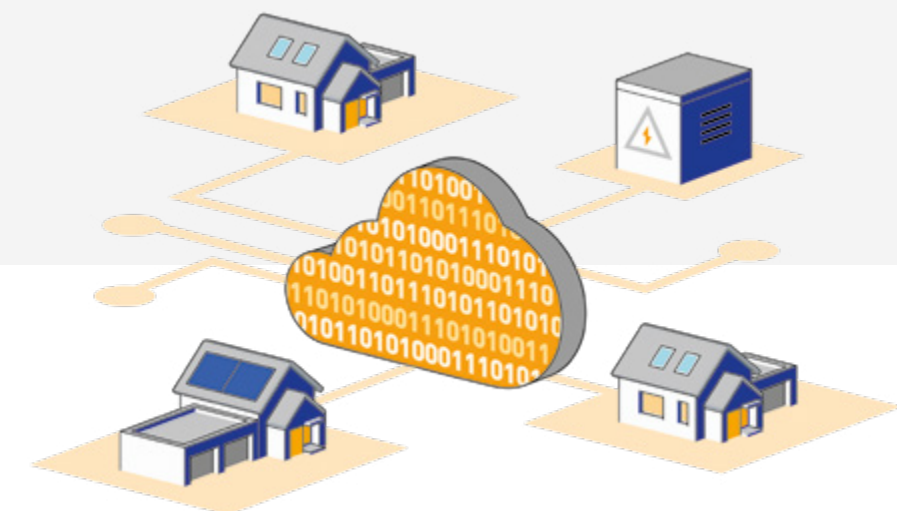
- › **Darstellung der aktuellen Verteilung und Häufung gemeldeter Ladepunkte im Verteilnetz**
- › **Identifikation nicht gemeldeter Ladepunkte mittels Daten und Algorithmen**
- › **Prognose der zukünftigen Verteilung und Häufung von Ladepunkten im Verteilnetz**
- › **Netzzustandsüberwachung in Echtzeit durch Messtechnik in Ortsnetzstationen**



## INTELLIGENTE NETZOPTIMIERUNG

Jede Kundin und jeder Kunde der Netze BW soll in der Lage sein, das E-Fahrzeug sofort und zuverlässig laden zu können. Um dies flächendeckend auch in Gebieten mit stark ausgelasteten Stromnetzen zu gewährleisten, entwickelt Netze BW innovative Lösungen für eine schnelle Steigerung der Aufnahmekapazität von Ladeinfrastruktur in das Stromnetz.

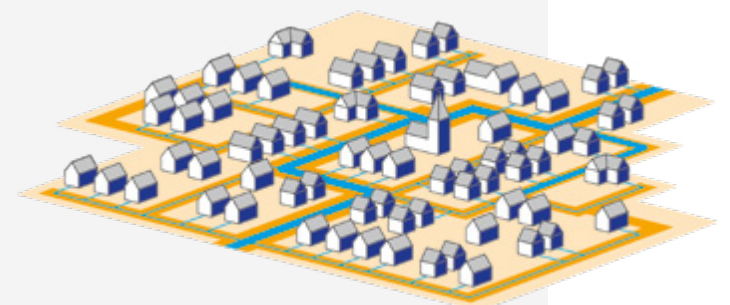
- › **Intelligentes Lademanagement für netzdienliches Laden**
- › **Standardisierung und Skalierung des intelligenten Messsystems mit Steuerbox**
- › **Intelligente Betriebsmittel (z.B. Batteriespeicher und Spannungsregler)**



## ZUKUNFTSSICHERE NETZENTWICKLUNG

Für den steigenden Leistungsbedarf der E-Mobilität wird das Stromnetz bedarfsgerecht und vorausschauend weiterentwickelt und ausgebaut. Hierfür werden bereits heute Maßnahmen in Hinblick auf die Zukunft ergriffen:

- › **Anpassung von Netzplanungsprämissen mit Berücksichtigung gewonnener Erkenntnisse zu Ladeverhalten, Gleichzeitigkeitsgrad etc.**
- › **Investition von 500 Mio. € zur Verstärkung des Mittel- und Niederspannungsnetzes bis 2025**
- › **Kontinuierliche Beobachtung der Entwicklung der E-Mobilität und der daraus resultierenden Anforderungen an das Stromnetz (z.B. E-LKWs, Entwicklung öffentlicher Schnellladeinfrastruktur, bidirektionales Laden)**





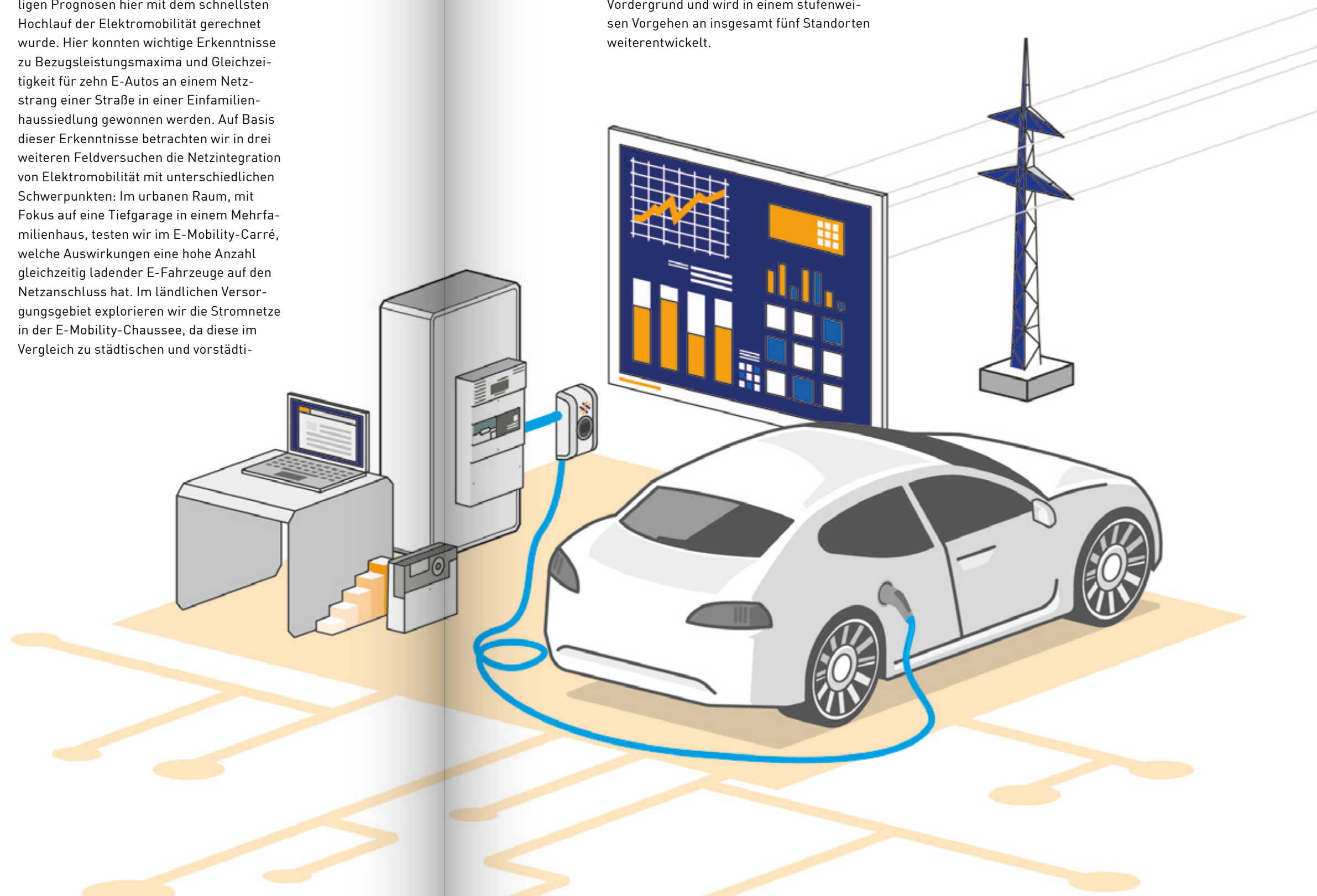
## NETZlabore ermöglichen Tests unter realen Bedingungen

Die individuelle Mobilität genießt einen hohen Stellenwert in der Bevölkerung. Ein Fahrzeug, angetrieben durch fossile Brennstoffe, immer und überall in wenigen Minuten volltanken zu können, ist selbstverständlich. Der Umstieg auf die Elektromobilität und deren Integration in den Alltag wirft einige Fragen auf. Daher ist es neben technischen Lösungen zur Netzoptimierung ebenso wichtig, Kundenakzeptanz für die Elektromobilität zu schaffen und das Ladeverhalten von Menschen kennenzulernen. Stets als konstante Begleiterscheinung wahrgenommen, wird ein alter Bekannter zum neuen bedeutenden Mitspieler im Hinblick auf die individuelle Mobilität: das Stromnetz. Vor welchen neuen Herausforderungen dieses steht und wie wichtig ein stabiles und leistungsstarkes Stromnetz ist, wird im Kontext der Elektromobilität nochmals deutlicher.

In Feldversuchen, den NETZlaboren, untersucht die Netze BW unter realen Bedingungen, welche unterschiedlichen Auswirkungen das Laden von E-Fahrzeugen auf das Stromnetz hat. Hier wird eine relevante Durchdringung von Elektromobilität in einem Stromkreis realisiert. Somit ist es möglich, Erkenntnisse zum tatsächlichen Ladeverhalten von Kund\*innen und vor allem dessen Effekt auf das Stromnetz zu analysieren.

Das im Oktober 2019 abgeschlossene NETZlabor E-Mobility-Allee hat den Grundstein für weitere NETZlabore gelegt. Der Fokus dieses NETZlabors lag bewusst auf dem vorstädtischen Raum, da nach damaligen Prognosen hier mit dem schnellsten Hochlauf der Elektromobilität gerechnet wurde. Hier konnten wichtige Erkenntnisse zu Bezugsleistungsmaxima und Gleichzeitigkeitsfaktor für zehn E-Autos an einem Netzstrang einer Straße in einer Einfamilienhaussiedlung gewonnen werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse betrachten wir in drei weiteren Feldversuchen die Netzintegration von Elektromobilität mit unterschiedlichen Schwerpunkten: Im urbanen Raum, mit Fokus auf eine Tiefgarage in einem Mehrfamilienhaus, testen wir im E-Mobility-Carré, welche Auswirkungen eine hohe Anzahl gleichzeitig ladender E-Fahrzeuge auf den Netzanschluss hat. Im ländlichen Versorgungsgebiet explorieren wir die Stromnetze in der E-Mobility-Chaussee, da diese im Vergleich zu städtischen und vorstädti-

schen Gebieten eine ganz eigene Netztopologie aufweisen. Die Technik zur netzdienlichen Steuerung von Ladevorgängen über intelligente Messsysteme, steht beim Praxistest „Intelligentes Heimpladen“ im Vordergrund und wird in einem stufenweisen Vorgehen an insgesamt fünf Standorten weiterentwickelt.





# NETZLABOR E-MOBILITY CARRÉ

**63 Eigentümer.**  
**58 Ladepunkte.**  
**45 E-Autos.**  
**1 Tiefgarage.**

Wie muss die Infrastruktur des Stromnetzes in einem Mehrfamilienhaus dimensioniert sein, wenn eine große Anzahl von E-Autos in einer Tiefgarage gleichzeitig geladen wird? Wie ist das Nutzungs- und Ladeverhalten der Projektteilnehmer\*innen und welche Auswirkungen hat die Integration von Elektromobilität auf das Stromnetz? Diesen Fragestellungen geht die Netze BW im Praxistest E-Mobility-Carré genau auf den Grund.



# DYNAMIK IN DER TIEFGARAGE

Aktuell befinden sich ca. 53 % [9] der Wohneinheiten in Deutschland in Mehrfamilienhäusern. Demzufolge rücken Mehrfamilienhäuser zunehmend in den Fokus der Elektromobilität. Im Vergleich zu Ein- oder Zweifamilienhäusern befindet sich hier eine höhere Konzentration an Bewohner\*innen gemessen an der Gesamtfläche pro m<sup>2</sup>. Wo viele Menschen an einem Ort wohnen, gibt es infolgedessen auch viele Autos. Wenn diese Autos perspektivisch elektrisch betrieben werden, müssen die Anforderungen dafür erfüllt werden. Der erhöhte Leistungsbezug bei Ladevorgängen von E-Fahrzeugen stellt das Verteilnetz in der Niederspannungsebene vor neue Herausforderungen. Im Bereich der Mehrfamilienhäuser sind diese Herausforderungen und deren direkte Auswirkungen auf das Stromnetz bisher nur theoretisch durchdacht. Aus diesem Grund stellt sich die Netze BW die zentrale Frage, wie der Netzanschluss einer Wohnanlage dimensioniert sein muss, wenn eine große Anzahl von E-Fahrzeugen in einer gemeinsam genutzten Tiefgarage gleichzeitig lädt. Dieser Praxis-

test wird unter realen Bedingungen im **NETZlabor E-Mobility-Carré** umgesetzt. 48 Haushalte der Wohnanlage „Pura Vida“ in Tamm unterziehen das lokale Stromnetz einem besonderen Härtestest. Dafür stellt die Netze BW den Teilnehmer\*innen von Dezember 2019 bis April 2021 insgesamt 45 E-Fahrzeuge (VW e-Golf und BMW i3) und eine zentrale Ladeeinrichtung mit 58 Ladepunkten zur Verfügung. Zusätzlich werden Batteriespeicher und ein zentrales Lademanagementsystem eingesetzt, um zu testen, wie durch diese Lösungen Ladeinfrastruktur optimal in bestehende Mehrfamilienhäuser im Bestand integriert werden kann – ohne dass der bestehende Netzananschluss oder das vorgelagerte Stromnetz übermäßig stark belastet werden. Hier werden verschiedene Lösungsansätze analysiert und wichtige Erkenntnisse gezogen, welche in den folgenden Kapiteln ausführlich erläutert werden.





# Die Phasen des NETZlabors E-Mobility-Carré im Überblick:



## Planung

Zu Beginn steht die Frage, ob und welchen Einfluss Ladeinfrastruktur in Mehrfamilienhäusern auf das Stromnetz hat. Basierend auf Erkenntnissen aus dem NETZlabor E-Mobility-Allee, Analysen zur Wohnsituation in Deutschland und der Beobachtung der Relevanz von E-Mobilität in Mehrfamilienhäusern werden die Rahmenparameter für das E-Mobility-Carré gesetzt.

## Projektvorbereitung

Eine passende Immobilie zu finden, die den Anforderungen des Feldtests genügt, ist gar nicht so leicht. Denn jede Liegenschaft ist anders und es gilt bestimmte Spezifika zu berücksichtigen. Daher werden nach der Auswahl der Wohnanlage die erforderlichen Voraussetzungen begutachtet und geprüft. Vor allem einen einstimmigen Beschluss der Eigentümergemeinschaft (Stand 2019) zur Installation von Ladeinfrastruktur zu erreichen ist kein leichtes Unterfangen.

## Installation

Mit Zustimmung der Eigentümergemeinschaft erfolgt die Elektroinstallation, sowie der Aufbau der Ladeinfrastruktur und des Batteriespeichers in der Tiefgarage.

## Fahrzeugübergabe

Um die Auswirkungen der Ladevorgänge von E-Autos auf das Stromnetz zu untersuchen und um das Ladeverhalten der Kund\*innen genauer kennenzulernen, stellt die Netze BW den Projektteilnehmer\*innen jeweils ein eigenes E-Auto über die gesamte Projektlaufzeit von 16 Monaten zur Verfügung.

## Testphase

In der Testphase werden sowohl technische Lösungen, wie ein Lademanagementsystem, als auch die Rückwirkungen auf das Stromnetz untersucht. Hierbei steht insbesondere die Datenauswertung im Vordergrund, um wichtige Erkenntnisse für intelligente Lösungsansätze zu liefern.

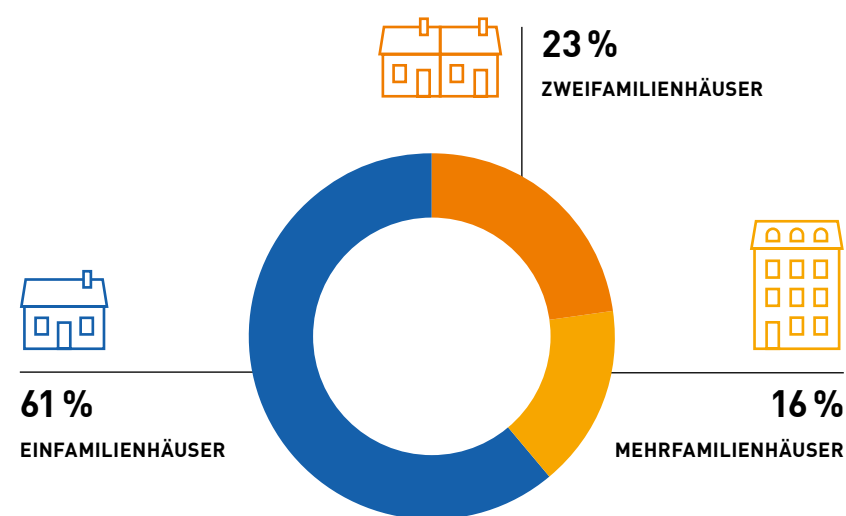
## Fazit

Die letzte Projektphase fasst alle Erkenntnisse zusammen und gibt Handlungsempfehlungen auf Basis der ausgewerteten Ergebnisse.



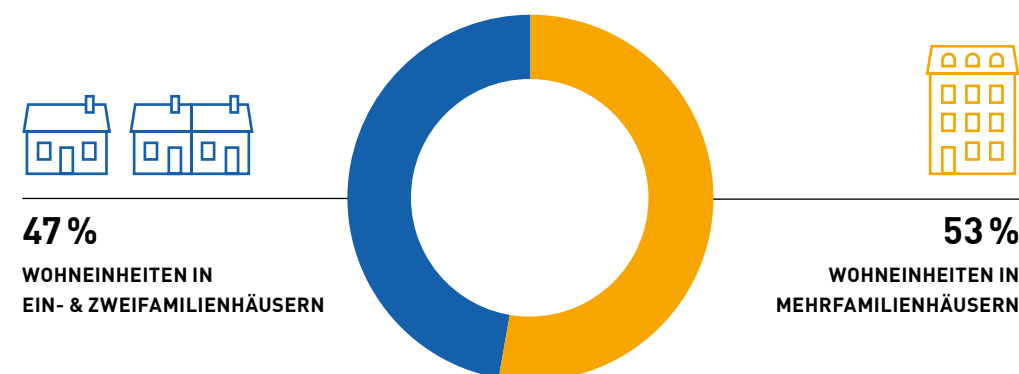
## Mehrfamilienhäuser im Versorgungsgebiet der Netze BW

Der Gebäudebestand im Versorgungsgebiet der Netze BW wird in die Gebäudetypen Einfamilienhaus, Zweifamilienhaus und Mehrfamilienhaus unterteilt und zugeordnet. Insgesamt gibt es hier ca. 1 Mio. Wohngebäude, die sich wie folgt aufteilen:



Die Grafik zeigt, dass 61 % der Wohngebäude Einfamilienhäuser sind, Zweifamilienhäuser bilden mit 23 % den zweitgrößten Anteil der Wohngebäude. Mehrfamilienhäuser sind mit 16 % der prozentual gesehen kleinste Gebäudetyp im gesamten Gebäudebestand. In absoluten Zahlen gemessen ergibt das ca. 160.000 Mehrfamilienhäuser im Versorgungsgebiet der Netze BW.

Betrachtet man die tatsächlichen Wohneinheiten in den jeweiligen Gebäudetypen – sprich die Anzahl an Bewohner\*innen in den zu unterscheidenden Gebäudetypen – ist festzustellen, dass sich in der verhältnismäßig geringen Gesamtverteilung der Mehrfamilienhäuser (16 %) jedoch 53 % der Wohneinheiten befinden, was verglichen zu Ein- und Zweifamilienhäusern die Mehrheit bildet. Daher ist die Betrachtung von Mehrfamilienhäusern im Kontext der Integration von Elektromobilität ins Stromnetz besonders wichtig.



### Anzahl der Stellplätze in Mehrfamilienhäusern

Um von der Anzahl der Mehrfamilienhäuser auf den erhöhten Leistungsbedarf durch Elektromobilität schließen zu können, ist neben der anzunehmenden Ladeleistung auch die Anzahl der E-Fahrzeuge notwendig. Diese kann über die Anzahl der Stellplätze, auf denen ein E-Fahrzeug zum Laden geparkt wird, abgeschätzt werden. Zur Abschätzung der möglichen Anzahl an Stellplätzen dient der sogenannte Stellplatzfaktor. Dieser gibt an, welcher Anteil der Wohneinheiten über einen eigenen Stellplatz verfügt. Ist der Stellplatzfaktor gleich eins, so hat jede existierende Wohnung genau einen Stellplatz. In der Realität liegt der Wert jedoch niedriger. Daher sollen zwei Szenarien zur Abschätzung der Stellplätze definiert werden:

**Szenario 1:** Obere Abschätzung unter der Annahme, dass der Stellplatzfaktor 1,0 beträgt.

**Szenario 2:** Realistische Abschätzung, welcher die wirkliche Verteilung der Stellplätze auf die Wohneinheiten berücksichtigt.

In **Szenario 1** beträgt die Anzahl der Stellplätze in Baden-Württemberg ca. 880.000 bei Stellplatzfaktor 1,0.

Die Abschätzung der Stellplätze bei **Szenario 2** ist hingegen schwieriger. Zwar sind in den Landesbauordnungen Stellplatzfaktoren definiert, diese haben jedoch aufgrund des Altbestands nur eine geringe Aussagekraft. Darüber hinaus kann eine Kommune über eine Stellplatzverordnung die Mindestanzahl an Stellplätzen für ein Mehrfamilienhaus, das neu errichtet wird, definieren. Diese Vorgaben variieren je nach Siedlungsdichte. Daher können nur vage Schätzungen vorgenommen werden. Basierend auf empirischen Untersuchungen wurde für das Versorgungsgebiet der Netze BW ein Stellplatzfaktor von 0,43 abgeschätzt, dies ergibt ein Potential von etwa 378.000 Stellplätzen.



## Erhöhter Leistungsbedarf durch Elektrifizierung

Durch die Installation von Ladeinfrastruktur in Mehrfamilienhäusern steigt der Leistungsbedarf, der bei der Stromversorgung durch das jeweilige Stromnetz berücksichtigt werden muss. Der Leistungszuwachs durch eine 100-prozentige Elektrifizierung der Mobilität kann auch in diesem Fall mit der oberen (Szenario 1) und der realistischen Abschätzung (Szenario 2) berechnet werden (siehe Seite 33).

Bei einer Ladeleistung von 11 kW je Ladepunkt und der Annahme von 880.000 Stellplätzen (vgl. Abschätzung auf Seite 33) erhöht sich der Leistungsbedarf im Versorgungsgebiet der Netze BW um etwa 9,7 GW. Vergleicht man diesen Wert mit der maximalen Anschlussleistung aller Mehrfamilienhäuser, ergibt sich ein Leistungszuwachs durch installierte Ladeinfrastruktur von 94 %.

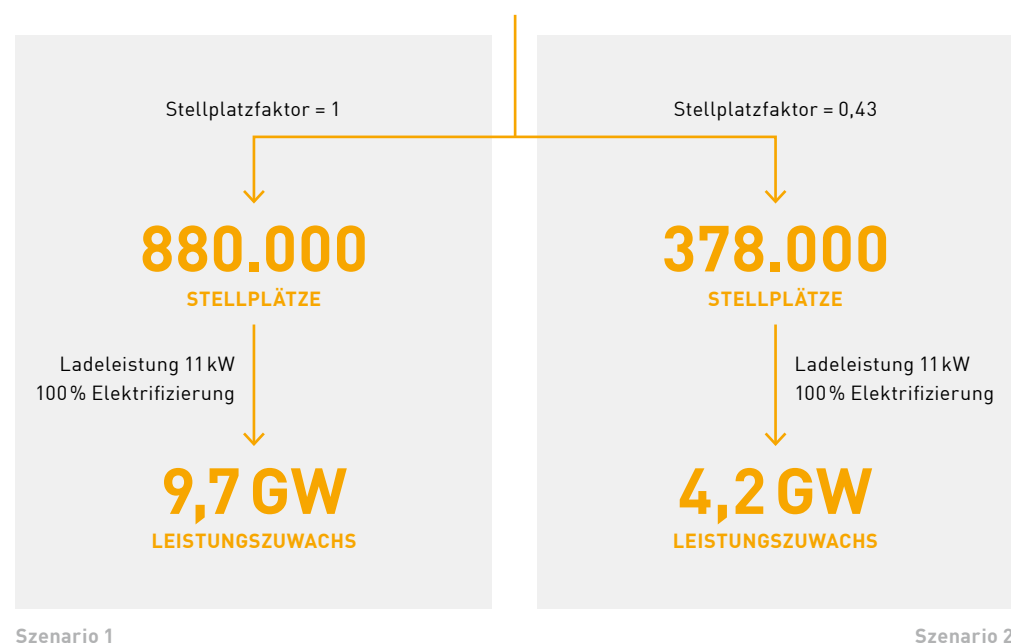
Mit der realistischen Abschätzung und der Anzahl von etwa 378.000 Stellplätzen im Netzgebiet ergibt sich bei derselben Versorgungsleistung von 11 kW pro Ladepunkt ein Zuwachs von etwa 4,2 GW Anschlussleistung. Verglichen mit der maximalen Anschlussleistung aller Mehrfamilienhäuser ergibt sich ein Mehrbedarf durch installierte Ladeinfrastruktur von ca. 37 %.

Diese Werte beruhen auf der Annahme, dass alle E-Fahrzeuge zur gleichen Zeit laden. Ein natürliches Ladeverhalten ist hierbei nicht berücksichtigt. Würde man das natürliche Ladeverhalten in die Berechnungen mit einbeziehen, würden sich die oben angegebenen Leistungen erheblich reduzieren. Eine wichtige Erkenntnis – nämlich, dass zu keinem Zeitpunkt alle E-Fahrzeuge gleichzeitig geladen haben – hat uns das Projekt geliefert. Hierzu folgen in den nächsten Kapiteln weitere Erläuterungen.



1 GW (Gigawatt)  
entspricht  
1 Million kW (Kilowatt)

### 160.000 MEHRFAMILIENHÄUSER MIT 880.000 WOHNHEITEN

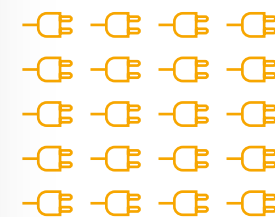


Szenario 1

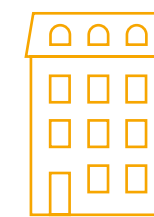
Szenario 2

## Anforderungen an die Immobilie

Um aus den rund 160.000 Mehrfamilienhäusern im Versorgungsgebiet der Netze BW die geeignete Liegenschaft auszuwählen, wurden drei Annahmen getroffen, aus denen sich die Kriterien für die Immobilie ableiten.



**Kriterium 1**  
20 LADEPUNKTE



**Kriterium 2**  
BESTANDSIMMOBILIE



**Kriterium 3**  
EIGENTÜMERGEMEINSCHAFT

**Annahme:** In größeren Mehrfamilienhäusern befinden sich viele E-Fahrzeuge an einem Standort in einer Tiefgarage.

**Kriterium 1:** Der Fokus wird auf eine hohe Konzentration an E-Fahrzeugen gelegt. Die Mindestanforderung für die Projektrealisierung sind 20 Ladepunkte, idealerweise sollen 30 Ladepunkte installiert werden. Die hohe Anzahl der Ladepunkte im Rahmen des Projekts ermöglichen die Betrachtung von Ladeinfrastruktur in größeren Mehrfamilienhäusern; aus den im Projekt gewonnenen Messdaten lassen sich jedoch auch Rückschlüsse auf kleinere Mehrfamilienhäuser ziehen.

Eine entsprechende Liegenschaft zu finden, die viele Stellplätze bietet um entsprechend viele Ladepunkte zu installieren, ist nicht einfach: Im Versorgungsgebiet der Netze BW weisen nur 5 % der Mehrfamilienhäuser mehr als zwölf Wohneinheiten auf. Von den insgesamt 160.000 Mehrfamilienhäusern trifft diese Anforderung folglich auf nur etwa 8.000 Gebäude zu. Dies schränkt den Kreis der möglichen Liegenschaften am stärksten ein.

**Annahme:** Im Gegensatz zu Neubauten, bei denen die Leitungswege frühzeitig geplant und Kabelquerschnitte dimensioniert werden können, muss die Elektroinstallation in einem Bestandsgebäude in den meisten Fällen ertüchtigt werden.

**Kriterium 2:** Das Projektvorhaben basiert auf dem Aspekt, die Netzintegration von Elektromobilität bei Mehrfamilienhäusern im Bestand zu untersuchen. Daher schreibt das zweite Kriterium eine Bestandsimmobilie vor.

**Annahme:** Abstimmung in geteiltem Eigentum können langwierig und mit Fallstricken versehen sein.

**Kriterium 3:** Es ist nicht nur wichtig, die Auswirkungen auf das Stromnetz zu untersuchen, sondern auch ein Prozessverständnis aufzubauen, welches auch die Schritte vor einer Netzanschlussanfrage beinhaltet. Besonderes Augenmerk soll hierbei auf Eigentümergemeinschaften gelegt werden, denn dort war die Hürde für die Installation von Ladeinfrastruktur am größten.



# PROJEKTZIELE

Wie ist das **Ladeverhalten der E-Pionier\*innen** und wie wirkt es sich auf das Stromnetz aus?

---

Welche **Rückwirkungen auf das Stromnetz** ergeben sich durch die Ladevorgänge?

---

Wie muss der **Netzanschluss einer Wohnanlage** dimensioniert sein, damit eine große Anzahl von E-Fahrzeugen geladen werden kann?

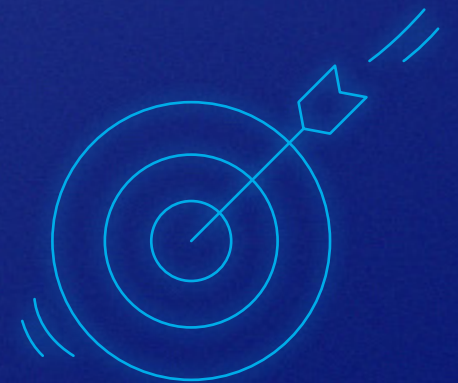
Kann durch den **Einsatz von verschiedenen Lademanagementsystemen** eine Überlastung des Niederspannungsnetzes verhindert werden?

---

Wie wirksam ist der Einsatz eines Batteriespeichers zur **Vermeidung von Lastspitzen** am Netzanschlusspunkt?

---

Wie hoch ist die **Akzeptanz der Projektteilnehmer\*innen** für ein Lademanagementsystem und einen Batteriespeicher?





## Die Wohnanlage Pura Vida wird zur Blaupause der elektrischen Tiefgarage

### Standort und Netztopologie

Eine moderne Wohnanlage in Tamm im Großraum Stuttgart wird zum Dreh- und Angelpunkt des NETZlabors E-Mobility-Carré. Das Bestandsgebäude mit sechs Mehrfamilienhäusern, einigen Doppelhaushälften und einer gemeinschaftlich genutzten Tiefgarage mit 85 Stellplätzen bietet optimale Voraussetzungen für die Realisierung des Feldversuchs. Für solche Umgebungen in der Nähe von urbanen Ballungsräumen wird in naher Zukunft eine rasche und hohe Zunahme an E-Fahrzeugen prognostiziert.



Die Netztopologie am Standort ist ebenfalls ideal beschaffen: Das Stromnetz ist ausreichend dimensioniert und verfügt über genügend Restkapazitäten, um die E-Fahrzeuge des Feldversuchs optimal mit Strom versorgen zu können. Zudem bietet die nahegelegene Ortsnetzstation mit Transformator die Möglichkeit, einen separaten Netzanschluss (siehe Seite 46) zu legen. Am Transformator, welcher die Spannung von Mittelspannung (20.000 V) auf Niederspannung (400 V) umwandelt, ist ausreichend Leistungsreserve vorhanden, so dass die Betriebsmittel hier nicht verstärkt werden müssen. Dies spart zum einen Zeit bei der Umsetzung des Projekts, da nicht erst das Stromnetz ausgebaut werden muss. Zum anderen ist jedes Mehrfamilienhaus der Wohnanlage Pura Vida mit einem eigenen Anschluss mit dem Stromnetz verbunden. Dies ermöglicht dem Projektteam, Rückschlüsse auf kleinere Wohnanlagen zu ziehen, denn nicht jedes Mehrfamilienhaus ist zwangsläufig so groß wie Pura Vida.

Ein weiterer Vorteil ist die räumliche Nähe der Ortsnetzstation zur Wohnanlage. In dieser Ortsnetzstation ist der Transformator sowie die Schutztechnik und die Abgänge für die Stromkabel zu den jeweiligen Straßen untergebracht. Hierdurch kann die zukünftige Ladeinfrastruktur in der Tiefgarage mit wenig Aufwand direkt aus der Ortsnetzstation versorgt werden. Dieser Sonderfall soll im Rahmen des Projekts im Detail untersucht werden. Damit waren auch die Voraussetzungen für einen sogenannten ‚separaten Netzanschluss‘ erfüllt. Hierzu mehr in Kapitel Installation ab Seite 46.





STROMKABEL

STROMKABEL

ORTSNETZSTATION

NETZANSCHLUSSPUNKT

GRUNDSTÜCKSGRENZE PURA VIDA

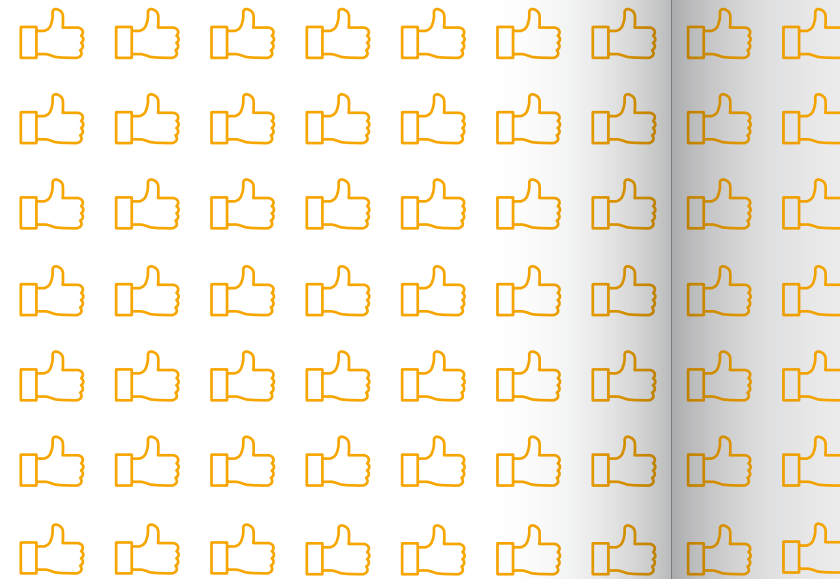


## Eigentümerversammlung und rechtliche Herausforderung

Räumlich und technisch gesehen erfüllt die Wohnanlage Pura Vida in Tamm alle Voraussetzungen für die Realisierung des NETZlabors E-Mobility-Carré. Doch damit waren die Projektvorbereitungen noch nicht abgeschlossen: Mit insgesamt 63 Eigentümer\*innen ist die Tiefgarage der Wohnanlage in geteiltem Besitz. Neben den oben genannten Rahmenbedingungen ist die mehrheitliche Zustimmung zum Projektvorhaben und zu den baulichen Maßnahmen durch die Eigentümergemeinschaft eine weitere Grundvoraussetzung. Denn vor dem 1. Dezember 2020 mussten Eigentümergemeinschaften dem Bau von Ladeinfrastruktur in gemeinsam genutzten Tiefgaragen zustimmen – und zwar einstimmig. Durch die im Dezember 2020 in Kraft getretene Änderung des Wohnungseigentumsmodernisierungsgesetzes (WE-MoG) [10] wird die Hürde, Ladeinfrastruktur in Mehrfamilienhäusern zu installieren, deutlich gesenkt (siehe Infobox).

Hierbei ist es vor allem wichtig, Beiräte, Vertreter\*innen der Eigentümergemeinschaft und Hausverwaltung in Gesprächen vorab an „einen Tisch zu bringen“, um eine gemeinsame Grundlage für die Eigentümerversammlung zu schaffen. Ein Kraftakt und wichtiger Meilenstein, der nicht zu unterschätzen ist.

Das Interesse der Eigentümer\*innen – den zukünftigen E-Pionier\*innen – bei der Gestaltung der zukünftigen Stromnetze zu unterstützen, war enorm. Das war der ausschlaggebende Punkt, die Mindestanforderung der Installation von 20 Ladepunkten auf 58 Ladepunkte zu erhöhen.



**Vor dem 1. Dezember 2020 mussten Eigentümergemeinschaften dem Bau von Ladestationen in gemeinsam genutzten Tiefgaragen zustimmen – und zwar einstimmig. Mittlerweile genügt eine einfache Mehrheit der Stimmen. Zusätzlich greift das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) [11] das Thema „Privates Laden“ auf und schreibt die Vorbereitung von Stellplätzen für Lademöglichkeiten in Neubauten und bei größeren Sanierungsmaßnahmen in Bestandsgebäuden vor. Beide gesetzlichen Maßnahmen tragen zu einem Hochlauf der Elektromobilität bei – insbesondere in Mehrfamilienhäusern und Mietverhältnissen. Eine steigende Nachfrage nach kundenfreundlichen Lösungen zur Integration von Elektromobilität in Mehrfamilienhäusern ist zu erwarten.**

## Forschungspartner

Der Feldtest enthält viele Testszenarien, welche wissenschaftlich begleitet werden. Neben der Vorbereitung der Testszenarien unterstützen daher gleich zwei Universitäten das E-Mobility-Carré in der Datenauswertung und Ausarbeitung der Erkenntnisse:

### Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Das Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik (IEH) ist Teil der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Modellierung, Optimierung und Steuerung von intelligenten Verteil- und Transportnetzen und der Verbesserung von Betriebsmitteln. Das IEH analysiert für das NETZlabor E-Mobility-Carré die Gleichzeitigkeit und die Dimensionierung des installierten Batteriespeichers.

#### Die wissenschaftliche Begleitung im Detail:

- › Berechnung der notwendigen Ladeleistung und Energiekapazität des zentralen Batteriespeichers
- › Simulation des Betriebs des Batteriespeichers zur Festlegung eines Fahrplans sowie einer Leistungsgrenze
- › Analyse der Messwerte aus den Testphasen und Vergleich mit den simulativen Ergebnissen

### Technische Universität Dresden (TUD)

Das Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH) der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik an der TUD beherbergt die Arbeitsgruppe „Power Quality“, mit welcher die Netze BW seit einigen Jahren zusammenarbeitet. Sie analysiert und bewertet die Spannungsqualität nach EN 50160, die Oberschwingungsemission nach VDE AR-N 4100, die Überlagerung mehrerer Emissionsquellen, höherfrequente Spannungen bzw. Ströme einschließlich der Dämpfung der Ströme auf Niederspannungskabel, neuartige Oberschwingungsbeiträge, Oberschwingungsresonanz und erprobt neue Messmethoden zur Erfassung von höherfrequenten Spannungen und Strömen.

#### Die wissenschaftliche Begleitung im Detail:

- › Langzeitmessungen der Ströme und Spannungen der gesamten Ladeinfrastruktur sowie einzelner Unterverteilungen
- › Auswertung der Spannungsqualität nach EN 50160
- › Bewertung der Oberschwingungsemission nach VDE AR-N 4100 und der Überlagerung mehrerer Emissionsquellen

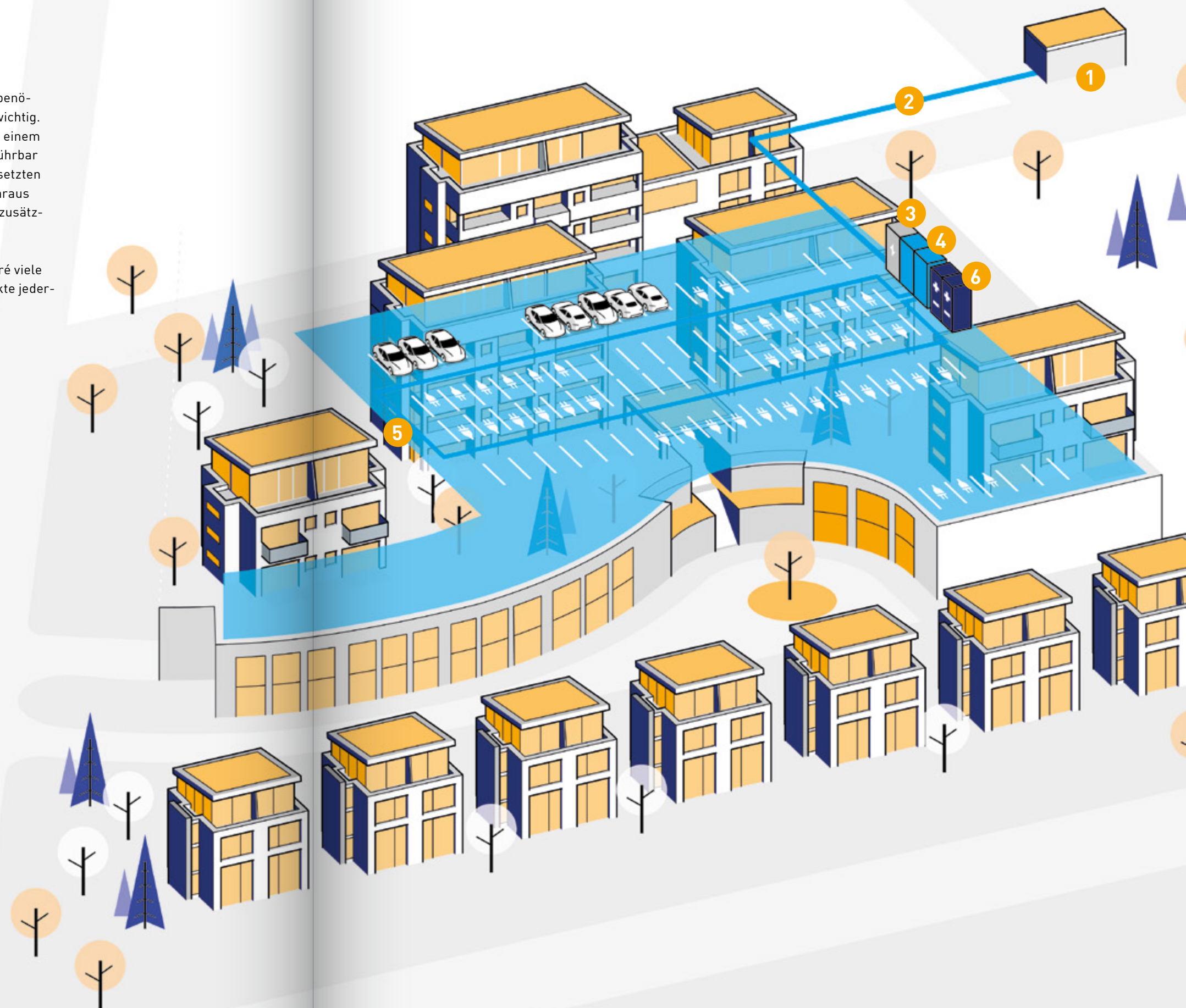


# INSTALLATION

Bei der Installation der Ladeinfrastruktur und den für den Aufbau benötigten technischen Komponenten ist die praxisnahe Planung sehr wichtig. Sprich, der vollständige Aufbau der Ladeinfrastruktur erfolgt nach einem Prinzip, das so in jedem herkömmlichen Mehrfamilienhaus durchführbar ist. Um Daten und Ergebnisse zu Lademanagement, speziell eingesetzten technischen Lösungen und dem Ladeverhalten zu gewinnen und daraus wichtige Erkenntnisse abzuleiten, wird speziell für das NETZlabor zusätzliche Messtechnik installiert.

Insgesamt werden bei den Installationsarbeiten im E-Mobility-Carré viele Kabel verlegt, so dass für alle technischen Einheiten und Ladepunkte jederzeit ausreichend Strom und Datensignale fließen können.

- 1 Ortsnetzstation
- 2 Separater Netzanschluss
- 3 Elektroverteilung
- 4 Ladeinfrastruktur mit intelligentem Lademanagement
- 5 58 Ladepunkte
- 6 Batteriespeicher





**Separater Netzanschluss 2**

Die Netze BW hat für das Projekt vorsorglich zwei neue Versorgungskabel aus der nahegelegenen Ortsnetzstation ① in die Tiefgarage gelegt. Diese liegen auf der einen Seite direkt an der Niederspannungsverteilung der Ortsnetzstation und auf der anderen Seite im Anschlusskasten der Ladeinfrastruktur. Die Versorgung über diesen separaten Netzanschluss mit 124 kW wurde gewählt, um ausreichend Flexibilität für die geplanten Testszenarien zu haben. Das ist jedoch weder bei Netze BW noch bei anderen Verteilnetzbetreibern ein Standardvorgehen und es bedarf stets einer Einzelfallprüfung. Das eingesetzte Lademanagement verringert allerdings den Leistungsbedarf und somit die Auswirkungen auf das Stromnetz. Zusätzlich ist ein von außen zugänglicher Messwandlerschrank installiert, in dem der Stromzähler eingebaut ist.

Die Dimensionierung des separaten Netzanschlusses basiert auf den Anforderungen der Immobilie, in welcher das Projekt umgesetzt werden kann. Zudem soll je Ladepunkt mit einer Leistung von bis zu 11 kW geladen werden können. Dies ergibt eine nominelle Anschlussleistung von 330 kW.

Aus den Erfahrungen vorangelaagerter Projekte wie dem NETZlabor E-Mobility-Allee in Ostfildern wird eine Gleichzeitigkeit von 1 – d.h. wenn alle Ladepunkte die maximale Leistung bereitstellen – in der Praxis nicht

erreicht. Vielmehr wurde in der E-Mobility-Allee die maximale Gleichzeitigkeit von 0,5 verzeichnet. Da im E-Mobility-Carré deutlich mehr Ladepunkte installiert sind, wird der sogenannte Gleichzeitigkeitsfaktor reduziert und auf 0,3 gesetzt. Hieraus ergibt sich die erforderliche Kapazität des separaten Netzanschlusses von 124 kW. Ohne das Lademanagementsystem müsste die maximale Anschlussleistung auf 638 kW ausgelegt werden, was wiederum einer Gleichzeitigkeit von 1 entspräche.

**Elektroverteilung 3**

Die Elektroverteilung bildet das Herzstück der Anlage. In dieser wird die Energie, welche über den separaten Netzanschluss bezogen wird, an die Ladeinfrastruktur und die Batteriespeicher verteilt. Ebenso sind in der Elektroverteilung Leitungsschutzschalter und weitere Schutztechnik enthalten, um einen sicheren Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Die Elektroverteilung erfüllt im Grunde die gleiche Funktion eines Sicherungskastens in einer Wohnung – ist aufgrund der höheren Leistungsklasse jedoch etwas größer.



Der Messwandlerschrank ist der Übergabepunkt zwischen dem Stromnetz und der Elektroinstallation in der Tiefgarage. Dort verbaut ist auch der Stromzähler, welcher die geflossene Energiemenge erfasst.

**Ladeinfrastruktur mit intelligentem Lademanagement 4**

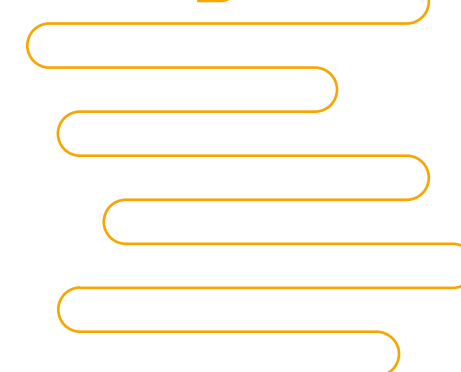
Jeder der 58 Ladepunkte ⑤ wird mit einer Ladeleistung von bis zu 11 kW versorgt. Die Ladelösung beinhaltet zusätzlich drei Schaltschränke, die das Herzstück der Ladeinfrastruktur bilden. In diesen befindet sich die komplette Technik. Auch die Messungen der Ladezeiten sowie der Stromstärken und Spannungsniveaus für die einzelnen Ladepunkte findet hier statt. Jeder Schaltschrank kann über einen verbauten elektrischen Schalter acht Ladepunkte gleichzeitig mit Leistung versorgen. Über insgesamt sechs Ladeterminals können die E-Pionier\*innen den Ladevorgang mittels eines RFID-Chips starten. In den Schaltschränken der Ladeinfrastruktur ist auch das intelligente Lademanagement integriert. Dieses bildet die Grundlage für viele der im Projekt betrachteten Testszenarien.

**Batteriespeicher 6**

Neben einer Versorgung über das vorge-lagerte Niederspannungsnetz stehen zwei identische Energiespeicher mit je 18 kW Leistung bei jeweils 19 kWh Kapazität zur Verfügung, um bei Lastspitzen zusätzliche Leistung bereitzustellen und so den Leistungsbedarf des Netzanschlusses aus dem Stromnetz zu reduzieren. Die Speicher sind virtuell zusammengeschaltet, so dass diese sich wie ein System verhalten.

# WUSSTEN SIE, DASS ...

für das E-Mobility-Carré  
**11 km Kabel** verlegt wurden?





← 11 km Kabel →

3 Elektroverteilung

4 Ladeinfrastruktur

6 Batteriespeicher

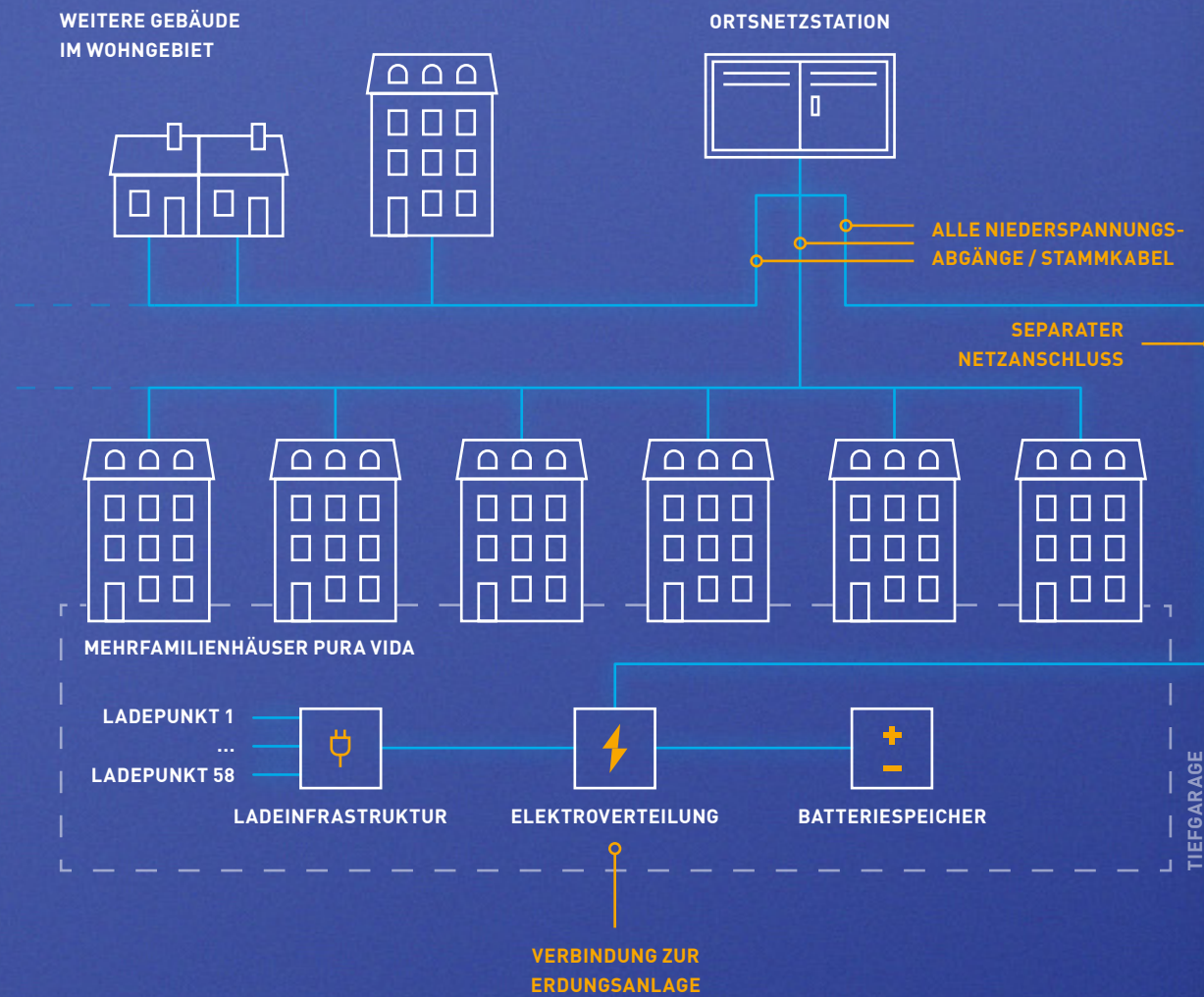


5 Ladepunkt

Ladeterminal

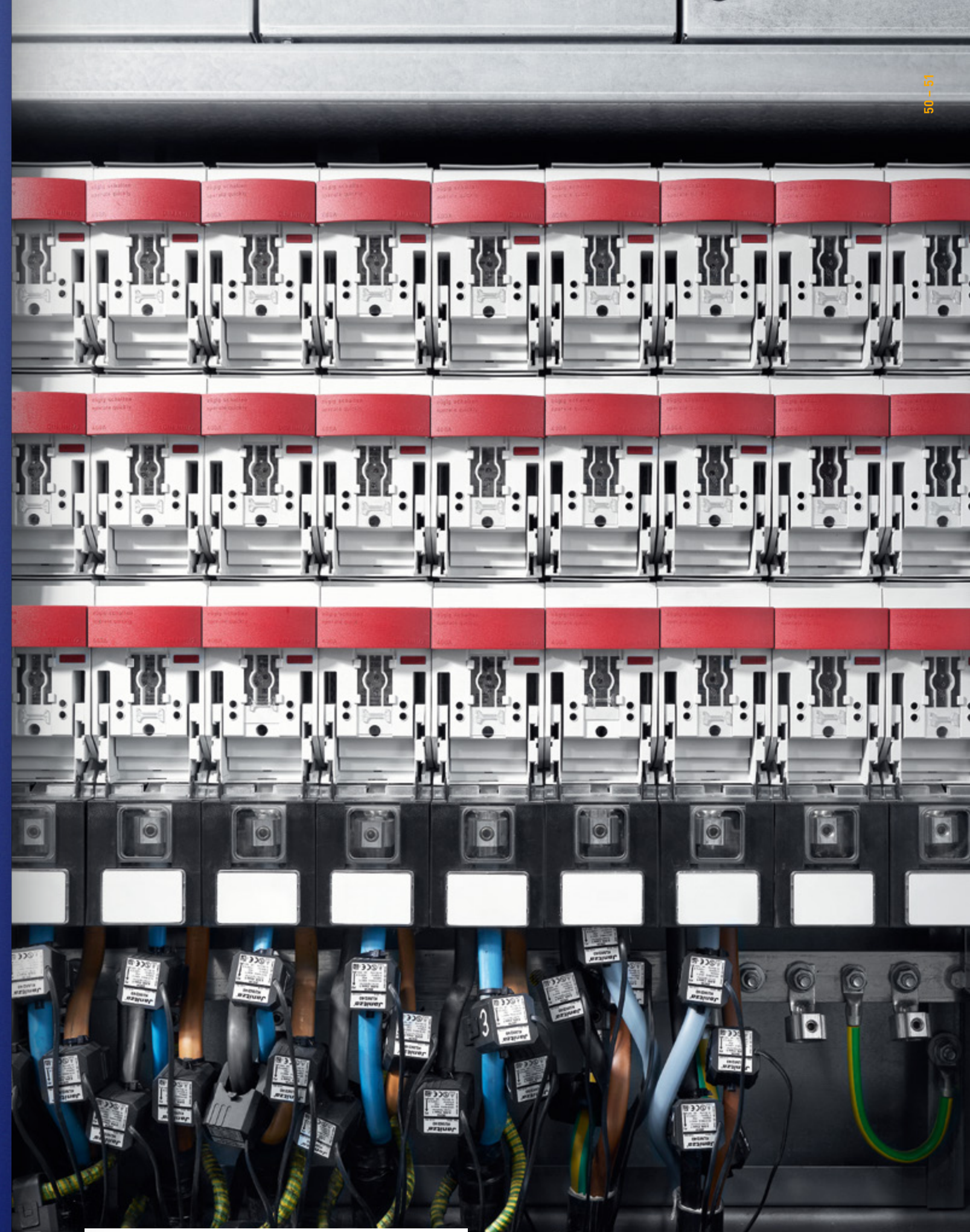


# Schematischer Aufbau E-Mobility-Carré



An den wesentlichen Stellen des Systemaufbaus wird für das Projekt Messtechnik installiert. Mit dieser werden elektrotechnische Daten wie Strom, Spannung und Leistung aufgezeichnet, aber auch Daten zum Ladeverhalten der E-Pionier\*innen. Hierbei kommen sowohl stationäre Messsysteme zum Einsatz, welche über den gesamten Projektzeitraum Daten aufzeichnen, als auch Messtechnik, welche temporär zur Untersuchung einzelner Fragestellungen installiert wird.

Die Messtechnik ist mittels LTE-Router mit dem Internet verbunden, so dass die Messdaten automatisch in Datenbanken abgelegt werden. Dies ermöglicht später eine schnelle und unkomplizierte Auswertung der Messdaten.



1 Messtechnik in Ortsnetzstation



# FAHRZEUGÜBERGABE

Mit der Übergabe der 45 E-Autos an die Projektteilnehmer\*innen beginnen die Testphasen des NETZlabors. Für viele unserer frisch gebackenen E-Pionier\*innen absolutes Neuland, hatten sie zuvor meist noch wenige bis gar keine Berührungspunkte mit Elektromobilität. Daher stand am 7. Dezember 2019 neben dem feierlichen Rahmenprogramm vor allem die Einweisung in die E-Fahrzeuge und in die Ladeinfrastruktur an diesem Tag im Vordergrund. Alle wichtigen Informationen rund um das Laden zu Hause und von unterwegs aus wurden ausführlich erläutert, wichtige Fragen rund um das Thema E-Auto geklärt. Die E-Pionier\*innen konnten in das Abenteuer Elektromobilität starten – mit dem Plan, für die nächsten 16 Monate die Verbrennerfahrzeuge stehen zu lassen und sich komplett auf das Erlebnis Elektromobilität einzulassen.



Die E-Pionier\*innen treffen in EnBW City ein, um ihre E-Fahrzeuge entgegenzunehmen.



Ordnung muss sein: Alle wichtigen Formalien werden vor Übergabe der E-Fahrzeuge geklärt.

Bei der Fahrzeugübergabe am 7. Dezember 2019 nehmen die E-Pionier\*innen ihre E-Autos auf der Piazza des Netze BW Firmengebäudes entgegen.



## E-Fahrzeuge

### Pura Vida fährt elektrisch

Für das E-Mobility-Carré stellt die Netze BW den E-Pionier\*innen 24 VW E-Golf und 21 BMW i3 zur Verfügung. Die E-Fahrzeugmodelle wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen Ladeleistungen und ihrer Verfügbarkeit am Markt ausgewählt. Zusätzlich nehmen einige E-Pionier\*innen mit eigenen E-Fahrzeugen am Praxistest teil – daher hat die Netze BW 58 Ladepunkte in Pura Vida installiert.



### VW e-Golf

Der VW E-Golf lädt zweiphasig mit 7,2 kW. Damit belastet er nur zwei der drei leitenden Phasen des Stromnetzes. Laden mehrere E-Autos auf denselben Phasen, kommt es zu einer asymmetrischen Belastung im Stromnetz. Dies ist jedoch nur bis zu einer Schiefast von 4,6 kVA zulässig und stellt für das Lademanagement eine zusätzliche Anforderung dar.

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| <b>BATTERIEKAPAZITÄT</b> | 35,8 kWh    |
| <b>LADELEISTUNG</b>      | 7,2 kW (AC) |
| <b>LADEVERHALTEN</b>     | zweiphasig  |
| <b>ALLTAGSREICHWEITE</b> | ca. 200 km  |



### BMW i3

Der BMW i3 hat mit 11 kW eine für Elektroautos übliche Ladeleistung. Dennoch ist auch dieses E-Fahrzeug ein weiterer Großverbraucher und – besonders wenn mehrere E-Fahrzeuge gleichzeitig laden – eine Herausforderung für das Stromnetz.

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| <b>BATTERIEKAPAZITÄT</b> | 33 kWh     |
| <b>LADELEISTUNG</b>      | 11 kW (AC) |
| <b>LADEVERHALTEN</b>     | dreiphasig |
| <b>ALLTAGSREICHWEITE</b> | ca. 200 km |

# WUSSTEN SIE, DASS...

## die E-Fahrzeuge in unserem Projekt mit maximal 11 kW laden können?

Das entspricht etwa 6 gleichzeitig laufenden Wasserkochern – mit dem Unterschied, dass Wasserkocher nur etwa 3 Minuten in Betrieb sind. E-Autos hingegen sind mit bis zu 200 Minuten Ladedauer eine Dauerbelastung.





## Ladeverhalten der E-Pionier\*innen

### Natürliches Ladeverhalten

Um herauszufinden, wie der Netzanschluss einer Wohnanlage dimensioniert sein muss, wenn künftig 58 E-Fahrzeuge – im Extremfall gleichzeitig – in einer gemeinsam genutzten Tiefgarage geladen werden, ist es wichtig, sich das natürliche Ladeverhalten der Projektteilnehmer\*innen genau anzuschauen. Denn zusätzlich zu den üblichen Haushaltsverbrauchern wie Ofen, Herd oder Waschmaschine wirkt sich das Laden von E-Fahrzeugen stärker auf das Stromnetz aus. Bedeutet in der Praxis: Zu Zeiten, in denen alle oder die meisten Projektteilnehmer\*innen ihre E-Autos zur gleichen Zeit laden möchten, kann sich der Leistungsbedarf schnell aufsummieren und es können Belastungsspitzen im Stromnetz entstehen. Um eine Grundlage für die anstehende Testphase und die Entwicklung von technischen Lösungsansätzen zur Verbesserung des Netzzustandes zu schaffen, wird daher zu Beginn des Projekts erst einmal das natürliche Lade- und Nutzungsverhalten der E-Pionier\*innen ohne Einsatz von technischen Komponenten wie Batte-

riespeicher oder Lademanagementsysteme betrachtet. Dieses natürliche Nutzungsverhalten soll die Auswirkungen des uneingeschränkten Ladens auf das Stromnetz zeigen und somit wichtige Erkenntnisse auf die natürliche Gleichzeitigkeit liefern. Die daraus resultierenden Daten dienen im weiteren Projektverlauf als Basis bei der Betrachtung der Gleichzeitigkeit und erlauben interessante Rückschlüsse auf das natürliche Lade- und Nutzungsverhalten. Hierfür wird den Projektteilnehmer\*innen am Anfang des Projekts für einen definierten Zeitraum die volle Kapazität des separaten Netzanschlusses zur Verfügung gestellt, um in diesem Zeitraum mit der maximal möglichen Leistung laden zu können.



Die Gleichzeitigkeit beschreibt die Anzahl der gleichzeitig ladenden E-Fahrzeuge bezogen auf die Gesamtzahl der installierten Ladepunkte im E-Mobility-Carré.



**Am NETZlabor E-Mobility-Carré nehmen 48 Haushalte teil:** Familien mit Kindern, jüngere Paare und Rentner\*innen. Sie alle nutzen ihr E-Fahrzeug komplett unterschiedlich: Für kürzere Strecken wie die Fahrt zur Arbeit oder zum Einkaufen aber auch für längere Distanzen wie Ausflüge und Urlaube. Entsprechend breit gestreut ist das Spektrum der Fahrprofile. Zudem sind das Vorwissen über die Elektromobilität sowie die praktische Erfahrung mit einem Elektrofahrzeug sehr unterschiedlich.



Spannende Erkenntnisse zu Netz und Kund\*in

Die durchschnittliche Gleichzeitigkeit in Abhängigkeit von der Uhrzeit für Werktage (Montag bis Freitag) sowie an Wochenenden (Samstag und Sonntag) wird in Abbildung 2 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass die E-Fahrzeuge beim natürlichen Laden an allen Tagen der Woche vorwiegend in den Abendstunden zwischen 18:00 und 22:00 Uhr mit einer mittleren Ladedauer von 2,5 Stunden geladen werden. Hierbei sind jedoch die Werktage im Vergleich zum Wochenende stärker ausgeprägt.

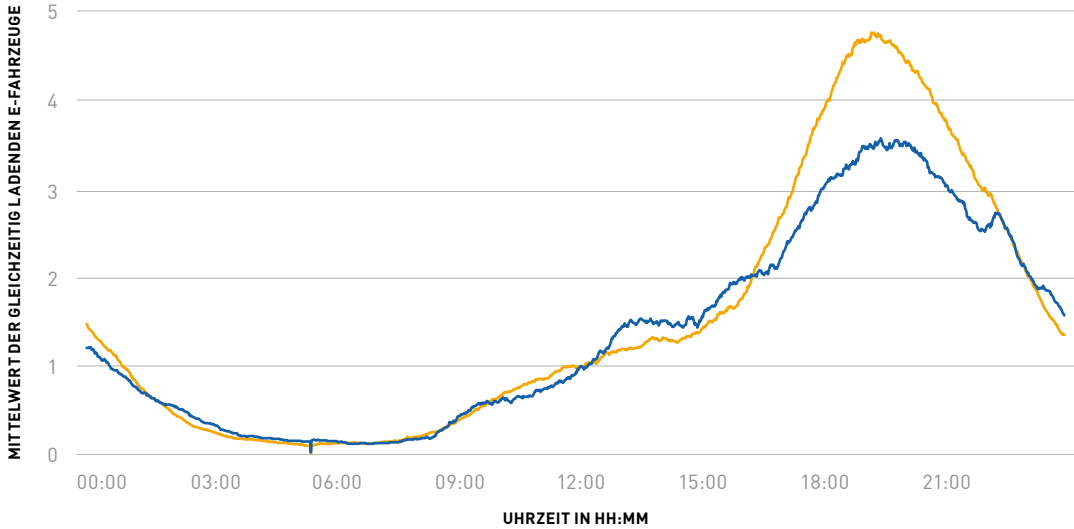


Abbildung 2: Gleichzeitig ladende E-Fahrzeuge im gesamten Projektzeitraum in Abhängigkeit von der Uhrzeit

Werktag (Mo-Fr) —  
Wochenende (Sa-So) —

Auch wenn der Mittelwert der Gleichzeitigkeit bei 58 Ladepunkten mit knapp 5 gleichzeitig ladenden E-Fahrzeugen sehr gering erscheint, ist die Betrachtung der maximal gleichzeitig ladenden E-Fahrzeuge umso interessanter: Im gesamten Projektzeitraum haben nie mehr als 13 E-Fahrzeuge gleichzeitig geladen, was einer Gleichzeitigkeit von 22,4% entspricht. In über 42% der Projektzeit hat gar kein E-Fahrzeug geladen (siehe Tabelle rechts).

Bei 13 gleichzeitig ladenden E-Fahrzeugen beträgt die maximale Auslastung des separaten Netzanschlusses 98kW. Beide Werte stellen das Allzeithoch dar.

| ANZAHL E-FAHRZEUGE | HÄUFIGKEIT |
|--------------------|------------|
| 0                  | 42,1 %     |
| 1 - 2              | 31,5 %     |
| 3 - 4              | 12,4 %     |
| 5 - 6              | 7,6 %      |
| 7 - 8              | 3,8 %      |
| > 8                | 2,6 %      |

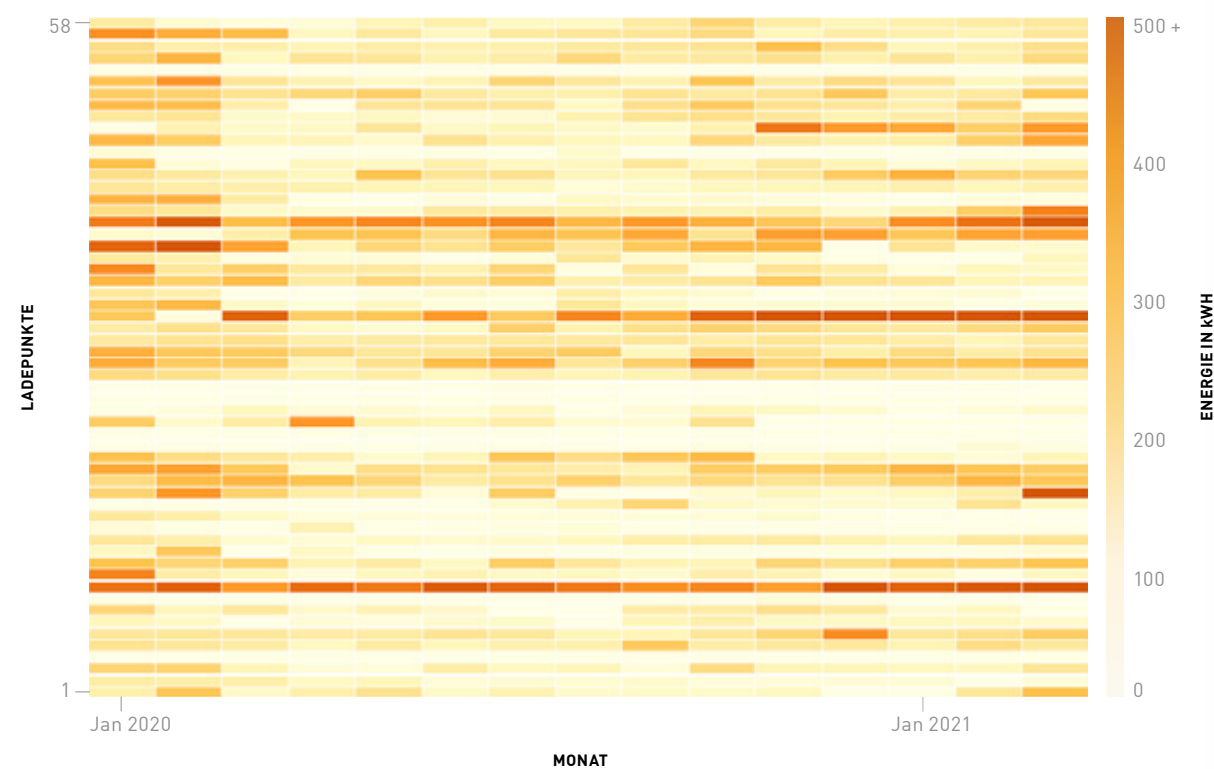
Häufigkeit der gleichzeitig ladenden E-Fahrzeuge





Das Nutzungs- und Ladeverhalten der E-Fahrzeuge durch die E-Pionier\*innen hängt sehr stark von den persönlichen Umständen ab und ist folglich heterogen. Neben Vielfahrer\*innen sind auch E-Pionier\*innen vertreten, die das E-Auto und somit den Ladepunkt nur selten nutzen. Entsprechend ergibt sich ein buntes Mobilitätsverhalten, welches sich in den Leistungsbezügen widerspiegelt. In Abbildung 3 wird die geladene Energie der Ladevorgänge in Abhängigkeit des jeweiligen Monats und Ladepunkts veranschaulicht. Zudem ist ersichtlich, dass das Mobilitätsverhalten im Frühjahr aufgrund des ersten, pandemiebedingten Covid-19-Lockdowns und den damit verbundenen Home-Office-Verordnungen und Reisebeschränkungen zurückging.

In der zweiten Jahreshälfte 2020 kehrt das Ladeverhalten auf sein Anfangsniveau zurück und ähnelt dem Ladeverhalten zu Beginn des Projekts. Generell lässt sich aus den Daten ableiten, dass das Vertrauen der E-Pionier\*innen in die Elektromobilität im Laufe des Projekts merklich zunimmt. Die nachgeladene Energie pro Ladevorgang erhöhte sich mit der Zeit. Gleichzeitig nimmt die Anzahl der Ladevorgänge ab. Dieses gegenläufige Verhalten lässt auf einen Gewöhnungseffekt schließen, welches sowohl in persönlichen Interviews mit E-Pionier\*innen, als auch in gezielten Umfragen in weiteren NETZlaboren zum Thema Netzintegration Elektromobilität bestätigt wird.



**Abbildung 3:** Das Ladeverhalten der E-Pionier\*innen, gemessen in geladenen Energiemengen pro Monat und Ladepunkt

Die Auswertungen der Messdaten zeigen deutlich, dass Elektrofahrzeuge im privaten Umfeld üblicherweise längere Standzeiten und entsprechend auch mehr Zeit zum Laden zur Verfügung haben als sie eigentlich benötigen würden, um komplett geladen zu sein. Hierdurch ergibt sich Flexibilität, Ladevorgänge durch Lademanagement intelligent zu steuern.

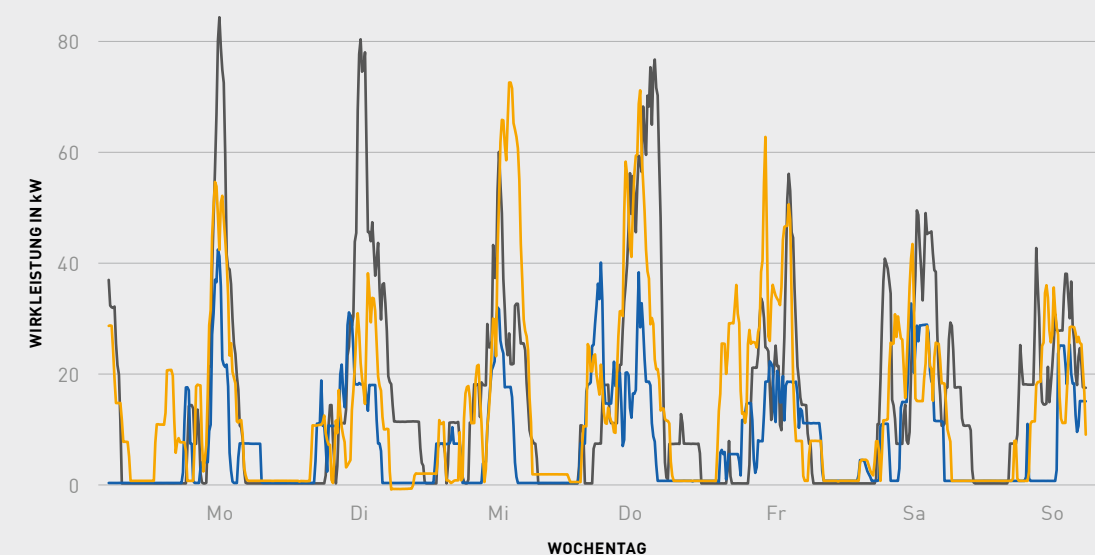
## Einfluss der Coronapandemie

Die Verbreitung des SARS-CoV-2 Erregers betrifft alle Bereiche des öffentlichen sowie privaten Lebens – so auch das NETZlabor E-Mobility-Carré. Während im Januar und Februar 2020 noch ein „normales“ Leben mit uneingeschränkter Mobilität möglich ist, verändert sich diese „Selbstverständlichkeit“ schlagartig und einschneidend durch den Lockdown im März 2020. Dieser Einschnitt ist im Projekt unter anderem in den deutlich reduzierten Leistungsspitzen zu erkennen. Beträgt die Leistungsspitze zu Jahresbeginn noch 98 kW, fällt sie im März 2020 auf 68 kW ab. Im weiteren Projektverlauf normalisiert sich das Mobilitätsverhalten auf das Niveau wie vor der Pandemie und es sind wieder Leistungsspitzen von 90 kW zu messen.

Exemplarische, typische Leistungsverläufe für unterschiedliche Zeiträume zeigt Abbildung 4. Hier wird unterschieden in folgende Zeitabschnitte des Jahres 2020: vor, während und nach dem ersten Lockdown im März. Deutlich zu erkennen ist der

niedrigere Wirkleistungsbezug während des Lockdowns im März. Die geladenen Energiemengen, welche zu den Leistungsverläufen zum Jahresanfang und -ende in 2020 gehören, sind jedoch sehr ähnlich. Diese betragen 2.550 kWh bzw. 2.380 kWh zum Jahresende. Zum Vergleich: In der Beispielwoche während des beschriebenen Lockdowns werden 1.260 kWh Energie bezogen.

Neben der Leistung und Energie werden zudem die Gesamtfahrstrecken der E-Pionier\*innen im Jahr 2020 betrachtet. Diese betragen durchschnittlich etwa 13.200 km. Hierbei fließen die Kilometerstände der von der Netze BW zur Verfügung gestellten E-Fahrzeuge ein. Die durchschnittliche Fahrleistung aller Bewohner\*innen in Baden-Württemberg beträgt hingegen 11.590 km in 2019 [12]. Aus allen drei Betrachtungen lässt sich schließen, dass die erhobenen Messdaten weiterhin eine Aussagekraft haben und sich hieraus die weiteren Erkenntnisse ableiten lassen.



**Abbildung 4:** Veränderung der Wirkleistung vor Covid-19 zu Jahresbeginn 2020, im Covid-19-Lockdown im März 2020 sowie zum Jahresende 2020

Vor dem 1. Lockdown —  
Im 1. Lockdown —  
Späterer Verlauf Covid-19 —



# Gesteuertes Laden von E-Fahrzeugen: Anwendungsfälle von Lademanagement

Ein Lademanagementsystem sorgt im Kontext Mehrfamilienhaus dafür, dass einerseits die maximal zur Verfügung stehende Leistung optimal verteilt wird, andererseits aber Lastspitzen im Stromnetz vermieden werden. In dem die am Standort zur Verfügung stehende Leistung optimal verteilt wird, kann ein Lademanagementsystem gezielt Ladevorgänge steuern. Hierbei kann zwischen folgenden Anwendungsfällen unterschieden werden:

## Netzverträgliches Laden

In diesem Anwendungsfall stellt der\*die Kund\*in eigenständig sicher, dass seine zugesicherte Anschlussleistung nicht überschritten wird. Meist wird hierbei ein Lademanagementsystem eingesetzt, mit dem der Leistungsbezug überwacht und im Bedarfsfall optimiert wird. Dieses Lademanagementsystem kann auch verwendet werden, um die notwendige Anschlussleistung zu minimieren. Aber auch mittels Batteriespeicher kann die Einhaltung der Anschlussleistung sichergestellt werden. Im E-Mobility-Carré wird hierbei sowohl der Einsatz des Lademanagements als auch des Batteriespeichers im Detail untersucht.

## Netzdienstliches Laden

Empfängt das installierte Lademanagement Steuersignale von einem Verteilnetzbetreiber, so spricht man vom netzdienstlichen Laden. Die Steuersignale werden durch das Lademanagement umgesetzt und dienen dazu, das Stromnetz gezielt im Bedarfsfall zu entlasten. Dies ermöglicht das Laden vieler E-Fahrzeuge in einem Straßenzug, ohne dass es zu lokalen Netzengpässen kommt. Das netzdienstliche Laden hat außerdem zwei weitere Vorteile: Zum einen kann die Aufnahmekapazität von E-Fahrzeugen in das bestehende Stromnetz erhöht werden, um den Kund\*innen so schnell einen Netzanschluss zu gewährleisten und eine „E-Mobilität-Grundversorgung“ zu bieten. Zum anderen erhält der Verteilnetzbetreiber die notwendige Zeit um zukunftsicheren und nachhaltigen Netzausbau zu betreiben.

Das Steuersignal kann in zwei Formen ausgeprägt sein: Als statisches Lastfenster und als dynamisches Signal. Für beide Formen wurden in diesem NETZlabor die Auswirkungen auf das Stromnetz analysiert.

## Marktorientiertes Laden

Bei schwankenden Preisen für die Energie- und Netznutzung kann ein marktorientiertes Lademanagement zum Einsatz kommen. Die Steuerung der Ladevorgänge basiert somit auf einem marktbasierten und zeitvariablen Preissignal. Dies wiederum kann Netzengpässe verursachen, da bei niedrigen Kosten die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass viele Anwohner\*innen einer Straße ihr E-Fahrzeug zu einem bestimmten Zeitpunkt gleichzeitig laden möchten.

## Systemdienstliches Laden

Die gesamten Stromnetze in Europa sind miteinander vernetzt. Um die Systemstabilität in diesen Verbundnetzen zu gewährleisten, können im vierten Anwendungsfall systemdienstliche Steuersignale an die Ladeinfrastruktur gesendet werden, um das Gleichgewicht aus Stromerzeugung und Stromverbrauch stabil zu halten.

## Fokus im E-Mobility-Carré

Die Untersuchungen, wie eine optimale Integration der Elektromobilität ins Stromnetz bei Mehrfamilienhäusern gelingen kann, konzentrieren sich im Projekt E-Mobility-Carré vor allem auf die beiden Anwendungsfälle netzverträgliches Laden und netzdienstliches Laden. Hierbei kommen jeweils unterschiedliche Lademanagementsysteme zum Einsatz, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

|                                                | KUND*IN OPTIMIERT SICH                                                                                                                                                                                             | NETZBETREIBER OPTIMIERT                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUSWIRKUNG AUF<br>LOKALES VERTEILNETZ          | <b>NETZVERTRÄGLICHES LADEN</b><br>Beschreibt das Lademanagement des Kund*in. Die Kundenanlage hält dabei den Grenzwert des Anschlussvertrages ein und die Leistung wird durch den Netzbetreiber nicht beeinflusst. | <b>NETZDIENLICHES LADEN</b><br>Beschreibt die Beeinflussung der Leistung über Lastfenster oder direkte Signale durch den zuständigen Verteilnetzbetreiber. Hiermit kann gezielt bei drohenden Netzengpässen das Stromnetz entlastet werden. |
| AUSWIRKUNG AUF<br>ÜBERREGIONALES TRANSPORTNETZ | <b>Marktorientiertes Laden</b><br>Marktorientiertes Lademanagement zur Preisoptimierung an Energiemärkten.                                                                                                         | <b>Systemdienstliches Laden</b><br>Zur Erbringung von Flexibilität und Systemdienstleistungen, wie z. B. Regelenergie.                                                                                                                      |

Fokussierung bei E-Mobility-Carré



# Lademanagement zur Reduktion der Netzanschlussleistung

## Optimale Auslegung des Netzanschlusses

Um Leistungsspitzen, verursacht durch zusätzlichen Leistungsbezug aus Ladeinfrastruktur, zu verstehen und gering zu halten, werden die Ladevorgänge der Elektrofahrzeuge gesteuert – beim netzverträglichen Laden geschieht das mit dem Ziel, den Leistungsbedarf zu minimieren. Durch gezielte Leistungsbegrenzung und den Einsatz von Batteriespeichern (siehe Seite 68) wird die optimale Anschlussleistung eines Netzanschlusses für die Integration von Elektrofahrzeugen in Mehrfamilienhäusern identifiziert. So wird sichergestellt, dass weder der Netzanschluss überlastet wird noch die Bewohner\*innen sich beeinträchtigt fühlen. Darüber hinaus bedeutet eine geringere Anschlussleistung meist auch eine Kosteneinsparung beim Netzanschluss für die Kund\*innen.

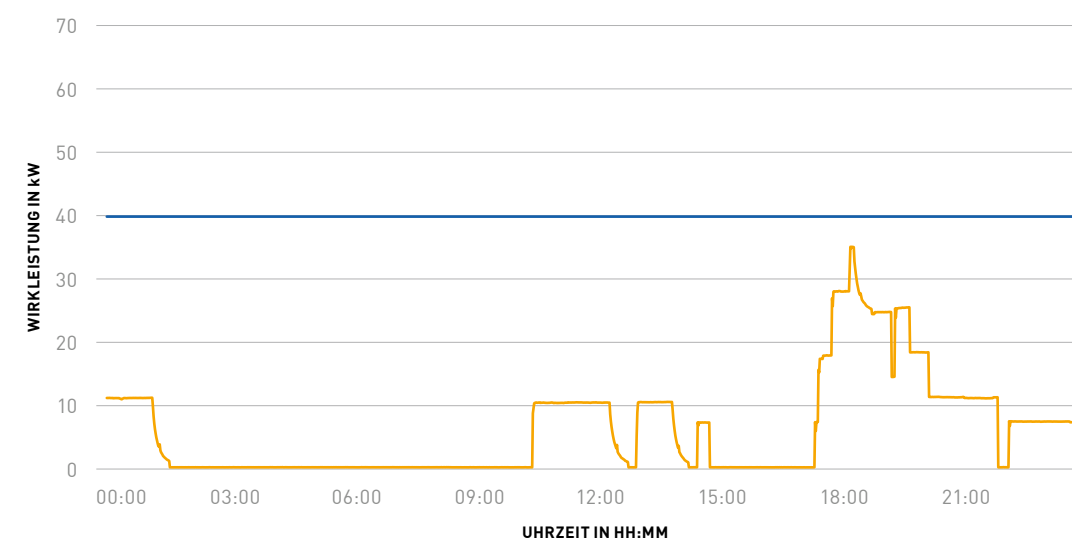
Daher wird im Projekt untersucht, wie sich eine Reduktion der für alle Ladepunkte zur Verfügung stehenden Leistung auf die Auslastung des Netzanschlusses auswirkt und wie viele Elektrofahrzeuge noch gleichzeitig geladen werden können – ohne dass sich die E-Pionier\*innen in ihrer Mobilität eingeschränkt fühlen. Denn für den erfolgreichen Einsatz eines Lademanagements ist neben der technischen Umsetzbarkeit die Akzeptanz der Bewohner\*innen von großer Bedeutung.

Durch das intelligente Lademanagement wird die zur Verfügung stehende Ladeleistung, beginnend bei der Kapazität des Netzanschlusses (124 kW), Schritt für Schritt auf

40 kW reduziert. Sollen viele E-Fahrzeuge zur gleichen Zeit geladen werden, steht den einzelnen E-Fahrzeugen folglich jeweils weniger Ladeleistung zur Verfügung. Bei gleichem Energiebedarf führt dies zwangsläufig zu einer längeren Ladedauer. Laden nur wenige E-Fahrzeuge gleichzeitig, können diese mit „voller Power“ laden.

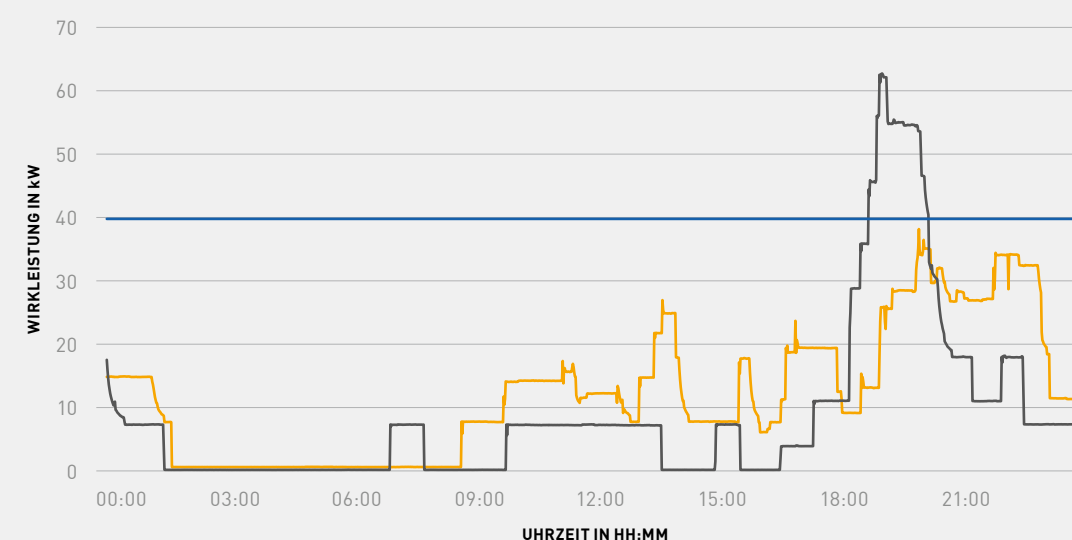
Der Einfluss der Leistungsbegrenzung wird anhand der folgenden zwei Beispiele verdeutlicht: Zuerst wird die Leistungskurve von bis zu vier gleichzeitig ladenden E-Fahrzeugen betrachtet. Dies ist exemplarisch anhand eines Beispieltages in Abbildung 5 dargestellt. In Summe benötigen die E-Fahrzeuge weniger Leistung als der im intelligenten Lademanagementsystem definierte Grenzwert (in diesem Fall 40 kW) und können folglich ohne Einschränkung laden.

Abbildung 6 verdeutlicht exemplarisch den Lastgang von bis zu acht gleichzeitig ladenden E-Fahrzeugen. Ohne Einsatz des Lademanagements würde es zu einer hohen Leistungsspitze von über 60 kW zwischen 18 und 20 Uhr kommen. Mit aktivem Lademanagement wird jedoch die Ladeleistung der E-Fahrzeuge so optimiert, dass der definierte Grenzwert von 40 kW eingehalten wird. Hiermit wird die Leistungsspitze vermieden. Die durchschnittliche Dauer eines Ladevorgangs steigt hierdurch von 135 auf 180 Minuten an.



**Abbildung 5:** Wirkprinzip des Lademanagements bei geringem Leistungsbedarf (maximal vier gleichzeitig ladende E-Fahrzeuge)

Wirkleistung der Ladeinfrastruktur  
Leistungsgrenze



**Abbildung 6:** Wirkprinzip des Lademanagements bei hohem Leistungsbedarf (maximal acht gleichzeitig ladende E-Fahrzeuge)

Mit Lademanagement  
Ohne Lademanagement  
Leistungsgrenze

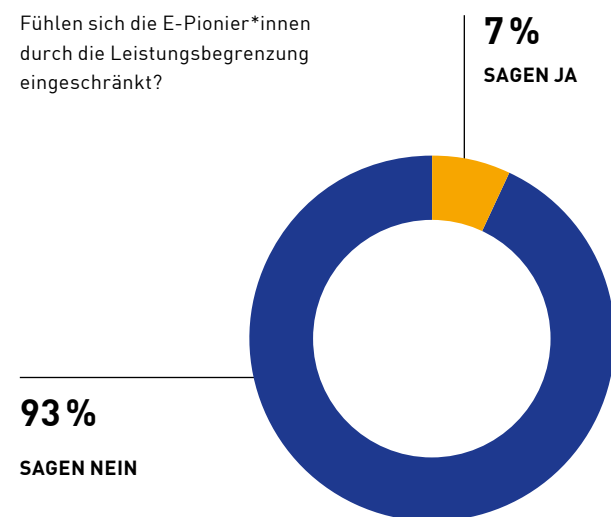


Hieraus lässt sich zeigen, dass durch den Einsatz des intelligenten Lademanagements der Leistungsbedarf am Netzanschluss reduziert und somit das Stromnetz entlastet wird: Beträgt die größte Leistungsspitze beim natürlichen Ladeverhalten noch 98 kW, reduziert sich diese um etwa 60 % auf 40 kW.

Neben der technischen Analyse wird in einer empirischen Befragung die Wahrnehmung der E-Pionier\*innen zur Leistungsanpassung des Lademanagements untersucht. Die Rückmeldungen fallen hier eindeutig aus: Die Leistungsreduktion wird kaum wahrgenommen und 93 % der E-Pionier\*innen fühlen sich in Ihrer Mobilität nicht eingeschränkt. Dies lässt sich hauptsächlich darauf zurückführen, dass die meisten Ladevorgänge in den Abend- und Nachtstunden stattfinden, weshalb der etwas länger andauernde Ladevorgang kaum wahrgenommen wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch den Einsatz eines intelligenten Lademanagements in Mehrfamilienhäusern der Leistungsbedarf der Ladeinfrastruktur erheblich reduziert werden kann – ohne dass sich die Bewohner\*innen eingeschränkt fühlen. Dies stellt ein großes Potential zur Ausnutzung der bestehenden Netzanschlüsse dar. Denn je weniger Leistung für das Laden der E-Autos notwendig ist, desto einfacher und auch kostengünstiger lässt sich eine Aufrüstung einer Tiefgarage mit Ladepunkten gestalten. Und das nicht nur im jeweiligen Mehrfamilienhaus. Werden mehrere Mehrfamilienhäuser über dasselbe Kabel im Stromnetz versorgt, so können umso mehr Ladeeinrichtungen an das Stromnetz angeschlossen werden, je weniger die einzelne Ladeeinrichtung an Leistung benötigt. Dementsprechend lassen sich die vorhandenen Kapazitäten bis zum Abschluss notwendiger Ausbaumaßnahmen im Stromnetz optimal verteilen. Hiervon profitieren ganze Wohngebiete.

Fühlen sich die E-Pionier\*innen durch die Leistungsbegrenzung eingeschränkt?

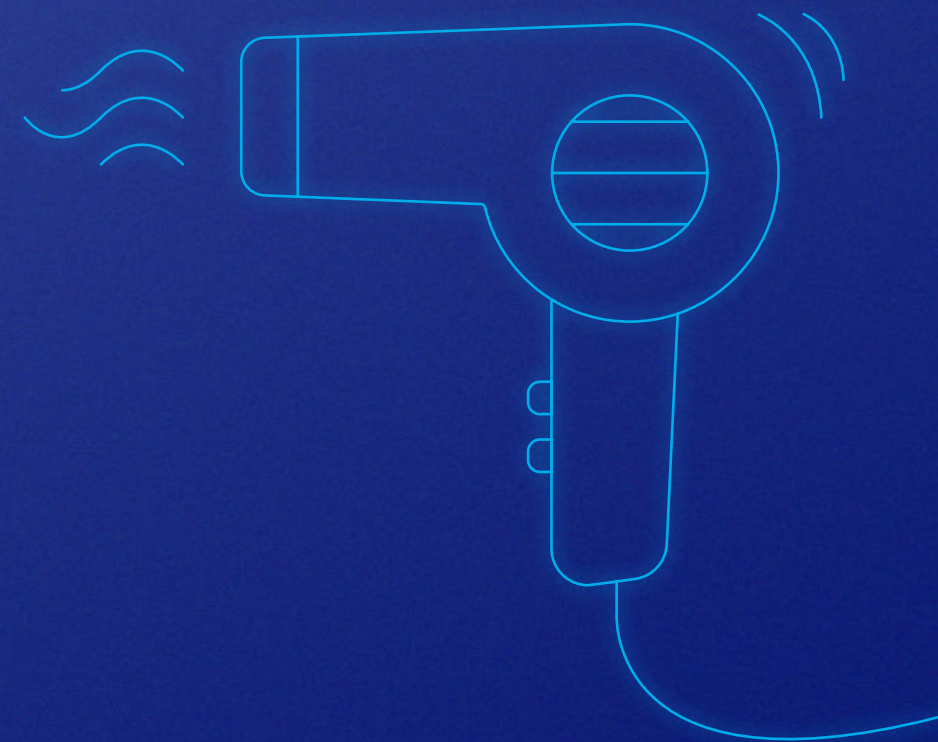


Aus der Umfrage lässt sich ableiten, dass sich die Mehrheit der E-Pionier\*innen in ihrer E-Mobilität nicht eingeschränkt fühlt.

# WUSSTEN SIE, DASS...

während der gesamten Projektdauer  
ca. 130.000 kWh Energie geladen wurden?

**Das entspricht etwa 2.700 Tagen  
durchgängigen Haareföhnens.**





## Batteriespeicher als zusätzliche Energiequelle

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, können Leistungskurven durch ein intelligentes Lademanagement optimiert werden. Doch auch Batteriespeicher haben die Fähigkeit, durch das Ausspeichern der Energie in Hochlastzeiten Leistungsspitzen zu glätten und somit zur Harmonisierung des Lastgangs am Netzanschlusspunkt beizutragen. Im NETZlabor E-Mobility-Carré wird daher der Einsatz eines Batteriespeichers erprobt. Die Untersuchungen werden vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wissenschaftlich begleitet.

Der Batteriespeicher ist zusammen mit der Ladeinfrastruktur in der kundeneigenen Elektroinstallation integriert. Durch eine Mess- und Steuereinheit, welche die Leistung am Netzanschlusspunkt überwacht, wird der Batteriespeicher gesteuert. Zur Reduktion der Leistungsspitzen am Netzanschlusspunkt werden zwei Betriebsmodi untersucht. Zum einen soll der Batteriespeicher gemäß eines „Fahrplans“ zu fest definierten Zeiten Energie zur Verfügung stellen (statisch). Zum anderen wird der Batteriespeicher dynamisch aufgrund der Momentanleistung am Netzanschlusspunkt betrieben. In beiden Fällen darf sich der Batteriespeicher nur in lastarmen Zeiten nachladen, um eine zusätzliche Belastung des Stromnetzes zu unterbinden. Dies ist vorwiegend in der Nacht der Fall, wenn bereits alle Ladevorgänge abgeschlossen sind.

### Statischer Betrieb zu fest definierten Zeiten

Der statische Betriebsmodus ist sehr einfach umzusetzen. Die Steuereinheit übermittelt zu festen Zeitpunkten, mit welcher Leistung sich der Batteriespeicher ent- bzw. beladen soll. Eine aufwändige Messung der Momentanleistung entfällt. Mit diesem Verfahren kann die Leistungsspitze am Netzanschlusspunkt durch die ladenden E-Fahrzeuge auf 68 kW reduziert werden.

Das Funktionsprinzip des Batteriespeichers ist in Abbildung 7 visualisiert. Zu erkennen ist, dass sich der Batteriespeicher in den Abendstunden stufenweise entlädt und in den Nachtstunden wieder auflädt. Durch die treppenförmige Entladekurve wird an diesem Beispieltag die Leistungsspitze von 50 kW auf 39 kW reduziert. Erkennbar sind jedoch auch die Schwächen eines sogenannten „fahrplanbasierten“ Betriebsmodus. Durch Verlustleistung, Umgebungseinflüsse und Schutzmechanismen steht in einigen Betriebspunkten nicht die volle Kapazität zur Verfügung. Hierdurch kann der Batteriespeicher nicht über die gesamte vorgegebene Zeit zusätzliche Energie bereitstellen. Dieser Fall ist anhand der Entladekurve des Batteriespeichers gegen 21 Uhr in Abbildung 7 zu sehen. Dort endet die Entladekurve abrupt und das symmetrisch aufgebaute Entladeprofil wird nicht vollständig umgesetzt. Zudem ist das Ladeverhalten der Bewohner\*innen nicht zu 100 % vorhersagbar. Dies stellt eine große Herausforderung bei der optimalen Definition der Schaltzeiten dar.

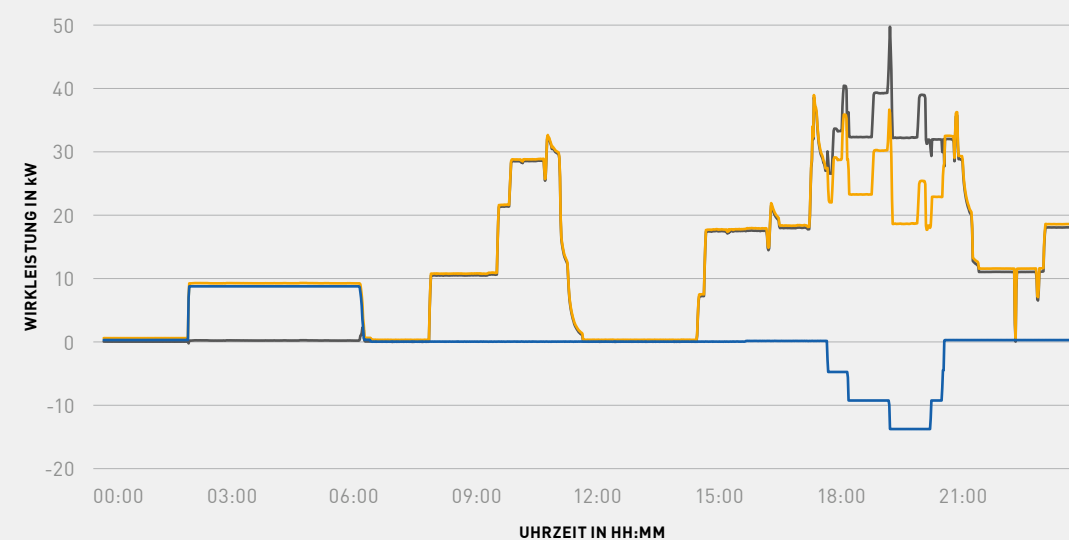


Abbildung 7: Fahrplanbasierter Betrieb des Batteriespeichers

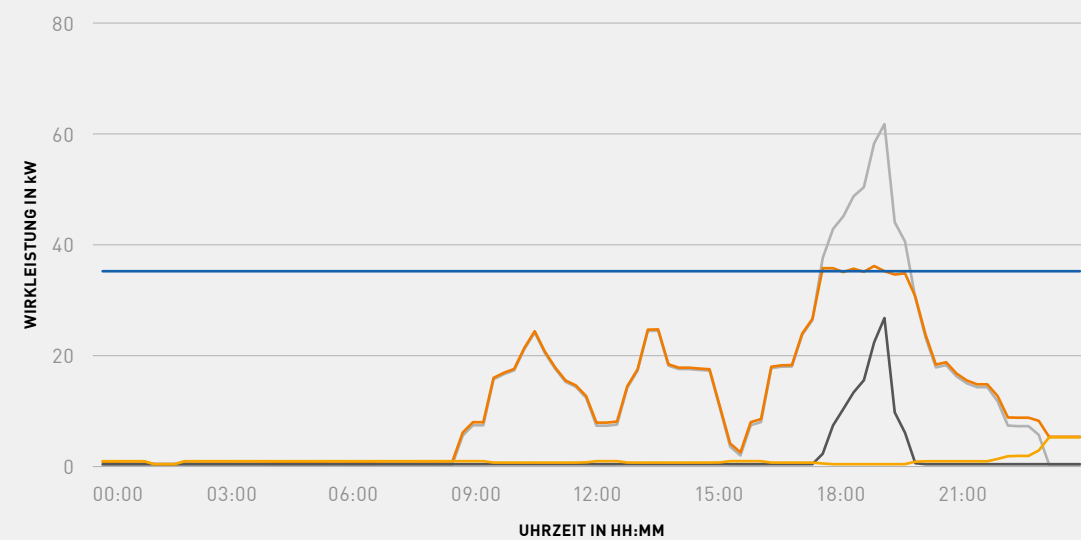
Mit Speicher —  
Ohne Speicher —  
Batteriespeicher —



## Dynamischer, stromgeführter Betriebsmodus

Durch den stromgeführten Betrieb des Batteriespeichers sollen die Nachteile des fahrplanbasierten Betriebs ausgeglichen werden. Ziel hierbei ist eine optimale Glättung der Leistungskurve. Als Eingangsparameter der Steuerung dient die Messung des Stroms am Netzanschlusspunkt. Zudem werden zwei Grenzwerte definiert: Bei Überschreitung des oberen Grenzwertes stellt der Batteriespeicher innerhalb

der Kundenanlage zusätzliche Leistung bereit, um einen Anstieg der Lastkurve zu kompensieren. Wird die untere Grenze unterschritten, lädt sich der Batteriespeicher bei Bedarf nach. Zwischen den beiden Grenzwerten bleibt der Batteriespeicher in Bereitschaft. Hierdurch wird gezeigt, dass sich Leistungsspitzen und -täler im Praxisbetrieb harmonisieren lassen, wie aus Abbildung 8 hervorgeht.



**Abbildung 8:** Stromgeführter Betrieb des Batteriespeichers im Optimalfall

Netzanschluss ohne Batteriespeicher —  
Netzanschluss mit Batteriespeicher —  
Batteriespeicher entladen —  
Batteriespeicher laden —  
Oberer Grenzwert —



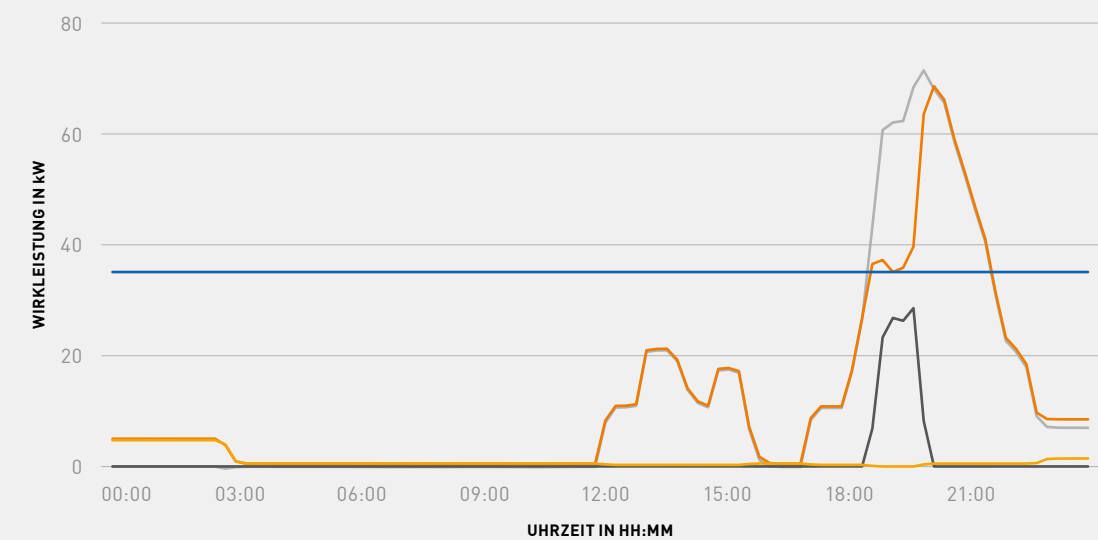
### Fakten zu Batteriespeichern

- › Batteriespeicher können temporär Leistungsspitzen kompensieren.
- › Beim Betrieb muss darauf geachtet werden, dass sich der Batteriespeicher bedarfsgerecht entlädt und es beim Nachladen nicht zu einer zusätzlichen Belastung des Stromnetzes kommt.
- › Batteriespeicher eignen sich auch, um erneuerbare Energie, die beispielsweise am Mittag aus einer Photovoltaikanlage gewonnen wird, bis zum Laden der Elektroautos am Abend zwischenspeichern.

Die Vorgabe, das Stromnetz nicht mit mehr als 35 kW durch die Ladevorgänge zu belasten, wird erfüllt.

Doch auch hier zeigt der Aufbau Schwächen. An manchen Tagen kommt der Batteriespeicher nicht zum Einsatz, weil entweder keine Leistungsspitzen über 35 kW entstehen, oder auch weil durch einen zu großen Leistungsbedarf der E-Fahrzeuge

innerhalb kürzester Zeit viel Energie aus dem Batteriespeicher entnommen wird. Dies hat zur Folge, dass der Speicher nicht über die gesamte Dauer der Leistungsspitze aktiv unterstützen kann und es somit zu einem starken Anstieg der Bezugsleistung am Netzanschlusspunkt kommt. Ein solches Beispiel zeigt Abbildung 9.



**Abbildung 9:** Stromgeführter Betrieb des Batteriespeichers bei sehr hohem Leistungsbedarf der Elektrofahrzeuge

Netzanschluss ohne Batteriespeicher —  
Netzanschluss mit Batteriespeicher —  
Batteriespeicher entladen —  
Batteriespeicher laden —  
Oberer Grenzwert —

Aus den Erkenntnissen des fahrplanbasierten sowie stromgeführten Betriebs lässt sich ableiten, dass ein isolierter Einsatz des Batteriespeichers zur Reduktion von Leistungsspitzen im Stromnetz in einer Tiefgarage eines Mehrfamilienhauses weniger effektiv als der Einsatz eines Lademanagements ist.



## Das Stromnetz gezielt entlasten

Steuern Netzkund\*innen ihre Ladevorgänge selbst (Netzverträgliches Laden), stellen diese eigenverantwortlich sicher, dass die Kapazität am Netzanschluss nicht überschritten wird. Dennoch besteht hierdurch weiterhin die Möglichkeit lokaler Netzengpässe im Niederspannungsnetz – nämlich genau dann, wenn gleichzeitig in einem Wohngebiet viele Elektrofahrzeuge laden und das Netz noch nicht ausgebaut werden konnte. Das Potential lokaler Netzengpässe kann durch gezielte, zeitlich begrenzte Reduktion der Ladeleistung durch den örtlichen Netzbetreiber erheblich vermindert werden.

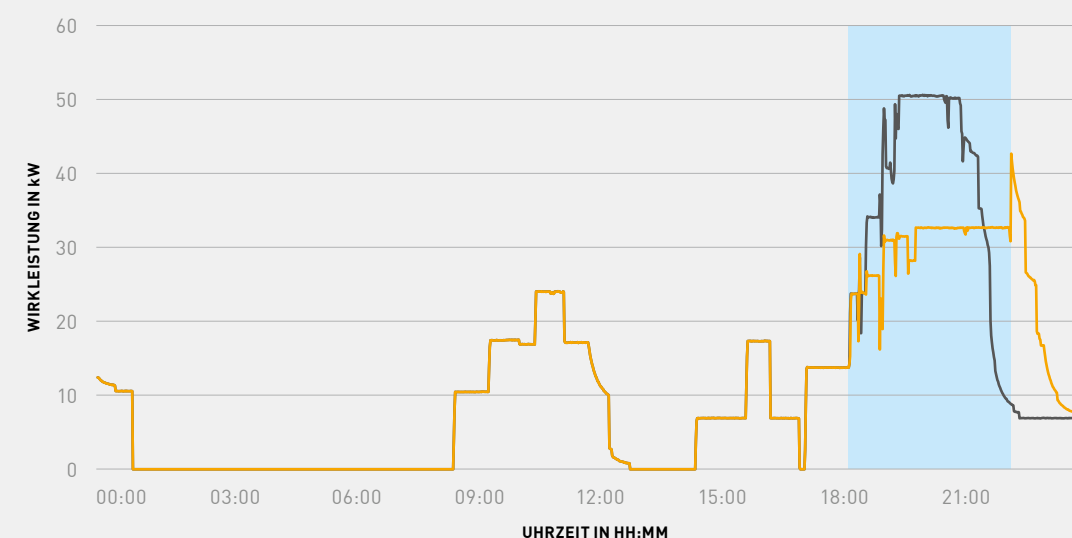
Eine Testphase des NETZlabors E-Mobility-Carré betrachtet genau solche bedarfsgerechten Steuersignale. Hierbei werden zwei Aspekte untersucht: Zu Beginn wird in einem statischen, festen Zeitfenster die zur Verfügung stehende Ladeleistung reduziert. Anschließend erfolgt der Eingriff dynamisch und nur im Bedarfsfall, wenn ein kritischer Schwellwert überschritten wird. Hierbei wird ein künstlicher Schwellwert definiert, um einen in Kürze eintretenden Netzengpass zu simulieren. Neben der Analyse der Messdaten steht auch hier wieder die Akzeptanz der E-Pionier\*innen bei den Eingriffen im Fokus.

### Statisches Lastfenster

In den Hochlastzeiten eines Tages, zwischen 18 und 22 Uhr, wird die zur Verfügung stehende Ladeleistung für vier Stunden um 50 % reduziert. Hiermit sollen gezielt hohe Leistungsspitzen vermieden werden, ohne die Ladevorgänge außerhalb des Zeitfensters zu beeinflussen.

In Abbildung 10 ist sowohl der gemessene Verlauf der Bezugsleistung der Ladeinfrastruktur (mit Steuerung), als auch der simulierte Lastgang ohne Leistungsreduktion innerhalb des definierten Zeitfensters dargestellt. Hierbei ist bei der optimierten Wirkleistungskurve anstelle der Leistungsspitze ein erheblich niedrigeres Lastplateau zu erkennen. Diese Glättung der Leistung wirkt sich positiv auf das Stromnetz aus und beugt einem potenziellen Netzengpass vor. Erst um 22 Uhr ist erneut ein Anstieg der Leistungskurve zu beobachten. Diese ist darauf zurückzuführen, dass nun wieder die maximale Leistung zum Laden der Elektrofahrzeuge zur Verfügung steht. Da die Lastspitze mit Optimierung geringer ausfällt als ohne Optimierung, kann das Stromnetz die Lastspitze besser aufnehmen.

Durch das Lastfenster, in dem die zur Verfügung stehende Leistung zum Laden der Elektroautos um 50 % reduziert wird, verlängert sich die durchschnittliche Dauer eines Ladevorgangs von 135 Minuten um 75 Minuten auf 210 Minuten. Auch hierbei stößt die technische Lösung auf eine sehr hohe Akzeptanz der E-Pionier\*innen: Alle E-Pionier\*innen fühlen sich durch das Lastfenster in ihrer Mobilität nicht eingeschränkt. Dies unterstreicht die Effektivität der Maßnahme, lokalen Engpässen im Stromnetz vorzubeugen.



**Abbildung 10:** Der Lastgang der Ladeinfrastruktur im zeitlichen Verlauf, bei Vorliegen des Lastfensters zwischen 18 und 22 Uhr

Lastfenster ■  
 Ohne Optimierung —  
 Mit Optimierung —

# WUSSTEN SIE, DASS ...

sich die Ladedauer beim Lastfenster von durchschnittlich **135 Minuten** auf **210 Minuten** erhöht hat?





### Dynamische Leistungsreduktion

Im Folgenden wird eine dynamische Steuerung zur Entlastung des Stromnetzes untersucht. Diese hat im Vergleich zum Lastfenster den Vorteil, dass nur dann ein Steuersignal erfolgt, wenn die Momentanbelastung einen zuvor definierten Grenzwert überschreitet. Hierdurch können vermeidbare Lastspitzen präziser in lastärmere Zeiten geschoben werden. Zudem wird das Risiko auftretender Lastspitzen außerhalb eines Lastfensters reduziert.

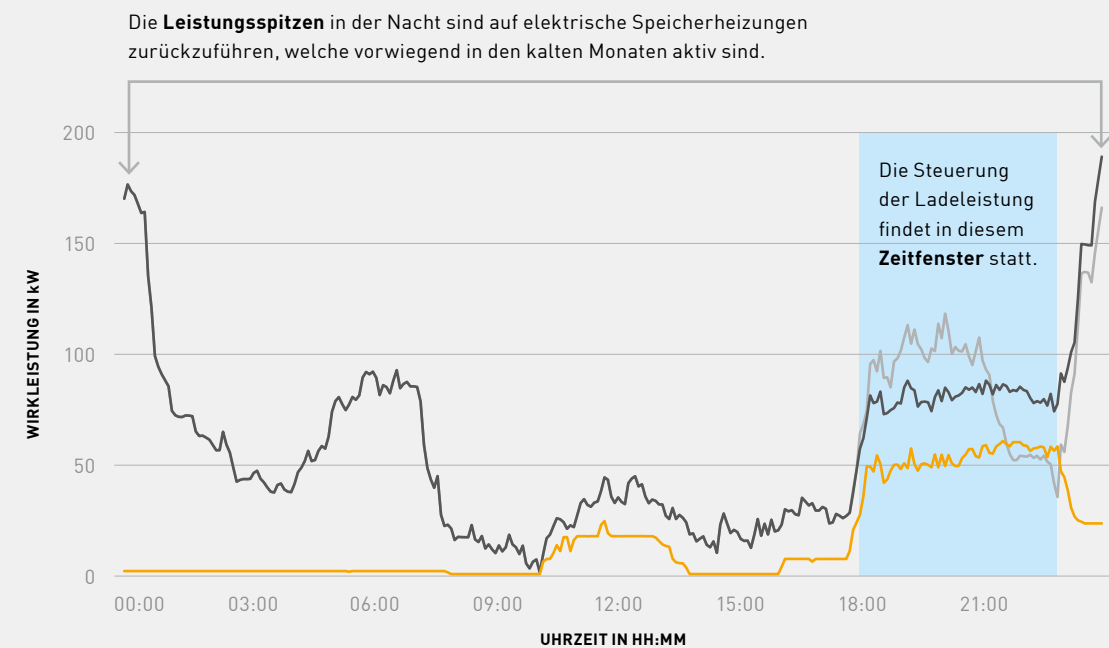
Der betrachtete Parameter, an welchem im E-Mobility-Carré bei der dynamischen Leistungsreduktion eingegriffen wird, ist der Strom der jeweiligen Phase an der Niederspannungsabgangsseite des Ortsnetztransformators. Erst wenn der Strom einer dieser drei Phasen den definierten Grenzwert überschreitet, wird die Leistung der Ladevorgänge reduziert. Fällt der gemessene Wert wieder unterhalb des Grenzwerts ist ein uneingeschränktes Laden möglich. Der Regelalgorithmus stellt hierbei eine Dämpfung bei schwellwertnahen Zuständen sicher. Aufgrund der fluktuierenden Auslastung des Ortsnetztransformators ist keine Vorhersage mehr möglich, an welchen Zeitpunkten eingegriffen wird – es wird jedoch darauf geachtet, dass in Summe binnen eines Tages die Ladeleistung nie mehr als 4 Stunden um 50 % reduziert wird.

Der Ortsnetztransformator ist insbesondere in den Abendstunden aufgrund der Elektrofahrzeuge und in den Nachtstunden aufgrund von elektrischen Nachtspeicherheizungen ausgelastet, wie aus Abbildung 11 zu entnehmen ist. Da abends der größte Leistungsbedarf besteht, erhält die Ladeinfrastruktur nur in den Abendstunden ein Steuersignal. Durch die Glättung der Leistungsspitze der Ladeinfrastruktur ist auch das Lastprofil am Transformatorabgang harmonisiert: Es tritt innerhalb der Zeitdauer des Regeleingriffs ein Wirkleistungsmaximum von 74 kW auf. Die Lastkurve am Transformator bei nicht gesteuerten Ladevorgängen sind ebenfalls in dieser Abbildung dargestellt.

Wird die dynamische Regelung dem oben beschriebenen Lastfenster gegenübergestellt, so zeigt sich, dass durch die bedarfsgerechte Optimierung Lastspitzen besser vermieden werden können, als innerhalb fester Zeitfenster. Jedoch sind die Steuer Eingriffe für Netzkund\*innen nicht immer vorhersagbar. Dies löst bei 39 % der E-Pionier\*innen eine Verunsicherung aus, denn die Ladevorgänge sind für diese nicht mehr so leicht planbar. Abhilfe kann hierbei ein priorisiertes Laden schaffen. Dieses priorisiert gezielt diejenigen Ladevorgänge der Projektteilnehmer\*innen, welche auf eine schnelle Abfahrt mit ausreichend vollgeladener Batterie angewiesen sind.

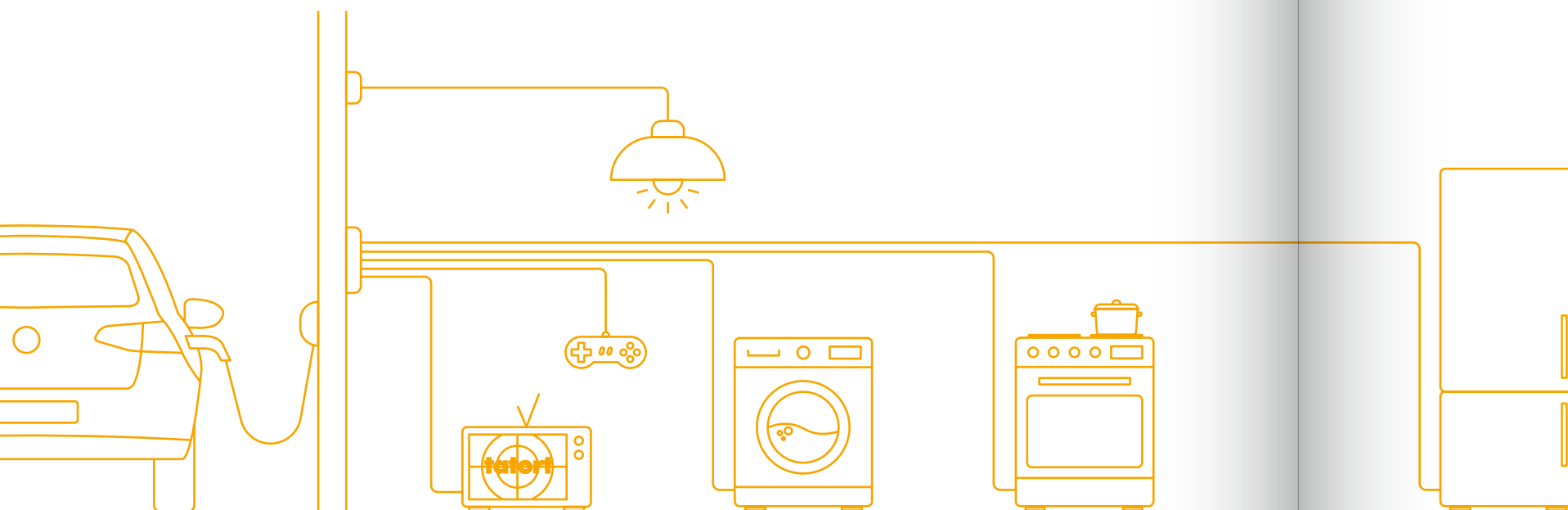
Hierbei wird die Vorgabe der Maximalleistung aufgrund der Lastoptimierung nicht verletzt. Dieses priorisierte Laden wird im E-Mobility-Carré jedoch nicht näher untersucht, da aus den NETZlaboren E-Mobility-

Allee und E-Mobility-Chaussee bereits in Erfahrung gebracht werden konnte, dass ein solches priorisiertes Laden von den E-Pionier\*innen in der Praxis nicht in Anspruch genommen wird.



# UND, DASS ...

die E-Pionier\*innen durch das Lastfenster zwischen 18 und 22 Uhr in ihrer Mobilität **nicht eingeschränkt** wurden?





**„Die Dynamik der Netze für die Elektrifizierung der Mobilität zu testen, ist für mich als Entwickler von E-Fahrzeugen eine Herzensangelegenheit, die mir sehr viel Freude bereitet. Bereits nach der kurzen Projektlaufzeit ist zu erkennen, dass ein Großteil der Fahrten durch das effiziente Lademanagement zu Hause ohne DC-Schnell-laden möglich ist.“**

**Sebastian Weik, E-Pionier**





## Eine wichtige Quintessenz: Der separate Netzanschluss ist nicht notwendig

### Alternative Lösungen für den optimalen Netzanschluss

Der separate Netzanschluss mit einer Kapazität von 124 kW wurde – selbst ohne Leistungsoptimierung durch ein Lademanagement – nur zu 79 % ausgelastet. Mit dem auf eine Leistungsgrenze von 40 kW eingestellten Lademanagement beträgt die Auslastung des Netzanschlusses 32 %.

**Kurzum: Der separate Netzanschluss im E-Mobility-Carré ist für das Ladeverhalten der E-Pionier\*innen im E-Mobility-Carré überdimensioniert.**

Welche alternativen Szenarien wären noch möglich gewesen, um die Tiefgarage in der Wohnanlage Pura Vida abseits des Feldversuchs der Netze BW zu elektrifizieren? Hätte es den separaten Netzanschluss überhaupt benötigt? Diese Fragestellungen werden im Folgenden beantwortet.

Die Mehrfamilienhäuser der Wohnanlage Pura Vida verfügen über jeweils einen eigenen Anschluss an das Stromnetz. Der Anschluss erfolgt hierbei an die im Boden verlegten Stromkabel, den sogenannten Stammkabeln, welche sternförmig von der Ortsnetzstation abgehen. In der näheren Umgebung befinden sich zwei dieser Stammkabel (siehe Seite 41), von denen die Mehrfamilienhäuser in Pura Vida mit Strom versorgt werden.

Ein separater Netzanschluss ist jedoch immer ein Sonderfall und nicht der Standard, wie Ladeinfrastruktur in Tiefgaragen mit Strom versorgt werden können. Aus Projektgründen wurde dieser jedoch für den Feldversuch des E-Mobility-Carrés realisiert (siehe Seite 46).

### Szenario 1:

#### Separater Netzanschluss ab Stammkabel für die gesamte Ladeinfrastruktur

Für den im E-Mobility-Carré installierten separaten Netzanschluss wird ein Kabel ab der Ortsnetzstation in die Tiefgarage der Wohnanlage geführt. Dies ist bei hohen Leistungsklassen ein übliches Vorgehen, jedoch ist dies durch die notwendigen Tiefbauarbeiten mit hohen Aufwänden verbunden. Im ersten Szenario wird nun untersucht, ob ein separater Netzanschluss, welcher ab dem Stammkabel ausgeführt wird, ausreicht. Hierbei werden beide Stammkabel, über die Pura Vida mit Strom versorgt wird, betrachtet, indem die Lastgänge des Kabels mit denen der Ladeinfrastruktur verglichen werden.

**Stammkabel 1:** Unter der Voraussetzung, dass kein Lademanagement eingesetzt wird, beträgt die Auslastung des Stammkabels in diesem Szenario etwa 90 % und ist somit ausreichend für den Betrieb. Die freie Restkapazität kann schnell durch zusätzliche Verbrauchsstellen oder Lastfluktuationen aufgebraucht werden. Vergleicht man hingegen die Ladedaten bei aktivem Lademanagement mit dem Lastgang des Stammkabels, beträgt die Auslastung etwa 60 %.

**Stammkabel 2:** Ohne aktives Lademanagement ist bei gleicher Betrachtungsweise das Stammkabel zu 120 % ausgelastet und somit überlastet. Mit aktivem Lademanagement beträgt die Auslastung knapp 90 %.

### Szenario 2:

#### Zuteilung der einzelnen Schaltschränke auf die bestehenden Netzanschlüsse der Wohngebäude

Die Ladeinfrastruktur im E-Mobility-Carré besteht neben den Ladepunkten an den Stellplätzen der Bewohner\*innen aus drei zentralen Schaltschränken, in welchen die für die Ladevorgänge notwendige Technik verbaut ist. Diese sind in der vorliegenden Installation am selben Netzanschlusspunkt angeschlossen, werden jedoch in diesem Szenario so betrachtet, als könnten sie von unterschiedlichen Netzanschlusspunkten mit Strom versorgt werden.

Hieraus ergibt sich, dass im ungünstigsten Fall die Auslastung einer der Netzanschlüsse von 36 % auf 121 % ansteigt – sofern kein Lademanagementsystem zum Einsatz kommt. Werden hingegen die Ladevorgänge der E-Fahrzeuge verteilt, so beträgt im günstigsten Fall die Auslastung einer der Netzanschlüsse lediglich 43 %. Hierbei gilt zu beachten, dass die Beanspruchung der Hausanschlüsse der Wohngebäude sehr stark vom Mobilitätsverhalten der Bewohner\*innen und von der Optimierung durch das Lademanagement abhängt.



### Szenario 3:

#### Zuteilung der Ladepunkte auf die Wohngebäude der Stellplatzbesitzer\*innen

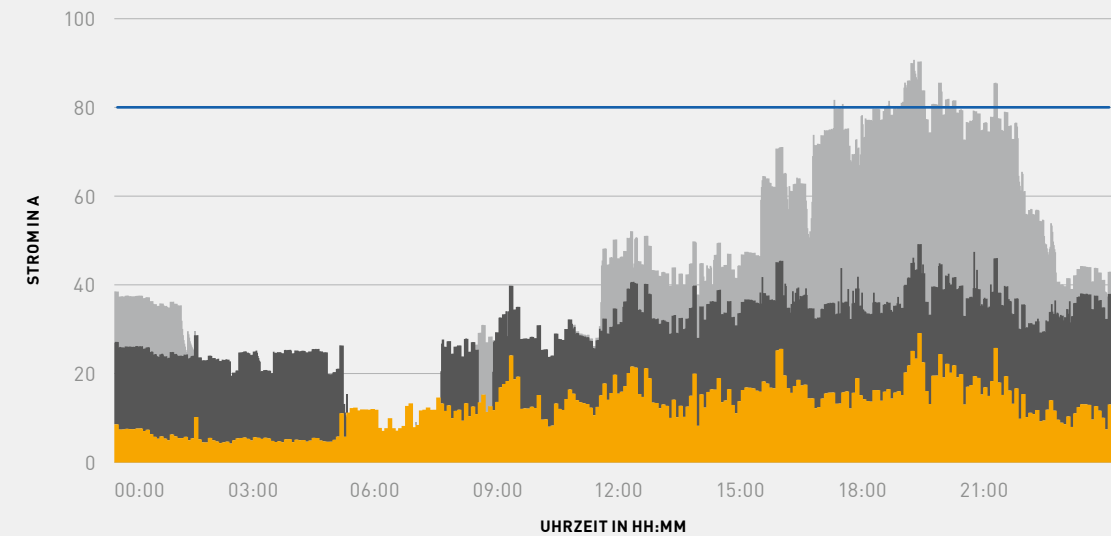
Zur Analyse dieses Szenarios werden die Lastgänge der Netzanschlüsse der Mehrfamilienhäuser benötigt. Hierzu wird temporär der Lastgang des jeweiligen Gebäudes aufgezeichnet und mit dem Lastgang der Ladeinfrastruktur verrechnet. Die Berechnung berücksichtigt hierbei, dass ein Ladepunkt eines Stellplatzes aus dem Wohngebäude mit Strom versorgt wird, in dem auch der\*die Stellplatznutzer\*in wohnt. Bei dieser Betrachtung müssen zwei mögliche Restriktionen untersucht werden: die Auslastung des Stammkabels sowie die Auslastung des Netzanschlusses. Im Folgenden wird hierbei die Konstellation betrachtet, in der die vorhandenen Restkapazitäten am geringsten sind.

**Stammkabel:** Ähnlich wie in Szenario 2 sind die Stammkabel ohne Lademanagement sehr stark bzw. mit über 120 % Auslastung überlastet. Mit Lademanagement hingegen kann dieses Szenario bei einer maximalen Auslastung des Stammkabels von 80 % ohne Einschränkung abgebildet werden.

**Netzanschlusspunkt:** Am Netzanschlusspunkt sind zur Absicherung sogenannte Niederspannungs-Hochleistungssicherungen (NH-Sicherungen) verbaut. Diese stellen zugleich die maximale Kapazität des Netzanschlusses dar. Über die NH-Sicherungen werden im regulären Betrieb die Wohneinheiten, aber auch der Allgemeinstrom mit dem Stromnetz verbunden. In dieser Analyse wird zudem angenommen, dass auch die Ladepunkte der jeweiligen Bewohner\*innen über die gleichen NH-Sicherungen mit Strom versorgt werden. In Abbildung 12 wird die Situation anhand einer Phase erläutert. Der Strombezug der Wohneinheiten bildet über den gesamten Beispieltag eine Grundlast. Ohne Einsatz des Lademanagements wird in den Hochlastzeiten der Bemessungsstrom der NH-Sicherung von 80 A überschritten. Die Folge wäre ein Auslösen der Sicherung – das Wohngebäude wäre ohne Strom. Mit dem Lademanagement wäre noch ausreichend Puffer vorhanden, so dass der Betrieb der Anlage ohne Einschränkung möglich wäre. Die durch das Lademanagement reduzierte Amplitude des Stroms bedingt eine Verlängerung der Ladezeiten. Dies ist ebenfalls sehr deutlich im Diagramm zu erkennen.

Aus den drei Szenarien geht hervor, dass das Lademanagement und die damit verbundene Reduktion der Bezugsleistung aus dem Stromnetz für die Versorgung von Elektrofahrzeugen durch Hausanschlüsse im Bestand eine bedeutende Rolle spielt. Denn durch die konstante Steigerung der Elektrifizierung von Stellplätzen kann es ohne den Einsatz eines Lademanagements zu lokalen Netzengpässen kommen.

Im Fall des E-Mobility-Carrés ist klar: Die Ladepunkte hätten unter Einsatz eines Lademanagements auch über die bestehenden Netzanschlüsse der Wohngebäude versorgt werden können. Hierzu hätte weder der Netzanschluss kostenpflichtig verstärkt, noch das vorgelagerte Stromnetz ausgebaut werden müssen.



**Abbildung 12:** Auslastung eines Hausanschlusses mit dem Strombedarf der Wohneinheiten sowie der Ladeinfrastruktur – mit und ohne Lademanagement. LIS=Ladeinfrastruktur

Wohngebäude  
LIS mit Lademanagement  
LIS ohne Lademanagement  
Hausanschlusssicherung



Messgerät zur temporären Aufzeichnung von Messdaten.



## Auswirkung der Ladevorgänge auf den Ortsnetztransformator und das Stromnetz

Eine zentrale Komponente des Verteilnetzes in der Niederspannungsebene sind die Ortsnetztransformatoren. An den Ortsnetztransformatoren sind die Stammkabel zur Versorgung der Wohngebiete angeschlossen. Im E-Mobility-Carré finden während der gesamten Projektlaufzeit Messungen am Ortsnetztransformator sowie an den Niederspannungsabgängen statt.

Die Auslastung des Ortsnetztransformators kann sehr stark von dem Leistungsbedarf ladender Elektrofahrzeuge abhängen, wie in Abbildung 13 zu sehen ist. Hierbei ist wieder zu erkennen, dass die meisten Ladevorgänge in den Abendstunden stattfinden. Neben verschiedenster Verbrauchseinrichtungen sind am Ortsnetztransformator auch Erzeugungsanlagen – insbesondere Photovoltaikanlagen – angeschlossen. Der in der Abbildung dargestellte Beispieltag ist von vielen Sonnenstunden am Mittag und Nachmittag geprägt. Die Einspeisung der erneuerbaren Energien bedingt, dass – nominell betrachtet – der Leistungsbedarf der Ladeinfra-

struktur zu manchen Zeitpunkten höher ist als der gemessene Lastgang am Ortsnetztransformator.

Neben dem Energiebezug erzeugen Ladevorgänge jedoch noch weitere Rückwirkungen auf das Stromnetz. So kann zum einen durch schnelles Zu- oder Abschalten von Ladevorgängen die Spannungsqualität beeinträchtigt werden, oder es können sich zum anderen emittierte, hochfrequente Schwingungen im Stromnetz ausbreiten. Messungen und Tests hierzu werden von der TU Dresden wissenschaftlich begleitet.

Die Spannungsqualität im Niederspannungsnetz ist sowohl mit als auch ohne die Ladeinfrastruktur des E-Mobility-Carrés sehr gut. Alle gemessenen Werte bewegen sich innerhalb der normativen Vorgaben. Dennoch können Ladevorgänge einen signifikanten Einfluss auf die Spannungsqualität haben. Darüber hinaus können asymmetrisch ladende Elektrofahrzeuge eine ungleiche Belastung des Stromnetzes bewirken.

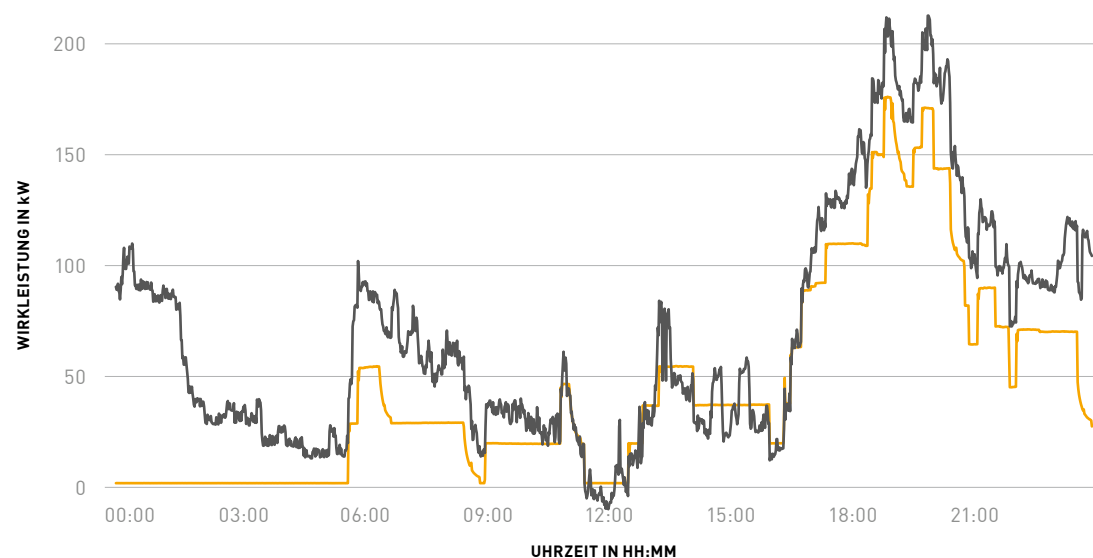


Abbildung 13: Anteil der ungesteuerten Ladeinfrastruktur am Lastgang des Ortsnetztransformators

Ladeinfrastruktur —  
Niederspannungsabgang des Transformators —



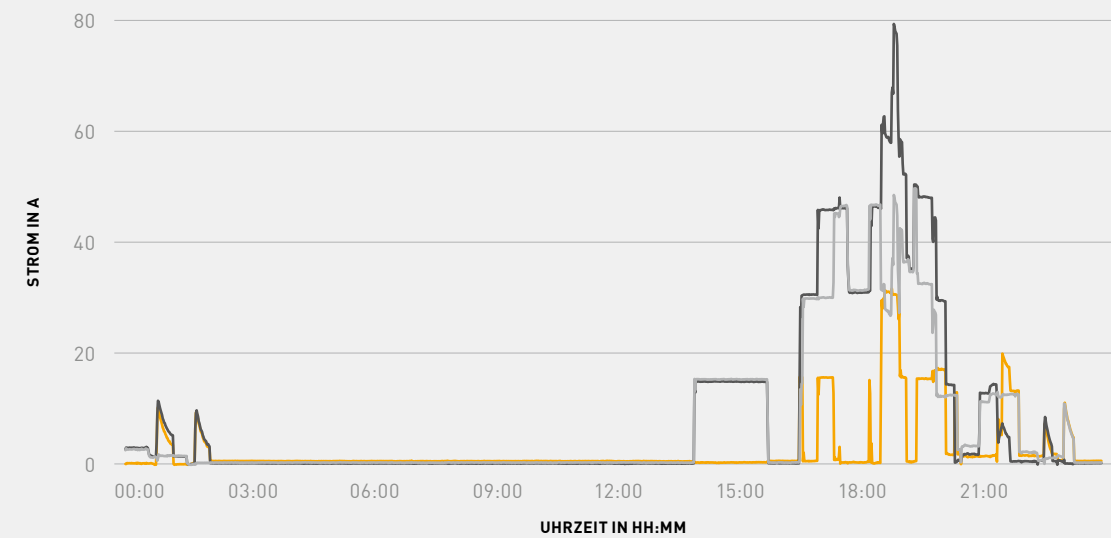
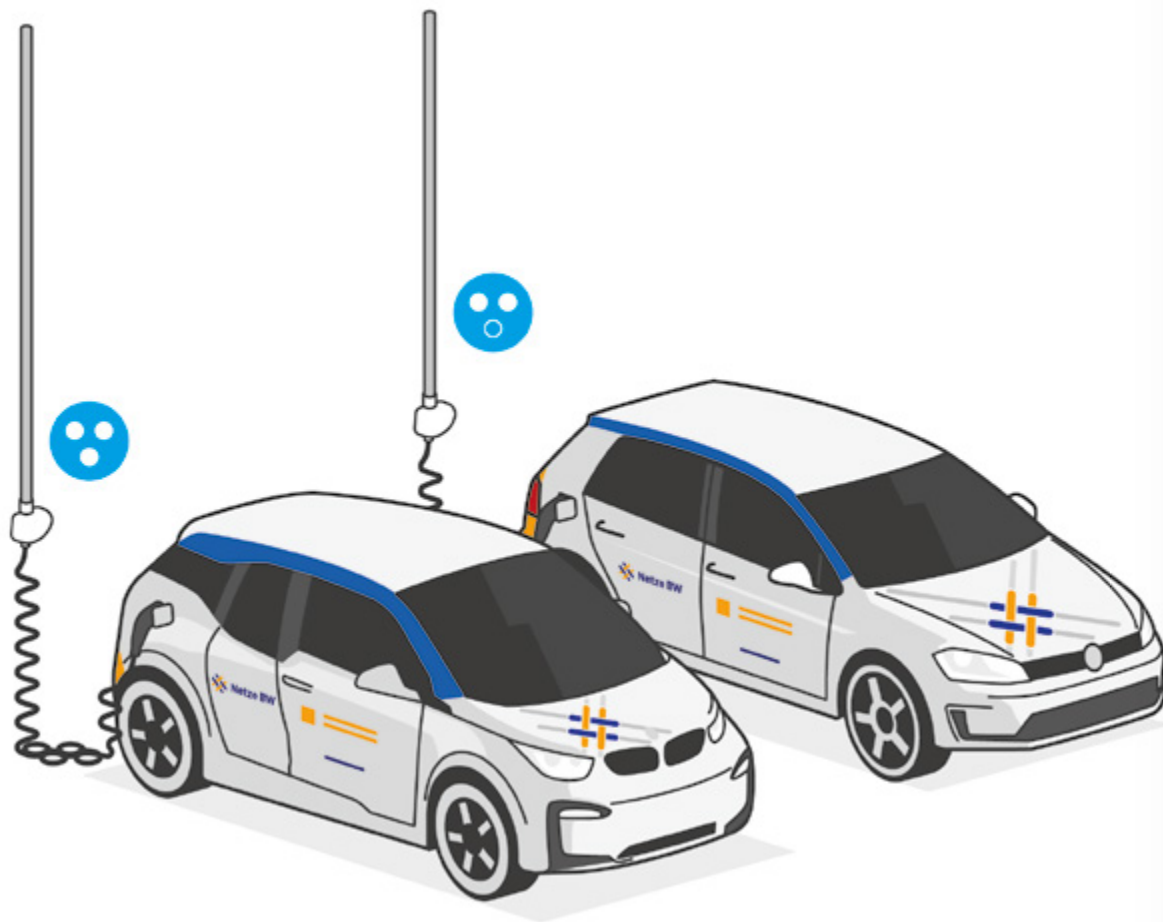
Niederspannungsabgänge am Transformator



### Einfluss der Phasenasymmetrie

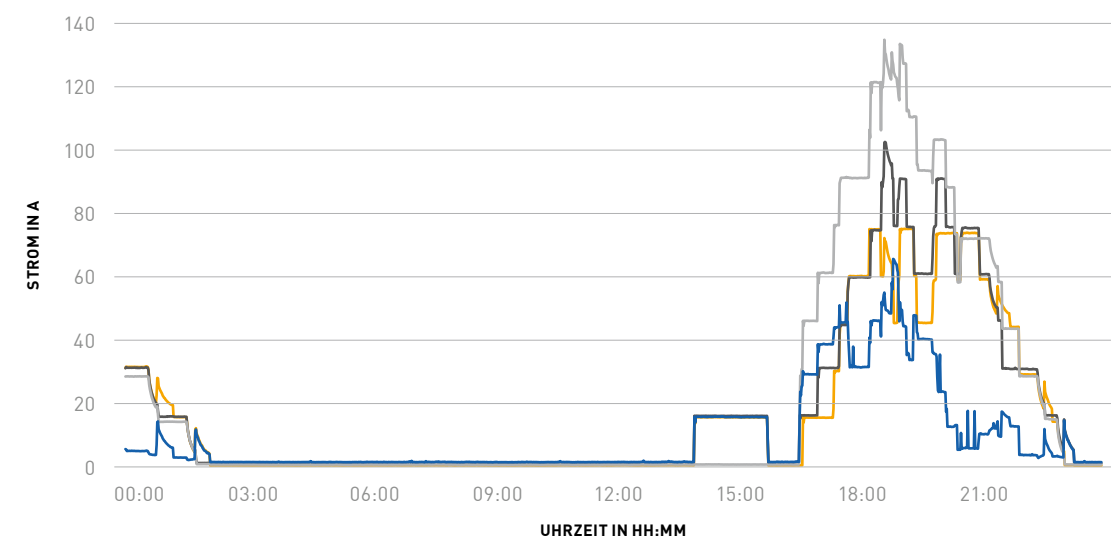
Durch die Technische Anwendungsregel VDE-AR-N 4100 TAR Niederspannung ist vorgegeben, welche Anforderungen bei einem Netzanschluss, der ausschließlich Elektrofahrzeuge versorgt, eingehalten werden müssen. Da die E-Fahrzeuge im E-Mobility-Carré teilweise ein- oder zweiphasig laden, ist eine asymmetrische Belastung des Netzanschlusses nicht auszuschließen. Um dieser Asymmetrie vorzubeugen, wird in der Planungs- und Installationsphase ein rollierender Anschluss der Ladepunkte berücksichtigt. Somit wird die Ladeleistung der ladenden E-Fahrzeuge gleichmäßiger auf die Phasen verteilt. Zudem hat die Ladeinfrastruktur eine Symmetrieeinrichtung. Diese Symmetrieeinrichtung begrenzt die Ladeleistung der E-Fahrzeuge, die maßgeblich zur asym-

metrischen Belastung beitragen. Für das Projekt wird die Symmetrieeinrichtung allerdings temporär gezielt deaktiviert. Somit können einerseits präzise Messdaten der Ladevorgänge erfasst, und andererseits das Ausmaß einer fehlenden Symmetrieeinrichtung auf das Stromnetz dargestellt werden. Durch die Deaktivierung übersteigt die Asymmetrie des Stroms den vorgegebenen Wert von 20 A am Netzanschlusspunkt um den Faktor 4 – trotz Rollierung –, wie aus Abbildung 14 entnommen werden kann. In dieser Abbildung sind die Differenzströme zwischen den Phasen über die Uhrzeit eines Beispieltages aufgetragen. Abbildung 15 zeigt die zugehörigen Absolutwerte der jeweiligen Phasen sowie des Neutralleiters.



**Abbildung 14:** Asymmetrisch ladende E-Fahrzeuge verursachen eine ungleiche Belastung der Phasen im Stromnetz. Hier dargestellt sind die Differenzströme zwischen den jeweiligen Phasen

Differenzstrom L1-L2  
Differenzstrom L3-L4  
Differenzstrom L2-L3



**Abbildung 15:** Absolutwerte der Phasen- und Neutralleiterströme

L1  
L2  
L3  
N



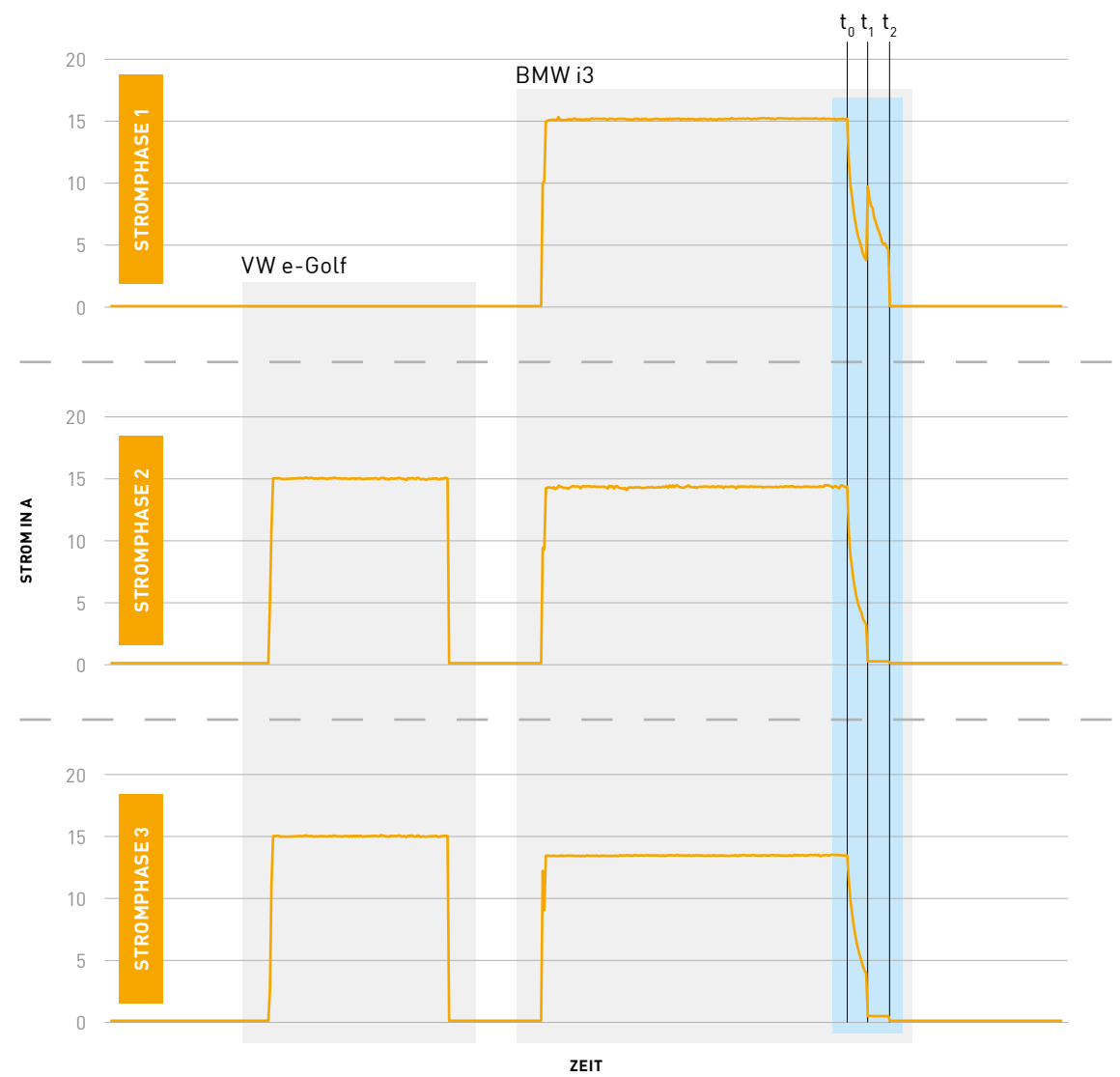


Abbildung 16: Ladeverhalten eines VW e-Golfs und eines BMW i3



### Ladevorgang eines E-Fahrzeugs

Die Auswahl der E-Fahrzeugmodelle, welche den E-Pionier\*innen zur Verfügung gestellt werden, beruht unter anderem auf deren Ladecharakteristika. Während der VW e-Golf zum Laden nur zwei der drei Phasen beansprucht und bis zum Abschluss des Ladevorgangs kontinuierlich mit hoher Leistung lädt, verhält sich der BMW i3 etwas anders. Dieser nutzt alle drei Phasen aus, reduziert diese jedoch ab dem Zeitpunkt  $t_0$ , wie aus Abbildung 16 entnommen werden kann. Im weiteren Verlauf zum Zeitpunkt  $t_1$  findet ein Lastabwurf von zwei der drei Phasen statt und der nur noch einphasig fortgeführte Ladevorgang wird zum Zeitpunkt  $t_2$  beendet. Durch dieses Verhalten induziert der BMW i3 neben dem zweiphasig ladenden VW e-Golf ebenfalls Asymmetrien, die sich ohne eine Symmetrieeinrichtung auf das Stromnetz auswirken.



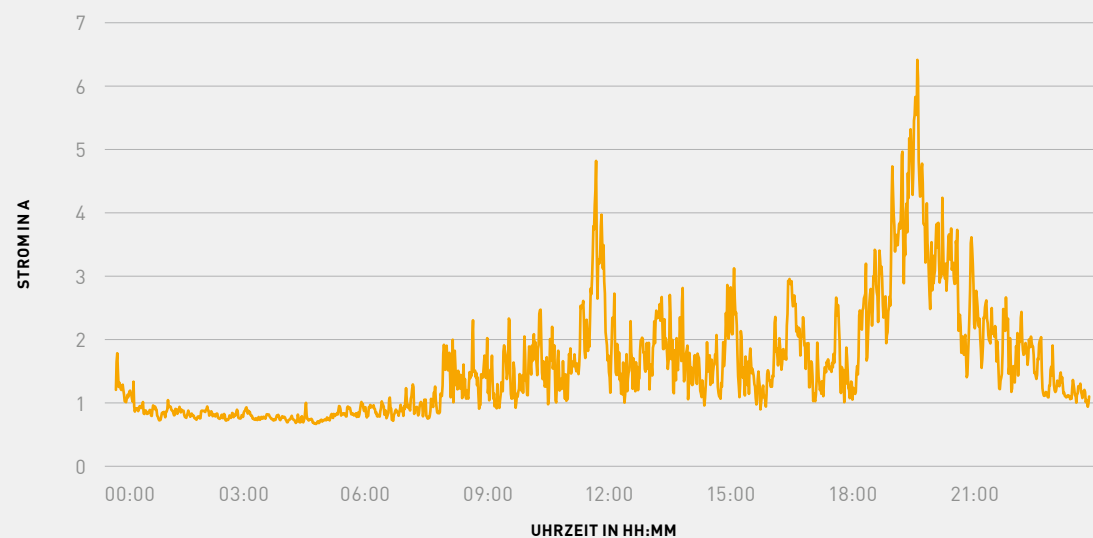
## Ausgleichsströme über Erdungsanlage

Der sichere Betrieb von Elektroanlagen ist ein hohes Gut und befindet sich allgemein auf einem sehr hohen Niveau. Mit dem Hochlauf der Elektromobilität werden über das Niederspannungsnetz neue Verbraucher (E-Fahrzeuge) mit Strom versorgt. Damit auch diese gefahrlos betrieben werden, wird im E-Mobility-Carré das Zusammenspiel der Erdungsanlagen der Ortsnetzstation und der Wohnanlage untersucht. Denn in sehr seltenen, jedoch ungünstigen Fällen, können sogenannte Ausgleichsströme zwischen den beiden genannten Erdungsanlagen fließen. Diese sind für den Menschen unbedenklich, haben jedoch für den reibungslosen Betrieb des Stromnetzes eine gewisse Relevanz.

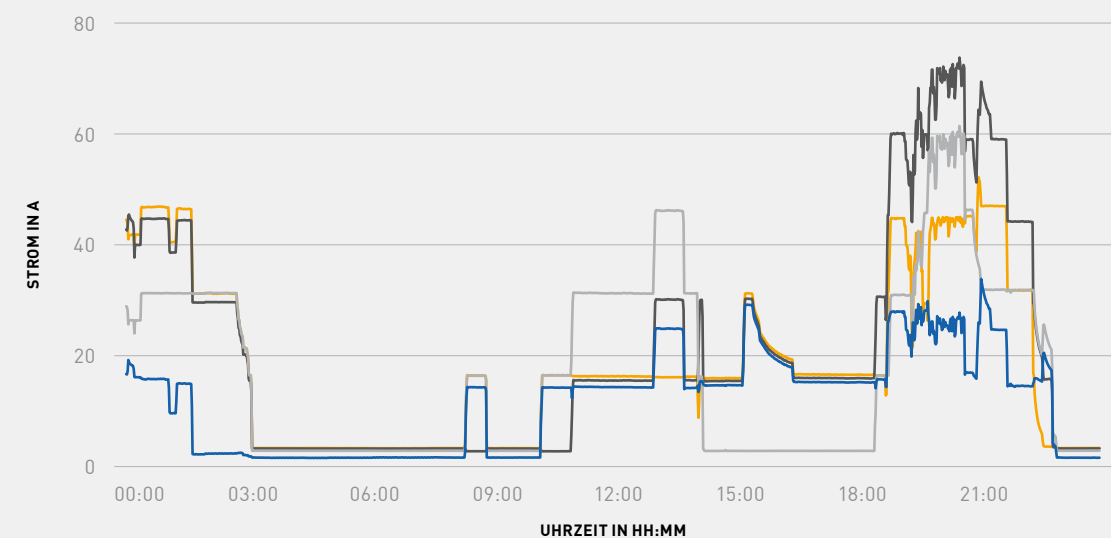
Das Niederspannungsnetz der Netze BW ist neben den drei Außenleitern (L1, L2 und L3) mit einem PEN-Leiter aufgebaut (TNC-System). Der PEN-Leiter kombiniert die Funktionen des Neutralleiters (N) und des Schutzleiters (PE). Hinter dem Netzanschlusspunkt in der kundenseitigen Anlage wird der PEN-Leiter in zwei Leiter (PE und N) aufgeteilt. Der Schutzleiter führt im ordnungsgemäßen Zustand keine Ströme und dient zur Einhaltung der Schutzfunktion. Bei unsachgemäßer Installation, falls PE und N an anderer Stelle erneut zusammengeführt werden, oder bei sehr hohen asymmetrischen Belastungen, sowie bei einer Aufteilung des Rückstroms zum

Sternpunkt des Ortsnetztransformators, können gegebenenfalls Ströme auf dem Schutzleiter fließen. Da die Wohnanlage Pura Vida mit ihren Mehrfamilienhäusern über mehrere Netzanschlüsse verfügt, können sich diese über die gemeinsam genutzte Erdungsanlage beeinflussen. Neben den Wohngebäuden wird auch die Ladeinfrastruktur des NETZlabors E-Mobility-Carré über die bestehende Erdungsanlage geerdet. Bei der Planung und Ausführung der Elektroinstallation ist das Auftreten der Ausgleichsströme zu berücksichtigen.

Um zu untersuchen, ob der separate Netzanschluss im E-Mobility-Carré Ausgleichsströme verursacht, werden hierzu gesonderte Messungen durchgeführt. Wie in Abbildung 17 zu erkennen ist, betragen die Ausgleichsströme sogar bei einer asymmetrischen Belastung zu keinem Zeitpunkt mehr als 6,42 A und sind damit unbedenklich. Daraus lässt sich schließen, dass die Installation der Ladeinfrastruktur normkonform erfolgte und dass eine gegenseitige Beeinflussung der Netzanschlüsse an diesem Messpunkt während der Projektlaufzeit nicht gegeben ist. Zur Einordnung sind die entsprechenden Phasenströme in Abbildung 18 dargestellt.



**Abbildung 17:** Ausgleichsströme vom separaten Netzanschluss im E-Mobility-Carré über die Erdungsanlage der Wohnanlage Pura Vida



**Abbildung 18:** Absolutwerte der Phasenströme

L1 —  
L2 —  
L3 —  
N —





**„Die Mobilität wird und muss sich verändern. Das NETZlabor setzt sich genau mit dieser Thematik auseinander. Daher finde ich es sehr spannend, gleich von Anfang an dabei zu sein und mich als E-Pionierin bezeichnen zu dürfen.“**

**Anja Ziegler, E-Pionierin**



## Lademanagement als Erfolgsgarant

Aus den Testszenarien des NETZlabors E-Mobility-Carré und den daraus abgeleiteten Erkenntnissen lassen sich folgende Punkte zusammenfassen:

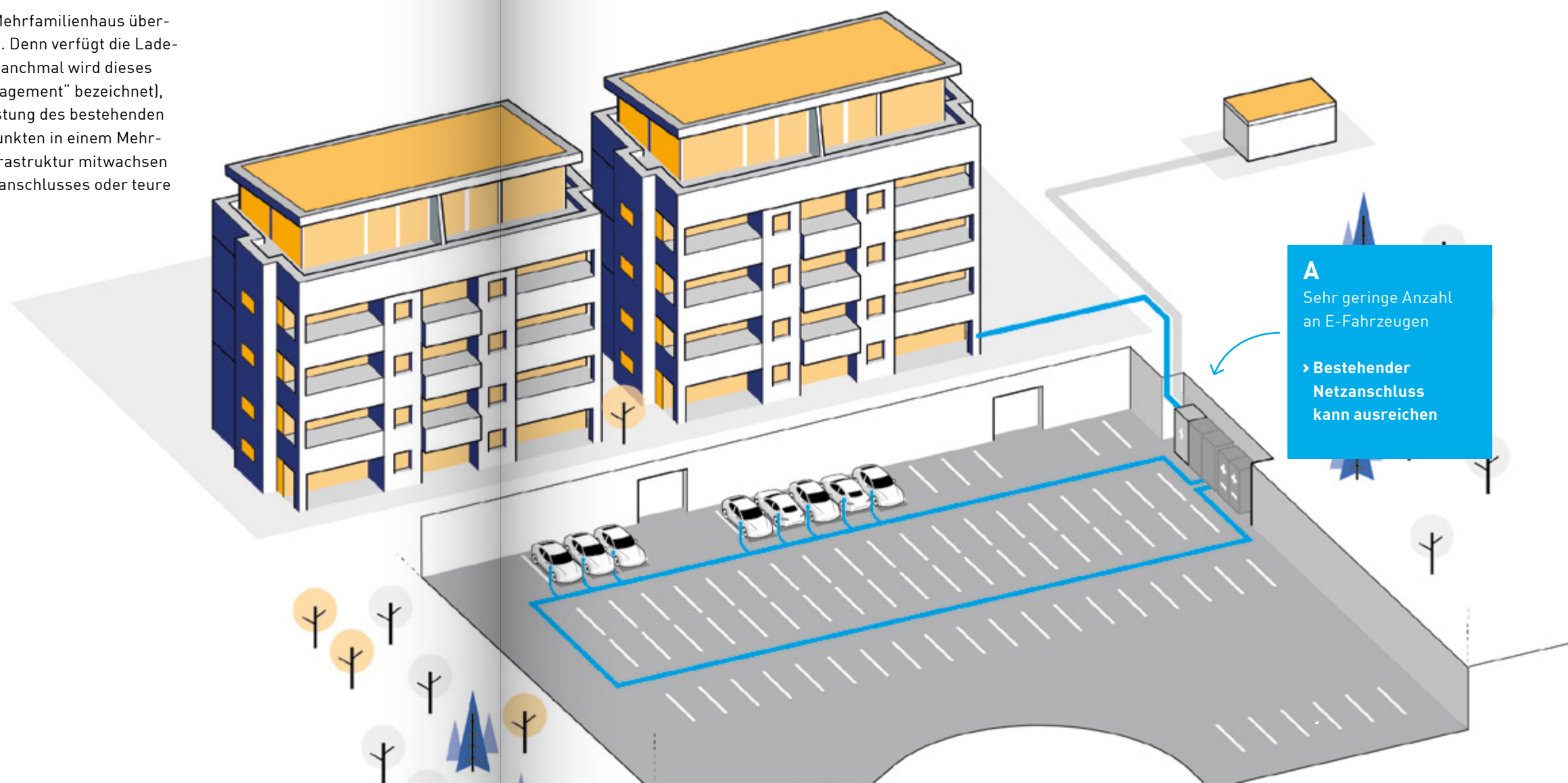
- › Durch das Lademanagement kann die benötigte Anschlussleistung zum Laden der E-Fahrzeuge erheblich reduziert werden
- › Der Batteriespeicher eignet sich ebenfalls zur Glättung von Leistungsspitzen, ist jedoch weniger effektiv als ein Lademanagementsystem
- › Mit Hilfe des Lademanagementsystems kann zum einen die Ladeinfrastruktur über die bestehenden Netzanschlüsse der Wohnanlage Pura Vida mit Strom versorgt werden und zum anderen die Belastung im Stromnetz reduziert werden
- › Durch asymmetrische Ladevorgänge entsteht eine zusätzliche Beanspruchung, welche jedoch durch entsprechende Symmetrieeinrichtungen aufgehoben werden kann

Die Erkenntnisse lassen sich auf ein allgemeines Mehrfamilienhaus übertragen, in welchem E-Autos geladen werden sollen. Denn verfügt die Ladeinfrastruktur über ein Lademanagementsystem (manchmal wird dieses auch als „Lastmanagement“ oder „Lade-Last-Management“ bezeichnet), ist die Grundvoraussetzung für die optimale Auslastung des bestehenden Netzanschlusses bei steigender Anzahl von Ladepunkten in einem Mehrfamilienhaus gegeben. Hierdurch kann die Ladeinfrastruktur mitwachsen und es wird gleichzeitig eine Überlastung des Netzanschlusses oder teure Überdimensionierung vermieden.

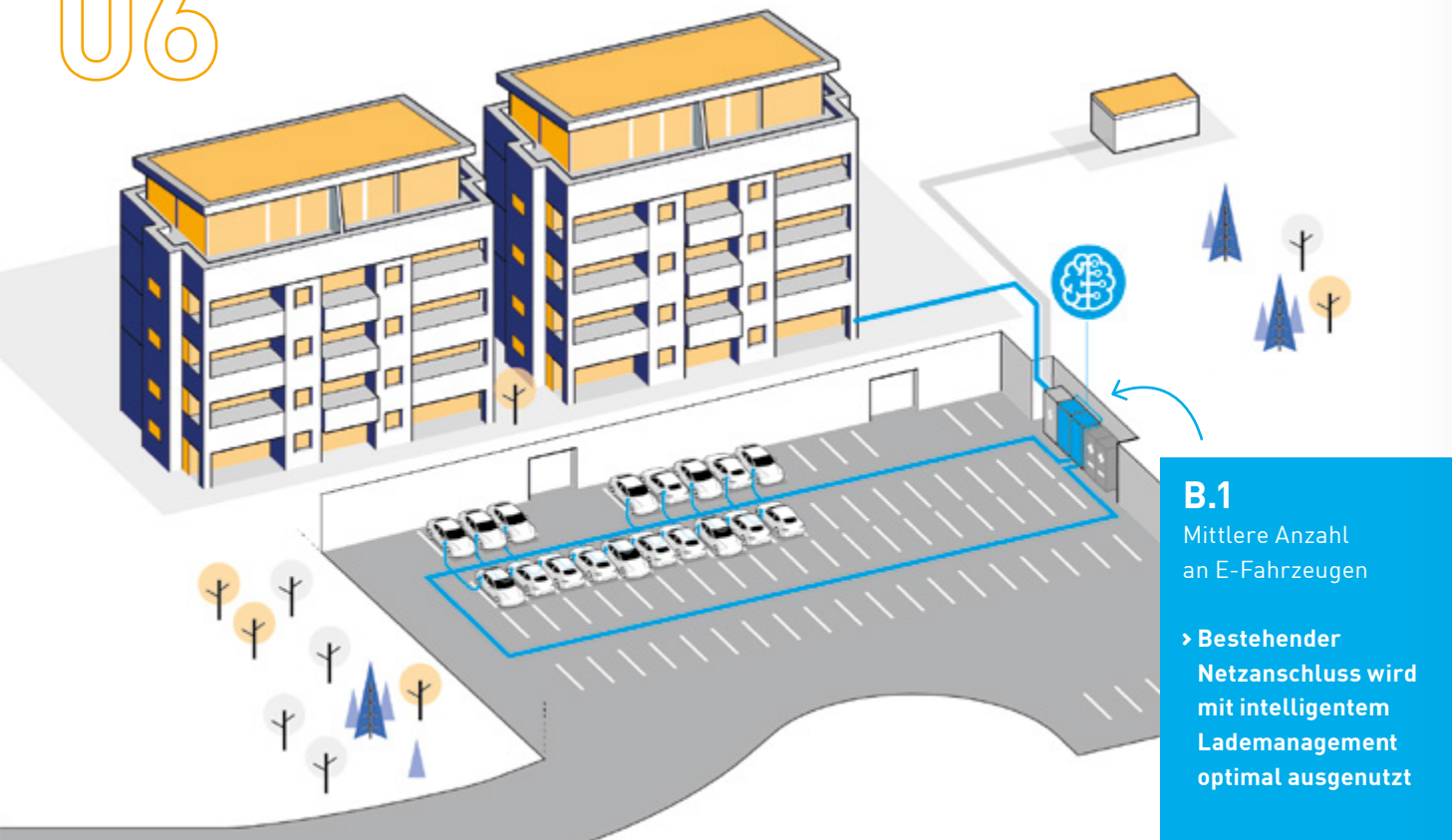
**Aus der dargestellten Zusammenfassung lassen sich – je nach Anzahl der Ladepunkte – folgende Szenarien übertragen. Hierbei können unterschiedliche Konstellationen zum optimalen Laden von E-Fahrzeugen sinnvoll sein:**

Sollen nur sehr wenige Ladepunkte installiert werden, so können diese über den bestehenden Netzanschluss des Wohngebäudes versorgt werden. Ist bei diesem noch ausreichend Kapazität vorhanden, kann unter Umständen auf ein Lademanagement verzichtet werden.

Aber Achtung: Sollen perspektivisch weitere Ladepunkte nachgerüstet werden, so ist die Kapazitätsgrenze schnell ausgereizt. In diesem Fall trifft der\*die Kund\*in zusammen mit einem\*einer Elektriker\*in die Entscheidung, ob entweder eine Optimierung beziehungsweise zeitliche Verschiebung der Ladevorgänge oder eine Erhöhung der Netzanschlussleistung notwendig ist. Die Erhöhung kann jedoch je nach Situation im Stromnetz aufwendig sein. Daher empfiehlt es sich, die Optimierung mittels eines Lademanagementsystems vorzusehen, um für die Zukunft gerüstet zu sein.



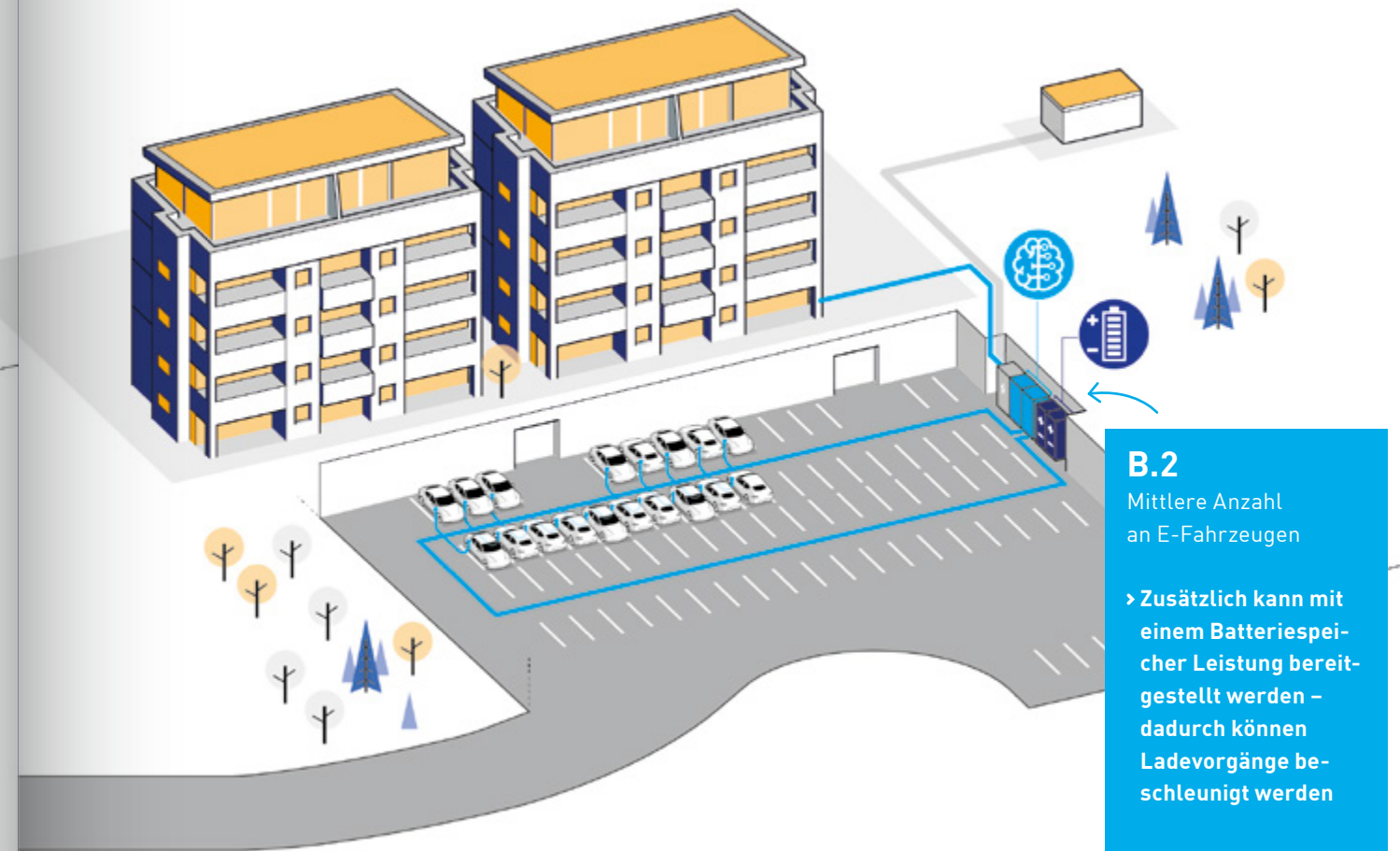




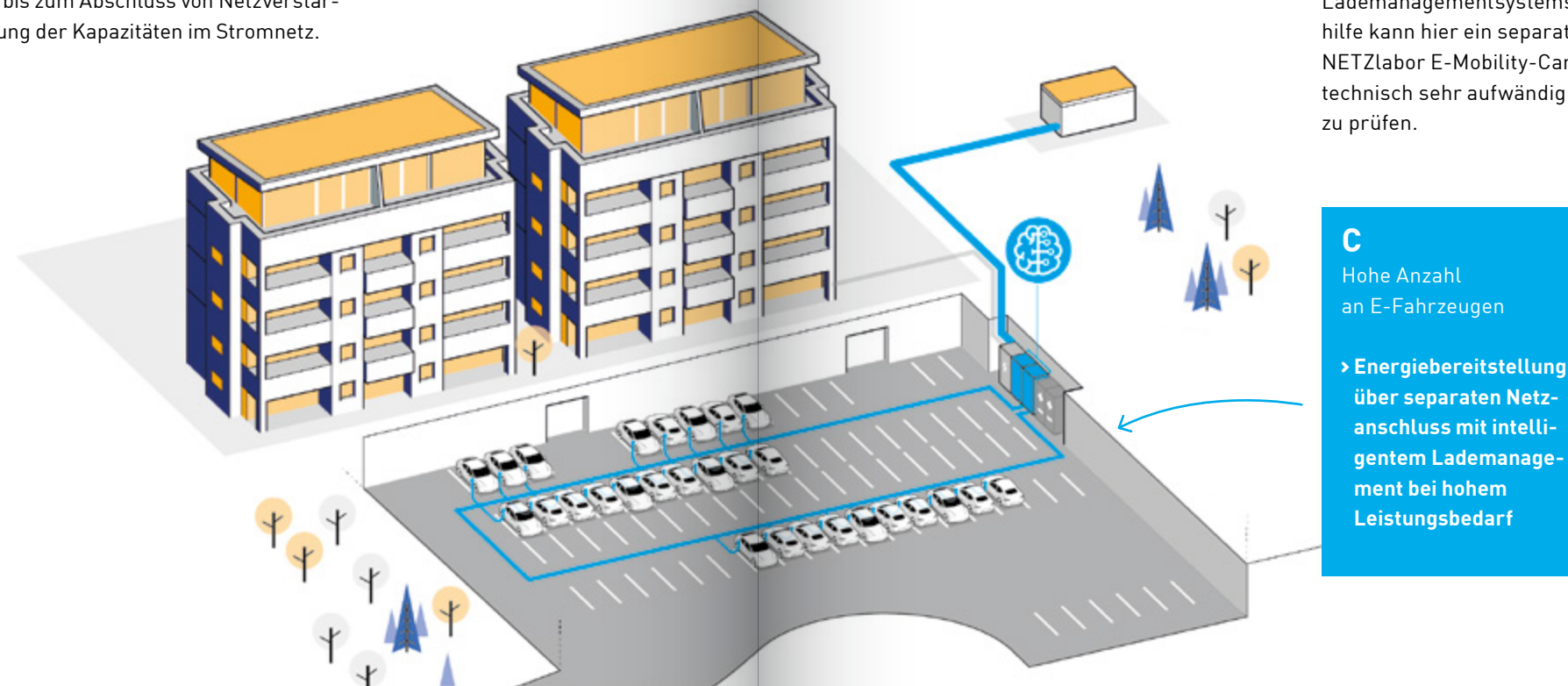
Wächst das Interesse an elektrifizierten Stellplätzen und übersteigt die für das Laden der E-Fahrzeuge benötigte Leistung die Restkapazität der Hausanschlüsse, muss auf ein intelligentes Lademanagementsystem zurückgegriffen werden. So wird die Möglichkeit geboten, viele E-Fahrzeuge – wenn auch zeitweise begrenzt – an den bestehenden Anschlüssen laden zu können.

Das Lademanagement kann auch dafür eingesetzt werden, die notwendige Anschlussleistung gering zu halten. Hierdurch fallen Verstärkungsmaßnahmen des Netzanschlusses geringer aus – mit der Folge einer kostengünstigeren und häufig schnelleren Integration ins Stromnetz. Gleichzeitig ermöglicht es den Verteilnetzbetreibern bis zum Abschluss von Netzverstärkungsmaßnahmen eine optimale Verteilung der Kapazitäten im Stromnetz.

Ein zum Lademanagement zusätzlich installierter Batteriespeicher kann entweder helfen, Leistungsspitzen zu reduzieren, oder durch das schnelle Ausspeichern der elektrischen Energie zusätzliche Leistung für das Laden der Elektrofahrzeuge bereitzustellen. Auch hier wird die Energie über den bestehenden Netzanschluss bezogen. Im zweiten Fall verkürzt sich sogar die Ladedauer der E-Autos.



Liegt eine sehr hohe Nachfrage nach Ladepunkten vor, kann es trotz eines Lademanagementsystems zu einem hohen Leistungsbedarf kommen. Abhilfe kann hier ein separater Netzanschluss schaffen, ähnlich wie dieser im NETZlabor E-Mobility-Carré verwendet wird. Dies ist jedoch kein Standard, technisch sehr aufwändig und stets im Einzelfall durch den Netzbetreiber zu prüfen.





## Tipps zum Vorgehen bei der Installation von Ladepunkten in einem Mehrfamilienhaus

Aus den Erfahrungen des NETZlabors E-Mobility-Carré lassen sich folgende Tipps bei der Elektrifizierung von Stellplätzen für E-Fahrzeuge in Mehrfamilienhäusern ableiten:

**1. Einrichtung eines Lademanagements zur Vermeidung von Lastspitzen am Netzanschlusspunkt.** Durch ein Lademanagement wird sichergestellt, dass eine definierte Leistungsgrenze nicht überschritten wird. Hierdurch kann die notwendige Kapazität des Netzanschlusses so gering wie möglich, aber so groß wie nötig dimensioniert werden. Dies ermöglicht sowohl auf Seite der Kundenanlage, als auch beim Netzbetreiber häufig eine schnellere Integration ins Stromnetz. In einer Veröffentlichung des Verbands der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft e. V. [13] ist ein Schaubild über den Gleichzeitigkeitsfaktor für mehrere, nicht öffentliche Ladepunkte im privaten Raum zu finden. Dies kann als Orientierung dienen.

**2. Jede Elektroinstallation ist anders.** Daher ist es ratsam, rechtzeitig auf den Elektrofachbetrieb zuzugehen, um mit diesem individuell die Situation vor Ort zu bewerten. Der Elektrofachbetrieb ist auch in der Lage, die freie Leistung am Netzanschluss durch eine sogenannte Lastgangmessung zu ermitteln.

**3. Bei Eigentümergemeinschaften empfiehlt sich eine frühzeitige Abstimmung des Vorhabens mit den Miteigentümer\*innen,** um zum einen eine mehrfache Ertüchtigung des Netzanschlusses zu vermeiden, und zum anderen die Verwendung eines Systems aus mehreren Ladepunkten und eines Lademanagements zu ermöglichen. Hier bietet es sich an, innerhalb der Eigentümergemeinschaft ein Ausbauszenario zu definieren.

**4. Bei Neubau oder Sanierung** sind die Vorgaben des Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetzes (GEIG) in deren gültigen Fassung zu beachten.

**5. Viele Verteilnetzbetreiber ermöglichen die Anmeldung der Ladeinfrastruktur als steuerbare Verbrauchseinrichtung** gemäß § 14a Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) [14]. Häufig wird dies durch verminderte Netzentgelte belohnt. Voraussetzung ist hierfür ein Lademanagement, welches auf die Steuersignale reagieren kann. Die E-Pionier\*innen im E-Mobility-Carré attestieren eine hohe Akzeptanz für solche steuerbaren Verbrauchseinrichtungen. Für Einzelheiten können Sie auf Ihren örtlichen Verteilnetzbetreiber zugehen.





# INTERVIEW

Im Interview erläutert der Projektleiter des NETZlabors E-Mobility-Carré, Ralph Holder, wie er die Erfahrungen und Ergebnisse bewertet und welche Highlights es im Laufe des Projekts gab.

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

**Holder:** Im Prinzip sind es drei wichtige Erkenntnisse. Die erste Erkenntnis ist, dass bei 58 installierten Ladepunkten in der Tiefgarage nie mehr als 13 E-Fahrzeuge gleichzeitig geladen haben. Das entspricht einer Gleichzeitigkeit von 22 Prozent. Das ist schon sehr wenig und hat uns als Projektteam tatsächlich sehr überrascht.

Die zweite Erkenntnis aus dem Projekt ist, dass die Leistung am Netzananschlusspunkt durch das Lademanagement bis auf 40kW reduziert werden kann. Das ist zwar ein niedriger Wert, dennoch ist dieser bei den Bewohner\*innen auf eine sehr hohe Akzeptanz gestoßen. Durch theoretische Überlegungen am Schreibtisch wären wir nicht auf diese wichtige Erkenntnis gekommen.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass durch gezielte Steuereingriffe des Stromnetzbetreibers, in diesem Fall durch die Netze BW, Lastspitzen im Stromnetz vermieden werden können. Dort haben wir Lastfenster und dynamische Regelungen implementiert, die ebenfalls auf eine sehr hohe Akzeptanz der Bewohner\*innen gestoßen sind.

## Was war Ihr persönliches Highlight in den 16 Monaten?

**Holder:** Mein persönliches Highlight war an „Tag Null“ der 16 Monate Testzeitraum, nämlich am Tag der Fahrzeugübergabe: 45 Autos auf einem Platz stehen zu haben, die jetzt an die zukünftigen E-Pionier\*innen übergeben werden; das war schon ein ganz besonderer Moment, denn jeder war gespannt darauf, endlich sein E-Fahrzeug zu bekommen.

Jetzt geht es los, jetzt fahren gleich die Leute mit den E-Fahrzeugen nach Hause. Natürlich auch die leichte Vorfreude im Team – wir haben jetzt viel Zeit in Lademanagement, in Installation, in Aufbau investiert – funktioniert denn alles? Schlussendlich hat alles funktioniert, wir haben also alles richtig gemacht! Aber dieser Moment, an dem alle 45 E-Fahrzeuge übergeben sind und vom Hof fahren, der war schon sehr besonders.



**Ralph Holder**, Projektleiter des NETZlabors E-Mobility-Carré

Ein weiteres Highlight war für mich die Resonanz, die dieses Projekt hervorgerufen hat. Zahlreiche Anfragen der Presse, von Fernsehsendern und Verbänden sowie aus dem Elektrohandwerk und von Eigentümern zeigen: Das Thema Laden in Mehrfamilienhäusern ist sehr präsent. Es wird nachgefragt und das was wir aufgebaut haben, welche Erkenntnisse wir abgeleitet haben, das trifft den Zahn der Zeit. Diese Resonanz, dieses Feedback, das ständig zurückgespielt wird, ist definitiv auch ein Highlight dieser 16 Monate.



**48 Haushalte haben teilgenommen.**  
**Wie wichtig war Ihnen der persönliche Kontakt?**

**Holder:** Der Kontakt zu den E-Pionier\*innen war und ist mir immer sehr wichtig. Aus verschiedenen Gründen. Zum einen muss bei so einem Feldversuch technisch und organisatorisch alles funktionieren. Wenn zum anderen ein enger Kontakt zu den Bewohner\*innen besteht, bekommt man heraus, wo es noch Bauchschmerzen gibt und wo eventuell nochmal nachjustiert werden muss. Noch wichtiger war für mich aber, dass nicht nur die Messdaten ausgewertet und daraus die technischen Erkenntnisse abgeleitet werden, sondern in den Dialog mit den Bewohner\*innen vor Ort zu treten und deren Eindrücke, deren Erfahrung mit der Elektromobilität aufzunehmen.

Um nur ein Beispiel zu nennen: Ich habe mit mehreren Bewohner\*innen gesprochen, die das E-Auto für Urlaubsfahrten in die Benelux-Region, an die Ostsee, oder in die Schweiz genutzt haben. Das sind Geschichten und Erfahrungen, die würde man sonst kaum bekommen.

Das passt auch sehr gut zum Kundenkontakt; denn die technische Erkenntnis ist das eine, die vorhin angesprochene Akzeptanz der Bewohner\*innen jedoch das andere. Denn diese ist besonders wichtig für den Hochlauf der Elektromobilität. Es mag technisch vielleicht funktionieren, aber wenn es nicht akzeptiert wird, dann läuft irgendwas schief.

**Das Projekt E-Mobility-Carré ist abgeschlossen.**  
**Wie geht es weiter?**

**Holder:** Abgeschlossen heißt ja auch, die E-Fahrzeuge sind wieder eingesammelt. Die 45 E-Fahrzeuge sind zurück bei der Netze BW, entsprechend sieht die Tiefgarage wieder wie im Ursprungszustand aus. Dennoch, die Resonanz der Bewohner\*innen auf die Elektromobilität ist sehr hoch. Viele sind von der Elektromobilität begeistert. Einige Bewohner\*innen haben sich schon vor dem Projekt ein Elektrofahrzeug zugelegt oder jetzt auch während des Projekts ein Elektrofahrzeug bestellt. Entsprechend hoch war auch die Nachfrage danach, die Ladeinfrastruktur, die wir im Rahmen des Projekts installiert haben, zu übernehmen. Diesem Wunsch sind wir nachgekommen, wodurch die Ladeinfrastruktur jetzt im Eigentum der Bewohner\*innen ist und letztendlich dadurch auch weiter genutzt wird. Zum anderen ist das E-Mobility-Carré abgeschlossen, aber die Nachfrage an Erkenntnissen ist umso höher, weil die Elektromobilität zunehmend Anklang findet. Es finden auch weiterhin viele Gespräche innerhalb der Netze BW, aber vor allem darüber hinaus in verschiedenen Themenbereichen statt: in der Branche, mit Verbänden und mit dem Handwerk. Mit dem Hintergrund, die von uns gewonnenen Erkenntnisse zu verankern, so dass auch dort der Hochlauf der Elektromobilität weiterhin Fahrt aufnimmt.

# WUSSTEN SIE, DASS...

sich im Laufe des Projekts die Radien, in denen die E-Autos genutzt wurden, vergrößert und die Restreichweite, mit der ein Ladevorgang gestartet hat, verringert hat?







**„Die anfängliche Skepsis gegenüber der Elektromobilität hat sich während des Projekts in eine hohe Akzeptanz verwandelt. Ich wünsche jedem die Chance, bei einem Projekt wie dem NETZlabor E-Mobility-Carré mitmachen zu dürfen. Die Teilnahme am Projekt hat mich dazu motiviert, auf Elektromobilität umzusteigen und mir ein E-Auto zu kaufen.“**

**Hans-Peter Willmann**, E-Pionier



# 16 MONATE UNTER STROM

Neben spannenden technischen Erkenntnissen gab es während der Projektlaufzeit auch viele weitere Meilensteine. Von der Vorfreude bei der Eigentümerversammlung bis hin zum Stolz auf die erfolgreich abgeschlossenen Testphasen bei der Fahrzeugrückgabe. Im NETZlabor wurde vieles ausgewertet, wertvolle Erkenntnisse gewonnen und spannende Dialoge geführt – stets mit Unterstützung des gesamten Projektteams. Hier ein paar Eindrücke der wichtigsten Momente.



Eigentümerversammlung, 01.07.2019



Fahrzeugübergabe, 07.12.2019



Besuch des Staatssekretärs Dr. Baumann, 28.08.2020



Fahrzeugrückgabe, 09.04.2021



# DIE ZUKUNFT FÄHRT ELEKTRISCH

## Neue Herausforderungen für die Integration von Elektromobilität ins Stromnetz

Mit dem NETZlabor E-Mobility-Carré wurde gezielt die Integration von Elektromobilität ins Stromnetz bei Mehrfamilienhäusern im Bestand untersucht. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen ergänzen zusammen mit den anderen NETZlaboren der Netze BW zum privaten Laden zu Hause das Bild, wie sich zukünftig das Ladeverhalten der E-Mobilist\*innen auf das Stromnetz auswirkt.



Doch auch nach Abschluss des Feldtests beschäftigt sich die Netze BW weiterhin mit Ladeinfrastruktur in Mehrfamilienhäusern. Durch die Standardisierung der entwickelten Lösungen soll das Laden von E-Fahrzeugen in Tiefgaragen weiter vereinfacht werden. Darüber hinaus wird der Kontakt zu den Netzkund\*innen, welche ihre Tiefgarage elektrifizieren möchten, intensiviert. Durch bereitgestellte Informationen und zielgerichtete Beratungen soll bei einem entsprechenden Projektvorhaben bestmöglich geholfen werden können. Und nicht zuletzt liefern die Erkenntnisse aus dem E-Mobility-Carré wichtige Impulse für die Transformation der betriebsinternen Prozesse, bei Netzanschlussanfragen schnell und effizient eine Rückmeldung geben zu können. Dies alles mit dem Ziel, Elektromobilität in Mehrfamilienhäusern zu ermöglichen und gleichzeitig auch in Zukunft eine hohe Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Doch auch über das Themenfeld der Mehrfamilienhäuser hinaus beschäftigt sich die Netze BW mit der Netzintegration Elektromobilität. Bisher liegt der inhaltliche Fokus auf dem privaten Laden von Elektrofahrzeugen in Ein- und Mehrfamilienhäusern. Das private Laden wird weit über das Jahr 2021 hinaus im Fokus stehen – und zwar nicht nur in den laufenden NETZlaboren, sondern in allen Handlungsfeldern (Kundenzentrierter Netzanschluss, Transparenz im Verteilnetz, Intelligente Netzoptimierung, Zukunftssichere Netzentwicklung).

Denn durch die Marktdynamik und die damit verbundene Geschwindigkeit des Hochlaufs der Elektromobilität werden die Herausforderungen für eine erfolgreiche Integration der E-Fahrzeuge ins Stromnetz weiter verstärkt. Daher geht die Netze BW konsequent den frühzeitig eingeschlagenen Weg weiter, den Markt mitzugestalten und zum Hochlauf der Elektromobilität beizutragen.

Die steigenden Anmeldezahlen privater Ladeinfrastruktur in Wohngebäuden lassen sich auf die politischen Bestrebungen klimaneutraler Mobilität zurückführen, welche die Netze BW stark befürwortet. Die dynamischen Entwicklungen der Branche und Politik setzen jedoch eine konsequente Weiterentwicklung der inhaltlichen Arbeit im Bereich Netzintegration Elektromobilität voraus. Hierzu bewertet die Netze BW fortlaufend die zukünftigen Herausforderungen für den sicheren und zuverlässigen Betrieb der Verteilnetze, priorisiert die notwendigen Maßnahmen und überführt diese in Umsetzungsaktivitäten. So liegen – neben dem Laden zu Hause – die thematischen Schwerpunkte auf der Entwicklung öffentlicher Schnellladeinfrastruktur, der Elektrifizierung des öffentlichen Personennahverkehrs sowie der Elektrifizierung des Lastverkehrs. Zudem wird konsequent die Nutzung von Flexibilitäten in verschiedenen Anwendungsfällen untersucht. Dies ist neben der netzdienlichen Optimierung von Ladevorgängen auch die Autarkie einzelner Haushalte durch Vehicle to Home (V2H) und Nutzung der Flexibilität von Ladevorgängen (Vehicle to Grid, V2G).

Hierbei hat die Netze BW stets das Ziel vor Augen, eine hohe Versorgungssicherheit zu gewährleisten und gleichzeitig mit intelligenten Lösungen im Stromnetz einen vorausschauenden und bedarfsgerechten Netzausbau voranzutreiben. Diese Aufgabe ist jedoch nicht allein durch die Netze BW stemmbar, sondern es bedarf auch weiterhin der engen Zusammenarbeit und Kooperationsbereitschaft innerhalb der Energiebranche und darüber hinaus. Denn nur so lassen sich auch die zukünftigen Herausforderungen gemeinsam lösen und eine klimaneutrale Mobilität sicherstellen.



# Quellenverzeichnis

**[1]** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (06/2016): Übereinkommen von Paris. URL: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/paris\\_abkommen\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf) (15.09.2021)

**[2]** Europäische Umweltagentur (03/2020): Verkehr. URL: <https://www.eea.europa.eu/de/themes/transport/intro> (15.09.2021)

**[3]** Bundesregierung (2021): Klimaschutzgesetz 2021. Generationenvertrag für das Klima. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> (15.09.2021)

**[4]** Europäische Kommission (07/2021): „Fit für 55“: auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030. Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=DE> (15.09.2021)

**[5]** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (08/2021a): Eine Milliarde Euro für die Zukunft der Automobilindustrie. Pressemitteilung vom 18.08.2021. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/08/20210816-1-mrd-euro-fur-die-zukunftsthemen-der-automobilindustrie-expertenausschuss-legt-seine-forderempfehlungen-vor.html> (15.09.2021)

**[6]** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (08/2021b): Erstmals rollen eine Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen. Pressemitteilung vom 02.08.2021. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/08/20210802-erstmals-rollen-eine-million-elektrofahrzeuge-auf-deutschen-strassen.html> (15.09.2021)

**[7]** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (11/2019): Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung. Ziele und Maßnahmen für den Ladeinfrastrukturaufbau bis 2030. URL: [https://www.bmwi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmwi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur.pdf?__blob=publicationFile) (15.09.2021)

**[8]** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Das deutsche Stromnetz. Über große Distanzen bis in jede Steckdose. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/netze-und-netzausbau.html> (16.09.2021)

**[9]** Statistisches Bundesamt (2019): Wirtschaftsrechnung. Einkommens- und Verbrauchsstichprobe Wohnverhältnisse privater Haushalte. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publicationen/Downloads-Wohnen/evs-wohnen-verhaeltnis-haushalte-2152591189004.pdf> (16.09.2021)

**[10]** Wohnungseigentumsmodernisierungsgesetz (WE-MoG) vom 16.10.2020. In: BGBl. I, 2020, Nr. 47

**[11]** Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG). Vom 18.03.2021. In: BGBl. I, 2021, Nr. 11

**[12]** CHECK 24 GmbH (02/2020). Mecklenburg-Vorpommern legen die meisten Kilometer mit dem Auto zurück. Pressemitteilung vom 14.02.2020. URL: [https://www.check24.de/files/p/2020/1/8/e/14804-2020\\_02\\_14\\_check24\\_pm\\_kfz\\_blnachkm\\_v01.pdf](https://www.check24.de/files/p/2020/1/8/e/14804-2020_02_14_check24_pm_kfz_blnachkm_v01.pdf) (22.09.2021)

**[13]** Verband der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (05/2021): VBEW Hinweis E-Mobilität Netzanschluss und Netzverträglichkeit von Ladeeinrichtungen. PDF online aufrufbar auf: <https://www.vbew.de/energie/energie-fuer-bayern/mobilitaet-fuer-bayern/elektromobilitaet> (01.06.2021)

**[14]** Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) vom 07.07.2005. In BGBl. I, S. 1970, 3621. Zuletzt geändert durch Artikel 84 am 10.08.2021 (in: BGBl. I, S. 3436)

# Impressum

## Herausgeber:

Netze BW GmbH

## Konzept und Text:

Ralph Holder und Susanne Frank,  
Netze BW GmbH

## Design:

deerstreet-experience GmbH

## Stand:

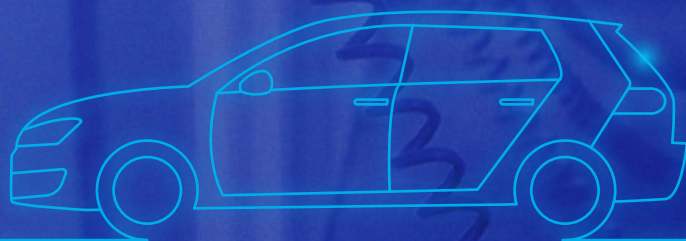
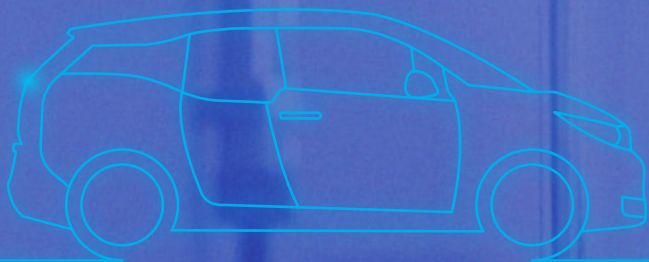
September 2021

## Kontakt E-Mobility-Carré:

e-mobility-carre@netze-bw.de  
[www.netze-bw.de/e-mobility-carre](http://www.netze-bw.de/e-mobility-carre)







**Netze BW GmbH**  
Schelmenwasenstraße 15  
70567 Stuttgart  
[www.netze-bw.de](http://www.netze-bw.de)