

# Elektromobilitätskonzept der Stadt Freiburg im Breisgau



**Auftraggeberin:** Stadt Freiburg im Breisgau  
Garten- und Tiefbauamt  
Fehrenbachallee 12  
79106 Freiburg

**Erstellt durch:** badenova AG & Co. KG  
Tullastraße 61  
79108 Freiburg

**badenova**  
*Energie. Tag für Tag*

**Autoren:** Dr. Susanne Baumgartner (Projektleiterin)  
Manuel Baur  
Johannes Drayß  
Manuel Gehring  
Dominik Noeren  
Martin Rist  
Mona Stammer

Dieses Konzept wurde gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Rahmen des „Sofortprogramms Saubere Luft 2017-2020“ durch die Erstellung eines „Green-City-Masterplans“ für Freiburg

Förderkennzeichen: 16AVF3051A



Freiburg, Juli 2018

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht.



## Inhaltsverzeichnis

---

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>4</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>7</b>
<b>1. AUSGANGSLAGE .....</b>	<b>9</b>
1.1    ELEKTROMOBILITÄT ALS TEIL DER MOBILITÄTSWENDE .....	9
1.2    VOM GLOBALEN TREND ZUM LOKALEN HANDELN .....	10
1.3    AUFBAU DES ELEKTROMOBILITÄTSKONZEPTS .....	11
<b>2. GRUNDLAGEN UND ENTWICKLUNG DER ELEKTROMOBILITÄT .....</b>	<b>13</b>
2.1    VERWENDUNG DES BEGRIFFS „ELEKTROMOBILITÄT“ .....	13
2.2    TECHNOLOGISCHE GRUNDLAGEN DER ELEKTROFAHRZEUGE.....	13
2.2.1    Unterteilung nach Antriebsarten .....	13
2.2.2    Wichtige Komponenten der Elektrofahrzeuge.....	14
2.3    TECHNOLOGISCHE GRUNDLAGEN DES LADENS.....	15
2.3.1    Gleichstrom- und Wechselstromladungen .....	15
2.3.2    Ladeleistungen .....	15
2.3.3    Stecker für Elektrofahrzeuge.....	15
2.3.4    Gehäuseformen.....	15
2.3.5    Zählen, Messen und Abrechnen.....	16
2.3.6    Weitere Aspekte .....	16
2.4    DIE BISHERIGE ENTWICKLUNG DER ELEKTROMOBILITÄT.....	17
2.4.1    Geschichtliche Einordnung der Elektromobilität .....	17
2.4.2    Der Markthochlauf in Deutschland.....	18
2.4.3    Aktueller E-Fahrzeugbestand in Deutschland.....	19
2.4.4    Aktueller Stand des Ladeinfrastrukturausbaus in Deutschland.....	21
2.5    ELEKTROMOBILITÄT HEUTE .....	21
2.5.1    Politische Ziele zur Elektromobilität in Deutschland .....	21
2.5.2    Rechtlicher Rahmen.....	22
2.5.3    Förderung und Wirtschaftlichkeit.....	25
2.5.4    Marktverfügbarkeit von Fahrzeugen .....	28
2.5.5    Ökologie.....	29
2.5.6    Ein Fazit: Vor- und Nachteile der Elektromobilität.....	39
<b>3. HANDLUNGSFELD LADEINFRASTRUKTUR .....</b>	<b>41</b>
3.1    AKTUELLER STAND DER ELEKTROMOBILITÄT IN FREIBURG.....	41
3.1.1    Kraft- und E-Fahrzeugbestand in Freiburg.....	41



3.1.2	<i>Bestand an öffentlichen und halböffentlichen Ladesäulen in Freiburg</i> .....	42
3.2	ANALYSE DES BEDARFS AN LADEINFRASTRUKTUR IN FREIBURG NACH AUSBAUSZENARIOEN .....	45
3.2.1	<i>Abschätzung der E-Fahrzeugentwicklung in Freiburg</i> .....	45
3.2.2	<i>Abschätzung des Bedarfs an öffentlicher Ladeinfrastruktur in Freiburg</i> .....	47
3.2.3	<i>Abschätzung der Entwicklung der Ladeinfrastruktur im privaten und halböffentlichen Bereich in Freiburg</i> .....	51
3.3	STANDORTANALYSE FÜR ÖFFENTLICHE LADEINFRASTRUKTUR IN FREIBURG .....	55
3.4	AUFBAU EINES SCHNELLLADESYSTEMS IN DER SCHREIBERSTRASSE .....	58
3.5	ANALYSE DER HEMMNISSE BEIM AUFBAU VON LADEINFRASTRUKTUR .....	60
<b>4.</b>	<b>HANDLUNGSFELD STROMNETZINFRASTRUKTUR</b> .....	<b>63</b>
4.1	AUSWIRKUNGEN DER ELEKTROMOBILITÄT AUF DIE STROMNETZINFRASTRUKTUR .....	63
4.1.1	<i>Netzebenen und -topologien</i> .....	63
4.1.2	<i>Netzbelastung durch Elektromobilität</i> .....	64
4.2	LÖSUNGSANSÄTZE ZUR VERMEIDUNG VON NETZÜBERLASTUNGEN .....	66
4.3	VERMEIDUNG VON NETZÜBERLASTUNGEN DURCH NETZAUSBAU .....	66
4.4	VERMEIDUNG VON NETZÜBERLASTUNGEN DURCH LASTMANAGEMENT .....	68
4.4.1	<i>Arten des Lastmanagements</i> .....	68
4.4.2	<i>Anwendungsfälle des Lastmanagements</i> .....	70
4.4.3	<i>Lastmanagement im städtischen Fuhrpark</i> .....	72
4.5	DECKUNG DES STROMBEDARFS FÜR E-MOBILITÄT DURCH ERNEUERBARE ENERGIEN.....	73
4.5.1	<i>Bedeutung der Erneuerbaren Energien für die E-Mobilität</i> .....	73
4.5.2	<i>E-Mobilitäts-Szenarien für Freiburg: Möglichkeiten der Deckung des Strombedarfs durch erneuerbare Energien</i> .....	74
4.5.3	<i>Reduzierung des Strombedarfs und der Lastspitzen durch Gegenmaßnahmen</i> .....	75
<b>5.</b>	<b>HANDLUNGSFELD ELEKTROMOBILITÄT IM GEWERBE</b> .....	<b>77</b>
5.1	ELEKTRIFIZIERUNGSPOTENZIALE IM BETRIEBLICHEN KONTEXT .....	77
5.1.1	<i>E-Mobilitätspotenziale von Sozialstationen</i> .....	78
5.1.2	<i>E-Mobilitätspotenziale von Handwerksbetrieben</i> .....	79
5.1.3	<i>E-Mobilitätspotenziale von Behörden und kommunalen Versorgern</i> .....	80
5.1.4	<i>E-Mobilitätspotenziale von Lieferdiensten</i> .....	80
5.2	FAZIT UND NÄCHSTE SCHRITTE IM BEREICH DER BETRIEBLICHEN MOBILITÄT .....	82
<b>6.</b>	<b>HANDLUNGSFELD MOBILITÄTSDIENSTLEISTUNGEN</b> .....	<b>83</b>
6.1	ELEKTRIFIZIERUNGSPOTENZIALE DES ÖPNV .....	83
6.1.1	<i>Busse</i> .....	83
6.1.2	<i>Taxen</i> .....	84
6.1.3	<i>Carsharing</i> .....	84
6.1.4	<i>Weitere Sharing-Systeme</i> .....	85

6.2	AKTUELLER STAND UND WEITERE HANDLUNGSMÖGLICHKEITEN VON MOBILITÄTSDIENSTLEISTERN IM BEREICH E-MOBILITÄT IN FREIBURG .....	85
6.2.1	<i>Freiburger Verkehrs-AG</i> .....	86
6.2.2	<i>Taxigewerbe</i> .....	87
6.2.3	<i>Carsharing</i> .....	88
6.2.4	<i>Lastenräder</i> .....	90
7.	MAßNAHMEN ZUR FÖRDERUNG DER ELEKTROMOBILITÄT IN FREIBURG .....	91
7.1	MAßNAHMENKATALOG .....	91
7.2	PRIORISIERTE MAßNAHMEN .....	99
8.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	105
9.	LITERATURVERZEICHNIS .....	108

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energiedichte ausgewählter Energiespeicher nach Volumen .....	14
Abbildung 2: Entwicklung der thematischen Artikel in deutschen Printmedien* *berücksichtigte Zeitungen und Zeitschriften: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Süddeutsche Zeitung, Die Zeit, Frankfurter Rundschau und Der Spiegel (SCHWEDES ET AL. 2013).....	17
Abbildung 3: Anzahl der Neuzulassungen von reinen batterieelektrischen PKW in Deutschland in den Jahren 2007 bis 2017 (KBA 2018b, 2018c).....	18
Abbildung 4: Absatztrends von wichtigen internationalen Märkten für Elektrofahrzeuge 2016/2015 (CAM in HANDELSBLATT 2017a, EIGENE DARSTELLUNG).....	19
Abbildung 5: Prognostizierte Entwicklung des PKW-Bestands in Deutschland und der Ziele für E-Fahrzeuge bis 2030 (KBA 2018b) .....	20
Abbildung 6: Verteilung der Antriebstechnologien im E-Fahrzeugsegment in Deutschland (Eine Unterteilung in Plug-in-Hybride und Hybride ist erst ab 2018 möglich) (KBA 2018c).....	20
Abbildung 7: Pflichten nach Inkrafttreten der Ladesäulenverordnung (BNETZA 2016).....	23
Abbildung 8: CO <sub>2</sub> -Emissionen nach Antriebsenergie. Ausstoß eines Elektrofahrzeugs (16 kWh/100 km) gemäß zusätzlich errichteten erneuerbaren Stromquellen (in grün) oder deutschem Strommix (in blau) im Vergleich zum Durchschnitt der Neuzulassungen 2017 (in orange) und exemplarisch diverser aktueller VW Golf Modelle (in grau) (Quellen: Umweltbundesamt 2017, Kraftfahrtbundesamt 2018, VW 2018) .....	30
Abbildung 9: Vergleich der Klimabilanz von batterieelektrischen und konventionellen Fahrzeugen ermittelt pro km bei einer Lebenslaufleistung von 168.000 km. Die Bilanzen der Elektrofahrzeuge sind für verschiedene Strommixe, die der Verbrennungsfahrzeuge für konventionellen und durchschnittlichen Biokraftstoff dargestellt. (IFEU 2017).....	33
Abbildung 10: Vergleich der Treibhauspotenziale elektrischer und konventioneller Referenzfahrzeuge (Kompaktwagensegment). (BMVI 2016) .....	34
Abbildung 11: CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Fahrzeugkilometer über den gesamten Lebenszyklus, links für ein Fahrzeug, das 2017 neu zugelassen wird, rechts für eines, das 2025 neu auf die Straße kommt. (BMU 2017) .....	35
Abbildung 12: Kilometerleistung, ab der ein Elektrofahrzeug weniger CO <sub>2</sub> emittiert als ein Verbrennungsmotor mit Diesel oder Benzin als Energiequelle. Basierend auf Lebenszyklusanalysen (ADAC 2018d).....	36
Abbildung 13: Einsatz kritischer Rohstoffe in Elektrofahrzeugen (UMWELTBUNDESAMT 2016) .....	37
Abbildung 14: Verteilung der Antriebstechnologien im E-Fahrzeugsegment in Freiburg (STADT FREIBURG 2018) .....	41
Abbildung 15: Bestand an E-Fahrzeugen in Freiburg. Quelle: Stadt Freiburg 2018.....	42
Abbildung 16: Ladesäulenbestand in Freiburg. Stand September 2018 (GOINGELECTRIC.DE; LADENETZ.DE, CHARGEMAP.COM; E-TANKSTELLEN-FINDER.COM; BUNDESNETZAGENTUR; DARSTELLUNG O. GEWÄHR AUF VOLLSTÄNDIGKEIT) .....	43

Abbildung 17: Exponentielle Entwicklung des E-Fahrzeugbestands in Deutschland (VERÄNDERT NACH KBA 2018B) .....	46
Abbildung 18: Prognostizierte Entwicklung der E-Fahrzeuge in Freiburg (VERÄNDERT NACH KBA 2018B UND 2018C; GUT FREIBURG 2018) .....	47
Abbildung 19: Anteile der Ladevorgänge (NPE 2018B) .....	48
Abbildung 20: Strombedarfsentwicklung in Freiburg auf Basis der prognostizierten E- Fahrzeuge bis 2030 (BADENOVA 2018) .....	48
Abbildung 21: Zunahme der Ladevorgänge an vier öfftl. Ladesäulen in Freiburg (BADENOVA 2018) .....	49
Abbildung 22: Geschätzte Anzahl der öfftl. benötigten Ladesäulen in Freiburg, um den Strombedarf der E-Fahrzeuge in Freiburg bis 2030 im öfftl. Raum zu decke (BADENOVA 2018) .....	50
Abbildung 23: Tiefgaragen- und Garagendichte (ALKIS STADT FREIBURG 2018, BADENOVA 2018) .....	52
Abbildung 24: Entwicklung der Anzahl an E-Fahrzeugen auf Stadtelebene (BADENOVA 2018) .....	53
Abbildung 25: Stadtteil spezifische E-Fahrzeugentwicklung in Freiburg bis 2020 .....	53
Abbildung 26: Stadtteil spezifische E-Fahrzeugentwicklung in Freiburg bis 2025 .....	54
Abbildung 27: Stadtteil spezifische E-Fahrzeugentwicklung in Freiburg bis 2030 .....	54
Abbildung 28: Methodische Vorgehensweise bei der Standortanalyse von Ladeinfrastruktur (BADENOVA 2018) .....	55
Abbildung 29: Potenzielle Standorte für öfftl. Ladeinfrastruktur (BADENOVA 2018) .....	56
Abbildung 30 – Schematische Darstellung des modulierbaren Schnellladesystems (DARSTELLUNG ENERCON 2018) .....	58
Abbildung 31 – Netztopologien (FRAUNHOFER ISI, 2018) .....	64
Abbildung 32: Vergleich der normierten Lastprofile aller Lademöglichkeiten (HEIER ET AL., 2018) .....	65
Abbildung 33: Zusätzliche Investitionskosten im Beispielnetz im Jahr 2030 [Tsd. €] (FRAUNHOFER ISI 2016 EIGENE DARSTELLUNG) .....	67
Abbildung 34: Lastmanagement (MENNEKES 2018) .....	69
Abbildung 35: Mennekess Lastmanagement (MENNEKES 2018) .....	70
Abbildung 36: Anwendungsbeispiele von Lastmanagement (MENNEKES 2018) .....	72
Abbildung 37: Pilotprojekt dynamisches Lastmanagement (BNNETZE, STADT FREIBURG 2018) .....	73
Abbildung 38: Reduzierte Lastspitze 2030 durch Gegenmaßnahmen (beispielhaft, EIGENE BERECHNUNG) .....	76
Abbildung 39: Entwicklung Fahrgastzahlen der VAG (GUT 2018) .....	86
Abbildung 40: links: Standorte Taxi-Stellplätze, Quelle: FreiGIS Freiburg; rechts: Taxizulassungen nach Antriebsart, Quelle: Amt für Öffentliche Ordnung Freiburg .....	87
Abbildung 41: Standorte Carsharing auf städtischen Parkplätzen (verändert nach GUT 2018) .....	88
Abbildung 42: Lastenfahrrad gesponsert von FREI.MOBIL (LASTENVELO E.V. 2018) .....	90

## 1. Ausgangslage

---

"Erdöl – das sind die Tränen des Teufels." *Rockefeller*

### 1.1 Elektromobilität als Teil der Mobilitätswende

Die Entwicklungen der letzten Jahre zeigen, dass das Mobilitätsbedürfnis der Deutschen weiter zunimmt. Laut Umweltbundesamt nehmen gleichzeitig auch die Emissionen im Verkehr seit 2010 wieder zu. Um die Klimaneutralität im Verkehr bis 2050 zu erreichen, wie von der Bundesregierung gefordert, ist eine Mobilitätswende damit dringend erforderlich.

Ausgangspunkt dieser Mobilitätswende sind die Städte, die aufgrund der schon gut ausgebauten ÖPNV-Netze, alternativer Angebote wie Carsharing und der meist kürzeren Wege, die auch mit dem Fahrrad oder zu Fuß bewältigt werden können, den Bürgern Alternativen zum eigenen Auto bieten können. Nichts desto trotz ist die Mobilitätswende auch für Städte eine der größten Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte. Sie ist aber auch eine Chance, das Stadtleben attraktiver zu gestalten, die Mobilitätswünsche der Bürgerinnen und Bürger zu erfüllen und gleichzeitig den Nachhaltigkeits- und Klimaschutzzielen gerecht zu werden.

Bei der Gestaltung der Mobilitätswende in Freiburg spielen die Grundsätze der Verkehrspolitik eine zentrale Rolle. Priorität hat hierbei zunächst die Verringerung des Verkehrs in der Stadt, was durch eine stärkere Anlehnung an das Leitbild der „Stadt der kurzen Wege“ erreicht werden kann. An zweiter Stelle steht die Verlagerung des Verkehrs vom privaten PKW auf den ÖPNV, auf Sharing-Angebote, auf das Fahrradfahren oder zu Fuß gehen. So ist die Stadt Freiburg dabei, die Angebote für alternative Verkehrsmittel kontinuierlich zu verbessern, wie die aktuelle Erweiterung der Stadtbahnlinien zeigt. Das Angebot an Carsharing-Fahrzeugen nimmt in Freiburg weiter zu und Radschnellwege sollen weiter ausgebaut werden, so dass der Umstieg auf das Fahrrad oder Pedelec auch für weitere Pendelstrecken eine attraktive Option ist. Dort, wo der motorisierte Individualverkehr (MIV) nicht ersetzt werden kann, gilt es, diesen so umweltfreundlich wie möglich zu gestalten. Hier kann in Zukunft die Elektromobilität eine entscheidende Rolle spielen.

Im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor haben Elektroautos den klaren Vorteil, dass beim Fahrbetrieb lokal keine CO<sub>2</sub>-Emissionen und keine NO<sub>x</sub>-Emissionen auftreten. Auch fallen die Feinstaubemissionen und bei niedrigen Geschwindigkeiten auch die Geräuschemissionen wesentlich geringer aus. Damit können E-Fahrzeuge einen wichtigen Beitrag zur Entlastung von Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen leisten.

Zudem belegen aktuelle Studien den Klimavorteil von Elektroautos. Schon heute fallen die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines E-Autos – d.h. von der Herstellung bis zu Entsorgung – auch unter Verwendung des deutschen Strommixes geringer aus als bei vergleichbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (vgl. Abschnitt 2.5.5). In Zukunft wird sich dieser Effekt durch den weiteren Ausbau von Erneuerbare-Energien-Anlagen noch verbessern.

Um den Umweltvorteil von Elektroautos voll auszuschöpfen sollte das Ziel dennoch sein, den Fahrstrom komplett mit Strom aus erneuerbaren Energien zu decken und auch im Produktionsprozess bei der energieintensiven Herstellung der Batterien auf erneuerbare Energien zu setzen. Damit wird auch ein weiterer Vorteil der Elektromobilität deutlich.



Durch die Nutzung regenerativ erzeugten Stroms für Mobilität wird die Sektorkopplung, d.h. die Kopplung von Verkehr- und Energiesektor, möglich. Gleichzeitig verringert sich die Abhängigkeit von fossilen Kraftstoffen.

Die Kopplung mit dem Stromnetz bringt zum einen natürlich Herausforderungen mit sich, wie die zu erwartenden höheren Lastspitzen durch die erhöhte Stromnachfrage der E-Fahrzeuge zu bestimmten Tageszeiten. Zum anderen können die Lastspitzen durch intelligentes Lastmanagement ausgeglichen und die E-Fahrzeuge zu Zeiten geringer Nachfrage auch als Energiespeicher genutzt werden. D.h. wenn die Ladung der E-Fahrzeuge smart gesteuert wird, können Lastspitzen und ein kostenintensiver Ausbau der Stromnetze verhindert werden (vgl. Abschnitt 4.2).

Eine Mobilitätswende kann jedoch nur gelingen, wenn neben dem Angebot an Alternativen auch eine entsprechende Bereitschaft besteht, sich auf neue Mobilitätsformen einzulassen. Die Nachfrage nach E-Autos ist bisher noch verhalten, wobei als Hauptgründe immer wieder die mangelnde Reichweite, der zu hohe Anschaffungspreis und die fehlende Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum genannt werden. Alle drei Kritikpunkte werden allerdings kurz- bis mittelfristig nicht mehr von Bedeutung sein.

Die Anzahl an Fahrzeugmodellen mit Reichweiten von 400-600 km nimmt weiter zu und die Batterieforschung schreitet voran, so dass E-Fahrzeuge auch in diesem Punkt zu einer echten Konkurrenz zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor werden. Die derzeit noch hohen Anschaffungskosten für E-Autos werden durch geringe Betriebskosten teilweise wieder wettgemacht. So ist das E-Auto in der Gesamtkostenbetrachtung auch heute schon wirtschaftlich, da weniger Kosten für Kraftstoff, Wartung und Reparaturen anfallen und steuerliche Vorteile gewährt werden. Auch der Ausbau des Netzes an Ladeinfrastruktur schreitet voran. Durch das Förderprogramm der Bundesregierung, wird deutschlandweit in Normal- und Schnellladeinfrastruktur investiert. 2020 soll das europaweit erste flächendeckende Netz von 400 Ultra-Schnellladestationen mit 350 kW Leistung u.a. an deutschen Autobahnraststätten fertig gestellt sein.

Um sich jedoch endgültig von einer neuen Technologie überzeugen zu lassen, muss die Möglichkeit bestehen, diese auch selbst auszuprobieren. Die persönliche Erfahrung ist auch für die Einstellung gegenüber Elektromobilität eine wesentliche Einflussgröße. Hemmschwellen können am besten abgebaut werden, indem man E-Fahrzeuge selbst fährt oder wenigstens Mitfahrer ist. Der Einsatz der Technologie in Carsharing-Flotten, in Taxen und Bussen, aber auch von Pedelecs in Fahrradverleihsystemen bietet daher große Chancen die Elektromobilität erfahrbar zu machen und die Bürgerinnen und Bürger zu einem Umstieg zu bewegen.

## 1.2 Vom globalen Trend zum lokalen Handeln

Weltweite Ressourcenknappheit und die hohe Luftverschmutzung in Städten bringen die Notwendigkeit mit sich, nach neuen Mobilitätskonzepten zu suchen. Die Automobilindustrie hat den Elektromotor als Zukunftstechnologie erkannt und auch deutsche Autohersteller zeigen mit den neuen Automodellen, dass sie die Elektromobilität mittlerweile ernst nehmen. Die Neuzulassungen von E-Fahrzeugen nehmen weiter zu und laut des Berichts der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) werden bis 2025 15-25% der Neuzulassungen in Deutschland Elektroautos sein (d.h. 2-3 Mio. E-Autos).

Gleichzeitig hat die Bundesregierung die Rahmenbedingungen für den Durchbruch der Elektromobilität in Deutschland geschaffen. Sie hat Ziele definiert (1 Mio. E-Autos bis 2020, 6 Mio. E-Autos bis 2030 auf deutschen Straßen) und entsprechende Gesetze und Förderprogramme auf den Weg gebracht (Elektromobilitätsgesetz (EmoG), Förderprogramm Ladeinfrastruktur, Umweltbonus, Kfz-Steuerbefreiung etc.).

Nun sind auch die Kommunen aufgefordert zu handeln und ihre Rolle als Gestalter der Mobilitätswende wahrzunehmen. Es gilt die bereits angestoßenen Entwicklungen weiter voranzutreiben, Impulse zu geben und selbst als Vorbild aufzutreten. Freiburg, als „grüne“ Stadt bekannt, hat bereits 75% der eigenen Flotte auf E-Antriebe umgestellt und ist dabei, die öffentliche Ladeinfrastruktur weiter auszubauen.

Bei der Beschäftigung mit dem Thema E-Mobilität wird klar, dass es sich um ein Querschnittsthema handelt, bei dem viele Akteure gefragt sind und das Abstimmungsprozesse über die Ämter hinweg erforderlich macht. So ist das Tiefbauamt Ansprechpartner beim Ladeinfrastrukturausbau, die Straßenverkehrsbehörde z.B. beim Thema Parkregelungen und Stadtplaner bei der Integration der E-Mobilität in Neubaugebiete. Aber auch die badenova AG & Co. KG als Energieversorger muss beim Thema Ladeinfrastruktur, Netzausbau und Lademanagement mit eingebunden werden. Dieses Elektromobilitätskonzept soll daher das Thema für die Stadt Freiburg aufbereiten, um ein planvolles Vorgehen für die nächsten Jahre zu ermöglichen.

Das Konzept ist Teil des Green City Master Plans, der im Rahmen des Sofortprogramms Saubere Luft der Bundesregierung von April bis Juli 2018 für die Stadt Freiburg erarbeitet wurde. Parallel dazu werden der Luftreinhalteplan und der Lärmaktionsplan erstellt.

Ziel des Elektromobilitätskonzepts ist es, das Thema Elektromobilität lokal für die Stadt zu betrachten, was die Anforderungen an die Lade- und Stromnetzinfrasturktur angeht, aber auch, welche Akteure es im Mobilitätsbereich gibt, die bei der Umstellung auf E-Mobilität unterstützt werden könnten. Darauf aufbauend werden der Stadt konkrete Handlungsmöglichkeiten aufgezeigt, wie sie sich „fit“ für E-Mobilität machen kann.

### 1.3 Aufbau des Elektromobilitätskonzepts

Das Elektromobilitätskonzept ist in sieben Kapitel untergliedert. Nach dieser Einleitung folgt in Kapitel 2 eine Darstellung der Grundlagen der Elektromobilität, in dem der Aufbau des E-Autos sowie alle Aspekte rund ums Laden beschrieben werden. Teil des Kapitels ist auch die Darstellung der Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland, der politischen Ziele, der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie aktueller Förderprogramme und die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge. Ein besonderes Augenmerk wird auf den Aspekt der Ökologie der Fahrzeuge gelegt.

Das folgende Kapitel 3 widmet sich dem Thema Ladeinfrastruktur. Zunächst wird der aktuelle Stand an E-Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur in Freiburg aufgezeigt und daran anschließend in Szenarien der zukünftige Bedarf an Ladeinfrastruktur abgeschätzt. Außerdem wird die Methode zur Standortanalyse für öffentliche Ladeinfrastruktur in Freiburg erläutert und wie der Ausbau weiter vorangeht mit Fokus auf den geplanten „Ladehub“ an der Schreiberstraße.

In Kapitel 4 wird aufgezeigt, welche Auswirkungen die Elektromobilität auf die Stromnetzinfrasturktur haben könnte und welche Lösungsansätze es gibt, Netzüberlastungen ent-

gegen zu wirken. Abschließend wird anhand der E-Mobilitätsszenarien aus Kapitel 2 berechnet, wie viele Erneuerbare-Energien-Anlagen nötig wären, um den zusätzlichen Strombedarf der E-Autos regenerativ zu decken.

In Kapitel 5 wird die E-Mobilität aus betrieblicher Sicht betrachtet. Im Rahmen von Interviews wurden die Erfahrungen, Hemmnisse und Bedürfnisse von Sozialstationen, Handwerksbetrieben, Behörden, kommunalen Versorgern und Lieferdiensten erörtert und mögliche Maßnahmen diskutiert.

Kapitel 6 widmet sich den Mobilitätsdienstleistern in Freiburg. Es werden die Elektrifizierungspotenziale von Bussen, Taxen, im Carsharing und weiterer Sharing-Systeme dargestellt und die Handlungsmöglichkeiten der einzelnen Akteure aufgezeigt.

In Kapitel 7 wird dann abschließend der Maßnahmenkatalog vorgestellt, der aus der Analyse der einzelnen Themenbereiche hervorging und die hochpriorisierten Maßnahmen im Rahmen des Sofortprogramms Saubere Luft in Form von Steckbriefen genauer beschrieben.

## 2. Grundlagen und Entwicklung der Elektromobilität

"Die weltweite Nachfrage nach Kraftfahrzeugen wird eine Million nicht überschreiten - allein schon aus Mangel an verfügbaren Chauffeuren." *Gottlieb Daimler*

### 2.1 Verwendung des Begriffs „Elektromobilität“

In dieser Ausarbeitung beziehen sich die Bezeichnungen E-Mobilität und Elektrofahrzeug auf alle Fahrzeuge deren Vortrieb durch einen Elektromotor gewährleistet wird und deren benötigte Elektrizität aus extern ladbaren Traktionsbatterien (Antriebsbatterien) bereitgestellt wird. Dies sind reine batterieelektrische Autos (BEV) als auch Plug-in-Hybride (PHEV). Nicht betrachtet werden Hybridfahrzeuge ohne Netzstecker und Wasserstofffahrzeuge.

E-Roller, E-Bikes und Pedelecs sind zwar auch Elektrofahrzeuge, die einen wichtigen Beitrag zur Mobilitätswende leisten können und den Umstieg vom Verbrennungsfahrzeug auf ein Zweirad erleichtern. Der Fokus der technischen Ausführungen im Grundlagenteil richtet sich jedoch auf die E-Autos.

Diese Abgrenzung findet primär aufgrund der gänzlich anderen Tankinfrastruktur sonstiger genannter Fahrzeuge statt. Aussagen über Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit eines Technologiemies in einer zukünftigen Mobilitätswende sind nicht Inhalt dieser Ausarbeitung. Zweifellos können Wasserstoff-betriebene Fahrzeuge ebenso gut wie Batterie-betriebene Fahrzeuge Umweltprobleme lösen, sie sind daher grundsätzlich als alternativer Antrieb ebenso unterstützenswert. Da die Verbreitung aber absehbar noch sehr gering bleiben wird, und viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit durchgeführt werden muss, ist diese Antriebsart aktuell noch nicht im Fokus.

### 2.2 Technologische Grundlagen der Elektrofahrzeuge

#### 2.2.1 Unterteilung nach Antriebsarten

Grundlegend kann die technische Einteilung in folgende Typen erfolgen:

Bei **Hybriden** handelt es sich um Mischformen des Antriebs. Sogenannte **milde Hybride** haben kleine Elektromotoren zur Unterstützung des primären Verbrennungsmotors, der Strom wird jedoch ausschließlich durch den Verbrennungsmotor erzeugt.

**Plug-in-Hybride** (PHEV) ermöglichen das Laden der Traktionsbatterie (Antriebsbatterie) durch einen Netzstecker. Die elektrische Reichweite fällt hier sehr unterschiedlich aus, ist jedoch entscheidend für die lokale Emissionsfreiheit des Fahrzeugs.

**Range Extender** – Fahrzeuge mit Range Extender haben einen ähnlichen Aufbau wie Hybride. Heute dienen Range Extender hauptsächlich zur Reichweitenverlängerung von batterieelektrischen Fahrzeugen (so z.B. beim BMW i3 in mancher Variante).

**Batterieelektrische Fahrzeuge** – jenseits der Hybride bilden die reinen batterieelektrischen Fahrzeuge die größte Gruppe der Fahrzeuge mit Elektromotor. Die benötigte Elektrizität wird durch netzgebundenes Aufladen der Traktionsbatterie bereitgestellt. Es gibt keinen zusätzlichen Verbrennungsmotor an Bord, somit ist die Reichweite von Batteriegröße (Kapazität) und Verbrauch abhängig.

**Wasserstofffahrzeuge** – die meisten Wasserstofffahrzeuge erzeugen den Strom über Brennstoffzellen aus dem mitgeführten Wasserstoff, der in einem Hochdrucktank aufbewahrt wird.

## 2.2.2 Wichtige Komponenten der Elektrofahrzeuge

### 2.2.2.1 Der Elektromotor

Als Antrieb für Fahrzeuge hat der Elektromotor grundlegende Vorteile gegenüber dem Verbrennungsmotor: Er ist leiser, vibrationsärmer, emissionsärmer, effizienter, leistungsstärker, wartungsärmer, platzsparender und von seiner Konstruktion einfacher, zudem auch preiswerter.

Elektromotoren können bereits in kleinsten Umdrehungszahlen ihr maximales Drehmoment bereitstellen. So ist eine nahezu vergleichslose Beschleunigung möglich. Auch hohe Umdrehungszahlen sind problemlos durch Elektromotoren abzudecken, ebenfalls mit vollem Drehmoment. Folglich kann in reinen Elektrofahrzeugen auf ein Getriebe inklusive Kupplung verzichtet werden.

### 2.2.2.2 Die Batteriespeicher

Die benötigte Energie für den Antrieb des Elektromotors kommt aus der zuvor geladenen Traktionsbatterie. Weist der Elektromotor viele Vorteile im Vergleich zu seinem konventionellen Pendant auf, so bringt die Speicherung von elektrischer Energie Herausforderungen mit sich. Für die mobile Anwendung ist vor allem die Energiedichte von Batterien relevant. Sie liegt deutlich unter der Energiedichte von Benzin und Diesel (sowohl vom Volumen als auch vom Gewicht) (vgl. Abbildung 1). So ist zumindest der derzeit meist verwendete Batterietyp: die Lithium-Ionen-Batterie. Des Weiteren sind Batterien komplexe Bauteile. Sie sind anfällig gegenüber thermischen Einflüssen, haben eine begrenzte Lebens- und Speicherdauer und sind teuer in der Produktion. Zur Herstellung kommen viel Energie, seltene Erden und schwer zu recycelnde Materialverbindungen zum Einsatz, wodurch Batterien eine signifikante Auswirkung auf die Ökobilanz von Elektrofahrzeugen haben (vgl. Absatz 2.5.5 Ökologie).

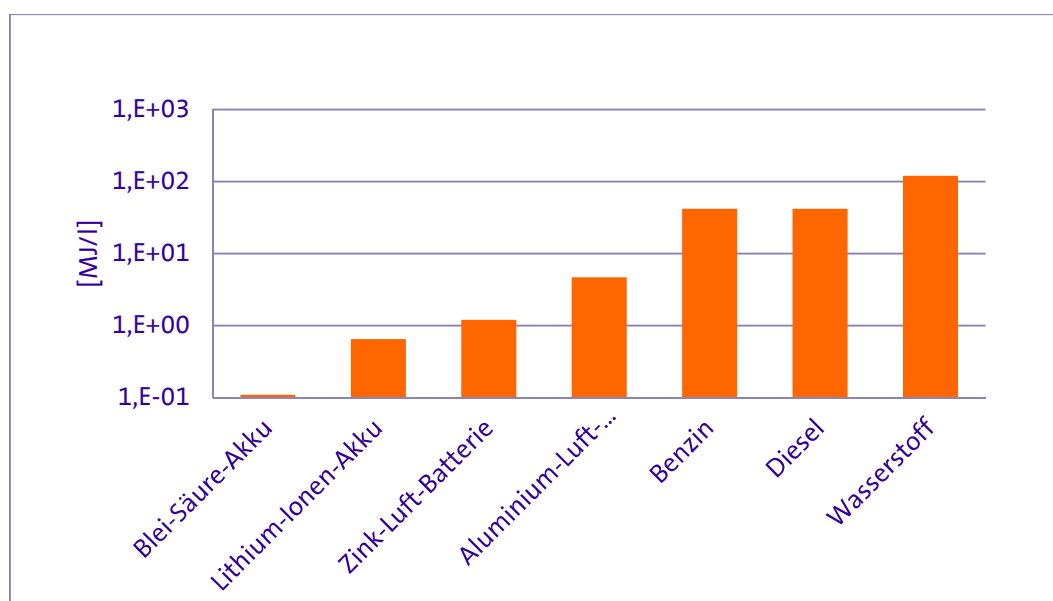


Abbildung 1: Energiedichte ausgewählter Energiespeicher nach Volumen



War bisher der Verbrennungsmotor das Herzstück eines Fahrzeugs und das technologische Alleinstellungsmerkmal eines Automobilherstellers, so rutscht die Batterietechnologie an diese Stelle. Etablierte asiatische Hersteller dominieren hier den Markt seit Jahren.

## 2.3 Technologische Grundlagen des Ladens

### 2.3.1 Gleichstrom- und Wechselstromladungen

Batterien stellen immer Gleichstrom bereit und benötigen diesen auch zur Ladung. Da sich nahezu weltweit Wechselstromnetze zur Stromversorgung durchgesetzt haben, muss die Elektrizität aus dem Netz gleichgerichtet werden um Batterien laden zu können. Die benötigten Gleichrichter (allgemeiner: Leistungselektronik) kann bereits in der Ladestation verbaut sein oder im Fahrzeug. Im Fahrzeug sind Gewicht und Platz jedoch limitiert, folglich ist auch die verbaubare Leistungselektronik bezüglich Größe und Gewicht beschränkt; und damit die Ladeleistung, denn Leistungselektronik mit höheren Leistungen bedarf mehr Platz und Gewicht. Auf stationärer Seite, also in der Ladestation, gibt es deutlich weniger Limitierungen. Findet die Gleichrichtung des Stroms in der Ladestation statt, so können höhere Ladeleistungen bereitgestellt werden. Diese sind folglich Gleichstrom-, also DC (direct current)-Ladestationen. Aus genannten Limitierungen entsteht die Unterscheidung zwischen AC (alternativ current)- und DC-Ladestationen.

### 2.3.2 Ladeleistungen

Die gängigen Ladeleistungen für Elektrofahrzeuge ergeben sich primär aus den Netzanschlussvorgaben. Für eine AC-Ladung (also Wechselstrom) sind die üblichen Absicherungen im Verteilnetz 3,7 – 11 – und 22 kW. Hiernach richten sich auch die gängigen Ladeleistungen. Ist der Gleichrichter auf der Seite des Netzes verbaut, so können höhere Ladeleistungen angeboten werden. Folglich werden DC-Ladungen (also Gleichstrom) auch als Schnellladungen bezeichnet. Üblich sind Leistungen zwischen 20 und 55 kW, inzwischen sind auch 150 kW eine marktverfügbare Größe und Systeme mit über 300 kW sind derzeit in der Entwicklung. Unterschieden wird zwischen Normalladestationen (AC bis 22 kW), Schnellladestationen (DC über 22 kW, in seltenen Fällen auch AC bis 43 kW) und Ultraschnellladestationen (DC mit sehr hohen Leistungen).

### 2.3.3 Stecker für Elektrofahrzeuge

Durch die schnelle weltweite Entwicklung der E-Mobilität fehlte vielerorts die vorangehende Normungsinitiative, um weltweit einen einheitlichen Stecker zu definieren. Alleine in Europa waren unterschiedliche Steckertypen und -bilder in der Diskussion, bevor sich die europäischen Standards **Typ 2 (AC)** (gem. Norm EN62196-2) und folgend **Combo II** (auch **CCS** genannt) (**DC**) (gem. Norm EN62196-3) durchsetzten (vgl. BAKKER UND TRIP 2015, VDE 2016, EU 2014). Neben den europäischen Standards gibt es in Europa noch den asiatischen **CHAdeMO**-Standard (CHADEMO 2018) für DC und den proprietären Stecker von **Tesla** (TESLA 2018).

### 2.3.4 Gehäuseformen

Abhängig vom Aufstellort, dem Anwendungsfall, der möglichen Ladeleistung und entsprechend dem passenden Stecker unterscheiden sich auch die Gehäuseform und die

Größe der Ladestationen. Primär für die Nutzung in Innenräumen und Ladeleistungen bis maximal 22 kW sind wandmontierbare **Wallboxen** geeignet. Für den Außenbereich gibt es **Ladesäulen** in AC, die in sehr unterschiedlicher Baugröße und Form verfügbar sind. Die meisten haben eine Höhe von ca. 160 cm, um Steckdosen (meist zwei) und ein optionales Display in angenehmer Höhe für den Nutzer bereitzustellen. Für den Außenbereich gibt es noch eine Sonderform: Die Straßenlaternenintegrierte Ladesäule (eine Steckdose ist häufig direkt in den Laternenmast integriert). DC-Ladesäulen sind meist deutlich größer als AC-Ladesäulen und haben häufig das Format und Volumen von Tanksäulen.

### 2.3.5 Zählen, Messen und Abrechnen

#### 2.3.5.1 Messen des Stroms

Um aus dem Laden von Fahrzeugen ein Geschäftsmodell entwickeln zu können, muss Strom zum Verkauf abrechenbar sein. Hierzu sind in öffentlich zugänglichen Ladestationen geeichte Zähler verbaut (VDE 2016).

Neben der Abrechnung über Leistung oder Energie wird zum Teil auch die Nutzungsdauer (unabhängig von der bezogenen Energie) in Rechnung gestellt.

#### 2.3.5.2 Kommunikation mit dem Fahrzeug

Für eine gesteuerte Ladung (häufig auch als intelligente Ladung bezeichnet) müssen diverse Parameter aus dem Fahrzeug bekannt sein. So z.B. welcher aktuelle Batteriefüllstand vorhanden ist (wie viel Energie folglich benötigt wird) oder welche maximale Ladeleistung von dem Fahrzeug wann bezogen werden soll. Der Austausch dieser Daten wurde in der ISO/IEC 15118 (VDE 2016) festgelegt. Leider ist die Implementierung bisher nur bei wenigen Fahrzeugen umgesetzt.

#### 2.3.5.3 Kommunikation mit dem Backend

Das Backend-System ist ein Server zur Verwaltung von Ladestationen. Hierüber können – je nach Spezifikation – die Verfügbarkeit von Ladestationen, die Abrechnungen von Strom oder Zeit, Kundenkonten oder Fuhrparks verwaltet werden. Die Kommunikation zwischen Ladestationen und Backend funktioniert in der Regel über OCPP (Open Charge Point Protokoll), das derzeit in der Version 2.0 erschienen und auch für gesteuertes Laden, Abrechnung, Plug and Charge<sup>1</sup> etc. vorbereitet ist (OPEN CHARGE ALLIANCE 2018).

### 2.3.6 Weitere Aspekte

Des Weiteren müssen Ladestationen über Sicherungen und Fehlerstrom-Schutzschalter (FI) abgesichert sein, benötigen meist Kommunikationsschnittstellen zum Nutzer (Display, Tasten, Kartenleser etc.), müssen meist gegen Wettereinflüsse und Vandalismus geschützt sein und den gängigen Vorgaben zum Netzanschluss genügen (s. auch VDE 2016).

---

<sup>1</sup> Plug and Charge: ermöglicht die direkte Identifikation des Fahrzeugs alleine durch das Einstecken des Steckers. Die Abrechnung erfolgt über ein zuvor zugewiesenes Kundenkonto.

## 2.4 Die bisherige Entwicklung der Elektromobilität

### 2.4.1 Geschichtliche Einordnung der Elektromobilität

Bereits vor 1900 und bis in die 20er und 30er Jahre des letzten Jahrhunderts hinein gab es in den USA und Europa ein reges Interesse an batteriegetriebenen Elektrofahrzeugen. Laut Berichten überstieg die Anzahl der Elektrofahrzeuge zeitweise die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Unter anderem mit dem Aufbau einer Tankinfrastruktur und einer skalierenden Produktion von Verbrennungsmotoren geriet die Technologie der Elektrofahrzeuge jedoch in den Hintergrund. Erst in den 90er Jahren wurde die Technologie durch die damaligen ökologischen und ökonomischen Debatten wieder relevant (RADKAU 2014). Das Elektrofahrzeug EV1 von General Motors gilt auch heute noch als Ikone der damaligen Entwicklung.<sup>2</sup> Anfang dieses Jahrhunderts verschwand die Technik erneut aus der öffentlichen Wahrnehmung, diesmal jedoch nur für kurze Zeit.

Seit 2007 erfährt die E-Mobilität nachhaltiges internationales Interesse. Als Gründe gelten erneut internationale ökologische Bemühungen, Ressourcenknappheit, die damalige Wirtschaftskrise unbekanntes Ausmaßes, die zusätzlich Druck auf die Automobilindustrie ausübte und die fortgeschrittene Batterietechnologie (SCHWEDES ET AL. 2013.)

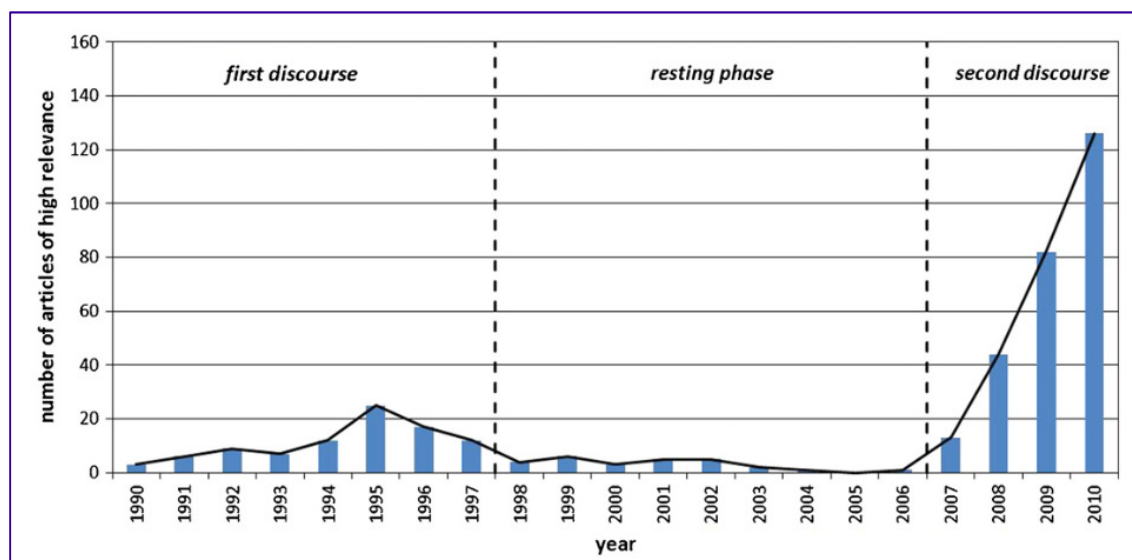


Abbildung 2: Entwicklung der thematischen Artikel in deutschen Printmedien\* \*berücksichtigte Zeitungen und Zeitschriften: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Süddeutsche Zeitung, Die Zeit, Frankfurter Rundschau und Der Spiegel (SCHWEDES ET AL. 2013)

Seit diesem erneuten Boom der E-Mobilität sind der Umweltschutz (vor allem die CO<sub>2</sub>-Reduktion und die urbane Lärminderung), die Verbindung mit der Energiewende (z.B.

<sup>2</sup> Das EV1 von General Motors wurde in den späten 1990ern als Reaktion auf die kalifornischen Umweltaktivitäten als erstes Serienfahrzeug dieser Klasse auf den amerikanischen Markt gebracht und ca. 2002 verschrottet. Ein Dokumentarfilm aus dem Jahr 2006 behandelt die Thematik und die Hintergründe: „Who killed the electric car“

Überschussstrom und Peak-Shaving) und zunehmend auch die Digitalisierung der Verkehrswende (z.B. autonomes Fahren und Connected Cars) die häufig angeführten treibenden Argumente für E-Mobilität.

#### 2.4.2 Der Markthochlauf in Deutschland

Die Entwicklung des E-Mobilitätsmarktes der letzten zehn Jahre zeichnet sich durch ein nahezu exponentielles Wachstum aus. Dieser Trend ist ebenfalls in Deutschland zu beobachten. Mit Blick auf die Neuzulassungen an Personenkraftwagen mit Elektroantrieb in Deutschland sind sehr geringe Zulassungszahlen von unter 10.000 PKW pro Monat bis ca. 2015/2016 zu erkennen. In 2017 verdoppelte sich die Zahl auf ca. 25.000 PKW. Rechnet man die Absatzzahlen der ersten Monate des Jahres 2018 hoch, so kann erneut nahezu mit einer Verdopplung des Vorjahresergebnisses gerechnet werden (vgl. Abbildung 3).

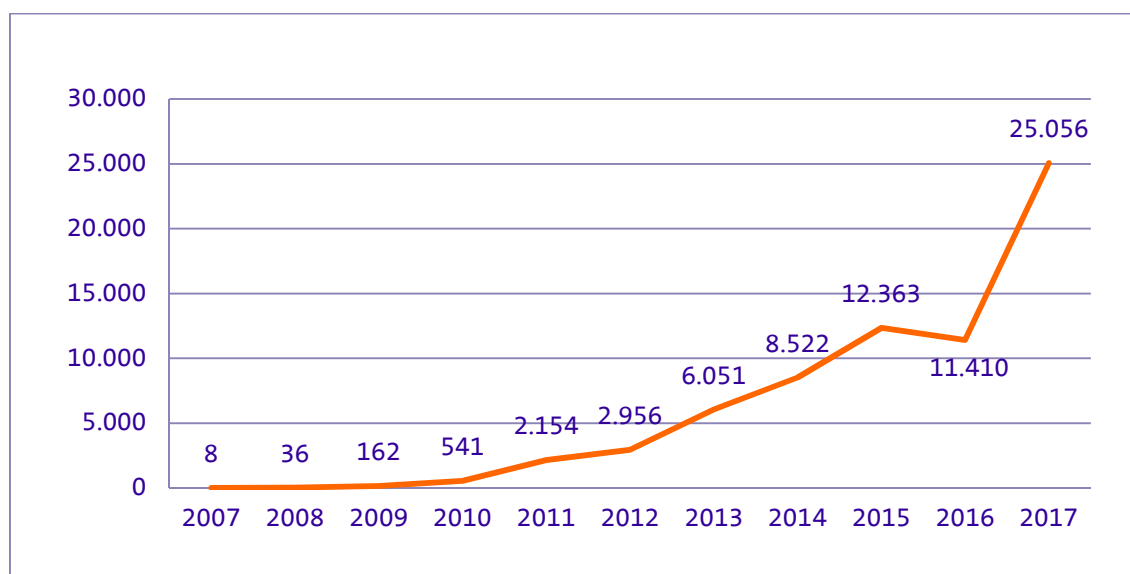


Abbildung 3: Anzahl der Neuzulassungen von reinen batterieelektrischen PKW in Deutschland in den Jahren 2007 bis 2017 (KBA 2018B, 2018c)

Um die mengenmäßig untergeordnete Bedeutung des deutschen Marktes zu verstehen, reicht der internationale Vergleich der Absatzzahlen für alle Elektrofahrzeuge. Ein Blick auf die Zahlen des Jahres 2016 zeigt, dass Deutschlands Absatzzahlen an Elektrofahrzeugen eine deutlich untergeordnete Rolle im weltweiten Kontext spielt (vgl. Abbildung 4). Angemerkt sei, dass Deutschland im ersten Quartal 2018 mit über 17.500 Elektrofahrzeugen auf Platz drei aufgeschlossen hat. China als wichtigster Absatzmarkt konnte im gleichen Zeitraum mit 142.445 Elektroautos sein Ergebnis zum Vorjahreszeitraum um 154 % steigern (CAM 2018)<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Die Statistik zu Absatzmärkten des CAM inkludieren PHEV, Brennstoffzellenfahrzeuge und kommerzielle Fahrzeuge. Zudem bezieht sie sich nicht nur auf PKWs.

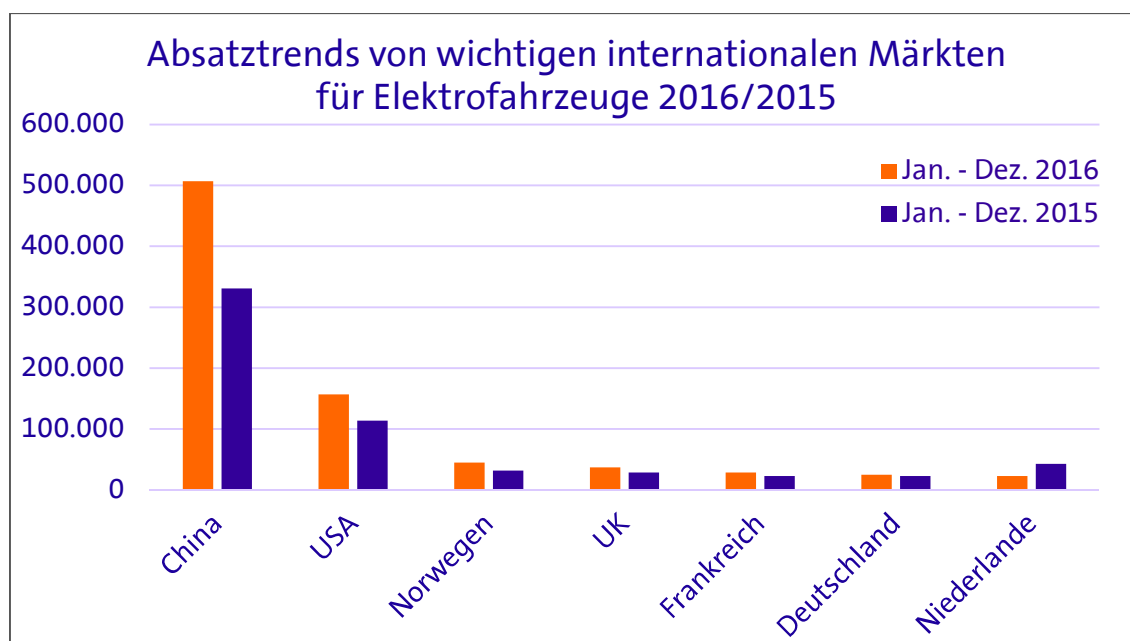


Abbildung 4: Absatzrends von wichtigen internationalen Märkten für Elektrofahrzeuge 2016/2015 (CAM in HANDELSBLATT 2017a, EIGENE DARSTELLUNG)

### 2.4.3 Aktueller E-Fahrzeugbestand in Deutschland

Zum 1. Januar 2018 waren in Deutschland insgesamt 63,7 Millionen Fahrzeuge zugelassen. Der Personenkraftwagen (PKW)-Bestand bezifferte sich auf 46,5 Mio. (KBA 2018b). Im Vergleich zum Vorjahr nahm der KFZ-Bestand um ca. 1,7 % zu. Wird der Trend fortgeschrieben, liegt der PKW-Bestand für 2020 bei ca. 47,8 Mio., für 2025 bei ca. 51,3 Mio. und für 2030 bei ca. 54,8 Mio. Das in 2008 von der Bundeskanzlerin ausgerufenen Ziel von 1 Mio. E-Fahrzeuge bis 2020 (ca. 1,6 % am PKW-Bestand) und 6 Mio. E-Fahrzeuge (ca. 11 % am PKW-Bestand) bis 2030 auf deutsche Straßen zu bringen, wurde in der Zwischenzeit revidiert und gilt zumindest für 2020 als nicht zu erreichen (vgl. Abschnitt 2.5.1). Realistisch kann für das Jahr 2020 ein Bestand von ca. 625.000 E-Fahrzeugen, darunter 245.000 BEV und 380.000 HEV/PHEV, angenommen werden. Experten rechnen damit, dass in 2022/2023 die 1 Mio. Marke erreicht werden könnte.

Abbildung 5 zeigt die prognostizierte Entwicklung des PKW-Bestands bis 2030, auf Grundlage der Fortschreibung der jährlichen Wachstumsraten von 2015 bis 2018, und dessen anteilige Zielsetzung für E-Fahrzeuge. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der E-Fahrzeuge in Deutschland exponentiell ansteigen wird und es durchaus als realistisch anzusehen ist, dass das Ziel von 6 Mio. E-Fahrzeugen bis 2030 erreicht werden kann (vgl. Abbildung 5).

Zum 1. Januar 2018 verzeichnete das KBA in Deutschland einen E-Fahrzeugbestand (BEV, HEV, PHEV) von insgesamt 290.571. Darunter befanden sich 192.291 HEV, 44.419 PHEV und 53.861 BEV. Dies entsprach zum 1. Januar 2018 einem Anteil von 0,63 % am Gesamt-PKW-Bestand in Deutschland. Der alleinige Anteil der BEV betrug 0,12 % (vgl. Abbildung 6).



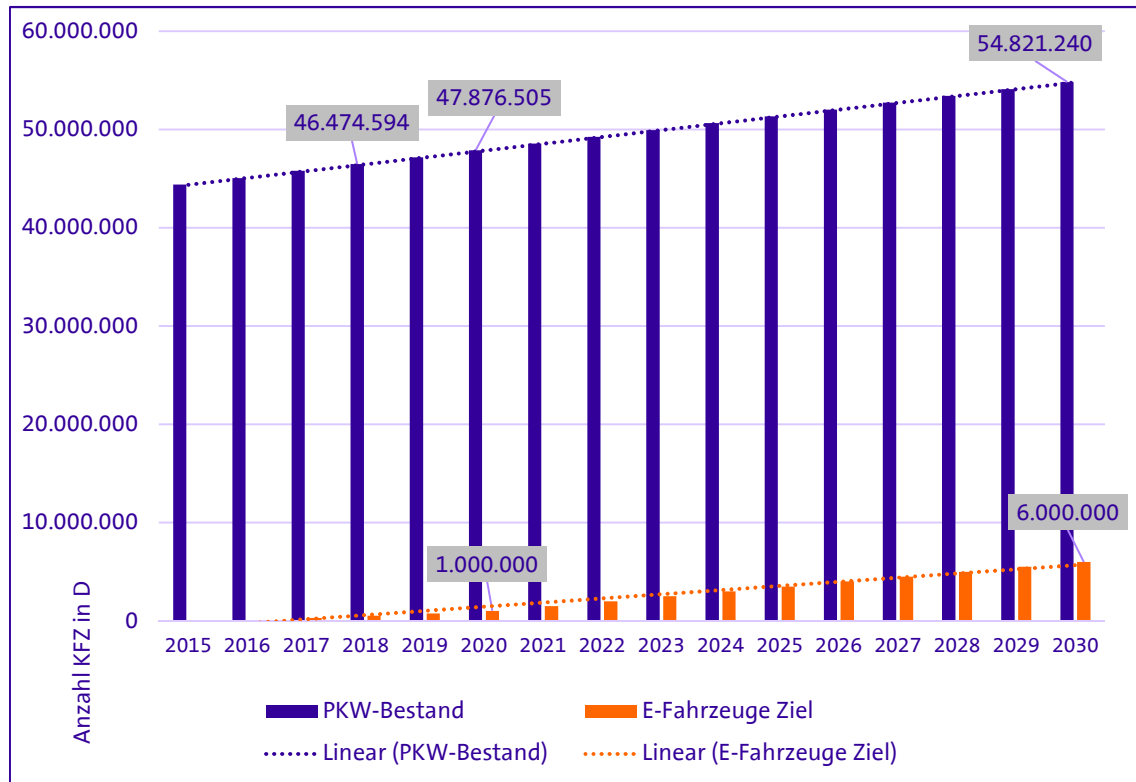


Abbildung 5: Prognostizierte Entwicklung des PKW-Bestands in Deutschland und der Ziele für E-Fahrzeuge bis 2030 (KBA 2018b)

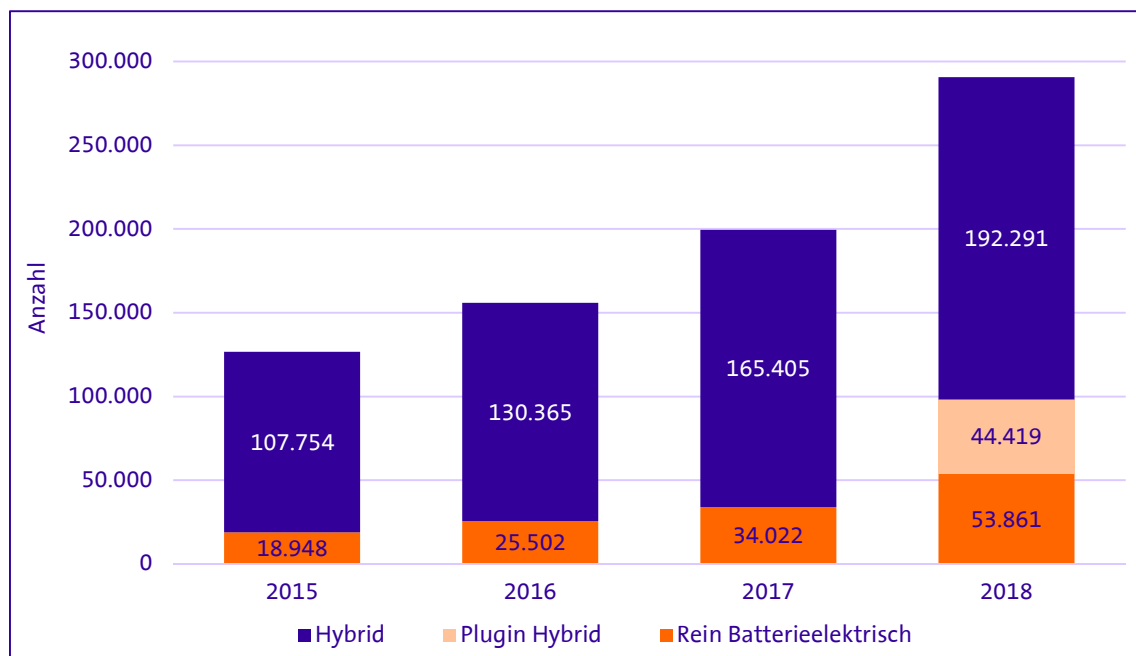


Abbildung 6: Verteilung der Antriebstechnologien im E-Fahrzeugsegment in Deutschland (Eine Unterteilung in Plug-in-Hybride und Hybride ist erst ab 2018 möglich) (KBA 2018c)

## 2.4.4 Aktueller Stand des Ladeinfrastrukturausbaus in Deutschland

Zum 1. Juli 2018 waren bei der BNetzA 5.133 öffentliche Ladesäulen mit 10.272 Ladepunkten und einer Anschlussleistung von insgesamt 226.474 kW gemeldet. Darunter waren 4.509 Normmollade- ( $\leq 22$  kW) und 609 Schnellladeeinrichtungen ( $\geq 22,1$  kW) registriert. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die BNetzA nur Ladeeinrichtungen bekannt gibt, bei denen der Betreiber der Veröffentlichung zugestimmt hat (BNetzA 2018). Andere Quellen gehen bereits von mehr als 10.000 öffentlichen Ladesäulen aus (STATISTA GMBH 2018). Grund für die unterschiedlichen Zahlen ist u.a. auch, dass es in Deutschland noch keine zentrale und einheitliche Erfassung der Ladeinfrastruktur gibt.

Insgesamt zeigt die aktuelle Entwicklung einen deutlichen Anstieg der öffentlich zugänglichen Ladesäulen in Deutschland. Neben dem Ausbau und Betrieb von öffentl. zugänglichen Ladepunkten durch Energieversorger, Stadtwerke und Städte trägt mitunter das in 2017 in Kraft getretene 300-Millionen-Euro-Förderprogramm „Ladeinfrastruktur“ des BMVI aktiv zum Ausbau der Ladeinfrastruktur bei. Durch dieses soll ein bundesweit flächendeckendes Ladenetz von insgesamt 15.000 Ladesäulen (10.000 Normal- und 5.000 Schnellladestationen) gefördert werden. Im Zuge des ersten Förderaufrufs vom Februar 2017 wurden 7.648 Normmollade- und 1.648 Schnellladepunkte bewilligt. Im Rahmen des zweiten Förderaufrufs vom September 2017 wurden weitere 2.121 Normmollade- und 16 Schnellladepunkte genehmigt (BMVI 2018b). Ein dritter Förderaufruf ist für Herbst 2018 geplant.

Mit der aktuell verfügbaren Ladeinfrastruktur ist Deutschland allerdings noch weit davon entfernt, den geschätzten Bedarf - im Hinblick auf das Ziel der Bundesregierung 1 Mio. E-Fahrzeuge bis 2020 und 6 Millionen E-Fahrzeuge bis 2030 auf bundesdeutsche Straßen zu bringen, zu decken. Im Rahmen des Projektes Laden2020 haben das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ein Szenario für den Gesamtbedarf an öffentlichen Ladepunkten in Deutschland ermittelt. Somit würden für 1 Mio. E-Fahrzeuge etwa 33.000 öffentliche und halböffentliche Ladepunkte für den Alltagsverkehr benötigt werden. Weitere 2.600 öffentliche Ladepunkte für den Fernverkehr und rund 4.000 Schnellladepunkte (DLR & KIT 2016).

Laut der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) werden im Jahr 2025 etwa 144.000 Ladesäulen notwendig sein, um den Bedarf der Elektrofahrzeuge decken zu können (NPE 2015). Die Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID) geht von gut 200.000 benötigten Ladepunkten bis 2025 aus (ELECTRIDRIVE 2018c).

## 2.5 Elektromobilität heute

### 2.5.1 Politische Ziele zur Elektromobilität in Deutschland

Die hinlänglich diskutierte Vorgabe der deutschen Bundesregierung aus dem Jahr 2011 von einer Million Elektroautos auf deutschen Straßen bis zum Jahr 2020 gilt inzwischen als fragwürdig bzw. nicht mehr haltbar. Dieses Ziel wurde 2017 auch von Angela Merkel in einem Fraktionskongress als „nicht [zu] erreichen“ definiert (HANDELSBLATT 2017b). Die Grünen hatten dagegen in ihrem Wahlkampf an den Vorgaben festgehalten und zur Erreichung eine Kaufförderung von 6.000 Euro pro Fahrzeug vorgeschlagen (SPIEGEL ONLINE 2017a).

Die politische Motivation zum Ausbau der E-Mobilität in Deutschland wird vermutlich durch die notwendige Ausrichtung der deutschen Automobilindustrie, aber auch durch

ökologische Vorgaben bestimmt. So sagt der Koalitionsvertrag: „Die Mobilitätspolitik ist dem Pariser Klimaschutzabkommen und dem Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung verpflichtet“ (BUNDESREGIERUNG 2018).

Konkrete politische Ziele der neuen Bundesregierung aus dem Koalitionsvertrag beschränken sich jedoch auf die zusätzliche Förderung der Elektrofahrzeuge und der Umstellung auf neue Antriebsarten (vgl. Absatz 2.5.3 Förderung). Zur Ladeinfrastruktur gibt der Vertrag das Ziel von mindestens 100.000 zusätzlichen Ladepunkten vor. Hiervon soll mindestens ein Drittel Schnellladesäulen (DC) sein.

Ein weiteres Ziel ist die Verbesserung der Luftqualität in Städten. Hier soll Kommunen und Städten der entsprechende Ordnungsrahmen eingeräumt werden, um Emissionsgrenzwerte vorgeben zu können, möglichst ohne Fahrverbote.

Auch die Batterieproduktion mit Standort Europa und Deutschland ist ein erklärtes Ziel der neuen Bundesregierung. Konkretere Handlungen sind hierzu im Koalitionsvertrag nicht genannt.

## 2.5.2 Rechtlicher Rahmen

Die gesetzlichen Vorgaben mit Relevanz für die E-Mobilität sind vielfältig. Ein großer Treiber für die E-Mobilität ist ihre vorteilhafte Ökologie im Vergleich zu Verbrennungsmotoren. Hier gibt es diverse Gesetze, die implizit einen Ausbau der E-Mobilität auf europäischer oder nationaler Ebene stärken. Zu nennen sind hier scharfe Abgasnormen für Verbrennerfahrzeuge, Fahrverbote für stark emittierende Vehikel und Vorgaben für spezifische Durchschnittswerte der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Fahrzeugflotten der einzelnen Hersteller. All diese Regularien fördern die als emissionsfrei definierten Elektrofahrzeuge (s. Abschnitt 2.5.5 zur Ökologie).

Bei der Einführung der neuen Technologie sind umfangreiche technische Aspekte zu regeln und standardisieren. Auch hierfür gibt es zahlreiche gesetzliche Vorgaben, sei es die Einhaltung von technischen Anschlussbestimmungen einer Ladesäule, die Einhaltung der Sicherheit von batterieelektrischen Fahrzeugen oder die Standardisierung der Stecker und der Kommunikation von Fahrzeug, Ladesäule und Energiesystem.

Auch gibt es vielfältige monetäre Entscheidungen, die das Thema E-Mobilität flankieren oder der neuen Technologie zum Durchbruch verhelfen sollen. So z.B. die Kaufprämie oder der Erlass von Steuern (s. Abschnitt 2.5.3 zur Förderung).

Zudem werden diverse operative Abläufe durch gesetzliche Bestimmungen definiert. Hier sei exemplarisch die mögliche Nutzung von Busspuren oder spezieller Parkplätze für Elektrofahrzeuge genannt. Im Folgenden werden die Gesetze mit direktem Bezug zur E-Mobilität erläutert.

### 2.5.2.1 Elektromobilitätsgesetz

Im Jahr 2015 wurde das Elektromobilitätsgesetz (EmoG) vom Bundeskabinett verabschiedet. Das EmoG bezieht sich auf Elektrofahrzeuge (batterieelektrische Fahrzeuge, PHEV mit einer elektrischen Reichweite von mindestens 40 km und Wasserstofffahrzeuge) und hat eine vorläufige Gültigkeit bis zum 31.12.2026. Es definiert die Kennzeichnung von Elektrofahrzeugen (per Nummernschild) und ermächtigt Kommunen dazu, Privilegien für diese im städtischen Verkehr einzuräumen.

Folgende Bevorrechtigungen sind möglich:

- Parken auf öffentlichen Straßen oder Wegen
- Nutzung von für besondere Zwecke bestimmte öffentliche Straßen oder Wege bzw. Teile von diesen (Sonderspuren)
- Das Zulassen von Ausnahmen von Zufahrtsbeschränkungen oder Durchfahrtsverboten sowie
- Die Ermäßigung oder Freistellung von Gebühren für das Parken auf öffentlichen Straßen oder Wegen

### 2.5.2.2 Ladesäulenverordnung

Im März 2016 wurde die Ladesäulenverordnung (LSV) von der Bundesregierung beschlossen. Sie gilt als die nationale Implementierung der EU-Richtlinie (2014/94/EU), in der der Infrastrukturausbau für alternative Kraftstoffe geregelt wird. So wird z.B. der Rahmen von nationalen Strategien, als auch technischer Standards wie beispielsweise die vereinheitlichten Steckerbilder für öffentlich zugängliche Ladeeinrichtungen (gem. Norm EN62196-2 und Norm EN62196-3) definiert (EU 2014). Auch werden in der LSV verbindliche Regelungen zur Ausführung von Ladesteckern (nach § 5 Abs. 1 und Abs. 4 S. 2 LSV) und Mindestanforderungen zum Aufbau und Betrieb von öffentlichen Ladepunkten definiert. Ebenfalls ist geregelt, dass Betreiber von öffentlich zugänglichen Ladepunkten die Bundesnetzagentur über den Aufbau informieren müssen. Bei Schnellladepunkten müssen zusätzlich regelmäßige Nachweise über die Einhaltung der technischen Anforderungen vorgelegt werden (vgl. Abbildung 7). Zudem werden in der zweiten Version der LSV Modalitäten für die Authentifizierung, Bezahlung und Abrechnung definiert, so dass an öffentlichen Ladepunkten Mindestanforderungen für eine barrierefreie Nutzung ermöglicht und eine Interoperabilität von Systemen (also eine Herstellerunabhängigkeit) eingehalten wird. Ein Bezahlvorgang über App, bar oder EC-/Kreditkarte ist zu gewährleisten (BMW 2017A, BMJV 2017A).


	Installation	Anzeige- pflicht	Nachweispflicht	Einheitliche Stecker
<b>Normal- ladepunkt</b>  	Nach Inkrafttreten der LSV	✓	✗	Ab 17.06.2016 ✓
	Vor Inkrafttreten der LSV	✗	✗	✗
<b>Schnell- ladepunkt</b>  	Nach Inkrafttreten der LSV	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Techn. Anforderungen nach § 3 II, III LSV</li> <li>• Allg. techn. Anforderungen nach § 49 EnWG, § 3 IV S. 1 LSV</li> </ul>	Ab 17.06.2016 ✓
	Vor Inkrafttreten der LSV	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allg. techn. Anforderungen nach § 49 EnWG, § 3 IV S. 1 LSV</li> </ul>	✗

Abbildung 7: Pflichten nach Inkrafttreten der Ladesäulenverordnung (BNETZA 2016)

### 2.5.2.3 Weitere Regularien für den Ladeinfrastrukturausbau und zukünftige Geschäftsmodelle

Gesetzlich scheint das Laden von Elektrofahrzeugen eine große Herausforderung zu sein, denn es dauerte mehrere Jahre bis die derzeitigen gesetzlichen Regelungen gefunden waren. Und auch heute noch bestehen Unklarheit und Hürden für weiterführende Geschäftsmodelle jenseits des Fahrstromverkaufs, so die Aussage von Dr. Herz auf der Lab2Reality-Konferenz in Berlin (M2G 2018). Einige relevante Aspekte sind im Folgenden nach Veräußerung des Stroms, der Regelbarkeit und der Rückspeisung gegliedert.

#### Veräußerung von Fahrstrom

Durch die LSV sind der Betrieb und die Nutzung der Ladesäulen im öffentlichen Raum geregelt (s. oben). Dies gilt insbesondere durch die Novelle des Strommarktgesetzes vom 26.6.2016, wonach der Ladepunkt und nicht länger das Elektrofahrzeug als Letztverbraucher definiert ist - siehe §3 Abs. 25 EnWG (BMJV 2017B). Dadurch ist klargestellt, dass ein Ladesäulenbetreiber Letztverbraucher ist und nicht den Status eines Stromlieferanten benötigt. Auch steuerlich wurde dies durch die Erweiterung des Ausnahmekatalogs in der Stromsteuer-Durchführungsverordnung (§ 1a StromStV) geregelt. Das heißt, dass weder das EnWG noch das StromStV relevant für die Geschäftsbeziehung zwischen Ladesäulenbetreiber und Nutzer sind. Für den Ausbau der Ladeinfrastruktur heißt das exemplarisch, dass durch den Wegfall der strengen Regulierungen des Netzbetriebs die Hürden des Ladeinfrastrukturausbaus und zudem die Monopolbildung beim Betrieb keine Relevanz mehr haben (BMW 2017A).

#### Lastmanagement

Laut BMW (2017A) ist mit den Regelungen des EnWG die „Voraussetzung geschaffen, damit zukünftig die Netzentgelte bei einem netzdienlichen Einsatz von Elektrofahrzeugen reduziert und das Laden so günstiger gemacht werden kann.“ Damit ist vermutlich §14a des EnWG (BMJV 2017B) gemeint, der ein reduziertes Netzentgelt für steuerbare Verbrauchseinheiten fordert und auch Elektromobile zu diesen Verbrauchseinheiten zählt.

Hierüber entsteht z.B. die Möglichkeit einer zeitweisen Strompreisreduktion, falls das Fahrzeug nicht durchgängig mit maximaler Ladeleistung, sondern gemäß Netzanforderungen oder Aspekten der erneuerbaren Energiebereitstellung geladen werden kann.

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass der Anteil der Netzentgelte in einem überschaubaren Rahmen liegt. Betrachtet man exemplarisch die mögliche „Tarifizierung“ basierend auf den üblichen Haushaltsstromkosten (ca. 30 ct/kWh laut BDEW 2018), so machen die Netzentgelte ca. 25 % des Strompreises aus, Kosten für Messung und Abrechnung sind darin enthalten. Nimmt man folglich eine mögliche Reduktion der Netzentgelte um 40 % (entspricht ca. 10 % des Gesamtstrompreises) und eine Weitergabe der Hälfte der erwirtschafteten Vorteile an den Endkunden an, so würden sich die Kosten des Ladestroms für den Endkunden um ca. 5 % (entspricht 28,5 statt 30 ct pro kWh reduzieren. Auf 100 km wäre hierüber eine Einsparung von ungefähr 22 ct zu erwirtschaften. Wie stark hierdurch die Bereitschaft des Endkunden zur Lastreduktion und somit zu längeren Wartezeiten geweckt werden kann, ist unklar. Bisher sind jedoch keine greifenden Geschäftsmodelle in diesem Bereich bekannt.

#### Rückspeisung

Das Rückspeisen von Strom aus dem Elektrofahrzeug in das Stromnetz kann reduzierende Effekte auf den Ausbau des Stromnetzes haben und für Netzstabilität sorgen. Somit ist



dies ein Bestreben der Politik. Der Gesetzgeber hat hierzu jedoch bisher keine nennenswerten Anreize geschaffen. Laut Aussage von Herrn Dr. Herz auf der Lab2Reality-Konferenz in Berlin (M2G 2018) ist der Dschungel an Regularien unüberschaubar und gibt keine Klarheit darüber, wie durch Rückerstattung monetäre Vorteile zu einem Geschäftsmodell werden können. Exemplarisch steht hier eine derzeitige doppelte Erhebung der EEG-Abgabe im Weg, die sowohl beim Laden als auch beim Rückspeisen anfällt.

Auch sind derzeit die technischen Voraussetzungen nicht geschaffen. Zwar definieren die geforderten Standards der Stecker und der Kommunikation die technische Ertüchtigung des Ladepunktes. Doch gilt der Nissan Leaf 2018 als derzeit einziges rückspeisefähiges Fahrzeug, das als Serienprodukt auf dem europäischen Markt angeboten wird. Und das nur, da asiatische Standards (CHADEMO 2018) und keine europäischen Stecker (Combo II) verwendet werden.

#### 2.5.2.4 Die mögliche weitere Entwicklung des rechtlichen Rahmens

Seit dem Dieselskandal scheint es einen deutlichen Ruck in der deutschen Automobilindustrie gegeben zu haben. Verkaufszahlen der Dieselfahrzeuge sinken drastisch, Benziner stehen hoch im Kurs, batterieelektrische Fahrzeuge und Hybride erfreuen sich ebenfalls hoher Nachfrage und werden in neuen Modellen für die kommenden Jahre angekündigt. Und auch die Politik hat in ihrem Koalitionsvertrag (BUNDESREGIERUNG 2018A) zugesagt, mehr für die Luftreinhaltung zu tun. So soll den Kommunen der rechtliche und finanzielle Rahmen für die Durchsetzung der Luftreinhaltung gegeben werden. Vermutlich werden sich zukünftige Regelungen bezüglich Ökologie und Luftreinhaltung positiv auf die Entwicklung der E-Mobilität auswirken.

Des Weiteren wird im Koalitionsvertrag von nötigen Anpassungen im Gebäudebereich gesprochen, um den Ausbau der Ladeinfrastruktur voranzubringen. Dies scheint auch einer gewissen Notwendigkeit geschuldet, da mit der aktuell überarbeiteten Richtlinie für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch das EU-Parlament Handlungsdruck zur Umsetzung in nationales Recht gegeben ist. Nach besagter Richtlinie wird spätestens ab 2025 die Verkabelung bzw. der Aufbau von Ladepunkten in Garagen und Parkplätzen von neuen Wohn- und Gewerbeobjekten verpflichtend (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2018).

Sollen Energie- und Mobilitätswende tatsächlich Hand in Hand entwickelt und Synergien genutzt werden, so kommt man nicht umhin, auch den rechtlichen Rahmen für gesteuertes Laden und die energetische Rückspeisung zu legen. Geschäftsmodelle hierzu können nur mit weiteren Anreizen zur zeitlichen Tarifierung und zur Nutzung der zukünftig vorhandenen Speicher entstehen.

### 2.5.3 Förderung und Wirtschaftlichkeit

#### 2.5.3.1 Förderungen von Elektrofahrzeugen

##### Aktuelle Förderung

Seit Juli 2016 wird die Anschaffung von Elektrofahrzeugen staatlich finanziell bezuschusst. Für PHEV werden 3.000 Euro, für batterieelektrische Fahrzeuge 4.000 Euro Kauf-

prämie bereitgestellt.<sup>4</sup> Die Anteile werden zur Hälfte vom Bund, zur Hälfte von den Automobilherstellern gestellt – dies ist die Fördervoraussetzung der Bundesregierung. Seit dem Inkrafttreten der neuen Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus) am 03.03.2018 sind zusätzlich auch Doppelförderungen zulässig – also z.B. auch die Kombination mit kommunalen Zuschüssen (BAFA 2018 UND BUNDESREGIERUNG 2016B).

Eine Befreiung von der Kfz-Steuer gilt für Elektrofahrzeuge für zehn Jahre bei Erstzulassungen zwischen dem 1.1.2016 und dem 31.12.2020, so die erneute Verlängerung der Steuerbefreiung (BMW 2017A). Seit dem 17.11.2016 wird Elektrofahrzeugbesitzern die Kfz-Steuer für zehn Jahre erlassen. Seit 2011 war bereits eine Steuerfreiheit für fünf Jahre gewährleistet worden (BUNDESREGIERUNG 2016B).

Bei privater Nutzung von Dienstwagen fällt meist 1 % des Listenpreises des Fahrzeugs als steuerliche Abgabe an. Elektrofahrzeuge wären mit dieser Regelung auf Grund ihres höheren Anschaffungspreises benachteiligt, weshalb ein „Nachteilsausgleich“ geschaffen wurde. Ab dem 1. Januar 2019 müssen Arbeitnehmer nur noch 0,5 % des Brutto-Listenpreises steuerlich geltend machen.

Für das Aufladen von Elektrofahrzeugen beim Arbeitgeber wird keine Umsatzsteuer erhoben; so ein gesetzlicher Beschluss von November 2016. Ebenfalls sind Ladestationen, die der Arbeitgeber seinen Angestellten übereignet, steuerlich begünstigt. Die Regelungen sind befristet und gelten vom 1. Januar 2017 bis 31. Dezember 2020. (BMW 2017A)

2016 –2017 initiierte die Bundesregierung ein Marktanreizpaket für die E-Mobilität. Unter anderem wird hierüber auch die Beschaffung von behördlichen Elektrofahrzeugen gefördert. Das Ziel ist ein Anteil von 20 % Elektrofahrzeugen in der öffentlichen Flotte, dies wurde mit 100 Millionen Euro subventioniert (BMW 2017A). Eine Verlängerung des Projektes wird im Koalitionsvertrag genannt (BUNDESREGIERUNG 2016A).

Durch die KfW werden günstige Kredite für die Förderung der E-Mobilität im Rahmen des KfW-Umweltprogramms 240/241 gewährleistet. Elektro- und Wasserstofffahrzeuge sind hier adressiert, ebenso die benötigte Infrastruktur. Angesprochen sind Unternehmen und Freiberufler (KfW 2018).

Besondere Förderbedingungen erfuhren Kommunen, die die Emissionsgrenzwerte von 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> überschreiten, darunter auch die Stadt Freiburg. Im Rahmen des „Sofortprogramm Saubere Luft 2017-2020“ Programms waren diese Kommunen antragsberechtigt für die Förderung von der Beschaffung von E-Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur. Mit dem Ende der Einreichungsfrist zum 31.1.2018 ist das Förderprogramm allerdings ausgelaufen.

Weitere indirekte, nicht monetäre Förderungen sind im Elektromobilitätsgesetz genannt (vgl. Abschnitt 2.5.2.1).

---

<sup>4</sup> Die Förderung gilt nur für Fahrzeuge die nach dem 18.5.2016 angeschafft wurden, nur für gängige Fahrzeugklassen und nicht für Luxusklassen (über 60.000 Euro BAFA-Listenpreis). Zudem sind gewisse lokale Emissionsgrenzen bei PHEV einzuhalten. Für weitere Informationen siehe: [http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/elektromobilitaet\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/elektromobilitaet_node.html)

### 2.5.3.2 Förderungen zum Aufbau von Ladeinfrastruktur

Unterschieden wird bei der Förderung zwischen Normalladestationen (AC bis 22 kW), Schnellladestationen (DC über 22 kW) und Ultraschnellladestationen (DC mit sehr hohen Leistungen).

#### Europa:

Eine europäische Förderung für den Ausbau der Ultraschnellladestationen in EU-Ländern wurde im April 2018 beschlossen. Der Aufbau und der Betrieb von 118 Ladestationen mit bis zu 350 kW in sieben Ländern (Deutschland ist nicht genannt) wird durch Smatrix erfolgen (ELECTRICDRIVE 2018).

#### Bundesweite Programme:

Das derzeit größte Förderprogramm zum Ausbau der Ladeinfrastruktur in Deutschland wurde im Mai 2016 im Rahmen des Marktanreizprogramms für E-Mobilität beschlossen (BMVI 2017A). Der flächendeckende Ausbau von mindestens 15.000 öffentlich zugänglichen Ladesäulen ist erklärtes Ziel der Bundesregierung. Dieses wird zwischen 2017 und 2020 mit 300 Millionen Euro gefördert. Sowohl Normalladestationen als auch Schnellladestationen werden subventioniert. Zur Förderung gab es bereits zwei Aufrufe im Jahr 2017, die zum Aufbau von 13.000 Ladepunkten führen sollen. Weitere Aufrufe werden folgen (BMVI 2017B).

Des Weiteren werden im Koalitionsvertrag die angestrebten Zahlen erhöht: bis 2020 sollen mindestens 100.000 Ladepunkte für Elektrofahrzeuge zusätzlich (öffentlich) verfügbar gemacht werden. Ein Drittel davon sollen Schnellladesäulen (DC) sein. Hierzu sind Investitionen der Bundesregierung geplant (BUNDESREGIERUNG 2018).

Durch die KfW werden günstige Kredite für den Aufbau von Ladeinfrastruktur im Rahmen des KfW-Umweltprogramm 240/241 gewährleistet. Angesprochen sind Unternehmen und Freiberufler (KfW 2018).

#### Landesförderung:

Neben den Förderzuschüssen des Bundes gibt es auch diverse Landesförderungen. Hier sind für Baden-Württemberg das Förderprogramm „Landesinitiative III Marktwachstum Elektromobilität BW“ maßgebend. Danach wird die Beschaffung von Ladeinfrastruktur, Elektrofahrzeugen, E-Lastenräder, Elektro- und Hybridbussen, Elektro-LKW sowie ausleihbare Pedelecs für ÖPNV Stationen insbesondere in Gebieten mit NO<sub>2</sub>- Grenzwertüberschreitungen wie Freiburg gefördert (MINISTERIUMS FÜR VERKEHR BADE-WÜRTTEMBERG 2018).

Um ein koordiniertes Vorgehen zu ermöglichen und damit „Wildwuchs“ beim Ausbau der Ladeinfrastruktur zu vermeiden, wurde vom Land Baden-Württemberg, das SAFE-Programm ins Leben gerufen („Flächendeckenden Sicherheitsladenetz für Elektrofahrzeuge“). Ziel ist, dass in einem definierten 10 x 10 km Raster mind. eine öffentliche Lademöglichkeit mit 22 kW installiert wird. Dies entspricht insgesamt 400 Ladestandorten in Baden-Württemberg. Darüber hinaus soll in einem 20 x 20 km Raster jeweils mind. ein Ladestandort mit mind. 50 kW Ladeleistung verfügbar sein.

### 2.5.3.3 Wirtschaftlichkeit der Elektromobilität

Die wirtschaftlichen Vor- und Nachteile<sup>5</sup> von Elektrofahrzeugen gegenüber Verbrennerfahrzeugen wurden vom ADAC in einer Studie im April 2018 zusammengefasst. Darin wurden alle über den Betrachtungszeitraum von fünf Jahren anfallenden Vergünstigungen und Kosten inklusive des Wertverlustes angesetzt (ADAC 2018A). Der gewählte Betrachtungszeitraum erscheint legitim und wird vom ADAC generell für die Kostenermittlung von Fahrzeugen angesetzt, spiegelt jedoch nicht die durchschnittliche Lebenserwartung von Fahrzeugen in Deutschland wider. Die inländische Außerbetriebsetzung liegt in Deutschland bei PKW durchschnittlich bei 12 Jahren (KBA 2016), die Verschrottung erfolgt im Schnitt erst nach ca. 18 Jahren (ADAC 2018C UND ENTSORGUNG.DE 2014).

Aus der genannten Studie des ADAC (ADAC 2018A) können fahrzeugscharf die Kilometerkosten abhängig von der Jahreskilometerleistung abgelesen werden. Im Vergleich zur letztjährigen Fassung der Studie wird mit der diesjährigen Aktualisierung klar, dass E-Mobilität durch die gesunkenen Anschaffungspreise und die Förderung stark an Wirtschaftlichkeit gewinnt. Noch gibt es wenig Elektrofahrzeuge, die über die gewählten fünf Jahre deutlich preiswerter sind als ihre konventionellen Vergleichsmodelle, doch ist die Lücke kleiner geworden. Bereits eine geringe Steigerung des derzeit preiswerten Benzinpreises oder eine weitere Senkung des Anschaffungspreises für Elektrofahrzeuge wird die Darstellung zu Gunsten der meisten batterieelektrischen und hybriden Modelle verschieben.

### 2.5.4 Marktverfügbarkeit von Fahrzeugen

An den Absatzzahlen (s. oben) ist zu erkennen, dass die Skepsis gegenüber der E-Mobilität schwindet. Dies liegt maßgeblich am Ausbau der Normallade- und der Schnellladeinfrastruktur, der deutlichen Steigerung der Batteriekapazitäten und somit der Reichweite, der gleichzeitigen Senkung der Anschaffungspreise durch Zuschüsse und Serienbauweise sowie an der Erweiterung der Produktpalette deutscher und internationaler Anbieter.

#### 2.5.4.1 PKW

Die Kostenvergleichsstudie des ADAC (2018A) hat über 80 Elektro- und Plug-in-Hybrid-PKW analysiert. All diese PKW sind marktverfügbar. Des Weiteren sind viele elektrische PKW für 2018 und kommende Jahre angekündigt (E-STATIONS.DE 2018). Folglich kann heute von einer Marktverfügbarkeit unterschiedlicher PKW gesprochen werden. Eine gute Übersicht zu Elektrofahrzeugen und Plug-in-Hybriden bietet die Galerie von E-Stations.de. Hier sind ca. 15 Neuanmeldungen und über 80 Serienfahrzeuge verzeichnet. Die Reichweite elektromobiler PKW reicht von ca. 100 km bis zu über 650 km gemäß genormter Fahrzyklen, die Preise beginnen bei ca. 7.500 Euro für einen Renault Twizy und ca. 20.000 Euro für die preiswertesten Viersitzer (GREENGear.DE 2018 UND E-STATIONS.DE 2018).

---

<sup>5</sup> Gemäß ADAC 2018A werden die Vor- und Nachteile wie folgt benannt:

**Vorteile:** Steuervergünstigungen, Kaufprämien, evtl. Versicherung mit Öko-Bonus, niedrigere Kraftstoffkosten, teilweise lokale Emissionsfreiheit, ökologisches Fahren mit Öko-Strom

**Nachteile:** Meist höherer Anschaffungspreis, Stellplatz mit Lademöglichkeit notwendig, noch begrenzter Aktionsradius (elektrisch), Ladestationen noch nicht flächendeckend, teilweise eingeschränktes Raumangebot, kein ökologischer Vorteil bei derzeitigem deutschen Strommix

#### 2.5.4.2 Weitere Fahrzeugklassen

Auch sonstige Fahrzeugklassen erfahren zunehmend eine Elektrifizierung. Zu nennen sind hier vor allem der Lastenverkehr und die Busflotten des öffentlichen Personennahverkehrs.

Beim Lastenverkehr kommen zunehmend Elektrofahrzeuge zur innerstädtischen Distribution zum Einsatz. Exemplarisch ist hier der StreetScooter der deutschen Post zu nennen, für den gelben Transporter, der auch im Ausland angefragt wird, soll die Produktion künftig auf 20.000 Stück pro Jahr hochgefahren werden. (MANAGER MAGAZIN 2018). Auch für den Langstreckenlastenverkehr gibt es zunehmend Bemühungen. So wurde zum Beispiel der Bau für den eHighway an der A5 in Hessen im April 2018 begonnen; eine Teststrecke für elektrische Oberleitungs-LKWs (AUTOMOBILWOCHE 2018).

Der ÖPNV bestreitet vielerorts bereits seit vielen Dekaden einen Großteil seines Services elektromobil auf der Schiene. Die Unterstützung auf der Straße kommt allmählich ins Rollen. So fahren bereits in Hamburg, München und Berlin rein-elektrische Busse. Auch in kleineren Städten fahren (teil-)elektrische Busse. So setzt Göttingen (ca. 120.000 Einwohner) derzeit seinen ersten Hybridbus ein (ELECTRICDRIVE 2018A) und Kiel will seine Flotte auf 29 Hybridbusse aufstocken (ELECTRICDRIVE 2018B). Im Vergleich dazu wurden in China in 2017 knapp 90.000 Elektrobusse verkauft. Ein treibendes Argument ist in China vor allem die hohe urbane Luftverschmutzung (INSIDEEVS.COM 2018).

#### 2.5.5 Ökologie

Um die Ökologie von Elektrofahrzeugen zu bestimmen, bedarf es umfangreicher Annahmen und Berechnungen, die den Rahmen dieser Ausarbeitung sprengen würden. Daher wird an dieser Stelle auf vorhandene Studien und die Relevanz der getroffenen Annahmen hingewiesen.

Aussagen bezüglich der Ökologie von Fahrzeugen beziehen sich hier primär auf deren CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Um eine realistische Abschätzung der gesamten anfallenden Emissionen zu erhalten, müssen alle Phasen des Lebenszyklus eines Fahrzeugs ermittelt und auf die Nutzungszeit auf vergleichbare Bezugsgröße (z.B. pro gefahrenem Kilometer) umgelegt werden. Diese vereinheitlichende Darstellung hilft beim Vergleich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes mit anderen Antriebsarten.

##### 2.5.5.1 Emissionen während der Fahrt

Elektrofahrzeuge haben zwei deutliche Vorteile bezüglich der Emissionen: zum einen stoßen sie lokal keine Abgase, und somit weder Stickoxyde noch Kohlendioxyd aus, zum anderen emittieren sie ebenfalls nahezu keinen Motorlärm. Die Abrollgeräusche der Reifen und weitere akustische Effekte durch Windwiderstand etc. sind hingegen vergleichbar mit denen konventioneller PKW und nehmen mit steigender Geschwindigkeit zu. Somit sind die positiven Effekte insbesondere in urbanen Bereichen mit hoher Fahrzeugdichte und geringen Geschwindigkeiten zu verzeichnen.

Von Wirtschaft und Politik aufgelistete Emissionen von Fahrzeugen beziehen sich bis heute größten Teils auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen während der Fahrt. Dies gilt für konventionelle Fahrzeuge als auch für Elektroautos. Eine Zusammenstellung der anzusetzenden Emissionen pro Fahrzeugtyp und Hersteller wird vom Kraftfahrtbundesamt publiziert (KBA

2018A). Die Emissionen werden EU-weit nach der Regelung 101 der EU-Wirtschaftskommission berechnet. So werden Elektrofahrzeuge bzw. der elektrische Anteil bei Hybriden behördlich mit einer CO<sub>2</sub>-Emission von 0g/km eingestuft. Zwar emittieren Elektrofahrzeuge lokal kein CO<sub>2</sub>, da sie keinen Verbrennungsmotor besitzen, dennoch entspricht diese Annahme selbstverständlich nicht der Realität, denn auch die Erzeugung der zum Antrieb benötigten Elektrizität verursacht (teils hohe) Emissionen. Laut UMWELTBUNDESAMT (2017A) lagen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Strommixes 2016 bei 516 g CO<sub>2</sub>/kWh.

Einem fiktiven Fahrzeug mit einem Verbrauch von 16 kWh/100 km müsste somit eine Emission von 92 g/km angerechnet werden. Auch wenn der Strom für Elektrofahrzeuge – wie von der NPE (2018B) gefordert – ausschließlich aus extra dafür errichteten Wind- oder Solarparks bereitgestellt würde, wären hier noch die Emissionen aus den Lebenszyklen der Windräder, der Solarzellen als auch der Stromnetze anzunehmen. Diese belaufen sich auf ca. 9 g/kWh für Wind (onshore) und 55 g/kWh für Photovoltaik (UMWELTBUNDESAMT 2017B). Somit wäre die CO<sub>2</sub>-Emission des fiktiven Fahrzeugs nun mit 1,4 bzw. 8,8 g/km anzunehmen.

Auch bei Verbrennungsmotoren werden laut KBA (2018A) die Emissionen nur während des Verbrennungsprozesses berechnet. Die Förderung, Raffination und Distribution des Kraftstoffes werden folglich nicht berücksichtigt. Doch auch mit dieser klaren Bevorteilung der konventionellen Fahrzeuge fallen die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Elektrofahrzeugs während der Fahrt geringer aus als exemplarisch verglichen bei einem VW Golf der neuesten Generation. Zwischen 116 und 125 g/km bei einem VW Golf GTD (Diesel) und zwischen 144 und 182 g/km bei den Benzinern werden für die Verbrennung ermittelt (VW 2018). Laut KBA 2018A emittieren einzelne Golf-Modelle sogar Werte von bis zu 259 g CO<sub>2</sub> pro km. Die durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emission aller neuzugelassenen Fahrzeuge des Jahres 2017 wird vom Kraftfahrtbundesamt mit 127,9 g CO<sub>2</sub> pro km angegeben (KBA 2018c).

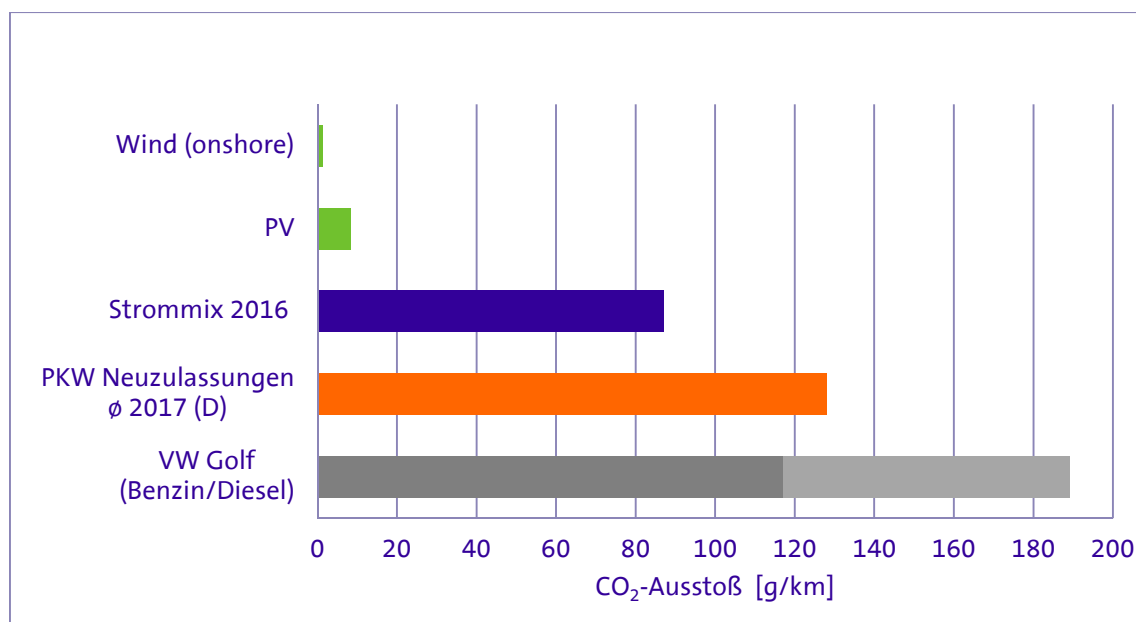


Abbildung 8: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Antriebsenergie. Ausstoß eines Elektrofahrzeugs (16 kWh/100 km) gemäß zusätzlich errichteten erneuerbaren Stromquellen (in grün) oder deutschem Strommix (in blau) im Vergleich zum Durchschnitt der Neuzulassungen 2017 (in orange) und exemplarisch diverser aktueller VW Golf Modelle (in grau) (Quellen: Umweltbundesamt 2017, Kraftfahrtbundesamt 2018, VW 2018)



Folglich haben Elektrofahrzeuge auch unter der Nutzung des deutschen Strommixes gegenüber konventionellen Fahrzeugen Vorteile während der Fahrt. Ihre klaren ökologischen Stärken können sie aber erst bei der Nutzung erneuerbarer Energieträger ausspielen. Zwar basieren laut Aussage des ÖKOINSTITUTS (2017) 60 bis 70 % der in Deutschland genutzten Fahrstromangebote auf erneuerbar erzeugtem Strom, gleichwohl gibt es nur wenig „qualitativ hochwertige Produkte, die einen Ausbau der EE-Stromerzeugung bewirken“ (ÖKOINSTITUT 2017). Doch der Zubau erneuerbarer Quellen gemäß der zusätzlich benötigten Energiemenge ist wichtig für die Ökobilanz, denn andernfalls treten die Elektrofahrzeuge in Konkurrenz zu sonstigen Verbrauchern, und der deutsche Strommix wäre korrekter Weise zur Ermittlung der Emissionen anzusetzen.

In seiner Studie „Handlungsbedarf und -optionen zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität“ stellt das ÖKOINSTITUT (2017) den positiven Effekt der fortschreitenden Energiewende dar. Mit einer angenommenen durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emission von 300 g/kWh im deutschen Strommix des Jahres 2030 wären zusätzliche Vorteile gegenüber Verbrennungsmotoren zu erzielen. Des Weiteren hätte gesteuertes Laden durch eine abgestimmtere Gleichzeitigkeit zwischen Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen und Ladestromnachfrage eine zusätzliche Emissionsreduktion von ca. 20 % zur Folge. Verglichen mit konventionellen Fahrzeugen wären, so die Autoren, durch gesteuertes Laden von Elektrofahrzeugen basierend auf dem deutschen Strommix 2030 CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen von bis zu 76 % gegenüber den konventionellen Bestandsfahrzeugen zu erreichen.

#### 2.5.5.2 Emissionen aus der Produktion der Batterien

Die Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die während der Fahrt entstehen, ist wichtig doch nicht alleine maßgebend. Zwar emittiert ein Elektrofahrzeug während der Fahrt kein CO<sub>2</sub>, und mit Betrachtung der Stromproduktion immer noch weniger als ein konventionelles vergleichbares Fahrzeug (s. oben), doch gilt die Batterieproduktion als sehr emissionsintensiv und ist bei Verbrennungsmotoren nicht notwendig. Die anfallenden Belastungen müssen folglich ebenfalls in die Ökobilanz eines Elektrofahrzeugs eingerechnet werden.

Die entstehenden Emissionen von Batterien sind stark abhängig von der Speicherkapazität des Akkus und werden in vielen Studien in kg emittierter CO<sub>2</sub> pro kWh Batteriekapazität dargestellt. Entscheidend für die Emissionen sind alle Prozesse bis zur Verbauung im Fahrzeug, so z.B. der Lithium-Abbau, die Materialanreicherung und die Herstellung des Speichers. Hier sind die ökologischen Bedingungen und vor allem der Strommix des Herstellerlandes entscheidend, denn all dies sind energieaufwendige Prozesse.

Eine im Jahr 2017 veröffentlichte Studie des schwedischen Umwelt-Forschungsinstitut (Swedish Environmental Research Institute IVL) hat den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Lithium-Ionen-Batterieproduktion als Metastudie untersucht. Dazu wurden diverse weltweit zwischen den Jahren 2000 und 2017 erstellte Studien analysiert und die Unterschiede aufgezeigt. Es fließen Aspekte der Produktionstechnologie, des Herstellungsprozesses und des Strommixes des Herstellerlandes mit ein. Abhängig von diesen und weiteren Parametern werden die Emissionen mit 150 bis 200 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kWh Batteriekapazität zusammengefasst (ROMARE UND DAHLÖF 2017). Auch das Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) in Heidelberg kommt in seiner Berechnung aus dem Jahr 2016 auf ca. 140 kg emittierten Kohlendioxids pro kWh Batteriekapazität (UMWELTBUNDESAMT 2016). Diese Größenordnung findet sich auch in der Darstellung der Automobilkonzerne wieder: Sie geben etwa die doppelte Menge an Emission (mehrere Tonnen)



bei der Produktion ihrer batterieelektrischen Fahrzeuge an als bei den konventionellen Varianten (vgl. BMW 2013, VW 2014).

Die Recycling- und Verschrottungsphase des Elektroautos wird in allen Darstellungen mit wenig Energieaufwand und somit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß angesetzt und daher nicht näher beleuchtet (siehe auch BMVI 2016, IFEU 2017, ADAC 2018D).

### 2.5.5.3 Emissionen eines Elektrofahrzeugs während des gesamten Lebenszyklus

Neben den einzelnen Betrachtungen zu den Emissionen aus Fahrstrom (abhängig von der Energiequelle) und aus der Batterieproduktion (abhängig von weiteren Parametern) gibt nur der Ansatz der sogenannten LifeCycle Analysis (LCA – Lebenszyklusanalyse) ein ganzheitliches Bild. Zudem ist dieser Ansatz bei der Gegenüberstellung unterschiedlicher Technologien notwendig, so z.B. bei der Abschätzung der Ökobilanz von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu der von Verbrennungsfahrzeugen.

Wie aufgezeigt, hat das Elektrofahrzeug aus der Herstellung der Batterie einen ökologischen Nachteil gegenüber konventionellen Fahrzeugen. Dieser muss während der Nutzungsphase wieder ausgeglichen werden um eine positivere Ökobilanz als konventionelle Fahrzeuge nachweisen zu können. Die Lebenszyklusanalyse der CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Elektrofahrzeugs und der Vergleich mit konventionellen Fahrzeugen werden in mehreren Studien herausgestellt. Wie erwähnt, gibt es diverse Einflussfaktoren, die die Ergebnisse voneinander abweichen lassen. Da in der Nutzungsphase die Zusammensetzung des Strommixes mit seinen unterschiedlichen Emissionen ausschlaggebend ist, werden hier nur deutsche Studien zitiert, denn natürlich fallen Nutzungsphasen in anderen Ländern mit anderem Strommix abweichend aus. Die Ergebnisse von drei Studien zur vergleichenden Lebenszyklusanalyse von Elektrofahrzeugen und konventionellen Fahrzeugen werden im Folgenden vorgestellt. Zu beachten ist noch, dass die Herstellungsländer bzw. die Emissionen des angesetzten Strommixes während der Produktion teils nicht klar benannt sind. Vergleicht man jedoch die ermittelten Emissionen für die Produktion der Batterien mit den evaluierten Emissionswerten von 150 bis 200 g CO<sub>2</sub> pro kWh wie in ROMARE und DAHLÖF (2017) dargestellt so erhält man rechnerisch eine typische Batteriegröße von ca. 20 kWh. Dies entspricht typischen Batteriegrößen in den Publikationsjahren der Studien. Da neue Fahrzeuge mit größeren Batterien ausgestattet werden kann hier zum Teil von einer negativeren Bilanz ausgegangen werden.

Das Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) erstellt seit Jahren, basierend auf seinem Modell (TREMODO Transport Emissions Modell), diverse Studien zu unterschiedlichen Fragestellungen in Bezug auf Ökologie im Verkehr. Ergebnisse aus dem Jahr 2017 (IFEU 2017) zeigen deutlich den Einfluss des verwendeten Fahrstroms auf die Lebenszyklus-Emissionen eines Elektrofahrzeugs. In der unteren Abbildung werden die Emissionen von Elektrofahrzeugen (mit unterschiedlichen Energiequellen) im Vergleich zu Verbrennungsfahrzeugen (ebenfalls mit unterschiedlichen Kraftstoffen) dargestellt. Die einzelnen Lebensphasen der Fahrzeuge werden ebenfalls getrennt dargestellt.

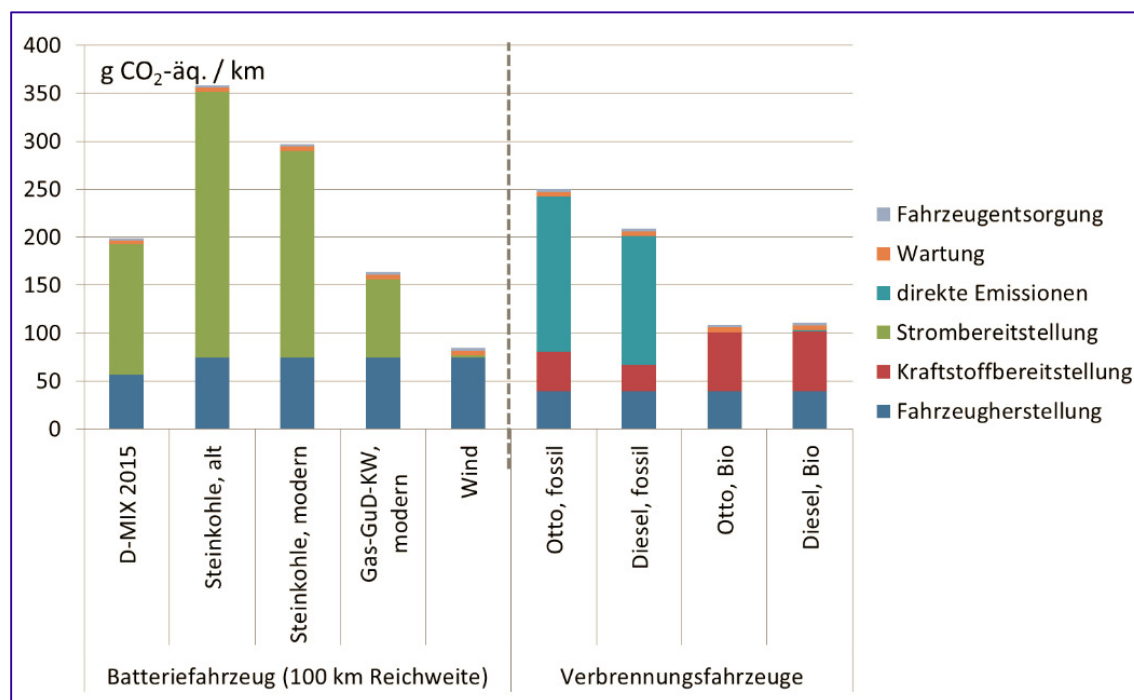


Abbildung 9: Vergleich der Klimabilanz von batterieelektrischen und konventionellen Fahrzeugen ermittelt pro km bei einer Lebenslaufleistung von 168.000 km. Die Bilanzen der Elektrofahrzeuge sind für verschiedene Strommixe, die der Verbrennungsfahrzeuge für konventionellen und durchschnittlichen Biokraftstoff dargestellt. (IFEU 2017)

Zu erkennen ist, dass die blau dargestellte Fahrzeugherstellung bei den Elektrofahrzeugen ca. doppelt so CO<sub>2</sub>-intensiv ist wie bei den Verbrennungsfahrzeugen. In der gesamten Lebenszyklusanalyse schneidet hingegen das Elektrofahrzeug auch mit deutschem Strommix (2015) besser ab als die konventionell betankten Fahrzeuge. Die Relevanz der Herkunft des Fahrstroms wird anhand der grün dargestellten Anteile erkennbar. Elektrofahrzeuge betrieben mit Strom aus Windkraftanlagen haben mit Abstand den geringsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß aller Fahrzeuge. Als Fahrleistung wurden 168.000 km von den Autoren angenommen.

Zum gleichen Ergebnis kommt eine Studie, die das Fraunhofer IBP im Auftrag des BMVI (2016) erstellt hat. Die Kernaussage ist in unterer Abbildung zusammengefasst und stellt – bei einer Laufleistung von 150.000 km die Gesamtemissionen von batterieelektrischen Fahrzeugen und von PHEV (mit deutschem Strommix und mit Ökostrom) im Vergleich zu PKW mit Verbrennungsmotor dar. Auch hier sind die Emissionen aus der Herstellungsphase bei den Elektrofahrzeugen um den Anteil der Batterieproduktion größer. Dafür reduzieren die geringeren Emissionen während der Fahrt die Gesamtemissionen erkennbar. Laut der Studie wird ein elektrisches Kompaktfahrzeug bei der Verwendung von ökologischem Ladestrom bereits ab einer Fahrleistung von ca. 15.000 km emissionsärmer als ein Benzinern und ab ca. 42.000 km vergleichbar zu einem Diesel. Bei der Verwendung des deutschen Strommixes werden die Emissionsniveaus eines vergleichbaren Benziners und Diesels ab einer Fahrleistung von ca. 60.000 und 125.000 km erreicht.

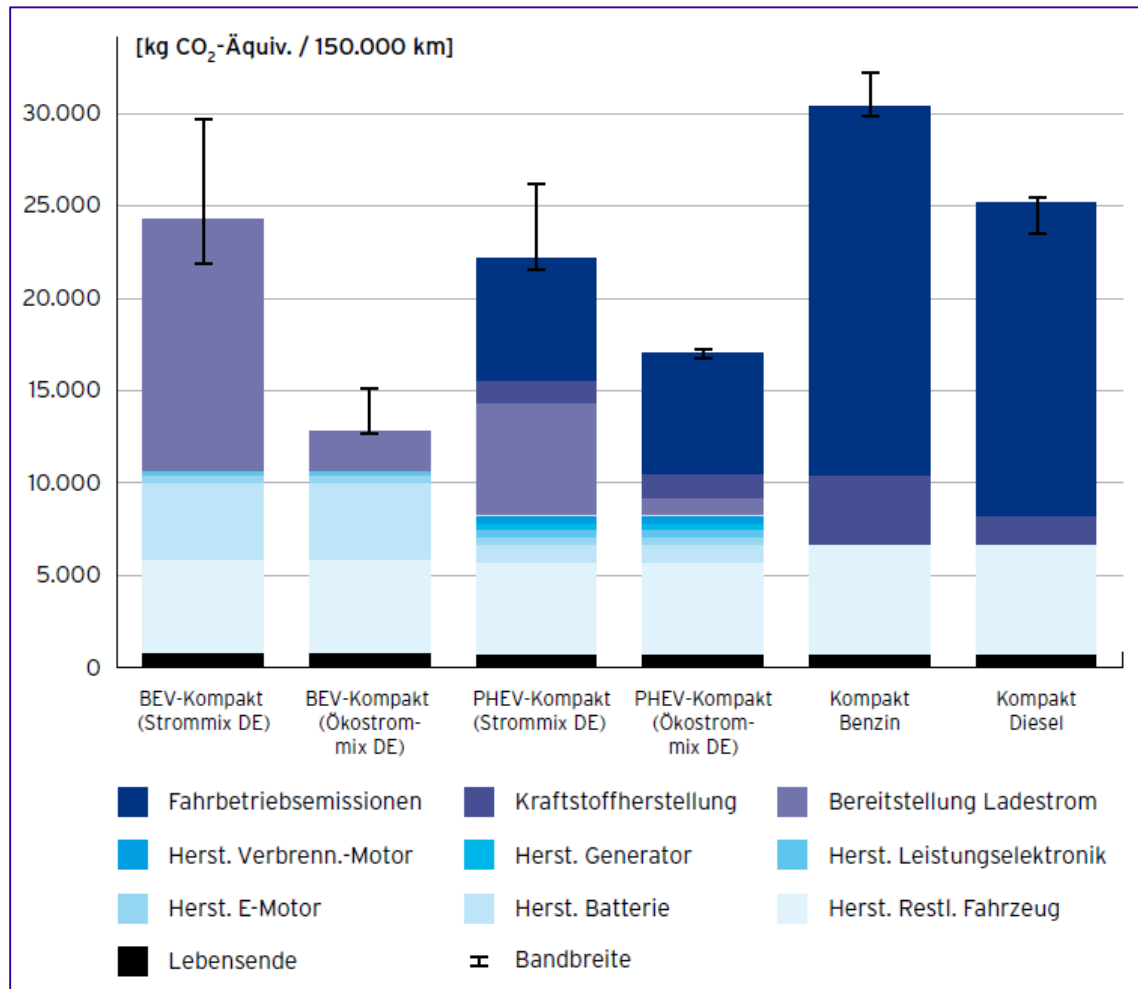


Abbildung 10: Vergleich der Treibhauspotenziale elektrischer und konventioneller Referenzfahrzeuge (Kompaktwagensegment). (BMVI 2016)

Die Bedeutung des zugrunde gelegten Strommixes ist folglich entscheidend. Mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energiequellen sinken entsprechend auch die Emissionen der Elektrofahrzeuge, die mit deutschem Strommix geladen werden. Die Mehrwerte wurden vom Umweltbundesamt für das Jahr 2025 in einer kurzen Studie aufgezeigt. So sind die Emissionen eines Elektrofahrzeugs über den gesamten Lebenszyklus unter Verwendung des deutschen Strommixes im Jahr 2017 um 27 % geringer als bei einem Benziner (16 % geringer als bei einem Diesel-Fahrzeug). Im Jahr 2025 stellen sich die Vorteile des Elektrofahrzeugs mit einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von 40 % (im Vergleich zu einem Benziner) bzw. 32 % (im Vergleich zu einem Diesel-Fahrzeug) klarer dar. Angenommen wurde eine Betriebsdauer von 12 Jahren (BMU 2017).

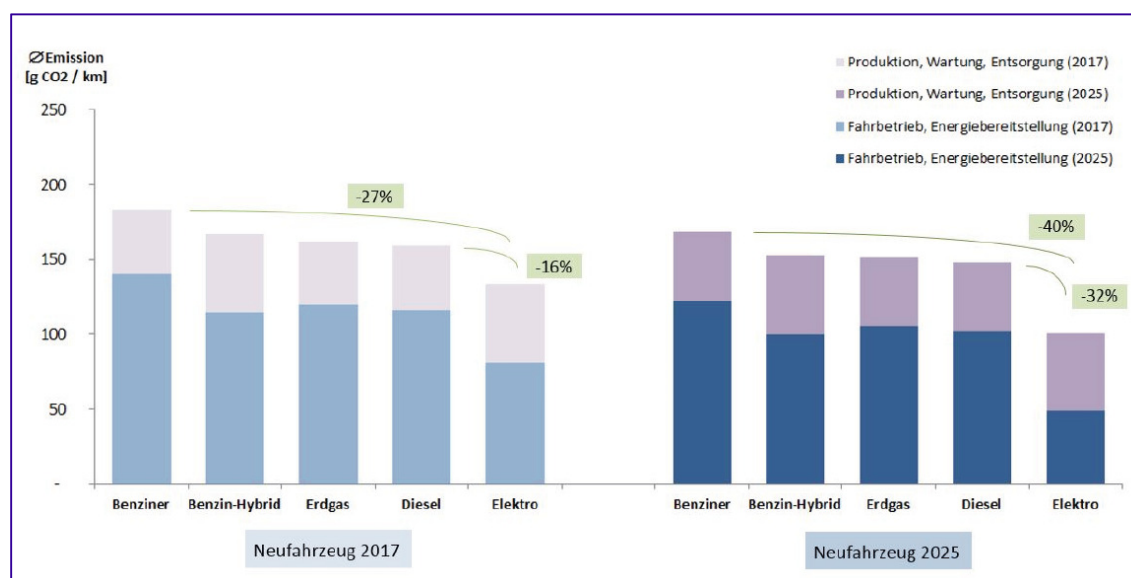


Abbildung 11: CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Fahrzeugkilometer über den gesamten Lebenszyklus, links für ein Fahrzeug, das 2017 neu zugelassen wird, rechts für eines, das 2025 neu auf die Straße kommt. (BMU 2017)

Alle Studien zeigen auf, dass Elektrofahrzeuge auch unter der Verwendung des deutschen Strommixes eine positivere CO<sub>2</sub>-Bilanz haben als vergleichbare Benzin- oder Dieselfahrzeuge. Einheitlich zeigen die Studien auf, dass die Batterieproduktion negativ zu Buche schlägt und dem Elektrofahrzeug eine deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Emission beschert als bei vergleichbaren Benzin- oder Dieselfahrzeugen. Die Höhe der Emissionen hängt vor allem vom angesetzten Strommix bei der Herstellung und von der Größe der Batterie ab. Durch die geringeren Emissionen während der Fahrt können Elektrofahrzeuge die hohen Emissionen aus der Produktion wieder kompensieren. Abhängig ist dies von der Reichweite und dem verwendeten Ladestrom. Eine einheitliche Aussage über die benötigte Fahrleistung zur Kompensation ist schwer zu treffen, so stellen manche Studien auch die große Varianz in den Ergebnissen dar.

Um hier eine praxisnahe Aussage pro Fahrzeug zu haben hat der ADAC im April 2018 die Ergebnisse der von ihm beauftragten Studie des Ifeu-Instituts publiziert, die ebenfalls den Lebenszyklus der Elektrofahrzeuge bei der Emissionsberechnung berücksichtigt (ADAC 2018D). Hilfreich zum Verständnis in dieser Studie ist, dass die meisten marktverfügbaren Modelle einzeln berechnet werden, somit unterschiedliche Batteriegrößen, Fahrzeugklassen und Hersteller analysiert wurden. Vereinheitlichende Aussagen werden neben den modellspezifischen Aussagen ebenfalls getroffen. So hat ein Elektroauto in der Kompaktklasse im Vergleich zu einem Benzin- ab ca. 45.000 km (deutscher Strommix 2013) bzw. ab 21.000 km (bei 100 % erneuerbarer Energie) eine vorteilhaftere CO<sub>2</sub>-Bilanz. Bei einem Kleinwagen tritt dies ab einer Kilometerleistung von 80.000 bzw. 24.000 km ein. Verglichen mit Diesel-Fahrzeugen setzt die vorteilhafte Ökobilanz erst später, also nach ca. 57.000 bis 111.000 km bei deutschem Strommix (2013) bzw. bei 23.000 bis 25.000 km bei der Nutzung 100 % erneuerbaren Stroms ein.

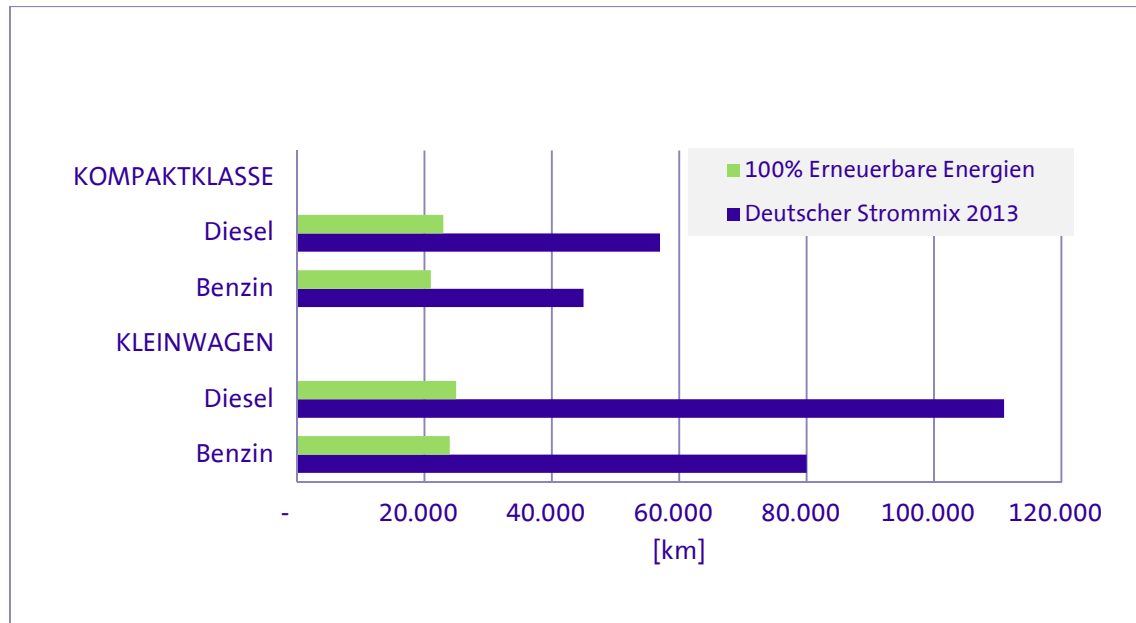


Abbildung 12: Kilometerleistung, ab der ein Elektrofahrzeug weniger CO<sub>2</sub> emittiert als ein Verbrennungsmotor mit Diesel oder Benzin als Energiequelle. Basierend auf Lebenszyklusanalysen (ADAC 2018D)

#### 2.5.5.4 Weitere Aspekte der Ökologie

Jenseits der isolierten Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in umfassenden Studien auch weitere Umwelteinflüsse untersucht. Bei der Stromherstellung sind hier vor allem NO<sub>x</sub> und Feinstaub zu nennen so wie die Auswirkungen des Tagebaus von Kohle die sowohl in produzierenden Ländern als auch in Deutschland noch einen nennenswerten Anteil am Energiemix hat. In der Phase der Batterieproduktion (und weiterer elektrotechnischer Bauteile) untersuchen Studien vor allem die Flächen- und Wassernutzung beim Abbau sowie die Umweltbelastung durch den Einsatz oder die Freisetzung giftiger Stoffe. Dass es dabei nicht nur um den Lithium-Abbau geht, sondern auch um den weiteren seltener Erden, zeigt auf, dass auch die Ressourcenknappheit eine hohe Relevanz hat. Exemplarisch sind in folgender Tabelle die eingesetzten Rohstoffe mit ihrer Aufteilung auf die Bauteile und ihrer Knappheit dargestellt.

Emobil-Komponenten								
Batterie							E-Motor	Zusatzbauteile
Zelle				Gehäuse	BMS			
LFP	NMC	NCA	Mix					
Eisen			12%	30%	4%	8%	45%	
Kupfer			44%	5%	5%	9%	36%	
Nickel			73%	8%	2%	3%	14%	
Aluminium			39%		1%	14%	46%	
Chrom			70%	9%		3%	16%	
Lithium			100%					
Mangan			50%	15%	3%	10%	23%	
Kobalt			100%					
Magnesium			19%	28%	4%	7%	42%	
Titan			34%	15%	7%	5%	38%	
Molybdän			41%	7%	5%	9%	37%	
Seltene Erden						100%		
<i>Silber</i>					40%		60%	
<i>Tantal</i>					40%		60%	
<i>Zirkon</i>					40%		60%	
<i>Tellur</i>					40%		60%	
<i>PGM</i>					40%		60%	
<i>Indium</i>							100%	

rot = kritisch; gelb = bedingt kritisch; grün = unkritisch; kursive Darstellung: geringer Einsatz (<10g) im Fahrzeug.

Abbildung 13: Einsatz kritischer Rohstoffe in Elektrofahrzeugen (UMWELTBUNDESAMT 2016)

Kritisiert wird an dieser Stelle ebenfalls häufig die derzeit noch schlechte Recyclingfähigkeit der eingesetzten Rohstoffe.

Ebenfalls ist nicht zu vernachlässigen, dass der Abbau aber auch der derzeitige Recyclingprozess laut mehrerer Berichte häufig unter menschenunwürdigen Bedingungen stattfindet. Dies betrifft jedoch nicht nur Elektrofahrzeuge sondern auch andere elektrotechnische Konsumgüter und Bauteile in konventionellen Fahrzeugen.

Auf all diese Aspekte muss zukünftig ebenfalls ein großes Augenmerk gerichtet werden.

### 2.5.5.5 Ein ökologisches Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich eine kleine Batteriekapazität positiv auf die Ökobilanz eines Elektroautos auswirkt und auch die Art des Rohstoffabbaus sowie der Strommix bei der Herstellung der Batterien und weiterer Komponenten entscheidend sind. Der Recyclingprozess hat in Bezug auf CO<sub>2</sub>-Emissionen nur eine geringe Relevanz, jedoch eine größere Umweltwirkung in Bezug auf die Kontaminierung von Böden und Wasser. Der größte Einfluss des Fahrzeugbesitzers liegt in der sinnvollen Wahl seines Fahrstroms, der aus extra zugebauten erneuerbaren Anlagen kommen sollte. Hierdurch lassen sich die Mehrmissionen aus der Batterieproduktion teils schon nach ca. 2 bis 5 Jahren (oder 20.000 bis 50.000 km) kompensieren. Bei höheren Fahrzeugklassen mit größerer Batteriekapazität entsprechend später.



Des Weiteren sei angemerkt, dass durch einen sinkenden CO<sub>2</sub>-Ausstoß im deutschen Strommix, folglich durch den Zubau von erneuerbaren Energien, die Gesamtemission von Elektrofahrzeugen sinkt. Hält sich Deutschland an seine Klimaziele und reduziert die Emissionen weiterhin, so stellen Elektrofahrzeuge in Zukunft eine deutlich ökologischere Mobilität zur Verfügung als heutige Verbrenner. Zudem sei angemerkt, dass nicht nur CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zuge einer Elektrifizierung des Individualverkehrs relevant sind, sondern auch stark reduzierte Lärmemissionen in Ballungsgebieten und lokale Emissionsfreiheit durch den vermiedenen Verbrennungsprozess. Dies betrifft CO<sub>2</sub> ebenso wie NO<sub>x</sub> und weitere umweltaktive Stoffe.

Eine grobe Übersicht über den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in grafischer Form bieten die beiden folgenden Quellen. Hier lassen sich auch durch die Wahl von Kilometerleistung, Batteriegröße, Strommix etc. eigene Szenarien kreieren:

CARBON COUNTER DES TRANCIL LABS/MIT: <http://carboncounter.com/>

UMWELTBILANZEN ELEKTROMOBILITÄT DES IFEU: <http://www.emobil-umwelt.de/index.php/online-too> VDE 2016

### 2.5.6 Ein Fazit: Vor- und Nachteile der Elektromobilität

E-Mobilität ist in erster Linie ein Baustein in der beginnenden Mobilitätswende. Durch die Nutzung von Elektrizität als primäre Antriebsenergie wird zum einen die Umstellung auf erneuerbare Energieträger, und damit die Ablösung der Mobilität vom Öl möglich. Zum anderen wird die Mobilität damit auch ein Teil der Energiewende, denn ihr Energiebedarf muss aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden und eine wachsende, bisher ungeahnte Größenordnung an elektrischen Speichern wird zeitnah auf unseren Straßen bereitstehen. Diese Potenziale zu nutzen, sind die derzeitigen Herausforderungen und auch die großen Chancen, die die E-Mobilität mit sich bringt.

Deutschland ist im internationalen Vergleich ein kleiner Markt, zudem fand der Einstieg in die neue Technologie in manch anderem Land schneller statt. Durch hohe steuerliche Anreize hat z.B. Norwegen bereits einen signifikanten Anteil an Elektrofahrzeugen auf den Straßen. Deutschland sieht mit einem Marktanteil von unter einem Prozent noch recht blass aus. Die folgenden Gründe werden häufig als Entscheidungskriterium gegen ein Elektrofahrzeug genannt:

**Anschaffungskosten:** Die Anschaffungskosten der Elektrofahrzeuge liegen meist merklich höher als bei konventionellen Fahrzeugen. Durch die Einsparungen bei den laufenden Kosten (Treibstoff, Wartung etc.) erscheint das Elektrofahrzeug in kleineren Klassen zumindest für Flottenbetreiber bereits heute konkurrenzfähig. Durch den Steuererlass über zehn Jahre und Kaufprämien von bis zu 4.000 Euro werden Elektrofahrzeuge zunehmend auch für Endkunden attraktiver. Mobillisten mit einer entsprechenden Jahreskilometerleistung (so z.B. Pendler) gelten als eine primäre Käufergruppe.

**Reichweite:** die Reichweite der ersten Generation von Elektrofahrzeugen beschränkte sich auf 80 bis 150 km. Verglichen mit einem konventionellen Fahrzeug sind das kleine Bewegungsradien. Auch dieses Nadelöhr wird durch neue technologische Entwicklungen passierbarer. So liegen die Reichweiten von Neuankündigungen bei 100 bis 650 km. Die hohen Ladeleistungen der Batterien verkürzen auch die Ladezeit auf teils wenige Minuten, so dass Elektrofahrzeuge deutlich konkurrenzfähiger gegenüber den über 100 Jahre entwickelten Verbrennermodellen werden. Es sei noch gesagt: statistisch gesehen fahren deutsche Automobilisten täglich im Schnitt gerade mal 40 km und setzen ihr Fahrzeug nur ca. 2 Stunden ein. Somit ist neben dem Pendlerverkehr auch das Zweitwagensegment attraktiv für die E-Mobilität.

**Mangelnde Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur:** Neben der heimischen Ladeinfrastruktur gilt die öffentliche Ladeinfrastruktur insbesondere im urbanen Bereich als essentiell für die Ladung von privaten Elektrofahrzeugen. Tatsächlich gibt es wenige Lademöglichkeiten in Städten, folglich auch wenig Fahrzeuge. Sowohl die genannten Pendler als auch die Zweitwagen finden sich vor allem im Speckgürtel der Stadt, mit Einfamilienhausstruktur und eigener Ladestation. Dieser Umstand ist inzwischen hinlänglich bekannt und sowohl staatliche Förderungen als auch eine wachsende Anzahl an Dienstleistungsangeboten versuchen die Lücke zu schließen.

**Fragliche ökologische Vorteile:** Viele Diskussionen der vergangenen Jahre haben die Ökologie der Elektrofahrzeuge in Frage gestellt. Heute zeigen immer mehr Studien die marginalen bis deutlichen ökologischen Vorteile auf. Entscheidend sind hierzu eine möglichst kleine Batteriegröße und die Nutzung von ökologischem Fahrstrom aus eigens zugebauten Anlagen. Dies ist teils durch Interessenverbände gefordert, in jeder CO<sub>2</sub>-Bilanz so kalkuliert doch gesetzlich nicht vorgeschrieben.

Ein zweiter umweltrelevanter Vorteil ist die lokale Emissionsarmut. So sind Elektrofahrzeuge, da sie leise und lokal abgasfrei sind, mit Sicherheit auch in Zukunft nicht von Fahrverboten in Städten betroffen. Im Gegenteil, sie tragen zu einem lebenswerteren Stadtklima bei.

Es ist erkennbar, dass die schwindende Anzahl an Nachteilen die Vorteile der Elektrofahrzeuge in den Vordergrund treten lassen. In diversen Abschätzungen wird die preisliche und technische Gleichstellung mit konventionellen Fahrzeugen in der ersten Hälfte der 2020er gesehen. Ab da wird E-Mobilität zu einem **schnell wachsenden Massenmarkt**. Begünstigt wird dies international durch den **steigenden ökologischen Druck und perspektivisch steigende Ölpreise**. National und kommunal steigern **Fahrverbote** für andere Antriebsarten und (temporäre) **Vorzüge für Elektrofahrzeuge** (Steuern, Busspurnutzung, freies Parken) deren Attraktivität. Hierzu gibt es diverse rechtliche Entwicklungen die sicherlich auch in den kommenden Jahren fortgeschrieben werden.

Essentiell wird die **Verbindung zur Energiewende**, und hierzu gibt es bisher wenig mögliche Anreizmechanismen oder gesetzliche Vorgaben. Das **Lademanagement** für Fahrzeuge – zumindest während langer Standzeiten – ist derzeit noch eine Herausforderung auf technischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Ebene.

Dem voran geht jedoch der **nötige Infrastrukturausbau vor allem im städtischen Umfeld**, wo private Lademöglichkeiten selten sind. Hier sind Kommunen, Energieversorger und eingeladene Dienstleister gefragt, keine Engpässe entstehen zu lassen und darüber eine gesamte Entwicklung zu hemmen.

Ähnliches gilt für das Herz der Verkehrswende: der **Multimodalität**. Den Automobilisten vom Besitz seines Autos zu trennen hat im Lauf der letzten 15 Jahre einen merklichen aber dennoch geringen Erfolg gehabt. Carsharing, Fahrradnutzung und den Umstieg auf den öffentlichen Nah- und Fernverkehr attraktiv zu gestalten wird eine große Herausforderung für die kommenden Dekaden sein. E-Mobilität (als Technologie) wird hier ihren Platz finden.

### 3. Handlungsfeld Ladeinfrastruktur

Eine gut ausgebaute öffentliche Ladeinfrastruktur gilt als Schlüssel zum Gelingen der E-Mobilität in Deutschland. Auch in Freiburg existieren bereits einige öffentliche Ladestationen. Um einen Überblick zum Thema E-Mobilität in Freiburg zu erhalten, wird deshalb zunächst der Kraft- und E-Fahrzeugbestand sowie die derzeit in Freiburg installierte Ladeinfrastruktur räumlich dargestellt und näher beschrieben. Anschließend wird die zukünftige Entwicklung der E-Fahrzeuge abgeschätzt und daraus sowohl der zukünftige Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur als auch die dafür benötigten Strommenge abgeleitet. Neben einer bedarfsorientierten Standortanalyse für öffentliche Ladeinfrastruktur wird das geplante Pilotprojekt, der Aufbau eines Schnellladesystems mit Batteriespeicher an der Schreiberstraße, skizziert. Am Schluss des Kapitels werden aktuelle Hemmnisse der E-Mobilität aufgezeigt.

#### 3.1 Aktueller Stand der Elektromobilität in Freiburg

##### 3.1.1 Kraft- und E-Fahrzeugbestand in Freiburg

Im Jahr 2018 waren in Freiburg insgesamt 115.614 KFZ zugelassen, darunter 89.867 PKW. Seit 1997 stieg die Anzahl der PKW um 16.131, was im Mittel einer jährlichen Neuzulassung von 768 PKW entspricht (86 % der PKW sind privat und 14 % dienstlich zugelassen). In den letzten Jahren ist eine deutliche Zunahme von PKW-Neuzulassungen zu verzeichnen. Im Jahr 2017 waren es 1.291 und im Jahr 2018 sogar 1.319 neuzugelassene PKW.

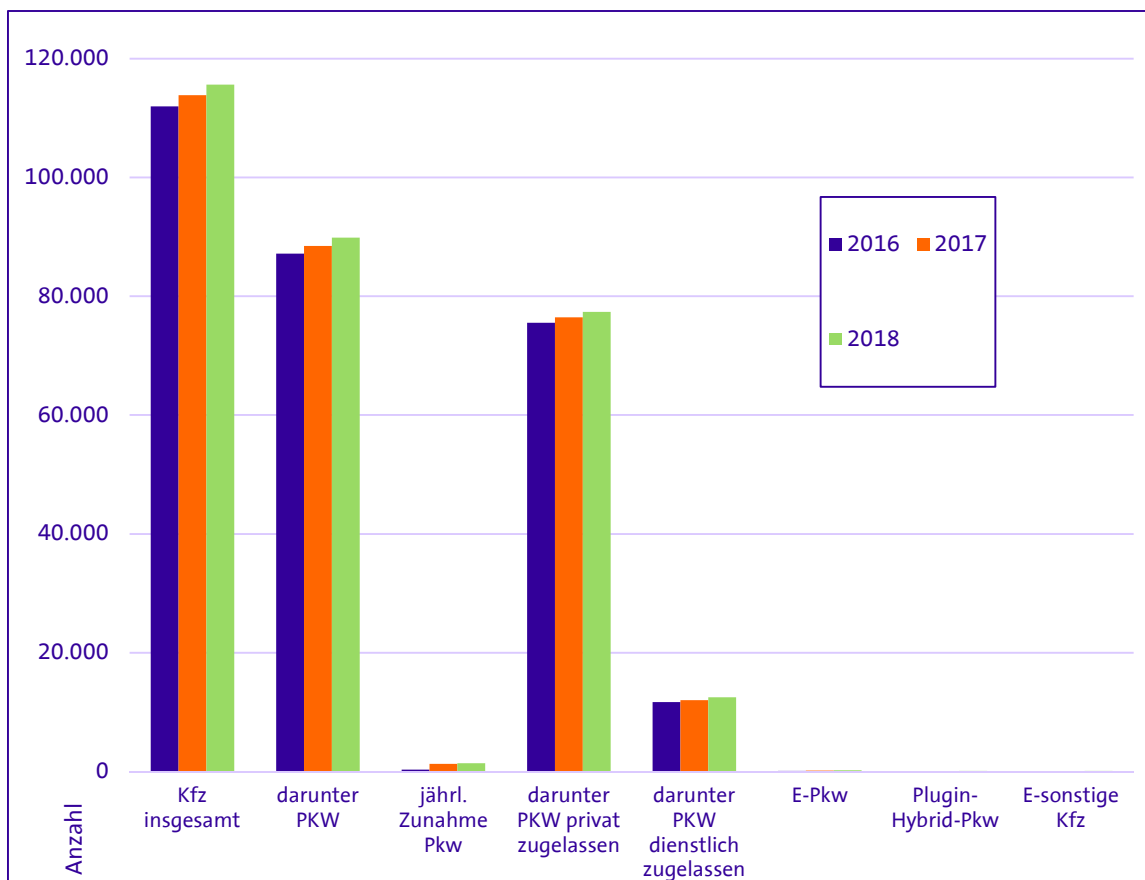


Abbildung 14: Verteilung der Antriebstechnologien im E-Fahrzeugsegment in Freiburg (STADT FREIBURG 2018)

Die Zunahme im PKW-Bestand spiegelt sich auch bei E-Fahrzeugen wieder. So waren im 1. Quartal 2018 insgesamt 396 E-Fahrzeuge, darunter 207 BEV und 111 Plug-in Hybride sowie 78 Sonstige E-KFZ zugelassen. Dies entspricht für PKW einem Anteil von 0,34 % (BEV, Plug-in-Hybride) (vgl. Abbildung 15). BEV alleine machen einen Anteil von 0,23 % aus. Somit liegt der Anteil der BEV am PKW-Bestand in Freiburg, im Vergleich zum bundesdeutschen Durchschnitt von 0,12 %, fast um 100 % höher. Nichtsdestotrotz ist der Anteil der E-Fahrzeuge in Freiburg im Verhältnis zum Gesamt-PKW-Bestand noch äußerst gering (vgl. Abbildung 15).

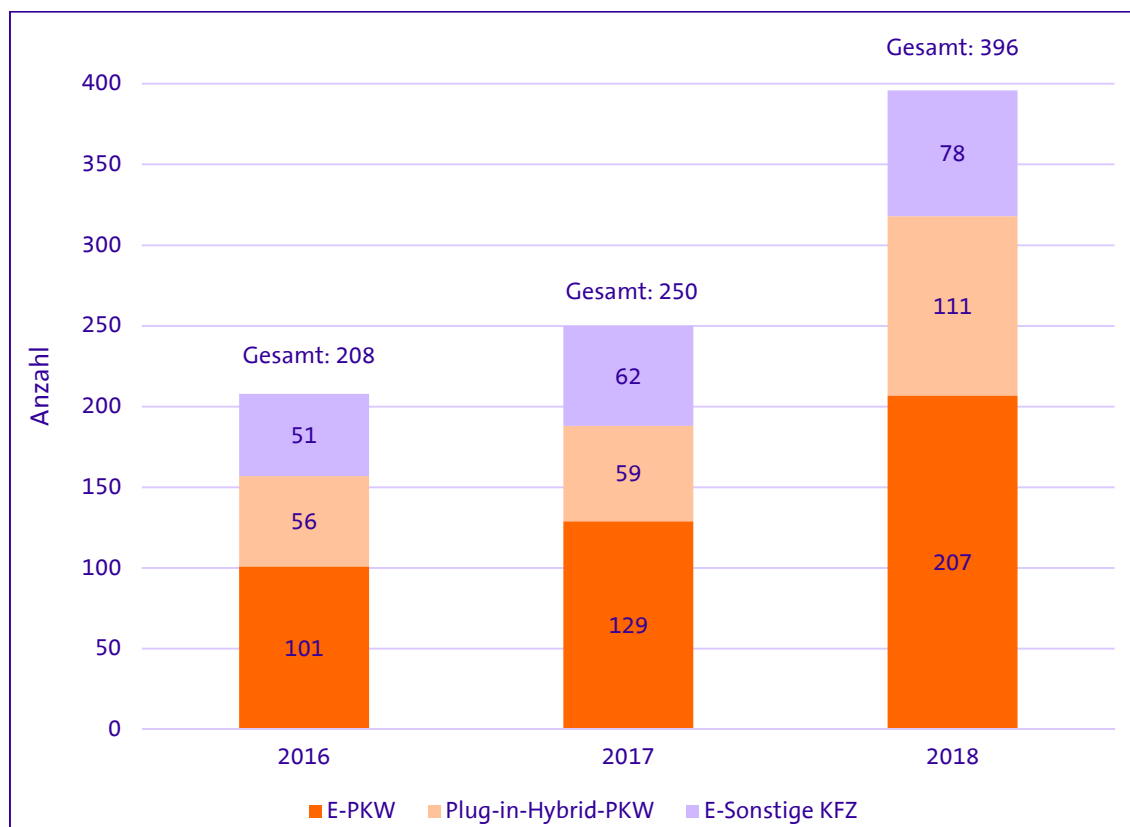


Abbildung 15: Bestand an E-Fahrzeugen in Freiburg. Quelle: Stadt Freiburg 2018.

### 3.1.2 Bestand an öffentlichen und halböffentlichen Ladesäulen in Freiburg

Derzeit sind im Stadtgebiet Freiburg 14 öffentliche und 26 halböffentliche Ladesäulen offiziell registriert. Hinzu kommen drei öffentliche und eine halböffentliche E-Bike-Ladestation. Zudem hat die Stadt Freiburg im Jahr 2018 sechs Standorte mit insgesamt 16 Ladesäulen (32 Ladepunkten), 12 Wandladestationen (12 Ladepunkte) und 5 Schnellladestationen (10 Ladepunkte mit 43 kW AC/50 kW DC) für den städtischen Fuhrpark in Betrieb genommen. Im Herbst 2017 hat die Stadt Freiburg damit begonnen 53 des 70 Fahrzeug starken Fuhrparks auf E-Fahrzeuge umzurüsten.

Eine Übersicht und Auflistung der aktuell registrierten Ladestandorte kann Abbildung 16 entnommen werden. Die Nummerierung der Standorte in der Übersichtskarte entsprechen den Nummerierungen von

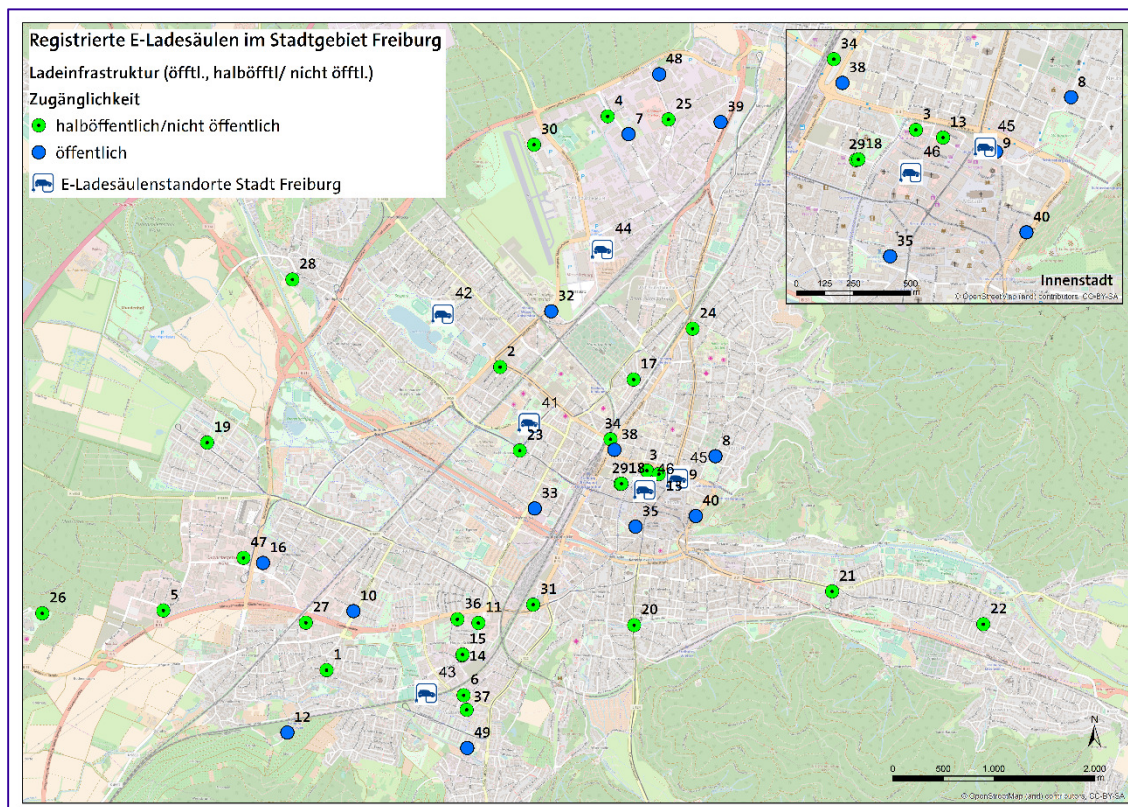


Abbildung 16: Ladesäulenbestand in Freiburg. Stand September 2018 (GOINGELECTRIC.DE; LADE-  
 NETZ.DE, CHARGEMAP.COM; E-TANKSTELLEN-FINDER.COM; BUNDESNETZAGENTUR; DARSTELLUNG O. GEWÄHR AUF  
 VOLLSTÄNDIGKEIT)

Tabelle 1: Übersicht der Ladestandorte in Freiburg, Stand September 2018 (GOINGELECTRIC.DE; LADE-  
 NETZ.DE, CHARGEMAP.COM; E-TANKSTELLEN-FINDER.COM; BUNDESNETZAGENTUR; AUFLISTUNG O. GEWÄHR AUF  
 VOLLSTÄNDIGKEIT)

Nr.	Betreiber	Stecker (n)	Ladeleistung	Zugang
1	2-rad Müller	1	1 x 3,7 kW	halböffentlich
2	Aldi Süd	3	3 x 3,7 kW	halböffentlich
3	APCOA	2	2 x Typ 2 11 kW	halböffentlich
4	Autohaus Gehlert GmbH & Co. KG	2	2 x Typ 2 3 kW	halböffentlich
5	Autohaus Tabor	2	2 x Typ 2 11 kW	halböffentlich
6	bad & heizung Lassen GmbH	6	2 x Typ 2 22 kW, 1 X CEE Rot 22 kW, 1 x CEE Blau 3,7 kW, 2 x Schuko	halböffentlich
7	Badenova AG	4	2 x Typ 2 11 kW, 2 x Schuko	öffentlich
8	badenova AG	2	2 x Typ 2, je 22kW	öffentlich
9	badenova AG	2	2 x Typ 2, je 22kW	öffentlich
10	badenova AG	2	2 x Typ 2, je 22kW	öffentlich
11	bhg Baden Autohandelsge- sellschaft mbH	2	2 x Typ 2 3,7 kW	halböffentlich



12	Blauburg Verlag - Freiburg	3	1 x CEE 12 kW, 1 x CEE 3 kW, 1 x Schuko	öffentlich
13	Central Hotel Freiburg	2	2 x Typ 2 11 kW	halböffentlich
14	Edeka	3	2 x Typ 2 11 kW, 1 x Schuko	halböffentlich
15	Edeka	3	3 x 3,7 kW	halböffentlich
16	EnBW	2	2 x Typ 2 22 kW	öffentlich
17	FABRIK für Handwerk, Kultur und Ökologie e.V	11	1 x CEE rot 40 kW, 2 x CEE rot 22 kW, 2 x CEE rot 11 kW, 6 x Schuko	halböffentlich
18	Firma Bürkle	2	nicht bekannt	halböffentlich
19	Gesundheitsresort Freiburg	3	1 x Typ 2 22 kW, 2 x Typ 2 11 kW	halböffentlich
20	Green City Boardinghouse	1	1 x Schuko	halböffentlich
21	Hotel Restaurant Bierhäusle	3	2 x Tesla Typ 2 22 kW, 1 x Typ 2 22 kW	halböffentlich
22	Hotel Victoria Betriebs-GmbH	4	2 x Tesla Typ 2 22 kW, 2 x Typ 2 11 kW	halböffentlich
23	IKEA	10	2 x CHAdeMO 20 kW, 2 x CCS 20 kW, 2 x Typ 2 22 kW, 4 x Typ 2 11 kW	halböffentlich
24	Lidl	3	1 x Typ 2 43 kW, 1 x CHAdeMO 50 kW, 1 x CCS 50 kW	halböffentlich
25	Naturenergie	1	1 x Schuko	öffentlich
26	ÖKOSUM	7	1 x Typ 2 22 kW, 6 x Schuko	öffentlich
27	Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH	4	2 x Typ 2 22 kW, 2 x Schuko	halböffentlich
28	Parkraumgesellschaft Baden-Württemberg mbH	4	2 x Typ 2 22 kW, 2 x Schuko	öffentlich
29	Porsche	1	1 x Typ 2 7 kW	halböffentlich
30	RADieschen & Co	3	3 x 3,7 kW	halböffentlich
31	Richard Fehrenbach Gewerbeschule	2	2 x CEE 3 kW	öffentlich
32	RWE innogy SE	2	2 x Typ 2 22 kW	öffentlich
33	Schlossberggarage	4	1 x Typ 2 22 kW, 1 x Typ 2 11 kW, 2 x Schuko	öffentlich
34	Stadt FR, Fehrenbachallee 12	32	26 x 22 kW, 6 x 43 kW AC/ 50 kW DC	nicht öffentlich
35	Stadt FR, Falkenbergerstraße 21	2	2 x 22 kW	nicht öffentlich
36	Stadt FR, Kufsteiner Straße 3	3	3 x 22 kW	nicht öffentlich
37	Stadt FR, Hermann-Mitch-Straße 26	3	3 x 22 kW	nicht öffentlich
38	Stadt FR, Kaiser-Joseph-Straße 143	2	2 x 22 kW	nicht öffentlich
39	Stadt FR, Rathausplatz 2-4	12	8 x 22 kW, 4 x 43 kW AC/ 50 kW DC	nicht öffentlich

40	Südwest-Auto GmbH	2	2 x Typ 2 3,7 kW	halböffentlich
41	Triaz GmbH	1	1 x Typ 2 22 kW	öffentlich
42	Werkgruppe Freiburg	1	1 x Typ 2 22 kW	öffentlich

## 3.2 Analyse des Bedarfs an Ladeinfrastruktur in Freiburg nach Ausbauszenarien

### 3.2.1 Abschätzung der E-Fahrzeugentwicklung in Freiburg

In Anlehnung an die einst ausgerufenen E-Fahrzeugziele der Bundesregierung kann für Freiburg berechnet werden, wie viele E-Fahrzeuge theoretisch zugelassen sein müssten, um die Ziele von 1 Mio. E-Fahrzeuge bis 2020 und 6 Mio. E-Fahrzeuge bis 2030 in Deutschland zu erreichen.

Für die Berechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Jährliche Steigerung des PKW-Bestandes in Freiburg um 1.000 Fahrzeuge (Trendprognose als Abschätzung durch das GuT Freiburg)
- Prozentuale Übertragung der E-Fahrzeugentwicklung Deutschlands auf Freiburg (angelehnt an die Ziele der Bundesregierung)
- Exponentielle Entwicklung des E-Fahrzeugbestands in Freiburg bis 2030

Die nachfolgende Abbildung 17 zeigt die theoretische und exponentielle Steigerung der E-Fahrzeuge in Deutschland. Es ist davon auszugehen, dass das Ziel der Bundesregierung von 1 Mio. E-Fahrzeuge bis 2020 erst im Laufe des Jahres 2022 erreicht wird. Hingegen ist das Ziel von 6 Mio. E-Fahrzeugen bis 2030 realistisch und könnte schon im Laufe des Jahres 2029 erreicht werden. Die Einflussfaktoren auf die E-Fahrzeugentwicklung in Deutschland sind vielfältig. In den nächsten Jahren ist deshalb mit einem sprunghaften Anstieg der E-Fahrzeugzahlen zu rechnen. Der Markt der Antriebstechnologien befindet sich in einem massiven Umbruch. Die immense Produktoffensive der Automobilhersteller, steigende Batteriekapazitäten und sinkende Kosten, verbesserte Ladeinfrastrukturtechnik und höhere Ladeleistungen, zunehmende Nutzerakzeptanz, Förderprogramme und auch der zunehmende politische und ökologische Druck, saubere Technologien zu etablieren, lassen einen exponentiellen Anstieg in den nächsten Jahren vermuten.

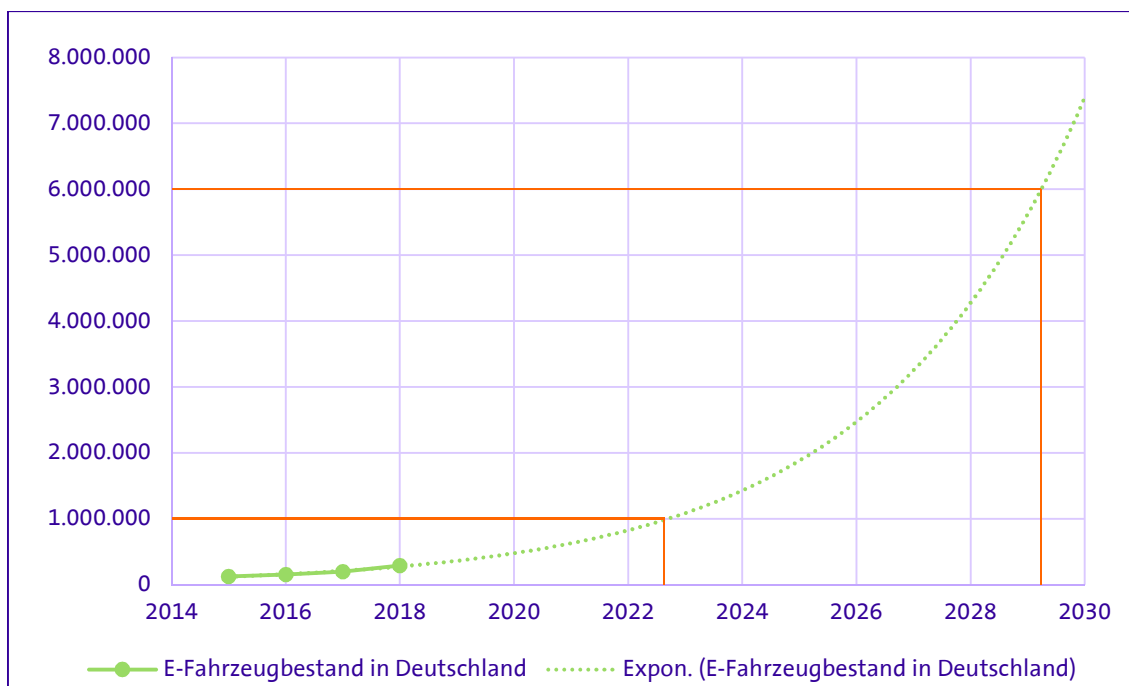


Abbildung 17: Exponentielle Entwicklung des E-Fahrzeugbestands in Deutschland (VERÄNDERT NACH KBA 2018B)

Unter der Berücksichtigung eines exponentiellen Wachstums der E-Fahrzeuge in Deutschland könnte sich für Freiburg folgende Entwicklung ergeben (vgl. Abbildung 18):

- 543 E-Fahrzeuge bis 2020
- 2.563 E-Fahrzeuge bis 2025
- 12.098 E-Fahrzeuge bis 2030

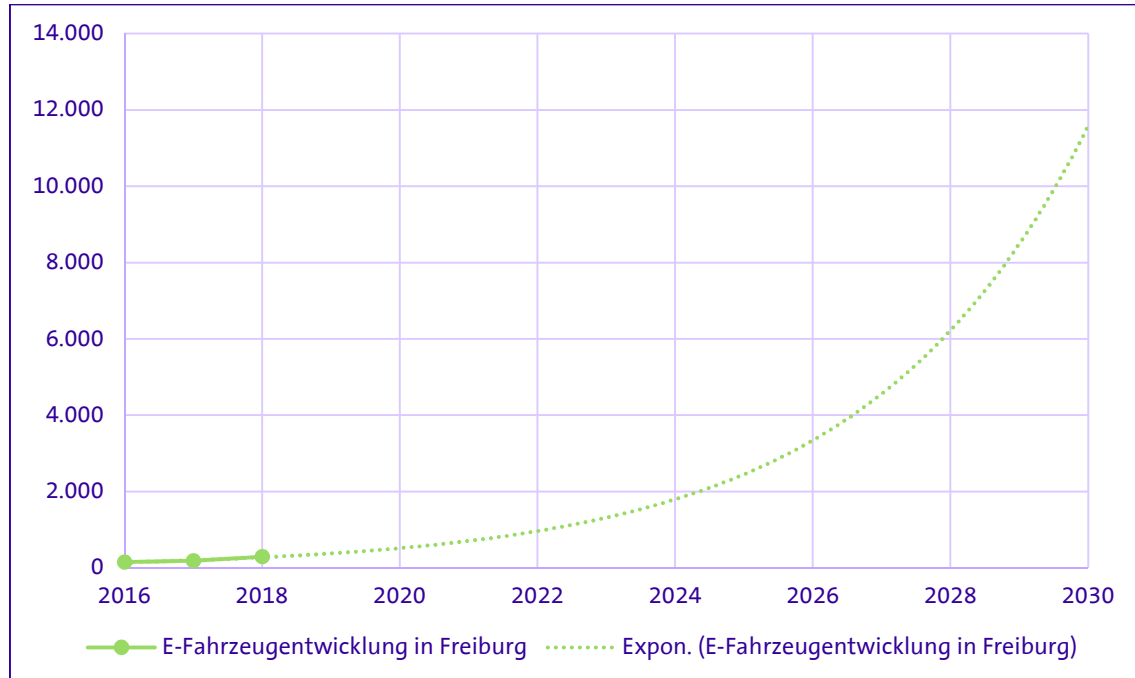


Abbildung 18: Prognostizierte Entwicklung der E-Fahrzeuge in Freiburg (VERÄNDERT NACH KBA 2018B UND 2018C; GUT FREIBURG 2018)

### 3.2.2 Abschätzung des Bedarfs an öffentlicher Ladeinfrastruktur in Freiburg

Um abzuschätzen, wie hoch der Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur bis 2030 sein könnte, gilt es, die für die theoretisch ermittelte Anzahl an E-Fahrzeugen benötigte Strommenge zu berechnen.

Für die Berechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Durchschnittlicher Verbrauch eines E-Fahrzeugs (BEV/Plug-in-Hybrid) pro 100 km: 15 kWh
- Durchschnittliche Jahresfahrleistung eines PKW nach KBA 2018b: 13.257 km (36,32 km/Tag)

Um die tägliche bzw. jährlich benötigte Strommenge der Fahrleistung eines E-Fahrzeugs in Deutschland abdecken zu können, müssten im Jahr 2030, für 12.098 E-Fahrzeuge in Freiburg, ca. 24 Mio. kWh/Jahr bereitgestellt werden. Zum Vergleich: Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von etwa 8.000 2-Personen-Haushalten.

Nach der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE 2018b) ist davon auszugehen, dass zukünftig 85 % der Ladevorgänge im privaten/halböffentlichen und nur 15 % im öffentlichen Bereich stattfinden werden (vgl. Abbildung 19).




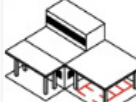


Anteile der Ladevorgänge	Privater Aufstellort: aktuell 85 %			Öffentlich zugänglicher Aufstellort: aktuell 15 %		
Typische Standorte für Ladeinfrastruktur	 Einzel- / Doppelgarage bzw. Stellplatz beim Eigenheim	 Parkplätze bzw. Tiefgarage von Wohnanlagen, Mehrfamilienhäusern, Wohnblocks	 Firmenparkplätze auf eigenem Gelände	 Autohof, Autobahn-Raststätte	 Einkaufszentren, Parkhäuser, Kundenparkplätze	 Straßenrand / öffentliche Parkplätze
Vorgaben zur Ladetechnologie	Combined Charging System vorschreiben			Combined Charging System als Mindeststandard in Ladesäulenverordnung vorgeschrieben		
Ladedauer für 20 kWh (Verbrauch für 100 km)	<b>6 Stunden</b> (AC 3,7 kW)	<b>6 Stunden</b> (AC 3,7 kW) <b>1-2 Stunden</b> (AC/DC 11-22 kW)	<b>6 Stunden</b> (AC 3,7 kW)	<b>30 Minuten</b> (DC 50 kW) <b>10 Minuten</b> (DC 150 kW)	<b>6 Stunden</b> (AC 3,7 kW)	<b>1-2 Stunden</b> (AC/DC 11-22 kW)
Ladedauer perspektivisch				<b>wenige Minuten</b> (DC 350 kW)		

Abbildung 19: Anteile der Ladevorgänge (NPE 2018B)

Für Freiburg würde dies bedeuten, dass in 2020 rund 160 MWh/Jahr, in 2025 ca. 760 MWh/Jahr und in 2030 ca. 3,6 MWh/Jahr Strom durch öffentliche Ladesäulen bereitgestellt werden müssten (vgl. Abbildung 20).

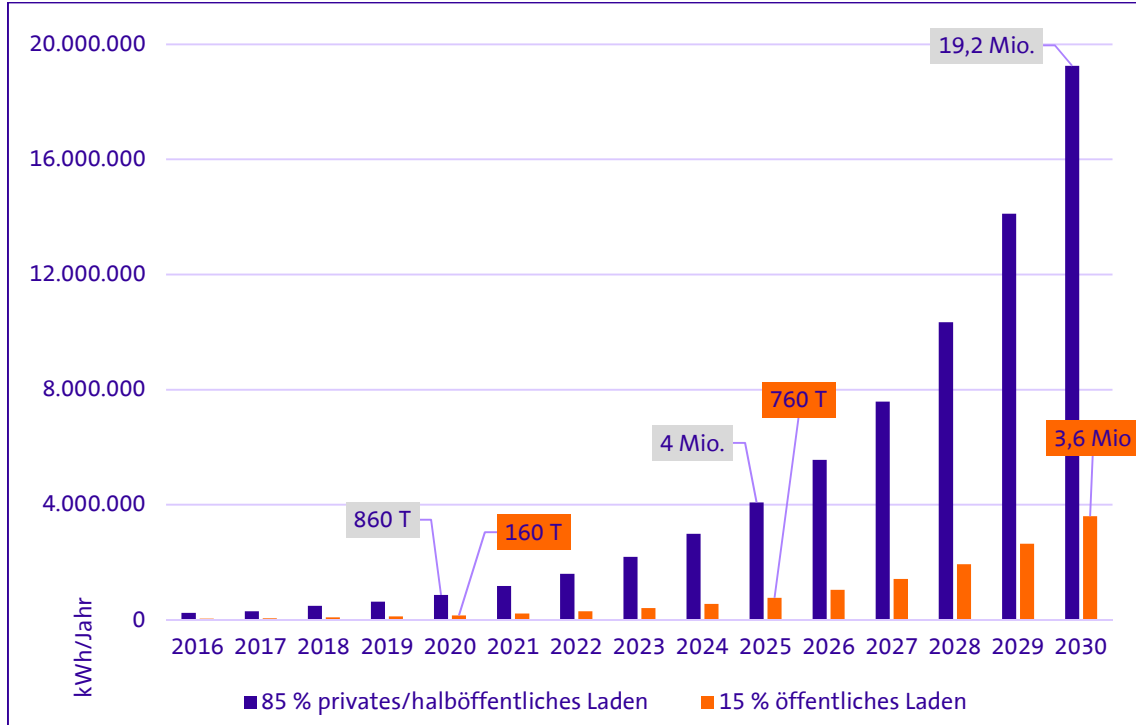


Abbildung 20: Strombedarfsentwicklung in Freiburg auf Basis der prognostizierten E-Fahrzeuge bis 2030 (BADENOVA 2018)

Im Stadtgebiet Freiburg nimmt die Anzahl der Ladevorgänge und der geladenen Kilowattstunden an öffentlichen Ladesäulen seit 2016 deutlich zu. Dennoch wird bislang nicht öfter als einmal am Tag an einer Ladesäule geladen (BADENOVA 2018). Die nachfolgende Abbildung 21 zeigt an vier öfftl. Ladesäulen in Freiburg die Entwicklung der Ladevorgänge seit November 2016.

- Die **horizontal ansteigende orangene Linie** zeigt die **Zunahme der Ladevorgänge** an vier ausgewählten öfftl. Ladesäulen im Stadtgebiet Freiburg seit Nov. 2016
- Die **vertikalen orangenen Linien** zeigen die **Zunahme der geladenen Kilowattstunden** an vier ausgewählten öfftl. Ladesäulen im Stadtgebiet Freiburg seit Nov. 2016

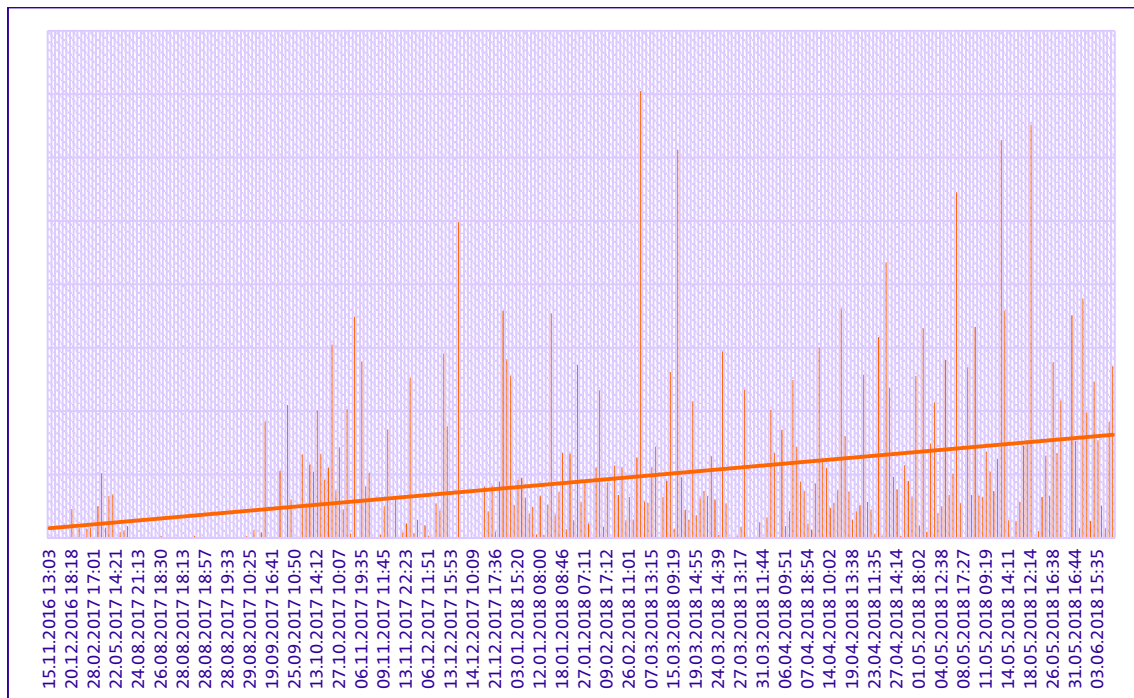


Abbildung 21: Zunahme der Ladevorgänge an vier öfftl. Ladesäulen in Freiburg (BADENOVA 2018)

Zukünftig ist davon auszugehen, dass an öffentlichen Ladesäulen, aufgrund der steigenden Anzahl an E-Fahrzeugen, auch die Anzahl der Ladevorgänge stark zunehmen wird. Darüber hinaus wird sich die Ladezeit je Ladevorgang, u.a. aufgrund steigender Batteriekapazitäten/größerer Reichweiten, prinzipiell erhöhen. (Durchaus möglich ist aber auch, dass die Ladezeiten annähernd gleich bleiben oder sich sogar verkürzen werden, sofern E-Fahrzeuge künftig mit höheren Ladeleistungen geladen werden können.). D.h. je mehr Ladevorgänge pro Tag an einer Ladesäule stattfinden, desto mehr Kilowattstunden werden pro Tag geladen. Demgegenüber steht jedoch die zunehmende Reichweite von E-Fahrzeugen. Demnach muss ein E-Fahrzeug mit größerer Batteriekapazität zukünftig seltener geladen werden, weshalb die Anzahl der Ladevorgänge sinken könnte. Die zukünftige Anzahl an Ladevorgängen sowie die geladenen Kilowattstunden an einer Ladesäule können somit unterschiedlichen Einfluss auf die Anzahl der zukünftig benötigten öffentlichen Ladesäulen haben.

Um abzuschätzen, wie hoch der Bedarf an öffentlichen Ladesäulen in Freiburg sein könnte, und um zu bewerten, ob die jetzige Ladeinfrastruktur für den derzeitigen öffentlichen Be-



darf ausreichend ist, wurden drei unterschiedliche Szenarien berechnet, welche eine unterschiedliche Frequentierung und Anzahl an geladenen Kilowattstunden an einer Ladesäule widerspiegeln.

### Szenario 1: Geringe Auslastung der Ladesäule

- Die Ladesäule wird täglich von vier E-Fahrzeugen angefahren
- An einer Ladesäule mit 2 x 22 kW finden 4 Ladevorgänge/Tag statt
- Der Strombezug liegt bei 4 x 20 kWh (80 kWh). Jährlich werden insgesamt ca. 29.200 kWh geladen

### Szenario 2: Mittlere Auslastung der Ladesäule

- Die Ladesäule wird täglich von acht E-Fahrzeugen angefahren
- An einer Ladesäule mit 2 x 22 kW finden 8 Ladevorgänge/Tag statt
- Der Strombezug wird mit 8 x 20 kWh (160 kWh) beziffert
- Jährlich werden insgesamt ca. 58.400 kWh geladen

### Szenario 3: Hohe Auslastung der Ladesäule

- Die Ladesäule wird täglich von acht E-Fahrzeugen angefahren. 50% der E-Fahrzeuge haben einen höheren Ladebedarf
- An einer Ladesäule mit 2 x 22 kW finden 8 Ladevorgänge/Tag statt
- Der Strombezug wird mit 4 x 20 kWh und 4 x 30 kWh (200 kWh) beziffert, aufgrund längerer Ladezeiten und steigenden Batteriekapazitäten
- Jährlich werden insgesamt ca. 73.000 kWh geladen

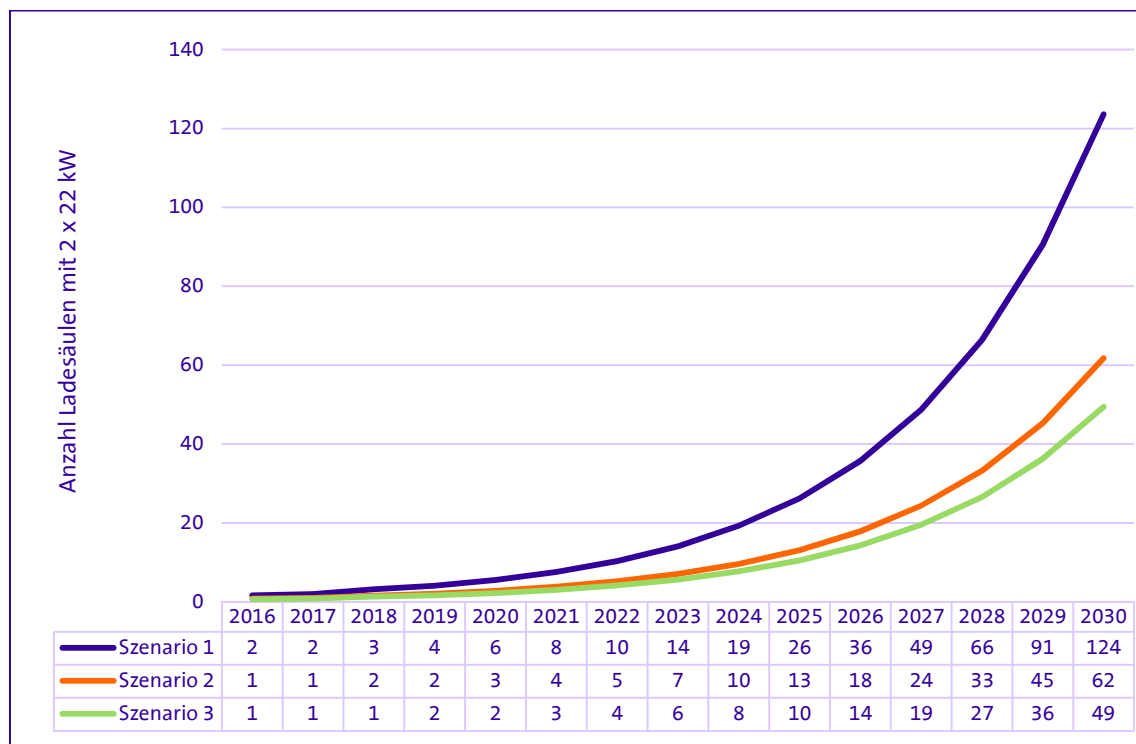


Abbildung 22: Geschätzte Anzahl der öfftl. benötigten Ladesäulen in Freiburg, um den Strombedarf der E-Fahrzeuge in Freiburg bis 2030 im öfftl. Raum zu decke (BADENOVA 2018)

Um den zukünftigen öffentlichen Strombedarf der prognostizierten E-Fahrzeuge in 2030 decken zu können, werden nach **Szenario 1: 124**, nach **Szenario 2: 62** und nach **Szenario 3: 49** öffentliche Ladesäulen benötigt.

Szenario 1 spiegelt das „Henne-Ei-Problem“ der E-Mobilität wider. Trotz geringer Anzahl an E-Fahrzeugen und geladenen Kilowattstunden werden zur Deckung des Strombedarfs von E-Fahrzeugen mehr Ladesäulen benötigt, da angenommen wird, dass die Frequentierung/Auslastung der Ladesäulen gering ist und sich die Ladevorgänge räumlich verteilen werden. In Szenario 2 und 3 wird deutlich erkennbar, dass je höher die Auslastung einer Ladesäule, desto weniger öffentliche Ladesäulen werden zukünftig benötigt. Somit ist ein bedarfsorientierter und rationaler Ausbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur äußerst wichtig.

Derzeit hat eine Ladesäule in Freiburg eine Auslastung von 0,5 - 1 Ladevorgängen/Tag. D.h. derzeit lädt an einer Ladesäule max. ein Fahrzeug pro Tag. Durch die steigenden E-Fahrzeugzahlen werden zukünftig auch die Ladesäulen besser ausgelastet sein. Aufgrund dessen wird die Anzahl der Ladevorgänge steigen und es werden mehr Kilowattstunden geladen. Somit sollte es das Ziel sein, möglichst gut frequentierte Ladesäulen zu installieren. Denn aktuell gilt, je mehr Ladesäulen den Strombedarf der E-Fahrzeuge decken, desto weniger Kilowattstunden fließen über eine Ladesäule und desto schwieriger ist es, Ladesäulen wirtschaftlich zu betreiben. Ziel muss es sein, durch sinnvoll ausgewählte Standorte den Strombedarf der E-Fahrzeuge bereitzustellen und eine möglichst hohe Auslastung der Ladesäulen zu erzielen. Ladesäulen sollten zum einen vorerst in Stadtgebieten errichtet werden, in denen Bürger nur bedingt die Möglichkeit haben private Ladestationen auf eigenen Stellplätzen oder in Garagen zu errichten und zum anderen an Standorten, wo eine hohe Frequentierung und gute Auslastung, aufgrund von Dienstleistungsclustern, Pols etc. zu erwarten ist (vgl. Abschnitt 0).

Im Stadtgebiet Freiburg sind derzeit 14 öffentliche Ladesäulen installiert. Für den aktuellen E-Fahrzeugbestand von 396 E-Fahrzeugen (2018) ist die öffentliche Ladeinfrastruktur in Freiburg ausreichend. Im Zuge des Markthochlaufs, der prognostizierten E-Fahrzeugzahlen und zukünftig benötigten Ladepunkte sollte die öffentliche Ladeinfrastruktur in den nächsten Jahren jedoch sukzessive ausgebaut werden (vgl. Abschnitt 0). Insbesondere auch um die E-Mobilität in die öffentliche Wahrnehmung zu bringen und Reichweitenängsten vorzubeugen.

### **3.2.3 Abschätzung der Entwicklung der Ladeinfrastruktur im privaten und halböffentlichen Bereich in Freiburg**

Mindestens 85 % der zukünftigen Ladevorgänge werden im privaten (zu Hause) und halböffentlichen (Arbeitgeber, Einzelhandel, Freizeit etc.) Bereich stattfinden. Lange Standzeiten über Nacht und beim Arbeitgeber von  $\geq 6-8$  Stunden führen zu einem hohen Bedarf von Ladeinfrastruktur mit niedriger Ladeleistung (3,7 kW). Würde die Stadt Freiburg die E-Fahrzeugziele der Bundesregierung bis 2020 und 2030 erreichen, müssten rund 3,6 Mio. kWh bzw. 19,2 Mio. kWh im privaten/halböffentlichen Bereich bereitgestellt werden.

Die prognostizierten exponentiell ansteigenden E-Fahrzeugzahlen für Freiburg können auf die einzelnen Stadtteile<sup>6</sup> umgelegt werden, so dass sich die theoretisch zukünftige Anzahl an E-Fahrzeugen am PKW-Bestand im jeweiligen Stadtteil widerspiegelt. Hohe PKW-Bestände sind in den Stadtteilen Wiehre, Haslach, St. Georgen und Brühl vorzufinden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl von E-Fahrzeugen in Stadtteilen mit hoher Stellplatz-/Garagen- und Tiefgaragendichte stärker ansteigen wird als in Stadtteilen mit geringerer Dichte. Somit kann die Dichte an Garagen/Tiefgaragen einen ersten Hinweis über die zukünftige räumliche Verteilung der Ladeinfrastruktur im privaten Bereich geben. In erster Linie werden hier nur Bürger mit eigenem oder ggf. fest zugewiesenem Stell-, Garagen- oder Tiefgaragenplatz die Möglichkeit haben, eine Ladeinfrastruktur zu errichten. Im amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem der Stadt Freiburg sind 8.980 Garagen und 1.162 Tiefgaragen verzeichnet (vgl. Abbildung 23).

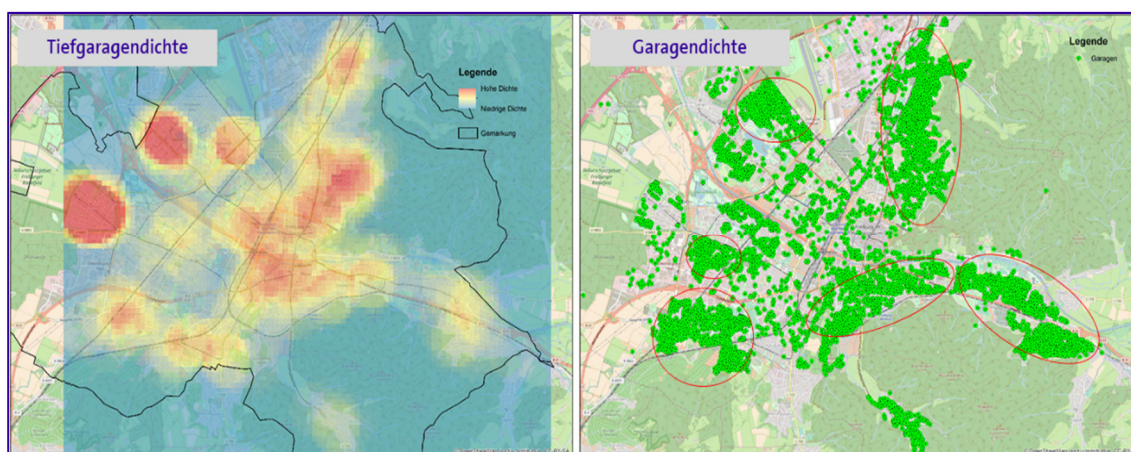


Abbildung 23: Tiefgaragen- und Garagendichte (ALKIS STADT FREIBURG 2018, BADENOVA 2018)

Eine hohe Garagendichte verzeichnen die Stadtteile Wiehre, St. Georgen, Haslach, Betzenhausen, Wiehre, Waldsee, Littenweiler, Zähringen und Herden. Eine hohe Tiefgaragendichte ist vor allem im Rieselfeld und in Betzenhausen vorzufinden (vgl. Abbildung 23).

Eine quantifizierbare Aussage über die stadtteilbezogene Entwicklung ist nur bedingt möglich und kann anhand der exponentiell prognostizierten E-Fahrzeugzahlen für Freiburg überschlagen werden<sup>7</sup>. So ergibt sich beispielhaft für den Stadtteil Wiehre ein theoretischer Wert von 59 E-Fahrzeugen bis 2020, 276 E-Fahrzeugen bis 2025 und 1.305 E-Fahrzeugen bis zum Jahr 2030.

<sup>6</sup> Stadtteilbezogene PKW-Zahlen wurden vom GuT zur Verfügung gestellt und bis 2030 prognostiziert.

<sup>7</sup> Eine vertiefende Betrachtung bzw. kalkulatorische Berücksichtigung der Garagen- und Tiefgaragendichte ist aufgrund von Datenlücken, nicht bekannter Stellplatzanzahl je Tiefgarage und privater Stellplatzverfügbarkeit für das gesamte Stadtgebiet nicht möglich gewesen.

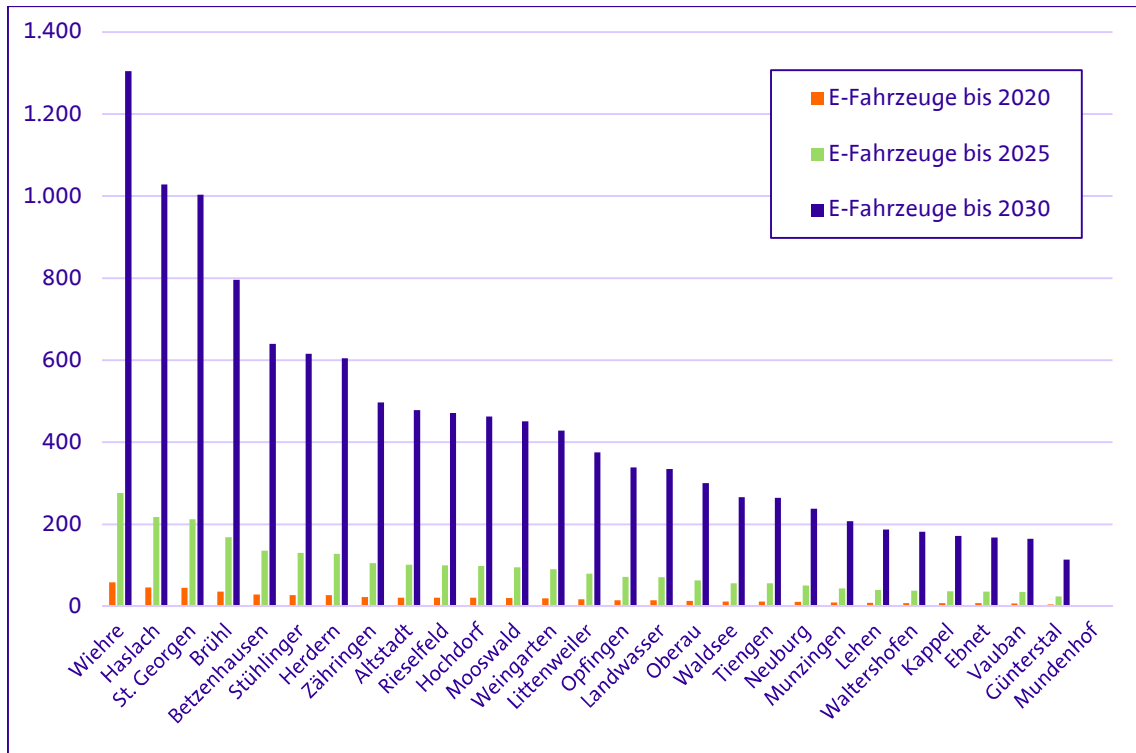


Abbildung 24: Entwicklung der Anzahl an E-Fahrzeugen auf Stadteilebene (BADENOVA 2018)

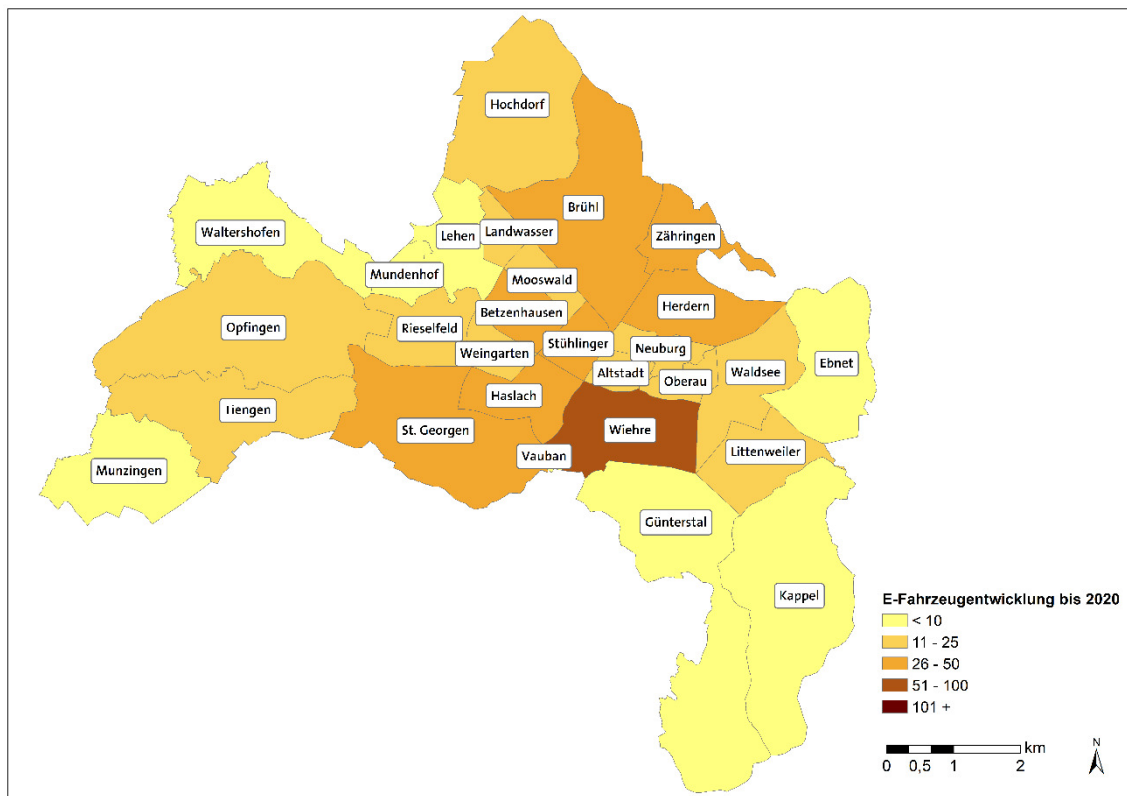


Abbildung 25: Stadtteil spezifische E-Fahrzeugentwicklung in Freiburg bis 2020

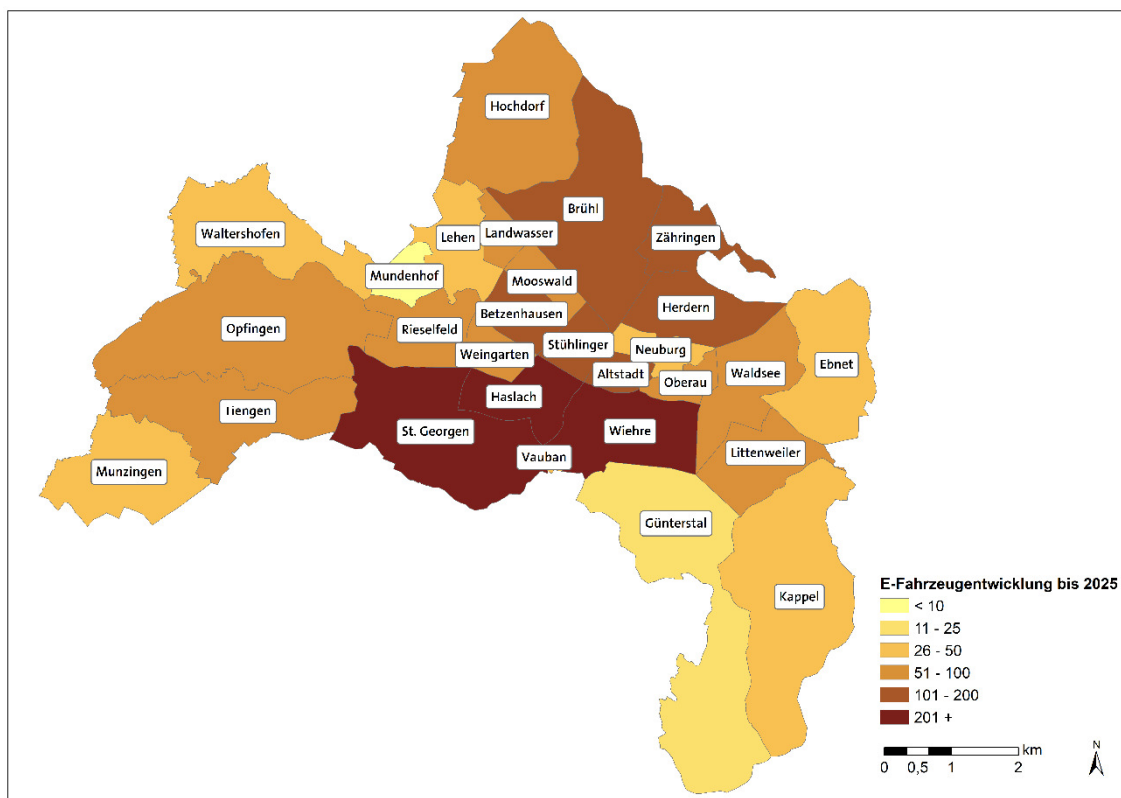


Abbildung 26: Stadtteil spezifische E-Fahrzeugentwicklung in Freiburg bis 2025

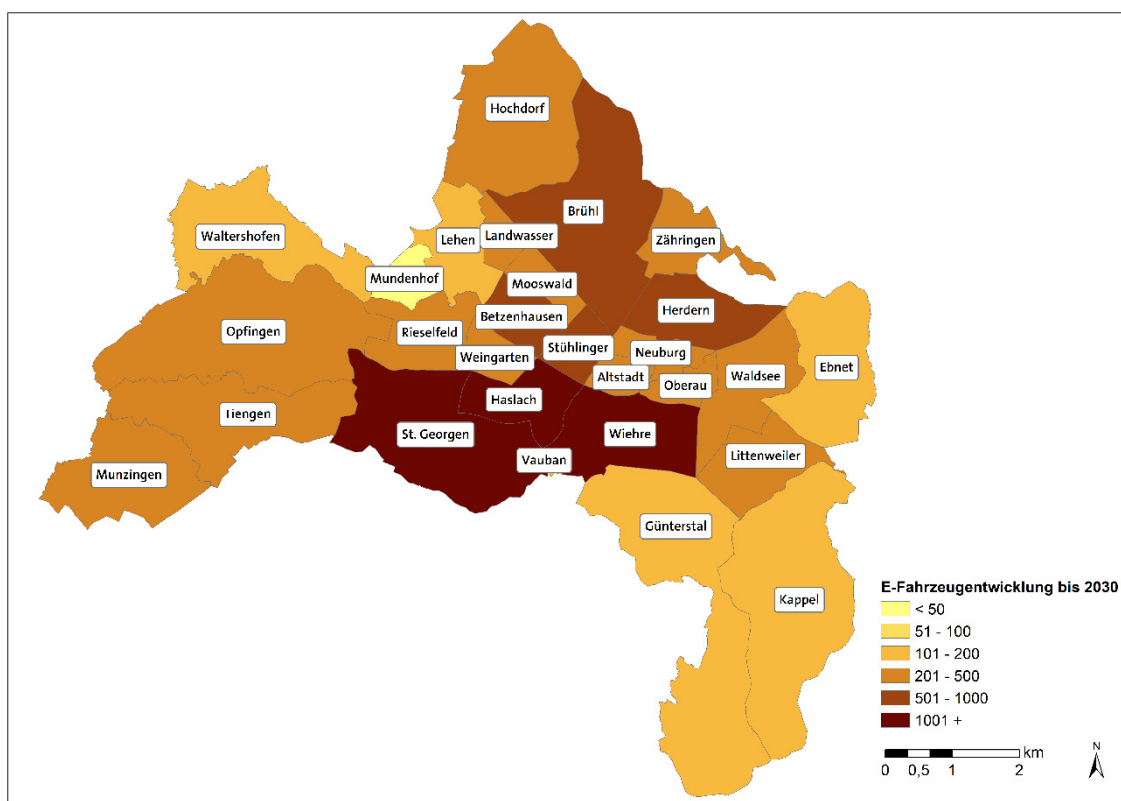


Abbildung 27: Stadtteil spezifische E-Fahrzeugentwicklung in Freiburg bis 2030



### 3.3 Standortanalyse für öffentliche Ladeinfrastruktur in Freiburg

Die badenova wurde im Herbst 2017 beauftragt, das Stadtgebiet systematisch nach möglichen Ladesäulenstandorten zu untersuchen. Hierfür wurde eine Methodik entwickelt, die nachfolgend näher erläutert wird.

Für die Analyse von potenziellen Standorten für öffentliche Ladeinfrastruktur ist neben verkehrsinfrastrukturellen Gegebenheiten eine Berücksichtigung sogenannter *Points of Interests (POIs)* von besonderer Bedeutung. Hierzu zählen vor allem Agglomerationen von Standorten wie bspw. Dienstleistungscluster (Versorgungseinrichtungen des täglichen Bedarfs), Gewerbe und Industriebetriebe, Freizeit- und Tourismuseinrichtungen, sowie medizinische und kulturelle Einrichtungen. Aber auch Parkplatz- und Flächenverfügbarkeit, infrastrukturelle Gegebenheiten, bauliche Restriktionen, Netzkompatibilität (-verträglichkeit), Entfernung des potenziellen Standortes zur Netzleitung, etc. sind zentrale Standortfaktoren.

Somit fließen in eine erste Standortbestimmung diverse Faktoren mit ein, die in einem mehrstufigen Verfahren untersucht werden müssen. Abbildung 28 veranschaulicht die methodische Vorgehensweise (Interpolationsverfahren/Heat-Map-Methode mithilfe eines Geographischen Informationssystems) zur räumlichen Analyse und Eingrenzung möglicher Ladestandorte im Stadtgebiet Freiburg. In diesem Anwendungsbeispiel flossen u.a. folgende zentrale Kriterien in die Bewertung mit ein:

- Nutzungsmischung, Dichte an Points of Interests
- Sichtbarkeit, Werbewirksamkeit
- Erreichbarkeit, Intermodalität, Zugänglichkeit, Verweildauer & Frequentierung

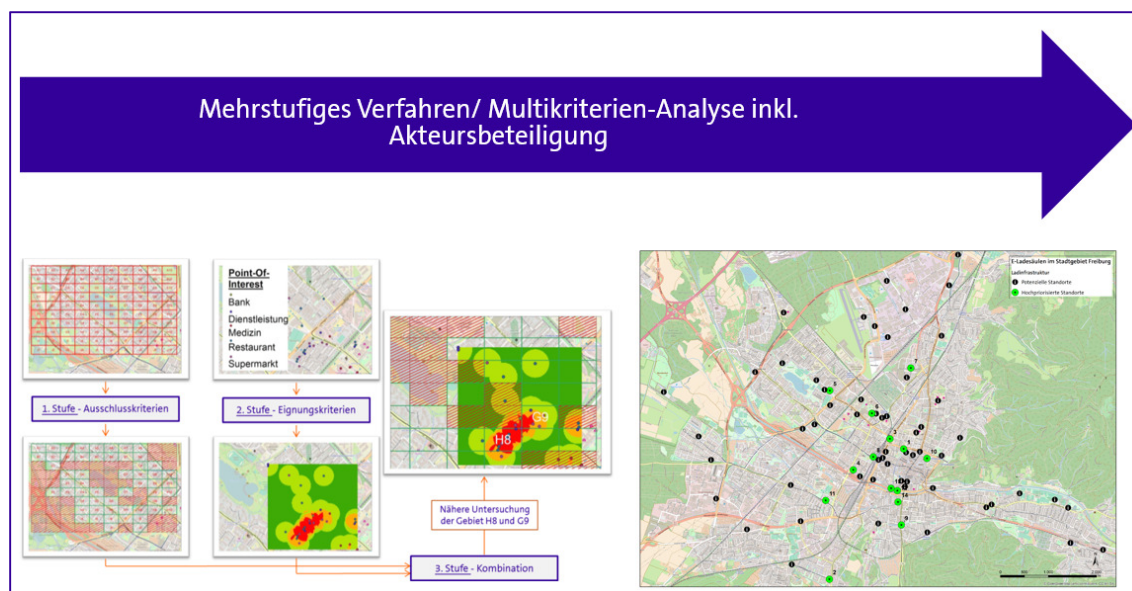


Abbildung 28: Methodische Vorgehensweise bei der Standortanalyse von Ladeinfrastruktur (BADENOVA 2018)

In einem ersten Schritt konnten so 74 potenzielle Standorte für öfftl. Ladeinfrastruktur identifiziert werden (vgl. Abbildung 29), die anschließend in mehreren Arbeitssitzungen



mit der Unterstützung des GuT Freiburg sowie des Netzbetreibers bnNETZE GmbH vertiefend u.a. hinsichtlich der Besitzstruktur, Parkplatzverfügbarkeit und Netzanschlussmöglichkeiten am jeweiligen Standort überprüft, selektiert und priorisiert wurden.

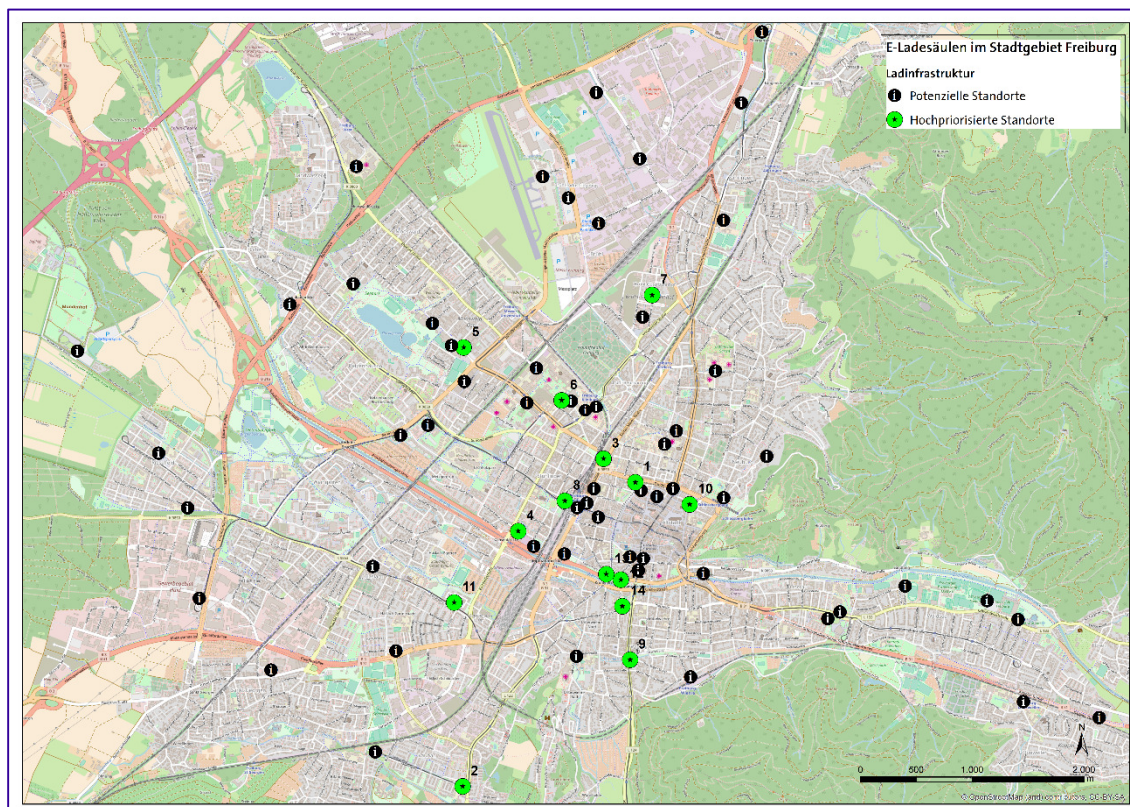


Abbildung 29: Potenzielle Standorte für öfftl. Ladeinfrastruktur (BADENOVA 2018)

Nach eingehender Untersuchung durch die relevanten Akteure wurden im Zuge des zweiten Förderaufrufs zur Förderung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge des BMVI vom 14.09.2017 - 30.10.2017 insgesamt 14 Förderanträge für das Stadtgebiet Freiburg eingereicht (vgl. Abbildung 29, hochpriorisierte Standorte in grün und Tabelle 2). Im Nachgang wurden die Standorte Schreiberstraße, Wilhelmstraße und Parkplatz Johanniskirche aufgrund der räumlichen Nähe zusammengefasst und in das Projekt „Lade-Hub am Schreiberareal“ integriert (vgl. Abschnitt 3.4).

Tabelle 2: Standortliste für öfftl. Ladeinfrastruktur im Stadtgebiet Freiburg

	Standortbezeichnung	Nr.	Breitengrad	Längengrad	Bemerkung
1	Fahnenbergplatz	1	47,99830	7,84785	Kein Parkplatz verfügbar
2	Vaubanallee	1	47,97422	7,82641	Detailplanung
3	Stefan-Meier-Straße	17	48,00020	7,84416	Detailplanung
4	Ferdinand-Weiß-Straße	9A	47,99452	7,83432	bestehende LS ertüchtigen
5	Ensisheimer Straße	4	48,00883	7,82757	Detailplanung
6	Robert-Koch/Hugstetter Straße	2	48,00496	7,83923	Detailplanung

7	Güterhallenstraße	2-10	48,01197	7,84954	Detailplanung
8	Wannerstraße	1	47,99719	7,83898	Detailplanung
9	Prinz-Eugen-Straße	2-12	47,98430	7,84793	Detailplanung
10	Hermannstraße	2	47,99668	7,85486	Detailplanung
11	Maria-Salome-Buchmüller-Straße	-	47,98856	7,82647	Detailplanung
Zusammenfassung der Ladestandorte aufgrund der Nähe zum „Lade-Hub Schreiberstraße“					
12	Schreiberstraße	1	47,99053	7,84731	Lade-Hub auf Schreiber-areal
13	Wilhelmstraße	6	47,99110	7,84486	Lade-Hub auf Schreiber-areal
14	Parkplatz Johanneskirche		47,98853	7,84693	Lade-Hub auf Schreiber-areal

Aufgrund des hohen Parkdrucks und der mangelnden Parkplatzverfügbarkeit fällt der Standort Fahnenbergplatz vorerst aus der weiteren Planung heraus. Am Standort Ferdinand-Weiß-Straße wird die bestehende Ladesäule ertüchtigt und befindet sich somit schon in der Umsetzung. Prioritär sollten die in Tabelle 3 aufgezeigten Standorte sukzessive umgesetzt werden, da hier die Zugänglichkeit, Sichtbarkeit, Parkplatzverfügbarkeit und Anbindung an das Stromnetz als sehr gut bewertet werden konnte. In einem ersten Umsetzungsschritt sollen umgehend die vier grün markierten Standorte umgesetzt werden.

Tabelle 3: Umsetzungsliste öfftl. Ladeinfrastrukturstandorte

Nr.	Straße	Nr.	Breitengrad (N)	Längengrad (E)
1	Robert-Koch/Hugstetter Straße	2	48,00496	7,83923
2	Güterhallenstraße	2-10	48,01197	7,84954
3	Prinz-Eugen-Straße	2-12	47,98430	7,84793
4	Vaubanallee	1	47,97422	7,82641
5	Wannerstraße	1	47,99719	7,83898
6	Hermannstraße	2	47,99668	7,85486
7	Ensisheimer Straße	4	48,00883	7,82757
8	Maria-Salome-Buchmüller-Straße	-	47,98856	7,82647

### 3.4 Aufbau eines Schnellladesystems in der Schreiberstraße

Ein flächendeckender Ausbau von einzelnen öffentlichen Ladesäulen mit geringer Ladeleistung (kleiner oder gleich 22 kW) stellt sich aktuell weder sinnvoll noch rentabel dar. Daher hat sich badenova, als lokaler Energieversorger, zusammen mit einem Technologiepartner, im Stadtgebiet Freiburg auf die Suche nach einem attraktiven Standort für einen leistungsstarken und vielseitig nutzbaren Ultraschnellladepark gemacht.

Das technologische Ziel des Projektes sind Aufbau, Integration und Betrieb eines innovativen Ladesystems, mit besonders hohen Ladeleistungen und netzdienlichen Systemkomponenten. Basierend darauf soll als weiteres Ziel die Akzeptanz- und Bewusstseinsbildung für die Elektromobilität durch die Schaffung eines Nutzererlebnisses erreicht und damit den Nutzern die Vorbehalte und Hemmnisse genommen werden. Beide Aspekte dienen dem übergeordneten Ziel, dem Nutzer den Einstieg in die Elektromobilität zu erleichtern und damit den Brückenschlag zwischen einer neuen Ladetechnik und dem Kundenerlebnis zu bilden. Neben der reinen Lieferung von Fahrstrom eignet es sich als ein breites Lernfeld hinsichtlich der Integration der Elektromobilität in das bestehende Energiesystem und der Kundenbedürfnisse.

Im gemeinsamen Sondierungsprozess der Projektpartner mit dem Garten- und Tiefbauamt der Stadt Freiburg, hat sich auf dem Stadtgebiet der Standort "Schreiberareal B31, Parkplatz am Cafe Extrablatt", auf Grund des hohen Verkehrsaufkommens (täglich 44.000 Kfz lt. Verkehrsstatistik), günstiger Flächenverfügbarkeit und ausreichender Netzkapazität, als sehr gut geeignet herauskristallisiert. Außerdem bietet der Standort die Möglichkeit, die Ladezeit zum Aufenthalt und Erholung am Dreisamufer, im Cafe „Extrablatt“ oder zum Einkaufen, Restaurant- oder Kinobesuch in ca. 300 m Entfernung zu nutzen. Mit der idealen verkehrstechnischen Anbindung und der bereits vorhandenen Infrastruktur, besitzt das Projekt Leuchtturmcharakter und wird so die Energiewende im Mobilitätssektor intensiv unterstützen.

Als Technologiepartner wurde die Firma Enercon GmbH ausgewählt. Sie ist der größte deutsche Hersteller von Windenergieanlagen mit über 26.000 installierten Anlagen und versteht sich als Anbieter von Systemlösungen für Erneuerbare Energien. Zur Nutzbarmachung des erneuerbaren Stroms für den Mobilitätssektor, hat die Fa. Enercon ein innovatives Ultraschnellladesystem entwickelt, das flexibel modulierbare Ladeleistungen von 50 bis zu 350 kW zur Verfügung stellen kann (vgl. Abbildung 30).



Abbildung 30 – Schematische Darstellung des modulierbaren Schnellladesystems (DARSTELLUNG ENERCON 2018)

Der technologische Innovationscharakter besteht darin, dass mit dem Enercon E-Charger 600 ein neuartiges Ladesystem zum Einsatz kommt, welches durch seine modulare Bauweise der Leistungselektronik in der Lage ist, flexibel auf die unterschiedlichen Ladeleistungsabfragen der E-Fahrzeuge zu reagieren. Durch die Integration des Batteriespeichers (geplante Kapazität: 100 kWh) als Zwischenpuffer, kann die verfügbare Netzleistung optimal auf die einzelnen Ladepunkte verteilt werden. Dadurch können mehrere E-Fahrzeuge gleichzeitig geladen und Netzanschlusskosten eingespart werden. Im Falle einer starken Auslastung des lokal vorgelagerten Netzes kann der Speicher auch netzdienlich stützend auf dieses wirken.

Das Ultraschnellladesystem besteht aus einem Modul für die Leistungselektronik, sowie den Ladesäulen mit vier Ladepunkten mit jeweils einem CCS und einem Chademo Stecker. Hinzukommen netzseitig eine neue Trafostation sowie der oben beschriebene 100 kWh Batteriespeicher zur Pufferung von hohen Ladeleistungen.

Parallel zum Ultraschnellladesystem von Enercon soll der Schnellladepark mit AC-Ladetechnik für Elektroroller und Elektrofahrräder ausgerüstet werden. Damit vereint der geplante Schnellladepark an ein und demselben Ort die komplette aktuell verfügbare Ladetechnik für Elektroroller mit 3,7 kW bis zum E-Truck oder E-Bus mit 350 kW Ladeleistung.

Die bisherigen Ladestellen fokussieren sich meist auf eine Nutzergruppe und sind für diese optimiert. Für die ersten Ausbauwellen an Ladeinfrastruktur war dies ausreichend und die Betreiber konnten sich so möglichst gezielt und wirtschaftlich positionieren. Wenn ein Ladeinfrastrukturausbau den Nutzern einen möglichst einfachen Einstieg in die Elektromobilität gewährleisten soll, braucht es ein Umdenken, welches neben den gesellschaftlichen Mehrwerten auch Mut für finanzielle Risiken, berücksichtigt. Der hier geplante Schnellladepark ist in der Lage, zukünftig alle derzeit vorhandenen und zukünftigen Nutzergruppen im Bereich E-Mobilität in der Region Freiburg mit regenerativ erzeugtem Fahrstrom zu versorgen.

Die in diesem Projekt angedachte technische Umsetzung einer E-Tankstelle, wird eine der Ersten sein, die das gesamte Ladeleistungsspektrum an einem Ort anbietet und die meisten Kundengruppen mit Fahrstrom versorgen kann. Das Projekt dient damit als Grundlage, gewonnene Erkenntnisse zurückzuspielen und soll aufgrund der zentralen zentrumsnahen Lage neben den technischen Innovationen, Antwort auf zentrale praktische Fragestellungen der Umsetzung und sinnvollen Integration, aber auch der Generierung eines Kundenerlebnisses, das eine Bewusstseinsbildung für die Elektromobilität befördert, dienen und damit die Mobilitätswende in der Region beschleunigen.

Der Schnellladepark bietet für die Bewohner Freiburgs oder z.B. Taxibetreibern sowie dem Durchfahrtsverkehr auf der B31 eine einfache Lademöglichkeit und schließt damit die für dieses Kundensegment aktuell noch vorhandene Ladeinfrastrukturücke. Mit der idealen Lage ermöglicht er zudem die Reichweitensicherheit. Es wird davon ausgegangen, dass damit die Anschaffung eines Elektroautos erleichtert und der Schnellladepark einen positiven Einfluss auf die Zunahme von Elektrofahrzeugen in Freiburg nehmen wird. Mit der Zunahme der Elektrofahrzeuge, wird eine Verbesserung der NO<sub>x</sub>-Emissionen erwartet. Um den Umweltvorteil von Elektroautos voll auszuschöpfen, wird für den Fahrstrom nur Strom aus erneuerbaren Energieanlagen zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise soll der Schnellladepark eine positive Auswirkung auf die Lokalemissionen nehmen aber auch gesamtbilanziell zu einer CO<sub>2</sub> Reduktion im Verkehrssektor führen.



### 3.5 Analyse der Hemmnisse beim Aufbau von Ladeinfrastruktur

Die Hemmnisse beim Aufbau der Ladeinfrastruktur sind vielfältig und hängen in den Bereichen öffentliches, halböffentliches und privates Laden von teils gleichen aber auch unterschiedlichen Faktoren ab. Nachfolgend sind die zentralen Gründe für den nur schleichenden Ausbau der Ladeinfrastruktur aufgelistet:

#### Hemmnisse beim Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur

- Die Förderprogramme und damit die Förderquoten bzw. Förderhöhen und zeitliche Begrenzungen der Förderaufrufe für den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur durch Bund und Länder sind nicht ausreichend
- Das „Henne-Ei-Problem“: Ohne eine ausreichende Ladeinfrastruktur kann es keine E-Mobilität und ohne E-Mobilität keine ausgebaute Ladeinfrastruktur geben
- Fehlende Anzahl an E-Fahrzeugen, um eine hohe Auslastung der Ladesäulen zu erreichen und einen möglicherweise wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten
- Ein wirtschaftlicher Betrieb von öffentlichen Ladesäulen ist aufgrund der hohen Investitionskosten für Hardware, Netzanschluss, Installation und Betrieb nur schwer möglich. Hieraus resultiert eine mangelnde Investitionsbereitschaft der Wirtschaft. Refinanzierung ist nur über einen Aufschlag beim Abgabepreis möglich
- Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der E-Mobilität und somit des Geschäftsfeldes ist schwierig. Steigende Batteriekapazitäten könnten eine öffentliche und flächendeckende Ladeinfrastruktur „überflüssig“ machen. Neben einem Claim-Spotting (Sicherung von Ladestandorten mit perspektivisch sehr guter Frequentierung) besteht das Interesse von Unternehmen vordergründig im Marketing und in der Werbewirksamkeit
- Hoher Parkdruck in Kommunen und Städten, mangelnde Akzeptanz bei Wegnahme von Parkflächen, Anzahl der Parkflächen in städtischer Hand ist zu gering
- Es existiert keine Verpflichtung von Städten, Kommunen und in der Energiewirtschaft tätigen Unternehmen, den Ausbau eigenständig voranzutreiben

#### Hemmnisse beim Aufbau halböffentlicher Ladeinfrastruktur

- Kosten für die Umrüstung der gewerblichen Fuhrparkflotte und der Anschaffung der E-Fahrzeuge/Ladeinfrastruktur sind zu hoch
- Mangelnde wirtschaftliche Anreize auf nachhaltige Antriebstechnologien umzurüsten
- Förderprogramme für die Umrüstung von gewerblichen Fuhrparkflotten durch Bund und Länder sind nicht ausreichend bzw. nicht vorhanden
- Fehlende unternehmerische Umweltschutzrichtlinien und Vorgaben
- Einsatzgebiete und Einsatzzwecke der gewerblichen Fuhrparkflotte ungeeignet aufgrund mangelnder Reichweite und Fahrzeugtypenverfügbarkeiten am Markt
- Vorbehalte der Mitarbeiter, ein Elektrofahrzeug für Dienstzwecke zu benutzen

### Hemmnisse beim Aufbau privater Ladeinfrastruktur

- Kosten für die Hardware, Netzanschluss und Installation zu hoch genauso wie die Kosten für E-Fahrzeuge, lange Lieferzeiten, zu geringe Reichweiten und Ladesäulenverfügbarkeit, lange Ladezeiten, mangelnde Fahrzeugtypenverfügbarkeit (insbesondere im „Familienbereich“)
- Unzureichende Kaufanreize, Steuervorteile und Förderprogramme für Privatleute (bspw. waren im Juli 2018 erst rund 1/6 des 600 Millionen Euro großen Umweltbonus-Fördertopfs ausgeschöpft)
- Mangelnde Parkplatzverfügbarkeit, Garagen oder Stellplätze zur Installation von privater Ladeinfrastruktur
- Rechtliche Hindernisse bei der Installation in Mietshäusern und bei Wohneigentümergemeinschaften sowie bei angemieteten Abstellplätzen
- Themenkomplex E-Mobilität überfordert:
  - Welche Hardware wird benötigt? Wie ist zu verfahren, wenn privat eine Ladeinfrastruktur installiert werden soll?
  - Mangelnde Transparenz bei der Abrechnung, aufgrund fehlender Eichrechtskonformität der Ladesäulen; eine Nutzerakzeptanz wird nur bei einem dem Haushaltsstrom vergleichbaren Strompreisen von ca. 30 Cent/kWh zu erwarten sein
  - Unübersichtlicher deutschlandweiter „Ladekartenwald“
- Fehlendes ökologisches Bewusstsein und die „Liebe zum altbewährten Verbrennungsmotor“

Um aufkommenden und bereits bestehenden Hemmnissen beim Aufbau privater/halböffentlicher und öffentlicher Ladeinfrastruktur entgegen zu wirken, kann die Stadt Freiburg einige Maßnahmen ergreifen. Nachfolgend werden einige Handlungsmöglichkeiten in den unterschiedlichen Bereichen exemplarisch aufgeführt:

#### Öffentlich:

- Städtische Installation von Ladesäuleninfrastruktur im öfftl. Raum und intensive werbewirksame Vermarktung
- Parkflächen für Ladesäuleninfrastruktur im öffentlichen Raum der Wirtschaft zur Verfügung stellen. Öffnung/Ausweisung von Flächen zur Hub-Ladung
- Initiierung von Kooperationsprojekten und dessen pressewirksame Vermarktung
- Stärkung der E-Mobilität durch ein Ladesäuleninfrastruktur -Vorzeigeprojekt/Leuchtturmprojekt (Bspw. Aufbau eines Schnellladehub vgl. 3.4)
- Umrüstung von Straßenlaternen und Ausweisung von Parkflächen als Lademöglichkeit in Wohngebieten

#### Halböffentlich:

- Beratungs- und Informationskampagne zum Aufbau von Ladesäuleninfrastruktur
- Netzwerkveranstaltung: Arbeitgeber mobilisieren



**Privat:**

- Finanzielle Unterstützung und Auflegung eines städt. Förderprogramms zur Förderung privater Ladesäuleninfrastruktur
- Kostenlose Erstberatung für Bürger
- Erstellung eines Informationsschreiben für Bauherren (Bspw. Anmelde-/Genehmigungspflicht von Ladesäuleninfrastruktur, Mitverlegung von Leerrohren)
- Informationskampagne zum Aufbau von Ladesäuleninfrastruktur

## 4. Handlungsfeld Stromnetzinfrasturktur

Die E-Mobilität wird erhebliche Auswirkungen auf die Stromnetzinfrasturktur haben. In diesem Kapitel sollen die durch E-Mobilität hervorgerufenen Netzbelastungen und entsprechende Lösungsansätze erläutert werden. Speziell der Einsatz von Lastmanagement, kann hierzu einen großen Beitrag leisten. Am Schluss des Kapitels wird zum einen aufgezeigt, wie der zusätzliche Strombedarf der E-Mobilität in Freiburg durch erneuerbare Energien gedeckt werden könnte. Zum anderen wird erläutert, welche Gegenmaßnahmen getroffen werden müssten, um den Strombedarf und die Lastspitzen zu reduzieren.

### 4.1 Auswirkungen der Elektromobilität auf die Stromnetzinfrasturktur

Mit dem Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge werden die Anforderungen an die örtliche Stromnetzinfrasturktur erheblich steigen. Zwar wird der Anteil des Energieverbrauchs im Verhältnis zu üblichen Verbräuchen (Haushalte, Gewerbe) zunächst klein sein. Durch die teils hohen Ladeleistungen aufgrund von Gleichzeitigkeitsmomenten, fallen die Leistungsanforderungen an das Verteilnetz jedoch verhältnismäßig hoch aus. Um Netzüberlastungen entgegenzuwirken und auf der Erzeugerseite genügend Kapazitäten bereitzustellen, werden entweder hohe Investitionen für Netzertüchtigungen oder der Einsatz von intelligentem Lastmanagement notwendig sein.

Im Folgenden wird zum besseren Verständnis kurz der Aufbau des Stromnetzes erläutert und anschließend die zu erwartenden Netzbelastungen durch E-Mobilität dargestellt.

#### 4.1.1 Netzebenen und -topologien

Bei Stromnetzen unterscheidet man zwischen unterschiedlichen Netzebenen. Neben den Übertragungsnetzen (Hochspannung), die den Strom überregional transportieren, sorgen Verteilnetze (Mittel- und Niederspannung) in ländlichen, vorstädtischen und urbanen Gebieten für die örtliche Verteilung. Da die Auswirkungen des Ladens von Elektrofahrzeugen primär auf Verteilnetzebene zu Herausforderungen führen, liegt der Fokus der folgenden Kapitel auf diesen örtlichen Netzen.

Zukünftig wird bei der Auslegung von Stromnetzen die Entwicklung des E-Fahrzeug-Bestands eine bedeutende Rolle spielen. Bestandsnetze müssen punktuell verstärkt werden, was jedoch mit erheblichen Kosten verbunden ist. Die Ausbaurkosten zur Ertüchtigung hängen stark von der vorhandenen Netztopologie ab.

Die Netztopologie variiert je nach Bevölkerungsdichte des jeweiligen Netzgebietes. „In Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte werden häufig vermaschte Netze mit Ringstrukturen genutzt, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, während in vorstädtischen und ländlichen Gebieten mit geringer Bevölkerungsdichte häufig Strahlennetze genutzt werden. Die Kabel- und Leitungslänge sind dabei sehr heterogen, d.h. je mehr Leitungslänge pro Hausanschluss, desto höher die Netzkosten. Die Kosten werden sich in den Netznutzungsentgelten, also letztendlich in einem erhöhten Strompreis widerspiegeln“ (FRAUNHOFER ISI 2016) (vgl. Abbildung 31).

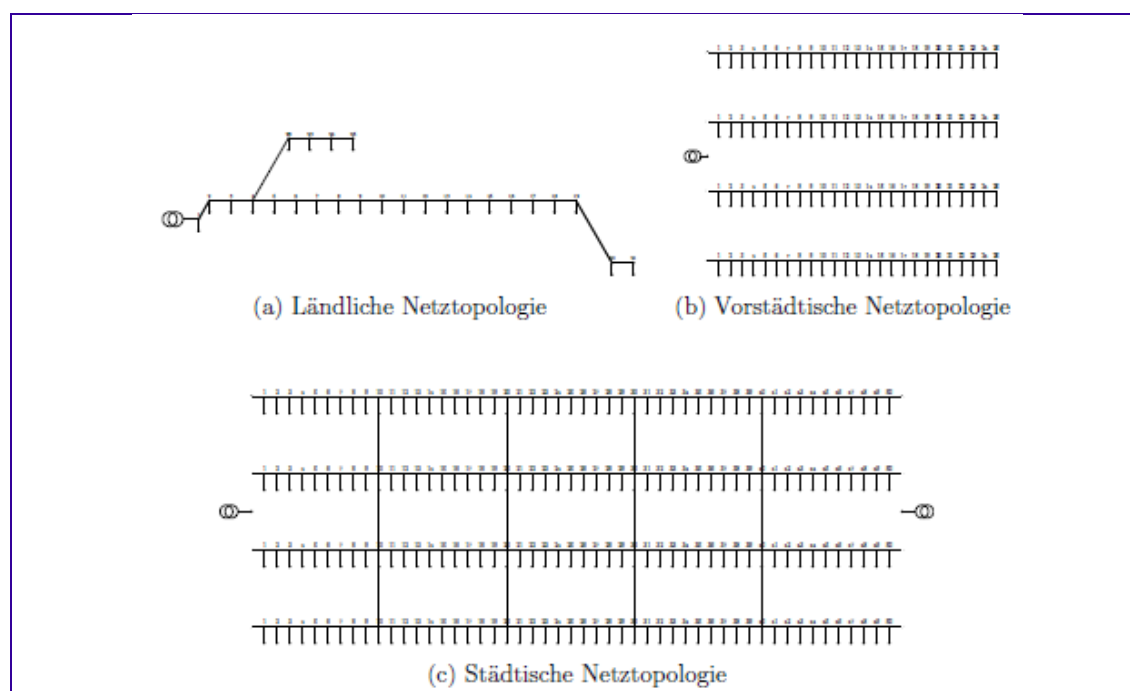


Abbildung 31 – Netztopologien (FRAUNHOFER ISI, 2018)

#### 4.1.2 Netzbelastung durch Elektromobilität

Durch typische Fahr- und Standzeiten treten Gleichzeitigkeiten beim Ladebedarf in den jeweiligen Anwendungsfällen auf, die Netzüberlastungen verursachen können. So sind typische Parkzeiten (und damit Ladezeiten) beim Arbeitgeber zwischen 8 und 17 Uhr. Im privaten Bereich ist davon auszugehen, dass der Ladevorgang beim Eintreffen zu Hause zwischen 17 und 19 Uhr gestartet wird. Stoßzeiten im gewerblichen Innenstadtbereich (Einzelhandel, Fußgängerzonen etc.) treten dagegen an Freitagen und Samstagen sowie zwischen 16 und 20 Uhr unter der Woche auf. E-Fahrzeuge werden zu Hause und beim Arbeitgeber meist mit Leistungen von 3,7 bis 22 kW geladen, im urbanen öffentlichen Bereich mit 11 bis ca. 150 kW. Je nach Anwendungsfall kann es somit zu plötzlichen Lastspitzen kommen. Bisher sind viele Verteilnetze jedoch nicht dafür ausgelegt, kurzfristig so hohe Leistungen bereitstellen zu können.

Im Rahmen einer Untersuchung zum Thema „Lastgangrechnung am Beispiel der Elektromobilität“ wurde der Zusammenhang von Mobilitätsverhalten und Stromnachfrage untersucht. Hierbei wurden auch technische Daten (Batteriekapazität, Reichweite und Verbrauch) berücksichtigt (HEIER ET AL. 2018).

Für die Lastgangrechnung wurde ein Beispiel-Baugebiet im Raum Landshut mit 27 Hausanschlüssen und insgesamt 98 Haushalten mit einer Anschlussleistung von 1,37 MW herangezogen, 78 davon mit Allgemeinstrombedarf. 24 Haushalten wurden Ladestationen mit je 21 kW zugeordnet. Die maximale Netzlast ergab 315 kW, das Minimum lag bei 36 kW. Die Lastspitze trat dabei wie erwartet in den Feierabendstunden auf (vgl. Abbildung 32).

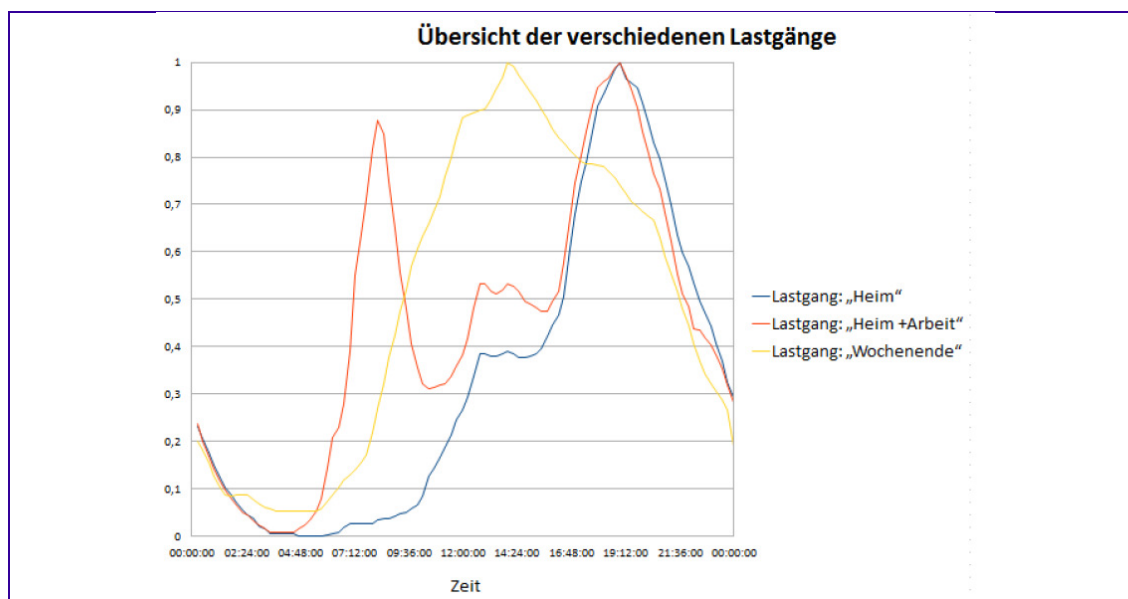


Abbildung 32: Vergleich der normierten Lastprofile aller Lademöglichkeiten (HEIER ET AL., 2018)

Die Beratungsagentur Oliver Wyman warnt in ihrer jüngst veröffentlichten Studie „Der E-Mobilitäts-Blackout<sup>8</sup>“ vor Stromausfällen in den kommenden fünf bis zehn Jahren (OLIVER WYMAN, 2018). Demnach kann es ab einem 30 %-igen Anteil von Elektrofahrzeugen auf deutschen Straßen zu Versorgungsengpässen kommen. Stromausfälle könnten ohne Gegenmaßnahmen bereits ab Mitte der 2020er-Jahre in städtischen und vorstädtischen Gebieten mit hoher Nutzung von E-Fahrzeugen auftreten. Ab 2032 wären auch flächendeckende Blackouts möglich.

Des Weiteren wird in der Studie vorgerechnet, dass bei einer Ortsnetzgröße von 120 Haushalten 36 E-Autos genügen, um eine Netzüberlastung zu provozieren. Sollte der Anteil der E-Autos auf 50 % steigen, wären Investitionen in den Netzausbau von 11 Milliarden Euro nötig. Diese Investition wäre allerdings vermeidbar, wenn Netzbetreiber auf intelligente Software-Lösungen setzen, die gesteuertes Laden der E-Autos ermöglichen. Die Idee: Autos werden mit Hilfe eines Lastmanagements in Zeiten hoher Netzauslastung mit geringerer Leistung (also über einen längeren Zeitraum verteilt) geladen. Je höher die Quote der Fahrzeuge, die flexibel geladen werden, desto geringer die Notwendigkeit für einen teuren Netzausbau. Bei einer E-Auto-Quote von 100 % wäre ein Netzausbau überflüssig, wenn 92,5 % der Fahrzeuge flexibel geladen werden.

Eine netzdienliche Steuerung ist jedoch aktuell regulatorisch noch nicht möglich. Hier muss auf Seiten des Gesetzgebers noch nachgebessert werden. Analog verlief die Entwicklung im Bereich der Photovoltaik, wo die Abschaltung von Anlagen gesetzlich geregelt wurde als eine gewisse Durchdringung erreicht war.

<sup>8</sup> plötzlicher Zusammenbruch des Stromnetzes durch zu hohe Stromnachfrage durch Ladung von E-Fahrzeugen

## 4.2 Lösungsansätze zur Vermeidung von Netzüberlastungen

Das Netz kann dann am besten ausgelegt und ausgelastet werden, wenn die abgenommene Strommenge möglichst konstant und vor allem gut planbar ist. Hierzu ist eine möglichst genaue Ladecharakteristik von E-Fahrzeug-Nutzern erforderlich. Während für Haushalte, Kleingewerbe und andere Verbrauchergruppen bereits sogenannte Standardlastprofile existieren, anhand denen man den Stromverbrauch und somit auch die Netzauslegung zuverlässig prognostizieren kann, ist dies für den Bereich E-Mobilität noch nicht der Fall. In der Vergangenheit wurden zwar bereits einige Feldversuche gemacht, um das Ladeverhalten von E-Autounutzern zu charakterisieren. Einheitliche Aussagen auf die Lastprofile gibt es jedoch noch nicht.

Die Herausforderung wird deshalb sein, Mechanismen zu schaffen, um Ladevorgänge kontrollieren und steuern zu können. Sei es über finanzielle Anreize oder technische Einrichtungen und entsprechenden Richtlinien. Wichtig dabei ist es, alltagstaugliche und unkomplizierte Lösungen zu finden. Die flächendeckende Steuerung von Ladevorgängen ist als der langfristig richtige und notwendige Weg anzusehen. Heute verfügen jedoch weder die E-Fahrzeuge auf technischer Seite über die notwendigen Einrichtungen noch sind die gesetzlichen Regelungen hierfür vorhanden. Kurz- und mittelfristig muss punktuellen Netzüberlastungen deshalb anders entgegengewirkt werden. Im Folgenden sind Möglichkeiten aufgeführt, welche beliebig kombiniert werden können.

Tabelle 4: Möglichkeiten, Netzüberlastungen entgegenzutreten

Ertüchtigung	Fest definierte Ladefenster	„Ladehub“	Autarke Ladestationen	Lastmanagement
von Trafo & Stromleitungen bzw. Hausanschluss, um geforderter Ladeleistung gerecht zu werden	Regeln für die Ladung auf begrenztem Raum; Person X kann im Zeitfenster A laden, Person Y kann in Zeitfenster B laden	neuer Trafo für Parkplatz mit Lademöglichkeit für die umliegenden Gebäude	(PV, Wind...) in Verbindung mit Batteriespeichern	Lastverteilung bzw. -reduzierung durch statisches, dynamisches oder vernetztes Lastmanagement (siehe Kapitel Lastmanagement)

Bei Neubauprojekten von Gebäuden ist es zudem wichtig, potenzielle Lademöglichkeiten bereits im frühen Stadium der Planungen mit einzubeziehen. So ist netzseitig die entsprechende Auslegung von Trafostationen und Versorgungsadern sinnvoll. In Gebäuden können zum Beispiel Stromleitungen oder Leerrohre verlegt, oder gar bereits eine bestimmte Anzahl an Parkplätzen mit Lademöglichkeiten ausgerüstet werden. Ansätze zu solchen Bestimmungen sind bereits in der EU-Gebäuderichtlinie enthalten, die bis Ende 2019 in nationales Recht umgesetzt werden muss.

## 4.3 Vermeidung von Netzüberlastungen durch Netzausbau

Das Fraunhofer ISI hat eine Studie erstellt, in der die Auswirkungen der E-Mobilität auf das Stromnetz im Jahr 2030 veranschaulicht werden und welche daraus resultierenden Investitionskosten sich ergeben. Die Analysen basieren auf einem beispielhaften Niederspan-

nungsnetz in einem ländlichen Gebiet mit niedriger Bevölkerungsdichte, einem vorstädtischen Netz mit mittlerer Bevölkerungsdichte und einem städtischen eng vermaschten Netz. Im Raum Freiburg könnten alle Netzregionen Anwendung finden. Die folgende Abbildung 33 zeigt die voraussichtlich zu erwartenden Investitionskosten zur Ertüchtigung der Beispielnetze (ländlich, vorstädtisch, städtisch) in verschiedenen Zubau-Szenarien. Das betrachtete Referenz-Szenario stellt dabei das wahrscheinlichste Szenario dar. Dabei wurde ein sofortiges Laden nach dem Anstecken ohne gesteuertes Laden angenommen.

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass vor allem im vorstädtischen Bereich großer Handlungsbedarf besteht, da davon auszugehen ist, dass dort die meisten E-Fahrzeuge genutzt werden. Für das Beispielnetz im vorstädtischen Bereich mit 250 Personen werden im Referenzszenario mehr als 500.000 € für die Ertüchtigung fällig. Demensprechend können die Netznutzungsentgelte um bis zu 2,5 Cent/kWh steigen. Dies entspräche etwa 2.150 Euro pro Person im vorstädtischen Netz, falls dort im Schnitt 8,5 kW Ladeleistung pro Ladepunkt und Person installiert werden (FRAUNHOFER ISI, 2016).

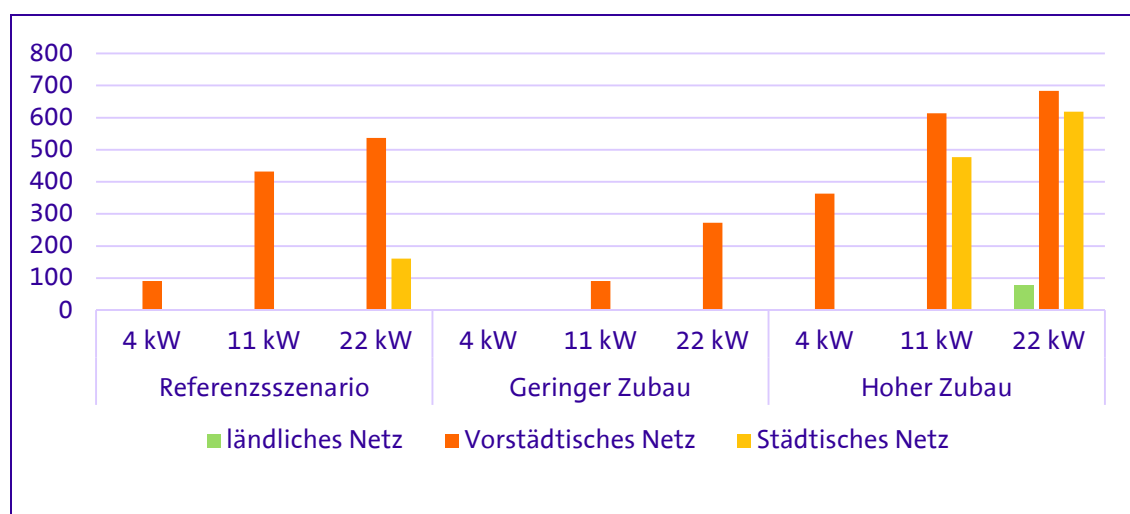


Abbildung 33: Zusätzliche Investitionskosten im Beispielnetz im Jahr 2030 [Tsd. €] (FRAUNHOFER ISI 2016 EIGENE DARSTELLUNG)

Entscheidend für den Netzinvestitionsbedarf sind nicht nur die Leistungen, sondern insbesondere auch wann, wo und bei welcher Netzempfindlichkeit geladen wird (als Netzempfindlichkeit ist in dieser Studie die Kabel- und Leitungslänge pro Hausanschluss in einem Netzgebiet definiert). Im untersuchten Referenzszenario muss vorwiegend in städtische und vorstädtische Netze investiert werden. Der höchste Investitionsbedarf pro Haushalt tritt allerdings in ländlichen Netzen auf (längere Leitungslängen, höhere Netzempfindlichkeit).

Die notwendigen Netzertüchtigungen und die damit verbundenen Kosten ließen sich jedoch durch das Nutzen von Lastmanagement und der Steuerung von Ladevorgängen erheblich reduzieren wie im folgenden Abschnitt beschrieben wird.



## 4.4 Vermeidung von Netzüberlastungen durch Lastmanagement

E-Autos werden typischerweise mit einer Leistung von 3,7 kW, 11 kW oder selten auch 22 kW geladen. Auch wenn eine schnelle Ladung mit 11 kW oder 22 kW bevorzugt wird, werden geringere Ladeleistungen bzw. der Einsatz von Lastmanagement unumgänglich sein, da Hausanschlüsse meist nicht entsprechend dimensioniert sind.

Um die Netzstabilität in den Verteilnetzen unter allen Umständen sicherzustellen, gilt es, entsprechende Maßnahmen zu ergreifen und Anreize zu schaffen, um Angebot und Nachfrage in das Gleichgewicht zu bringen. Neben langfristigen Ideen wie zum Beispiel der Nutzung der Fahrzeug-Akkus als Pufferspeicher, müssen jedoch vor allem auch kurzfristige Lösungsansätze entwickelt werden, um Netzüberlastungen entgegenwirken zu können. Durch zentrale Steuerung von Ladevorgängen könnten Netzüberlastungen bereits heute größtenteils vermieden werden.

Beim öffentlichen Laden ist kein Flexibilitätspotenzial vorhanden, da dort die Anforderung besteht, das zu ladende Fahrzeug möglichst schnell und mit einer zugesicherten Leistung zu laden. Etwa 85 % der Ladevorgänge werden jedoch zu Hause, beim Arbeitgeber und in den Betrieben stattfinden (NPE 2017). Die Möglichkeit, Ladevorgänge zu steuern, bietet sich vor allem in diesen Bereichen an, da dort längere Standzeiten und besser planbare Routen zu erwarten sind.

Die Frage, die sich beim Thema Ladung von E-Fahrzeugen stellt, ist: Was passiert, wenn zu Feierabend in einem Straßenzug alle Haushalte ihre E-Fahrzeuge laden wollen? Das Thema Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge stellt hierbei das Grundproblem dar. Im Falle der E-Mobilität wird i.d.R. mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor von eins gerechnet, da bei ungesteuertem Laden davon ausgegangen werden muss, dass Ladungen gleichzeitig auftreten, auch wenn diese Annahme rein theoretisch ist und nie alle Verbraucher zeitgleich Energie beziehen (HEIER ET AL. 2018).

### 4.4.1 Arten des Lastmanagements

Lastmanagement für Ladeinfrastruktur gibt es in verschiedenen Ausführungen:

1. Statisches Lastmanagement: Fix definierter Lastwert für eine Gruppe von Ladepunkten, z.B. auf einem Firmengelände, der maximal erreicht werden darf. Einhaltung der zur Verfügung stehenden Trafo- bzw. Hausanschlussleistung durch reduzierte Ladeleistung (z.B. alle 3,7 kW). Solange ausreichend Strom für alle angeschlossenen Fahrzeuge zur Verfügung steht, kann mit voller Leistung geladen werden. Überschreitet die Summe der Ströme aller genutzten Ladepunkte die Vorgabe des maximalen Stromwertes, greift das Lastmanagement ein. Die Ladeströme für die genutzten Ladepunkte werden reduziert (MENNEKES 2018).
2. Dynamisches Lastmanagement: Abhängig von der zur Verfügung stehenden Leistung am Trafo/Hausanschluss. Kontinuierliche Leistungsanpassung und -verteilung auf eine bestehende Gruppe von Ladepunkten (z.B. auf einem Firmengelände) gemäß der erfassten Bedarfsparameter der Fahrzeuge, z.B. Vorrang für bestimmte Fahrzeuge (Umsetzung z.B. mit Grid Agent<sup>9</sup> – Verteilung der Last).

---

<sup>9</sup> Intelligentes Einspeisemanagement, Netzregler. Technische Einrichtung zur Erkennung von Lastspitzen und Lastspitzenkappung als Alternative zum konventionellen Netzausbau

3. Vernetztes Lastmanagement: Möglichkeit der Steuerung von Ladestationen je nach Auslastung des Netzes, des aktuellen Strompreises etc. zur Entlastung des Netzes. Anreize durch tageszeitabhängige Strompreise, erhöhte Gebühren für Vorrangschaltung (für Fahrzeuge, welche bis zu bestimmter Uhrzeit geladen sein müssen), Gutschriften für Rückspeisungen etc. Auch „gesteuertes Laden“ oder *bidirektionale* Ladung genannt („vehicle to grid“ (V2G), Fahrzeug zu Stromnetz“). Die Fahrzeugbatterie kann dabei als Pufferspeicher dienen und zum Beispiel ein Überangebot von Strom aus erneuerbaren Energien aufnehmen oder Spitzenlasten im Netz ausgleichen, indem Strom zurück ins Netz gespeist wird. Bidirektionales Laden ist aktuell jedoch nur über den CHAdeMo-Anschluss möglich (ELECTRIFY-BW 2018).

Für die Nutzung des vernetzten Lastmanagements ist ein intelligentes Stromnetz (Smart Grid) notwendig, da Stromerzeuger, Stromverbraucher und Stromspeicher miteinander kommunizieren müssen, um Nachfrage und Bedarf in Einklang zu bringen. Hierfür wird eine moderne Informations- und Kommunikationstechnik unausweichlich, um ein sicheres Energiemanagement gewährleisten zu können.

Bei der Nutzung von Lastmanagement ist jederzeit zu beachten, dass die Ladeleistung variieren kann. Das heißt, dass nicht zu jedem Zeitpunkt eine Ladeleistung und somit die Dauer der Ladung garantiert werden kann, wie es in der Regel im öffentlichen Bereich der Fall ist. Es muss deshalb klar kommuniziert werden, wie die Lastmanagement-Regelung stattfindet bzw. es müssen entsprechende Vorrangregelungen genutzt werden.

Für den Aufbau und den Betrieb einer vernetzten Ladeinfrastruktur ist deshalb eine gute Planung essenziell. Neben der Installation der Hardware ist die Einbindung in bestehende (Energie-) Managementsysteme eines Unternehmens zu beachten. Abbildung 34 zeigt die Kommunikation verschiedener Ladestationen über ein Gateway.

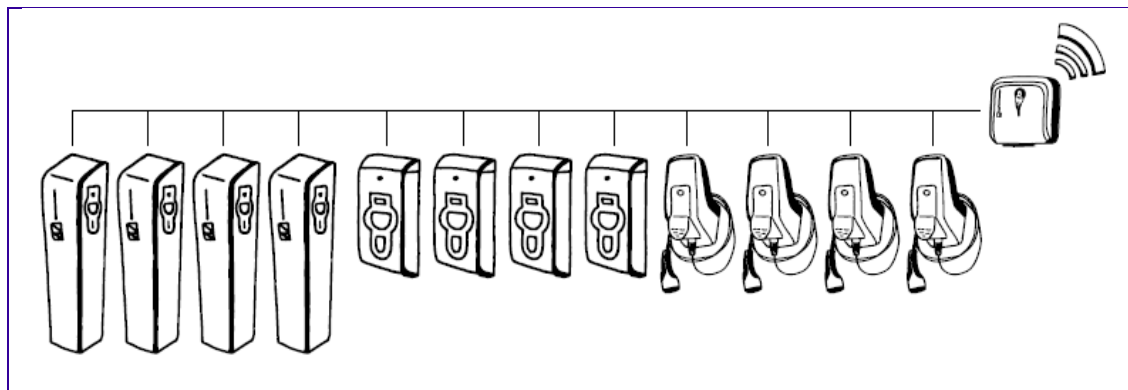


Abbildung 34: Lastmanagement (MENNEKES 2018)

Damit die Ladesysteme in ein Lastmanagement eingebunden werden können, müssen sie vernetzt sein. Dies geschieht in der Regel über GSM<sup>10</sup> oder Ethernet. Das Lastmanagement greift erst dann in die Ladeströme der einzelnen Ladepunkte ein, wenn die Summe der Ströme den von ihnen eingestellten Maximalstrom überschreitet. So werden Leistungsspitzen vermieden, die auftreten können, wenn viele Nutzer zeitgleich ihre Fahrzeuge laden möchten. Darüber hinaus sorgt das System gleichzeitig dafür, dass ein konfigurierter Mindeststrom nicht unterschritten wird (vgl. Abbildung 35). Dieser Mindeststrom steht

<sup>10</sup> internationaler Standard für digitale Funknetze

allen angeschlossenen Fahrzeugen dauerhaft zur Verfügung. Das Lastmanagementsystem kann zudem erkennen, wenn ein Ladevorgang abgeschlossen ist, und die Leistung dann für die übrigen Ladevorgänge freigeben. Des Weiteren können bevorzugte Nutzer definiert werden, welche über ein Identifikationsmedium (z.B. RFID-Karte) mehr Ladeleistung erhalten als andere Nutzer. Dies kann auch als Anreiz-System genutzt werden. Reicht die Ladeleistung nicht für alle aus, gibt es eine „Warteschlange“ (MENNEKES, 2018).

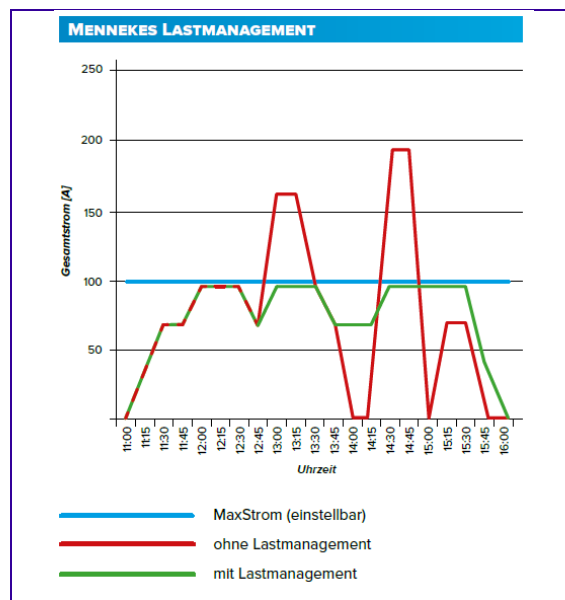


Abbildung 35: Mennekes Lastmanagement (MENNEKES 2018)

#### 4.4.2 Anwendungsfälle des Lastmanagements

Lastmanagement ist für viele Anwendergruppen von Interesse, vor allem jedoch für Unternehmen, Betreiber von Immobilien, Parkhäusern, Hotels oder sonstigen Freizeiteinrichtungen. Der Aufbau der Ladeinfrastruktur in Unternehmen hat verschiedene Zielsetzungen und muss die unterschiedlichsten Bedürfnisse erfüllen: Ladebedarf von Mitarbeitern, Dienstfahrzeugen oder der eigenen Flotte, die elektrifiziert werden soll, sicherstellen. Gleichzeitig muss die infrastrukturelle Sicherheit gewährleistet sein, sie sollte einfach zu steuern sein und eine einfache Abrechnung ermöglichen (MENNEKES 2018). In Tabelle 5 sind die entsprechenden Anforderungen aufgeführt.

Tabelle 5 – Anwendungsfälle (MENNEKES 2018, EIGENE DARSTELLUNG)

Mitarbeiterladen in Unternehmen	Unternehmen und Flottenbetreiber	Hotels	Parkhäuser	Private Wohnung / Vermieter
Gleichmäßig verteilte Ladeleistung 8-10 Stunden 3,7 kW Langsame Ladung	Hohe Verfügbarkeit = hohe Ladeleistung, 22 kW, Lastmanagement durch Prioritäten	Individueller Ladewunsch nach Aufenthaltszeit = VIP Ladung	Garantierter Mindeststrom für Betriebssicherheit, ansonsten Warteschlange	8-10h Organisation der Ladepunkt-zugänge

Für Mitarbeiter ist eine gleichmäßig verteilte Ladeleistung über den Tag möglich, da die Ladezeit bei 8-10 Stunden liegt. Es reicht deshalb eine geringe Ladeleistung von 3,7 kW bzw. eine durch Lastmanagement reduzierte Ladeleistung aus. Für Unternehmen und Flottenbetreiber steht die Verfügbarkeit der Fahrzeuge an erster Stelle. Deshalb müssen diese schnellstmöglich geladen werden können, um die Standzeiten zu verringern. Hier ist deshalb eine hohe Ladeleistung (22kW) notwendig. Zur Netzentlastung kann zudem das Lastmanagement genutzt werden. Hotels müssen Ihren Gästen eine möglichst komfortable Ladelösung anbieten. In Parkhäusern muss die ständige Funktionsfähigkeit der Ladestationen gewährleistet werden. Ein garantierter Mindeststrom darf deshalb nicht unterschritten werden. Über eine Warteschlangenregelung kann das Netz entlastet werden. Für Haushalte im Privatbereich reicht in der Regel ebenfalls eine Ladestation mit geringer Ladeleistung. Für Mehrfamilienhäuser bietet sich ebenfalls ein Lastmanagement an.

Abbildung 36 zeigt die verschiedenen praktischen Umsetzungsmöglichkeiten des Lastmanagements.

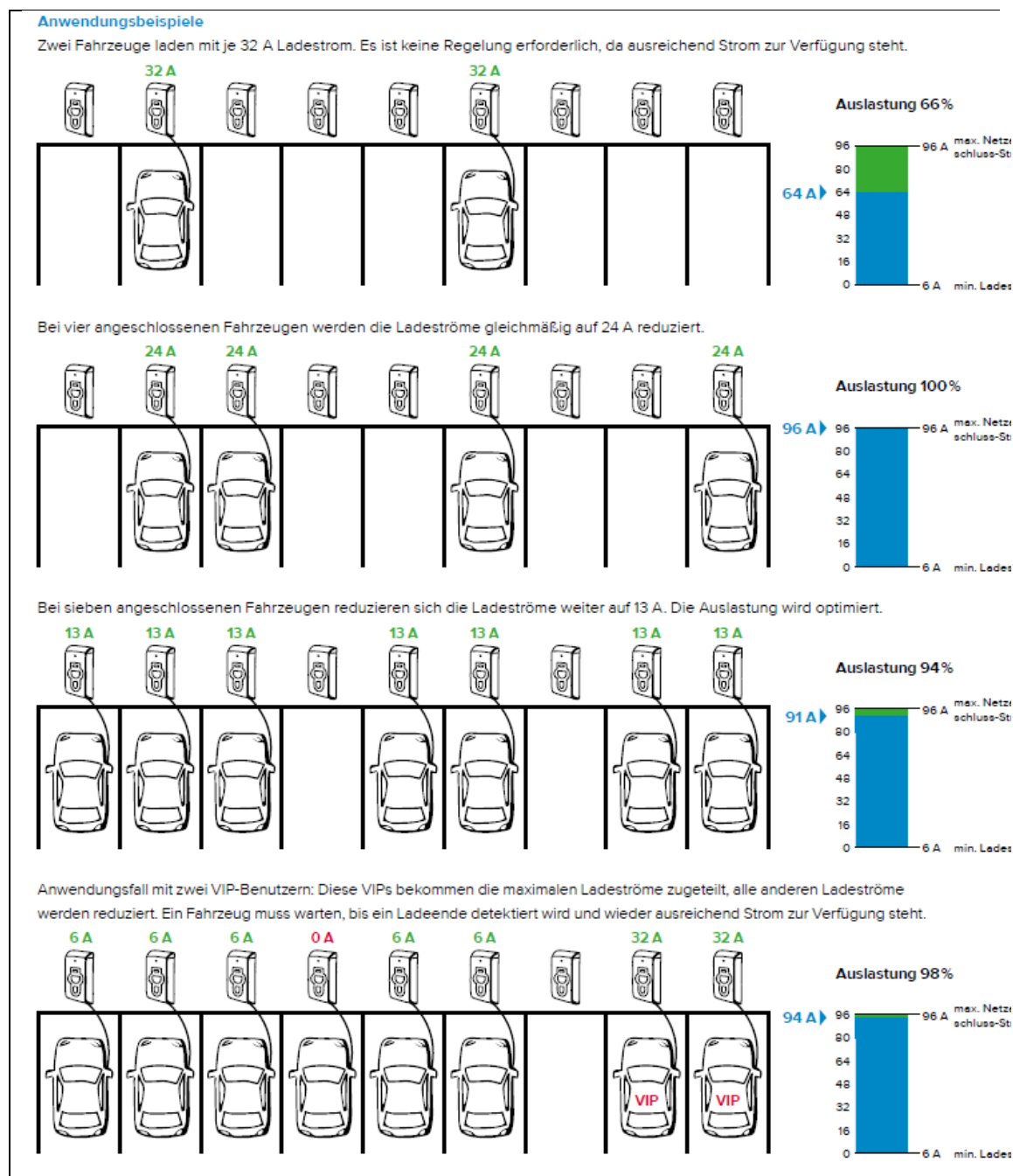


Abbildung 36: Anwendungsbeispiele von Lastmanagement (MENNEKES 2018)

#### 4.4.3 Lastmanagement im städtischen Fuhrpark

Die Stadt Freiburg geht mit gutem Beispiel voran und nutzt bereits an ihren Standorten für die elektrifizierte Fuhrpark-Flotte statisches Lastmanagement. Es wird außerdem aktuell ein Pilotprojekt für dynamisches Lastmanagement durchgeführt (siehe Abbildung 37). Dort ist zu erkennen, wie das Lastmanagement greift und die Lastspitzen punktuell kappt. Durch das variabel definierbare Limit kann der Ladestrom den Gegebenheiten des Netzes angepasst werden. Steht viel Leistung im Netz zur Verfügung, kann insgesamt mit hoher Leistung geladen werden, steht wenig Leistung zur Verfügung, reduziert sich das Limit. Ziel ist es, die freien Kapazitäten dahingehend zu optimieren, dass die Ladeleistung

maximal ausgeschöpft wird. Ein weiterer Schritt könnte die Versorgung der Ladestationen aus eigens erzeugtem Strom aus erneuerbaren Energiequellen sein.

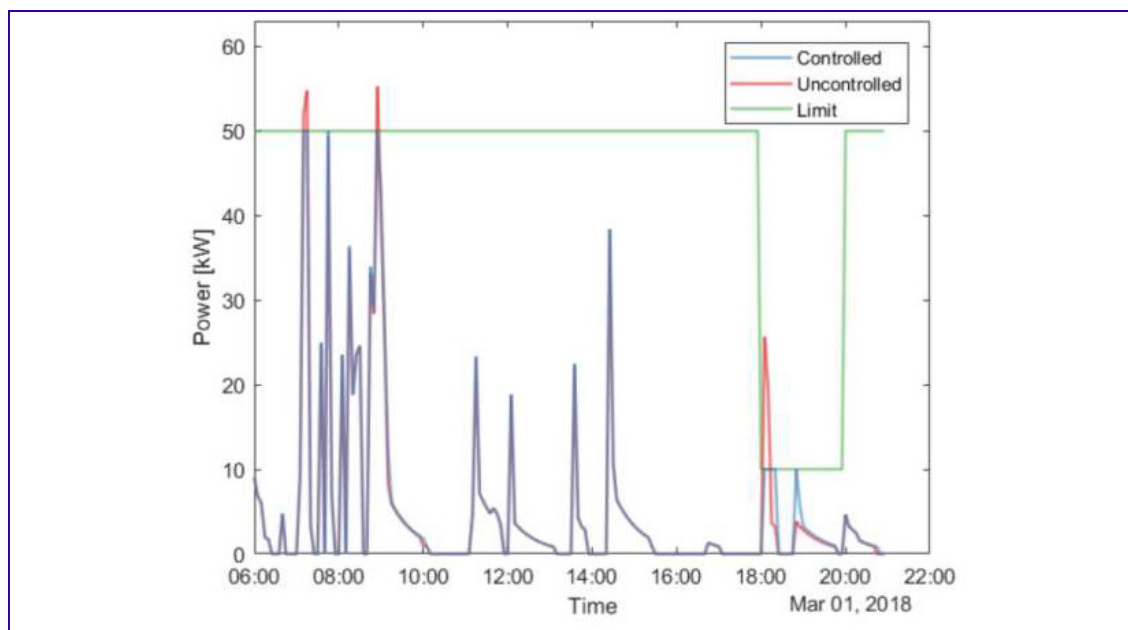


Abbildung 37: Pilotprojekt dynamisches Lastmanagement (BNNETZE, STADT FREIBURG 2018)

## 4.5 Deckung des Strombedarfs für E-Mobilität durch erneuerbare Energien

### 4.5.1 Bedeutung der Erneuerbaren Energien für die E-Mobilität

Um den positiven Effekt der E-Mobilität auf die Umwelt voll auszuspielen, muss der zum Laden der Fahrzeuge genutzte Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt werden. Bilanzell ist die Deckung des benötigten Stroms für Elektrofahrzeuge problemlos möglich. Beabsichtigt man jedoch die Ladung aus eigens erzeugtem Ökostrom, so ist eine Speicher-Lösung unumgänglich, da die entsprechenden Anlagen in der Regel nicht über genügend Anschlussleistung verfügen und sich die Erzeugungszeiten der Anlagen zudem in der Regel nicht mit den Ladezeiten der Elektrofahrzeuge decken. Ein gutes Beispiel hierfür ist ein Einfamilienhaus mit Solaranlage, bei dem das Fahrzeug in der Regel über Nacht geladen wird, wenn die Anlage jedoch keinen Strom erzeugt. Wird der erzeugte Strom jedoch tagsüber produziert und gespeichert, so kann dieser nachts wieder abgerufen werden. Das Stromnetz würde in diesem Fall nicht zusätzlich belastet werden. Preisanreize könnten hierbei sowohl als Steuerungsinstrument dienen als auch dabei helfen, die Klimabilanz der Fahrzeuge zu verbessern, indem sie insbesondere dann geladen werden, wenn die erneuerbaren Energien viel Strom einspeisen.



#### 4.5.2 E-Mobilitäts-Szenarien für Freiburg: Möglichkeiten der Deckung des Strombedarfs durch erneuerbare Energien

Im Stromnetz wird die Anzahl von dezentralen Einspeiseanlagen immer größer. Auch Elektrofahrzeuge werden perspektivisch Strom ins Netz rückspeisen können. Für Verteilnetzbetreiber wird es eine Herausforderung sein, diese Einspeiser effizient zu steuern, zumal derzeit noch keine rechtlichen Rahmenbedingungen in Form von Abschaltvereinbarungen mit Betreibern von Ladeinfrastruktur im Verteilnetz vorhanden sind (BECKER 2018).

Ziel der Bundesregierung ist es, dass im Jahr 2030 bis zu 6 Millionen Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen unterwegs sind. Wendet man diese Wachstumsrate auf den Bestand an Elektrofahrzeugen in Freiburg an, läge der Anteil an E-Fahrzeugen in Freiburg im Jahr 2030 mit 12.098 Fahrzeugen bei gleichbleibendem Gesamtbestand bei etwa 13,5 %. Dieses Szenario ließe den Strombedarf im Raum Freiburg um etwa 13.575 MWh pro Jahr steigen, vorausgesetzt die Fahrzeuge werden wie in der folgenden Beispielberechnung angenommen lediglich als Zweitwagen für das Pendeln zur Arbeitsstätte genutzt. Die benötigte Strommenge müsste dementsprechend auf Erzeugerseite bereitgestellt werden. Verglichen mit dem Gesamtstromverbrauch der Stadt Freiburg im Jahr 2014 läge der Anteil jedoch bei lediglich etwa 1,25 Prozent (IFEU 2017).

Es wird außerdem erneut die Problematik des gleichzeitigen Ladens deutlich. Würden alle Nutzer ihr E-Fahrzeug nach Feierabend bei einer Ladeleistung von 3,7 kW laden, würde sich die sowieso zu Feierabend entstehende Lastspitze um weitere 44,75 MW im Raum Freiburg erhöhen. Bei höheren Ladeleistungen entsprechend sogar weitaus mehr.

Für das Netz stellen diese Rahmenbedingungen erhebliche Herausforderungen dar, gegen welche, wie bereits erwähnt, neben dem Netzausbau bzw. Netzertüchtigungen mit Maßnahmen wie dem Lastmanagement mit Anreizmodellen oder autarken Ladelösungen entgegengewirkt werden kann. Die folgenden Berechnungen sollen ein Gefühl dafür geben, welche Strommengen und Lastspitzen sich durch zukünftige Ladungen von E-Fahrzeugen ergeben.

Um die Elektrofahrzeuge in Freiburg im Jahr 2030 bilanziell mit regenerativem Strom laden zu können, wären beispielsweise 2,25 Windkraftanlagen à 3 MW Leistung notwendig, welche mit 2.000 Vollaststunden pro Jahr den Strom rein für die Elektrofahrzeuge erzeugen. Alternativ wäre die Erzeugung durch PV-Anlagen mit einer Leistung von etwa 14 MW peak notwendig, was der Größe einer der zehn größten Solar-Freiflächenanlagen Deutschlands entsprechen würde (SOLAR-PRINZ 2018).

Während der Strombedarf in Summe somit bilanziell problemlos durch erneuerbare Energien gedeckt werden kann, so stellen die zu erwartenden Lastspitzen diesbezüglich die größere Herausforderung dar, da diese physikalisch nach Nachfrage direkt bedient werden müssen. In Szenario 1 müssten mindestens 15 Windkraftanlagen zum Zeitpunkt der Lastspitze in Betrieb sein, die nach Feierabend durch die gleichzeitigen Ladungen entstehen würde. Hier wird schnell deutlich, dass dies regional nicht einmal mehr auf Erzeugerseite zu stemmen ist. Ähnlich würde es mit dem Netzausbau aussehen, welcher für solche Leistungen notwendig werden würde.

Folgende Annahmen wurden für die Szenario-Berechnung getroffen:

- 12.098 E-Fahrzeuge in Freiburg im Jahr 2030
- Nutzung der E-Fahrzeuge vorrangig als Zweitwagen für Pendlerstrecken

- Im Durchschnitt etwa 17 km Pendlerstrecke (einfach)<sup>11</sup>
- 15 kWh/100 km Stromverbrauch pro Fahrzeug; 7.480 km/a pro Fahrzeug
- 1.122 kWh/a Stromverbrauch pro Fahrzeug

Tabelle 6: Strombedarf im Bereich E-Mobilität im Jahr 2030 (EIGENE BERECHNUNGEN)

	Szenario 1:		Szenario 2:	
	Laden nur zu Hause		Laden zu Hause und beim Arbeitgeber	
Gleichzeitigkeitsfaktor	1 (alle laden gleichzeitig)		0,5 (Verteilung durch Lastmanagement)	
Ladeleistung	3,7 kW		3,7 kW	22 kW
Ladezeit pro Tag (für 5,1 kWh bei 2x17km Pendelstrecke)	1 Stunde 23 Minuten		2x 41 Minuten	2x 7 Minuten
Lastspitzen	44,75 MW, nach Feierabend, ca. 18 Uhr		22,375 MW, jeweils morgens zu Arbeitsbeginn (ca. 8 Uhr) und nach Feierabend (ca. 18 Uhr)	133 MW, jeweils morgens zu Arbeitsbeginn (ca. 8 Uhr) und nach Feierabend (ca. 18 Uhr)
Strommenge	13.574 MWh/a			
Deckung des Stromverbrauchs durch EE	2,25 Windkraftanlagen à 3 MW Leistung (bei 2000 Vollaststunden pro Jahr) PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 14 MW			
Möglichkeiten zur Kompensation der Lastspitzen	15 Windkraftanlagen à 3 MW Leistung	7,5 Windkraftanlagen à 3 MW Leistung	45 Windkraftanlagen à 3 MW Leistung	

#### 4.5.3 Reduzierung des Strombedarfs und der Lastspitzen durch Gegenmaßnahmen

Anreize für Gegenmaßnahmen zu setzen, wird also unumgänglich sein. Abbildung 38 zeigt eine schematische Darstellung bezogen auf die mögliche, im Jahr 2030 entstehende Lastspitze durch Ladung von E-Fahrzeugen. Die Darstellung soll als Orientierung dienen und beruht auf der Annahme, dass der Gleichzeitigkeitsfaktor sich durch die Nutzung von Lastmanagement und autarken Ladestationen auf 0,5 reduziert. Somit sinkt die entstehende Lastspitze um 50 % und dementsprechend auch die Investitionen für den Netzausbau.

<sup>11</sup> Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2017

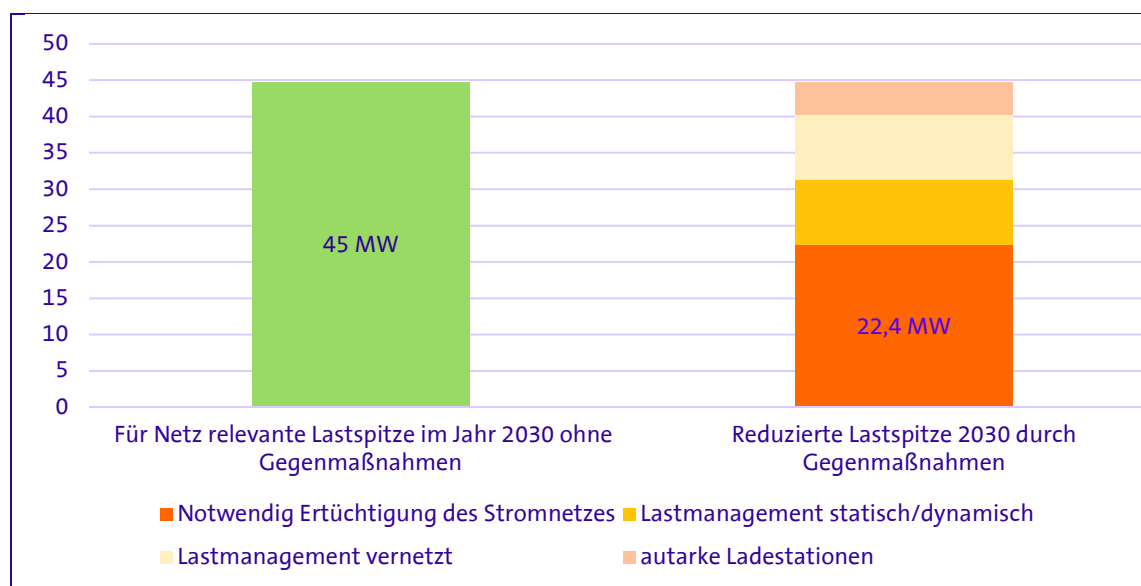


Abbildung 38: Reduzierte Lastspitze 2030 durch Gegenmaßnahmen (beispielhaft, EIGENE BERECHNUNG<sup>12</sup>)

Durch die Nutzung von autarken Ladestationen, die keinen Einfluss mehr auf das Netz haben, sowie der Verwendung von statischem, dynamischem als auch vernetztem Lastmanagement, lässt sich die real entstehende Lastspitze erheblich reduzieren. Es gilt entsprechende Anreize und Förderungen zu schaffen, um die Entwicklung in diese Richtung zu treiben. Denn wirtschaftlich sind viele Varianten bisher nur schwierig darzustellen.

Die Vernetzung wird vor allem in diesem Bereich durch die fortschreitende Digitalisierung steigen. So werden Elektrofahrzeuge voraussichtlich auch als mobile Speicher dienen können, womit perspektivisch Rückspeisungen geladenen Stroms ins Netz möglich sein werden. In naher Zukunft sind die oben genannten Entwicklungen wahrscheinlich. Langfristig werden sich jedoch voraussichtlich auch weitere Technologien durchsetzen, wie z.B. das induktive Laden, das wieder gänzlich neue Herausforderungen mit sich bringen kann.

<sup>12</sup> Reduzierung der notwendigen Last durch E-Mobilität durch: 10% Nutzung autarker Ladestationen, 20% Nutzung Lastmanagement statisch/dynamisch, 20% Nutzung Lastmanagement vernetzt

## 5. Handlungsfeld Elektromobilität im Gewerbe

### 5.1 Elektrifizierungspotenziale im betrieblichen Kontext

Neben Wirtschaftlichkeit und Sicherheit spielt der Faktor „Emotion“ beim Neuwagenkauf für viele private Autokäufer eine große Rolle. Das Fahrzeug ist mehr als nur Transportmittel zum Zweck, es wird gerne auch zur Darstellung von Status, Einstellung und Lebensgefühl benutzt. Die Herangehensweise an die Fahrzeugbeschaffung im gewerblichen Kontext ist eine andere. Sie unterliegt vielmehr den folgenden Kriterien:

- Wirtschaftlichkeit: Anschaffung und Unterhalt
- Zuverlässigkeit (wenig Stillstandzeiten), Erfahrungswerte
- Flexibilität
  - Zuladung – Gesamtgewicht
  - Anzahl zu befördernder Personen
  - Kofferraumvolumen
- Repräsentative Komponenten: Fahrzeug ist der erste Eindruck bei Kunden

Um die lokalen Besonderheiten, Anforderungen und Erfahrungswerte der Unternehmen in Freiburg zu ermitteln, sowie um eventuelle Hemmnisse aufzunehmen, wurden im Rahmen des Konzepts Interviews mit ausgewählten Unternehmen in Freiburg geführt.

Bei der Auswahl der Unternehmen wurde darauf geachtet, dass die von ihnen eingesetzten Fahrzeuge auch tatsächlich im Stadtgebiet unterwegs sind und damit zum innerstädtischen Verkehrsaufkommen beitragen. Der überregionale Verkehr, der durch in Freiburg ansässige Unternehmen verursacht wird, spielte bei der Auswahl der Befragten eine untergeordnete Rolle.

Betrachtet man den Verkehr innerhalb Freiburgs, sind neben dem privaten MIV, und dem Durchfahrtsverkehr eine Vielzahl von gewerblichen Fahrzeugen im Einsatz. Zu den gewerblichen Betrieben mit eigener Flotte gehören bspw. Handwerker, Taxen, Lieferdienste, Behörden, Pflege-/Sozialdienste oder kommunale Versorgungsbetriebe.

Bei der Durchführung der Interviews musste auf eine einheitliche Fragestellung (Leitfaden) verzichtet werden, da die Vorerfahrungen und Anforderungen der Betriebe unterschiedlich waren. Die Interviews wurden daher in Form von qualitativen Interviews durchgeführt und sollten Aufschlüsse in folgenden Bereichen geben:

- Branche, Anzahl der Mitarbeiter und Standorte des Unternehmens
- Aktuelles Mobilitätsverhalten
  - Fahrzeuge im Bestand
  - Streckenprofile
  - Sonderanforderungen (Lasten, Sicherheit, Personenbeförderung,...)
- Erfahrungen und Pläne im Bereich E-Mobilität
- Hemmnisse und Herausforderungen
- Bedürfnisse und Ziele Im Bereich E-Mobilität

Hierbei wurden keine unternehmens-/ und personenbezogene Daten der Interviewpartner erhoben.

Die Erkenntnisse der Interviews wurden in „Persona-Steckbriefen“ festgehalten. Eine „Persona“ ist in diesem Fall ein fiktives Unternehmen, das aus realen Eigenschaften der interviewten Unternehmen zusammengesetzt wird. Es steht dadurch beispielhaft für die Situation von mehreren vergleichbaren realen Unternehmen. Dies soll zu einer hohen Übertragbarkeit auf weitere Unternehmen führen und somit die Ansprache und Identifikation der Unternehmen erleichtern.

Die durchgeführten Interviews zeigten durchweg, dass sich die Unternehmen mit dem Thema E-Mobilität beschäftigt haben. Allerdings gibt es eine große Spanne im Bereich des Vorwissens und der Erfahrungen beim Einsatz und der Umsetzung.

### 5.1.1 E-Mobilitätspotenziale von Sozialstationen

Für den „Persona-Steckbrief“ Sozialstationen, häusliche Pflege und mobiler Pflegedienst wurden vier Standorte in Freiburg befragt. In diesen Standorten werden 25 Fahrzeuge genutzt, davon sind bereits vier elektrisch. Darüber hinaus nutzen die Mitarbeiter private Fahrräder. Folgende Erkenntnisse in den einzelnen Bereichen können festgehalten werden:

#### Mobilitätsverhalten

- Kurzstrecken max. 40 km /d
- Parken über Nacht (12h) auf eigenen angemieteten Flächen
- Innerstädtische Streckenprofile sind Stauanfällig - daher Nutzung von Fahrrädern bei schönen Wetter
- Nutzlast ca. 15 kg ausreichend
- Kein Marketing der E-Flotte
- Nachhaltige Mobilität / Umweltschutz ist Selbstverständnis

#### Erfahrung und Pläne mit E-Mobilität

- 4 Fahrzeuge im Einsatz (E-Smart)
- Eigene Ladestationen auf angemieteten Flächen (Erweiterung des Hausanschlusses)
- Lange Parkzeiten, daher ist Laden mit ca. 3 kW pro Fahrzeug ausreichend
- Sukzessive Umrüstung der Flotte: 9 weitere Fahrzeuge bestellt
- Öffentliches Laden bislang nicht relevant
- Hohe Mitarbeiterakzeptanz nach E-Mobilitäts-Schulung

#### Hemmnisse und Herausforderungen

- Da Fahrzeuge gewerblich, gibt es keine Anwohnerickets – Fahrzeuge müssen über Nacht auf „private“ Stellplätze
- Aufbau von Lademöglichkeit liegt im Ermessen des Vermieters
- Wirtschaftlichkeit der E-Mob nicht gegeben (zu geringe Fahrleistung (< 10.000 kW/a))
- Lastmanagement zu teuer

### Bedürfnisse und Ziele

- Unterstützung beim Aufbau von eigenen Ladestationen – speziell auch gegenüber Vermieter (technisch und rechtlich)
- Förderung E-Fahrzeuge durch bevorzugtes Parken in der Stadt
- Verbindung von E-Mobilität und Photovoltaik
- Ausstellung von Anwohnerparkausweisen für gewerbliche Elektrofahrzeuge

#### 5.1.2 E-Mobilitätspotenziale von Handwerksbetrieben

Die Erkenntnisse für den „Persona-Steckbrief“ Handwerksbetriebe wurden aus der Befragung von einem Standort in Freiburg abgeleitet. In diesem Standort werden 18 Fahrzeuge genutzt, davon sind bereits 7 elektrisch. Für die Mitarbeiter gibt es keine Parkmöglichkeiten vor Ort. Folgende Erkenntnisse in den einzelnen Bereichen können festgehalten werden:

### Mobilitätsverhalten

- Viele Fahrten im Stadtgebiet – i.d.R. elektrisch
- Verbrenner für große Entfernungen
- Fahrzeuge parken über Nacht (12h) auf eigenen angemieteten Flächen
- Vier eigene Parkplätze direkt am Gebäude, sind mit Stromanschlussmöglichkeit ausgerüstet
- Hohe Mitarbeiterakzeptanz für Elektrofahrzeuge
- Motivation ist vor allem die eigene Überzeugung und die Machbarkeit zu proklamieren

### Erfahrungen und Pläne mit E-Mobilität

- 7 Fahrzeuge im Einsatz (E-Smart, Mercedes Vito und Kangoo) – drei weitere sind bestellt
- Da lange Parkzeiten über Nacht, ist Laden mit ca. 3,7 kW pro Fahrzeug ausreichend – allerdings fehlt es an Ladestationen – wodurch Fahrzeuge tagsüber zwischengeladen werden müssen
- Öffentliches Laden wäre wünschenswert

### Hemmnisse und Herausforderungen

- Aktuell gibt es keine Möglichkeit, weitere Lademöglichkeiten aufzubauen
- Betankung weiterer Elektrofahrzeuge ist daher am eigenen Standort nicht möglich
- Aufbau von Ladeinfrastruktur an gemieteten Parkflächen nicht möglich

### Bedürfnisse und Ziele

- Öffentliche Ladestationen für Nacht-Parker (geringe Leistung möglich)
- Verwendung von Baustrom zum Betanken von Baustellenfahrzeugen zugelassen
- Unterstützung beim Aufbau von eigenen Ladestationen- speziell auch gegenüber Vermieter (technisch und rechtlich)
- Innenstadtnahe Parkflächen für Elektrofahrzeuge mit Ladesäuleninfrastruktur



### 5.1.3 E-Mobilitätspotenziale von Behörden und kommunalen Versorgern

Für die Erstellung des „Steckbrief-Persona“ Behörden und kommunale Versorger wurden drei Standorte (eine Hauptstelle und zwei Nebenstellen) in Freiburg befragt. Die Behörde besitzt 7000 Liegenschaften mit 5000 Fahrzeugen, davon sind 3000 Fahrzeuge geleast. Folgende Erkenntnisse in den einzelnen Bereichen können festgehalten werden:

#### Mobilitätsverhalten

- Viele geplante Fahrten im Stadtgebiet i.d.R. elektrisch möglich (Botengänge / Transporte)
- Sondereinsätze, die hohe Flexibilität und Zuverlässigkeit der Fahrzeuge benötigen (hohe Reichweite und Geschwindigkeit) – daher keine / kurze Standzeit im Einsatz
- Fahrzeuge parken über Nacht (12h) auf eigenen abgesicherten Flächen

#### Erfahrungen und Pläne mit E-Mobilität

- Von landesweit 5000 Fahrzeugen sind heute ca. 25 Elektrofahrzeuge ausschließlich für planbare Fahrten im Einsatz
- Landesweit sind an ca. 5% der Liegenschaften bereits Ladesäuleninfrastruktur (Wallboxen) vorhanden
- Installation und Lademanagement (Freischaltung) ist nicht trivial und bedarf Spezialwissen
- Weitere Fahrzeuge können beschafft werden – Bedarf wird von den einzelnen Standorten gemeldet

#### Hemmnisse und Herausforderungen

- Bedarfsanalyse und Potenzial der umstellbaren Fahrzeuge wurde noch nicht erhoben
- Installation von Ladesäuleninfrastruktur nicht trivial
- Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge noch nicht abbildbar – geringe Fahrleistung aufgrund von Kurzstreckeneinsätzen erschwert die Amortisation
- Zuladung der Elektrofahrzeuge zu gering für Einsatzfahrzeuge
- Transporter sind wiederum zu langsam

#### Bedürfnisse und Ziele

- Eigene Ladestationen sollten öffentlich zugänglich sein (tagsüber speziell für Mitarbeiterfahrzeuge – nachts exklusiv für Dienstfahrzeuge)
- Reichweite, Zuladung und Ladezeiten müssen verbessert werden

### 5.1.4 E-Mobilitätspotenziale von Lieferdiensten

Für den „Persona-Steckbrief“ Lieferanten wurden 7 Standorte (Zentrallager und einzelne Stadtteilfilialen) in Freiburg befragt. Die Lieferungen werden von den einzelnen Lagern in deren regionalen Umfeld verteilt. Folgende Erkenntnisse in den einzelnen Bereichen können festgehalten werden:

### Mobilitätsverhalten

- Lieferung der „letzten Meile“
- Fahrzeuge werden 1-2 mal am Tag im Zentrallager beladen und verteilen Lieferungen innerhalb der Stadt (Fahrleistung von bis zu 100 km/Tag)
- Zuladung von mehreren Kubikmetern mit begehbare Ladefläche
- Planbare und regelmäßige Standzeiten der Fahrzeuge – von 17 Uhr abends bis ca. 6 Uhr morgens

### Erfahrungen und Pläne mit E-Mobilität

- Emissionsfreie Lieferungen bis 2050!
- 75% der Abholungen und Zustellungen sollen bis 2025 ohne lokale CO<sub>2</sub>-Emissionen stattfinden
- Deutschlandweit sind 2018 ca. 6000 Elektrofahrzeuge des Unternehmens im Einsatz
- Eigene Ladeinfrastruktur an den Zentrallagern mit eigenem Lastmanagementsystem
- Langsam Laden (geringe Leistung) ist gut geeignet
- Jedes Fahrzeug hat eigene Ladestation

### Hemmnisse und Herausforderungen

- Da am Markt keine geeigneten Fahrzeuge verfügbar waren, wurde ein eigenes Fahrzeug entwickelt
- Lange Standzeiten sind notwendig wegen geringer Ladeleistung –perspektivisch soll Ladeleistung auf 11 kW erhöht werden
- Anschlussleistung in den Zentrallagern könnte ein Problem werden (Lastmanagement wird wichtiger)

### Bedürfnisse und Ziele

- Intelligente Einbindung der Ladeinfrastruktur in Stromnetze – Anreiz für Lastmanagement durch Tarifgestaltung
- Nutzung der Ladeinfrastruktur für private Betankung der Mitarbeiter (tagsüber) und Verrechnung des bezogenen Stroms
- Privates Laden von Mitarbeiter zugewiesenen Dienstfahrzeugen – Verrechnung der Stromkosten

## 5.2 Fazit und nächste Schritte im Bereich der betrieblichen Mobilität

In den befragten Unternehmen und untersuchten Flotten gibt es eine Vielzahl an Fahrzeugen deren Fahrprofil (tägliche Kilometerleistung ist fast immer unter 100 km) und Anforderungen von am Markt verfügbaren Elektrofahrzeugen erfüllt werden können.

Bei den Unternehmen herrscht allerdings noch Unsicherheit im Bereich der Wirtschaftlichkeit. Die aktuell hohen Anschaffungskosten schrecken viele Unternehmen ab. Der finanzielle Vorteil, der bei einer Lebenszykluskostenbetrachtung (geringere Kosten für Wartung, Inspektion, Reparaturen) zum Tragen kommen kann, wird häufig nicht in Betracht gezogen oder sogar verkannt.

Ein weiterer kritischer Punkt betrifft die Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten. Unternehmen mit Standorten im innerstädtischen Bereich verfügen oft nur über angemietete Parkflächen, bei denen die Installation von eigenen Ladestationen nur mit Zustimmung des Vermieters möglich und häufig mit sehr hohen Kosten verbunden ist.

Dennoch gibt es auch positive Erfahrungen und Beispiele, die die E-Mobilität im betrieblichen Sinne als auch bei den Mitarbeitern vorantreiben. Einige Unternehmen stellen ihren Mitarbeitern während der Arbeitszeit kostenlose Lademöglichkeiten für E-Fahrzeuge und E-Bikes zur Verfügung (der Strombezug gilt nach aktueller Gesetzeslage nicht als geldwerter Vorteil und kann daher direkt an die Mitarbeiter gegeben werden) und fördern somit direkt den Ausbau der E-Mobilität.

Dienstfahrzeuge, die mit täglichen Kilometerleistungen von unter 150 km auskommen und nachts (über 10 Stunden) auf Firmenparkplätzen stehen, können mit einer geringen Leistung (3,7 kW) geladen werden. Dies führt nicht nur zu geringen Installations- und Hardwarekosten für die Ladeinfrastruktur, sondern hat auch nur eine geringe Beanspruchung der Stromnetze zu Folge!

Zur Förderung der E-Mobilität im betrieblichen Kontext wurden daher auf Grundlage der Interviews und Erfahrungen der badenova aus diversen Kundenanfragen und Beratungsgesprächen Maßnahmen skizziert, die in Kapitel 7 zu finden sind.

## 6. Handlungsfeld Mobilitätsdienstleistungen

### 6.1 Elektrifizierungspotenziale des ÖPNV

Die E-Mobilität bietet gerade im öffentlichen Verkehr entscheidende Vorteile. Durch den Einsatz von E-Fahrzeugen werden die Luftschadstoff- und Lärmemissionen in der Stadt spürbar reduziert, so dass sich das Stadtklima verbessert. Darüber hinaus agieren die Mobilitätsdienstleister als Vorbilder für die Bevölkerung. Sie machen E-Mobilität erlebbar und können so Hemmnisse und Ängste mit der noch nicht vertrauten Technik abbauen.

Im Folgenden werden die Einsatzbereiche und die jeweiligen spezifischen Vorteile der E-Mobilität im öffentlichen, städtischen Verkehr erläutert. Im nächsten Schritt werden Mobilitätsdienstleister aus Freiburg vorgestellt, deren Probleme beim Einstieg in die E-Mobilität beschrieben und Lösungsansätze vorgeschlagen.

#### 6.1.1 Busse

Ein Großteil des städtischen ÖPNV-Angebots wird in vielen deutschen Großstädten mit Straßenbahnen abgedeckt. Da Straßenbahnen elektrisch betrieben werden, tragen sie schon so zu einem umweltverträglicheren und nachhaltigen Verkehr bei.

Die E-Mobilität steht im Busverkehr dagegen noch am Anfang. Bei einer Gesamtanzahl von circa 40.000 Bussen in Deutschland belaufen sich die Zahlen für rein elektrisch betriebene auf derzeit 171, das sind knapp 0,4 % Marktanteil (PWC 2018). Im Busbestand dominieren unter den alternativen Antrieben derzeit noch die Hybride. Mit der Verbesserung der Produktpalette für rein elektrisch betriebene Busse und der Entwicklung neuer Ladekonzepte geht PWC aber davon aus, dass diese sich gegenüber den Hybriden langfristig durchsetzen werden. Auf der anderen Seite planen städtische Verkehrsbetriebe allein 2018 den Erwerb von 162 neuen E-Bussen, was fast einer Verdopplung des Bestandes gleichkäme. Schon jetzt ist für die kommenden Jahre die Anschaffung von weiteren 872 E-Bussen geplant. Die tatsächliche Anzahl dürfte dann aber weit höher ausfallen, da ein Großteil der Ausschreibungen für neue Busse noch aussteht (PWC 2018).

Durch die Elektrifizierung der Busflotten können Lärm- und Schadstoffemissionen erheblich reduziert werden, was sich positiv auf die Lebens- und Aufenthaltsqualität in Städten auswirkt. Ein weiterer Vorteil sind geringere Wartungskosten eines E-Busses im Vergleich zum Dieselfahrzeug. Hinzu kommt die hohe Energieeffizienz: Durch häufiges Bremsen im Stadtverkehr kann bei E-Bussen durch Rekuperation Energie zurückgewonnen werden, so dass das Fahren noch sparsamer wird.

Ein E-Bus kann bis zu 100 Fahrzeuge des motorisierten Individualverkehrs ersetzen. Sein Potenzial kann er jedoch nur entfalten, wenn sich die Verkehrsteilnehmer dafür entscheiden. Durch die Nutzung von E-Bussen im Stadtverkehr kann die Alltagstauglichkeit der E-Mobilität demonstriert werden: E-Mobilität wird sichtbar und spürbar, so dass Hemmnisse und Vorurteile abgebaut werden können (NATIONALE ORGANISATION WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLENTHEKNOLOGIE O.J.).

### 6.1.2 Taxen

Die zuvor aufgeführten Vorteile gelten ebenso für den Einsatz von E-Taxis im städtischen Verkehr. Hier kommt der Vorteil der Akzeptanzsteigerung für E-Mobilität aber noch stärker zum Tragen, da sich die Fahrgäste direkt mit dem Taxifahrer über die Vor- und Nachteile der E-Mobilität unterhalten können.

Aus unternehmerischer Sicht ist besonders attraktiv, dass E-Fahrzeuge eine längere Lebenszeit aufweisen. Ab einer Kilometerleistung von 100.000 km werden die überwiegend eingesetzten Dieselfahrzeuge sehr reparaturanfällig, bei vergleichbaren Hybrid-Modellen oder E-Fahrzeugen reicht die Grenze bis zu 300.000 km. Im Bereich des Taxifahrens wird derzeit vor allem Hybriden als Übergangstechnologie ein großes Potenzial eingeräumt.

Nicht alle E-Fahrzeuge sind für den Einsatz als Taxi geeignet. Sie müssen einen gewissen Komfortstandard erfüllen und vor allem geräumig genug sein. Die Produktpalette für E-Fahrzeuge ist derzeit noch nicht sehr groß, dennoch lassen sich einige Modelle für den Einsatz identifizieren (BYD e6, Hyundai Ioniq, Nissan e-NV200, Nissan Leaf, Tesla Model S 75D / 100D, Tesla Model X 75D / 100D, VW eGolf). In den kommenden Jahren wird sich das Angebot an E-Fahrzeugen laut Hersteller deutlich erhöhen.

Beim Einsatz von E-Taxen ist besonders eine geeignete Ladesäuleninfrastruktur zu beachten. Nicht jedem Taxibetreiber beziehungsweise Taxifahrer wird es möglich sein, dass Fahrzeug über Nacht bei der Geschäftsstelle oder zuhause nach zu laden. Bei einem angestrebten Zwei-Schicht Betrieb der Taxi-Fahrzeuge muss laut der Studie „Elektro Taxi Aktionsplan Stuttgart“ eine exklusive DC-Ladesäuleninfrastruktur für E-Taxen vorhanden sein, die bei Bedarf angefahren werden können und ein schnelles Laden der Fahrzeuge ermöglichen. Laut einer Hochrechnung bedarf es für 14 E-Taxis eine Ladesäule. Eine Analyse möglicher Standorte sollte die Zufahrtsmöglichkeiten für Taxis, den Parkdruck in der Umgebung, die Besucherfrequenz aber auch den ÖPNV-Anschluss in der Nähe berücksichtigen (HAGER ET AL. 2017: S. 54ff).

### 6.1.3 Carsharing

Nach einer Studie des Bundesverband CarSharing e.V. zufolge kann ein Carsharing-Fahrzeug bis zu 20 private Pkw ersetzen. Zudem verändern die Mitglieder von Carsharingverbänden ihr Nutzungsverhalten, fahren selektiver und seltener und nutzen überdurchschnittlich viele andere Angebote des öffentlichen Verkehrs, und tragen somit zu einer nachhaltigeren Verkehrsgestaltung bei (BUNDESVERBAND CARSHARING E.V. 2016). Beim Carsharing kann zwischen zwei Angebotsformen unterschieden werden, dem free floating und dem stationsbasierten Carsharing.

Free-floating-Systeme weisen in der Regel höhere Nutzerzahlen auf (215 Kunden pro Auto), dafür legen die Nutzer aber geringere Distanzen zurück. Durch die hohen Nutzerzahlen kann der niedrige Wirkungsgrad aber kompensiert werden (BUNDESVERBAND CARSHARING 2018A). Free-floating-Systeme ermöglichen Einweg-Strecken und können so in Großstädten als günstige Alternative zum Taxi genutzt werden. Allerdings kann sich durch eine hohe Anzahl an Carsharing-Fahrzeugen dieses Systems der Parkdruck im städtischen Raum noch erhöhen. Da das Angebot nicht alle Wegezwecke abdeckt, schaffen die Nutzer von free-floating-Angeboten daher tendenziell ihren privaten Pkw seltener ab (BUNDESVERBAND CARSHARING E.V. 2018B).

Das stationsbasierte oder standortgebundene Carsharing weist mit durchschnittlich 53 Kunden pro Fahrzeug eine deutlich geringere Nutzerzahl auf (BUNDESVERBAND CARSHARING 2018A). Dafür sind die Wegstrecken in der Regel länger. Der Studie zufolge fördert das standortgebundene Carsharing stärker eine Veränderung des Mobilitätsverhaltens als das Nutzen der freefloating-Angebote. Beispielsweise schaffen mehr Nutzer ihre privaten Fahrzeuge ab, nutzen den ÖPNV häufiger und sind sensibler für Mobilität und die damit verbundenen Kosten (BUNDESVERBAND CARSHARING E.V. 2016). In Kombination mit E-Mobilität kann so ein umwelt- und stadtverträglicher Verkehr gestaltet werden. Aufgrund der Notwendigkeit des Nachladens bei einem E-Fahrzeug kommt für das Elektro-Carsharing (eCarsharing) zunächst nur das stationsbasierte Carsharing in Frage.

Beim e-Carsharing können sich die Nutzer, ähnlich wie bei den anderen Angeboten des öffentlichen Verkehrs, langsam mit der neuen Technologie vertraut machen und sie sogar direkt selbst nutzen. Der auf den ersten Blick negativ erscheinende Aspekt der geringen Reichweite relativiert sich durch die durchschnittlich geringen Strecken, die mit Carsharing-Fahrzeugen zurückgelegt werden. Bei einem hohen Nutzungsgrad amortisiert sich zudem der hohe Anschaffungspreis der E-Fahrzeuge.

#### 6.1.4 Weitere Sharing-Systeme

In den vergangenen Jahren hat sich das System des Teilens von Mobilitätsangeboten auch auf andere Verkehrsmittel ausgeweitet. Im Bereich des Fahrradverleihs stellen diverse Anbieter schon E-Bikes bzw. Pedelects zur Verfügung. Vor allem im Lastenradverleih bietet E-Mobilität spezielle Vorteile, da durch die zusätzliche Unterstützung des Elektromotors auch schwere Transporte mit dem Lastenrad leicht zu erledigen sind.

Im Bereich der E-Mobilität erfreuen sich E-Roller-Verleihsysteme besonders in deutschen Großstädten hoher Beliebtheit. In Berlin gibt es bereits zwei große Anbieter von Roller-Verleihsystemen, die mit insgesamt über 1.000 elektrisch betriebenen Rollern ein alternatives Angebot zum ÖPNV, Taxi und Carsharing bereitstellen.

Aber nicht nur in Großstädten gibt es solche Verleihsysteme. Seit Mitte dieses Jahres bietet auch die Stadt Tübingen in Kooperation mit dem Verleiher Coop, einer Tochterfirma von Bosch, den Stadtwerken und einem Carsharing-Anbieter ein E-Roller-Verleihsystem an. Als Hauptgrund der Einführung werden, aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens, verstopfte Straßen und Lücken im Mobilitätsangebot genannt (WERWITZKE 2018).

## 6.2 Aktueller Stand und weitere Handlungsmöglichkeiten von Mobilitätsdienstleistern im Bereich E-Mobilität in Freiburg

Im Rahmen der Erstellung einer Bachelorarbeit über die Herausforderungen und Chancen beim Einstieg in die E-Mobilität für Mobilitätsdienstleister, wurden verschiedene Akteure des Freiburger Mobilitätsmarktes interviewt. Es wurden Gespräche mit der VAG und FREI.MOBIL, mit einem Taxiunternehmer und mit dem Geschäftsführer des Lastenradverleihs „LastenVelo e.V.“ geführt. Ziel der Experteninterviews war es, die Probleme der Mobilitätsdienstleister beim Einstieg in die E-Mobilität zu identifizieren und an Lösungsansätzen zu arbeiten.



### 6.2.1 Freiburger Verkehrs-AG

Die Freiburger Verkehrs AG (VAG) stellt den größten Mobilitätsdienstleister in Freiburg dar. Sie beschäftigt über 800 Mitarbeiter und betreibt ein Streckennetz von circa 230 Kilometer Länge mit 72 Straßenbahnen und 62 Bussen. Das Fahrgastvolumen betrug im Jahr 2016 knapp 79 Millionen Beförderungen und weist ein stetiges Wachstum auf. Gründe hierfür sind in Abbildung 39 zu nehmen: Die Einführung der Abonnement-Karten und der kontinuierliche Ausbau, aber auch wachsende Einwohnerzahlen sind für die dauerhaft steigenden Fahrgastzahlen verantwortlich (FREIBURGER VERKEHRS AG 2018A).

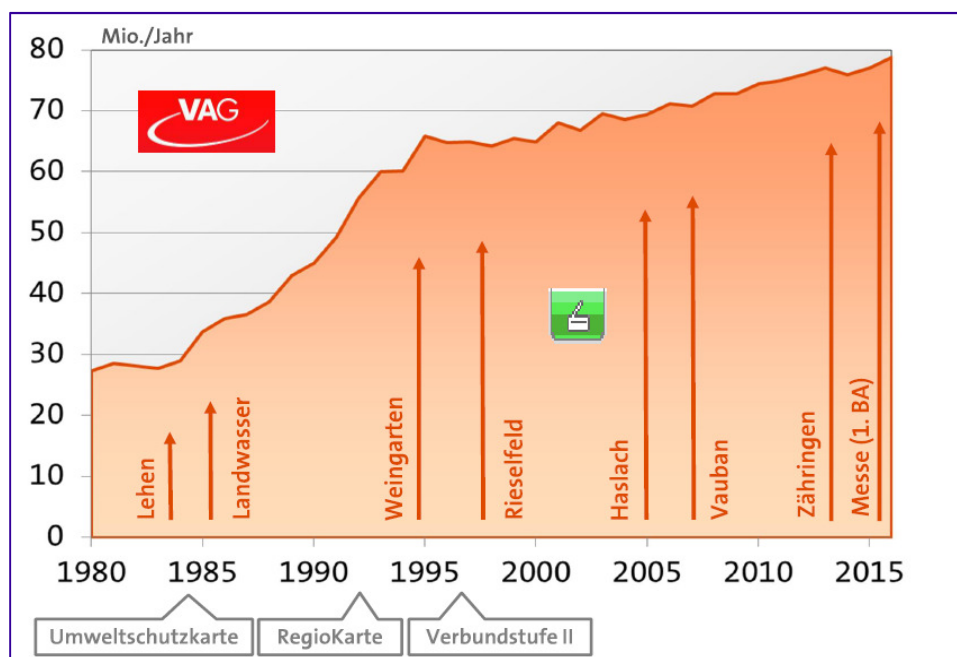


Abbildung 39: Entwicklung Fahrgastzahlen der VAG (GuT 2018)

Mit dem Betrieb der Straßenbahn ist bereits das größte mobile Angebot der VAG elektrifiziert und trägt, da mit Ökostrom betrieben, maßgeblich zu einer nachhaltigen Verkehrsgestaltung bei. Für das kommende Jahr ist die Anschaffung und Inbetriebnahme von zwei E-Bussen geplant, so dass die erste Buslinie komplett elektrifiziert werden kann. Auch für die kommenden Jahre ist die Anschaffung weiterer Busse geplant. Doch nicht nur für die Kunden soll E-Mobilität erlebbar gemacht werden, sondern auch für die Mitarbeiter. Die Flotte von jetzt schon drei elektrischen Fahrzeugen im Fahrzeugpool für Verwaltungsmitarbeiter soll zukünftig nur noch mit elektrischem Antrieb fahren.

#### *frei.mobil by VAG*

FREI.MOBIL, eine Ausgliederung der VAG, versteht sich als Dachmarke für den Umweltverbund in Freiburg. Auf ihrer Internetseite informiert FREI.MOBIL über alle Mobilitätsangebote einschließlich Bus- und Straßenbahnverkehr, Carsharing, Taxi sowie Rad- und Fußverkehr. Über die im Internet aufrufbare Mobilitätskarte können Routen für die eben aufgezählten Verkehrsmittel angezeigt werden. Als Inhaber eines Dauerabonnements (RegioCard, Jobticket, Semesterticket) kann man zusätzlich eine FREI.MOBIL-Karte bekommen, mit der man dann verschiedene Vergünstigungen beispielsweise beim Carsharing oder beim Anmieten von Fahrradboxen bekommt. Des Weiteren bietet FREI.MOBIL mobile An-

gebote an. Hierzu zählen zum einen die eben erwähnten 35 Fahrradboxen, die für 12 Monate gemietet werden können. Neu wird das Fahrradverleihsystem sein, dass mit 400 Rädern auf 55 Stationen vorrausichtlich 2019 in Freiburg bereitgestellt werden soll.

FREI.MOBIL fördert auch kleinere e-mobile Projekte. Es können über eine Kooperation mit IKEA und badenova im Rahmen des „Schlauer Kombi“-Projektes kostenlos E-Fahrzeuge geliehen werden. Zudem unterstützt FREI.MOBIL LastenVelo e.V. mit der Bereitstellung eines E-Lastenfahrrads (FREI.MOBIL BY VAG 2018).

### 6.2.2 Taxigewerbe

In Freiburg gibt es derzeit 81 Taxibetriebe, auf die insgesamt 220 Taxi-Fahrzeuge zugelassen sind. Abbildung 40 ist zu entnehmen, dass der Großteil der Fahrzeuge mit Dieseltreibstoff betrieben wird; der Anteil der Hybride steht mit 7,5 % an zweiter Stelle.

Die Taxi-Stellplätze sind über das gesamte Freiburger Stadtgebiet verteilt, bevorzugt jedoch an mobilen Knotenpunkten, wie Endhaltestellen der Straßenbahnen oder Buslinien bzw. an Bahnhöfen.

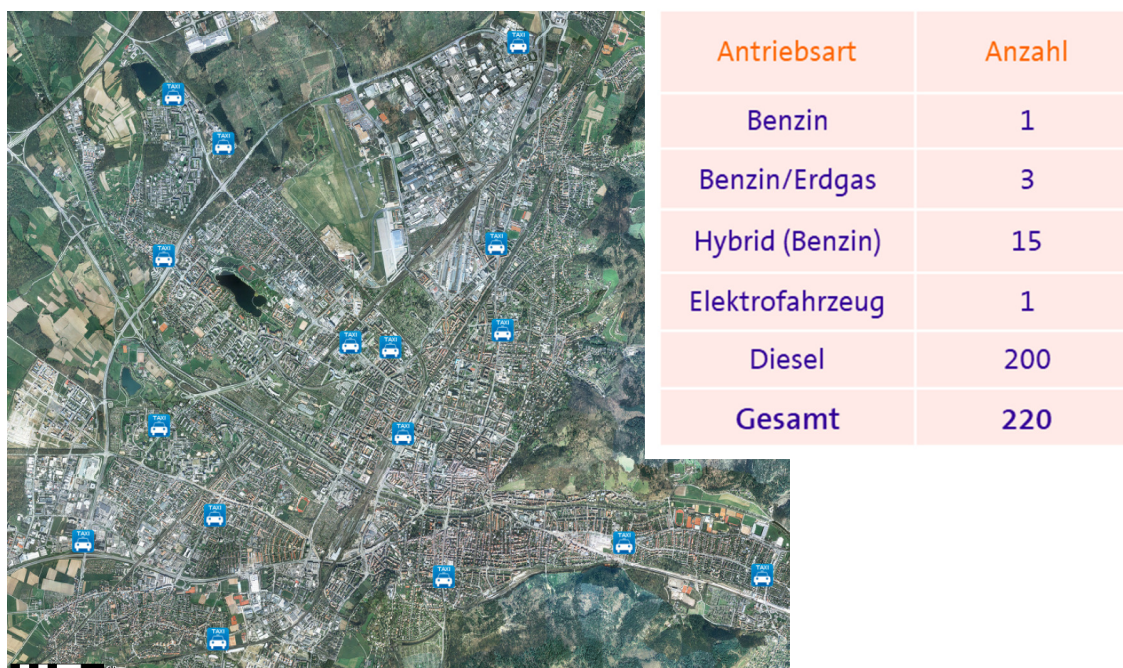


Abbildung 40: links: Standorte Taxi-Stellplätze, Quelle: FreiGIS Freiburg; rechts: Taxizulassungen nach Antriebsart, Quelle: Amt für Öffentliche Ordnung Freiburg

Ca. die Hälfte der zugelassenen Fahrzeuge, die von rund 30 Unternehmen betrieben werden, sind in der Taxi Freiburg 55.55.55 GmbH organisiert. Die Gesellschaft ist eine Taxi-zentrale, die über deren Telefonnummer (Vorwahl + 55.55.55) die Vermittlung von Taxen übernimmt (TAXI FREIBURG 55.55.55 GMBH 2017).

Die Freiburger Taxi-Vereinigung e.V. vertritt hingegen die Interessen der Taxiunternehmen und deren Fahrerinnen und Fahrern, kümmert sich um tarifrechtliche Belange und sieht sich gleichzeitig auch als Anlaufstelle für die Fahrgäste (FREIBURGER TAXI-VEREINIGUNG E.V. 2016). Bisher ist nur ein reines E-Fahrzeug als Taxi im Einsatz, aber wie der Tabelle zu entnehmen ist, schon mehrere Hybride, darunter auch Plug-In-Hybride.

Die Probleme für den Einsatz von E-Taxis beschreibt der Interviewte vor allem in der fehlenden Schnellladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge in Freiburg. Es sei notwendig, die Fahrzeuge im Stadtraum schnell und unkompliziert laden zu können. Weiter sind die Preise der E-Fahrzeuge trotz Förderung noch sehr hoch.

Um die E-Mobilität im Taxigewerbe zu fördern, könnte die Stadt die städtischen Schnellladesäulen für E-Taxis öffnen, sie könnte exklusive Stellplätze für E-Taxis ausweisen und Öffentlichkeitsarbeit leisten, indem sie beispielsweise E-Taxis auf ihrer Homepage bewirbt. Des Weiteren kann ein Beratungsangebot für Taxi-Unternehmer und Fahrer initiiert werden, das Gespräche bezüglich des Angebots an geeigneten E-Fahrzeugen beinhaltet aber auch über die Fördermöglichkeiten von Bund und Land informiert. Taxi-Fahrern kann die Funktionsweise eines E-Fahrzeuges durch gemeinsam durchgeführte Probefahrten näher gebracht werden und so Vorurteile und Hemmnisse abgebaut werden. Zuletzt kann die Stadt die Taxi Unternehmer bei der Installation von weiterer Ladesäuleninfrastruktur unterstützen (vgl. Kapitel 7).

### 6.2.3 Carsharing

Derzeit gibt es vier Carsharing-Anbieter, die im Folgenden näher beschrieben werden. Alle Anbieter stellen ihren Kunden stationsgebundenes Carsharing bereit, was im begrenzten Freiburger Stadtgebiet die Parkplatzsuche vermeidet und zudem den Parkdruck senkt.

Laut dem Garten und Tiefbauamt der Stadt Freiburg gibt es zum Stand Juli 2018 246 Fahrzeuge auf 82 Stationen auf städtischen Parkplätzen (vgl. Abbildung 41).



Abbildung 41: Standorte Carsharing auf städtischen Parkplätzen (verändert nach GUT 2018)

Um den Carsharing Fahrzeugen die außerordentlichen Nutzungsrechte gewähren zu können, wurde 2015 zunächst der Bebauungsplan der Stadt geändert. In der Abbildung 41



sind die Carsharing-Standorte und Fahrzeuge, die sich auf privaten Stellplätzen befinden, nicht mit dargestellt. Hierzu zählen beispielsweise die 15 verfügbaren Fahrzeuge vom Anbieter DB Flinkster.

#### *DB Flinkster*

DB Flinkster ist ein in ganz Deutschland verfügbares Carsharing-Angebot der Deutschen Bahn. Wie an den meisten anderen Standorten in Deutschland, befindet sich auch in Freiburg der Standort der DB Flinkster Fahrzeuge direkt am Hauptbahnhof. Im Gegensatz zu den anderen in Freiburg verfügbaren Carsharing-Anbietern kann der Service aber deutschlandweit genutzt werden. Allerdings ist die Abdeckung in Freiburg nicht flächendeckend, so dass Flinkster in Freiburg nicht als Carsharing-Angebot für die allgemeine Bevölkerung angesehen werden kann, sondern eher als Ergänzung für Bahn-Kunden.

#### *Grüne Flotte*

Die Grüne Flotte stellt mit über 180 Fahrzeugen verteilt auf mehr als 80 Standorten den größten Carsharing-Anbieter in Freiburg dar. Anbieter ist das Autohaus Schmid aus Waldkirch, das Fahrzeuge des Autoherstellers Ford vertreibt, weshalb die Carsharing Flotte überwiegend aus Ford-Fahrzeugen besteht. Die Fahrzeugpalette reicht dennoch vom kleinen Stadttauto über Mittelklassewagen bis zu großen Transportern (GRÜNE FLOTTE 2018). Derzeit werden keine E-Fahrzeuge von den Betreibern angeboten. Gründe hierfür könnten in der Abhängigkeit des Autohauses vom Automobilhersteller liegen.

#### *Stadtmobil Südbaden und my-e-car*

Mit knapp 70 Carsharing-Standorten auf die über 100 Fahrzeuge verteilt sind, ist Stadtmobil Südbaden der zweitgrößte Carsharing-Anbieter in Freiburg (Stadtmobil Südbaden 2018a). Auch dieser Anbieter weist eine breite Fahrzeugpalette auf, die sich aber nicht auf einen Fahrzeughersteller beschränkt. Neben dem „klassischen“ Carsharing mit Verbrenner-Fahrzeugen bietet Stadtmobil Südbaden mit ihrem Tochterunternehmen my-e-car zusätzlich ein rein elektrisches Carsharing an. Das Joint Venture bestehend aus Stadtmobil Südbaden und der Energiedienst Holding AG betreibt derzeit sieben Fahrzeuge an ebenso vielen Standorten des Typs Renault ZOE (vgl. Abbildung 41). Der Ausbau der Flotte um fünf weitere Fahrzeuge ist derzeit in Planung. Die Standorte sind mit 22kW-Ladesäulen ausgestattet, die ein vollständiges Laden der Fahrzeuge in gut einer Stunde ermöglichen (STADTMOBIL SÜDBADEN 2018b).

Der Ausbau des E-Carsharing ist jedoch mit einigen Herausforderungen verbunden. So gibt der Bundesverband an, dass zum einen die Anschaffung der Fahrzeuge hohe Investitionen bedürfen<sup>13</sup>. Zum anderen vermindert sich die Auslastung der Fahrzeuge durch die Ladevorgänge, was einen zusätzlichen wirtschaftlichen Nachteil darstellt. Darüber hinaus muss die Kommunikation mit den Kunden verändert werden. Viele Kunden nutzen zum ersten Mal ein E-Fahrzeug und müssen geeignet geschult werden, sowohl was das Fahren aber auch das Laden der E-Fahrzeuge angeht (BUNDESVERBAND CARSHARING 2018c). Zur Förderung von e-Carsharing können bevorzugt e-Carsharing-Stellplätze ausgewiesen werden und auch hier die Betreiber beim Aufbau der notwendigen Ladeinfrastruktur unterstützt werden (vgl. Kapitel 7 Maßnahmen).

---

<sup>13</sup> Leider konnte kein Interview mit Akteuren aus dem Carsharing stattfinden, weshalb sich die im Folgenden dargestellten Probleme auf den Bundesverband CarSharing e.V. zurückzuführen sind.

## 6.2.4 Lastenräder

LastenVelo e.V. ist eine gemeinnützige Organisation, die ein kostenloses Verleihsystem für derzeit neun Lastenfahrräder anbietet. Die Mitarbeiter engagieren sich neben ihren Hauptberufen ehrenamtlich für den Verein. Finanzieren kann sich die Organisation durch Spendeneinnahmen der Nutzer und durch Werbung. Unternehmen können entweder Werbeflächen auf den Lastenrädern mieten oder ein komplettes Lastenrad finanzieren, auf dem dann dauerhaft ihre eigene Werbung zu sehen ist und auch auf der Internetseite des Verleihsystems unter dem Namen des Unternehmens aufgeführt wird. Den Verleih und die Wartung der Lastenräder übernimmt LastenVelo e.V.



Abbildung 42: Lastenfahrrad gesponsert von FREI.MOBIL (LASTENVELO E.V. 2018)

Von den derzeit neun Lastenrädern sind bereits drei elektrisch betrieben. Diese Lastenräder können direkt am Abstellplatz geladen werden. Die Auslastung der elektrischen Lastenräder ist mit 90 % (im Vergleich zu 50 %-Auslastung ohne elektrischen Antrieb) sehr hoch. Fünf weitere Räder befinden sich in der Anschaffung und werden auch alle elektrifiziert sein. Perspektivisch sollen alle neu angeschafften Lastenräder einen elektrischen Antrieb besitzen. Die Beschaffung der E-Lastenräder erfolgte mit Fördermitteln des Landes Baden-Württemberg, aber auch in Kooperation mit Unternehmen wie dem ADAC, VAG/FREI.MOBIL und den Elektrizitätswerken Schönau.

Weitere Maßnahmen zur Förderung von Zweirädern werden in Kapitel 7 genauer beschrieben.

## 7. Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität in Freiburg

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die verschiedenen Handlungsfelder im Bereich E-Mobilität aufgezeigt. Es wurde erläutert, welche Anforderungen an die Lade- und Stromnetzinfrastruktur gestellt werden, um eine Stadt „fit“ für E-Mobilität zu machen. Im Anschluss wurde dargestellt, welche Erfahrungen die einzelnen Akteure bereits mit der E-Mobilität gemacht haben, welche Einsatzbereiche denkbar sind und in welcher Form Unterstützung nötig ist, um die E-Mobilität in der Stadt Freiburg voranzutreiben.

Ziel des Konzepts war es nun, aus diesen Erkenntnissen – unter Berücksichtigung der verkehrspolitischen Grundsätze der Stadt Freiburg – sinnvolle und umsetzbare Maßnahmen zur Förderung der E-Mobilität in Freiburg abzuleiten.

In mehrfachen Austauschtreffen mit dem GuT und dem UWSA wurde eine einheitliche Linie in der Vorgehensweise beim Thema E-Mobilität erarbeitet. So gilt es auch bei allen Fragen zur E-Mobilität darauf zu achten, dass es in der Verkehrsplanung an erster Stelle um die Verkehrsvermeidung, dann um die Verkehrsverlagerung und schließlich darum geht, den verbleibenden „notwendigen“ Verkehr umweltverträglich zu gestalten. Da durch die E-Mobilität der Ausstoß von Luftschadstoffen lokal verringert wird, kann sie zu einem umweltverträglicheren Verkehr in der Stadt beitragen (vgl. Abschnitt 2.5.5)

Klar ist jedoch, dass der individuelle E-PKW-Besitz nicht finanziell gefördert werden soll, da dies dem Ziel widerspricht, den MIV in der Stadt zu reduzieren. Dagegen soll Hilfe beim Umstieg auf E-Mobilität geleistet werden. Hierzu zählen der Aufbau von Ladeinfrastruktur, das Angebot von Bürger- und Gewerbeberatung zu E-Mobilität und die Berücksichtigung der E-Mobilität bei der Stadtplanung. Auch soll die E-Mobilität beim nicht vermeidbaren Verkehr werden (Lieferverkehr, Pflegedienste etc.) und bei Mobilitätsdienstleistern (Carsharing, Lastenradverleih) unterstützt werden. Eine besondere Berücksichtigung erhält die Förderung von E-Zweirädern in der Fahrradstadt Freiburg (vgl. Abschnitt 7.2).

### 7.1 Maßnahmenkatalog

Der Maßnahmenkatalog umfasst 33 Maßnahmenvorschläge, aufgeteilt auf die Handlungsfelder „Planungsinstrumente“, „Ladeinfrastruktur“, „Stromnetzinfrastruktur“, „städtischer Fuhrpark“, „Gewerbe“, „Mobilitätsdienstleister“ und „Information/Beratung“. Die Maßnahmenideen entstanden aus den Gesprächen mit den einzelnen Akteuren, dem Expertenwissen und Erfahrungen der badenova sowie des GuT und des UWSA.

Da das E-Mobilitätskonzept in den Green-City Masterplan der Stadt Freiburg eingebettet ist, musste eine Auswahl an Maßnahmen getroffen werden, die im Rahmen des Masterplans weiterverfolgt werden. Diese sechs hoch priorisierten Maßnahmen wurden in Steckbriefen detaillierter beschrieben (vgl. Abschnitt 7.2) und sollten in 2019 in die Umsetzung gelangen. Im Anschluss sollte geprüft werden, ob die Umsetzung weiterer Maßnahmen aus dem Maßnahmenkatalog sinnvoll ist, um die E-Mobilität in Freiburg weiter voranzutreiben.



Nr.	Handlungsfeld	Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Treiber wer macht? (ggf. für Geld)	Priorisierung durch badenova
1	Planungsinstrument	Ausnahmeregelungen für Elektrofahrzeuge	- Aufheben von Zufahrtsbeschränkungen in Fußgängerzone für Lieferverkehr und Gewerbe, bzw verschärfte Zufahrtsbeschränkungen für Nicht-E-Fahrzeuge und Zulassung von E-Fahrzeugen	Stadt: GuT	B
2	Planungsinstrument	Kostenfreies Parken im gesamten Stadtgebiet	- mit Festlegung einer Maximaldauer von 1h bzw. Parkhöchstdauer bleibt erhalten (mit Parkscheibe) - Maßnahme wird zur Vermeidung von Überförderung von Autoverkehr allerdings von der Stadtverwaltung nicht angestrebt.	Stadt: GuT	B
3	Planungsinstrument	Anwohnerparkausweise für elektrische Gewerbefahrzeuge	- Ausstellung von Anwohnerparkausweisen für Gewerbebetriebe mit E-Fahrzeugen (d.h. Erweiterung der Handwerkerplakette auf alle Gewerbebetriebe) - Wenn Verbrenner gegen E-Fzg. getauscht wird - gratis Parken im gesamten Stadtgebiet mit Maximaldauer von 1h bzw. Parkhöchstdauer (mit Parkscheibe)	Stadt: GuT	A
4	Planungsinstrument	Ausweisung kostenfreier Parkplätze für Elektrofahrzeuge	- verschiedene Möglichkeiten der Umsetzung: auf öffentlichen Parkplätzen im gesamten Stadtgebiet oder nur auf ausgewählten extra beschilderten Parkplätzen - mögliche Markierungen: Beschilderung von Parkplätzen, an denen kostenfreies Parken für E-Fahrzeuge möglich ist UND/ODER Bodenmarkierung von E-Parkplätzen - Bsp. Stuttgart	Stadt: GuT	B
5	Planungsinstrument	Ahndung des Falschparkens	- Verwarnungsgeld (Anpassung des aktuellen Bußgeldkatalogs), wenn Ladesäulen-Parkplätze von Verbrennern zugeparkt sind	Stadt: GuT	B

Nr.	Handlungsfeld	Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Treiber - wer macht's? (ggf. für Geld)	Priorisierung durch badenova
6	Planungsinstrument	E-Mobilität im Städtebau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellung eines Leitfadens für Bauherren und Investoren (Neubauten/Sanierungen): Bauherren/Investoren müssen informiert werden, welche Vorkehrungen zu treffen sind, um bei Bedarf Ladestationen aufzubauen (Ausreichende Dimensionierung des Hausanschlusses, Verlegung von Leerrohren/Stromleitungen, Absprache mit Netzbetreiber, Meldepflicht etc.)</li> <li>- Festlegung von Vorgaben zur E-Mobilität in städtebaulichen Verträgen (vgl. EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden): Vorgabe zur Vorverkabelung von Stellplätzen für Wohn- und Geschäftsgebäude. Evtl.: einzelne Neubaugebiete / neuer Stadtteil als Leuchtturmprojekt besonders herausheben</li> </ul>	Stadt: GuT, StaPlaAmt, UWSA Extern: Bauherren, Investoren, badenova	A
7	Ladeinfrastruktur	Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur geringer bis mittlerer Leistung	<p>Um E-Mobilität attraktiver zu bekommen, wird eine gewisse Zahl von Ladepunkten im öffentlichen Raum aufgebaut, insbesondere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LIS (langsam - mittel) in Parkhäusern und P&amp;R-Parkplätzen</li> <li>- LIS (mittelschnell) im öffentl. Straßenraum (sog. Normalladeinfrastruktur)</li> </ul> <p>öffentliche Ladeinfrastruktur ist immer nur ergänzend zur hauptsächlich privat betriebenen LIS zu sehen. Zusätzlich soll der Aufbau von Low-Cost-Ladeinfrastruktur in der Wohnungswirtschaft unterstützt werden.</p>	Stadt: GuT Extern: Bauherren, Investoren, Netzbetreiber, Elektriker	A
8	Ladeinfrastruktur	Aufbau schneller Ladeinfrastruktur (Ladehub)	<p>Aufbau einer Ultra-Schnellladestation an der B31 (Schreiberstraße, bei Cafe Extrablatt.) Aufbau und Betrieb eines Ladestandorts mit verschiedenartigen Ladesystemen (normal bis zu besonders hohen Ladeleistungen <math>\geq 50</math> kW), netzdienliche Systemkomponenten (Batteriespeicher, Lastmanagement.) Sehr hoher Nutzwert für die Verkehrsteilnehmenden, auch wegen idealer Anbindung. Gründung einer Betreibergesellschaft unter Beteiligung der Fa. Enercon und badenova AG &amp; Co. KG.</p>	Stadt: GuT Extern: badenova, Enercon	A
9	Ladeinfrastruktur	Förderung von E-Fahrzeugen in Parkhäusern	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Günstigere Parktickets ( ) für E-Fzg in Parkhäusern</li> <li>- Parken bis zu 4h ist kostenfrei</li> <li>- Laden mit 3,7 kW zum normalen Parktarif</li> <li>- Laden mit 22 kW wird abgerechnet</li> <li>- Stadt/Parkhausbetreiber sorgt für Aufbau der entsprechenden LIS</li> <li>- großer Anreiz für Gewerbetreibende auf E-Fzg umzurüsten</li> </ul>	Stadt: GuT Extern: FSB/FKB, badenova, Elektriker	A

Nr.	Handlungsfeld	Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Treiber - wer macht's? (ggf. für Geld)	Priorisierung durch badenova
10	Ladeinfrastruktur	Förderung von E-Fahrzeugen auf P&R-Parkplätzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parken ist gratis [und Fahrzeughalter von E-Fzg bekommen VAG-Tagesticket kostenlos (Vorlage von Fahrzeugschein)]</li> <li>- Laden mit 3,7 kW kostenlos</li> <li>- Laden mit 22 kW wird abgerechnet</li> <li>- Stadt/Parkhausbetreiber sorgt für Aufbau der entsprechenden LIS</li> </ul>	Stadt: GuT Extern: FSB/FKB, badenova, Elektriker	A
11	Ladeinfrastruktur	Netzverträgliche und bedarfsgerechte (leistungsschwache) Ladeinfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufbau von günstiger Ladeinfrastruktur mit geringer Leistung (Dauerparker und Nachtparker benötigen nicht mehr als 3,7kW)</li> <li>- Wenn viele Parkplätze mit solch einer Versorgung ausgestattet sind, sinkt die Hemmschwelle für E-Autos d.h. die Angst "ich kann mein Auto nicht laden" ist weg</li> <li>- Initiative der Stadt zur Schaffung eines Förderprogramm um private Lademöglichkeiten in gemeinsam genutzten Stellplatzanlagen sowie die dafür nötigen Hausanschlüsse (oder Hausanschlusserhöhung) zu fördern, z. B. über proKlima</li> <li>- Förderung von Expertenberatung sollte mit überlegt werden</li> </ul>	Stadt: GuT Extern: badenova, Elektriker	A
12	Ladeinfrastruktur	Ladeinfrastruktur auf Parkplätzen von Bädern und Sportstätten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angebot von Wallboxen auf Vereinsparkplätzen finanziert über badenova Sport-Strom</li> <li>- Information an alle Sportvereine über Förderung von LIS über den Sport-Strom-Tarif</li> </ul>	Stadt: GuT Extern: badenova, Elektriker	A
13	Ladeinfrastruktur	Lademöglichkeiten für Mieter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufbau von einfach zu (de-)installierenden Lademöglichkeiten auf öffentlichen und privaten Parkplätzen</li> <li>- Versorgung dieser Flächen mit Strom muss sichergestellt werden</li> <li>- Berechtigung der Fahrzeughalter, die Parkflächen auszustatten, muss sichergestellt werden</li> <li>- Kostenübernahme für Installation und Rückbau der LIS durch Mieter</li> <li>- Vermieter muss aktiv nachweisen, dass es nicht möglich ist - sonst hat Mieter das Recht auf Anschluss!!</li> </ul>	Stadt: GuT Extern: badenova, Elektriker	B
14	Ladeinfrastruktur	Aufbau von Ladeinfrastruktur an Straßenlaternen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ladelösungen für Laternenparker ohne eigenen Stellplatz zur Verfügung stellen (Bspw. Ubitricity)</li> <li>- Umrüstung der Straßenlaternen durch Angebot von Ubitricity. Einfache Umrüstung der Bestandslaternen schwierig, da tagsüber kein Strom etc.</li> </ul>	Stadt: GuT Extern: badenova, Elektriker	B

Nr.	Handlungsfeld	Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Treiber - wer macht's? (ggf. für Geld)	Priorisierung durch badenova
15	Ladeinfrastruktur	Kooperationsprojekte mit innovativen Lademöglichkeiten	- bspw. Umrüstung der Telekom-Verteilerkästen als Lademöglichkeiten - Kontakt Telekom suchen ggf. mit Ubitricity zusammenlegen	Stadt: GuT Extern: z.B. Telekom	C
16	Ladeinfrastruktur	Öffentlicher Zugang zu städtischen Ladestationen	- Backend-System muss abrechnungsfähig sein, Adhoc-Laden möglich sein...	Stadt: GuT	A
17	Ladeinfrastruktur	Aufbau eines Ladehubs in Wohngebieten	- Parkplatz/Parkhaus in Wohngebiet als Ladehub mit unterschiedlichen Ladeleistungen aufbauen (3,7-22 kW) - Besonders in verdichteten Quartieren - Parkplatzfläche nur für E-Autos oder Kooperation mit Parkhäusern/Einzelhandel/Lebensmittelläden suchen	Stadt: GuT Extern: badenova, Elektriker	C
18	Ladeinfrastruktur	Mobiler Ladehub für Großveranstaltungen	- Testphase, ob Ladestationen angenommen werden - einfache Lösungen bspw. mit Baustromverteilern, die temporär installiert werden und laden ermöglichen - Bsp. ZMF	Stadt: GuT Extern: badenova, Elektriker	B
19	Ladeinfrastruktur	Nette Steckdose	- Stadt und lokale Gastronomen (Unternehmen) schließen eine Kooperation, in der die Gastwirte den E-Bike-Fahrern erlauben, ihre Akkus zu laden - Teilnehmende Gaststätten könnten werbewirksam in einem E-Bike-Flyer genannt werden - Ähnlich der „Netten Toilette“ >(http://www.die-nette-toilette.de/) könnten man so eine Netz aus „NETTEN STECKDOSEN“ aufbauen!!	Stadt: GuT Extern: DeHoGa, FWTM, badenova "Freiburg Tourismus Verband"	A
20	Stromnetzinfrastuktur	Pilotprojekt Lastmanagement	- Prüfung der Möglichkeiten der Nutzung unterschiedlicher Lastmanagement-Varianten im alltäglichen Betrieb - Pilotprojekt in einem ausgewählten Quartier	Stadt: GuT Extern: badenova	A

Nr.	Handlungsfeld	Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Treiber - wer macht's? (ggf. für Geld)	Priorisierung durch badenova
21	Stromnetzinfrastuktur	Förderung autarker Ladestationen	- Entlastung des Stromnetzes bzw. Vermeidung von Netzertüchtigungen durch die Nutzung autarker Ladestationen (mit Hilfe von PV-Anlagen, kleinen Windanlagen)	Stadt: GuT Extern: badenova, Elektroinnung	C
22	Stromnetzinfrastuktur	Versorgung der Ladeeinrichtungen des städtischen Fuhrparks mit Strom aus erneuerbaren Energien	- kontinuierliche Optimierung des Ladekonzepts des städtischen Fuhrparks - Versorgung der LIS mit z.B. eigener PV-anlage - Nutzung eines dynamischen Lastmanagements	Stadt: GuT Extern: badenova	C
23	Fuhrpark	Beschaffung von E-Fahrzeugen und der zugehörigen Ladeinfrastruktur für den kommunalen Fuhrpark	- E-Fahrzeuge als Standard, in begründeten Fällen kann auf Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zurückgegriffen werden - kann für PKW, leichte Nutzfahrzeuge, LKW und Sonderfahrzeuge erfolgen, soweit Fahrzeuge serienmäßig marktverfügbar	Stadt: GuT, Hauptamt	B
24	Fuhrpark	Nutzung von E-Carsharing als Ergänzung zum Fuhrpark	- Mitarbeiter der Stadt können Carsharing-Angebot (bzw. Fahrradverleihsystem) dienstlich nutzen	Stadt: GuT, Hauptamt	B
25	Fuhrpark	Private Nutzung des kommunalen Fuhrparks durch städtische Mitarbeiter	- E-Fahrzeuge werden doppelt genutzt: als Flottenfahrzeug und gleichzeitig als "Carsharing"-Fahrzeug der Mitarbeiter - bestehendes Fahrzeugbuchungssystem der Stadt erlaubt eine Doppelnutzung	Stadt: GuT, Hauptamt	B
26	Gewerbe	Ladeeinrichtungen für Mitarbeiter	- Mitarbeiterparkplätze (Gewerbe, Stadt, etc.) sollen mit 3,7 kW-Lademöglichkeiten ausgestattet werden, so dass während der Arbeitszeit geladen werden kann - Informationsschreiben mit Angebot von regionalen Dienstleistern zum Aufbau von LIS - Hinweis auf steuerl. Vergünstigung: Ladestrombezug gilt nicht als geldwerter Vorteil	Stadt: GuT Extern: Gewerbe, badenova, Elektroinnung	A

Nr.	Handlungsfeld	Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Treiber - wer macht's ? (ggf. für Geld)	Priorisierung durch badenova
27	Gewerbe	Prämie für Flottenumrüstung	- Unternehmen erhalten Vorzüge (Steuererleichterung o.ä.), wenn ein gewisser Prozentsatz der Flotte umgerüstet wird - z.B. über Reduzierung der Gewerbesteuer, wenn Unternehmen besonderen Beitrag zur sauberen Luft leisten	Stadt: GuT Extern: Gewerbe	C
28	Gewerbe	E-Mobilität bei Auftragsvergaben fördern	- Baustrom zur Beladung von Elektroautos freigeben - direkter Hinweis in Ausschreibung / Auftrag - könnte Anreiz für Handwerker sein, sich ein E-Fzg zu beschaffen - Handwerker die E-Fahrzeuge nutzen, bevorzugt nehmen - Vergaberecht??	Stadt: GuT Extern: Gewerbe	B
29	Mobilitätsdienstleister	Förderung E-Carsharing, E-Taxen, E-Lieferdienste	- Unterstützung von elektrischen Fahrzeugflotten im Carsharing, bei Taxis und im Gewerbe - Unterstützung (beratend/planend//finanziell) der privaten Betreiber von Carsharing und von Taxis beim Aufbau der Ladeinfrastruktur - Beratung bei der Akquise von Fördermitteln - Ggf. eigenverantwortlicher Aufbau von Ladeinfrastruktur bei Carsharing-Stationen und an Taxi-Standorten - Vergabe dieser Stellplätze nur noch an Betreiber mit E-Fahrzeugen - Ggf. Unterstützung von Flotten von Gewerbetreibenden durch Öffnung dieser Ladeinfrastruktur - Prüfen, ob Unterstützung von E-Fzg. durch regulatorische Maßnahmen möglich ist.	Stadt: GuT Extern: Carsharing-Betreiber, Taxi-Betreiber, Lieferdienste	A
30	Mobilitätsdienstleister	Förderung E-Zweiräder	Verschiedene Maßnahmen zur Förderung von umweltfreundlichen, elektrischen Zweirad-Fahrzeugen: - Aktion zur Umrüstung von Mopeds mit Verbrennungsmotor auf E-Mopeds (Kampagne, finanzielle Förderung) - Unterstützung (beratend, Marketing, finanziell) der Anschaffung von E-Lastenrädern bei Gewerbe und bei Privaten - Unterstützung von Lastenrädern-Verleihsystemen (Abstell- und Lademöglichkeiten) - Flächendeckende Ladeinfrastruktur für E-Bikes "Nette Steckdose" (Kooperation mit Restaurants, Cafés bei denen Kunden die Akkus aufladen können)	Stadt: GuT, UWSA Extern: Private, Gewerbe, Gastronomie-Betriebe	A



Nr.	Handlungsfeld	Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme	Treiber - wer macht's? (ggf. für Geld)	Priorisierung durch badenova
31	Mobilitätsdienstleister	(Elektrifizierte) Mobilstationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bereitstellung unterschiedlicher Mobilitätsdienstleistungen (Bus, Tram, Pendlerparkplatz, Carsharing, Leihfahräder...)</li> <li>- Elektrifizierung der Angebote (Ladeinfrastruktur für Taxi, Carsharing, Pedelcs...)</li> <li>- Einbindung erneuerbarer Energien -&gt; Solarmodule integrieren</li> <li>- Einheitliches Design (Dachmarke aufgreifen)</li> <li>- Ergänzendes Serviceangebot (W-lan, Kiosk, Informations-, Packstation)</li> </ul>	Stadt: GuT, UWSA	B
32	Information/Beratung	Informations- und Beratungsangebot zu E-Mobilität	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung eines Informations- und Kommunikationskonzepts zu E-Mobilität (Webseiten, Infobroschüren, Aktionstage, Beratungstermine) - Zielgruppenspezifische Bereitstellung von Informationen zu Fördermöglichkeiten, Wirtschaftlichkeit, Ökobilanz, Gesetzen, Leitfaden für den Aufbau von privaten/halböffentl. LIS- Informationen zu allen städtischen Aktivitäten im Bereich der E-Mobilität (aktueller Stand des LIS-Ausbaus, E-Carsharing, Aktionstage, spezielle Förderungen, etc.)- Ggf. Aufbau einer eigenen Anlaufstelle zu elektrischem und allgemein nachhaltigem Verkehr für BürgerInnen sowie für Unternehmen (Beratung von Flottenbetreibern)</li> </ul>	Stadt: GuT, UWSA Extern: Private, Gewerbe, evtl. badenova	A

## 7.2 Priorisierte Maßnahmen



### Masterplan Green-City Maßnahmensteckbriefe



Nr.	Maßnahmentitel	Baustein	Urheber																														
E1	Förderung E-Carsharing, E-Taxen und E-Lieferdienst	Elektromobilität	badenova																														
<b>Maßnahmenbeschreibung</b>		<b>Akteure</b>																															
<p><b>Unterstützung von elektrischen Fahrzeugflotten im Carsharing, bei Taxis und im Gewerbe:</b> Unterstützung (beratend/planend/finanziell) der privaten Betreiber von Carsharing und von Taxis beim Aufbau der Ladeinfrastruktur. Beratung bei der Aqise von Fördermitteln. Ggf. eigenverantwortlicher Aufbau von Ladeinfrastruktur bei Carsharing-Stationen und an Taxi-Standorten, Vorgabe dieser Stellplätze nur noch an Betreiber mit E-Fahrzeugen. Ggf. Unterstützung von Flotten von Gewerbetreibenden durch Öffnung dieser Ladeinfrastruktur. Prüfen, ob Unterstützung von E-Fzg.</p>		<p>Stadt: GuT Extern: Carsharing-Anbieter, Taxi-Betreiber</p>																															
		<b>Voraussetzungen</b>																															
		Kooperationsbereitschaft der Taxi- und Carsharing Unternehmen																															
		<b>Synergien / Wechselwirkungen</b>																															
		E6: Informations- und Beratung zu E-Mobilität																															
<b>Wirkung</b>																																	
Positive Wirkungen entstehen bei der Förderung von Carsharing doppelt: Zum einen durch die Verringerung der Schadstoff- und Lärmemissionen durch einen erhöhten Anteil an E-Fahrzeugen im städtischen Verkehr. Zum anderen erleichtert ein besseres Carsharing den Verzicht auf ein eigenes Auto und verringert somit auch die Flächeninanspruchnahme durch den ruhenden Verkehr. Gleichzeitig werden die Nutzer der elektrifizierten Verkehrsangebote an E-Fahrzeuge gewöhnt und bauen Hemmnisse ab. Bei E-Taxis ähnlich gelagerte Wirkungen, hier auch hoher Nutzwert durch Verbesserung Bekanntheitsgrad.																																	
<b>Wirkungspotenzial NO<sub>x</sub>-Minderung</b>																																	
Abhängig von der Anzahl an umgestellten Verbrennungsfahrzeugen. Zusätzlich sind die indirekten Wirkungen (Verbesserung Bekanntheitsgrad E-Fahrzeuge) zu sehen.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO<sub>x</sub>-Minderung</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	kurzfristig			X			mittelfristig				X		langfristig				X							
NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
kurzfristig			X																														
mittelfristig				X																													
langfristig				X																													
<b>Umsetzungschancen / mögliche Widerstände und Risiken</b>																																	
Die Flottenanbieter haben wegen der noch geringen Fahrzeugverfügbarkeit und erhöhten Kosten Vorbehalte gegenüber E-Fahrzeugen.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ums.-Chancen</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>generell</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	generell				X		kurzfristig			X			mittelfristig				X		langfristig					X
Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
generell				X																													
kurzfristig			X																														
mittelfristig				X																													
langfristig					X																												
<b>Kosten</b>																																	
Für die finanzielle Unterstützung beim Aufbau von LIS sowie das Beratungsangebot für Carsharing- und Flottenbetreiber.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kosten</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Investition</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Investition			X			Betrieb				X													
Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Investition			X																														
Betrieb				X																													
<b>Personalaufwand Verwaltung</b>																																	
Für Beratung und Planung (bzw. der Vergabe und Begleitung von Aufträgen an Externe) sowie von Verträgen entsteht Personalaufwand bei der Stadtverwaltung.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Aufwand</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Planung</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Planung			X			Betrieb				X													
Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Planung			X																														
Betrieb				X																													
<b>Bewertung / Empfehlung</b>			<b>Priorität</b>																														
			sehr hoch																														
			hoch <b>x</b>																														
			mittel																														
			gering																														
			sehr gering																														



**Masterplan Green-City**  
**Maßnahmensteckbriefe**



Nr.	Maßnahmentitel	Baustein	Urheber																														
<b>E2</b>	Förderung E-Zweiräder	Elektromobilität	badenova																														
<b>Maßnahmenbeschreibung</b>		<b>Akteure</b>																															
<p>Verschiedene Maßnahmen zur Förderung von umweltfreundlichen, elektrischen Zweirad-Fahrzeugen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktion zur Umrüstung Mopeds mit Verbrennungsmotor auf <b>E-Mopeds</b> (Kampagne, finanzielle Förderung)</li> <li>- Unterstützung (beratend, Marketing, finanziell)</li> </ul> <p>Anschaffung von <b>E-Lastenrädern bei Gewerbe und bei Privaten</b>. Unterstützung von Lastenrädern-Verleihsystemen (Abstell- und Lademöglichkeiten)</p> <p>- Flächendeckende Ladeinfrastruktur für <b>E-Bikes "Nette Steckdose"</b> (Kooperation mit Restaurants, Cafés bei denen Kunden die Akkus aufladen können)</p>		<p>Stadt: GuT, UWSA</p> <p>Extern: Private, Gewerbe, Gastronomie-Betriebe</p>																															
		<b>Voraussetzungen</b>																															
		Teilnahmebereitschaft Private und Gewerbe																															
		<b>Synergien / Wechselwirkungen</b>																															
		E6: Informations- und Beratung zu E-Mobilität																															
<b>Wirkung</b>																																	
<p>Die Förderung von E-Mobilität im Bereich Mopeds und Fahrräder hat vielfach positive Wirkungen: Zum einen der Umstieg vom Auto auf ressourcen- und flächensparendere Verkehrsmittel, zum anderen im Bereich der Mopeds die Einsparung einer relevanten Menge an Luftschadstoff- und Lärmemissionen. Krafträder (Mopeds, Mofas und Motorräder) mit Verbrennungsmotor haben im Vergleich zu Pkw sehr hohe zulässige Grenzwerte und sehr hohe reale Emissionen. Dies ist im allgemeinen Bewusstsein noch zu wenig verankert.</p>																																	
<b>Wirkungspotenzial NO<sub>x</sub>-Minderung</b>																																	
Abhängig vom Ersatz von Mofas und Mopeds mit Verbrennungsmotoren (Potenzial: ca. 7.000 Krafträder in Freiburg) sowie vom Ersatz von Pkw durch E-Lastenrad.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO<sub>x</sub>-Minderung</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	kurzfristig		X				mittelfristig		X				langfristig			X								
NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
kurzfristig		X																															
mittelfristig		X																															
langfristig			X																														
<b>Umsetzungschancen / mögliche Widerstände und Risiken</b>																																	
Für die Förderung von E-Rollern und E-Lastenrädern müssen finanzielle Mittel bereitgestellt werden. Betriebe müssen überzeugt werden, bei der Kampagne "Nette Steckdose" mitzumachen.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ums.-Chancen</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>generell</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	generell				X		kurzfristig				X		mittelfristig					X	langfristig					X
Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
generell				X																													
kurzfristig				X																													
mittelfristig					X																												
langfristig					X																												
<b>Kosten</b>																																	
Kosten für Werbemaßnahmen sowie ggf. für finanzielle Förderungen.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kosten</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Investition</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Investition				X		Betrieb				X													
Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Investition				X																													
Betrieb				X																													
<b>Personalaufwand Verwaltung</b>																																	
Für Beratung und Planung (bzw. der Vergabe und Begleitung von Aufträgen an Externe) sowie von Verträgen entsteht Personalaufwand bei der Stadtverwaltung.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Aufwand</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Planung</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Planung		X				Betrieb					X												
Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Planung		X																															
Betrieb					X																												
<b>Bewertung / Empfehlung</b>			<b>Priorität</b>																														
			sehr hoch																														
			hoch																														
			mittel																														
			gering																														
			sehr gering																														
			X																														



**Masterplan Green-City**  
**Maßnahmensteckbriefe**



Nr.	Maßnahmentitel	Baustein	Urheber																														
<b>E3</b>	Aufbau öff. Ladeinfrastruktur (langsam / mittelschn)	Elektromobilität	badenova																														
<b>Maßnahmenbeschreibung</b>		<b>Akteure</b>																															
<p><b>Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur (LIS) geringer bis mittlerer Leistung</b> Um E-Mobilität attraktiver zu bekommen, wird eine gewisse Zahl von Ladepunkten im öffentlichen Raum aufgebaut, insbesondere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LIS (langsam - mittel) in Parkhäusern und P&amp;R-Parkplätzen</li> <li>- LIS (mittelschnell) im öffentl. Straßenraum</li> </ul> <p>öffentliche Ladeinfrastruktur ist immer nur ergänzend zur hauptsächlich privat betriebenen LIS zu sehen. Zusätzlich soll der Aufbau von Low-Cost-Ladeinfrastruktur</p>		<p>Stadt: GuT Extern: Bauherren, Investoren, Netzbetreiber, Elektriker</p>																															
		<b>Voraussetzungen</b>																															
		technische und rechtliche Voraussetzungen für den Bau von LIS müssen vorhanden sein																															
		<b>Synergien / Wechselwirkungen</b>																															
		E5 E-Mobilität im Städtebau E6: Information und Beratung zu E-Mobilität																															
<b>Wirkung</b>																																	
Durch die Ausstattung vieler Parkplätze mit LIS sinkt die Hemmschwelle zur Beschaffung von E-Autos. Die niedrige Ladeleistung schafft eine gleichmäßigere Beanspruchung der Stromnetze - und vermeidet somit aufwändige Folgeinvestitionen bei der Netzinfrastruktur. Mittelschnelle Ladeleistung ist ergänzend sinnvoll. Eine bessere Ausstattung von P+R-Plätzen reduziert zudem Fahrten in die Innenstadt.																																	
<b>Wirkungspotenzial NO<sub>x</sub>-Minderung</b>																																	
Einsparung durch Substitution von Verbrennungsmotoren. Die Langfristpotenziale sind sehr groß, da über die kostengünstige Infrastruktur eine große Anzahl Ladepunkte aufgebaut werden kann. Zusätzliches Ziel: Ladestrom grundsätzlich aus Erneuerbaren Energien.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO<sub>x</sub>-Minderung</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	kurzfristig		X				mittelfristig			X			langfristig			X								
NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
kurzfristig		X																															
mittelfristig			X																														
langfristig			X																														
<b>Umsetzungschancen / mögliche Widerstände und Risiken</b>																																	
Geschäftsmodelle sind teilweise schwierig, da pro Ladepunkt wenig Strom verkauft wird. Vorteil P+R-Flächen: im städt. Eigentum, daher in eigener Verantwortung.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ums.-Chancen</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>generell</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	generell					X	kurzfristig					X	mittelfristig					X	langfristig					X
Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
generell					X																												
kurzfristig					X																												
mittelfristig					X																												
langfristig					X																												
<b>Kosten</b>																																	
Bei Ladeinfrastruktur (LIS) fallen Kosten für Bau (Zuschüsse) und ggf. laufende Kosten an.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kosten</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Investition</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Investition		X				Betrieb			X														
Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Investition		X																															
Betrieb			X																														
<b>Personalaufwand Verwaltung</b>																																	
Aufwand für Vergabe und Steuerung eines Auftrags zur Bauauftragung Privater sowie Vergabe der Aufträge zum Aufbau LIS auf P+R.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Aufwand</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Planung</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Planung			X			Betrieb				X													
Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Planung			X																														
Betrieb				X																													
<b>Bewertung / Empfehlung</b>			<b>Priorität</b>																														
			sehr hoch																														
			hoch																														
			mittel X																														
			gering																														
			sehr gering																														



**Masterplan Green-City**  
Maßnahmensteckbriefe



Nr.	Maßnahmentitel	Baustein	Urheber																														
<b>E4</b>	Aufbau schneller Ladeinfrastruktur (Ladehub)	Elektromobilität	badenova																														
<b>Maßnahmenbeschreibung</b>		<b>Akteure</b>																															
<p>Aufbau einer <b>Ultra-Schnellladestation</b> an der B31 (Schreiberstraße, bei Cafe Extrablatt.)                      Aufbau und Betrieb eines Ladestandorts mit <b>verschiedenartigen Ladesystemen</b> (normal bis zu besonders hohen Ladeleistungen &gt;= 50 kW), netzdienliche Symstemkomponenten (Batteriespeicher, Lastmanagement.) Sehr hoher <b>Nutzwert für die Verkehrsteilnehmenden</b>, auch wegen idealer Anbindung.                      Gründung einer Betreibergesellschaft unter Beteiligung der Fa. Enercon und badenova AG &amp; Co. KG.</p>		<p>Stadt Freiburg: GuT                      Externe: badenova, Enercon</p>																															
		<b>Voraussetzungen</b>																															
		Zusage der Investoren, Gründung einer Betreibergesellschaft																															
		<b>Synergien / Wechselwirkungen</b>																															
		E3 LIS																															
<b>Wirkung</b>																																	
Der geplante Ladehub liegt direkt an der B31 mit einem täglichen Verkehrsaufkommen von 44.000 Kfz. Der Standort ist gut einsehbar und kann ideal zum "Auftanken" für den Durchgangsverkehr und für Bewohner_innen von Freiburg genutzt werden. Thema Elektromobilität rückt stärker in die öffentliche Wahrnehmung. Für E-Auto-Fahrer wird die nötige Ladeinfrastruktur geschaffen, um schnell mit hoher Leistung zu laden (Reichweitensicherheit). Damit ist die Maßnahme ein wesentlicher Baustein zur Förderung der Elektromobilität in Freiburg und der Region.																																	
<b>Wirkungspotenzial NO<sub>x</sub>-Minderung</b>																																	
Ladehub ermöglicht Reichweitensicherheit und erleichtert damit die Anschaffung von Elektroautos. Zudem Lademöglichkeit für Bewohner_innen Freiburgs.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO<sub>x</sub>-Minderung</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	kurzfristig			X			mittelfristig			X			langfristig			X								
NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
kurzfristig			X																														
mittelfristig			X																														
langfristig			X																														
<b>Umsetzungschancen / mögliche Widerstände und Risiken</b>																																	
Abhängig von der Zustimmung des Aufsichtsrats privater Investoren.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ums.-Chancen</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>generell</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	generell					X	kurzfristig				X		mittelfristig					X	langfristig					X
Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
generell					X																												
kurzfristig				X																													
mittelfristig					X																												
langfristig					X																												
<b>Kosten</b>																																	
Für die Stadtverwaltung fallen keine wesentlichen Projektkosten an (ggf. begleitendes Marketing).		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kosten</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Investition</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Investition					X	Betrieb					X												
Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Investition					X																												
Betrieb					X																												
<b>Personalaufwand Verwaltung</b>																																	
Geringer Personalaufwand für Stadtverwaltung (Vertragliches, Beschilderung, ggf. begleitendes Marketing).		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Aufwand</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Planung</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Planung					X	Betrieb					X												
Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Planung					X																												
Betrieb					X																												
<b>Bewertung / Empfehlung</b>			<b>Priorität</b>																														
			sehr hoch X																														
			hoch																														
			mittel																														
			gering																														
			sehr gering																														

Nr.	Maßnahmentitel	Baustein	Urheber																														
<b>E5</b>	<b>E-Mobilität im Städtebau</b>	Elektromobilität	badenova																														
<b>Maßnahmenbeschreibung</b>		<b>Akteure</b>																															
<p><b>Erstellung eines Leitfadens für Bauherren und Investoren (Neubauten/Sanierungen):</b> Bauherren/Investoren müssen informiert werden, welche Vorkehrungen zu treffen sind, um bei Bedarf Ladestationen aufzubauen (Hausanschluß), Verlegung von Leerrohren/Stromleitungen, Absprache mit Netzbetreiber, Meldepflicht etc.)</p> <p><b>Festlegung von Vorgaben zur E-Mobilität in städtebaulichen Verträgen (vgl. EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden):</b> Vorgabe zur Vorverkabelung von Stellplätzen für Wohn- und Geschäftsgebäude. Evtl.: einzelne Neubaugebiete / neuer Stadtteil als Leuchtturmprojekt besonders herausheben</p>		<p>Stadt: GuT, StaPlaAmt, UWSA Extern: Bauherren, Investoren, Netzbetreiber</p>																															
		<b>Voraussetzungen</b>																															
		keine																															
		<b>Synergien / Wechselwirkungen</b>																															
		E3-E4: Ladeinfrastruktur E6: Information und Beratung																															
<b>Wirkung</b>																																	
<p>Die Aufbereitung der Informationen in einem Leitfaden ermöglicht einen einfachen Zugang zum Thema E-Mobilität. Durch das Aufzeigen der einzelnen Handlungsschritte wird der Aufbau von Ladeinfrastruktur erleichtert.</p> <p>Werden konkrete Vorgaben zum Aufbau von Ladeinfrastruktur in städtebaulichen Verträgen festgehalten, so ist der tatsächliche Ausbau von Ladeinfrastruktur garantiert.</p> <p>Die aktive Ansprache von Bauherren zum Zeitpunkt der Gebäude-/Sanierungsplanung ermöglicht für <u>Elektromobilität frühzeitig technische Vorkehrungen aufzutreffen</u></p>																																	
<b>Wirkungspotenzial NO<sub>x</sub>-Minderung</b>																																	
Indirekte Einsparung: durch die Vorgaben zum Aufbau von LIS, wird die Anschaffung von E-Fahrzeugen erleichtert. Einsparung durch die Substitution von Verbrennungsmotoren.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO<sub>x</sub>-Minderung</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	kurzfristig			X			mittelfristig				X		langfristig				X							
NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
kurzfristig			X																														
mittelfristig				X																													
langfristig				X																													
<b>Umsetzungschancen / mögliche Widerstände und Risiken</b>																																	
Vorgaben zu E-Mobilität können für Flächen im Eigentum der Stadt und bei städtebaulichen Verträgen gemacht werden. Leitfaden durch externen Auftragnehmer erstellt werden. Umsetzungschancen sehr hoch.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ums.-Chancen</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>generell</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	generell					X	kurzfristig					X	mittelfristig					X	langfristig					X
Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
generell					X																												
kurzfristig					X																												
mittelfristig					X																												
langfristig					X																												
<b>Kosten</b>																																	
Kosten fallen an für die Beauftragung zur Erstellung des Leitfadens sowie für Beratungsleistungen an.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kosten</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Investition</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Investition				X		Betrieb					X												
Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Investition				X																													
Betrieb					X																												
<b>Personalaufwand Verwaltung</b>																																	
Auftragsvergabe Leitfaden, Erstellung Vorlage für städtebauliche Verträge, Betreuung der Beratungsleistungen.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Aufwand</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Planung</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Planung				X		Betrieb					X												
Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Planung				X																													
Betrieb					X																												
<b>Bewertung / Empfehlung</b>			<b>Priorität</b>																														
xxxx			<table border="1"> <tbody> <tr> <td>sehr hoch</td> <td></td> </tr> <tr> <td>hoch</td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>gering</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>sehr gering</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	sehr hoch		hoch		mittel		gering	2	sehr gering																					
sehr hoch																																	
hoch																																	
mittel																																	
gering	2																																
sehr gering																																	



Nr.	Maßnahmentitel	Baustein	Urheber																														
<b>E6</b>	<b>Informations- und Beratungsangebot zu E-Mob</b>	<b>Elektromobilität</b>	<b>badenova</b>																														
<b>Maßnahmenbeschreibung</b>		<b>Akteure</b>																															
<p>Entwicklung eines <b>Informations- und Kommunikationskonzepts</b> zu E-Mobilität (Webseiten, Infobroschüren, Aktionstage, Beratungstermine)</p> <p>Zielgruppenspezifische Bereitstellung von Informationen zu Fördermöglichkeiten, Wirtschaftlichkeit, Ökobilanz, Gesetzen, Leitfaden für den Aufbau von privaten/halböffentl. LIS, sowie zu allen städtischen Aktivitäten im Bereich der E-Mobilität (aktueller Stand des LIS-Ausbaus, E-Carsharing, Aktionstage, spezielle Förderungen, etc.). Ggf. Aufbau einer <b>eigenen Anlaufstelle zu elektrischem und allgemein nachhaltigem Verkehr</b> Bürgerinnen und Bürger sowie für Unternehmen (Beratung von</p>		<p>Stadt: GuT und UWSA</p>																															
		<b>Voraussetzungen</b>																															
		Personal- und Finanzmittel																															
		<b>Synergien / Wechselwirkungen</b>																															
		alle anderen Maßnahmen zu E-Mobilität (E1-E5)																															
<b>Wirkung</b>																																	
<p>Durch die Bereitstellung von Informationen wird das Thema E-Mobilität in die öffentliche Wahrnehmung gebracht. Eine zielgruppenspezifische Aufbereitung und Kommunikation, praktische Tipps wie zum Aufbau von LIS und der Bereitstellung von Testangeboten im Rahmen von Aktionstagen ermöglicht Bürgern und Unternehmen einen einfachen Zugang zum Thema E-Mobilität und damit den Umstieg vom Verbrenner auf ein E-Fahrzeug. Durch den Aufbau einer eigenen Anlaufstelle zu nachhaltigem Verkehr (inkl. E-Mobilität) gewinnt das Thema an Relevanz, wobei E-Mobilität in die nachhaltige Verkehrsplanung eingebettet wird.</p>																																	
<b>Wirkungspotenzial NO<sub>x</sub>-Minderung</b>																																	
<p>Indirekte Einsparung: durch die Bereitstellung von Informationen für die unterschiedlichen Zielgruppen wird die Anschaffung von E-Fahrzeugen und damit der Ersatz von Verbrennungsfahrzeugen gefördert.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO<sub>x</sub>-Minderung</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	kurzfristig		X				mittelfristig			X			langfristig				X							
NO <sub>x</sub> -Minderung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
kurzfristig		X																															
mittelfristig			X																														
langfristig				X																													
<b>Umsetzungschancen / mögliche Widerstände und Risiken</b>																																	
<p>Umsetzungschancen grundsätzlich sehr hoch, da in eigener Verantwortung. Aufbau einer Beratungsstelle jedoch aufwändig.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ums.-Chancen</th> <th>sehr gering</th> <th>gering</th> <th>mittel</th> <th>hoch</th> <th>sehr hoch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>generell</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>kurzfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>mittelfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>langfristig</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch	generell				X		kurzfristig				X		mittelfristig				X		langfristig					X
Ums.-Chancen	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch																												
generell				X																													
kurzfristig				X																													
mittelfristig				X																													
langfristig					X																												
<b>Kosten</b>																																	
<p>Kosten fallen an für die Erstellung eines Informations- und Kommunikationskonzepts, sowie Personalkosten für die Beratungsstelle bei der Stadt.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kosten</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Investition</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Investition			X			Betrieb			X														
Kosten	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Investition			X																														
Betrieb			X																														
<b>Personalaufwand Verwaltung</b>																																	
<p>Personalaufwand erforderlich zu Vergabe und Begleitung von Aufträgen an Externe, sowie zur Steuerung und Initiierung von Beratungen und Kampagnen.</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Aufwand</th> <th>sehr hoch</th> <th>hoch</th> <th>mittel</th> <th>gering</th> <th>sehr gering</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Planung</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Betrieb</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering	Planung		X				Betrieb			X														
Aufwand	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering																												
Planung		X																															
Betrieb			X																														
<b>Bewertung / Empfehlung</b>			<b>Priorität</b>																														
			sehr hoch																														
			hoch																														
			mittel																														
			gering																														
			sehr gering																														
			X																														

## 8. Abkürzungsverzeichnis

---

<b>AC</b>	Alternate Current
<b>ADAC</b>	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
<b>AFID</b>	Alternative Fuels Infrastructure Directive
<b>BAFA</b>	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
<b>BDEW</b>	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle
<b>BMJV</b>	Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
<b>BMVI</b>	Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur
<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<b>BNetzA</b>	Bundesnetzagentur
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>DC</b>	Direct Current
<b>DLR</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
<b>KIT</b>	Karlsruher Institut für Technologie
<b>EEG</b>	Erneuerbare-Energien-Gesetz
<b>EmoG</b>	Elektromobilitätskonzept
<b>FI</b>	Fehlerstrom-Schutzschalter
<b>GuT</b>	Garten- und Tiefbauamt
<b>HEV</b>	Hybrid Electric Vehicle
<b>IFEU</b>	Institut für Energie- und Umweltforschung
<b>KBA</b>	Kraftfahrtbundesamt
<b>KfW</b>	Kreditanstalt für Wiederaufbau
<b>KfZ</b>	Kraftfahrzeug
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>kWh</b>	Kilowattstunde
<b>LCA</b>	Lebenszyklusanalyse
<b>LIS</b>	Ladesäuleninfrastruktur
<b>LSV</b>	Ladesäulenverordnung
<b>M2G</b>	meter2grid-Consult, Beratungsunternehmen
<b>MIV</b>	Motorisierter Individualverkehr
<b>MW</b>	Megawatt

<b>MWh</b>	Megawattstunde
<b>NO<sub>x</sub></b>	Stickoxid
<b>NPE</b>	Nationale Plattform Elektromobilität
<b>OCPP</b>	Open Charge Point Protocol, Freier Ladepunkt Kommunikationsstandard
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>PHEV</b>	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
<b>PKW</b>	Personenkraftwagen
<b>POI</b>	Point of Interest
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>PwC</b>	PricewaterhouseCoopers, Unternehmensberatung
<b>UWSA</b>	Umweltschutzamt
<b>V2G</b>	Vehicle to grid, Fahrzeug zu Stromnetz
<b>VAG</b>	Freiburger Verkehrs-AG
<b>VDE</b>	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik



## 9. Literaturverzeichnis

---

ADAC (2018A). Was kosten die neuen Antriebsformen? Kostenvergleich E-Fahrzeuge + Plug-in-Hybride gegen Benziner und Diesel aus April-Ausgabe 2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.adac.de/\\_mmm/pdf/E-AutosVergleich\\_260562.pdf](https://www.adac.de/_mmm/pdf/E-AutosVergleich_260562.pdf)

ADAC (2018B). Kostenvergleich: Wenige E-Autos rentabel. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.adac.de/infotestrat/adac-im-einsatz/motorwelt/e\\_auto\\_kostenvergleich.aspx](https://www.adac.de/infotestrat/adac-im-einsatz/motorwelt/e_auto_kostenvergleich.aspx)

ADAC (2018c). ADAC Pannenstatistik 2018 vom 19.04.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/sicher-mobil/adac-pannenstatistik-2018/>

ADAC (2018D). Prima fürs Klima. ADAC Motorwelt 4/2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.adac.de/\\_ext/motorwelt/ADAC-Motorwelt-4-2018.pdf](https://www.adac.de/_ext/motorwelt/ADAC-Motorwelt-4-2018.pdf)

AMT FÜR ÖFFENTLICHE ORDNUNG DER STADT FREIBURG IM BREISGAU (2018): E-Mail-Verkehr. 16.07.2018

AUTOMOBILWOCHE (2018). Teststrecke für Oberleitungs-Lkw: Erste Masten für eHighway in Hessen werden aufgestellt am 18.4.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.automobilwoche.de/article/20180418/Agenturmeldungen/304189951/teststrecke-fuer-oberleitungs-lkw-erste-masten-fuer-ehighway-in-hessen-werden-aufgestellt>

BAKKER, S. UND TRIP, J. J. (2015). An analysis of the standardization process of electric vehicle recharging systems. In *E-Mobility in Europe* (pp. 55-71). Springer, Cham.

BDEW (2018). Strompreis Haushalte 2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.bdew.de/presse/pressemappen/entwicklung-der-strompreise/#Strompreise%20f%C3%BCr%20Haushaltskunden>

BECKER; BÜTTNER; HELD (2018): VERTEILNETZBETREIBER 2030: Abgerufen am 24.08.2018 unter [https://www.beckerbuettnerheld.de/fileadmin/user\\_upload/documents/press/Studie\\_VNB\\_2030.pdf](https://www.beckerbuettnerheld.de/fileadmin/user_upload/documents/press/Studie_VNB_2030.pdf)

BMW (2013). Umwelterklärung BMW i3. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.bmwgroup.com/content/dam/bmw-group-websites/bmwgroup\\_com/responsibility/downloads/de/2015/Umwelterklaerung\\_BMW\\_i3.pdf](https://www.bmwgroup.com/content/dam/bmw-group-websites/bmwgroup_com/responsibility/downloads/de/2015/Umwelterklaerung_BMW_i3.pdf)

BMW (2017): Pressemitteilung „Zyprien: „Einsatz von E-Taxis wird erleichtert“. Abgerufen am 04.09.2018 unter <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2017/20170802-zyprien-einsatz-von-e-taxis-wird-erleichtert.html>

BUNDESAMT FÜR WIRTSCHAFT UND AUSFUHRKONTROLLE - BAFA (2018). Elektromobilität (Umweltbonus). Abgerufen am 01.07.2018 unter [http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/elektromobilitaet\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/elektromobilitaet_node.html)

BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG (2017): Abgerufen am 24.08.2018 unter <https://www.zeit.de/mobilitaet/2017-07/pendler-rekord-arbeitnehmer-stress>

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ BMJV (2015). Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge. BGBl. I S. 898, 5.6.2015. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.gesetze-im-internet.de/emog/EmoG.pdf>

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ BMJV (2017a). Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile, mit Änderungen vom 1. Juni 2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/LSV.pdf>

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ BMJV (2017b). Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG), mit Änderungen vom 31. Aug. 2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter [http://www.gesetze-im-internet.de/enwg\\_2005/EnWG.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/EnWG.pdf)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2017). Wie klimafreundlich sind Elektroautos? Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Verkehr/emob\\_klimabilanz\\_2017\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/emob_klimabilanz_2017_bf.pdf)

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR - BMVI (2017a). Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderrichtlinie-ladeinfrastruktur-elektrofahrzeuge.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR - BMVI (2017b). Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland, mit Änderungen. 28.06.2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.bav.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Foerderung\\_Ladeinfrastruktur/Foerderrichtlinie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bav.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Foerderung_Ladeinfrastruktur/Foerderrichtlinie.pdf?__blob=publicationFile&v=6)

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR - BMVI (2016). Abschlussbericht: Bewertung der Praxistauglichkeit und Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-389565.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE - BMWi (2017a) Rahmenbedingungen und Anreize für Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rahmenbedingungen-und-anreize-fuer-elektrofahrzeuge.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE - BMWi (2017b). IKT für Elektromobilität III – Innovationen in der Elektromobilität.. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderrichtlinie-ladeinfrastruktur-elektrofahrzeuge.html>

BUNDESNETZAGENTUR BNETZA (2016). Anzeige von Ladepunkten. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulen/Anzeige\\_Ladepunkte\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulen/Anzeige_Ladepunkte_node.html)

BUNDESNETZAGENTUR BNETZA (2018). Ladesäulenkarte. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte_node.html)

BUNDESREGIERUNG (2016A). Elektromobilität - Einigung auf Kaufprämie für E-Autos. 27.04.2016. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2016/04/2016-04-27-foerderung-fuer-elektroautos-beschlossen.html>



BUNDESREGIERUNG (2016B). Gesetz in Kraft getreten - Weitere Steuervorteile für Elektroautos. 21.11.2016. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2016/05/2016-05-18-elektromobilitaet.html>

BUNDESREGIERUNG (2018). Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode. Ein neuer Aufbruch für Europa, eine neue Dynamik für Deutschland, ein neuer Zusammenhalt für unser Land. 14.03.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_Anlagen/2018/03/2018-03-14-koalitionsvertrag.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2018/03/2018-03-14-koalitionsvertrag.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

BUNDESVERBAND CARSHARING E.V. (2016): CarSharing fact sheet Nr. 3. Berlin. Abgerufen am 11.09.2018 unter [http://www.car-sharing.info/sites/default/files/uploads/bcs\\_factsheet\\_3.pdf](http://www.car-sharing.info/sites/default/files/uploads/bcs_factsheet_3.pdf)

BUNDESVERBAND CARSHARING E.V. (2018A): Zahlen und Fakten. Abgerufen am 17.09.2018 unter <https://carsharing.de/alles-ueber-carsharing/carsharing-zahlen/aktuelle-zahlen-daten-zum-carsharing-deutschland>

BUNDESVERBAND CARSHARING E.V. (2018B): Was ist CarSharing? Abgerufen am 11.09.2018 unter <https://www.carsharing.de/alles-ueber-carsharing/ist-carsharing/ist-carsharing>

BUNDESVERBAND CARSHARING E.V. (2018C): Elektromobilität und Carsharing. Abgerufen am 18.09.2018 unter <https://carsharing.de/themen/elektromobilitat/elektromobilitat-carsharing>

CENTER OF AUTOMOTIVE MANAGEMENT CAM (2018). Absatztrends in wichtigen globalen Automobilmärkten - 1. Quartal 2018. Pressemeldung vom 17. April 2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter [http://auto-institut.de/index\\_htm\\_files/Pressemitteilung%20Elektro\\_1.%20Quartal%202018\\_v1.0\\_SB.pdf](http://auto-institut.de/index_htm_files/Pressemitteilung%20Elektro_1.%20Quartal%202018_v1.0_SB.pdf)

CHADEMO (2018). What is CHAdeMO. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.chademo.com/about-us/what-is-chademo/>

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT UND RAUMFAHRT E.V. (DLR) & KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (2016): LADEN2020. Konzept zum Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur in Deutschland von heute bis 2020. Karlsruhe.

ELECTRICDRIVE (2018). CEUC: Neuer Schnellladekorridor für Zentral- & Osteuropa, in [electricdrive.net](http://electricdrive.net) am 26.04.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.electrive.net/2018/04/26/ceuc-neuer-schnellladekorridor-in-zentral-osteuropa/>

ELECTRICDRIVE (2018a). Göttingen nimmt erstes Hybridbus-Trio in Betrieb, am 16.4.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.electrive.net/2018/04/16/goettingen-nimmt-erstes-hybridbus-trio-in-betrieb/>

ELECTRICDRIVE (2018b). In Kiel sollen noch dieses Jahr 29 Hybridbusse pendeln, am 16.4.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.electrive.net/2018/04/16/in-kiel-sollen-noch-dieses-jahr-29-hybridbusse-pendeln/>

ELECTRICDRIVE (2018c). Ladeinfrastruktur: So lädt Deutschland bis 2025. Abgerufen am 17.09.2018 unter <https://www.electrive.net/2018/02/26/ladeinfrastruktur-so-laedt-deutschland-bis-2025/>

ELECTRIFY BW (2018): Abgerufen am 24.08.2018 unter <https://electrify-bw.de/stromspeicher-trifft-mobilitaet/>

ELEKTROAUTO-NEWS.NET (2018). Elektroauto Vorteile – Vorteile des Elektroantriebs. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.elektroauto-news.net/elektroauto-vorteile-vorteile-des-elektroantriebs>

ENTSORGUNG.DE (2014). Autoverschrottungen 2014 in Deutschland - Entsorgungsstatistik für das 1. Halbjahr 2014. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.entsorgung.de/autoverschrottungen-2014.xhtml>

E-STATIONS.DE (2018). Elektroautos in der Übersicht. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.e-stations.de/elektroautos/liste>

EU (2014). Richtlinie 2014/94/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. Im Amtsblatt der Europäischen Union vom 28.10.2014. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=DE>

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2018). Questions & Answers on Energy Performance in Buildings Directive. European Commission, News vom 17.4.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://ec.europa.eu/info/news/questions-answers-energy-performance-buildings-directive-2018-apr-17\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/questions-answers-energy-performance-buildings-directive-2018-apr-17_en)

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE (2011). Towards E-Mobility: The Challenges Ahead. [https://www.lowcvp.org.uk/assets/reports/emobility\\_full\\_text\\_fia.pdf](https://www.lowcvp.org.uk/assets/reports/emobility_full_text_fia.pdf)

FRAUNHOFER ISI (2016): Auswirkungen von Elektromobilität und Photovoltaik auf die Finanzierung deutscher Niederspannungsnetze. Abgerufen am 24.08.2018: [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2016/SEF\\_Endbericht.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2016/SEF_Endbericht.pdf)

FREIBURGER TAXI-VEREINIGUNG E.V. (2016): Internetauftritt. Abgerufen am 28.08.2018 unter <https://www.taxi-verein.de/cms>

FREIBURGER VERKEHRS AG (2018A): Zahlen und Fakten. Abgerufen am 28.08.2018 unter <https://www.vag-freiburg.de/die-vag/zahlen-fakten.html>

FREIBURGER VERKEHRS AG (2018B): VAG und Klimaschutz. Abgerufen am 28.08.2018 unter <https://www.vag-freiburg.de/die-vag/vag-klimaschutz.html>

GREENGEAR.DE (2018). Elektroauto Preise: Wie viel kosten die batteriebetriebenen Elektroautos im Jahr 2018? Abgerufen am 27.4.2018 unter <https://www.greengear.de/elektroauto-preise-uebersicht-kosten-vergleich-kaufen-2018/>

HAGER, K.; RID, W.; SCHMID, M.; TÖZUN, R.; VOGT, M. (2017): Umsetzungsstudie Elektro Taxi Aktionsplan Stuttgart

HANDELSBLATT (2017a). Elektromobilität als Herzensangelegenheit. In Handelsblatt-Journal, Mai 2017, Seite 10-12. Abgerufen am 01.07.2018 unter [http://auto-institut.de/index\\_htm\\_files/P6200067\\_HBJ-Automobil%2010.pdf](http://auto-institut.de/index_htm_files/P6200067_HBJ-Automobil%2010.pdf)

HANDELSBLATT (2017b). Eine Million E-Autos bis 2020 Merkel nennt Regierungsziel unrealistisch, 15.05.2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/eine-million-e-autos-bis-2020-merkel-nennt-regierungsziel-unrealistisch/19806768.html>

HEIER; HUTTERER; HABER (2018): Anwendung der Lastgangrechnung am Beispiel der Elektromobilität. Abgerufen am 24.08.2018 unter [https://www.tugraz.at/fileadmin/user\\_upload/Events/Eninnov2018/files/kf/Session\\_G3/KF\\_Heier.pdf](https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2018/files/kf/Session_G3/KF_Heier.pdf)

IFEU (2017): Freiburg Klimaschutzbilanz. Abgerufen am 24.08.2018 unter [https://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params\\_E-1741820677/1163437/2014\\_Freiburg\\_Klimaschutzbilanz.pdf](https://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params_E-1741820677/1163437/2014_Freiburg_Klimaschutzbilanz.pdf)

INSIDEEVS.COM (2018). Nearly 90,000 Electric Buses Were Sold In China In 2017, am 19.4.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://insideevs.com/nearly-90000-electric-buses-were-sold-in-china-in-2017-yutong-delivered-twice-more-than-byd/>

INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG - IFEU (2017). Einfluss der Herkunft des getankten Stroms. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.emobil-umwelt.de/index.php/umweltbilanzen/einflussgroessen/strommix>

RADKAU, J. (2014). The Age of Ecology: A Global History. Cambridge: Polity Press, 546 S. ISBN 978-0-7456-6216-9.

KfW (2018). KfW-Umweltprogramm, Kredit 240/241, Merkblatt. Stand Januar 2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.kfw.de/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000002220-Merkblatt-240-241.pdf](https://www.kfw.de/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000002220-Merkblatt-240-241.pdf)

KRAFTFAHRTBUNDESAMT KBA (2016). Fahrzeugzulassungen (FZ) Besitzumschreibungen und Außerbetriebsetzungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter Jahr 2016. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2016/fz16\\_2016\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2016/fz16_2016_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

KRAFTFAHRTBUNDESAMT KBA (2018a). CO<sub>2</sub>-Emissions und Kraftstoffverbrauchs Typprüfwerte von Kraftfahrzeugen zur Personenbeförderung mit höchstens neun Sitzplätzen und Wohnmobilen (Klasse M1: Pkw, Wohnmobile) Stand: 15. März 2018 SV 2.2.2. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Fahrzeugtechnik/SV/sv222\\_m1\\_kraft\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=18](https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Fahrzeugtechnik/SV/sv222_m1_kraft_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=18)

KRAFTFAHRTBUNDESAMT KBA (2018b). Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2018. Abgerufen am 17.09.2018 unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html)

KRAFTFAHRTBUNDESAMT KBA (2018b). Neuzulassungen von Pkw in den Jahren 2007 bis 2016 nach ausgewählten Kraftstoffarten Stand: 31. Dez. 2016. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n\\_umwelt\\_z.html?nn=652326](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n_umwelt_z.html?nn=652326)

KRAFTFAHRTBUNDESAMT KBA (2018c). Bestand am 1. Januar 2018 nach Umwelt-Merkmalen. Abgerufen am 17.09.2018 unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/umwelt\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/umwelt_node.html)

KRAFTFAHRTBUNDESAMT KBA (2018c). Jahresbilanz der Neuzulassungen 2017 Stand: 31. Dez. 2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassungen\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassungen_node.html)

LASTENVELO E.V. (2018): Lastenräder Übersicht. Abgerufen am 28.08.2018 unter <http://www.lastenvelofreiburg.de/#lastenraeder>

M2G-KONFERENZ (2018). Lab2Reality, Konferenz des Mobility2Grid-Forschungscampus. Am 12.4.2018. Agenda abrufbar unter <http://mobility2grid.de/konferenz/>

MANAGER MAGAZIN (2018). Post-Chef entwirft drei Szenarien für den Streetscooter, 18.06.2018. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/industrie/deutsche-post-baut-streetscooter-bis-2020-a-1213507.html>

MENNEKES (2018): Charge up in Control Flyer Lastmanagement. Abgerufen am 24.08.2018 unter [https://www.chargeupyourday.de/fileadmin/06\\_service/02\\_broschueren/00\\_pdf\\_dateien/Charge\\_up\\_in\\_Control.pdf](https://www.chargeupyourday.de/fileadmin/06_service/02_broschueren/00_pdf_dateien/Charge_up_in_Control.pdf)

MINISTERIUM FÜR VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (2017). Bekanntmachung des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg, Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Baden-Württemberg. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/Elektromobilitaet\\_Foerder-richtlinie\\_Ladeinfrastruktur\\_12\\_17.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/Elektromobilitaet_Foerder-richtlinie_Ladeinfrastruktur_12_17.pdf)

NATIONALE ORGANISATION WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLENTechnologie (O.J.): Starterset Elektromobilität- Baustein ÖPNV. Abgerufen am 13.09.2018 unter <http://www.starterset-elektromobilitaet.de/Bausteine/OEPNV>

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT (NPE) (2017): Abgerufen am 24.08.2018 unter <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/themen/ladeinfrastruktur/>

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT NPE (2015). Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015 AG. Berlin.

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT NPE (2018B). Abgerufen am 10.09.2018 unter <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/themen/ladeinfrastruktur/>.

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT NPE (2018A). Informieren Sie sich über die Themen. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/themen/umwelt/#tabs>

ÖKOINSTITUT (2017). Handlungsbedarf und -optionen zur Sicherstellung des Klimavorteils der Elektromobilität. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Klimavorteil-E-Mob-Endbericht.pdf>

OLIVER WYMAN (2018): Der E-Mobilitäts-Blackout Studie. Abgerufen am 24.08.2018 unter [https://www.oliverwyman.de/content/dam/oliver-wyman/v2-de/publications/2018/Jan/2018\\_OliverWyman\\_E-MobilityBlackout.pdf](https://www.oliverwyman.de/content/dam/oliver-wyman/v2-de/publications/2018/Jan/2018_OliverWyman_E-MobilityBlackout.pdf)

OPEN CHARGE ALLIANCE (2018). Download OCPP 2.0 now. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp/ocpp-20/>

PRICE WATERHOUSE COOPERS (2018): E-Bus-Radar. Abgerufen am 05.08.2018 unter <https://www.pwc.de/de/offentliche-unternehmen/e-bus-radar.html>

ROMARE, L.; DAHLÖF, L. (2018). The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. IVL Swedish Environmental Research Institute, Mai 2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede95a9/1496136143435/C243.pdf>

SCHWEDES, O.; KETTNER, S.; TIEDTKE, B. (2012). E-mobility in Germany: With hope for a sustainable development or Fig leaf for particular interests? Environmental Science & Policy, 30,

72 – 80. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.ivp.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/PDF-Dateien/E-mobility\\_\\_in\\_\\_Germany.pdf](https://www.ivp.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/PDF-Dateien/E-mobility__in__Germany.pdf)

SOLAR-PRINZ (2018): Abgerufen am 24.08.2018 unter <http://www.solar-prinz.de/exklusive-tabelle-deutschlands-groeste-solaranlagen/596>

SPIEGEL ONLINE (2017a). Grüne wollen jedes Elektroauto mit 6000 Euro fördern. 27.08.2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter <http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/gruene-wollen-jedes-elektroauto-mit-6000-euro-foerdern-und-verkehrswende-erreichen-a-1164792.html>

STATISTA (2018). Neuzulassungen Elektro-PKW. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244000/umfrage/neuzulassungen-von-elektroautos-in-deutschland/>

STATISTA GMBH 2018: Anzahl der Ladestationen für Elektrofahrzeuge in Deutschland im Zeitraum 1. Quartal 2017 bis 3. Quartal 2018 (Stand: 1. August 2018) Abgerufen am 10.09.2018 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/460234/umfrage/ladestationen-fuer-elektroautos-in-deutschland-monatlich/>

TAXI FREIBURG 55.55.55 GMBH (2017): Internetauftritt. Abgerufen am 28.08.2018 unter <https://www.taxi-freiburg.de>

TESLA (2018). Aufladen - einfach und überall. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.tesla.com/de\\_DE/charging](https://www.tesla.com/de_DE/charging)

UMWELTBUNDESAMT (2016). Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. Umweltbundesamt Texte 27/2016. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_27\\_2016\\_umweltbilanz\\_von\\_elektrofahrzeugen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf)

UMWELTBUNDESAMT (2017a). Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2016. In Climate Change 15/2017. Mai 2017. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-05-22\\_climate-change\\_15-2017\\_strommix.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-05-22_climate-change_15-2017_strommix.pdf)

UMWELTBUNDESAMT (2017b). Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2016. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26\\_climate-change\\_23-2017\\_emissionsbilanz-ee-2016.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26_climate-change_23-2017_emissionsbilanz-ee-2016.pdf)

VDE (2016). Der Technische Leitfaden, Ladeinfrastruktur Elektromobilität, Version 2. Abgerufen am 01.07.2018 unter <https://www.vde.com/resource/blob/988408/750e290498bf9f75f50bb86d520caba7/leitfaden-elektromobilitaet-2016--data.pdf>

VW (2014). Der e-Golf, das Umweltprädikat. Volkswagen AG, Konzernforschung. Stand 1.2014. Abgerufen am 01.07.2018 unter [https://www.rosier.de/fileadmin/01\\_Fahrzeuge/Neuwagen\\_Pkw/Neuheiten/VW/Golf/vw\\_e\\_golf.pdf](https://www.rosier.de/fileadmin/01_Fahrzeuge/Neuwagen_Pkw/Neuheiten/VW/Golf/vw_e_golf.pdf)

WERWITZKE, C. (2018) Coup testet E-Roller im „kleinen“ Tübingen. Abgerufen am 25.08.2018 unter <https://www.electrive.net/2018/06/25/coup-testet-e-roller-sharing-im-kleinen-tuebingen/>

Diese Studie wurde erstellt durch den Umwelt- und Energiedienstleister

badenova AG & Co. KG  
Tullastraße 61  
79108 Freiburg

**badenova**  
Energie. Tag für Tag

#### Ihr Kontakt

Dr. Susanne Baumgartner

Projektleiterin

Stabsstelle Energiedienstleistungen

[susanne.baumgartner@badenova.de](mailto:susanne.baumgartner@badenova.de)

Telefon: 0761 279-2915

Manuel Baur

Leiter

Stabsstelle Energiedienstleistungen

[manuel.baur@badenova.de](mailto:manuel.baur@badenova.de)

Telefon: 0761 279-2517