Abschlussbericht
Elektromobilitätskonzept der Stadt Breisach am Rhein

erstellt durch
badenova AG & Co. KG
Tullastraße 61
79108 Freiburg im Breisgau

Ansprechpartner:
Manuel Gehring

Auftraggeberin: Stadt Breisach am Rhein
Münsterplatz 1
79206 Breisach am Rhein

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

Autoren: Manuel Gehring
Robin Steudten
Nicolas Pachner
Caroline Pollmann

Dieses Konzept wurde gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

Förderkennzeichen: 03EMK3074

Freiburg i. Br., Januar 2021

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen mit *_innen* gekennzeichnet.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS 3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS 6
TABELLENVERZEICHNIS 9
1. AUSGANGSLAGE 10
1.1 ELEKTROMOBILITÄT ALS TEIL DER MOBILITÄTSWENDE 10
1.2 ROLLE DER STADT BREISACH IM THEMENFELD ELEKTROMOBILITÄT 12
1.3 ZIELSETZUNG 13
1.4 PROJEKTSTRUKTUR UND AUFBAU DES BERICHTS 15
2. GRUNDLAGEN UND ENTWICKLUNG DER ELEKTROMOBILITÄT 16
2.1 VERWENDUNG DES BEGRIFFS „ELEKTROMOBILITÄT“ 16
2.2 ENTWICKLUNG DER ELEKTROMOBILITÄT 16
2.2.1 Geschichtliche Einordnung der Elektromobilität 16
2.2.2 Der Markthochlauf in Deutschland 17
2.2.3 Aktueller E-Fahrzeugbestand in Deutschland 19
2.2.4 Aktueller Stand des Ladeinfrastrukturausbaus in Deutschland 20
2.2.5 Analyse der Hemmnisse beim Aufbau von Ladeinfrastruktur 21
2.3 ELEKTROMOBILITÄT HEUTE 23
2.3.1 Politische Ziele 23
2.3.2 Rechtlicher Rahmen 24
2.3.3 Förderung und Wirtschaftlichkeit 29
2.3.4 Marktverfügbarkeit von E-Fahrzeugen 33
2.3.5 Stromnetzinfrastruktur 34
2.3.6 Ökologie 49
2.3.7 Ein Fazit: Vor- und Nachteile der Elektromobilität 58
3. BESTANDS- UND INFRASTRUKTURANALYSE 60
3.1 STRUKTURDATEN 60
3.2 KFZ-BESTAND UND PENDLERSTRÖME 64
3.3 BESTAND AN ÖFFENTLICHEN E-LADESÄULEN 65
4. AKTEURSBETEILIGUNG UND MAßNAHMENENTWICKLUNG 67
5. ÖFFENTLICHE LADEINFRASTRUKTUR 72
5.1 ABSCHÄTZUNG DER E-FAHRZEUGENTWICKLUNG 72
5.2 LADEBEDÜRFNISSE IN BREISACH 75
5.3 ABSCHÄTZUNG DES BEDARFS AN ÖFFENTLICHER LADEINFRASTRUKTUR 80
5.3.1 Strombereitstellung im öffentlichen und privaten/ halböffentlichen Bereich 81

5.3.2 Standortanalyse für öffentliche Ladeinfrastruktur ... 87
5.3.3 Betrieb und Wirtschaftlichkeit ... 105
6. UNTERSTÜTZUNG BEIM AUFBAU PRIVATER/ HALBÖFFENTLICHER LADEINFRASTRUKTUR ... 109
6.1 WALLBOXFÖRDERUNG ... 110
6.2 LADELÖSUNGEN FÜR TIEFGARAGEN UND STELLPLÄTZE IN EIGENTÜMERGEMEINSCHAFTEN ... 113
6.3 LADELÖSUNGEN AN STRAßENLATERNEN ... 115
6.4 LADELÖSUNGEN IN GEWERBEGEBIETEN ... 116
7. UMRÜSTUNG VON FAHRZEUGFLOTTEN AUF E-FAHRZEUGE ... 118
7.1 KOMMUNALE FUHRPARKFLOTTEN ... 119
7.1.1 Methodik der Fuhrparkanalyse ... 120
7.1.2 Fuhrparkanalyse der Stadt Breisach ... 122
7.2 LADEINFRASTRUKTUR ... 139
7.2.1 Auswahl der geeigneten Ladeinfrastruktur und Standort ... 139
7.2.2 Konkrete Anschaffungsempfehlungen für geeignete Ladeinfrastruktur ... 141
7.3 GEWERBLICHE FUHRPARKFLOTTEN ... 142
7.4 SOZIAL- UND PFLEGEDIENSTE ... 148
8. E-MOBILITÄT IN NEUBAU- UND SANIERUNGSGEBIETEN ... 152
8.1 VERANKERUNG DER E-MOBILITÄT IN DER STADTPLANUNG ... 152
8.2 VOGESENSTRAßE III ... 155
8.3 HINWEISE FÜR BAUHERREN ... 158
9. INFORMATIONSANGEBOT ZU E-MOBILITÄT ... 159
9.1 INFORMATIONEN FÜR BÜRGER_INNEN ... 159
9.1.1 Faktenblätter ... 159
9.1.2 Veranstaltungskonzept ... 161
9.1.3 Stadtanzeiger ... 168
9.1.4 Homepage ... 169
9.2 SCHULEN ALS MULTIPLIKATOR ... 169
10. NACHHALTIGE MOBILITÄTSANGEBOTE ... 171
10.1 E-CAR-SHARING ... 171
10.2 UMRÜSTUNGSPOTENZIALE DER BÜRGERBUSSE AUF E-ANTRIEB ... 178
10.3 MOBILITÄT IM FAHRRADVERKEHR ... 186
10.3.1 Ergänzung des ÖPNV-Angebots mit E-Bikes ... 186
10.3.2 E-Mobilität im Fahrradtourismus ... 188
10.4 MOBILITÄTSSTATION ... 190
11. HANDLUNGSKONZEPT MIT MAßNAHMENVORSCHLÄGEN ... 192
11.1 MAßNAHMENSTECKBRIEFE ... 193

11.2 Information und Kommunikation 212
12. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 214
13. LITERATURVERZEICHNIS 216
14. ANHANG 222
14.1 Ersatzmodelle für Verbrennerfahrzeuge 222
14.2 Übersicht marktverfügbarer E-Lastenfahrräder 224
14.3 Exemplarische Übersicht marktverfügbarer E-Roller 225
14.4 Exemplarische Übersicht marktverfügbarer elektrischer Kommunalfahrzeuge 226
14.5 Exemplarische Übersicht marktverfügbarer E-Kehrfahrzeuge 227
14.6 Informationsschreiben für Tourismusbetriebe 227

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl von zugelassenen BEV-PKWs in Deutschland in den Jahren 2010 bis zum 1. September 2020 (KBA 2020A). 18

Abbildung 2: Absatztrends von wichtigen internationalen Märkten für E-Fahrzeuge (CAM ELECTROMOBILITY REPORT 2020). 18

Abbildung 3: Verteilung der Antriebstechnologien im E-Fahrzeugsegment in Deutschland (Eine Unterteilung in Plug-in-Hybride und Hybride ist erst ab 2018 möglich) (KBA 2020). 19

Abbildung 4: Ladesäulenverordnung (©BUNDESNETZAGENTUR 2016)..... 25

Abbildung 5: WEMoG 2020. Eigene Darstellung. 29

Abbildung 6: Zusätzliche Investitionskosten im Beispielnetz im Jahr 2030 [Tsd. €] (FRAUNHOFER ISI 2016 EIGENE DARSTELLUNG). 38

Abbildung 7: Lastmanagement (MENNEKES 2018)..... 40

Abbildung 8: Lastmanagement (MENNEKES 2018)..... 41

Abbildung 9: Anwendungsbeispiele von Lastmanagement (MENNEKES 2018). 42

Abbildung 10: Erzeugung und Bedarf Erneuerbarer Energien. Quelle: BNNETZE 2019..... 47

Abbildung 11: Reduzierte Lastspitze 2030 durch Gegenmaßnahmen (EIGENE BERECHNUNG). 48

Abbildung 12: CO_2-Emissionen nach Antriebsenergie. Eigene Berechnungen gemäß Quellen (UMWELTBUNDESAMT 2017A, 2017B, KBA 2018, VW 2018). 50

Abbildung 13: Vergleich der Treibhauspotenziale elektrischer und konventioneller Referenzfahrzeuge (Kompaktwagensegment). (BMVI 2016)..... 53

Abbildung 14: CO_2-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 2019). 54

Abbildung 15: CO_2äq-Emissionen in g/km nach Kraftstoffart. ADAC E.V. (2019A)..... 55

Abbildung 16: CO_2 Äquivalent (in Tonnen). ADAC e.V. (2019A). 55

Abbildung 17: Lebenszyklus einer E-Auto Batterie. Quelle: ADAC E.V. (2019B). 57

Abbildung 18: Hauptverkehrswege. Quelle: verändert nach OPENSTREETMAP 2020 und ALKIS Daten der Stadt Breisach 2019. 61

Abbildung 19: Buslinien. Quelle: BÜRGERBUSVEREIN BREISACH E.V. 2020..... 62

Abbildung 20: Radverkehrswege in Breisach. Quelle. OPENSTREETMAP 2020, ALKIS STADT BREISACH 2019. 63

Abbildung 21: KFZ-Zulassungen 2019 (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2020)..... 64

Abbildung 22: Registrierte öffentliche Ladesäulenstandorte in Breisach..... 66

Abbildung 23: Ablauf des Partizipationsprozess 68

Abbildung 24: Webinare zum Thema Ladelösungen. 71

Abbildung 25: Exponentielle Entwicklung des E-Fahrzeugbestands in Deutschland. Eigene Berechnung (VERÄNDERT NACH KBA 2020A). 73

Abbildung 26: Prognostizierte Entwicklung der E-Fahrzeuge in Breisach. Eigene Berechnung. Datengrundlage KBA 2020A UND DIE BUNDESREGIERUNG 2020. 74

Abbildung 27: Örtliche und prozentuale Verteilung der Ladevorgänge. EIGENE DARSTELLUNG. 75

Abbildung 28: Gebäudestruktur. Eigene Darstellung. Quelle: Energie- und CO_2-Bilanz Breisach. 75

Abbildung 29: Siedlungsstruktur von Breisach. Eigene Darstellung. Quelle: ALKIS Breisach 2019. 77

Abbildung 30: Vereinfachte Gebietsdefinition. Quelle: Eigene Darstellung, verändert nach ALKIS 2019 der Stadt Breisach. 78

Abbildung 31: Garagen- und Tiefgaragendichte in Breisach. Quelle: Eigene Darstellung, verändert nach ALKIS 2019 Breisach. 79

Abbildung 32: Anwendungsfälle für private LIS: Quelle: AGORA VERKEHRSWENDE 2020. 81

Abbildung 33: Anwendungsfälle für öffentliche LIS: Quelle: AGORA VERKEHRSWENDE 2020. 81

Abbildung 34: Strombedarfsentwicklung (kWh) auf Basis der prognostizierten E-Fahrzeuge mit Ziel von 7 Mio. E-Fahrzeugen bis 2030. Eigene Darstellung. 83

Abbildung 35: Entwicklung Ladevorgänge Heinrich-Ulmann-Platz. Quelle: Stadt Breisach. 84

Abbildung 36: Entwicklung Ladevorgänge Münsterplatz 1. Quelle: Stadt Breisach. 84

Abbildung 37: Anzahl der öfftl. benötigten Ladesäulen um den prognostizierten Strombedarf der E-Fahrzeuge im öfftl. Raum in 2030 zu decken. EIGENE DARSTELLUNG. 86

Abbildung 38: Potenzielle Standorte für öfftl. LIS. Eigene Darstellung nach AKLIS 2019 Breisach. 87

Abbildung 39: Beispielhafter Ablauf für einen Projektplan zur Errichtung von öffentlicher Ladeinfrastruktur. 107

Abbildung 40: Beispielhafter Projektumsetzungsplan zur Errichtung von öffentlicher LIS. 108

Abbildung 41: Webinar „Ladelösungen für die Wohnungswirtschaft“. 114

Abbildung 42: Checkliste für den E-Fahrzeugkauf 119

Abbildung 43: Klassifizierung des kommunalen Fuhrparks nach Fahrzeugklassen (oben) und Auflistung der vorhandenen Fuhrparkfahrzeuge nach Fahrzeugklassen (unten) 124

Abbildung 44: Übersicht der Erstzulassung der Fahrzeuge des Fuhrparks. Die Farben stehen jeweils für die Zulassung der Fahrzeuge in unterschiedlichen Jahrzehnten. 125

Abbildung 45: Übersicht über die durchschnittlichen täglichen Fahrtstrecken. 125

Abbildung 46: Elektrifizierungspotenzial im Fuhrpark Breisach. 132

Abbildung 47: PV-Carport von Clickcon mit 10 KWp Solarleistung (Quelle: eigenes Bild) 140

Abbildung 48: Gewerbeumfrage Stadt Breisach. 143

Abbildung 49: Bereitschaft, E-Mobilität zu nutzen. Quelle: BADENOVA 2020. 143

Abbildung 50: Gründe welche gegen einen Nutzung von E-Mobilität sprechen. Quelle: BADENOVA 2020. 144

Abbildung 51: Gründe für die Nutzung von E-Mobilität. Quelle: BADENOVA 2020. 144
Abbildung 52: Wunsch nach Lademöglichkeiten. Quelle: BADENOVA 2020. 145
Abbildung 53: Bereitschaft den eigenen Fuhrpark auf E-Fahrzeuge umzurüsten. Quelle: BADENOVA 2020. 146
Abbildung 54: Angebote für Mitarbeiter. Quelle: BADENOVA 2020. 147
Abbildung 55: Agenda Webinar „Ladelösungen für Gewerbebetriebe“. 148
Abbildung 56: Parkplatzsituation Sozialstation Kaiserstuhl-Tuniberg 150
Abbildung 57: Baublock-Zonierung Vogesenstraße III zur Leistungsberechnung. 156
Abbildung 58: Parkzonen und Anzahl TG Stellplätze Vogesenstraße III 157
Abbildung 59: Beispiel eines Faktenblatts. 160
Abbildung 60: Car-Sharing-Standorte und potenzielle E-Car-Sharing-Standorte. Eigene Darstellung. 173
Abbildung 61: Luftbild Bauhof Breisach. Quelle: Luftbild Stadt Breisach. 184
Abbildung 62: Potentielle Standorte für E-Bike Lademöglichkeiten 189
Abbildung 63: Interaktive Karte mit den bereits installierten E-Bike-Lademöglichkeiten in Breisach und Umland, verlinkt auf www.schwarzwald-tourismus.info 190
Abbildung 64: Umsetzung von E-Mobilitätsmaßnahmen 212

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Möglichkeiten, Netzüberlastungen entgegenzutreten. 37
Tabelle 2: Anwendungsfälle (MENNEKES 2018, EIGENE DARSTELLUNG). 41
Tabelle 3: Strombedarfsabschätzung für E-Fahrzeuge in Breisach für das Jahr 2030 45
Tabelle 4: Strombedarf im Bereich E-Mobilität im Jahr 2030 (EIGENE DARSTELLUNG). 46
Tabelle 5: Gesamtstromverbrauch und dezentrale Stromerzeugung. 46
Tabelle 6: Berufspendlersaldo. Quelle: STATISTISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG 2017. 65
Tabelle 7: E-Mobilitäts-Maßnahmen 69
Tabelle 8: Prognostizierte Entwicklung der E-Fahrzeugzahlen in Breisach. Eigene Berechnung. Datengrundlage KBA 2020A. 74
Tabelle 9: Strombedarfsentwicklung in Breisach unter der Annahme steigender E-Fahrzeugzahlen. 82
Tabelle 10: Potenzielle Ladesäulenstandorte 88
Tabelle 11: Potenzielle Standorte für Schnellladeinfrastruktur. 101
Tabelle 12: Ansprechpartner Netzbetreiber 102
Tabelle 13: Priorisierte Standortliste für öfftl. LIS in Breisach 105
Tabelle 14: Handlungsschritte für die Errichtung einer Ladesäule. 107
Tabelle 15: Bsp. Richtlinien der Stadt zur Förderung von Ladestationen für E-Fahrzeuge 111
Tabelle 16: Beispielhaftes Antragsformular 112
Tabelle 17: Beispielhafte Auswahl an E-Fahrzeugen (Stand 2020) (STATISTA 2020a). 118
Tabelle 18: Übersicht über die bestehenden Fahrzeuge im Fuhrpark der Stadt Breisach. 123
Tabelle 19: Elektrifizierungspotenzial der Fahrzeuge des Rathauses. 128
Tabelle 20: Elektrifizierungspotenzial der Fahrzeuge des Klärwerks 130
Tabelle 21: Elektrifizierungspotenzial der Fahrzeuge des Bauhofs. 132
Tabelle 22: CO_2-Emissionen aktuell, nach vollständiger Elektrifizierung sowie die Einsparung durch eine vollständige Elektrifizierung. 135
Tabelle 23: Übersicht möglicher Ladeinfrastruktur für den Fuhrpark. 141
Tabelle 24: Beispielhafte Empfehlung für Ladeinfrastruktur. 142
Tabelle 25: Abschätzung der zusätzlichen Leistung der E-Fahrzeuge Vogesenstraße III. 156
Tabelle 26: E-Car-Sharing-Testing (Begleitende Öffentlichkeitsmaßnahme) 161
Tabelle 27: Testangebote, Informationsstand bei verkaufsoffenem Sonntag 164
Tabelle 28: Bürgerinformationsveranstaltung 166
Tabelle 29: Standorte für E-Car-Sharing 173
Tabelle 30: Zwei Modelltypen von Niederflur E-Bürgerbussen 183
Tabelle 31: Übersicht der erstellten Maßnahmensteckbriefe 192

1. Ausgangslage

1.1 Elektromobilität als Teil der Mobilitätswende

Die Entwicklungen der letzten Jahre zeigen, dass das Mobilitätsbedürfnis der deutschen Bevölkerung weiter zunimmt. Laut Umweltbundesamt nehmen gleichzeitig auch die Emissionen im Verkehrssektor 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 Kommunen und Städte, die aufgrund der schon gut ausgebauten ÖPNV-Netze, alternativer Angebote wie Car-Sharing und der meist kürzeren Wege, die auch mit dem Fahrrad oder zu Fuß bewältigt werden können, den Bürger_innen Alternativen zum eigenen Auto bieten können. Die Mobilitätswende wird für Kommunen und Städte eine der größten Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte sein. Sie ist aber auch eine Chance, das öffentliche Leben attraktiver zu gestalten, die Mobilitätswünsche der Bürger_innen zu erfüllen und gleichzeitig den Nachhaltigkeits- und Klimaschutzzielen gerecht zu werden.

Bei der Gestaltung der Mobilitätswende spielen die Grundsätze der Verkehrspolitik eine zentrale Rolle. Priorität hat hierbei zunächst die Verringerung und Vermeidung des motorisierten Verkehrs in den Städten. An zweiter Stelle steht die Verlagerung des Verkehrs vom privaten KFZ auf den ÖPNV, auf Sharing-Angebote, auf das Fahrradfahren oder das zu Fuß gehen. So sind Städte stets bemüht, die Angebote für alternative und nachhaltige Verkehrsmittel kontinuierlich zu verbessern, wie bspw. in Breisach die Etablierung der zwei Bürgerbuslinien oder die Car-Sharing-Angebote in der Kernstadt. 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 (E-Mobilität) eine entscheidende Rolle spielen.

Im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor haben Elektro-Fahrzeuge (E-Fahrzeuge) den klaren Vorteil, dass beim Fahrbetrieb lokal keine CO_2-Emissionen und nahezu keine NO_x-Emissionen auftreten. Auch fallen die Feinstaubemissionen und bei niedrigen Geschwindigkeiten auch die Geräuschemissionen wesentlich geringer aus. Damit können E-Fahrzeuge einen wichtigen Beitrag für den Immissionsschutz zur Entlastung von Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen leisten. Zudem belegen aktuelle Studien den Klimavorteil von E-Fahrzeugen. Schon heute fallen die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus eines E-Fahrzeugs – d.h. von der Herstellung bis zu Entsorgung – auch unter Verwendung des deutschen Strommixes geringer aus als bei vergleichbaren Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. In Zukunft wird sich dieser Effekt durch den weiteren Ausbau von Erneuerbare-Energien-Anlagen (EE-Anlagen) noch verbessern.

Um den Umweltvorteil von E-Fahrzeugen voll auszuschöpfen sollte das Ziel dennoch sein, den Fahrstrom komplett mit Strom aus EE zu decken und auch im Produktionsprozess bei der energieintensiven Herstellung der Batterien auf EE zu setzen. Damit wird auch ein weiterer Vorteil der E-Mobilität deutlich. Durch die Nutzung regenerativ erzeugten Stroms für Mobilität wird die Sektorenkopplung, 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 intelligent gesteuert wird, können Lastspitzen und ein kostenintensiver Ausbau der Stromnetze verhindert werden.

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-Fahrzeugen steigt kontinuierlich an und wurde im Frühjahr/Frühsommer 2020 nur wenige Monate durch die Corona-Krise ausgebremst. Denn im Juli und August 2020 wurden die höchsten Zulassungszahlen für E-Fahrzeuge verzeichnet (Marktanteil der reinbatterieelektrischen Fahrzeuge (BEV) ca. 5,4 - 6,4 %). Der Anstieg wird durch das Corona-Konjunkturpaket, die abgesenkte Mehrwertsteuer, attraktive Leasingangebote, verschiedene Förderprogramme (bspw. KfW 440) und dem Abbau rechtlicher Hürden bei der Installation von privater Ladeinfrastruktur (LIS) begünstigt. Dennoch werden nach wie vor einige Gründe wie die zu geringe Reichweite, der zu hohe Anschaffungspreis und die mangelnde LIS im öfftl. Raum gegen die E-Mobilität vorgebracht. Alle drei Kritikpunkte sind schon heute oder werden in naher Zukunft nicht mehr von Bedeutung sein. Im weiteren Berichtsverlauf werden die Gründe näher beleuchtet.

Die Anzahl an Fahrzeugmodellen mit Reichweiten von > 350 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 meist noch etwas höheren Anschaffungskosten für E-Fahrzeuge werden i.d.R. durch die geringeren Betriebs- und Wartungskosten wieder wettgemacht. So ist das E-Fahrzeug in den Gesamtkosten auch heute schon wirtschaftlich, da weniger Kosten für Kraftstoff, Wartung und Reparaturen anfallen und steuerliche Vorteile gewährt werden. Auch der Ausbau des Netzes an LIS schreitet voran. Durch die Förderprogramme der Bundesregierung und einiger Bundesländer, wird deutschlandweit in Normal- und Schnellladeinfrastruktur investiert. 2020 wurde das europaweit erste flächendeckende Netz von 400 Ultra-Schnellladestationen mit 350 kW Leistung u.a. an deutschen Autobahnraststätten fertig gestellt.

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 E-Mobilität eine wesentliche Einflussgröße. Hemmschwellen können am besten abgebaut werden, indem man E-Fahrzeuge selbst fährt oder wenigstens Mitfahrer ist. Der Einsatz der Technologie in Car-Sharing-Flotten, aber auch in Taxen und Bussen bietet daher große Chancen die E-Mobilität erfahrbar zu machen und die Bürger_innen zu einem Umstieg zu bewegen.

Weltweite Ressourcenknappheit und die hohe Luftverschmutzung in Kommunen und Städten bringen die Notwendigkeit mit sich, neue Mobilitätskonzepte zu erarbeiten. Die Automobilindustrie hat den Elektromotor als Zukunftstechnologie erkannt und auch deutsche Autohersteller zeigen mit neuen Automodellen, dass sie die E-Mobilität mittlerweile ernst nehmen. Die Neuzulassungen von E-Fahrzeugen nehmen weiter zu und laut des Berichts der Nationalen Plattform E-Mobilität (NPE) werden bis 2025 etwa 15 - 25 % der Neuzulassungen in Deutschland E-Fahrzeuge sein. Im Oktober 2020 wurden 23.158

BEVs zugelassen. Das entspricht einem Anteil an den Neuzulassungen von 8,4 %. Darüber hinaus wurden 62.929 Hybride (darunter 24.859 Plug-in-Hybride) neu zugelassen. Ein Anteil von 22,9 %.

Gleichzeitig hat die Bundesregierung die Rahmenbedingungen für den Durchbruch der E-Mobilität in Deutschland geschaffen. Sie hat Ziele definiert (1 Mio. E-Fahrzeuge bis 2022 und 7 - 10 Mio. bis 2030 auf deutschen Straßen) und entsprechende Gesetze und Förderprogramme auf den Weg gebracht (Elektromobilitätsgesetz (EmoG), WEMoG 2020, Förderprogramme wie Öfftl. LIS und KfW 440, Umweltbonus, Kfz-Steuerbefreiung etc.).

Nun sind auch die Städte 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.

1.2 Rolle der Stadt Breisach im Themenfeld Elektromobilität

Das Themenfeld E-Mobilität wird bisher vor allem von der Automobilindustrie, Energieversorgungsunternehmen, Stadtwerken, Anbietern von Ladelösungen und Forschungseinrichtungen bespielt. Eine Mobilitätswende mit E-Mobilität kann aber nur gelingen, wenn auch die Kommunen den Weg hierfür bereiten. Mittlerweile gibt es auf Bundes- und Landesebene mehrere Institutionen, welche Kommunen und Städte bei der Einführung der E-Mobilität vor Ort begleiten und Handlungsleitfäden herausgeben[1].

Die Stadt kann zur Unterstützung der E-Mobilität verschiedene Rollen einnehmen, die im Folgenden kurz erläutert werden (vgl. GIES ET AL. 2015, DÜTSCHKE ET AL. 2018, STARTERSET ELEKTROMOBILITÄT 2019):

- **Gestalter:** Die Stadt kann durch die Stadt- und Verkehrsplanung als Gestalter auftreten und z.B. bei der Erschließung von Neubaugebieten die Infrastruktur für E-Mobilität berücksichtigen/ vorgeben oder bspw. (E-)Car-Sharing-Stellplätze ausweisen. Wichtig ist, die E-Mobilität in bestehende Planungen und Konzepte mit einzubinden (Umwelt-/Stadt-/Verkehrsplanung).

- **Genehmigungsbehörde:** Durch die Genehmigung von LIS im öffentlichen Raum oder die Einführung von Privilegien für E-Fahrzeuge nach dem Elektromobilitätsgesetz (EmoG) kann die Stadt die E-Mobilität vor Ort fördern.

- **Betreiber:** Mit der Umrüstung (und Erweiterung) des eigenen Fuhrparks auf E-Fahrzeuge kann die Stadt zeigen, wie sich E-Mobilität im Alltag integrieren lässt und damit eine Vorbildfunktion einnehmen. Weiterhin kann der Bau & Betrieb von LIS über die Stadt erfolgen.

- **Impulsgeber und Multiplikator:** Die Stadt kann durch Ausrichtung von Informationsveranstaltungen/-materialien oder durch die gezielte Information von Bürger_innen und Gewerbe das Thema stärker in die öffentliche Wahrnehmung bringen. Gleichzeitig tritt sie als Netzwerker in verschiedenen städtischen Gremien

[1] Bspw. unter https://www.now-gmbh.de/

auf, wo sie sich Informationen aus anderen Gemeinden einholen und gleichzeitig für das Thema werben kann.

Beim Themenkomplex E-Mobilität wird schnell klar, dass es sich um ein Querschnittsthema handelt, das Abstimmungsprozesse über die Ämter hinweg erfordert. Allein beim Thema LIS sind i.d.R. das Tiefbauamt, die Straßenverkehrsbehörde und häufig auch das Amt für Denkmalschutz (sowie der Energieversorger/Netzbetreiber, Tiefbauer und Elektriker) gefragt. Dies bringt die Gefahr mit sich, dass Prozesse länger andauern oder schwer durchsetzbar sind. Andererseits kann das Thema so auch umfassender gedacht und die Arbeit auf mehrere Schultern verteilt werden (STARTERSET ELEKTROMOBILITÄT 2019).

Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung der E-Mobilität ist, dass das Thema auf oberster Ebene politisch gestützt wird. Auch ist von zentraler Bedeutung, einen Ansprechpartner oder „Kümmerer“ zu benennen, der das Thema in der Verwaltung koordiniert. In Breisach bietet sich zur Implementierung und nachhaltigen Verankerung der Elektromobilität idealerweise die Stelle für Klimaschutzmanagement an. Schließlich sollten die wichtigen Akteure in der Verwaltung sowie lokale Akteure aus der Stadt identifiziert und in den Prozess miteingebunden werden (RID ET AL. 2015).

1.3 Zielsetzung

Als oberstes Ziel soll mit Erstellung des kommunalen E-Mobilitätskonzepts ein strategischer Handlungsleitfaden für E-Mobilitätsmaßnahmen erarbeitet werden. Die Konzepterstellung verfolgt einen integralen Ansatz, sowie eine frühzeitige Akteursbeteiligung, vor allem durch die kontinuierliche Einbindung lokaler Akteure und der Mitwirkung städtischer Entscheidungsträger und Mitarbeiter. Das E-Mobilitätskonzept hat entsprechend den Förderregularien nicht den Anspruch das „konventionelle Verkehrssystem inkl. des ÖPNV“ zu betrachten, sondern kann sich nur ausschließlich auf Fragestellungen des Themenbereichs der E-Mobilität beziehen.

Das Handlungskonzept soll als Leitfaden im Sinne eines sukzessiven umzusetzenden Planungsinstruments für eine nachhaltig und innovativ gestaltbare E-Mobilitätsinfrastruktur dienen. Die im Konzept dargestellten Maßnahmen sollen eng aufeinander abgestimmt und in hohem Maße dazu beitragen, den steigenden E-Mobilitätsanforderungen nachhaltig und zukunftsorientiert gerecht werden.

Folgende übergeordnete Ziele standen bei der Erarbeitung im Vordergrund:

- **Bewusstseinsbildung**: Ein wichtiges Ziel des Konzepts ist, das Thema E-Mobilität stärker in die öffentliche Wahrnehmung zu bringen. Der Durchbruch der E-Mobilität scheitert derzeit u. a. an der mangelnden Nachfrage, obwohl E-Fahrzeuge (E-Autos, E-Roller, Pedelecs etc.) für viele Einsatzzwecke bereits alltagstauglich sind.

- **Potenziale identifizieren**: Im Rahmen des Konzepts sollen unter Einbindung der lokalen Akteure und unter Berücksichtigung der lokalspezifischen Gegebenheiten die Potenziale für E-Mobilität identifiziert werden. Die enge Zusammenarbeit mit der Verwaltung und lokaler Akteure ist wichtig, um lokales Know-How und Ideen aufzunehmen, eine Vernetzung zu erreichen und damit die spätere Maßnahmenumsetzung zu erleichtern.

- **Entwicklung umsetzungsorientierter Maßnahmen**: Am Ende der Konzepterstellung soll ein Bündel an Maßnahmen stehen, mit dem sich die Stadt identifizieren kann und für das der Weg in die Umsetzung vorbereitet ist. Die Maßnahmen sollen dazu beitragen, die Stadt beim Ausbau der E-Mobilität zu unterstützen und damit den wachsenden Anforderungen der Bürger_innen und Gewerbetreibenden gerecht zu werden.

- **Signalwirkung in die Region**: Von dem Konzept soll auch eine Signalwirkung in die Region ausgehen, die Verkehrswende einzuleiten und den Weg für die E-Mobilität zu bereiten. Das Konzept soll Vorbild für andere Kommunen und Städte in der Region sein.

Das Konzept zielt u.a. darauf ab, die klimatischen Verhältnisse zu verbessern, um so die hohe Lebensqualität nachhaltig zu gewährleisten und die Attraktivität der Stadt sowie der gesamten Region als Urlaubs-, Wohn-, Arbeits- und Tourismusstandort zu stärken.

Durch einen mehrstufigen Akteurs- und Partizipationsprozess soll durch frühzeitige Einbindung, der im Rahmen der Konzepterstellung und insbesondere für die spätere Maßnahmenumsetzung relevanten Akteursgruppen und Schlüsselfunktionären, eine frühzeitige Konzeptbeteiligung erreicht werden. Dies gewährleitstet insbesondere, dass in einem gemeinsamen Diskurs, im Vorfeld an die Konzeptbearbeitung, sämtliche Wünsche und Anregungen seitens der städtischen Akteure mitaufgenommen sowie Themenschwerpunkte festgelegt werden können. Die Integration lokaler Akteure dient sowohl der frühzeitigen Akzeptanzentwicklung/-stärkung einer späteren Umsetzung als auch der spezifischen Sondierung von besonders relevanten Aspekten und Bedürfnissen einzelner Zielgruppen. Ebenfalls soll der Beteiligungsprozess insbesondere eine ämterübergreifende und akteursspezifische Vernetzung und Verankerung der nachhaltigen und zukunftsorientierten E-Mobilität und den Aufbau von verwaltungsinternem Know-How fördern. Dadurch können aufkommende Hemmnisse frühzeitig identifiziert und abgebaut sowie strategische, planerische und strukturierte Abläufe impliziert werden.

Der Fokus des E-Mobilitätskonzepts soll u.a. auf der Erarbeitung eines Maßnahmenkatalogs liegen, welcher jede Maßnahme umfassend beschreibt und in zusammengefassten Steckbriefen u.a. hinsichtlich Maßnahmen- und Standortbeschreibung, Verantwortlichkeiten, zeitlicher Umsetzung etc. darstellt. Einige Maßnahmen wurden im Rahmen der Konzepterarbeitung bereits angestoßen. Dieser anwendungsorientierte Maßnahmenkatalog kann als Handlungsleitfaden verstanden werden, welcher auf städtischer Ebene Lösungen aufzeigt. Das E-Mobilitätskonzept dient dazu, Potenziale und Möglichkeiten im Bereich der E-Mobilität zu identifizieren, zu analysieren und umsetzungsorientierte Maßnahmen zu entwickeln, welche der städtischen Energie- und insbesondere der Verkehrswende dienen sollen. Zudem wird darauf verwiesen, welche Rolle und Verantwortung der Stadt im Kontext der Entwicklung und dem Ausbau der E-Mobilität als Gestalter, Treiber, Genehmigungsbehörde, Betreiber/ Nutzer, Multiplikator sowie Bewusstseinsbilder zukommt.

1.4 Projektstruktur und Aufbau des Berichts

Der Weg zu einem nachhaltigen und zukunftsorientierten E-Mobilitätskonzept wird in übergeordnete Arbeitsphasen unterteilt und folgt der strukturellen und inhaltlichen Vorgabe des bewilligten Förderprojekts mit dem Förderkennzeichen *03EMK3074* vom 23.07.2019 zur Erstellung eines kommunalen E-Mobilitätskonzepts.

Die Projektbearbeitung erfolgte in einem partizipativen Prozess im Zeitraum von Januar 2020 bis Januar 2021. Der Aufbau ist wie folgt:

In Kapitel 2 werden einige Grundlagen erläutert und die Entwicklung der E-Mobilität beschrieben. Es wird darauf verzichtet sämtliche technischen Grundlagen zu beschreiben. Hierfür gibt es bereits ausreichend gute Literatur und Onlineseiten. Außerdem werden die häufig kritisch diskutierten Themen „Auswirkungen der E-Mobilität auf die Stromnetzinfrastruktur“ und „Ökologie“ erläutert.

Daraufhin folgt in Kapitel 3 die Bestands- und Infrastrukturanalyse für die Stadt Breisach, welche die Grundlage für die Potenzialanalyse bildet. In Kapitel 4 wird der Ablauf der Potenzialanalyse mit Akteursbeteiligung beschrieben, aus dem u.a. die E-Mobilitätsmaßnahmen hervorgingen.

In den folgenden Kapiteln werden schließlich die Themenfelder dargestellt, in denen die Stadt aktiv werden kann, um den Weg für die E-Mobilität vor Ort zu bereiten. Dies ist in Kapitel 5 der Aufbau von Öffentlicher Ladeinfrastruktur, in Kapitel 6 die Unterstützung beim Aufbau privater/ halböffentlicher Ladeinfrastruktur, in Kapitel 7 die Umrüstung von Fahrzeugflotten auf E-Fahrzeuge. In Kapitel 8 folgt eine Beschreibung von Möglichkeiten zur Integration der E-Mobilität in Neubau- und Sanierungsgebieten. Kapitel 9 stellt diverse Informationsangebote für Bürger_innen zusammen. Kapitel 10 beleuchtet nachhaltige E-Mobilitätselemente wie E-Car-Sharing, E-Fahrradtourismus oder Potenziale zur Umrüstung der Bürgerbusse auf E-Antrieb.

Aus diesen Themen gehen konkrete Maßnahmenvorschläge hervor, die größtenteils in Steckbriefen in Kapitel 11 dargestellt sind. Ebenfalls erfolgt eine Beschreibung der Schritte welche zu ergreifen sind, um das Konzept auch nachhaltig in der Stadt zu verankern.

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 E-Fahrzeug 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 Fahrzeuge (BEV) als auch Plug-in-Hybride (PHEV). Nicht betrachtet werden Hybridfahrzeuge ohne Netzstecker und Wasserstofffahrzeuge. 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 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.

Diese Abgrenzung findet primär aufgrund der gänzlich anderen Tankinfrastruktur sonstiger genannter Fahrzeuge statt. Aussagen über Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit eines Technologiemixes in einer zukünftigen Mobilitätswende sind nicht Inhalt dieser Ausarbeitung.

2.2 Entwicklung der Elektromobilität

2.2.1 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 batteriebetriebenen E-Fahrzeugen. Zeitweise überstieg die Anzahl der E-Fahrzeuge die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. U. a. mit dem Aufbau einer Tankinfrastruktur, und einer skalierbaren Ölförderung

und Produktion von Verbrennungsmotoren geriet die Technologie der E-Fahrzeuge jedoch schnell in den Hintergrund. Erst in den 90er Jahren wurde die Technologie durch die damaligen ökologischen und ökonomischen Debatten wieder relevanter (RADKAU 2014). Das E-Fahrzeug EV1 von General Motors gilt auch heute noch als Ikone der damaligen Entwicklung.[2] 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 fortgeschrittene Batterietechnologie und die damalige Wirtschaftskrise, welche zusätzlichen Druck auf die Automobilindustrie ausübte.

Seit dem erneuten Aufschwung der E-Mobilität sind der Umweltschutz (vor allem die CO_2-Reduktion und die urbane Lärmminderung), die Verbindung mit der Energiewende (z.B. Überschussstrom, Peak-Shaving, zunehmender erneuerbarer Anteil am Gesamtstrom) und zunehmend auch die Digitalisierung der Verkehrswende (z.B. autonomes Fahren und Connected Cars) die häufig angeführten Treiber für E-Mobilität.

2.2.2 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 Anzahl an Personenkraftwagen mit Elektroantrieb in Deutschland sind bis 2014 sehr geringe Werte von unter 10.000 PKWs zu erkennen. Bis 2017 hatte sich die Anzahl auf 34.022 erhöht. In 2019 waren es bereits 83.175 und zum 1. Oktober 2020 bereits 236.956 E-Fahrzeuge. Im Verlauf von 2020 gab es in den Monaten April, Mai und Juni durch die Corona-Krise bedingt starke Einbrüche bei den Absatzzahlen (aber auch im konventionellen Bereich). Ab Juni 2020 sind die Zulassungszahlen jedoch wieder stark angestiegen, sodass im Juni und Juli 2020 monatlich mehr als 16.000 rein batterieelektrische Fahrzeuge zugelassen wurden. Dies entspricht einem Marktanteil von ca. 6,4 %. Hybride, Plug-in-Hybride und BEVs machten rund 25 % der gesamten Zulassungen im August 2020 und auch in den folgenden Monaten aus. Im Oktober stieg die Anzahl der BEV-Zulassungen auf 23.158. Das entspricht einem Anteil an den Neuzulassungen von 8,4 %. Darüber hinaus wurden 62.929 Hybride (darunter 24.859 Plug-in-Hybride) neu zugelassen. Ein Anteil von 22,9 %. Demzufolge nahmen im Oktober 2020 elektrisch betriebene Fahrzeuge rund 1/3 aller Neuzulassungen ein. Dieser Trend setzte sich auch bis zum Jahresende 2020 fort. Zum 1.12.2020 waren insgesamt 1.111.937 E-Fahrzeuge zugelassen. Darunter 650.623 Hybride, 218.551 PHEV und 242.763 BEV.

[2] 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“.

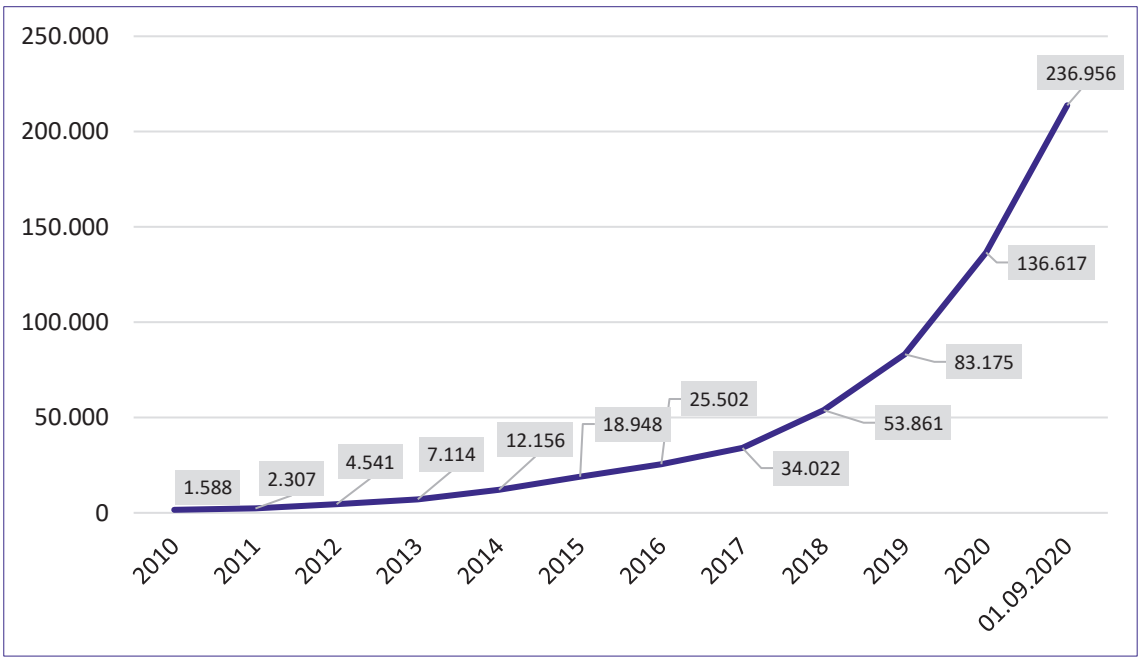

Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl von zugelassenen BEV-PKWs in Deutschland in den Jahren 2010 bis zum 1. September 2020 (KBA 2020A).

Um die mengenmäßige Bedeutung des deutschen Marktes zu verstehen, reicht der internationale Vergleich der Absatzzahlen für alle Plug-in-Hybride und BEVs. Ein Blick auf die Zahlen der Jahre 2018 und 2019 zeigt, dass Deutschlands Absatzzahlen an E-Fahrzeugen eine deutlich untergeordnete Rolle im weltweiten Kontext spielen (vgl. Abbildung 2). Angemerkt sei aber auch, dass der Markt in Deutschland deutlich kleiner ist und Deutschland in der Zwischenzeit auf Platz drei rangiert (im Hinblick auf die weltweiten absoluten Absatzzahlen). China ist vor den USA der mit Abstand wichtigste Absatzmarkt und verzeichnete in 2019 einen Absatz von rund 1.204 Mio. E-Fahrzeugen.

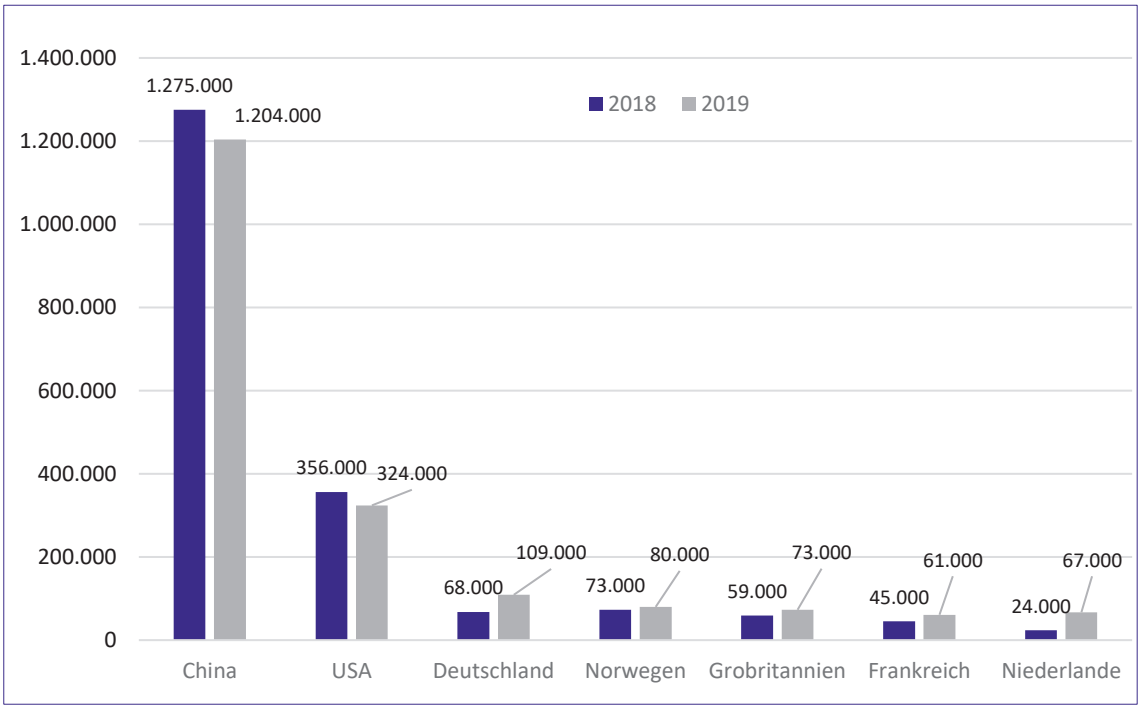

Abbildung 2: Absatztrends von wichtigen internationalen Märkten für E-Fahrzeuge (CAM ELECTROMOBILITY REPORT 2020).

2.2.3 Aktueller E-Fahrzeugbestand in Deutschland

Zum 1. Januar 2020 waren in Deutschland insgesamt 65,8 Millionen Fahrzeuge zugelassen. Der Personenkraftwagen (PKW)-Bestand bezifferte sich auf 47,71 Mio. (KBA 2020B). Im Vergleich zum Vorjahr nahm der KFZ-Bestand um ca. 1,6 % zu. Wird der Trend fortgeschrieben, liegt der PKW-Bestand für 2025 bei ca. 51,3 Mio. und für 2030 bei ca. 54,8 Mio. Das in 2008 von der Bundeskanzlerin ausgerufene Ziel von einer Millionen E-Fahrzeuge bis 2020 (ca. 1,6 % am PKW-Bestand) und sechs Millionen E-Fahrzeuge (ca. 11 % am PKW-Stand) bis 2030 auf deutsche Straßen zu bringen, wurde in 2017 revidiert und gilt zumindest für 2020 als nicht zu erreichen. Die Zielkorrektur erfolgte dahingehend, dass eine Mio. E-Fahrzeuge bis 2022 und 7 - 10 Mio. bis 2030 zu erreichen sind.

Die vergangenen Jahre und insbesondere Monate zeigen, dass die Anzahl der E-Fahrzeuge in Deutschland exponentiell ansteigt und es durchaus als realistisch anzusehen ist, dass das Ziel von 7 - 10 Mio. E-Fahrzeugen bis 2030 erreicht werden kann.

Zum 1. November 2020 verzeichnete das KBA in Deutschland einen E-Fahrzeugbestand (BEV, HEV, PHEV) von insgesamt 1.097.155. Darunter befanden sich 236.956 BEV, 647.410 HEV und 212.789 PHEV. Dies entsprach zum 1. Oktober 2020 einem Anteil von ca. 2,2 % am Gesamt-PKW-Bestand in Deutschland. Der alleinige Anteil der BEV betrug ca. 0,45 % (vgl. Abbildung 3). Deutlich zu erkennen ist, dass der größte Anteil der E-Fahrzeuge mit ca. 60 % auf Hybride (auch Mild-Hybride genannt) entfällt. Ca. 50 % aller Neuzulassungen entfallen auf Unternehmen und dienen als Geschäfts- bzw. Fuhrparkfahrzeug (u.a. begründet durch optimale Einsatzgebiete, steuerliche Vorteile, Imagegewinne und Lademöglichkeiten beim Arbeitgeber). Zum 1.12.2020 waren vorläufig 1.111.937 E-Fahrzeuge als zugelassen gemeldet. Darunter 650.623 Hybride, 218.551 PHEV und 242.763 BEV.

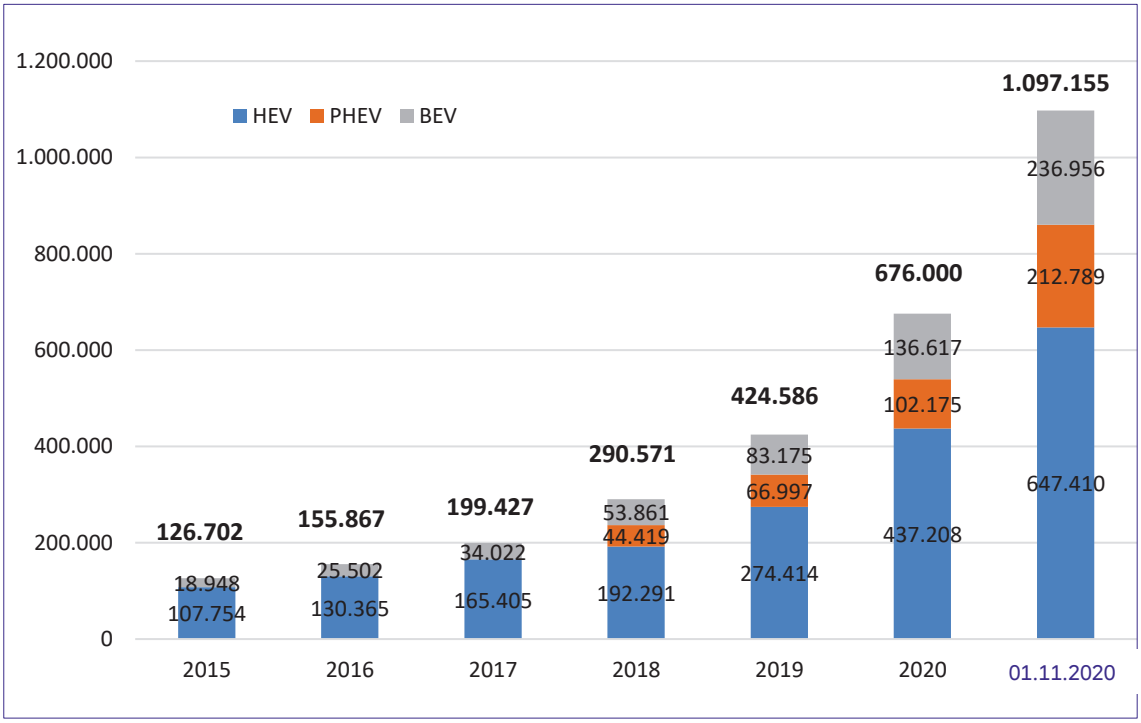

Abbildung 3: Verteilung der Antriebstechnologien im E-Fahrzeugsegment in Deutschland (Eine Unterteilung in Plug-in-Hybride und Hybride ist erst ab 2018 möglich) (KBA 2020).

In 2021 werden die Zulassungszahlen stark ansteigen, da die Automobilhersteller u.a. ihre europäischen CO_2-Vorgaben einhalten müssen. Um die Zielwerte zu erreichen und hohe Geldstrafen zu vermeiden, muss der Verkaufsanteil zwischen 8 % und 15 % für BEV und PHEV liegen. Ebenfalls wird das im Sommer 2020 verabschiedete Konjunkturpaket, in Folge der Corona-Krise, für steigende Absatzzahlen sorgen. In Folge dessen wird es auch beim Ausbau der LIS zu einer hohen Dynamik kommen. Zusätzlich ist mit erhöhten Werten durch die Förderung privater LIS, ab dem 24.11.2020, über das Programm der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) 440 zu rechnen.

2.2.4 Aktueller Stand des Ladeinfrastrukturausbaus in Deutschland

Zum 9. September 2020 waren bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) 15.426 öffentliche Ladesäulen-Standorte mit 30.231 Ladepunkten und einer Anschlussleistung von insgesamt ca. 828 T kW gemeldet (Dez. 2020 ca. 33 T öfftl. Ladepunkte). Darunter waren 13.159 Normmallade- (≤ 22 kW) und 2.267 Schnellladeinrichtungen (≥ 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). GoingElectric.de verzeichnet bereits 21.310 öffentliche Ladesäulenstandorte mit über 60.000 Ladepunkten. Der Grund für die unterschiedlichen Zahlen liegt daran, dass es in Deutschland noch keine zentrale und einheitliche Erfassung der LIS gibt. Mit Gründung der Leitstelle für E-Mobilität Ende 2019, welche bei der Nationalen Organisation für Wasserstoff- und Brennstofftechnologie (NOW GmbH) angesiedelt ist, soll eine Vereinheitlichung der Ladesäulenregistrierung erfolgen.

Insgesamt zeigt die aktuelle Entwicklung einen deutlichen Anstieg der öffentlich zugänglichen Ladesäulen in Deutschland. Neben dem Ausbau und Betrieb von öfftl. 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 LIS bei. Durch dieses soll ein bundesweit flächendeckendes Ladenetz von insgesamt 15.000 Ladesäulen (10.000 Normal- und 5.000 Schnellladestationen) gefördert werden.

Darüber hinaus hat die Bundesregierung im November 2019 einen „Masterplan Ladeinfrastruktur“ vorgelegt. Dieser definiert, wie der flächendeckende Aufbau mit Förderprogrammen, verbesserten gesetzlichen Rahmenbedingungen und einer aktiven Koordination zwischen Bund, Ländern, Kommunen und Industrie erreicht werden kann.

So sollen bis Ende 2021 zusätzlich 50.000 öffentlich zugängliche Ladepunkte errichtet werden. Darüber hinaus sollen bis 2022 zusätzlich 15.000 öffentliche Ladepunkte durch die Automobilwirtschaft beigesteuert werden. Diese plant die Errichtung von 100.000 Ladepunkten auf ihren Betriebsgeländen. Im Einzelhandel haben viele Supermärkte, Baumärkte und Möbelhäuser mit dem Aufbau von LIS begonnen und weitere Planungen stehen an. Unter den Anbietern von LIS auf Kundenparkplätzen sind bspw. Lidl, Kaufland, REWE, Metro, Aldi Süd, EDEKA, Ikea etc.

Ebenfalls soll es für alle Tankstellen eine Versorgungsauflage geben. Der Aufbau der Ladeinfrastruktur ist ein wesentlicher Teil der Maßnahmen aus dem Klimaschutzprogramm 2030. Zusätzlich zum verstärkten Aufbau der öffentlichen LIS, sollen in 2020 auch 50 Millionen Euro für private Lademöglichkeiten bereitgestellt werden. Auf Grundlage des im Juni 2020 verabschiedeten Konjunkturpakets will der Bund zusätzlich 2,5 Milliarden Euro in den Ausbau einer modernen LIS, die Forschung und Entwicklung im Bereich der

E-Mobilität und in die Batteriezellfertigung investieren (vgl. MASTERPLAN LADEINFRASTRUKTUR DER BUNDESREGIERUNG 2019).

Neben Bundesförderungen gibt es auch eine Vielzahl länderspezifischer Förderprogramme, welche maßgeblich zum Ausbau der LIS beitragen. In Baden-Württemberg (BW) unter anderem das Projekt zum „Flächendeckenden Sicherheitsladenetz für E-Fahrzeuge“ (SAFE) oder das Förderprogramm Charge@BW (vgl. 2.3.3).

Mit der aktuell verfügbaren LIS kann Deutschland den geschätzten Bedarf - im Hinblick auf das Ziel der Bundesregierung von einer Mio. E-Fahrzeuge bis 2022 und 7 - 10 Millionen E-Fahrzeuge bis 2030 nicht decken. Mit der derzeitigen Entwicklung und den verbesserten politischen Rahmenbedingungen sowie Förderprogrammen ist es jedoch durchaus realistisch diese Ziele einzuhalten und eine ausreichende LIS bereitzustellen.

Im Rahmen des Projektes Laden2020 haben das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und das Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) ein Szenario für den Gesamtbedarf an öffentlichen Ladepunkten in Deutschland ermittelt. Somit würden für eine 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 NPE werden im Jahr 2025 etwa 144.000 Ladesäulen notwendig sein, um den Bedarf der E-Fahrzeuge decken zu können (NPE 2015). Die Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID) geht von gut 200.000 benötigten Ladepunkten bis 2025 aus (ELECTRIDRIVE 2018C).

2.2.5 Analyse der Hemmnisse beim Aufbau von Ladeinfrastruktur

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

Hemmnisse beim Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur

- Die Förderprogramme und damit die Förderquoten bzw. Förderhöhen und zeitliche Begrenzungen der Förderaufrufe für den Ausbau der öffentlichen LIS durch Bund und Länder sind noch nicht ausreichend
- Das „Henne-Ei-Problem“: Ohne eine ausreichende LIS kann es keine E-Mobilität und ohne E-Mobilität keine ausgebaute LIS 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 LIS „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/ LIS 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 E-Fahrzeug für Dienstzwecke zu benutzen

Hemmnisse beim Aufbau privater Ladeinfrastruktur

- Kosten für E-Fahrzeuge, Hardware, Netzanschluss und Installation zu hoch
- Lange Lieferzeiten, zu geringe Reichweiten und Ladesäulenverfügbarkeit, lange Ladezeiten, mangelnde Fahrzeugtypenverfügbarkeit (insbesondere im „Familienbereich“)
- Unzureichende Kaufanreize, Steuervorteile und Förderprogramme für Privatleute
- Mangelnde Parkplatzverfügbarkeit, Garagen oder Stellplätze zur Installation von privater LIS
- 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 LIS entgegen zu wirken, können einige Maßnahmen ergriffen werden. Nachfolgend werden einige Handlungsmöglichkeiten in den unterschiedlichen Bereichen exemplarisch aufgeführt:

Öffentlich:

- Bedarfsgerechte kommunale Installation von LIS im öfftl. Raum und intensive werbewirksame Vermarktung
- Parkflächen für LIS im öffentlichen Raum der Wirtschaft zur Verfügung stellen. Öffnung/Ausweisung von Flächen zur Hub-Ladung

- Schaffung von Möglichkeiten Kundenparkplätze oder kommunale Liegenschaften nachts für Anwohner ohne eigenen Stellplatz zur Verfügung zu stellen
- Initiierung von Kooperationsprojekten und dessen pressewirksame Vermarktung, bspw. Kopplung öffentlicher LIS mit E-Car-Sharing
- Anordnungsmöglichkeiten der Straßenverkehrsbehörde konsequent umsetzen
- Stärkung der E-Mobilität durch ein LIS -Vorzeige-/Leuchtturmprojekt
- Überprüfung der Stellplatzsatzung zur Reduzierung der Anzahl, sofern Stellplätze mit LIS ausgestattet werden
- Falls möglich: Umrüstung von Straßenlaternen und Ausweisung von Parkflächen als Lademöglichkeit in Wohngebieten
- Integration und Vorgaben zu LIS in Neubaugebieten, Wohn-/ und Nichtwohngebäude sowie im öfftl. Raum

Halböffentlich:

- Beratungs- und Informationskampagne zum Aufbau von LIS
- Netzwerkveranstaltung
- Bundesförderprogramm zum Flottenaustausch und LIS-Förderung

Privat:

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

2.3 Elektromobilität heute

2.3.1 Politische Ziele

Die hinlänglich diskutierte Zielvorgabe der deutschen Bundesregierung aus dem Jahr 2011 von einer Mio. E-Fahrzeuge auf deutschen Straßen bis zum Jahr 2020 ist nicht haltbar. Dieses Ziel wurde 2017 auch von Angela Merkel in einem Fraktionskongress als „nicht [zu] erreichen“ definiert (HANDELSBLATT 2017). Im Nachgang wurde dieses Ziel auf 2022 korrigiert.

Die politische Motivation zum Ausbau der E-Mobilität in Deutschland wird durch die notwendige Ausrichtung der deutschen Automobilindustrie und durch ökologische Vorgaben bzw. die Klimaschutzziele der Bundesregierung bestimmt. So sagt der Koalitionsvertrag: „Die Mobilitätspolitik ist dem Pariser Klimaschutzabkommen und dem Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung verpflichtet“ (BUNDESREGIERUNG 2018).

Um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen, sind bis 2030 ca. 7- 10 Millionen elektrisch angetriebene PKW notwendig (BEV/ PHEV). Um die Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen müssten alle verkauften PKWs mit alternativen Antrieben ausgestattet sein.

Im Bereich der LIS gilt das Ziel bis 2020 100.000 zusätzliche Ladepunkte zu errichten. Dieses Ziel wurde mit dem Masterplan LIS auf eine Mio. öffentlich zugängliche Ladepunkte bis 2030 erhöht worden. Zwischen 2020 und 2021 sollen davon 50.000 öfftl. zugängliche Ladepunkte errichtet und die Automobilindustrie bis 2022 zusätzlich 15.000 Ladepunkte beisteuern. Für den Ausbau der LIS wurden im Bundeshaushalt 3,4 Mrd. € bereitgestellt. Die Gelder stehen für Tank- und Ladeinfrastruktur mit CO_2-freien Antrieben zur Verfügung.

2.3.2 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_2-Emissionen von Fahrzeugflotten der einzelnen Hersteller. All diese Regularien fördern die als emissionsfrei definierten E-Fahrzeuge (vgl. 2.3.6).

Bei der Einführung der neuen Technologie sind umfangreiche technische Aspekte zu regeln und zu standardisieren. Auch hierfür gibt es zahlreiche gesetzliche Vorgaben, sei es die Einhaltung von technischen Anschlussbestimmungen einer Ladesäule, die Einhaltung der Sicherheit von BEVs 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 (vgl. 2.3.3). Zudem werden diverse operative Abläufe durch gesetzliche Bestimmungen definiert. Hier sei exemplarisch die mögliche Nutzung von Busspuren oder spezieller Parkplätze für E-Fahrzeuge genannt. Im Folgenden werden einige Gesetze mit direktem Bezug zur E-Mobilität kurz erläutert.

2.3.2.1 Elektromobilitätsgesetz

Im Jahr 2015 wurde das Elektromobilitätsgesetz (EmoG) vom Bundeskabinett verabschiedet. Das EmoG bezieht sich auf E-Fahrzeuge (BEV, 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 E-Fahrzeugen (per Nummernschild) und ermächtigt Kommunen dazu, Privilegien für diese im städtischen Verkehr einzuräumen. Das EmoG gliedert sich in drei Bereiche: Anwendungsbereich, Bevorrechtigungen für E-Fahrzeuge und E-Kennzeichen. Folgende Bevorrechtigungen für BEV, PHEV und FCEV (Brennstoffzellen-E-Fahrzeuge) sind möglich:

- Parken auf öffentlichen Straßen oder Wegen, Freihaltung von Stellplätzen an öfftl. LIS, Freihaltung von Parkraum für E-Fahrzeuge
- Nutzung von für besondere Zwecke bestimmte öffentliche Straßen oder Wege bzw. Teile von diesen (Sonderspuren)
- Das Zulassen von Ausnahmen von Zufahrtsbeschränkungen oder Durchfahrtverboten sowie
- Die Ermäßigung oder Freistellung von Gebühren für das Parken auf öffentlichen Straßen oder Wegen

Einen guten Überblick zu den Vorteilen des EmoG bietet der „Leitfaden zum Elektromobilitätsgesetz Best Practice kommunale Umsetzung“ der e-mobil BW (E-MOBIL BW 2018).

2.3.2.2 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 bspw. die vereinheitlichten Steckerbilder für öffentlich zugängliche LIS (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 4). 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 (BMWI 2017A, BMJV 2017A).

	Installation	Anzeige-pflicht	Nachweispflicht	Einheitliche Stecker
Normal-ladepunkt	Nach Inkrafttreten der LSV	✔	✘	Ab 17.06.2016 ✔
	Vor Inkrafttreten der LSV	✘	✘	✘
Schnell-ladepunkt	Nach Inkrafttreten der LSV	✔	• Techn. Anforderungen nach § 3 II, III LSV • Allg. techn. Anforderungen nach § 49 EnWG, § 3 IV S. 1 LSV	Ab 17.06.2016 ✔
	Vor Inkrafttreten der LSV	✔	• Allg. techn. Anforderungen nach § 49 EnWG, § 3 IV S. 1 LSV	✘

Abbildung 4: Ladesäulenverordnung (©BUNDESNETZAGENTUR 2016).

Im September 2020 wurde vom BMWi ein Entwurf zur Änderung der LSV vorgelegt. „Darin soll aufgenommen werden, dass beim Aufbau von öffentlichen Ladepunkten aus Gründen der Interoperabilität sicherzustellen ist, dass eine Schnittstelle vorhanden ist, die genutzt werden kann, um Standortinformationen und dynamische Daten wie den Belegstatus zu übermitteln. Die Bundesregierung wird unter Einbindung der Energiewirtschaft eine einheitliche Bezahlmethode für das ad hoc laden an öffentlich-zugänglicher Ladeinfrastruktur festlegen. Dabei muss das europaweite Laden mitgedacht werden, um einheitliche europäische Bezahlsysteme zu ermöglichen.“ Es soll ein gängiges debit- und kreditkartenbasiertes Bezahlsystem als Mindestanforderung gelten. Darüber hinaus soll es eine Änderung der Definition der „öffentlichen Zugänglichkeit“ von Ladesäulen, eine

Erweiterung des Anwendungsbereichs der LSV bei Nutzfahrzeugen, eine Zulassung der Errichtung von Normal-Ladesäulen mit fest angebrachtem Ladekabel sowie eine Erweiterung der Kompetenzen der BNetzA geben.

2.3.2.3 Weitere Regularien für den Ladeinfrastrukturausbau und zukünftige Geschäftsmodelle

Gesetzlich scheint das Laden von E-Fahrzeugen 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. 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 E-Fahrzeug 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 LIS 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 (BMWI 2017A).

Lastmanagement

Laut BMWI (2017A) ist mit den Regelungen des EnWG die „Voraussetzung geschaffen, damit zukünftig die Netzentgelte bei einem netzdienlichen Einsatz von E-Fahrzeuge 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 „Tarifierung" basierend auf den üblichen Haushaltsstromkosten (ca. 30 ct/kWh), 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 E-Fahrzeug 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.

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 eines der wenigen rückspeisefähigen Fahrzeuge, 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.

2.3.2.4 Entwicklung des rechtlichen Rahmens

Seit dem Dieselskandal scheint es einen deutlichen Ruck in der deutschen Automobilindustrie gegeben zu haben. Verkaufszahlen der Dieselfahrzeuge sinken, Benziner stehen hoch im Kurs, BEVs 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 LIS voranzubringen. Dies scheint auch einer gewissen Notwendigkeit geschuldet, da mit der aktuell überarbeiteten Richtlinie für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch das EU-Parlament Handlungszwang 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.

Die Regelung soll bei Neubauten mit Bauantrag oder Bauanzeige ab 11. März 2021 oder von größeren Sanierungen im Bestand. Von der Regelung ausgenommen werden:

- **Kleine und mittlere Unternehmen (KMU)** mit höchstens 249 Beschäftigten und einem Jahresumsatz von höchstens 50 Millionen Euro oder einer Bilanzsumme von maximal 43 Millionen Euro.
- Ebenfalls **bestehende Gebäude**, bei denen die Lade- und Leitungsinfrastruktur über 7 % der Gesamtkosten einer größeren Renovierung des Gebäudes ausmachen würden.
- **Öffentliche Gebäude**, die gemäß der Umsetzung der EU-Richtlinie zum Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (Alternative Fuels Infrastructure Directive AFID) bereits vergleichbare Anforderungen erfüllen müssen.

2.3.2.5 Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG)

Am 4. März 2020 verabschiedete das Bundeskabinett ein Gesetzentwurf zum Aufbau von LIS für E-Mobilität in Gebäuden. „Zur Erreichung der Ziele der Gebäuderichtlinie adressiert das Gesetz Wohn- und Nichtwohngebäude mit größeren Parkplätzen. Dadurch werden die Voraussetzungen geschaffen, die Möglichkeiten für das Laden von E-Fahrzeugen zu Hause, am Arbeitsplatz und bei der Erledigung alltäglicher Besorgungen zu verbessern – zum einen durch die Schaffung einer vorbereitenden Leitungsinfrastruktur, zum anderen durch die Bereitstellung von Ladepunkten“ (vgl. Seite 1 zum Gesetzentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zum Aufbau einer gebäudeintegrierten Lade- und Leitungsinfrastruktur für die E-Mobilität).
So müssen bspw. bei neu zu errichtenden Wohngebäuden mit mehr als zehn Stellplätzen jeder Stellplatz mit Leitungsinfrastruktur für E-Mobilität ausgestattet werden. Bei größeren Renovierungen von Wohngebäuden mit mehr als zehn Stellplätzen welche innerhalb oder angrenzend an das Gebäude liegen gilt die gleiche Regelung.

Bei neu zu errichtenden Nicht-Wohngebäuden mit mehr als zehn Stellplätzen, muss mindestens jeder fünfte Stellplatz mit Leitungsinfrastruktur für E-Mobilität ausgestattet und zusätzlich mindestens ein Ladepunkt errichtet werden. Bei größeren Renovierungen von Nicht-Wohngebäuden mit mehr als zehn Stellplätzen welche innerhalb oder angrenzend an das Gebäude liegen gilt die gleiche Regelung. Bis zum 1. Januar 2025 muss auch jedes Nichtwohngebäude mit > 20 Stellplätzen mit mindestens einem Ladepunkt ausgestattet werden.

2.3.2.6 Wohneigentumsmodernisierungs-Gesetz

Am 31. Juli 2018 hat das Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV) einen Diskussionsentwurf zur Novellierung des Miet- und Wohneigentumsrecht veröffentlicht. Das Gesetz zur „Förderung von Barrierefreiheit und E-Mobilität im Miet- und Wohnungseigentumsrecht“ und der Diskussionsentwurf des Bayrischen Staatsministeriums der Justiz für ein „Gesetz für zukunftsfähiges Wohnen im Wohneigentum“ sollen es zukünftig erleichtern, Ladestationen für Mieter und Eigentümer zu installieren und ggf. sogar einen gesetzlichen Anspruch auf eine Lademöglichkeit eröffnen.

Nach nun zwei Jahren hat der Bundestag am 17. September 2020 das im März 2020 von der Bundesregierung vorgelegte Wohnungseigentumsmodernisierungs-Gesetz beschlossen. Die Novelle tritt am 1. Dezember 2020 in Kraft und soll zum einen den Ausbau der E-Mobilität fördern und erleichtert Wohnungseigentümern bauliche Veränderungen vorzunehmen. Zum anderen solle es eine effizientere Verwaltung von Wohnungseigentümergemeinschaften gewährleisten. Parallel wurde im BGB der § 554 dahingehende geändert, dass nun auch der Mieter einen Anspruch auf Erlaubnis einer Lademöglichkeit hat. Die Kosten können dann von Mieter oder Eigentümer getragen werden.

Bislang können etwaige Vorhaben durch Einsprüche der Eigentümergemeinschaft (WEG) oder des Vermieters selbst die Installation von Ladestationen, bspw. in Tiefgaragen verhindern. Das Einstimmigkeitsprinzip wird im neuen Gesetz in ein einfaches Mehrheitsprinzip überführt, sodass Wohnungseigentümer zukünftig verlangen können, dass sogenannte privilegierte Maßnahmen von den Miteigentümern zu gestatten sind. Dazu gehört u.a. der Einbau einer Lademöglichkeit. Diese Maßnahmen bedürfen nicht mehr der Zustimmung der gesamten WEG. Die Kosten trägt der jeweilige Eigentümer.

Damit wird die E-Mobilität gezielt im Privatbereich gefördert und räumt nicht nur Wohnungseigentümern sondern auch Mieter einen Rechtsanspruch auf den Einbau einer Ladeeinrichtung für Elektrofahrzeuge auf eigene Kosten ein. Die Bundesregierung will damit die Friktionen zwischen Wohnungseigentums- und Mietrecht abbauen.

Abbildung 5: WEMoG 2020. Eigene Darstellung.

2.3.3 Förderung und Wirtschaftlichkeit

2.3.3.1 Förderung von E-Fahrzeugen

Seit Juli 2016 wird die Anschaffung von E-Fahrzeugen staatlich finanziell bezuschusst. Am 3. Juni 2020 hat der Koalitionsausschuss eine Erhöhung der Kaufprämie beschlossen. Der Herstelleranteil bleibt dabei unberührt. Für PHEV werden vom Bund 4.500 Euro, für BEV 6.000 Euro Kaufprämie bereitgestellt. Die Herstelleranteil beträgt für PHEV 2.250 € und für BEV 3.000 €. Diese Zuschüsse gelten für Fahrzeuge mit einem Nettolistenpreis unter 40.000 €. Über einem Nettolistenpreis von 40.000 € reduziert sich der Bundesanteil für PHEV auf 3.750 € und für BEV auf 5.000 €. Der Herstelleranteil auf 1.875 € für PHEV und 2.500 € für BEV. Eine Liste der förderfähigen Fahrzeuge kann bei der BAFA abgerufen werden.

Seit dem Inkrafttreten zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen am 03.03.2018 sind zusätzlich auch Doppelförderungen zulässig – also z.B. auch die Kombination mit kommunalen Zuschüssen. Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) hat zum 31. August 2020 eine Zwischenbilanz erstellt. Demnach wurden bislang 257.046 Anträge gestellt. 161.164 entfallen auf BEV, 95.718 auf PHEV und 164 auf Brennstoffzellenfahrzeuge. Insgesamt entfielen die meisten Anträge mit 146.019 auf Unternehmen und 106.170 auf Privatpersonen. Die drei am häufigsten geförderten Hersteller waren BMW, Volkswagen und Renault.

Neben dieser Kaufprämie werden im Rahmen der Förderrichtlinie Elektromobilität vom 14.12.2020 E-Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur durch das BMVI gefördert. Gefördert werden die Investitionsmehrausgaben von E-Fahrzeugen im Vergleich zu Verbrennern der Klassen M1, L2e, L5e, L6e und L7e mit 90 % bei Kommunen bzw. 40 – 60 % bei wirtschaftlich tätigen Unternehmen. Ladeinfrastruktur wird über Pauschalbeträge finanziell

unterstützt. Anträge sind im Rahmen des aktuellen Förderaufrufs bis zum 31.03.2021 möglich.

Darüber hinaus sind BEVs von der Kfz-Steuer befreit. Am 17. September 2020 wurde der Entwurf der Bundesregierung für ein siebtes Gesetz zur Änderung des Kraftfahrzeugsteuergesetzes angenommen. Im Rahmen des Gesetzes wurde die KFZ-Steuerbefreiung bei Erstzulassungen bis zum Jahr 2025 verlängert. Die Steuerbefreiung ist bis zum 31. Dezember 2030 befristet (und gilt rückwirkend zum 01.01.2019) ab Erstzulassung für 10 Jahre.

Bei privater Nutzung von Dienstwagen fällt meist 1 % des Listenpreises des Fahrzeugs als steuerliche Abgabe an. E-Fahrzeuge wären mit dieser Regelung auf Grund ihres höheren Anschaffungspreises benachteiligt, weshalb ein „Nachteilsausgleich“ geschaffen wurde. Dieser reduziert den anzusetzenden Listenpreis um den Anteil der Batteriekosten. Diese Regelung besteht bereits seit mehreren Jahren. In der aktuellen Legislaturperiode soll eine Vereinfachung erfolgen (s. unten). Ab dem 1. Januar 2020 verringerte sich die steuerliche Abgabe für BEV und PHEV auf 0,25 % des Bruttolistenpreises unter 60.000 €. Über 60.000 € Listenpreis erhöht sich die Abgabe auf 0,5 %. Für Hybridfahrzeuge gilt nach wie vor, dass 0,5 Prozent des Bruttolistenpreises als geldwerter Vorteil versteuert werden müssen. Steuerliche Voraussetzung für Plug-in-Hybride sind min. 40 Kilometer Reichweite oder maximal 50 Gramm CO_2 pro Kilometer.

Für das Aufladen von E-Fahrzeugen beim Arbeitgeber wird keine Umsatzsteuer erhoben; so ein gesetzlicher Beschluss von November 2016. Ebenfalls sind Ladestationen, die der Arbeitgeber seinen Angestellten übereignet, steuerlich begünstigt. Voraussetzung ist u.a., dass der Arbeitgeber kostenfreien Strom zur Verfügung stellt, und zwar zusätzlich zum Arbeitslohn, die Fahrzeuge sind BEVs- oder Plug-in-Hybride.

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/m³ NO_x überschreiten. Im Rahmen des „Sofortprogramm Saubere Luft 2017-2020“ Programms waren diese Kommunen antragsberechtigt für die Förderung von der Beschaffung von E-Fahrzeugen und LIS. 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 2.3.2.1).

2.3.3.2 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 Smatrics 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 genannten Förderung gab es bereits sechs Aufrufe. Ein Förderaufruf für private Ladeinfrastruktur ist ebenfalls geplant.

Darüber hinaus hat die Bundesregierung im November 2019 einen Masterplan Ladeinfrastruktur vorgelegt. Dieser definiert, wie der flächendeckende Aufbau mit Förderprogrammen, verbesserten gesetzlichen Rahmenbedingungen und einer aktiven Koordination zwischen Bund, Ländern, Kommunen und Industrie erreicht werden kann.
So sollen bis Ende 2021 50.000 öffentlich zugängliche Ladepunkte errichtet werden. Darüber hinaus sollen bis 2022 15.000 zusätzliche öffentliche Ladepunkte durch die Automobilwirtschaft beigesteuert werden. Der Aufbau der Ladeinfrastruktur ist ein wesentlicher Teil der Maßnahmen aus dem Klimaschutzprogramm 2030. Zusätzlich zum verstärkten Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur, sollen in 2020 auch 50 Millionen Euro für private Lademöglichkeiten bereitgestellt werden. Auf Grundlage des im Juni 2020 verabschiedeten Konjunkturpakets will der Bund zusätzlich 2,5 Milliarden Euro in den Ausbau einer modernen Ladesäulen-Infrastruktur, die Forschung und Entwicklung im Bereich der E-Mobilität und in die Batteriezellfertigung investieren (vgl. Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung 2019).

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

Ladestationen für Elektroautos – Wohngebäude (KfW 440)

Ab dem 24.11.2020 wir es eine bundesweite Förderung privater LIS (Private Eigentümer, Wohnungseigentümergemeinschaften, Mieter, Vermieter) in Höhe eines Zuschuss von pauschal 900 € pro Ladepunkt geben. Die Fördermittelabwicklung erfolgt über die KfW (440). Gefördert werden sollen u.a.:

- Ladestation mit mindestens 11 kW
- 100 % erneuerbarer Strom
- Energiemanagementsystem/ Lademanagementsystem zur Steuerung von Ladestationen
- Elektrischer Anschluss (Netzanschluss)
- Notwendige Elektroinstallationsarbeiten (zum Beispiel Erdarbeiten)

Landesförderung Baden-Württemberg:

Neben den Förderzuschüssen des Bundes gibt es auch diverse Landesförderungen zur E-Mobilität. Hier ist für BW das flächendeckende Sicherheitsladenetz für E-Fahrzeuge (SAFE) zu nennen. Ein aus 78 Partnern bestehendes Konsortium unter der Leitung der EnBW hat einen Förderbescheid in Höhe von 2,2 Millionen € erhalten. In 2019 soll in einem 10 x 10 km großen Raster soll ein flächendeckendes Grundladenetz (106 Normalladestationen) mit 22 kW Ladeleistung entstehen. Zusätzlich entsteht ein Schnellladenetz

(48 Schnellladestationen) mit mindestens 50 kW in einem 20 x 20 Kilometer Raster (MINISTERIUM FÜR VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG 2018).

Des Weiteren fördert das Land bspw. E-Lastenräder, Elektro- und Hybridbusse, E-Fahrzeuge, Elektro-LKW etc. Weitere Informationen können beim Ministerium für Verkehr BW eingeholt werden.

Ebenfalls fördert das Land BW über Charge@BW und den BW-e-Gutschein den Aufbau von Ladeinfrastruktur und den Unterhalt von E-Fahrzeugen. Charge@BW gewährt einen Zuschuss von max. 40 und max. 2.500 € je Ladepunkt. Gefördert werden kann die Installation inkl. Netzanschluss (Ladeeinrichtung, Tiefbauarbeiten, Installation und Inbetriebnahme, Netzanschluss). Der BW-e-Gutschein fördert im Rahmen der Landesinitiative III Marktwachstum Elektromobilität BW" die Betriebs-, Unterhalts- und Ladeinfrastrukturkosten von E-Fahrzeugen (vollelektrisch, Brennstoffzelle) mit max. 1.000 Euro.

2.3.3.3 Förderungen von E-Lastenfahrrädern

Für E-Lastenfahrrädern wurden vom Bund als auch vom Land BW (und anderen Bundesländern) attraktive Förderprogramme aufgelegt, die im Folgenden dargestellt werden. Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert Ausgaben für die Anschaffung von E-Schwerlastenfahrräder und Schwerlastenanhänger mit elektrischer Antriebsunterstützung für den fahrradgebundenen Lastenverkehr. Elektrisch angetriebene Schwerlastenfahrräder sowie Schwerlastenanhänger mit elektrischer Antriebsunterstützung müssen dabei über ein Mindest-Transportvolumen von 1 m³ und eine Nutzlast von mindestens 150 kg verfügen. Bei Gespannen mit einem nicht-motorisierten Lastenfahrrad oder Lastenanhänger muss das Gesamttransportvolumen des Gespanns mindestens 1 m³ erreichen. Die Nenndauerleistung der elektronischen Antriebsunterstützung darf höchstens 0,25 kW aufweisen und das Fahrzeug darf nur über eine Motorunterstützung bis 25 km/h verfügen. Die Fördersätze betragen 30 Prozent der Ausgaben für die Anschaffung, maximal jedoch 2.500 Euro pro Lastenfahrrad, -anhänger oder Gespann. Antragsberechtigt sind private Unternehmen unabhängig von ihrer Rechtsform (einschließlich Genossenschaften), freiberuflich Tätige, Unternehmen mit kommunaler Beteiligung, Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Krankenhäuser sowie deren Träger und Kommunen (Städte, Gemeinden, Landkreise).

Ähnlich ist die Förderung des Landes BW ausgerichtet, allerdings beträgt die Fördersumme hier bis zu 3.000 €. Die Abwicklung erfolgt über die L-Bank, was sich gegenüber der Antragstellung bei der BAFA etwas einfacher gestaltet.

2.3.3.4 Wirtschaftlichkeit der Elektromobilität

Die wirtschaftlichen Vor- und Nachteile[3] von E-Fahrzeugen gegenüber Verbrennerfahrzeugen wurden bspw. vom ADAC schon in verschiedenen Studien seit 2018 zusammengefasst. Darin wurden alle über den Betrachtungszeitraum von fünf Jahren anfallenden

[3] Gemäß ADAC 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.

Vergünstigungen und Kosten inklusive des Wertverlustes angesetzt. 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 Außerbetriebssetzung liegt in Deutschland bei PKW durchschnittlich bei 12 Jahren (KBA 2016), die Verschrottung erfolgt im Schnitt erst nach ca. 18 Jahren.

In 2020 wurde die ADAC-Studie erneut aktualisiert. Aus der genannten Studie des ADAC können fahrzeugscharf die Kilometerkosten abhängig von der Jahreskilometerleistung abgelesen werden. Im Vergleich zur vorangegangenen Fassung der Studie wird mit der Aktualisierung klar, dass E-Mobilität u.a. durch die gesunkenen Anschaffungspreise, Kaufprämien, Steuervergünstigungen und geringere Wartungs- und Betriebskosten stark an Wirtschaftlichkeit gewinnt. In der Zwischenzeit gibt es zahlreiche E-Fahrzeuge, die über die gewählten fünf Jahre deutlich preiswerter sind als ihre konventionellen Vergleichsmodelle. Bereits eine geringe Steigerung des derzeit preiswerten Benzin- und Dieselpreises oder eine weitere Senkung des Anschaffungspreises für E-Fahrzeuge (durch höhere Stückzahlen, günstigere Produktionsprozesse und sinkende Batteriepreise) wird die Darstellung zu Gunsten der meisten batterieelektrischen und hybriden Modelle noch stärker verschieben. Spätestens mit der Erhöhung der Umweltprämie in 2020 können viele E-Fahrzeugmodelle mit den konventionellen Vergleichsmodellen preislich mithalten. Zentral ist immer den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge zu betrachten, denn der noch häufig höhere Anschaffungspreis von E-Fahrzeugen wird über die Zeit durch die oben genannten Aspekte ausgeglichen.

2.3.4 Marktverfügbarkeit von E-Fahrzeugen

An den Absatzzahlen der E-Fahrzeuge ist deutlich zu erkennen, dass die Skepsis gegenüber der E-Mobilität nach und nach 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.

Ein großes Problem stellen derzeit noch die langen Lieferzeiten von teilweise bis zu 12 Monaten dar. Zum einen aufgrund der generell steigenden Nachfrage von E-Fahrzeugen sowie fehlenden Produktionskapazitäten und zum anderen aufgrund von immensen Exporten nach bspw. China und Norwegen.

Derzeit gibt es rund 90 marktverfügbare E-Fahrzeugmodelle im PKW-Bereich. Des Weiteren sind für 2021 und 2022 rund 40 weitere Modelle angekündigt. Eine gute Modellübersicht zu E-Fahrzeugen und Plug-in-Hybriden bietet der badenova green-connector[4]. Bis 2025 werden ca. 300 neue Fahrzeugmodelle mit nachhaltigen Antrieben auf den Markt kommen, darunter auch 15 Brennstoffzellenfahrzeuge.

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

[4] https://bn.green-connector.com/fahrzeuge/seite/1

Beim Lastenverkehr kommen zunehmend E-Fahrzeuge 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 u.a. bereits in Hamburg, München, Berlin und Freiburg etc. rein-elektrische Busse. Auch in kleineren Städten fahren (teil-)elektrische Busse. Im Vergleich zu den kaum nennenswerten Zahlen in Deutschland wurden in China bereits in 2017 knapp 90.000 Elektrobusse verkauft. Ein treibendes Argument ist in China vor allem die hohe urbane Luftverschmutzung (INSIDEEVS.COM 2018).

2.3.5 Stromnetzinfrastruktur

Die E-Mobilität wird erhebliche Auswirkungen auf die Stromnetzinfrastruktur 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 Ende des Kapitels wird zum einen aufgezeigt, ob der zusätzliche Strombedarf der E-Mobilität theoretisch durch EE gedeckt werden könnte. Zum anderen wird erläutert, welche Gegenmaßnahmen getroffen werden müssten, um den Strombedarf und die Lastspitzen zu reduzieren.

2.3.5.1 Auswirkungen der Elektromobilität auf die Stromnetzinfrastruktur

Mit dem Ausbau der LIS für E-Fahrzeuge werden die Anforderungen an die örtliche Stromnetzinfrastruktur 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. Aus Sicht der Netzplanung gibt es drei zentrale Treiber, welche einen Verteilnetzausbau notwendig machen werden. Zum einen hohe wetterbedingte/unregelmäßige Einspeisemengen aus erneuerbaren Energien, Wärmepumpen und E-Mobilität. Netzdienliches Laden kann zu verringerten Lastspitzen führen und den Netzausbaubedarf verringern (vgl. hierzu auch AGORA VERKEHRSWENDE, AGORA ENERGIEWENDE, REGULATORY ASSISTANCE PROJEKT (RAP) 2019). Für netzdienliches Laden müssen Ladevorgänge zeitlich verschoben werden. Zentral sind die Dauer des Ladevorgangs und die Leistung. Im öffentlichen Bereich ist netzdienliches Laden weniger geeignet als im privaten Bereich, da hier i.d.R. kürzere Standzeiten vorherrschen (außer bei Ladehubs und zentralen Ladeplätzen über längere Standzeiten, bspw. Nachts auf Einzelhandelsparkplätzen). Netzdienliches Laden sollte nicht nur bei geringen Ladeleistungen Anwendung finden, sondern auch zur Glättung von Lastspitzen, bei hoher Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom. So können Einspeisespitzen sinnvoll geglättet. Ziel sollte es auch sein, Spitzen zu adressieren und nicht nur zu versuchen die Ladeleistung

gering zu halten und Lastspitzen zu verringern. Hohe Netzausbaukosten könnten zu steigenden Netznutzungsentgelten führen, weshalb eine netzdienliche Planung unabdingbar ist.

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

2.3.5.2 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 E-Fahrzeugen 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 Ausbaukosten 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).

2.3.5.3 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 an Freitagen und Samstagen sowie zwischen 10 und 12 Uhr / 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. Aufgrund des derzeitigen Ausbauzustandes der E-Mobilität ist es jedoch äußerst unwahrscheinlich, dass es zeitnah und lokal zu genannten Engpässen kommen kann. Perspektivisch muss jedoch auf die zunehmende Anzahl an E-Fahrzeugen und deren Ladebedarf reagiert werden.

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

Die Beratungsagentur Oliver Wyman warnt in einer Studie von 2018 „Der E-Mobilitäts-Blackout[5]“ vor Stromausfällen in den kommenden fünf bis zehn Jahren (OLIVER WYMAN, 2018). Demnach kann es ab einem 30 %-igen Anteil von E-Fahrzeugen 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 erwähnt dass bei einer Ortsnetzgröße von 120 Haushalten 36 E-Fahrzeuge genügen, um eine Netzüberlastung zu provozieren. Sollte der Anteil der E-Fahrzeuge 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-Fahrzeuge 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 E-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 vorgesehen. Bisher verlangen die meisten Netzbetreiber lediglich die Freihaltung eines Feldes im Zählerschrank für eine spätere Installation einer Steuereinrichtung. Hier muss auf Seiten des Gesetzgebers noch nachgebessert werden.

2.3.5.4 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-Autonutzern 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

[5] plötzlicher Zusammenbruch des Stromnetzes durch zu hohe gleichzeitige Stromnachfrage durch Ladung von E-Fahrzeugen

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 1: 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 in 2020 in nationales Recht umgesetzt wurden.

2.3.5.5 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 Niederspannungsnetz in einem ländlichen Gebiet mit niedriger Bevölkerungsdichte, einem vorstädtischen Netz mit mittlerer Bevölkerungsdichte und einem städtischen eng vermaschten Netz. Die folgende Abbildung 6 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. Für die Ertüchtigung des Netzes im ländlichen Raum fallen mittelfristig keine zusätzlichen Kosten für den Netzausbau an (FRAUNHOFER ISI, 2016).

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.

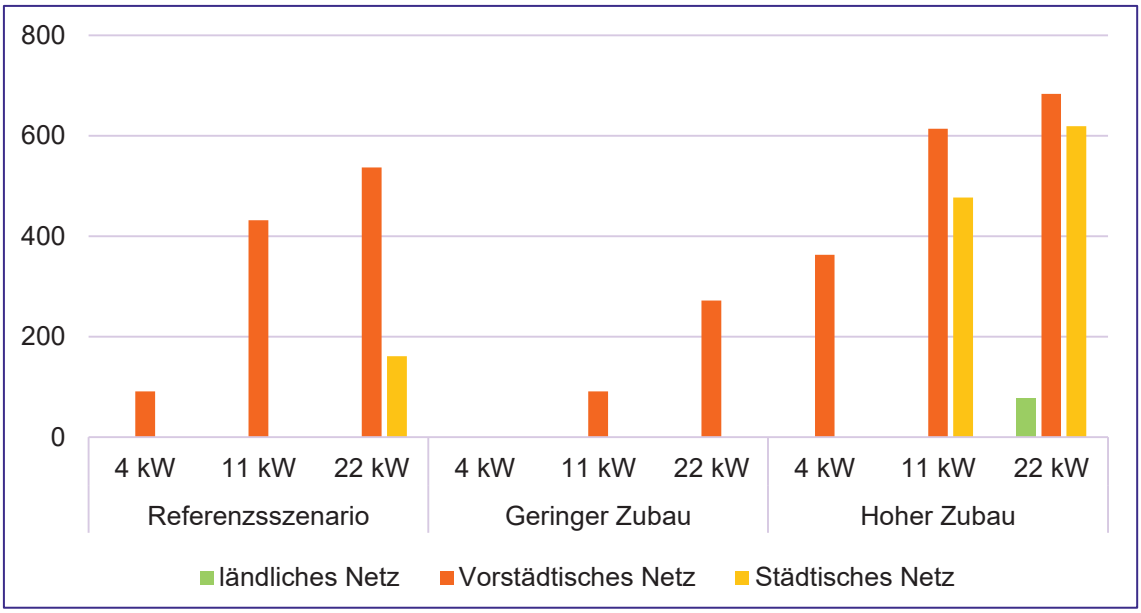

Abbildung 6: Zusätzliche Investitionskosten im Beispielnetz im Jahr 2030 [Tsd. €] (FRAUNHOFER ISI 2016 EIGENE DARSTELLUNG).

2.3.5.6 Vermeidung von Netzüberlastungen durch Lastmanagement

E-Fahrzeuge werden typischerweise mit einer Leistung von 3,7 kW, 11 kW oder 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 im Bestand meist nicht entsprechend dimensioniert sind und E-Fahrzeuge dort geladen werden wo sie lange Standzeiten haben.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 - 90 % 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. Diese Annahme ist theoretisch, denn ein Gleichzeitigkeitsfaktor von eins wird i.d.R. nicht erreicht, da nie alle Verbraucher zeitgleich Energie beziehen und das System maximal auslasten (HEIER ET AL. 2018). In Wohngebäuden, je nach Größe und Einheiten, wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,4 - 0,7 erreicht. Netzbetreiber gehen in ihren Berechnungen jedoch meist von einem Worst-Case-Szenario aus und setzen den Gleichzeitigkeitsfaktor im Hinblick auf E-Mobilität auf 1 um alle Eventualitäten zu berücksichtigen und eine 100 % Garantie für Netzstabilität zu gewährleisten.

2.3.5.6.1 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[6] – Verteilung der Last).

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

[6] Intelligentes Einspeisemanagement, Netzregler. Technische Einrichtung zur Erkennung von Lastspitzen und Lastspitzenkappung als Alternative zum konventionellen Netzausbau

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 LIS ist deshalb eine gute Planung essenziell. Neben der Installation der Hardware ist die Einbindung in bestehende (Energie-) Managementsysteme eines Unternehmens zu beachten. Abbildung 7 zeigt die Kommunikation verschiedener Ladestationen über ein Gateway.

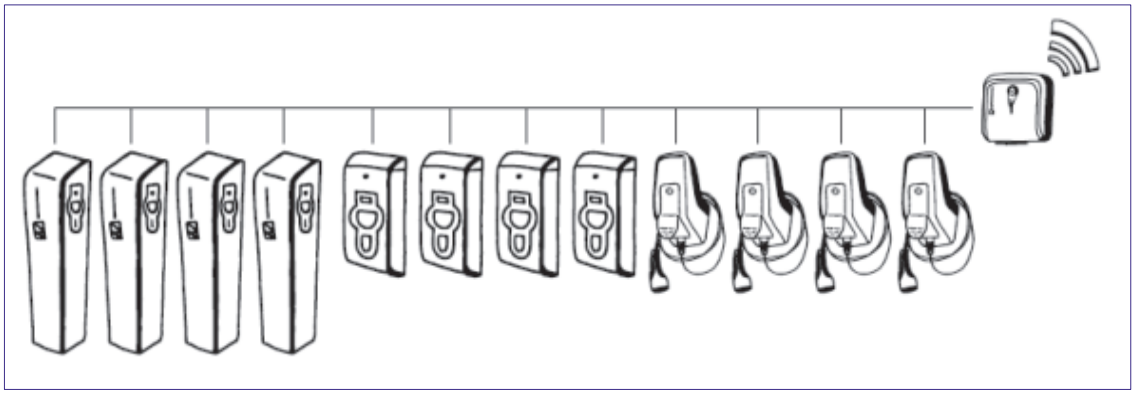

Abbildung 7: Lastmanagement (MENNEKES 2018).

Damit die Ladesysteme in ein Lastmanagement eingebunden werden können, müssen sie vernetzt sein. Dies geschieht in der Regel über GSM[7] 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 8). Dieser Mindeststrom steht 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).

[7] internationaler Standard für digitale Funknetze

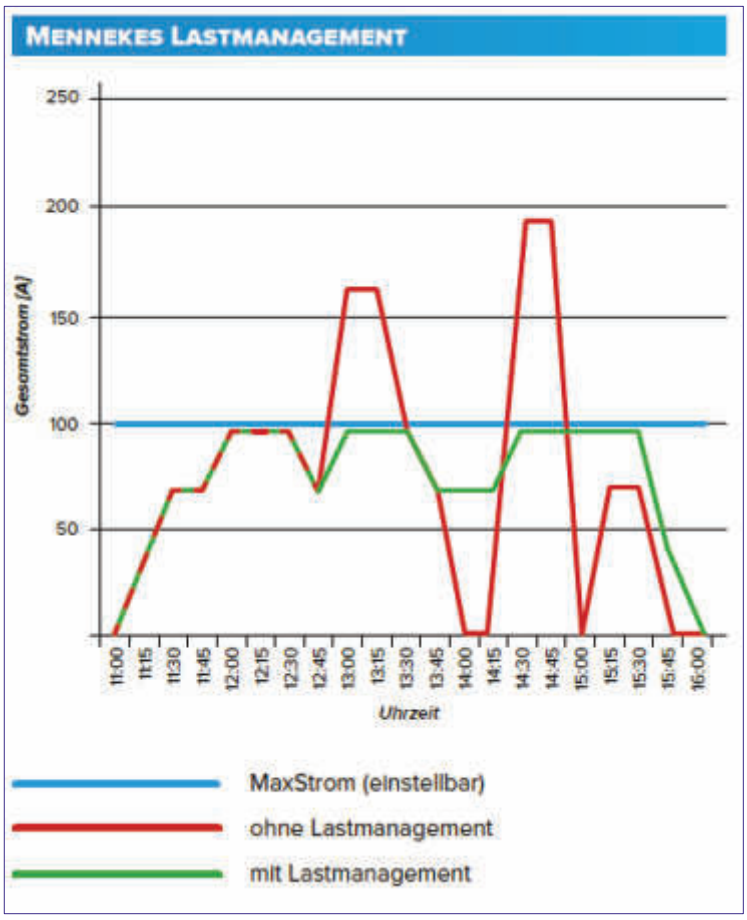

Abbildung 8: Lastmanagement (MENNEKES 2018).

2.3.5.6.2 Anwendungsfälle des Lastmanagements

Lastmanagement ist für viele Anwendergruppen von Interesse, vor allem jedoch für Unternehmen, Betreiber von Immobilien, Parkhäusern, größeren Hotels oder sonstigen Freizeiteinrichtungen. Der Aufbau der LIS in Unternehmen hat verschiedene Zielsetzungen und muss die unterschiedlichsten Bedürfnisse erfüllen: Ladebedarf von Mitarbeitern, Dienstfahrzeugen oder der eigenen Flotte, die elektrifiziert werden soll. Gleichzeitig muss die infrastrukturelle Sicherheit gewährleistet sein, sie sollte einfach zu steuern sein und eine einfache Abrechnung ermöglichen (MENNEKES 2018). In Tabelle 2 sind die entsprechenden Anforderungen aufgeführt.

Tabelle 2: Anwendungsfälle (MENNEKES 2018, EIGENE DARSTELLUNG).

Mitarbeiterladen in Unternehmen	Unternehmen und Flottenbetreiber	Hotels	Parkhäuser	Private Wohnung/ Vermieter
Gleichmäßig verteilte Ladeleistung 6-10 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	8-10 Stunden Organisation der Ladepunktzugänge

Für Mitarbeiter ist eine gleichmäßig verteilte Ladeleistung über den Tag möglich, da die Ladezeit bei 6 - 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 von teils 22 - 50 kW oder höher 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 9 zeigt die verschiedenen praktischen Umsetzungsmöglichkeiten des Lastmanagements.

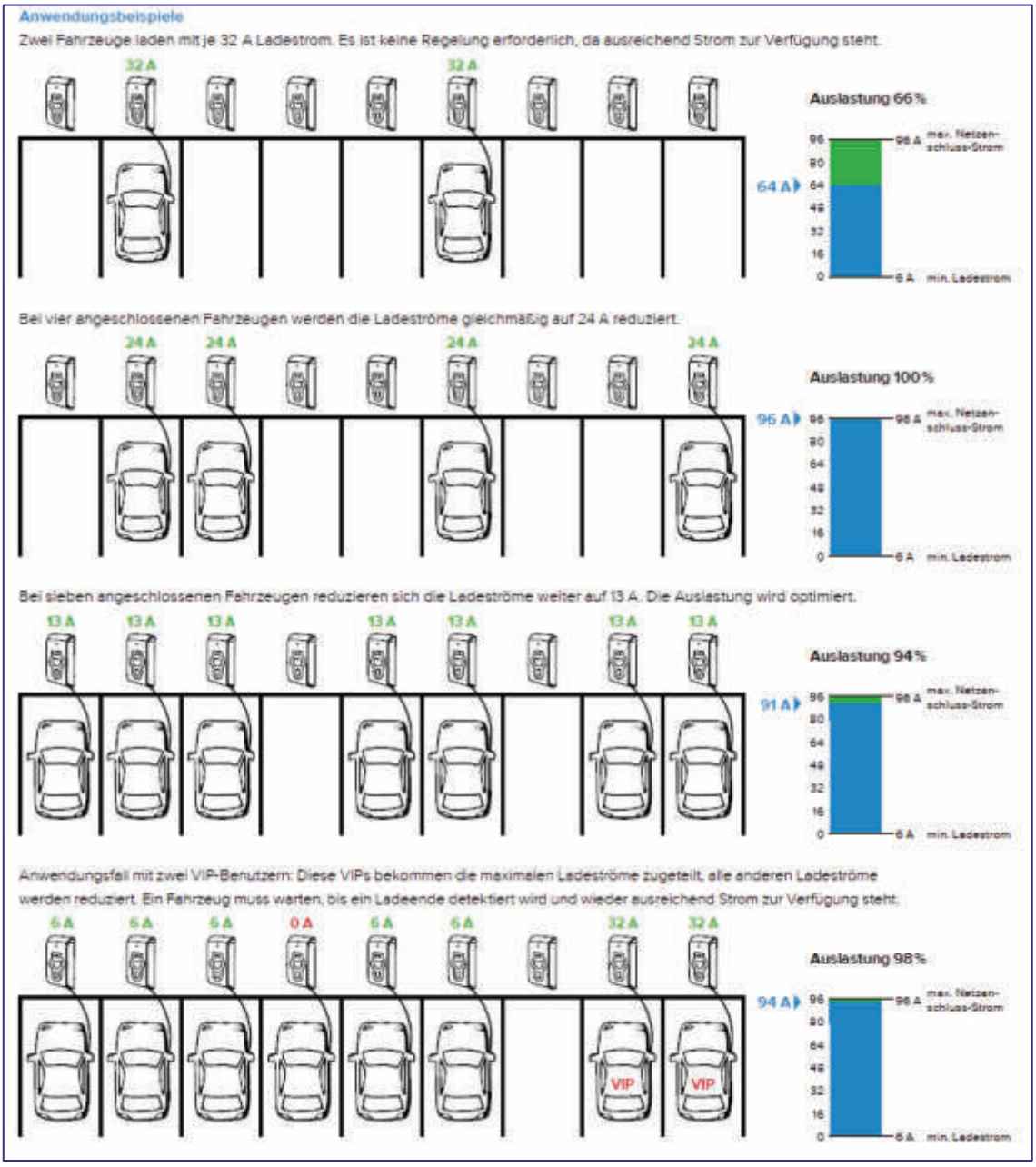

Abbildung 9: Anwendungsbeispiele von Lastmanagement (MENNEKES 2018).

2.3.5.7 Netzsituation in Breisach am Rhein

Die Stromnetze in Breisach werden durch die bnNETZE GmbH unterhalten. Die Versorgung der Stadt in der Mittelspannung erfolgt über 5 x 20 Kilovolt (kV) Stränge mit je 320 Ampere (A) und insgesamt 1.600 A was einer Leistung von 57 MW entspricht. Zum Vergleich: In 2019 lag der Spitzenlastbezug bei etwa 21 MW. Somit bestehen ausreichend Restkapazitäten. Eine Lastberechnung der bnNETZE GmbH hat ergeben, dass unter der Annahme einer 100 % Elektrifizierung des Verkehrs in Breisach ein Lastzuwachs von etwa 60 % zu erwarten ist. Somit ist schon heute, auch unter Eintreten des genannten Szenarios, mehr als ausreichend Restkapazität für weitere Verbraucher oder eine flächendeckende LIS im Bestandsnetz vorhanden. Nichts desto trotz sehen es die bnNETZE GmbH perspektivisch als erforderlich an, den steigenden Anforderungen an die Stromnetzinfrastruktur (durch Sektorenkopplung, Wärmewende und Ausbau der E-Mobilität) gerecht zu werden und die Stromnetze zukunftsgerecht aufzustellen. So sollen perspektivisch die 20 kV Stränge auf einen größeren Querschnitt von 5 x 400 A = 2.000 A und einer Gesamtleistung von 71 MW gebracht werden. In 2018 haben die bnNETZE bereits erste umfassende **Netzerneuerungen und Netzbaumaßnahmen ergriffen, bspw.:**

- Erneuerung Schalthaus Leopoldschanze
- Erneuerung & Erweiterung des 20 kV Kabelnetzes
- Vergrößerung von Kabel-Querschnitten bei Sanierungen

Der Anschluss von Normalladeinfrastruktur erfolgt i.d.R. im Niederspannungsbereich. Hier ist keine pauschale Aussage möglich und es bedarf bei der Installation einer Einzelfallentscheidung. Grundsätzlich ist der Anschluss einer LIS immer möglich, jedoch bspw. abhängig von der installierten Leistung, der Restkapazität des Hausanschlusses (HA) oder schlichtweg einer wirtschaftlichen Entscheidung aufgrund der Entfernung von baulicher Umsetzung und Stromnetzanschlussmöglichkeit. Im Bestand sind in Breisach meist Kabelquerschnitte von 150² Aluminium verbaut. In der Niederspannung ergreifen bnNETZE umfassende Maßnahmen, um Netzstabilität zu gewährleisten, optimal auszulegen und intelligent zu steuern:

- Vergrößerung Kabel-Querschnitte (vor allem im Neubau und bei Sanierungen)
- Erneuerung Transformatoren
- Ausreichende Auslegung der HA
- TABs: Anlagen ab 3,6 kW Anmelde- bzw. ab 11 kW Genehmigungspflichtig
- Anpassung der TAB: Aktuell ein HA pro Flurstück perspektivisch ggf. Zwei
- Projekte zur Netzsteuerung durch den Netzbetreiber (jedoch rechtlich und bundesweit noch nicht abschließend geklärt)
- Regelbare Ladeeinrichtungen für netzdienliches Lastmanagement inkl. dezentrale PV-Speicherlösungen

2.3.5.8 Deckung des Strombedarfs für E-Mobilität durch erneuerbare Energien

2.3.5.8.1 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. Bilanziell ist die Deckung des benötigten Stroms für E-Fahrzeuge 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 i.d.R. nicht mit den Ladezeiten der E-Fahrzeuge 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 EE viel Strom einspeisen.

Im Hinblick auf den Ausbau der E-Mobilität ist damit zu rechnen, dass insbesondere im Privatbereich, wo vermehrt eigene Stellplätze etc. zur Verfügung stehen, der Eigenverbrauch steigen wird. Neben dem Eigenverbrauch wird eine weitere Nutzung des erzeugten erneuerbaren Stroms über Direktbelieferung oder sonstige Direktvermarktung erfolgen. Privatleute mit der Möglichkeiten zur Installation einer Ladelösung können somit eine sinnvolle und nachhaltige Lösung für eigens erzeugten Strom finden. Das neue EEG 2021 (Post-EEG) sieht vor, dass der Netzbetreiber eine Einspeisevergütung von 2-3 ct/kWh auszahlt (Jährliche Variation). Darüber hinaus kann es bei günstigen techn. und rechtlichen Konstellation im Objekt wirtschaftlich sinnvoll sein, auf Eigenstrom umzurüsten. Beides sollte in den meisten Fällen ausreichend sein, dass die bereits abgeschriebenen PV-Anlagen zum Weiterbetrieb von ca. 10 Jahren die Ersatzinvestitionen für Instandhaltungen (Wechselrichter/Modultausch) gedeckt werden können. Die Neuinstallation eines stationären Speichers in Kombination mit der Nutzung eines E-Fahrzeugs ist zum jetzigen Zeitpunkt für einen wirtschaftlichen Betrieb schwierig umzusetzen. Hierfür müssen entsprechende Rahmenbedingungen und Förderungen vorhanden sein.

2.3.5.8.2 E-Mobilitäts-Szenarien: Möglichkeiten der Deckung des Strombedarfs durch erneuerbare Energien

Im Stromnetz wir die Anzahl von dezentralen Einspeiseanlagen immer größer. Auch E-Fahrzeuge werden perspektivisch Strom ins Netz rückspeisen können (Bidirektionales Laden). 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 LIS im Verteilnetz vorhanden sind (BECKER 2018).

Ziel der Bundesregierung ist es, das im Jahr 2030 ca. 7 - 10 Millionen E-Fahrzeuge auf Deutschlands Straßen unterwegs sind. Wendet man diese exponentielle Wachstumsrate auf den Bestand an E-Fahrzeugen bei entsprechend den letzten Jahren durchschnittlich steigenden PKW-Zulassungen an, läge der Anteil an E-Fahrzeugen in Breisach im Jahr 2030 bei ca. 3.400 Fahrzeugen und etwa 32,5 % des geschätzten Gesamt-PKW-Bestandes in 2030 (vgl. hierzu Exponentielles Wachstum der E-Fahrzeugzahlen vgl. Tabelle 3 und 5.1). Dieses Szenario ließe den Strombedarf in Breisach um etwa 6,75 Mio. kWh im Jahr ab 2030 ansteigen (vgl. Tabelle 3). Das entspricht einem Anteil von ca. 11 % des Gesamtstromverbrauchs von 2019. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Strombedarf bis 2030 um ca. 15 % auf etwa 72 Mio. kWh/Jahr ansteigen wird. Denn es ist zu berücksichtigen, dass aufgrund des Bevölkerungswachstums, der Erschließung von Neubaugebieten, der Verstromung der Lebensumgebung, der Wärme- und Verkehrswende etc. der Gesamtstromverbrauch ansteigt und sich somit der Anteil der E-Mobilität prozentual verringern wird. Demzufolge läge der prozentuale Anteil niedriger als im Vergleich zu 2018 und somit bei ca. 9,4 %.

Im Hinblick auf das Bundesziel von 7 - 10 Mio. E-Fahrzeugen bis 2030 läge der Bestand in Breisach bei rund 13 - 18 % des geschätzten PKW-Bestandes und somit bei ca. 1.358 - 1.940 E-Fahrzeugen.

Tabelle 3: Strombedarfsabschätzung für E-Fahrzeuge in Breisach für das Jahr 2030

Gesamtstromverbrauch 2019: ca. 62,5 Mio. kWh **Gesamtstromverbrauch 2030: ca. 72 Mio. kWh**	**Bundesziel von 7 Mio. E-Fahrzeugen**	**Bundesziel von 10 Mio. E-Fahrzeugen**	**Exponentielles Wachstum**
Anzahl E-Fahrzeuge in 2030	1.358	1.940	3.392
Gesamtstrombedarf der E-Fahrzeuge in 2030	2,7 Mio. kWh	3,85 Mio. kWh	6,75 Mio. kWh
Anteil an Gesamtstromverbrauch in 2030	Ca. 3,35 %	Ca. 5,36 %	Ca. 9,37 %

*Bei 13.257 km/ Jahresfahrleistung und 15 kWh/ 100km

Es wird außerdem erneut die Problematik des gleichzeitigen Ladens deutlich. Würden alle Nutzer ihr E-Fahrzeug nach Feierabend bei einer Ladeleistung von 2,2 - 3,7 kW laden, würde sich die sowieso zu Feierabend entstehende Lastspitze um bis zu 7 MW bei Erreichung der Bundesziele erhöhen. Bei höheren Ladeleistungen und mehr E-Fahrzeugen 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 bspw. die Anzahl der E-Fahrzeuge (1.940) in Breisach im Jahr 2030 bilanziell mit regenerativem Strom laden zu können wären bspw. 2,4 Windkraftanlagen mit je 3 MW Leistung notwendig, welche mit 2.000 Vollaststunden pro Jahr den Strom rein für die E-Fahrzeuge erzeugen.

Während der Strombedarf in Summe bilanziell problemlos durch EE gedeckt werden könnte, so stellen die zu erwartenden Lastspitzen diesbezüglich die größere Herausforderung dar, da diese physikalisch nach Nachfrage direkt bedient werden müssen. In Szenario 1 müssten 2,4 Windkraftanlagen zum Zeitpunkt der Lastspitze in Betrieb sein, die nach Feierabend durch die gleichzeitigen Ladungen entstehen würde. Hier wird schnell deutlich, dass dies auf Erzeugerseite, aufgrund der Stromverfügbarkeit durch PV-Strom, schwer zu stemmen ist. Folgende Annahmen wurden für die Berechnung getroffen:

- Zielerreichung der Bundesregierung von 10 Mio. bis 2030: 1.940 E-Fahrzeuge
- 13.257 km/Jahr durchschnittliche Fahrleistung (KBA 2018)
- 15 kWh/ 100 km Stromverbrauch pro Fahrzeug
- Leistung wird 1:1 durch die inst. Leistung der EE-Anlage abgedeckt

Tabelle 4: Strombedarf im Bereich E-Mobilität im Jahr 2030 (EIGENE DARSTELLUNG).

	Szenario 1: Laden nur zu Hause	Szenario 2: Laden zu Hause und beim Arbeitgeber	
Gleichzeitigkeits-faktor	1 Gleichzeitiges Laden	0,5 Verteilung durch Lastmanagement	
Ladeleistung	3,7 kW	3,7 kW	22 kW
Ladezeit pro Tag (für 5,1 kWh bei 2 x 17 km Pendelstre-cke)	1 Stunde 22 Minuten	2 x 41 Minuten	2 x 7 Minuten
Lastspitzen	7 MW, nach Feier-abend, ca. 18 Uhr	3,5 MW, jeweils morgens zu Arbeitsbeginn (ca. 8 Uhr) und nach Feierabend (ca. 18 Uhr)	21,3 MW, jeweils mor-gens zu Arbeitsbeginn (ca. 8 Uhr) und nach Feierabend (ca. 18 Uhr)
Strommenge	**3,85 Mio. kWh/a**		
Deckung des Strom-verbrauchs durch EE	1 Windkraftanlage à 3 MW Leistung (bei 2.000 Vollaststunden pro Jahr)		
Möglichkeiten zur Kompensation der Lastspitzen	2,4 Windkraftanlagen à 3 MW Leistung	1,2 Windkraftanlagen à 3 MW Leistung	7,1 Windkraftanlagen à 3 MW Leistung

Wie in Abbildung 10 zu erkennen, erzeugte Breisach in 2018 ca. 6,036 Mio. kWh Strom aus Photovoltaik, die ins öffentliche Stromnetz eingespeist wurden. Wird nun von der erforderlichen Strommenge für E-Fahrzeuge im Jahr 2030 in Höhe von rund 3,85 Mio. kWh (vgl. Tabelle 4) ausgegangen, so entspricht der Strombedarf der E-Fahrzeuge etwa 2/3 der zur Verfügung stehenden Energie aus PV-Strom. Um einen zusätzlichen Anhaltspunkt zu erhalten wurde in Tabelle 4 eine Deckung des Strombedarfs mit Windkraftanlagen herangezogen.

Bilanziell wäre der Bedarf vollständig je nach Szenario durch PV-Strom zu decken. Auch vor dem Hintergrund, dass bis 2030 zusätzliche PV-Anlagen installiert werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass auch der Eigenverbrauch aus den EE-Anlagen in dieser Berechnung nicht miteinfließt, PV-Strom nur tagsüber erzeugt und bei Bewölkung oder je nach Tages-/ Jahreszeit bzw. Sonnenstand nur abgemindert produziert werden kann. Der Gesamtstromverbrauch für Breisach wird im Jahr 2030 bei ca. 72 Mio. kWh liegen. Die in 2030 benötigte Strommenge von ca. 3,85 Mio. kWh für E-Fahrzeuge würde dann ca. 5,36 % am Gesamtstromverbrauch einnehmen.

Tabelle 5: Gesamtstromverbrauch und dezentrale Stromerzeugung.

Breisach	Gesamtstromverbrauch (kWh)	Eingespeiste Energiemenge durch PV-Strom (kWh)
2018	62.478.057	6.036.978
2030 (Prognose)	72.025.000	8 - 9.000.000

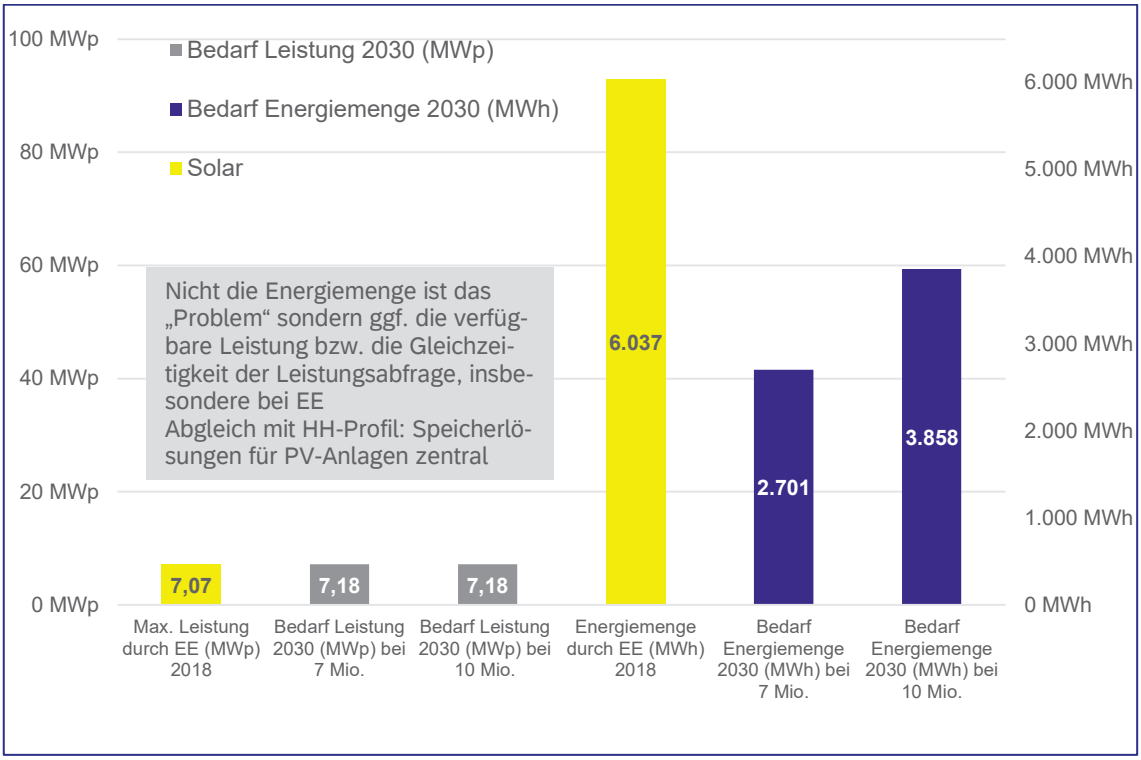

Abbildung 10: Erzeugung und Bedarf Erneuerbarer Energien. Quelle: BNNETZE 2019

Um den entstehenden Strombedarf nicht nur bilanziell durch erneuerbare Energien decken zu können, sind sowohl im Privatbereich als auch im Gewerbe oder an „Ladehubs“ autarke Ladelösungen notwendig. In solchen Anwendungsfällen kann die erzeugte Energie mithilfe von Speichersystemen zeitversetzt und entsprechend der Nachfrage zur Verfügung gestellt werden, ohne dass Strom zuerst ins öffentliche Stromnetz gespeist wird.

Der große Pluspunkt der E-Mobilität kann in Zukunft die optimale Kombinierbarkeit mit erneuerbaren Energien, insbesondere der großen Verfügbarkeit von PV-Strom sein. Im Idealfall wird das E-Fahrzeug direkt mit Solarstrom geladen. In der Praxis ist dies jedoch oft schwierig, da die Standzeiten, gerade im Privatbereich, von Nachmittags bis Morgens sind und in diesen Zeiten in der Regel nicht ausreichend PV-Strom zur Verfügung steht. In diesem Anwendungsfall ist die Ergänzung mit einem Batteriespeicher notwendig. Eine PV-Anlage mit 3 kW Leistung würde ausreichen, um ein E-Fahrzeug rund 14.000 km (ca. jährliche Fahrleistung eines durchschnittlichen PKW in Deutschland) zu betreiben.

Mit dem Bundesratsbeschluss zum EEG 2021 vom 18.12.2020 wurden die Regelungen zur auslaufenden EEG-Förderung grundlegend überarbeitet. In der kurzfristig geänderten Fassung der Novelle wurde der einfache, bestehende Weg der Einspeisung des aus der PV Anlage produzierten Stroms beim örtlichen Netzbetreiber fortgeschrieben. Die Anlagenbetreiber erhält hier eine Einspeisevergütung, die abhängig vom durchschnittlichen Strompreis auf dem Spotmarkt aus dem vorangegangen Jahr ist. Für das Jahr 2021 liegt diese Vergütung bei ca. 2.5 ct/kWh. Darüber hinaus wurden zusätzliche Einnahmen durch die vereinfachte messtechnische Umstellung auf Eigenverbrauch ermöglicht. Dem Anlagenbetreiber ist weiterhin erlaubt eine höhere Vergütung durch eine Direktvermarktung über einen Energievertrieb unter Beachtung der gesetzlichen Rahmenbedingungen in Anspruch zu nehmen. Insbesondere bei kleinen PV-Anlagen dürfte allerdings die SmartMeter Pflicht vor allem in den kommenden Jahren, welche die Wirtschaftlichkeit stark einschränken.

2.3.5.8.3 Reduzierung des Strombedarfs und der Lastspitzen durch Gegenmaßnahmen

Anreize für Gegenmaßnahmen zu setzen, wird also unumgänglich sein. Abbildung 11 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 die Investitionen für den Netzausbau.

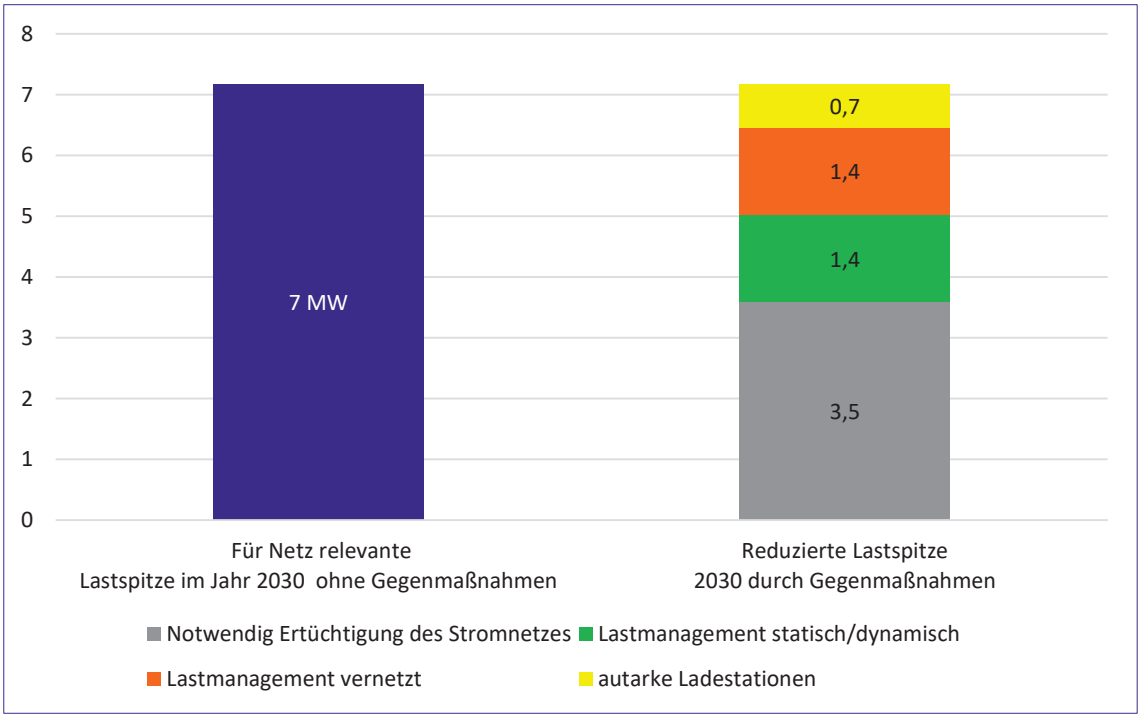

Abbildung 11: Reduzierte Lastspitze 2030 durch Gegenmaßnahmen (EIGENE BERECHNUNG[8]).

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. Mit Blick auf das EEG 2021 bzw. Post-EEG sind die gesetzlichen Grundlagen dafür geschaffen worden, dass bspw. PV-Anlagen nach 20 Betriebslaufzeit weiterhin betrieben werden können. Eigenstromnutzung rückt durch die Gesetzesänderung weiterhin in den Fokus.

Die Vernetzung wird vor allem in diesem Bereich durch die fortschreitende Digitalisierung steigen. So werden E-Fahrzeuge 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.

[8] Reduzierung der notwenigen Last durch E-Mobilität: 10% Nutzung autarker Ladestationen, 20% Nutzung Lastmanagement statisch/dynamisch, 20% Nutzung Lastmanagement vernetzt.

2.3.6 Ökologie

Um die Ökologie von E-Fahrzeugen zu bestimmen, bedarf es umfangreicher Annahmen und Berechnungen, die den Rahmen dieser Ausarbeitung übersteigen 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_2-Ausstoß (bzw. CO_2-Äquvivalente). 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_2-Ausstoßes mit anderen Antriebsarten.

2.3.6.1 Emissionen während der Fahrt

E-Fahrzeuge haben zwei deutliche Vorteile im Hinblick auf 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 PKWs 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_2-Emissionen während der Fahrt. Dies gilt für konventionelle Fahrzeuge als auch für E-Fahrzeuge. Eine Zusammenstellung der anzusetzenden Emissionen pro Fahrzeugtyp und Hersteller wird vom KBA publiziert (KBA 2018A). Die Emissionen werden EU-weit nach der Regelung 101 der EU-Wirtschaftskommission berechnet. So werden E-Fahrzeuge bzw. der elektrische Anteil bei Hybriden behördlich mit einer CO_2-Emission von 0g/km eingestuft. Zwar emittieren E-Fahrzeuge lokal kein CO_2, da sie keinen Verbrennungsmotor besitzen, dennoch entspricht diese Annahme selbstverständlich nicht der Realität, denn die Produktion und auch die Erzeugung der zum Antrieb benötigten Elektrizität verursacht Emissionen. Für 2019 wird die durchschnittliche CO_2-Emission pro verbrauchter kWh in Deutschland (Deutscher Strommix) auf 401 Gramm geschätzt.

Einem fiktiven Fahrzeug mit einem Verbrauch von 15 kWh/100 km müsste somit eine Emission von 60 g/km angerechnet werden. Auch wenn der Strom für E-Fahrzeuge – 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 etc. anzunehmen. Diese belaufen sich auf ca. 9 g/kWh für Wind (onshore) und 55 g/kWh für Photovoltaik (UMWELTBUNDESAMT 2017B). Somit wäre die CO_2-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_2-Emissionen eines E-Fahrzeugs während der Fahrt geringer aus als exemplarisch verglichen bei einem VW Golf der neusten 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_2 pro km.

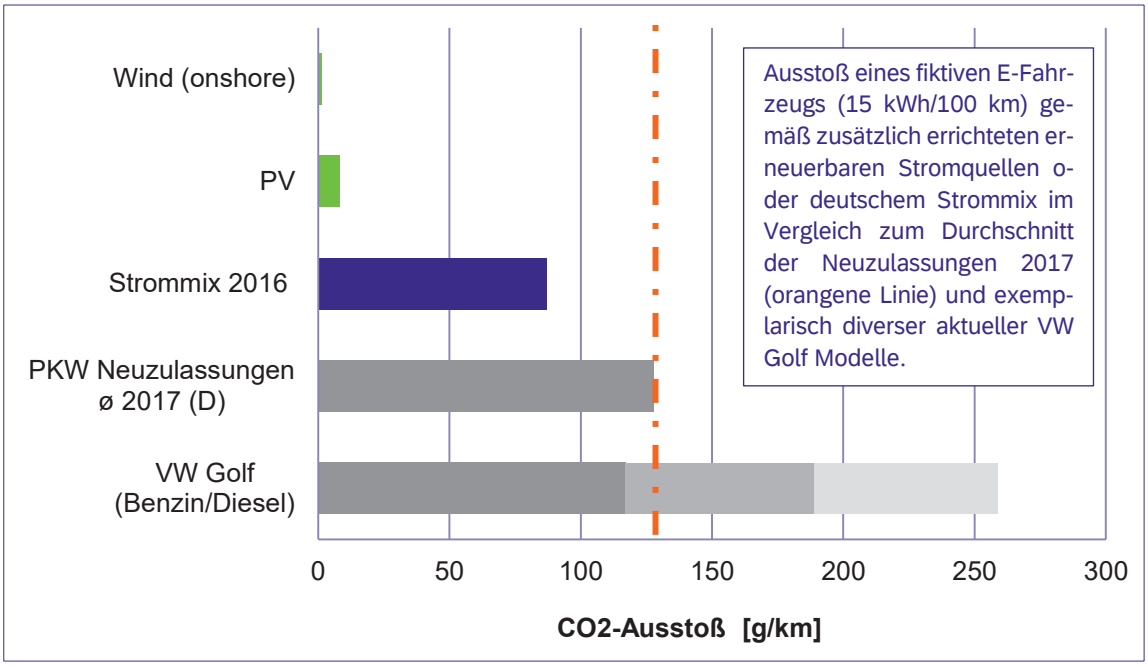

Abbildung 12: CO_2-Emissionen nach Antriebsenergie. Eigene Berechnungen gemäß Quellen (UMWELTBUNDESAMT 2017A, 2017B, KBA 2018, VW 2018).

Folglich haben E-Fahrzeuge 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 E-Fahrzeuge 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_2-Emission von 300 g/kWh im deutschen Strommix des Jahrs 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 E-Fahrzeugen basierend auf dem deutschen Strommix 2030 CO_2-Emissionseinsparungen von bis zu 76 % gegenüber den konventionellen Bestandsfahrzeugen zu erreichen.

2.3.6.2 Emissionen aus der Produktion der Batterien

Die Betrachtung der CO_2-Emissionen, die während der Fahrt entstehen, ist wichtig, doch nicht alleine maßgebend. Zwar emittiert ein E-Fahrzeug während der Fahrt kein CO_2, 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 E-Fahrzeugs eingerechnet werden.

Die entstehenden Emissionen von Batterien sind stark abhängig von der Speicherkapazität des Akkus und werden in vielen Studien in kg emittierter CO_2 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_2-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_2-Äquivalent pro kWh Batteriekapazität zusammengefasst (ROMARE UND DAHLLÖF 2017). Auch das Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) 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_2-Ausstoß angesetzt und daher nicht näher beleuchtet (siehe auch BMVI 2016, IFEU 2017, ADAC 2018A, 2018B, 2019B).

Der ADAC zitierte im Okt. 2019 eine Analyse der öster. Forschungsgesellschaft Joanneum Research, in der ein E-Auto im Verhältnis zu einem vergleichbaren Auto mit Ottomotor nach 127.500 km oder 8,5 Betriebsjahren, im Vergleich zu einem Auto mit Dieselmotor erst nach 219.000 km oder 14,6 Betriebsjahren eine günstigere CO_2-Bilanz aufweist. Berücksichtigt werden die CO_2-Emissionen bei der Batterieproduktion und der in Mitteleuropa noch ungünstige Strommix für den Ladestrom. Bei Berücksichtigung von 100 % erneuerbaren Fahrstrom würde sich die Bilanz deutlich verbessern.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass sämtliche Studien nicht dem laufenden Prozess der Dekarbonisierung entsprechen und somit die Bilanz für das Elektroauto inkl. Batterieproduktion besser ausfällt als in den Studien beschrieben.

2.3.6.3 Emissionen eines E-Fahrzeugs 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 E-Fahrzeuge im Vergleich zu der von Verbrennungsfahrzeugen.

Wie aufgezeigt, hat das E-Fahrzeug 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 LCA der CO_2-Emissionen eines E-Fahrzeugs 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 LCA von E-Fahrzeugen 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_2 pro kWh wie in ROMARE und DAHLLÖF (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 (TREMOD 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 E-Fahrzeugs. Die Studie stellt die Emissionen von E-Fahrzeugen (mit unterschiedlichen Energiequellen) im Vergleich zu Verbrennungsfahrzeugen (ebenfalls mit unterschiedlichen Kraftstoffen) gegenüber rund zeigt die einzelnen Lebensphasen der Fahrzeuge getrennt dar. Ermittelt wurde die Bilanz pro km bei einer Lebenslaufleistung von 168.000 km. Die Bilanzen der E-Fahrzeuge sind für verschiedene Strommixe, die der Verbrennungsfahrzeuge für konventionellen und durchschnittlichen Biokraftstoff dargestellt.

Deutlich wird, dass die Fahrzeugherstellung von E-Fahrzeugen ca. doppelt so CO_2-intensiv ist wie bei den Verbrennungsfahrzeugen. In der gesamten Lebenszyklusanalyse schneidet hingegen das E-Fahrzeug auch mit deutschem Strommix (2015) besser ab als die konventionell betankten Fahrzeuge. Die Relevanz der Herkunft des Fahrstroms wird deutlich erkennbar. E-Fahrzeuge betrieben mit Strom aus Windkraftanlagen haben mit Abstand den geringsten CO_2-Ausstoß aller Fahrzeuge.

Zum gleichen Ergebnis kommt eine Studie, die das Fraunhofer IBP im Auftrag des BMVI (2016) erstellt hat. Die Kernaussage ist in unterer Abbildung 13 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 E-Fahrzeugen 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 Benziner 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.

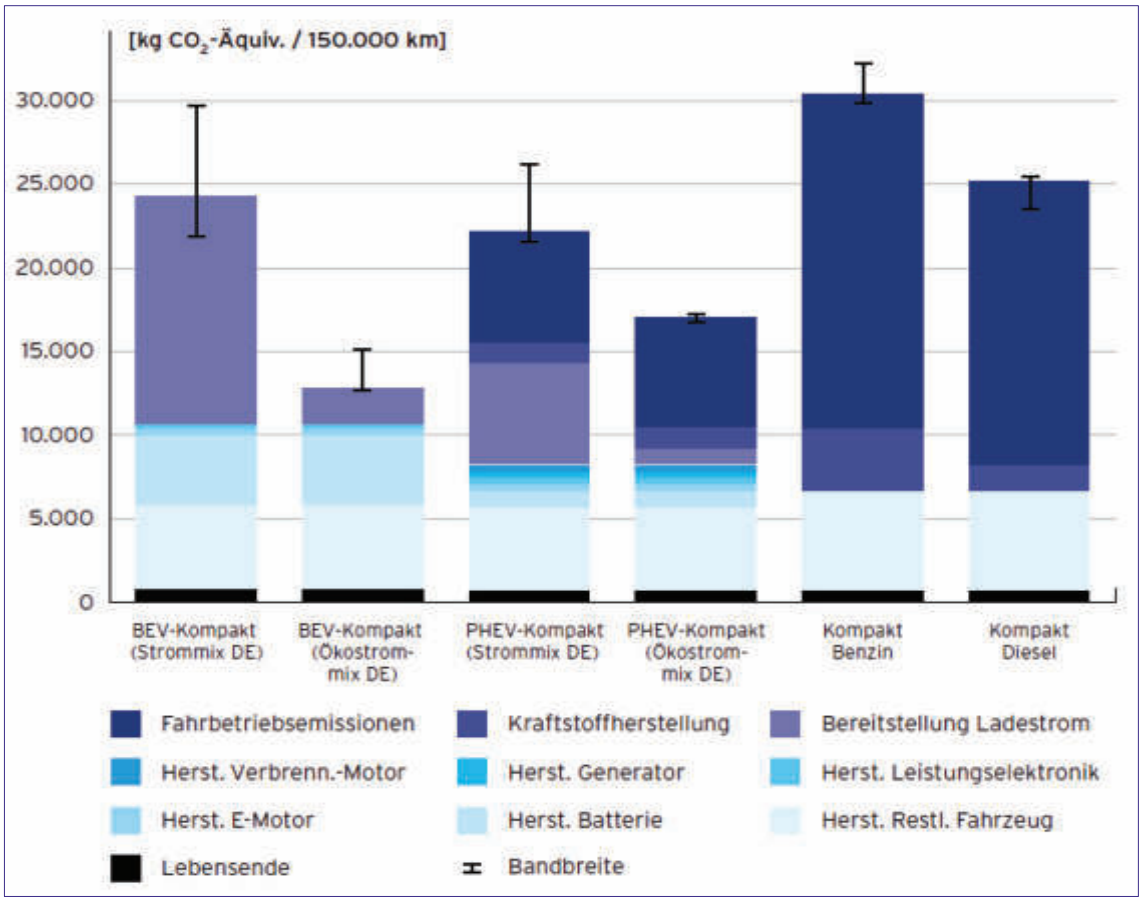

Abbildung 13: Vergleich der Treibhauspotenziale elektrischer und konventioneller Referenzfahrzeuge (Kompaktwagensegment). (BMVI 2016).

Die Bedeutung des zugrunde gelegten Strommixes ist folglich entscheidend. Mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energiequellen sinken entsprechend auch die Emissionen der E-Fahrzeuge, 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 E-Fahrzeugs 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 E-Fahrzeugs mit einer CO_2-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).

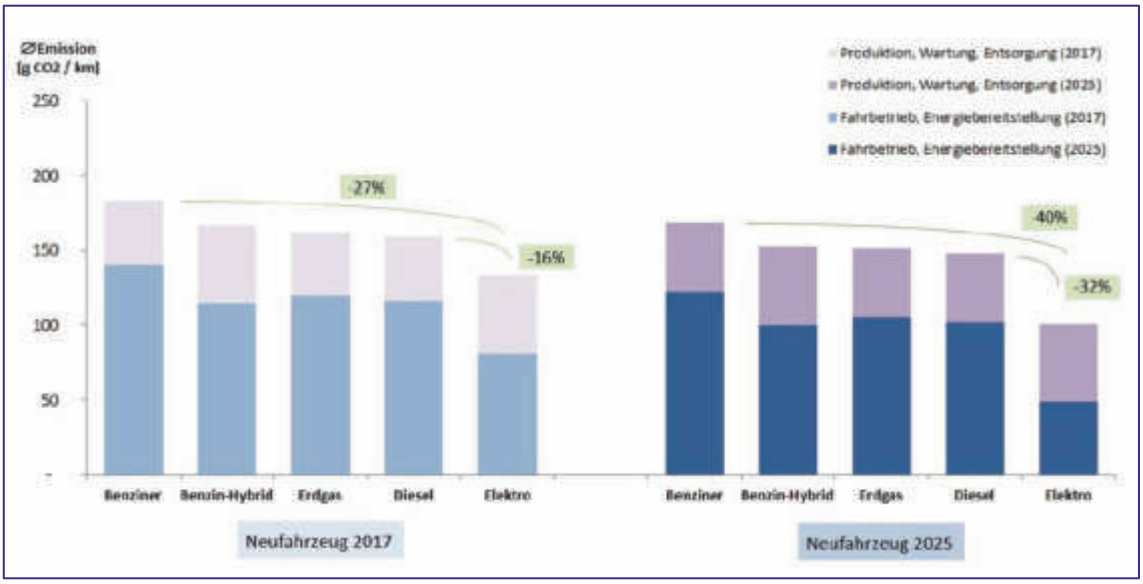

Abbildung 14: CO_2-Emissionen pro Fahrzeugkilometer über den gesamten Lebenszyklus, links für ein Fahrzeug, das 2017 neu zugelassen wird, rechts für eines, das 2025 neu auf die Straße kommt. (BMU 2019).

Alle Studien zeigen auf, dass E-Fahrzeuge auch unter der Verwendung des deutschen Strommixes eine positivere CO_2-Bilanz haben als vergleichbare Benziner oder Dieselfahrzeuge erreichen können. Einheitlich zeigen die Studien auf, dass die Batterieproduktion negativ zu Buche schlägt und dem E-Fahrzeug eine deutlich höhere CO_2-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 E-Fahrzeuge 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 in 2019 eine Studie zu Emissionsberechnungen unterschiedlicher Antriebssysteme bzw. Kraftstoffarten veröffentlicht (ADAC 2019 A). Deutlich zu erkennen ist, dass die CO_2äq-Emissionen in g/km bei BEV und der Nutzung von 100 % regenerativem Strom, mit Wasserstoff, die mit Abstand klimafreundlichste Art der Fortbewegung darstellt. Werden E-Fahrzeuge mit deutschem Strommix betrieben zeigt sich eine deutliche schlechtere Klimabilanz, sodass sogar Erdgasfahrzeugen auf Biomethan Basis (vgl. Abbildung 15). Somit ist es unabdingbar E-Fahrzeuge mit 100 % Ökostrom zu betreiben.

Abbildung 16 veranschaulicht deutlich die zuerst über den Lebenszyklus (gefahrene Kilometer) schlechter gestellte Klimabilanz von E-Fahrzeugen (insbesondere BEVs) gegenüber konventionell betriebenen Fahrzeugen. Dies ist durch die energieintensive Herstellung der E-Fahrzeuge (insb. der Batterien) zu begründen. Mit zunehmender Kilometerlaufleistung schneiden sich die Kurven und die E-Fahrzeuge sind klimabilanziell besser gestellt aus konventionelle Fahrzeuge.

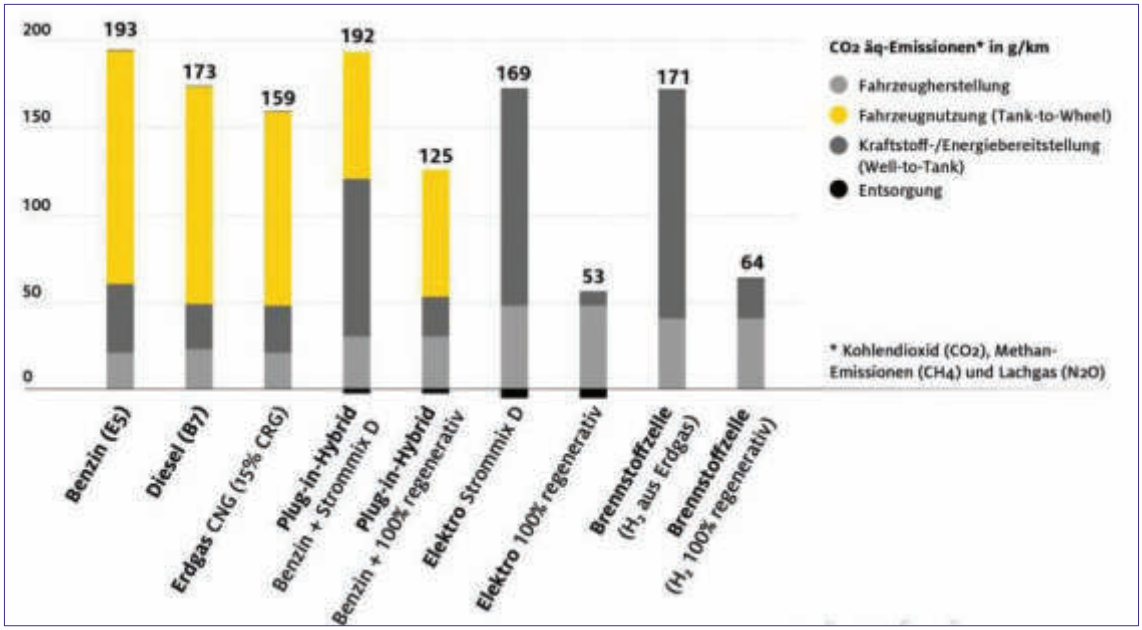

Abbildung 15: CO_2äq-Emissionen in g/km nach Kraftstoffart. ADAC E.V. (2019A).

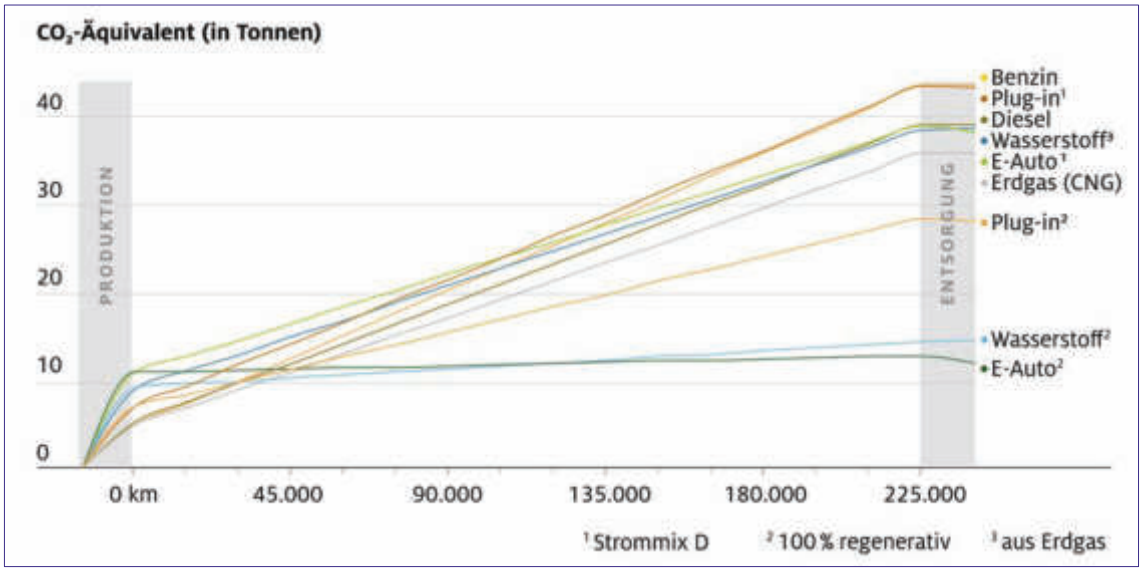

Abbildung 16: CO_2 Äquivalent (in Tonnen). ADAC e.V. (2019A).

2.3.6.4 Weitere Aspekte der Ökologie

Jenseits der isolierten Betrachtung der CO_2-Emissionen werden in umfassenden Studien auch weitere Umwelteinflüsse untersucht. Bei der Stromherstellung sind hier vor allem NO_x 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 weiterer seltener Erden (insbesondere Kobalt aus dem Kongo), zeigt auf, dass auch die Ressourcenknappheit eine hohe Relevanz hat.

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 E-Fahrzeuge sondern auch andere elektrotechnische Konsumgüter und Bauteile in konventionellen Fahrzeugen.

Recycling von E-Fahrzeug-Batterien/-Akkus

Je nach Zeit, Nutzungsintensität und Entladungszyklen verlieren Akkus ihre Kapazität. Es stellt sich die Frage, wie die Akkus weiter verwendet oder recycelt bzw. entsorgt werden können? In erster Linie können und sollten Akkus aus E-Fahrzeugen (nach ca. 8-10 Jahren bzw. einem Energiegehalt von ca. 70 %) im Second-Life als stationäre Batteriespeichersysteme (in Firmen oder Wohnhäusern) eingesetzt werden. Durch den Einsatz kann die Lebensdauer des Akkus auf ca. 20 Jahre verlängert werden. Zumal der Einsatz im stationären Betrieb weitaus weniger beanspruchend ist als im E-Fahrzeug (vgl. Abbildung 17).

Nach dem Second-Life stellt sich die Frage nach den Recyclingmöglichkeiten. E Auto-Akkus enthalten wertvolle Rohstoffe bzw. seltenen Erden wie Kobalt, Nickel und Lithium. Um sie zurückzugewinnen, ist großer, zum Teil manueller Aufwand notwendig, der das Recycling bislang noch unwirtschaftlich macht. Dies liegt vordergründig an den unterschiedlichen Batterietypen, sodass bislang nur bedingt eine Automatisierung der Zerlegung erfolgen kann. Zudem sind „automatisierte Recyclingverfahren“ sehr energieintensiv. Derzeit finden zwei Methoden Anwendung:

- Das thermische Aufschmelzen: Gesamt-Recycling von 60 - 70 % der Rohstoffe; Kobalt und Nickel bis zu 95 %; Graphit, Elektrolyte und Aluminium sind in diesem Verfahren nicht recycelbar.
- Mechanische Zerkleinern und chemische Herauslösen: Bis zu 96 % der Rohstoffe können recycelt werden. Aluminium und Kupfer lassen sich in Reinform zurückgewinnen; hohe Anteile Graphit, Mangan, Nickel, Kobalt und Lithium.

Die Wirtschaftlichkeit der Recyclingverfahren wird zudem durch den „noch“ kleinen Markt bzw. die geringe Anzahl an zu recycelnden Akkus erschwert.

Darüber hinaus sind die politischen Vorgaben zum Recycling von Altbatterien überholt. So müssen lediglich 50 % des Materialanteils des Akkus wiederverwendet werden (BATTERIEGESETZ 2009). Ebenfalls ist eine Überarbeitung der EU-Richtlinie von 2006 notwendig, die das Recycling von Altbatterien gesetzlich regelt.

Weiterhin muss die Frage nach der Entsorgung von beschädigten Batterien, bspw. nach einem Unfall geklärt werden. Beschädigte E-Fahrzeug-Akkus gelten als hochgefährlicher Sondermüll und unterliegen dem Gefahrgutrecht (gesetzliche Regelungen des ADR) (ebenfalls der generelle Transport von E-Fahrzeugen und der von intakten Batterien). Bislang sind nur wenige Entsorger ausreichend auf deren Behandlung und Recycling spezialisiert.

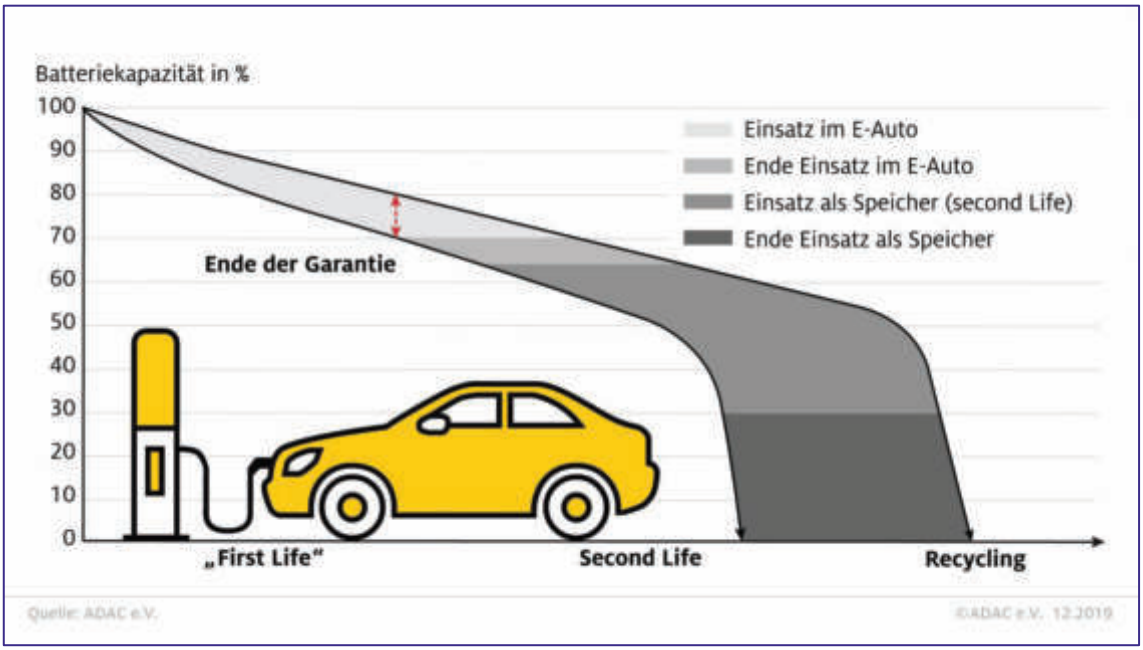

Abbildung 17: Lebenszyklus einer E-Auto Batterie. Quelle: ADAC E.V. (2019B).

2.3.6.5 Ein ökologisches Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten 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_2-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 Mehremissionen 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_2-Ausstoß im deutschen Strommix, folglich durch den Zubau von erneuerbaren Energien, die Gesamtemission von E-Fahrzeugen sinkt. Hält sich Deutschland an seine Klimaziele und reduziert die Emissionen weiterhin, so stellen E-Fahrzeuge in Zukunft eine deutlich ökologischere Mobilität zur Verfügung als heutige Verbrenner. Zudem sei angemerkt, dass nicht nur CO_2-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_2 ebenso wie NO_x und weitere umweltaktive Stoffe. Eine grobe Übersicht über den CO_2-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 Trancik labs/MIT: http://carboncounter.com/
- Umweltbilanzen Elektromobilität des ifeu: http://www.emobil-umwelt.de/index.php

2.3.7 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 E-Fahrzeugen auf den Straßen. Deutschland steht mit einem Anteil am Gesamt-PKW-Bestand (BEV und PHEV) von unter einem Prozent noch Anfang (zzgl. HEV bei ca. 2 %). Der Anteil an den Neuzulassungen ist jedoch äußerst vielsprechend und lag im August 2020 bei rund 13 % (BEV + PHEV). Inklusive Hybride lag der Anteil bei ca. 25 %. Nach wie vor werden die folgenden Gründe häufig als Entscheidungskriterium gegen ein E-Fahrzeug genannt:

Anschaffungskosten: Die Anschaffungskosten der E-Fahrzeuge liegen teils noch höher als bei konventionellen Fahrzeugen. Durch die Einsparungen bei den laufenden Kosten (Treibstoff, Wartung etc.) sowie staatliche Förderungen ist das E-Fahrzeug in vielen Klassen bereits heute konkurrenzfähig. Durch den Steuererlass über zehn Jahre und Kaufprämien von bis zu 9.000 Euro werden E-Fahrzeuge zunehmend auch für Endkunden attraktiver. Mobillisten mit einer entsprechenden Jahreskilometerleistung gelten als eine primäre Käufergruppe.

Reichweite: die Reichweite der ersten Generation von E-Fahrzeuge 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 bei aktuellen Modellen zwischen 100 bis 650 km. Die durchschnittliche Reichweite der in 2019 neu zugelassenen E-Fahrzeuge lag bei ca. 360 km. Die hohen Ladeleistungen der Batterien verkürzen auch die Ladezeit auf teils wenige Minuten, so dass E-Fahrzeuge deutlich konkurrenzfähiger gegenüber den über 100 Jahre entwickelten Verbrennermodellen werden. Es sei noch gesagt: statistisch gesehen fahren deutsche Automobilisten täglich im Schnitt gerade mal ca. 38 km (ca. 14.000 km Jahresfahrleistung) und setzen ihr Fahrzeug nur ca. zwei Stunden ein. Dennoch erscheint die geringere Reichweite von E-Fahrzeugen gegenüber Verbrennern bei Käufern als psychologische Hürde.

Verfügbarkeit von LIS: Neben der privaten und halböffentlichen LIS gilt die öffentliche LIS insbesondere im urbanen Bereich als essentiell für die Ladung von privaten E-Fahrzeugen. Durch verschiedene Förderprogramme von Bund und Ländern, der Investition von Wirtschaft und Energieversorgungsunternehmen, Kommunen etc. steigt die Anzahl öffentlicher Ladepunkte kontinuierlich an. Analog dazu steigen die Batteriekapazitäten und somit die Reichweiten der E-Fahrzeuge. Somit kann die einst weit verbreitete „Reichweitenangst“ sukzessive bei Seite gelegt werden.

Fragliche ökologische Vorteile: Viele Diskussionen der vergangenen Jahre haben die Ökologie der E-Fahrzeuge in Frage gestellt. Heute zeigen immer mehr Studien die ökologischen Vorteile auf. Entscheidend sind hierzu eine möglichst CO_2-neutrale Herstellung der Batterien und die Nutzung von ökologischem Fahrstrom aus EE-Anlagen.

Ein zweiter umweltrelevanter Vorteil ist die lokale Emissionsfreiheit. So sind E-Fahrzeuge, 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 E-Fahrzeuge 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 die E-Mobilität zu einem **schnell wachsenden Massenmarkt**. Begünstigt wird dies international durch den **steigenden ökologischen Druck sowie internationale, europäische und nationale Vorgaben und Regelungen**. National und kommunal steigern **Fahrverbote** für andere Antriebsarten und (temporäre) **Vorzüge für E-Fahrzeuge** (Steuern, Busspurnutzung, freies Parken etc.) zunehmend deren Attraktivität. Hierzu gibt es diverse rechtliche Entwicklungen die in den kommenden Jahren fortgeschrieben werden bspw. das GEIG oder das Wohneigentumsmodernisierungs-Gesetz.

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. Car-Sharing, 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 als ein Teilaspekt in der Verkehrswende finden.

Nach der theoretischen Einführung zum aktuellen Stand, der Entwicklung und den Grundlagen der E-Mobilität erfolgt eine nähere Beschreibung der Ausgangssituation im Hinblick auf die E-Mobilität im Stadtgebiet Breisach.