



Dresden.
Dresden.

Elektromobilität in Dresden

Potenzialstudie

Inhalt

1.	Zielstellung	5
2.	Mobilität in Dresden	7
2.1	Mobilitätsverhalten	7
2.2	Fahrzeugbestand	18
2.3	Ladeinfrastruktur	22
2.4	Umwelt- und Klimawirkung	26
3.	Potenzielle der Elektromobilität in Dresden	37
3.1	Randbedingungen auf internationaler und Bundesebene	37
3.2	Entwicklung der Mobilität in Dresden	39
3.3	Potential der Elektromobilität	41
4.	Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität	57
4.1	Kommunaler Fuhrpark	57
4.2	Öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur	58
4.3	Nicht öffentliche Ladeinfrastruktur	59
4.4	Mobilitätpunkte	59
4.5	Energiemanagement/Einbindung regenerativer Energiequellen	60
4.6	Carsharing/Taxi- und Lieferverkehr	61
4.7	Öffentlicher Verkehr	63
4.8	Parkraummanagement	63
4.9	Null-Emissions-Zonen	64
4.10	Schaffung von Modellquartieren	64
4.11	Zusammenfassung Maßnahmen	65
5.	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Städte	66
5.1	SrV-Daten Meißen und Dresden im Vergleich	66
5.2	Kfz-Bestandsdaten im Vergleich	70
5.3	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf kleinere Städte	71
6.	Zusammenfassung	72
Abbildungsverzeichnis		76
Tabellenverzeichnis		78
Abkürzungsverzeichnis		79
Literaturverzeichnis		81

1. Zielstellung

Elektromobilität steht verstärkt im Fokus des gesellschaftlichen Interesses. Bereits im Jahre 2011 verkündete die Bundesregierung das wirtschafts- und klimaschutzpolitische Ziel, dass bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge und bis 2030 sechs Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland in Nutzung sein sollen. Das Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU) vom November 2017 [SRU 2017] empfiehlt zur Erreichung der Klimaschutzziele im Verkehr bis 2050 die Einführung verbindlicher Quoten von Elektroantrieb bei neuen Fahrzeugen. Demnach sollen rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV) 25 Prozent der Neuzulassungen für 2025 und 50 Prozent der Neuzulassungen für 2030 ausmachen. Damit wären im Jahr 2030 12 Millionen Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen unterwegs. Diese Größenordnung ist nach den Berechnungen des Instituts für Energie- und Umweltforschung (IFEU) Heidelberg notwendig, um die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens zu erreichen. Ob auf Bundesebene entsprechende Vorgaben gesetzt werden oder ob der gegenwärtig gewählte Weg der Europäischen Union (EU) über herstellerbezogene, technologieneutrale Flottenzielwerte für CO₂ (mit angenommenen Nullemissionen für BEV) weiter gegangen wird, ist derzeit offen.

Im November 2016 verabschiedete die Bundesregierung den Klimaschutzplan 2050. Deutschlands langfristiges Ziel ist es laut Klimaschutzplan, bis zum Jahr 2050 weitgehend treibhausgasneutral zu werden. Mittelfristiges Ziel ist das Senken der Treibhausgasemissionen in Deutschland bis 2030 um mindestens 55 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990. Der Verkehrsbereich soll mit 40 bis 42 Prozent (gegenüber 1990) Reduktion bis 2030 zu diesem Ziel beitragen [BMUB 2016]. In [UBA 2017] wird festgestellt, dass das Gesamtziel einer Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95 Prozent nur mit einem treibhausgasneutralen Verkehr im Jahr 2050 erreicht werden kann.

Im Jahr 2013 wurde durch den Stadtrat der Landeshauptstadt Dresden das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept Dresden 2030 (IEuKK) beschlossen. Dieses enthält konkrete energie- und klimapolitische Ziele und Strategien, um das Klimaschutzziel für 2030 zu erreichen [LH Dresden 2013]. Als langfristiges Ziel wird in Dresden eine Verminderung der Treibhausgasemissionen auf ein Niveau von 2,5 Tonnen CO₂-äq pro Einwohner und Jahr angestrebt. Diesem Wert entspricht auch das Ziel der Selbstverpflichtung des Klima-Bündnisses der europäischen Städte und Gemeinden, dem die Landeshauptstadt Dresden seit 1994 angehört. Diese Emissionsobergrenze soll laut IEuKK etwa bis zum Jahr 2050 erreicht werden. Im Jahr 2005 wurden durch die Dresdner etwa 10,1 t CO₂-äq pro Einwohner und Jahr emittiert. Um diese erhebliche Reduktion von 75 bis 80 Prozent verträglich zu gestalten, wird eine kontinuierliche Senkung der spezifischen CO₂-äq-Emissionen angestrebt. Diese soll entsprechend den Verpflichtungen im Klima-Bündnis mindestens 10 Prozent (Basisjahr 2005) für jeden Fünfjahreszeitraum betragen.

Im Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept der Landeshauptstadt Dresden (IEuKK) sind verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen aus dem Verkehr enthalten. Auch im 2014 vom Stadtrat beschlossenen Verkehrsentwicklungsplan 2025plus sind verschiedene Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität aufgeführt:

- Ersatz von Buslinien durch Stadtbahnstrecken
- Ausweitung umweltfreundlicher Citylogistik mit der Güterstraßenbahn, Elektrofahrzeugen und E-Bikes/Pedelecs bzw. vernetzten Radlieferdiensten (EDelivery)
- Kleinteilige Einrichtung von Ladestationen für Elektro-Kfz und Pedelecs im Straßenraum aber auch in gekennzeichneten Läden, Gaststätten oder öffentlichen Einrichtungen
- Öffentlichkeitsarbeit zum persönlichen Mobilitätsstil mit dem Ziel der Förderung intermodaler Mobilität und Priorisierung von Rad, ÖPNV und Carsharing sowie Elektromobilität
- Verminderung der Emissionen im Reisebus- und Stadtrundfahrt-Verkehr sowie bei Taxen und Lieferfahrzeugen durch Kooperation, Information und Anschaffung von emissionsarmen Fahrzeugen bis hin zu modernen Hybrid- oder Elektrofahrzeugen
- Ausbau der Hybrid-Technik bei Bussen im Stadt- und Regionalverkehr und Nutzung des Elektromodus bei der kleinräumigen Erschließung von Wohngebieten
- Ladestationen für Elektroautos und Pedelecs im Straßenraum, in privaten Parkhäusern und Tiefgaragen anregen
- Umstellung des städtischen Fahrzeugparks auf emissionsarme Fahrzeuge sowie deutlich verstärkte Nutzung von Carsharing und Pedelecs auch im Sinne einer kommunalen Vorbildfunktion

In Vorbereitung der Fortschreibung des IEuKK soll mit vorliegender Studie das Potenzial der Elektromobilität an sich und speziell mit Blickrichtung Klimaschutz intensiver betrachtet werden. Die Potenzialstudie wird erstellt im Rahmen des Förderprojektes "e-FEKTA Stärkung der Stadtverwaltung Litoměřice und Dresden im Bereich der nachhaltigen Mobilität" mit Unterstützung der Europäischen Union und des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, Kooperationsprogramm Sachsen-Tschechien 2014-2020.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit den Potenzialen, die die Elektromobilität für die Landeshauptstadt Dresden bietet und den Wegen, diese zu erschließen. Die Betrachtung fokussiert insbesondere auf den Wandel im motorisierten Individualverkehr (MIV), schließt aber auch die Potenziale der Elektromobilität im öffentlichen Verkehr (ÖV) und im gewerblichen Verkehr ein.

2. Mobilität in Dresden

In diesem Kapitel wird die Ausgangssituation für die weitere Entwicklung der Elektromobilität und deren Randbedingungen in der Landeshauptstadt Dresden in Bezug auf das Mobilitätsverhalten, den Fahrzeugbestand, die Ladeinfrastruktur (LIS) und die Emissionssituation beschrieben. Während die Daten zum Fahrzeugbestand und zur LIS aktuell verfügbar sind, können Daten zum Mobilitätsverhalten und damit auch der Emissionsentwicklung im Wesentlichen nur aus dem System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) entnommen werden. Dieses erhebt seit 1972 Daten im 5-Jahres-Turnus, zuletzt im Jahr 2013.

2.1 Mobilitätsverhalten

Strukturentwicklung zwischen 2008 und 2017

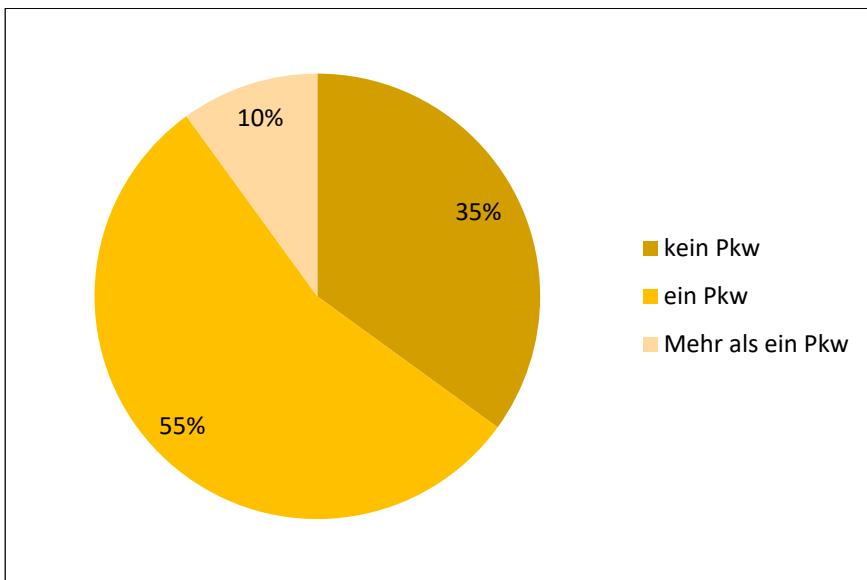
Die Einwohnerzahl der Landeshauptstadt Dresden ist zwischen 2008 und 2017 um 11 Prozent gestiegen (siehe Tabelle 1). Die Zahl der Arbeitsplätze in Dresden wuchs dabei um 32 Prozent. Die Anzahl der Einpendler ist mit 12 Prozent etwas stärker als die Einwohnerzahl gestiegen. Erheblich angestiegen ist die Anzahl der Auspendler um 29 Prozent. Dies zeugt davon, dass Dresden ein attraktiver Wohnstandort ist. Insgesamt sind die verkehrlichen Verflechtungen mit dem Umland in den letzten Jahren gestiegen.

	2008	2013	2017	Veränderung 2008-2017
Einwohner	501.915	530.722	557.098	+11%
Haushalte	271.631	290.224	311.228	+15%
Einpendler nach Dresden	83.600	86.600	93.990	+12%
Auspendler ins Umland	42.800	48.400	55.223	+29%
Pendlersaldo	40.800	38.200	38.767	-5%
Fahrgastzahlen DVB AG in Mio.	144,5	152,8	160,0	+11%
Liniennetzlänge Straßenbahn in km	204,8	213,1	212,9	+4%
Liniennetzlänge Bus in km	299,1	307,7	308,2	+3%

Quelle: [LH Dresden 2014/2; LH Dresden, Dresden in Zahlen IV. Quartal 2017]

Tabelle 1: Strukturentwicklung Dresden zwischen 2008 und 2017

In Abbildung 1 ist die Pkw-Verfügbarkeit der Dresdner Haushalte nach SrV 2013 dargestellt. Das Kriterium „Pkw-Verfügbarkeit“ schließt eigene Pkw, dienstliche Pkw und Carsharing-Pkw ein. Während 65 Prozent der Dresdner Haushalte über einen oder mehrere Pkw verfügen, verfügen 35 Prozent der Haushalte über keinen Pkw.

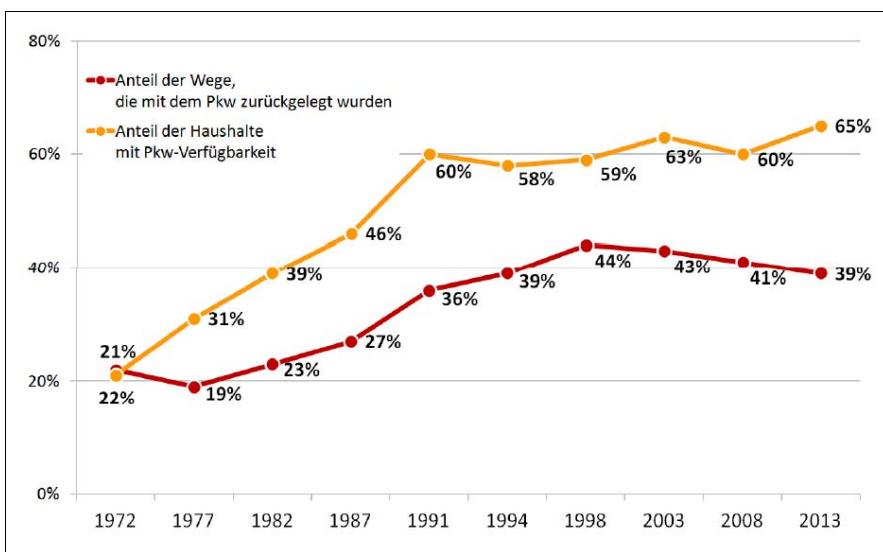


Quelle: LH Dresden 2014/2

Abbildung 1: Pkw-Verfügbarkeit der Dresdner Haushalte

Abbildung 2 ist die Entwicklung im Laufe der SrV-Erhebungen zu entnehmen. So ist die Pkw-Verfügbarkeit von 1991 bis 2008 annähernd konstant bei 60 Prozent geblieben, im Jahre 2013 jedoch auf 65 Prozent gestiegen. Bei dieser Entwicklung überlagern sich mehrere Effekte wie:

- Entwicklung der Anzahl der Haushalte
- Entwicklung der Einwohnerzahl
- Verteilung der Einwohner auf die Stadtteile
- Entwicklung der Haushaltgröße
- Pkw-Bestandsentwicklung
- Carsharing-Verfügbarkeit



Quelle: LH Dresden 2014/2

Abbildung 2: Anteil der Haushalte mit Pkw-Verfügbarkeit und Anteil der Wege mit Pkw am Gesamtverkehr

Laut SrV ist die uneingeschränkte Pkw-Verfügbarkeit bei Männern mit 56,2 Prozent deutlich höher als bei Frauen mit 45,3 Prozent. Demgegenüber haben nur 30,1 Prozent der Männer keinen Zugang zu Pkw, aber 37,6 Prozent der Frauen. Für die restlichen 13,7 Prozent der Männer und 17,1 Prozent der Frauen ist ein Pkw nach Absprache verfügbar.

Abbildung 2 ist zu entnehmen, dass sich der Anteil der Pkw-Wege an den Gesamtwegen auf jetzt 39 Prozent seit 1998 stetig verringert hat. Die tendenziell leicht steigende Pkw-Verfügbarkeit hat auf die Wege bezogen keine verstärkte Pkw-Nutzung bewirkt. Zur Thematik der Modal-Split-Entwicklung siehe auch Abbildung 8.

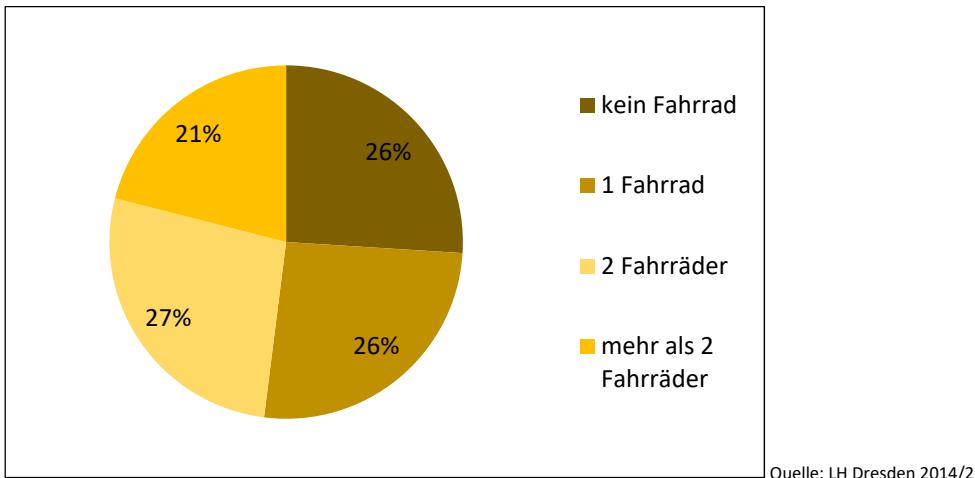


Abbildung 3: Verfügbarkeit eines einsatzbereiten Fahrrades

In Abbildung 3 ist die Fahrrad-Verfügbarkeit der Haushalte nach SrV 2013 dargestellt. Jeweils etwa ein Viertel der Haushalte verfügen über a) kein Fahrrad, b) ein Fahrrad, c) zwei Fahrräder bzw. d) mehr als zwei Fahrräder. Entsprechend der Kommunalen Bürgerumfrage 2016 (KBU 2016) waren dagegen nur noch 23 Prozent der Haushalte ohne Fahrrad. In etwas mehr als 1 Prozent der Haushalte gibt es laut KBU 2016 Elektrofahrräder. Auch für Fahrräder gilt, dass die uneingeschränkte Verfügbarkeit bei Männern mit 73 Prozent höher ist als bei Frauen mit 64 Prozent. Demgegenüber haben nur 26 Prozent der Männer keinen Zugang zu einem Fahrrad, aber 35 Prozent der Frauen.

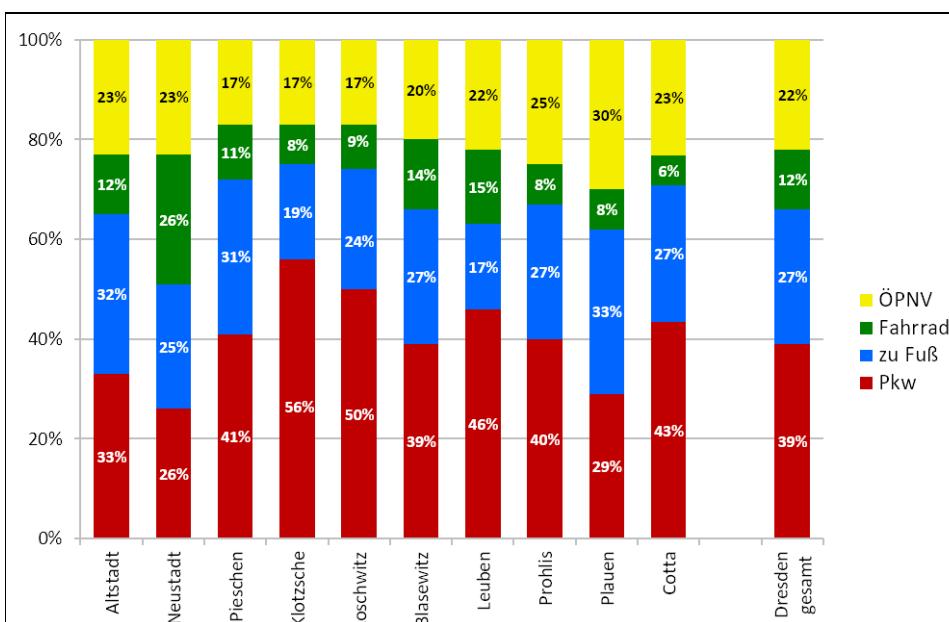


Abbildung 4: Anteil der genutzten Verkehrsmittel bei allen Wegen der Dresdner (bei Wegen bis 100 km Länge) nach Stadtteilen

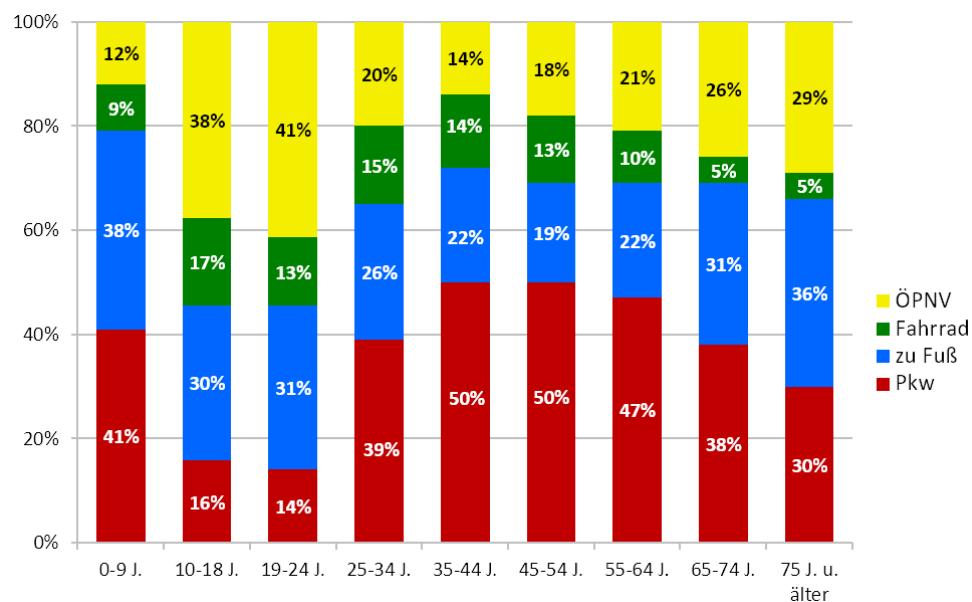
Abbildung 4 zeigt die Verkehrsmittelwahl bei den Wegen der Dresdner für die Gesamtstadt und nach Stadtteilen differenziert. Im Jahre 2013 wurden nach SrV 27 Prozent aller Wege zu Fuß zurückgelegt. Das Fahrrad wurde für 12 Prozent der Wege genutzt. Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass aufgrund der ungünstigen meteorologischen Verhältnisse im Befragungszeitraum (lange Periode mit Winterwitterung, eine um 2,4 Grad geringere mittlere Temperatur und 82 Prozent mehr Regen gegenüber 2008) von einem in der Realität höheren mittleren Radverkehrsanteil ausgegangen werden kann. Es fällt auf, dass sich der Modal Split in den Stadtteilen stark unterscheidet. Die geringsten MIV-Anteile haben die Stadtteile Neustadt, Altstadt und Plauen. Als Ursache können hier der hohe Studentenanteil und die dichte Struktur mit kurzen Wegen zu Einkaufsmöglichkeiten und Arbeitsplätzen vermutet werden. Diese Stadtteile haben auch einen unterdurchschnittlichen Pkw-Besitz (z. B. Neustadt 263 Pkw/1.000 Einwohner, Mittelwert Dresden: 364 Pkw/1.000 Einwohner im Jahr 2016).

39 Prozent der Wege der Dresdner werden im motorisierten Individualverkehr (MIV) zurückgelegt, wobei sich dies aus folgenden Anteilen zusammensetzt:

- 0,7 Prozent Kraftrad
- 26,7 Prozent als Fahrer im Haushalts-Pkw
- 2,0 Prozent als Fahrer in anderen Pkw
- 7,6 Prozent als Mitfahrer im Haushalts-Pkw
- 2,3 Prozent als Mitfahrer in anderen Pkw

Der Anteil der Wege, die mit Carsharing zurückgelegt wurden, war zu gering, um ihn im SrV 2013 statistisch gesichert zu bestimmen. 22 Prozent der Wege werden im ÖPNV zurückgelegt, wobei sich dies aus folgenden Anteilen zusammensetzt:

- 5,4 Prozent Bus
- 13,8 Prozent Straßenbahn
- 1,5 Prozent S-Bahn
- 0,3 Prozent Nahverkehrszug
- 0,2 Prozent Fernverkehrszug
- 0,2 Prozent Taxi

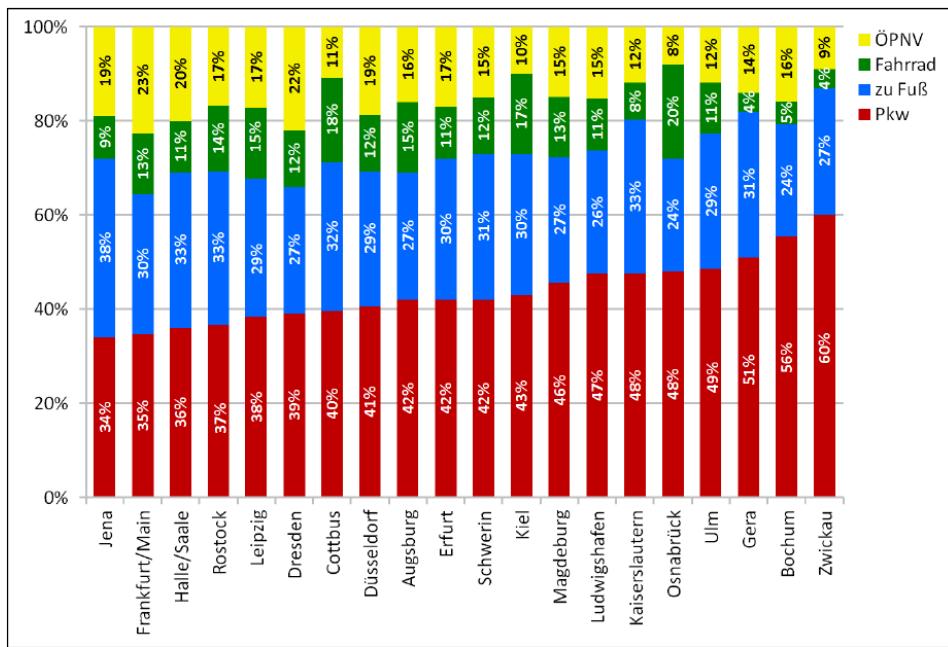


Quelle: LH Dresden 2014/2

Abbildung 5: Verkehrsmittelwahl nach Altersgruppen

Die Verkehrsmittelwahl differiert in den Altersklassen in erheblichem Maße (siehe Abbildung 5). Im Kita- und Grundschulalter sind Kinder bei zwei von fünf Wegen als Mitfahrer im Auto unterwegs. Das Fahrrad und der ÖV spielen eine untergeordnete Rolle in diesem Altersbereich. Bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen dominieren Fußwege und der ÖV als Verkehrsmittel. In den Altersklassen zwischen 25 und 65 Jahren werden viele Wege mit dem eigenen Kfz zurückgelegt. Im Rentenalter sinken der Rad- und MIV-Anteil und es werden mehr Wege zu Fuß oder mit dem ÖV zurückgelegt.

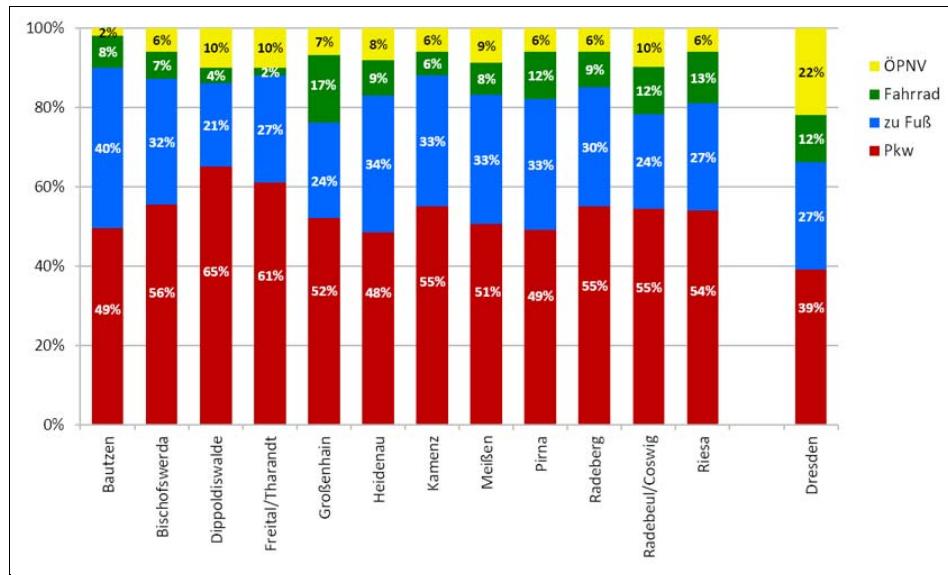
In Abbildung 6 ist die Verkehrsmittelwahl im Städtevergleich der SrV-Städte dargestellt. Dresden liegt mit dem MIV-Anteil von 39 Prozent im Drittel der Städte mit den geringsten MIV-Anteilen. Auffällig ist der sehr gute Anteil des öffentlichen Verkehrs (ÖV) von 22 Prozent der Wege. Hier liegt Dresden auf Platz 2 hinter Frankfurt/Main.



Quelle: LH Dresden 2014/2

Abbildung 6: Verkehrsmittelwahl im SrV-Städtevergleich (Wege im Gesamtverkehr)

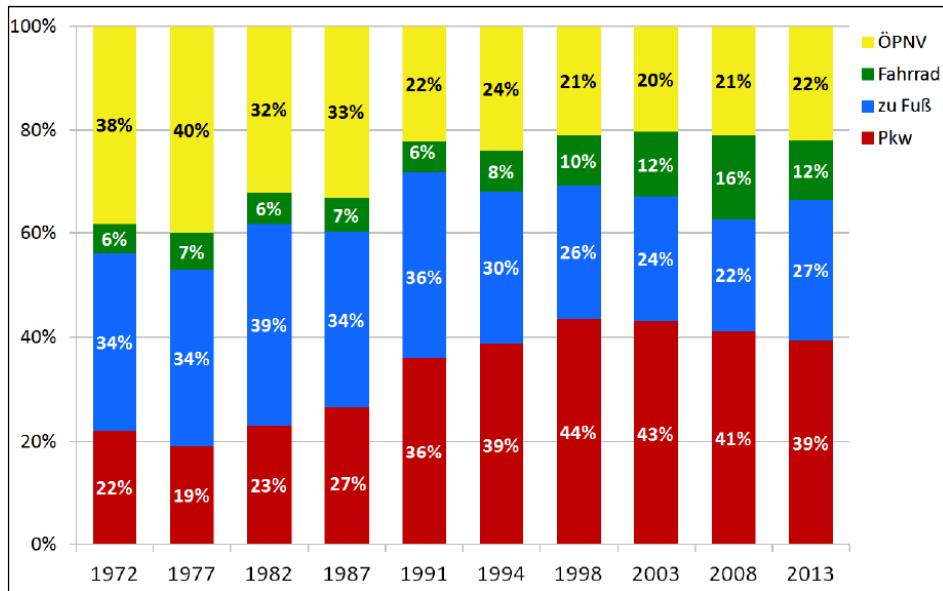
In Abbildung 7 ist die Verkehrsmittelwahl in Dresden im Vergleich zu der Verkehrsmittelwahl in den Umlandstädten dargestellt. Dresden hat hier mit 39 Prozent den mit Abstand geringsten MIV-Anteil. Die südlich gelegenen Nachbarkommunen haben einen besonders hohen MIV-Anteil. Der Öffentliche Verkehr spielt in den Mittelstädten im Umland von Dresden eine geringere Rolle. Die Radverkehrsanteile schwanken zwischen 17 Prozent (Großenhain) und 2 Prozent (Bautzen). Auch beim Fußverkehr gibt es eine Spannbreite zwischen 21 Prozent (Dippoldiswalde) und 40 Prozent (Bautzen).



Quelle: LH Dresden 2014/2

Abbildung 7: Verkehrsmittelwahl im Vergleich mit dem Umland (Wege im Gesamtverkehr)

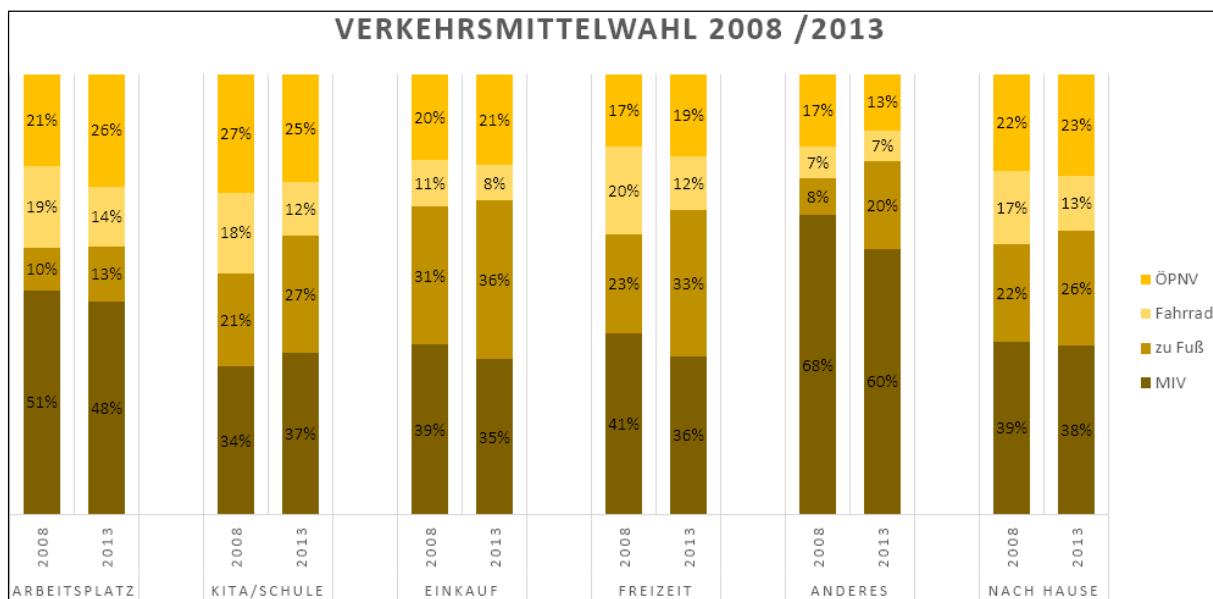
Abbildung 8 zeigt die Entwicklung des Modal Split in Dresden im Laufe der SrV-Erhebungen seit 1972. Nachdem sich die zunehmende Verfügbarkeit von Pkw bis 1998 in steigenden MIV-Anteilen auswirkte, gehen diese MIV-Anteile seit der Jahrtausendwende stetig zurück. Die ÖV-Anteile sind seit 1998 relativ stabil, beim Radverkehr kann man trotz der geringeren Erhebungswerte von 2013 von einer stetigen Zunahme ausgehen.



Quelle: LH Dresden 2014/2

Abbildung 8: Entwicklung des Modal Split in Dresden

Abbildung 9 zeigt für die SrV-Durchgänge 2008 und 2013 eine nach den verschiedenen Wegezwecken differenzierte Darstellung der Verkehrsmittelwahl. Wenn man den Wegezweck „Anderes“¹ vernachlässigt, fällt auf, dass die Arbeitswege den mit Abstand größten MIV-Anteil haben. Beim Vergleich der Ergebnisse von 2008 und 2013 ist festzustellen, dass die MIV-Anteile in allen Wegezwecken bis auf die Kita-/Schulwege gesunken sind. Beim Radverkehr wirkt sich der bereits beschriebene Einfluss der ungünstigen meteorologischen Verhältnisse im Untersuchungszeitraum 2013 aus, was sich in rückläufigen Werten bei allen Wegezwecken ausdrückt. Die Daten der Radverkehrs-Dauerzählstellen in Dresden sprechen dagegen für eine deutlich zunehmende Nutzung des Fahrrades für tägliche Wege. Durch welche Verkehrsmittel in der Untersuchung von 2013 die Radverkehrsanteile übernommen wurden, lässt sich nicht mit Sicherheit sagen. Ein deutlich erhöhter Fußwegeanteil fällt auf, auch der ÖV hat erhöhte Anteile. Ob bei besseren Wetterbedingungen auch die MIV-Anteile noch geringer gewesen wären, lässt sich nur mutmaßen.



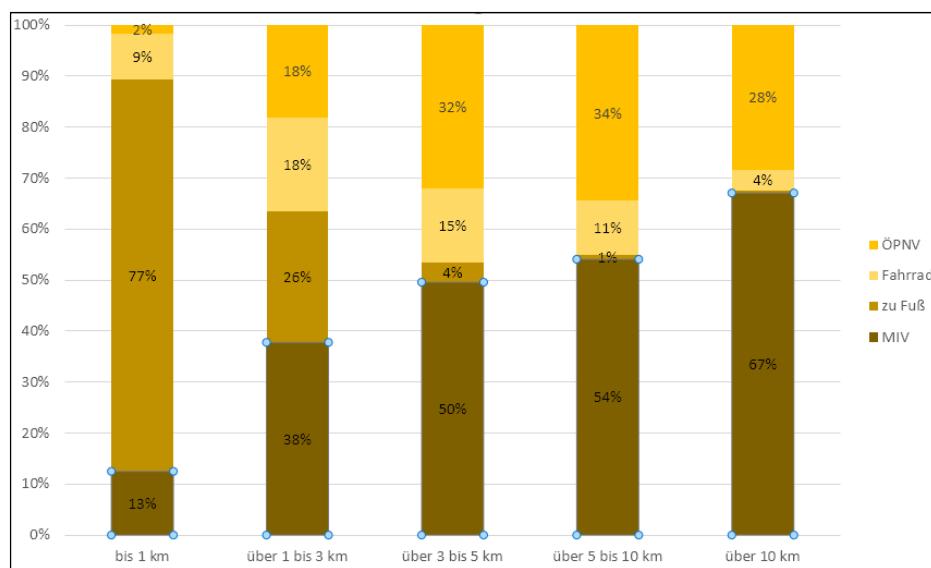
Quelle: TU Dresden, eigene Darstellung nach SrV-Daten 2008 und 2013

Abbildung 9: Verkehrsmittelwahl nach Wegezweck

Abbildung 10 differenziert in der Darstellung der Verkehrsmittelwahl nach Wegelängenklassen. Wie nicht anders zu erwarten, sinken die Anteile des nicht motorisierten Individualverkehrs (NMIV) mit steigender Wegelänge. Auffällig ist, dass auch

¹ Hierzu gehören dienstliche Wege und Wege, die keiner anderen Kategorie zuzuordnen sind. Diese Kategorie umfasst jedoch nur ca. 3 Prozent der Gesamtwege.

13 Prozent der Wege unter 1 km und 38 Prozente der Wege zwischen 1 und 3 km Länge mit dem Pkw zurückgelegt werden. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich dabei auch um Teile von Wegeketten handeln kann.²



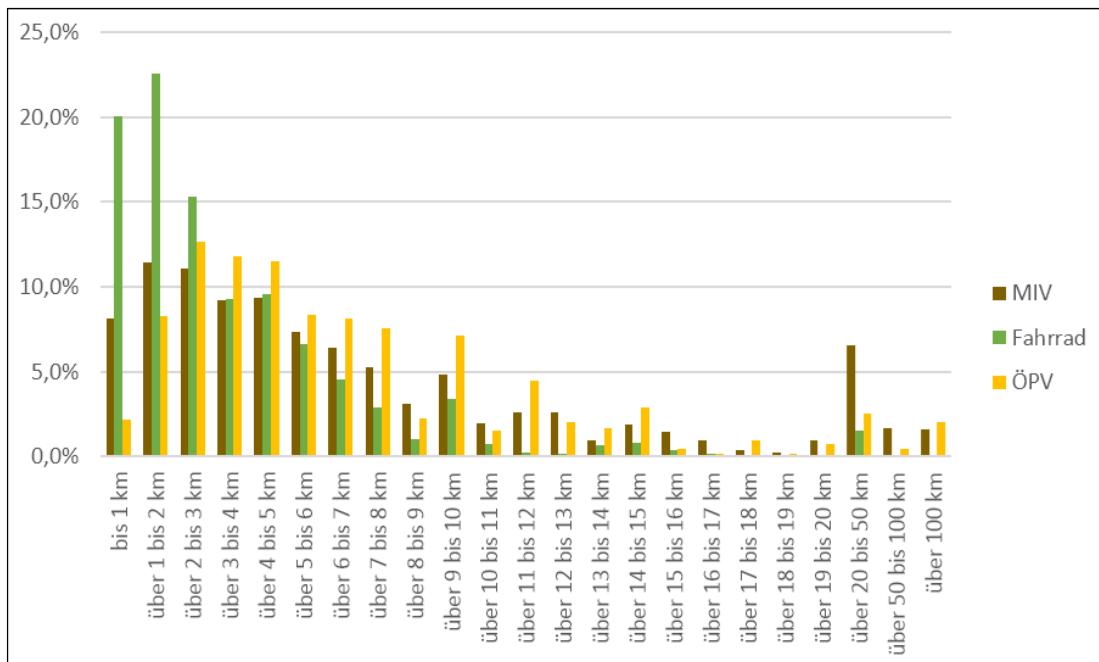
Quelle: TU Dresden, eigene Darstellung nach SrV-Daten 2013

Abbildung 10: Verkehrsmittelwahl nach Wegelängenklassen

Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Wegelängen für die einzelnen Verkehrsmittel über die Längenklassen. Beim Fahrrad dominieren die Wege bis 3 km, teilweise werden jedoch auch deutlich längere Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt. So waren 1,5 Prozent der Wege in der Stichprobe zwischen 20 und 50 km lang. Mit dem öffentlichen Personenverkehr werden weniger sehr kurze Wege zurückgelegt, es dominieren hier die Wege von 2 bis 5 km. Beim MIV ist auffällig, dass auch viele sehr kurze Wege mit dem Pkw zurückgelegt werden. Auch hier wieder der Hinweis, dass es sich dabei um Teile von Wegeketten handeln kann (z. B. auf dem Arbeitsweg das Kind an der Kita abgeben). Für die mittlere jährliche Fahrleistung eines Dresdner Pkw wurden bei der SrV 2013 13.800 km/Jahr ermittelt. Bei der Auswertung der Kommunalen Bürgerumfrage 2016 ergab sich folgende mittlere jährliche Fahrleistung: bei Benzinfahrzeugen 10.590 km/Jahr, bei Dieselfahrzeugen 21.400 km/Jahr, insgesamt im Durchschnitt 12.101 km/Jahr.

Nur 1,7 Prozent der Wege sind zwischen 50 und 100 km lang und nur 1,6 Prozent sind länger als 100 km (siehe Abbildung 11). Demnach ist für 96,7 Prozent der MIV-Wege eine Reichweite von batterieelektrischen Pkw (BEV) von 100 km ausreichend, auch wenn am Zielort keine Lademöglichkeit vorhanden ist.

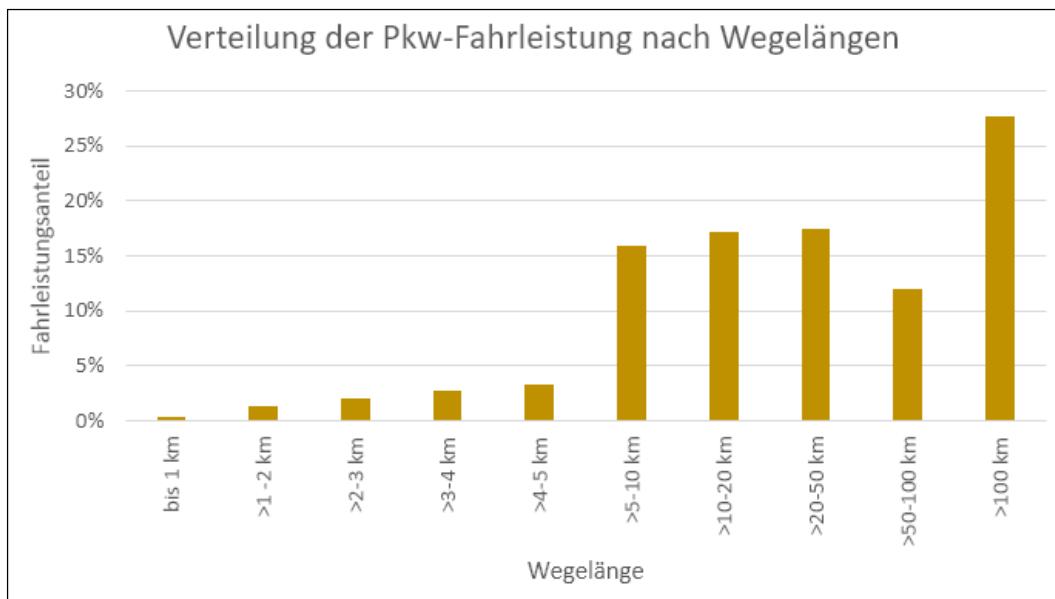
² So besteht der Ablauf Wohnung-Kita-Arbeitsplatz-Supermarkt-Kita-Wohnung aus 5 Wegen. Wird der Pkw dafür genutzt, können dabei auch sehr kurze Pkw-Wege entstehen.



Quelle: TU Dresden, eigene Berechnung auf Basis der SrV 2013-Daten

Abbildung 11: Wegelängenverteilung für die Verkehrsmittel

In Abbildung 12 ist die Verteilung der Fahrleistung der Pkw-Fahrerinnen und -Fahrer auf die verschiedenen Entfernungskategorien dargestellt. Auch wenn lange Wege seltener auftreten, erzeugen sie doch einen erheblichen Anteil an der Fahrleistung. Unter der Annahme, dass bei einer Reichweite von 100 km die Wege bis zur Gruppe 20 bis 50 km sicher mit einem BEV hin und zurück zurückgelegt werden, könnten bei einer Reichweite von 100 km ca. 60 Prozent der Fahrleistung der Pkw-Fahrer ohne Zwischenladung mit einem BEV absolviert werden.



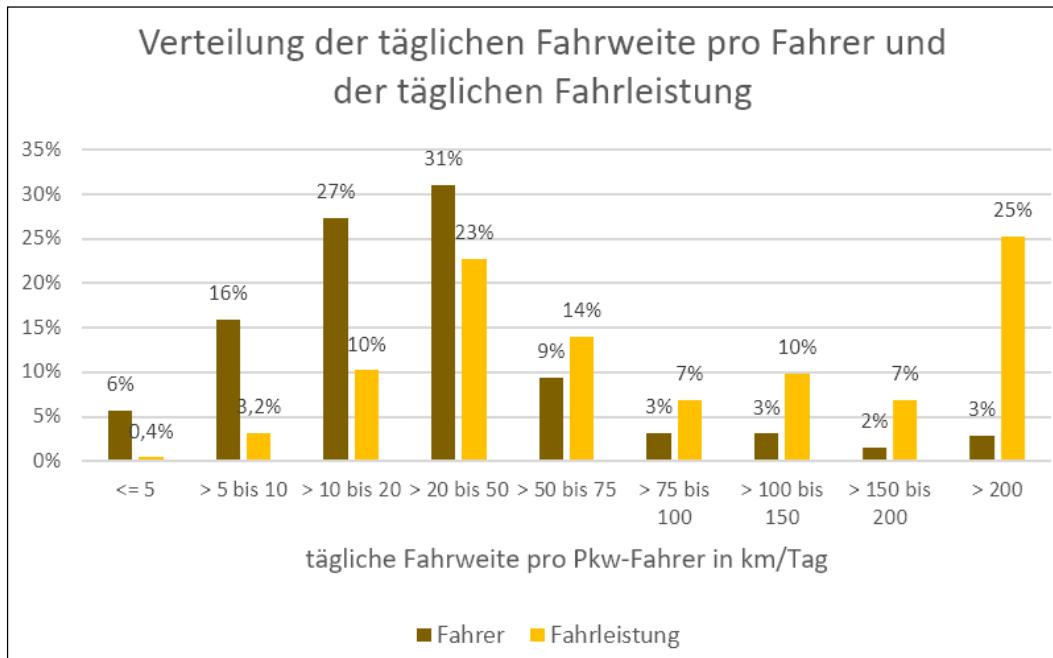
Quelle: TU Dresden, eigene Berechnung auf Basis der SrV 2013-Daten

Abbildung 12: Verteilung der Pkw-Fahrleistung nach Wegelängen

In einer weiteren Nachauswertung der Daten des SrV 2013 wurden die spezifischen täglichen Fahrleistungen von Pkw-Fahrern betrachtet (siehe Abbildung 13). Dabei wurde ermittelt, dass in Dresden 8 Prozent der Pkw-Fahrer tägliche Pkw-Fahrleistungen von über 100 km zurücklegten, was aufgrund der Länge der Fahrten aber 42,5 Prozent der gesamten Fahrleistung betraf. Setzt man die Grenze bei 150 km Reichweite, sind noch 5 Prozent der Pkw-Fahrer betroffen, die höhere tägliche Fahrleistungen haben und dabei 32 Prozent der Gesamtfahrleistung zurücklegen. Nur 3 Prozent der Pkw-Fahrer hatten

in der Stichprobe des SrV 2013 tägliche Pkw-Fahrleistungen von mehr als 200 km, legten dabei aber 25 Prozent der Pkw-Gesamtfahrleistung zurück.³

In den letzten Jahren sind die Batteriekapazität und damit die Reichweite von BEV stetig gestiegen. Bei einer Reichweite von 100 km könnten 92 Prozent der Pkw-Nutzer ihre Fahrten ohne Zwischenladung mit einem Elektro-Pkw durchführen, bei einer Reichweite von 200 km wären das schon 97 Prozent.

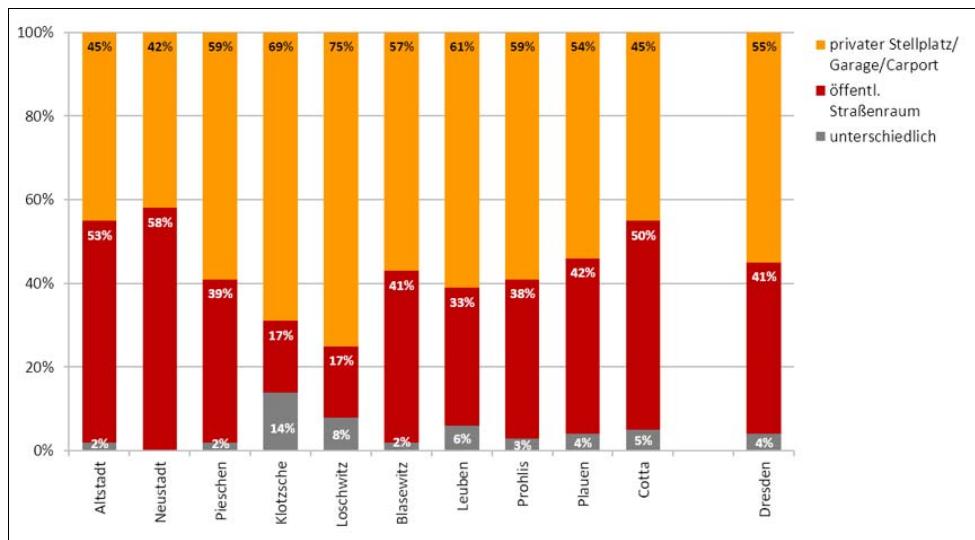


Quelle: TU Dresden, eigene Berechnung auf Basis der SrV 2013-Daten

Abbildung 13: Verteilung der täglichen Fahrweite pro Pkw-Fahrer/in und der täglichen Fahrleistung der Pkw

Abbildung 14 zeigt, wo die Dresdner ihre Pkw regelmäßig in Nähe der Wohnung abstellen. Stadtweit stehen am Wohnungsstandort 55 Prozent der Pkw auf privaten bzw. personengebundenen Stellplätzen. Dabei gibt es zwischen den Stadtteilen in Abhängigkeit von der Bebauungsstruktur erhebliche Unterschiede. Innenstadtnahe Standorte weisen in geringerem Maße private Stellflächen auf als Wohngebiete am Stadtrand. Die in den letzten Jahren in der Innenstadt errichteten Wohngebäude weisen allerdings i. d. R. private Stellplätze in Tiefgaragen auf, weil bis 2018 für Wohnungen – auch wenn sie über eine hervorragende ÖPNV-Anbindung verfügen - Stellplätze in unverminderter Zahl errichtet werden mussten.

³ Es muss darauf hingewiesen werden, dass diese Zahlen nur als grobe Orientierung verwendet werden können, da die Fallzahlen für diese Sonderauswertung relativ gering sind. Dadurch wirken sich einzelne sehr lange Fahrten (z. B. 808 km/Tag) sehr stark auf die prozentualen Fahrleistungsanteile aus. Bei längeren Fahrten ist darüber hinaus auch bei Verbrennungsmotoren eine „Zwischenladung“ mit Kraftstoff und Pausen für den Fahrer notwendig bzw. sinnvoll.

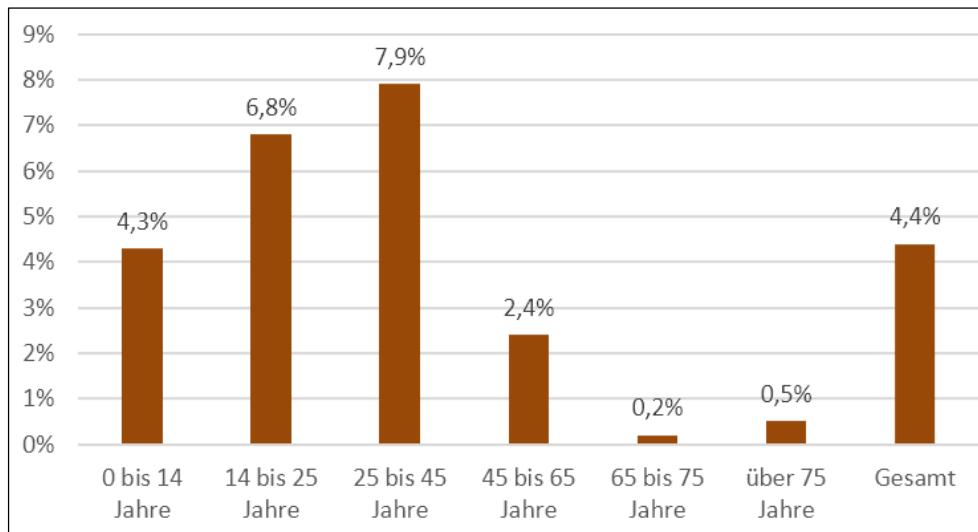


Quelle: LH Dresden, 2014/2

Abbildung 14: Abstellort des eigenen Pkw am Wohnungsstandort der Dresdner

Carsharing

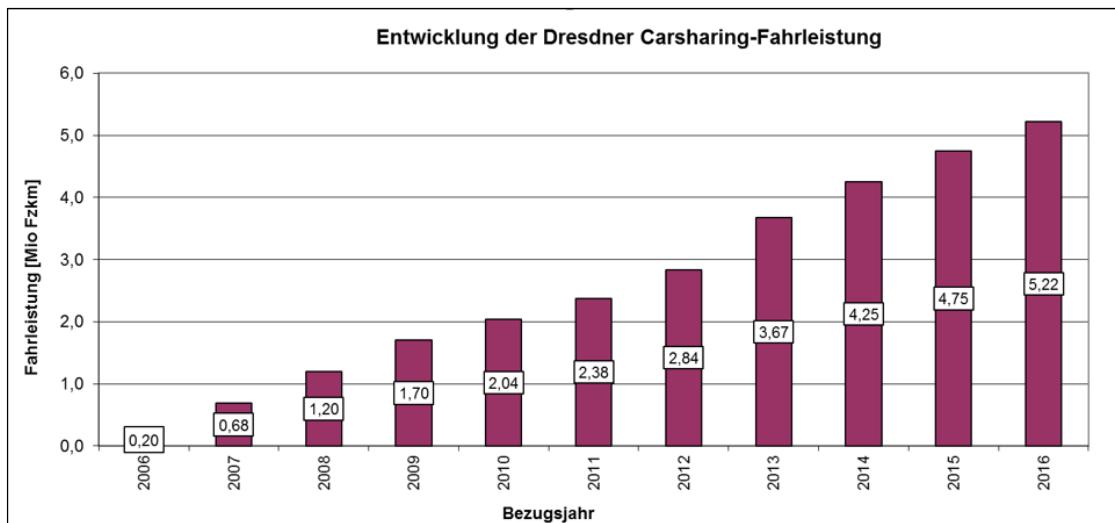
Abbildung 15 zeigt die Nutzung von Carsharing durch die Dresdner nach Altersgruppen differenziert. 4,4 Prozent der Einwohner nutzten 2013 Carsharing. Während es jedoch in der Altersgruppe von 25 bis 45 Jahren 7,9 Prozent der Dresdner sind, nutzen in der Altersgruppe von 65 bis 75 Jahren nur noch 0,2 Prozent Carsharing.



Quelle: TU Dresden, 2014

Abbildung 15: Anteil der Carsharing-Nutzer in den Altersklassen (als Fahrer oder Mitfahrer)

Der Marktführer beim Carsharing in Dresden ist teilAuto. In Abbildung 16 ist die Entwicklung der Fahrleistung der Carsharing-Flotte in Dresden von der Markteinführung bis 2016 dargestellt. Demnach stiegen die Fahrleistungen in den letzten 10 Jahren stetig.



Quelle: TU Dresden, 2016/1

Abbildung 16: Entwicklung der Fahrleistung von teilAuto Dresden

In Bezug auf die Elektromobilität lassen sich folgende Feststellungen ableiten:

- Die Weglängenverteilung im MIV zeigt, dass eine angenommene Reichweite der BEV von 100 km für 92 Prozent der Pkw-Fahrer ausreichend ist, um ihre tägliche Fahrleistung ohne Zwischenladung zu absolvieren. Geht man von einer Reichweite von 200 km aus, gilt das für 97 Prozent der Dresdner Pkw-Fahrer.
- Fast die Hälfte der PKW der Dresdner wird nachts im öffentlichen Straßenraum abgestellt und die Eigentümer verfügen somit mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht über die Möglichkeit, einen Elektro-Pkw am Wohnungsstandort zu laden. Es ist fraglich, ob dieses Problem durch eine hohe Verfügbarkeit von öffentlich zugänglichen Lademöglichkeiten gelöst werden kann oder ob nicht die häusliche Lademöglichkeit für die Nutzer Voraussetzung für den Erwerb eines Elektrofahrzeuges ist.
- Der Anteil der Elektrofahrräder an allen Fahrzeugen wächst, ist jedoch noch gering. Mit der zunehmenden Verbreitung der Elektrofahrräder könnte sich die Weglängenverteilung des Fahrrades zu den längeren Wegen verschieben und somit weiteres Potenzial erschließen.
- Ca. 75 Prozent der ÖV-Wege werden mit Straßenbahn und S-Bahn bereits jetzt elektrisch zurückgelegt. Der Anteil der Wege mit Elektrobussen ist noch sehr gering, da derzeit nur ein Elektrobus eingesetzt wird. Zukünftig kann sich letzterer Anteil erhöhen.

2.2 Fahrzeugbestand

2.2.1 Kraftfahrzeuge in Dresden

Wie in Tabelle 2 zu erkennen ist, steigt die absolute Zahl der in Dresden zugelassenen Kfz seit 2000 stetig an.⁴ Im Jahre 2015 waren in Dresden über eine Viertelmillion Kfz zugelassen. Dabei entwickelt sich die Anzahl der Privat-Pkw etwa proportional zur Einwohnerzahl in Dresden, so dass der Motorisierungsgrad in Pkw pro Einwohner nur geringfügig steigt. Dennoch bleibt festzustellen, dass sich der Bestand an privat benutzten Pkw in Dresden von 2007 bis 2015 um fast 20.000 Fahrzeuge erhöht hat.

Jahr	Kfz insgesamt	Pkw privat	Pkw gewerblich	Nutzfahrzeuge	Krafträder
2000	238.661	187.635	23.607	19.571	7.848
2001	236.714	187.513	21.276	19.397	8.528
2002	239.386	187.933	23.218	19.129	9.106
2003	242.064	191.018	22.529	18.958	9.559
2004	242.826	192.243	21.878	18.746	9.959
2005	246.276	194.670	23.424	17.920	10.262
2006	250.189	197.674	23.726	18.270	10.519
2007	223.671	180.103	17.275	16.677	9.616
2008	225.588	181.579	17.062	16.782	10.165
2009	230.352	185.349	17.322	16.969	10.712
2010	235.512	188.804	18.021	17.345	11.342
2011	240.180	191.683	18.685	17.750	12.062
2012	243.723	193.546	19.497	18.042	12.638
2013	247.134	195.916	19.840	18.281	13.097
2014	249.629	197.310	20.016	18.763	13.540
2015	253.339	199.278	20.792	19.303	13.966
2016	256.894	222.636		20.030	14.228
2017	258.279	223.585		20.229	14.465

Quelle: LH DRESDEN STATISTIK 2016, Kfz-Zulassungsstelle 2017

Tabelle 2: Kraftfahrzeugbestand in Dresden 2000-2017

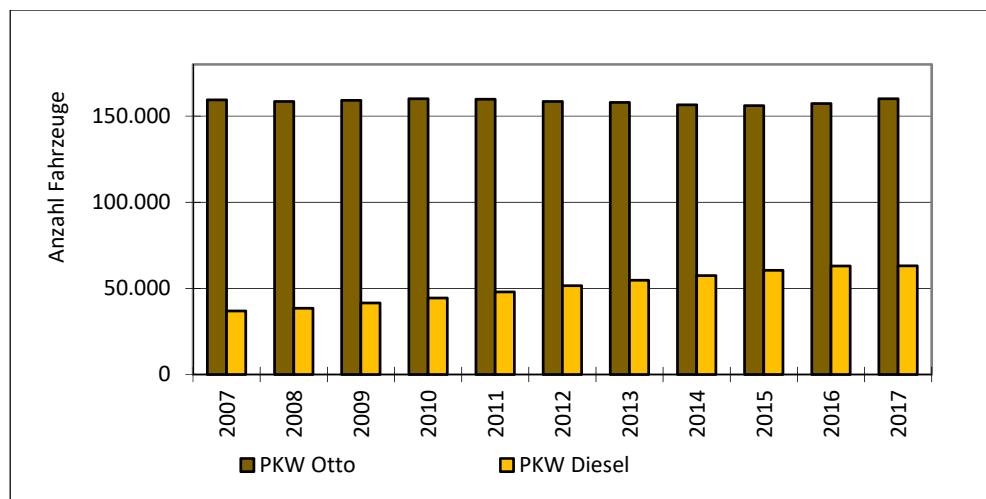
Nach Angaben der kommunalen Statistikstelle lag der Motorisierungsgrad bezogen auf die Haushalte gesamtstädtisch im Jahre 2016 bei etwa 670 Fahrzeugen je 1.000 Haushalte. Bezogen auf 1.000 Einwohner gab es etwa 348 Privat-Pkw. Die Pkw-Dichte unterscheidet sich in den verschiedenen Stadtteilen sehr stark. Die Äußere Neustadt hat mit 336 den geringsten und Schönfeld/Schullwitz mit 1.339 den höchsten Motorisierungsgrad bezogen auf 1.000 Haushalte. Am Stadtrand liegende Bereiche weisen gegenüber den zentrumsnahen einen deutlich höheren Motorisierungsgrad an Pkw auf. Als wesentliche Gründe hierfür werden weniger dichte Infrastrukturen und Anbindungen an den öffentlichen Nahverkehr sowie bessere Park- oder Abstellmöglichkeiten angesehen.

Laut Kraftfahrtbundesamt (KBA) entfallen in Deutschland mehr als die Hälfte der Pkw-Neuzulassungen auf gewerblich genutzte Pkw. Allerdings werden die Fahrzeuge häufig nur eine kurze Zeit von Unternehmen gehalten und dann an Privatpersonen weiterveräußert. Nur rund jeder 11. Pkw in Dresden hat einen gewerblichen Halter. Die Bestandsentwicklung bei den gewerblich genutzten Pkw verläuft deutlich dynamischer als diejenige der privat genutzten Pkw. Gegenüber 2010 erhöhte sich der Bestand gewerblich genutzter Pkw um 2.771 bzw. 15,4 Prozent im Jahr 2015. Hierbei ist auch zu beachten, dass

⁴ Der Rücksprung im Jahre 2007 ist auf eine Änderung in der statistischen Abgrenzung zurückzuführen, da ab 2007 vorübergehend stilllegte Kfz nicht mehr zum Bestand gezählt werden.

größere Unternehmen teilweise ihre Fahrzeugflotte am Firmenstammsitz zulassen (z. B. Deutsche Post in Bonn) und diese in der Statistik somit nicht regional zuordenbar sind.

Die Anzahl dieselbetriebener Fahrzeuge wuchs von 2008 bis 2016 nahezu linear von 38.459 bis auf rund 62.952. Im Januar 2017 lag der Anteil [KBA 2017/1] bei 28,28 Prozent von allen Pkw und damit unter dem deutschen Mittel von 32,94 Prozent (siehe Abbildung 17). Aktuell geht der Dieselanteil bundesweit leicht zurück. Es bleibt abzuwarten, ob dies ein kurzfristiger Effekt in Folge der NO_x-Problematik oder ein länger anhaltender Trend ist. Bezogen auf die Pkw-Fahrleistung hatten die Diesel-Pkw in Dresden 2016 einen Anteil von 43 Prozent. Bei den Nutzfahrzeugen handelt es sich bei 93 Prozent um dieselbetriebene Fahrzeuge. Die Nutzfahrzeuge weisen eine ähnliche Entwicklung auf: Fahrzeuge mit Benzinmotoren verringerten sich seit 2008 um 18 Prozent, dieselgetriebene stiegen dagegen um 23 Prozent.



Quelle: LH DRESDEN STATISTIK 2016, Kfz-Zulassungsstelle 2017

Abbildung 17: Pkw-Bestandsentwicklung in Dresden nach Antriebsart

Am 1. Januar 2017 setzte sich die Pkw-Flotte in Dresden nach Emissionsklassen folgendermaßen zusammen: 2 Prozent Euro 1, 9 Prozent Euro 2, 10 Prozent Euro 3, 34 Prozent Euro 4, 31 Prozent Euro 5 und 14 Prozent Euro 6.

Im Februar 2018 setzte sich die Fahrzeugflotte in Dresden nach Antriebsarten wie in Tabelle 3 dargestellt zusammen.

Antriebsart	Pkw		Nutzfahrzeuge		Krad	
	Anzahl	Anteil in %	Anzahl	Anteil in %	Anzahl	Anteil in %
Benzin	156.358	69,93	1.185	5,86	14.403	99,58
Diesel	62.977	28,17	18.822	93,05	12	0,08
Gas	1.959	0,88	160	0,79	1	0,01
Elektro	307	0,14	46	0,23	46	0,32
Hybrid	1.762	0,79	15	0,07	2	0,01
Plug-In-Hybrid	222	0,10	0	0,00	0	0,00

Quelle: LH DRESDEN STATISTIK 2016, Kfz-Zulassungsstelle Februar 2018

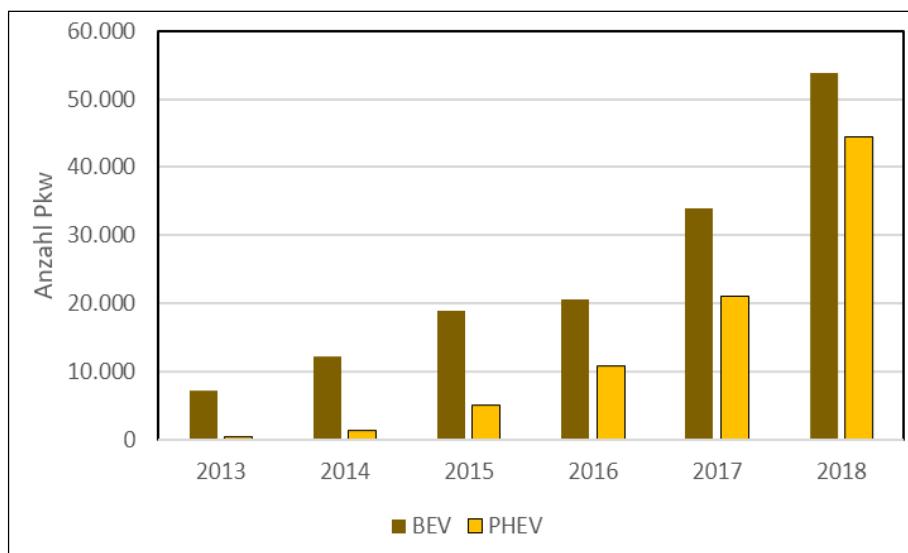
Tabelle 3: Kfz-Bestand in Dresden im Februar 2018 nach Antriebsart

Zum 1. Januar 2018 waren in Dresden 307 BEV zugelassen, davon rund 38 Prozent auf private Personen. In der Stadtverwaltung waren im September 2017 acht Elektro-Pkw und fünf Elektro-Nutzfahrzeuge in Betrieb. Seit September 2017 hat die Deutsche Post DHL Group in Dresden 25 Elektrofahrzeuge vom Typ StreetScooter im Einsatz. Diese sind nicht in Dresden zugelassen und erscheinen deshalb nicht in der Statistik von Tabelle 3. Mittelfristig plant das Unternehmen, seine gesamte Zustellflotte auf E-Fahrzeuge umzustellen.

Mit einem Anteil von 0,14 Prozent BEV an allen Pkw lag Dresden am 1. Januar 2018 leicht über dem deutschen Durchschnitt von 0,11 Prozent.

2.2.2 Elektrofahrzeuge in Deutschland

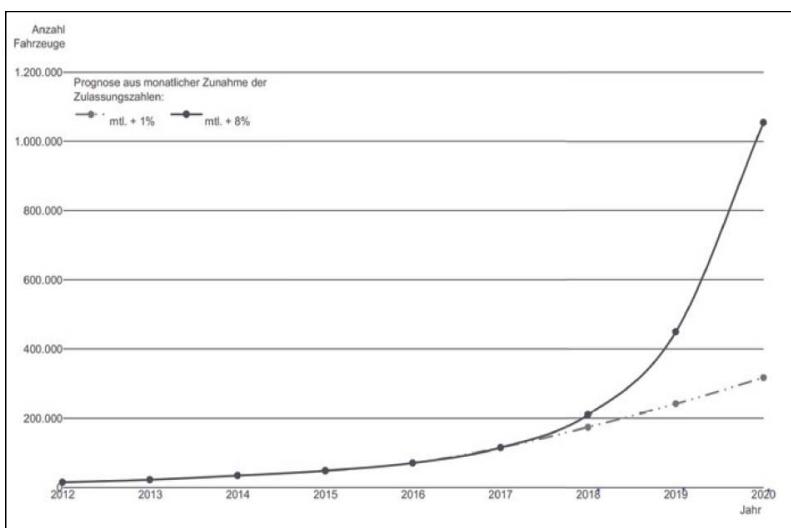
Am 1. Januar 2018 waren im Pkw-Bereich 53.861 BEV und 44.419 PHEV in Deutschland zugelassen, was einem Anteil von 0,21 Prozent am gesamten Pkw-Bestand entspricht. Von Januar bis Dezember 2017 wurden in Deutschland 25.085 BEV und 29.479 PHEV neu zugelassen [NOW 2018]. Von den 236.710 Hybrid-Pkw in Deutschland Anfang 2018 waren 44.419 (19 Prozent) Plug-In-Hybride. Bei 81 Prozent der Hybridfahrzeuge handelt es sich um autarke Hybride, die im Gegensatz zu Plug-In-Hybriden (PHEV) nicht extern mit Strom aufgeladen werden können.



Quelle: eigene Darstellung, Daten des Kraftfahrbundesamtes, Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken.

Abbildung 18: Bestandsentwicklung der Elektro-Pkw getrennt nach BEV und PHEV jeweils zum 1. Januar eines Jahres

Die Zahlen lassen erkennen, dass sich die Anzahl der Elektro-Pkw im Jahre 2017 annähernd verdoppelt hat. Engpässe bei der Verfügbarkeit von Neufahrzeugen verhindern gegebenenfalls derzeit ein noch schnelleres Wachstum. Die aktuellen Lieferzeiten für E-Fahrzeuge betragen zwischen 10 und 12 Monaten. Die weitere Entwicklung ist derzeit schwer zu prognostizieren. Laut NOW 2018 könnten Ende 2020 etwa 1,0 Mio. Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen sein, wenn sich die dynamische Entwicklung des Jahres 2017 bis zum Jahr 2020 fortsetzen würde (siehe Abbildung 19).



Quelle: NOW 2018, S. 20

Abbildung 19: Mögliche Bestandsentwicklung von Elektrofahrzeugen bis 2020 jeweils zum 31. Dezember eines Jahres

Auch der Bestand an Elektro-Lkws-/Nutzfahrzeugen und -krädern hat in Deutschland zugenommen, wobei die Größenordnung hier niedriger als bei Pkws ist (siehe [NOW 2018]). Bei Lkws und Nutzfahrzeugen werden erst in jüngster Zeit marktreife Fahrzeuge angeboten.

E-Fahrzeuge, welche bis Ende 2020 zugelassen werden, sind für 10 Jahre von der Kfz-Steuer befreit. Darüber hinaus fördert der Bund seit Mitte 2016 den Markthochlauf von E-Fahrzeugen zusätzlich mit einem Kaufzuschuss. Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle veröffentlichte eine Zwischenbilanz des Antragsstandes des sogenannten „Umweltbonus“ für Elektrofahrzeuge [BAFA 2017]. Zwischen dem 02.07.2016 und dem 30.11.2017 wurde demzufolge eine Kaufprämie für insgesamt 42.251 Pkw beantragt. Dabei handelte es sich um 24.547 BEV, 17.700 PHEV und 4 Brennstoffzellenfahrzeuge. Über die Hälfte der Anträge wurde von Unternehmen und kommunalen Betrieben gestellt. Von den insgesamt 42.251 Anträgen kamen 1.226 (2,9 Prozent) aus Sachsen.

Im Hinblick auf Umwelt- und Klimaschutz wäre eine bessere Steuerung von Förderanreizen wünschenswert. So werden derzeit auch viele hochmotorisierte Fahrzeuge, wie Tesla S gefördert. Der Mittelwert der Motorisierung der 2016 zugelassenen BEV liegt bei etwa 160 PS (115 kW), während der Mittelwert aller Neuzulassungen bei 148 PS (108,7 kW) liegt. Für die Dresdner Flotte der BEV gilt dies allerdings nicht, da hier überwiegend Kleinwagen aus Firmenflotten zugelassen sind.

PHEV haben ein erhebliches Einsparpotenzial, wenn die Technologie zum Downsizing genutzt wird. Die Entwicklung in den letzten Jahren zeigt aber, dass die Hybrid-Technologie eher zur Leistungssteigerung bei Premium-Fahrzeugen als zum Downsizing genutzt wurde. Die in der Fachliteratur beschriebenen Rebound-Effekte (siehe [BECKMANN 2017], [SRU 2017]) werden hier sichtbar. Die Steigerung der Energieeffizienz wird nicht zur Energieeinsparung, sondern zur Leistungssteigerung genutzt. Hybrid-Fahrzeuge werden als ökologisch vorteilhaft kategorisiert und entsprechend gefördert [„Umweltbonus“]. Nach derzeitiger Rechtslage werden Flottendurchschnittswerte beim Verbrauch bzw. CO₂-Ausstoß vorgegeben. Allerdings werden die Emissionen aus E-Antrieb zu Null und aus Hybrid-Antrieb in nicht realistischer Weise angesetzt.

Exkurs Norwegen

Norwegen gilt als das Musterland der Elektromobilität. Das Land beabsichtigt, ab 2025 keine neuen Pkws mit Verbrennungsmotor mehr zuzulassen. Da Norwegen seinen Strombedarf zum großen Teil aus Wasserkraft deckt, sind die positiven Klimaeffekte der Elektromobilität dort besonders groß. Der Anteil der BEV an den Neuzulassungen 2017 betrug 18 Prozent, hinzu kamen 17 Prozent PHEV. Wer in Norwegen ein BEV erwirbt, hat erhebliche Steuervorteile und andere Vergünstigungen (Erlass von Parkgebühren und Mautgebühren, geringerer Strompreis).

Im Ergebnis der Förderung kostet ein Elektroauto in Norwegen dem Halter weniger als ein vergleichbares Modell mit Verbrennungsmotor. Die Förderung soll zukünftig in Norwegen so gestaltet werden, dass hochmotorisierte Fahrzeuge nicht mehr förderfähig sind. Ein Problem der intensiven Förderung der Elektroautos in Norwegen sind steigende Pkw-Zulassungszahlen insgesamt. Eine Untersuchung der Universität von Oslo [BAUER 2018] kam zu dem Ergebnis, dass die BEV in Norwegen insgesamt zu einer um 15 bis 20 Prozent höheren Motorisierungsrate geführt haben. Dies ist unter Klimaschutzaspekten bei der Förderung der Elektromobilität in Deutschland zu beachten.

2.2.3 Sonderfall Carsharing

Nach Angaben des Bundesverbandes Carsharing⁵ waren zum Jahresbeginn 2017 in Deutschland insgesamt 1.715.000 Carsharing-Kunden registriert, die sich 17.200 Fahrzeuge teilten. In 597 deutschen Städten und Gemeinden gibt es Carsharing-Angebote. Stationsbasierte Carsharing-Anbieter zählen 455.000 Fahrberechtigte und stationsunabhängige Carsharing-Anbieter mit reinen free-floating Angeboten 1.260.000 Nutzer. Der Anteil von E-Fahrzeugen an den Carsharing-Flotten liegt bei 10,4 Prozent. Deutschlandweit liegt Dresden im Carsharing-Städteranking 2017 auf Platz 23 mit 0,53 Fahrzeugen pro 1.000 Einwohner.⁶

Die Firma teilAuto, die in Dresden der Marktführer im Carsharing ist, betreibt seit 2012 mehrere BEV (Stand Febr. 2018: vier Fahrzeuge) in ihrer Flotte. Die Elektrofahrzeuge kommen beim Carsharing auf etwa 13.000 km Jahresfahrleistung, Otto- oder Diesel-Pkw auf 30.000 km pro Jahr. Das bedeutet, dass E-Autos bei teilAuto in geringerem Maße wirtschaftlich als

⁵ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/LA/carsharing-gesetz.html>, Abruf am 06.02.2018

⁶ http://carsharing.de/sites/default/files/uploads/rangliste_carsharing-staedteranking_2017.pdf, Abruf am 06.02.2018

Verbrennerfahrzeuge sind. Gründe dafür sind laut teilAuto höhere Anschaffungskosten, die geringere Reichweite der Fahrzeuge und die längeren Standzeiten aufgrund des Ladevorgangs. Hinzu kommen die Vorbehalte mancher Kunden, da die Benutzung und das Laden von Elektrofahrzeugen nicht allen vertraut sind. Teilweise gab es auch technische Probleme, weil die Ladesäulen nicht verfügbar waren oder Nutzer Fehler beim Laden machten. Durch die Installation von besserer Lade-technik an den Mobilitätspunkten (Mobi-Punkte) verkürzen sich zukünftig die Ladezeiten für Carsharing-Fahrzeuge. Im Zuge des Ausbaus der Mobi-Punkte plant teilAuto, seine E-Flotte signifikant zu erhöhen.

2.2.4 Öffentlicher Verkehr

Die Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB) verfügen über 166 Straßenbahnen, 142 Busse, vier Bergbahnen, fünf Fährschiffe und zwei Güterstraßenbahnen. Straßenbahnen und Bergbahnen fahren bereits elektrisch, mit Diesel werden noch die Busse und Fährschiffe betrieben. 17 der 142 Busse sind Hybrid-Fahrzeuge. Damit fährt heute jeder achte DVB-Bus teilweise elektrisch durch Dresden. Hybridbusse mit teilweise elektrischem Antrieb verbrauchen bis zu 16 Prozent weniger Kraftstoff im Vergleich zu einem Dieselbus, sind deshalb umwelt- und klimafreundlich, halten leise und emissionsfrei an der Haltestelle und speichern Bremsenergie zurück (Rekuperation). Die DVB AG hat das Ziel, ihre Busflotte perspektivisch auf Elektrobetrieb umzustellen und sieht die Hybridtechnologie dabei als Zwischenschritt auf dem Weg zum Elektrobus.

Seit Mitte 2015 ist der erste elektrische Linienbus Sachsens im Rahmen eines bis 2016 laufenden Forschungsprojektes auf der Buslinie 79 zwischen den Dresdner Stadtteilen Mickten und Übigau im Einsatz. Für das Pilotprojekt wurde die Linie 79 ausgewählt, weil sie mit 5,2 Kilometern im Gegensatz zu anderen DVB-Linien relativ kurz ist und im 20-Minuten-Takt mit nur einem Fahrzeug bedient wird. Die Ladestation am Endpunkt Mickten nutzt die vorhandene Strominfrastruktur der Straßenbahn. Hier „tankt“ der zwölf Meter lange Elektrobus mittels Stromabnehmer über ein Schnellladesystem in nur drei bis vier Minuten seine Batterie auf. Diese wird nachts im Betriebshof Trachenberge nachgeladen.

2.2.5 Fahrräder

Da es für elektrisch unterstützte Fahrräder keine Meldestatistik gibt, ist deren Bestandsentwicklung in Dresden nur schwer abzuschätzen. Laut SrV 2013 und KBU 2016 gibt es in rund 1 Prozent der Haushalte Elektrofahrräder. Der Markt für Elektrofahrräder wächst seit mehreren Jahren. Die Absatzzahlen haben sich 2016 (605.000 Stück) gegenüber 2015 (535.000 Stück) um 13 Prozent erhöht.

2.3 Ladeinfrastruktur

2.3.1 Systematik der Ladeinfrastruktur

Es gibt mittlerweile verschiedene Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge:

- Private zum Eigenbedarf
- Private ohne Zugangsbeschränkung (Privatinitiativen)
- Private ohne Zugangsbeschränkung mit dem Ziel der Kundenbindung (Supermärkte, Einkaufszentren, Raststätten)
- Private mit Zugangsbeschränkung für begrenzten Personenkreis (z. B. Hotelkunden, Firmenmitarbeiter, Werkstattkunden)
- Ladestationen, die von Fahrzeugherstellern errichtet und betrieben werden (z. B. Tesla)
- Öffentliche Ladestationen

Das Abrechnungssystem kann unterschieden werden nach:

- Kostenfreie Lademöglichkeit
- Lademöglichkeit mit fester Gebühr pro Ladevorgang

- Lademöglichkeit mit Parkgebühr für Stellplatz
- Lademöglichkeit mit zeitabhängiger Gebühr
- Lademöglichkeit mit verbrauchsabhängiger Gebühr
- Lademöglichkeit mit Flatrate für einen bestimmten Zeitraum
- Kombinationen von Grundgebühr und verbrauchsabhängiger Gebühr

Die technische Ausführung der Ladestation kann man unterscheiden nach:

- Schukosteckdose
- CEE-Steckdose
- Ladestation Typ-1
- Ladestation Typ-2
- Combined Charging System (CCS)
- CHAdeMO-Standard
- Supercharger-System (Tesla)

Die Ladedauer hängt von der angebotenen Ladeleistung ab. Höhere Ladeleistungen bieten die Gleichstrom-Ladestationen (Schnelllader). Für CHAdeMO und CCS sind dort derzeit Ladeleistungen von 50 kW und mehr üblich. Die Tesla Supercharger bieten meist Ladeleistungen von 135 kW an. Welche Ladestation und welche Ladeleistung genutzt werden kann, hängt von der technischen Auslegung des Fahrzeuges ab. Für die Abrechnung der Kosten des Ladevorganges gibt es verschiedene Varianten:

- Kostenfreiheit
- Abgabe gegen eine Spende
- Prepaid-Karten für einzelne Ladestationen
- Kreditkarte
- Handy-App
- RFID-Karten/Ladekarten

Bei den Ladekarten gibt es eine große Vielfalt. Auf der Website www.goingelectric.de wurden im November 2017 255 verschiedene Karten gelistet. Neben Unternehmen mit eigenen Ladestationen gibt es dabei auch reine Abrechnungsunternehmen, die selbst keine Ladesäulen aufstellen und betreiben, die aber mit einer Karte oder einem Chip überregional und zum Teil international das Laden an einer sehr großen Zahl von Ladestationen ganz verschiedener Anbieter ermöglichen.

Im Dezember 2017 gab es in Deutschland etwa 9.800 öffentlich zugängliche Ladestationen mit etwa 17.300 Ladepunkten [NOW 2018]. Die meisten dieser Ladestationen bieten derzeit nur Normalladen an. Nur ca. 10 Prozent verfügen über eine Schnellladeoption. Die Bundesnetzagentur listet mit Stand 6. Dezember 2018 6.110 Normallade- und 852 Schnellladeeinrichtungen in Deutschland auf, welche den Anforderungen der Ladesäulenverordnung entsprechen. Davon befinden sich 11 Normallade- und 5 Schnellladeeinrichtungen in Dresden.⁷

⁷ https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte_node.html, Abruf am 12.12.2018. In der Liste sind nur die Ladesäulen verzeichnet, die das Anzeigeverfahren der Bundesnetzagentur erfolgreich durchlaufen und deren Betreiber einer Veröffentlichung im Internet zugestimmt haben. Die Bundesnetzagentur veröffentlicht nur die Ladepunkte, die den Anforderungen der Ladesäulenverordnung genügen. Nicht von der Anzeigepflicht betroffen sind Normalladepunkte, die vor dem 17. März 2016 aufgebaut wurden.

Insgesamt bestehen beim Laden derzeit folgende Herausforderungen:

- Die technische Vielfalt von Ladestationen und Fahrzeugen sowie von Zugangsregeln, Öffnungszeiten und Abrechnungssystemen ermöglicht nicht immer ein Laden für jeden Benutzer.
- Die Vielzahl der Tarife und Abrechnungssysteme führt zu mangelhafter Vergleichbarkeit der Preise.
- Bei nicht-zeitabhängigen Gebühren steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die angesteuerte Ladesäule belegt ist, z.T. auch lange über den Ladevorgang hinaus. Eine zeitliche Begrenzung von 2 bis 3 Stunden ist wiederum für längere Aufenthaltszeiten, z. B. während der Arbeitszeit unattraktiv.
- Häufig sind Ladesäulen auch durch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor blockiert.

2.3.2 Situation in Dresden

Informationen zur öffentlich nutzbaren Ladeinfrastruktur in Dresden findet man auf verschiedenen Internetseiten. Dabei sind die Suchergebnisse nicht einheitlich, es gibt aber eine große Schnittmenge. Recherchiert wurde u. a. auf den folgenden Internetseiten:

- <http://stromticket.de/>
- <http://stadtplan2.dresden.de> (Themenstadtplan Dresden)
- <https://www.goingelectric.de/stromtankstellen/>
- <https://e-tankstellen-finder.com>
- <http://www.elektromobilitaet.com/db/stromtankstellen/>

Diesen Quellen nach gab es im Dezember 2017 in Dresden 38 öffentlich zugängliche Ladestellen mit 96 Ladepunkten. Weitern gab es 18 weitere Ladestationen mit 47 Ladepunkten, die nur Mitarbeitern, Kunden oder Hotelgästen zugänglich waren. Von den 38 öffentlichen Ladesäulen sind 26 im 24-Stunden-Betrieb verfügbar, alle anderen haben begrenzte Öffnungszeiten, die meist im Zeitraum von 8:00 Uhr bis 18:00 Uhr liegen. Bei 19 Ladestationen ist die Abrechnung über das sogenannte Stromticket möglich, bei 11 über diverse andere Ladekarten, bei zweien ist der Strom kostenlos, aber Parkgebühren fallen an und bei sechs weiteren erfolgt die Bezahlung nach Absprache mit dem Betreiber vor Ort. Die meisten Ladesäulen befinden sich in Zentrumsnähe, weitere an Standorten der DREWAG (Stadtwerke Dresden GmbH) oder Autohäusern, nur sehr vereinzelte in Wohngebieten. Es gibt allerdings Probleme mit der Kompatibilität der verschiedenen Lade- und Abrechnungssysteme und mit der Störungsanfälligkeit der Ladeeinrichtungen. Eine Tabelle der verfügbaren öffentlichen Ladestationen in Dresden findet sich im Anhang 1. Das häufigste Abrechnungssystem in Dresden ist mit 19 Ladestationen das im Rahmen von SaxMobility II entwickelte Stromticket der DREWAG. Die Freischaltung der Ladesäule erfolgt dabei mittels TAN, die auf das Handy geschickt wird, die Abrechnung per Kreditkarte oder Lastschrift. Die weiteren Abrechnungssysteme sind der Tabelle in Anhang 1 zu entnehmen.

2.3.3 Planung in Dresden

Die Landeshauptstadt Dresden bzw. das kommunale Unternehmen DREWAG planen, die Ladeinfrastruktur für Elektroautos im öffentlichen Raum in erheblichem Maße auszubauen. Bis 2025 strebt die Landeshauptstadt laut Kooperationsvereinbarung mit der Volkswagen Sachsen GmbH einen Ausbau auf mehr als 250 Ladestationen an. In Tabelle 4 ist der erreichte Stand und die Planung für die nächsten Jahre nach Angaben der DREWAG vom 19.04.2018 dargestellt.

Öffentliche Ladeplätze	LIS DC (Schnell)	LIS AC (Normal)	Summe LIS
Bestehende Ladeplätze DREWAG	2	5	52
außerhalb von Mobi-Punkten		0	
Bestehende Ladeplätze DREWAG an geplanten Mobi-Punkten	2	6	8
An Mobi-Punkten geplante Lade- plätze DREWAG (auch P+R)	85	45	130
Summe	89	101	190

Quelle: DREWAG, Stand Februar 2018

Tabelle 4: Bestehende und geplante Ladeplätze in Dresden nach Angaben der DREWAG

An den Mobilitätspunkten werden öffentlicher Verkehr, Radverkehr, Carsharing, Bikesharing und Elektro-Laden miteinander verknüpft. Ebenfalls ist geplant, mittels einer App eine intelligente Navigation mit Parkplatzsuche im Stadtgebiet sowie aktuelle Informationen zur E-Ladesäulen-Infrastruktur zu ermöglichen [LH DRESDEN 2016].

2.3.4 Bedarf an Ladeinfrastruktur

Die Richtlinie 2014/94/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 22.10.2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe [EU 2014] definiert einen Richtwert für eine angemessene durchschnittliche Zahl von öffentlich zugänglichen Ladepunkten von mindestens einem Ladepunkt für je 10 Fahrzeuge, wobei auch den Fahrzeugtypen, den Lade-technologien und den verfügbaren privaten Ladepunkten Rechnung zu tragen ist. Die Nationale Plattform Elektromobilität rechnet bei einer geplanten Anzahl von einer Million Elektrofahrzeugen mit einem Bedarf von insgesamt 950.000 Ladepunkten, von denen 150.000 im öffentlichen und halböffentlichen Raum geschaffen werden müssten [BMVI 2014/1] und liegt damit bei einem Wert von einem öffentlichen Ladepunkt für 6,6 Fahrzeuge.

Im „Nationalen Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ [BMVI 2016], der von der Bundesregierung am 09.11.2016 beschlossen wurde, werden die diesbezüglichen Ziele für Normalladepunkte und Schnellladepunkte in Deutschland präzisiert. Als bestimmend für die Anzahl der benötigten Schnellladepunkte wird darin insbesondere der Anteil von rein batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) an der Gesamtzahl von Elektrofahrzeugen (inkl. PHEV) gesehen. Im Hochlaufszenario für 2020, das von 500.000 batterieelektrischen Fahrzeugen ausgeht, ergibt sich demnach ein Bedarf von rund 7.000 Schnellladepunkten und 36.000 Normalladepunkten. Damit bleibt die Bedarfsplanung der Bundesregierung deutlich unter dem in der EU-Richtlinie angegebenen Richtwert von einem Ladepunkt für 10 Fahrzeuge, insbesondere wenn man neben den BEV auch die PHEV berücksichtigt. Für die im Februar 2018 in Dresden zugelassenen 307 BEV wären nach dem Rechenansatz der EU-Richtlinie 31 öffentliche Ladesäulen erforderlich, was derzeit gegeben ist.

Eine Studie zur Ladeinfrastruktur in Sachsen [TU DRESDEN 2017/2] kommt zu dem Ergebnis, dass diese hinsichtlich der Anzahl der Ladepunkte momentan ausreichend ist, die räumliche Verteilung der Ladeorte jedoch nicht dem Bedarf entspricht, da eine Konzentration an hoch frequentierten Standorten und ein Mangel in der Fläche besteht. Für ein Szenario mit 137.500 BEV und PHEV in Sachsen (etwa 7,5 Prozent der Flotte) werden 20.640 Normalladenvorgänge und 3.910 Schnellladenvorgänge am Tag an öffentlichen Ladepunkten prognostiziert. Pro Normallader werden ca. 2,1 Ladevorgänge je Ladepunkt und Tag abgeschätzt, für Schnelllader ca. 2,7. 2017 lag die Auslastung bei ca. 0,35 täglichen Ladevorgängen je Ladepunkt.

Die Daten der KBU zeigen, dass private BEV derzeit fast ausschließlich als Zweit- oder Dritt Fahrzeuge genutzt und tendenziell eher für Arbeits- oder Freizeitwege, die keine Zwischenladung erfordern, eingesetzt werden. Eine Ausnahme bilden dabei möglicherweise die Fahrzeuge mit höheren Reichweiten (z. B. Tesla). Beachten muss man dabei allerdings auch, dass die öffentlichen Ladesäulen die Funktion von Backups haben, die notwendig sind, um die Nutzung von BEV auch für Fahrten im Grenzbereich der Reichweite oder unter ungünstigen Randbedingungen wie z. B. bei kalter Witterung zu ermöglichen.

[VOGT 2017] kommt bezüglich des Nutzerverhaltens von Fahrern von Elektro-Kfz zu folgenden Ergebnissen:

- Private Ladeinfrastruktur, d. h. am Wohnort des Nutzers oder auch beim Arbeitgeber, ist momentan für E-Auto-Fahrer die wichtigste Lademöglichkeit. Etwa 48 Prozent aller Ladevorgänge entfallen auf die private Ladeinfrastruktur zuhause, gut 20 Prozent auf die beim Arbeitgeber.
- Etwa 46 Prozent der E-Auto-Fahrer laden mindestens einmal täglich zuhause an der privaten Lademöglichkeit. Für Nutzer, deren Fahrzeug nur einphasige AC-Ladetechnik bis zu 3,6 kW unterstützt, trifft dies sogar auf 60 Prozent zu.
- Öffentliche Ladeinfrastruktur wird von 70 Prozent der E-Auto-Fahrer mindestens einmal monatlich genutzt und ein knappes Drittel aller Ladevorgänge erfolgt an öffentlicher, halböffentlicher oder herstellereigener Ladeinfrastruktur.
- Die Nutzung der herstellereigenen Ladeinfrastruktur betrifft derzeit fast ausschließlich Tesla-Fahrer.
- Der Großteil der heutigen Elektromobilitätsnutzer (außer Teslafahrer) nutzt die öffentliche Ladeinfrastruktur eher gelegentlich.
- Die im halböffentlichen Bereich (Läden, Werkstätten, Arbeitgeber) installierten Ladeeinrichtungen werden bis zu relevanten Anschaffungen von Elektrofahrzeugen durch Privatpersonen ohne eigene Lademöglichkeit eher als Mitnahmeeffekt genutzt, sind aber nur in den seltensten Fällen für die Nutzung des BEV oder PHEV substantiell erforderlich.
- Nur 2,7 Prozent der E-Auto-Fahrer haben zuhause keine Möglichkeit, ihr Fahrzeug zu laden; 22 Prozent laden ihr Fahrzeug täglich beim Arbeitgeber.

Derzeit laden BEV-Nutzer das Fahrzeug überwiegend über Nacht zu Hause und/oder während der Arbeitszeit beim Arbeitgeber. Das Laden zuhause und am Arbeitsplatz ist jedoch nicht für alle möglich. Laut SrV 2013 werden 55,6 Prozent der privaten Pkw auf privaten Flächen wie Garagen, Carports oder angemieteten Stellplätzen abgestellt. Auch für diese Flächen ist ein Stromanschluss nicht in allen Fällen verfügbar. Insgesamt muss man davon ausgehen, dass deutlich über die Hälfte der Haushalte derzeit keine Möglichkeit hat, am üblichen Abstellplatz in Wohnungsnähe einen Pkw zu laden. Diese Haushalte müssen, wenn sie ein privates BEV nutzen wollen, entweder am Arbeitsplatz oder an öffentlichen Ladesäulen laden. Der Umstand, dass nur 2,7 Prozent der BEV-Nutzer über keine häusliche Lademöglichkeit verfügen, deutet darauf hin, dass diese für BEV-Nutzer eine große Bedeutung hat.

Die aktuellen Werte aus der Literatur zum Laden beim Arbeitgeber⁸ sind möglicherweise nicht für alle Arbeitsstätten repräsentativ, da es sich bei einem Teil der noch wenigen BEV um Firmenfahrzeuge handelt, die der Arbeitnehmer auch privat nutzen kann.

2.4 Umwelt- und Klimawirkung

2.4.1 Ökologische Wirkungen des elektrischen Pkw

Verschiedene Untersuchungen beschäftigen sich mit Lebenszyklusanalysen von elektrisch betriebenen Pkw und kommen dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen. Das Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU Heidelberg) erstellt und aktualisiert seit vielen Jahren Ökobilanzen für elektrische Fahrzeuge. Die UMBReLA-Studie von 2011 [IFEU 2011] kam noch zu dem Ergebnis, dass der batterieelektrische Pkw bezüglich seiner Klimawirkungen zwischen dem Otto-Pkw und dem Diesel-Pkw liegt. Die aktuelle Untersuchung des IFEU [UBA 2016/1] kommt zu dem Ergebnis, dass ein durchschnittlich genutzter Batterie-Pkw mit etwa 100 km realer Reichweite (bei Annahme des derzeitigen Strommixes und unter Berücksichtigung des gesamten Fahrzeuglebens inklusive Herstellung und Entsorgung) auf eine CO₂-Einsparung von etwa 20 Prozent gegenüber einem entsprechenden Benziner kommt. Damit liegt das Elektrofahrzeug beim CO₂-Ausstoß in etwa gleichauf mit einem entsprechenden Dieselfahrzeug. Als Grund für diese Entwicklung wird die Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterien angegeben, deren Haltbarkeit heute erwarten lässt, dass kein Batterieaustausch im Laufe des Fahrzeuglebens erforderlich wird.

⁸ siehe [VOGT 2017]

Wichtig ist in diesem Zusammenhang der Hinweis, dass die Umweltwirkungen unabhängig von der Antriebsart entscheidend von der Fahrzeuggröße determiniert werden. Der Kleinwagen liegt mit seinen CO₂-Emissionen unabhängig vom Antrieb immer unter der Kompaktklasse und die Kompaktklasse liegt sehr deutlich unter den großen Pkw. Der Umstieg auf Elektromobilität lässt derzeit leider keine Tendenz zur Verkleinerung der Fahrzeuggrößen erkennen [siehe BAFA 2017].

Von entscheidendem Einfluss auf die Umwelt- und Klimabilanz sind die Annahmen über den künftigen Strommix. Nimmt man an, dass alle Elektro-Pkw immer zu 100 Prozent mit erneuerbaren Energien betrieben würden, dann wären große Emissionsminderungen denkbar. Dabei ist aber entscheidend, dass es sich dann um zusätzlich bereitgestellte Anlagen zur Gewinnung regenerativer Elektroenergie handeln muss: 100 Prozent regenerativ bedeutet implizit, dass nur solche Anlagen einbezogen werden sollten, die es ohne den Betrieb der Elektrofahrzeuge nicht gegeben hätte.

In [UBA 2016] wird das folgendermaßen formuliert: „Entscheidend für die Umweltwirkungen der Elektromobilität als Technologie ist letztlich allerdings weniger der durchschnittliche Strommix zum heutigen Zeitpunkt, sondern die Fragen,

- welche Kraftwerke zur Deckung des zusätzlichen Strombedarfs durch Elektrofahrzeuge herangezogen werden („Marginalmix“) und
- wie der Kraftwerkspark aussieht, wenn das Stadium des Massenmarkts erreicht ist.

Unabhängig vom jeweiligen nationalen Strommix können Nutzer durch den Bezug von zertifiziertem Ökostrom ein Signal in Richtung des Ausbaus erneuerbarer Energien setzen. Inwieweit dadurch allerdings tatsächlich eine Minderung der Treibhausgasemissionen erreicht werden kann, ist im Allgemeinen fraglich, was dem Überangebot an zertifiziertem Ökostrom auf dem Markt und der in der Regel geringen Zahlungsbereitschaft der Kunden geschuldet ist. Eine einfache ökobilanzielle Anrechnung von Ökostrom als ausschließlich erneuerbare Energie kann aus wissenschaftlicher Sicht derzeit nicht vertreten werden.“⁹

Perspektivisch soll der Anteil Erneuerbarer Energie am Stromangebot weiter steigen und damit die CO₂-Emissionen von erzeugtem Strom sinken. 1990 wurden 764 g CO₂ pro kWh Strom in Deutschland emittiert. Bis 2017 sanken die Emissionen um 36 Prozent auf einen Wert von 489 g CO₂/kWh [siehe UBA 2018].

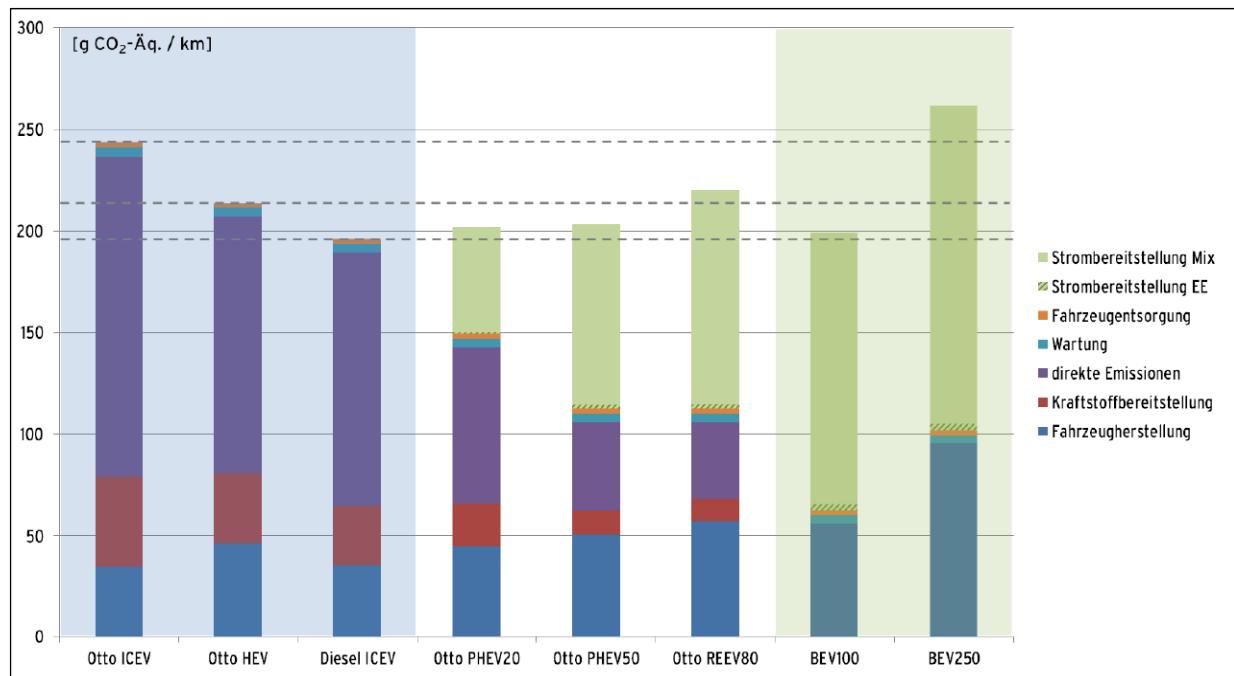
In Abbildung 20 sind die Treibhausgasemissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte unter 2012 durchschnittlichen Bedingungen (Annahme 622 g CO₂-Äquivalent/kWh) in Deutschland dargestellt. Der Diesel-Pkw schnitt aufgrund seines niedrigeren Verbrauchs und der niedrigeren Emissionen der Kraftstoffbereitstellung am besten ab und lag etwa 19 Prozent unter dem Otto-Pkw (ICEV). Unter Anrechnung des 2012 durchschnittlichen Strommixes in Deutschland lag die Klimawirkung des BEV100 gegenüber dem konventionellen Otto-Pkw ebenfalls niedriger (20 Prozent), gegenüber dem konventionellen Diesel ergab sich jedoch keine Verbesserung. Bei besonders hohen Reichweiten (siehe BEV250) zeigte sich dagegen bei Nutzung des durchschnittlichen Strommixes eine gegenüber dem Otto-Pkw um 4 Prozent höhere Klimawirkung. Dies lag zum einen an dem hohen Herstellungsaufwand der großen Batterien, zum anderen aber auch an dem hohen Batteriegewicht. Durch das höhere Fahrzeuggewicht steigt auch der Energieverbrauch des Fahrzeugs, insgesamt muss damit auch die Batterie größer ausgelegt werden, um die Reichweite tatsächlich zu gewährleisten. Die Treibhausgasemissionen der PHEV lagen ebenfalls in der Größenordnung der Emissionen des Diesel-Pkw. Diese Emissionsrelationen verschieben sich aufgrund der Entwicklung des Strommixes. So sank der CO₂-Emissionsfaktor von Strom zwischen 2012 und 2017 um 15 Prozent.¹⁰

Die Batterieforschung ist bestrebt, das Verhältnis zwischen Batteriegewicht und Batterieleistung weiter zu optimieren, so dass die BEV zukünftig eine bessere Bilanz aufweisen. Abbildung 21 zeigt die Treibhausgasemissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte unter den für 2030 prognostizierten Randbedingungen. Die Annahmen umfassen die Veränderungen im Strommix mit deutlichem Ausbau der erneuerbaren Energien (62 Prozent EE, CO₂-Äquivalent 314 g/kWh) sowie die Verbesserungen in der Herstellungstechnologie. Unter diesen Annahmen zeigen die elektrischen Fahrzeugkonzepte durchweg eine bessere Klimagasbilanz als die Verbrenner-Antriebssysteme. So hat bereits der PHEV50 im Jahr 2030 einen Vorteil von 25 Prozent gegenüber dem Otto ICEV und immer noch 11 Prozent gegenüber dem Diesel-Pkw. Beim BEV100 ist der Vorteil mit 41 Prozent gegenüber Otto ICEV und 30 Prozent gegenüber Diesel ICEV noch ausgeprägter. Auch das Elektrofahrzeug mit

⁹ UBA 2016/1, S. 98

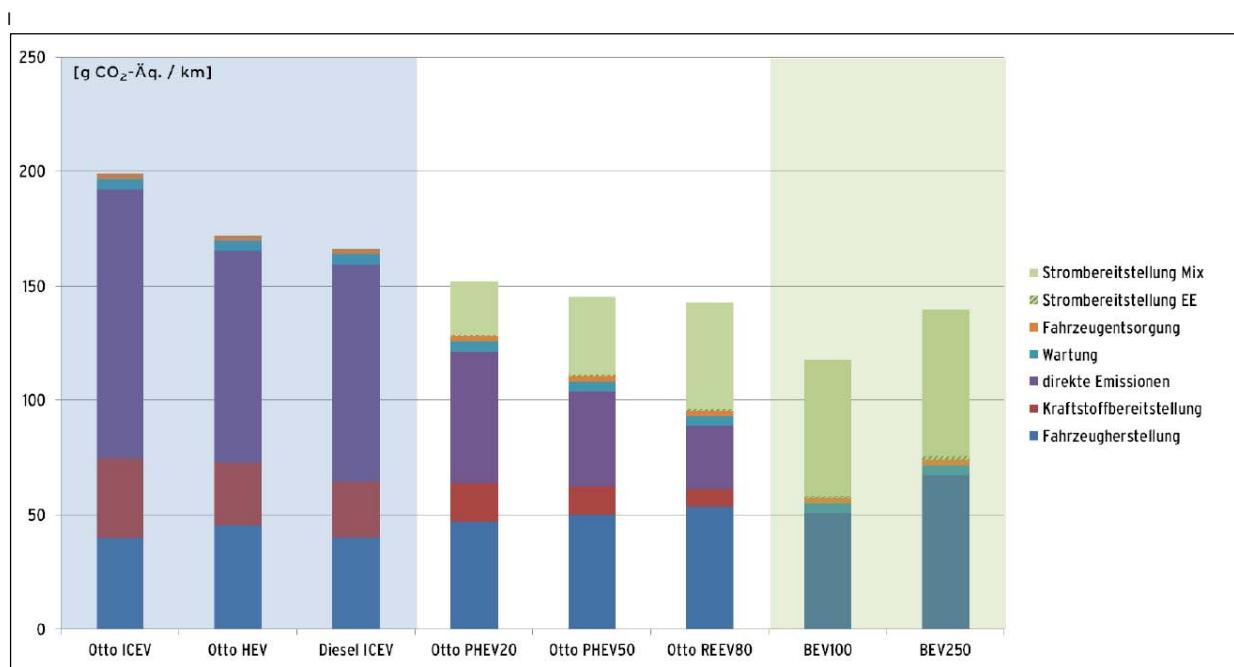
¹⁰ UBA 2018, S. 10

hoher Reichweite von 250 km schneidet nun in seiner Klimawirkung besser ab als der Diesel-Pkw. Die Vorteile der elektrisch betriebenen Fahrzeuge steigen noch deutlich an, wenn man vom Betrieb mit ausschließlich erneuerbaren Energien ausgeht.



Quelle: UBA 2016/1, S. 79

Abbildung 20: Treibhausgasemissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte unter durchschnittlichen Bedingungen 2012 in Deutschland



Quelle: UBA 2016/1, S. 106

Abbildung 21: Treibhausgasemissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte unter den für 2030 prognostizierten Bedingungen in Deutschland

In Bezug auf andere Umweltauswirkungen haben elektrische Antriebssysteme im Vergleich zu Verbrenner-Antriebssystemen unterschiedliche Wirkrichtungen. Der BEV hat den Vorteil, mit Ausnahme der Abriebs- und Aufwirbelungs-Emissionen, lokal emissionsfrei zu fahren und somit besonders belastete Innenstadtbereiche zu entlasten. Werden die Effekte der Fahrzeug- und Stromherstellung derzeit berücksichtigt, reduzieren sich die positiven Effekte. Insbesondere bei den Feinstaubemissionen über den Lebensweg weist der BEV heute noch um etwa 60 Prozent höhere Werte auf als der Otto-Pkw. In der Prognose für 2030 bei höheren EE-Anteilen verbessert sich die Situation. Bis auf die Feinstaubproblematik liegt der BEV 100

dann bei allen Umweltwirkungskategorien besser als der Verbrenner. Bei Feinstaub soll der Nachteil bis 2030 auf 32 Prozent zurückgehen [UBA 2016/1].

Bezüglich der Luftreinhaltung kommt [UBA 2016/1] zu folgendem Fazit: „Zur Lösung der aktuellen Probleme der Luftreinhaltung kommt die Marktdurchdringung aber wahrscheinlich zu spät. Langfristig ist nur bei den NO_x-Emissionen ein relevanter zusätzlicher Minderungsbeitrag durch Elektrofahrzeuge zu erwarten.“ Vernachlässigt man die Effekte aus Herstellung von Fahrzeug und Strom und betrachtet nur die Auswirkungen für die innerstädtische Luftreinhaltung an Straßen, wird der zusätzliche Effekt bei NO_x nach [UBA 2016/1] auf minus 28 Prozent bei sechs Millionen Elektrofahrzeugen im Jahre 2030 abgeschätzt. Dabei ist jedoch zu erwähnen, dass diese Minderung unter der Annahme sehr hoher Jahresfahrleistungen von BEV und somit unter der Annahme, dass vor allem Diesel-Pkw ersetzt werden, berechnet wurde. Die Fahrleistungserhebung der Bast [BAST 2017] hat dagegen gezeigt, dass die Jahresfahrleistungen der BEV in 2017 im Bereich der Fahrleistungen von Otto-Pkw liegen. Sollten eher Otto-Pkw ersetzt werden, wären deutlich geringere Minderungen der direkten NO_x-Emissionen zu erwarten.

2.4.2 Änderungen des Verkehrsverhaltens durch Elektrifizierung im MIV

Während es zahlreiche Veröffentlichungen zur Ökobilanz des Elektroautos an sich gibt, fehlt es an Veröffentlichungen zum Einfluss der Antriebsart auf das Verkehrsverhalten von Nutzern. Nachfolgend werden dazu Aspekte benannt, deren Effekte aber nicht quantifiziert werden können.

■ „Flatrate-Verhalten“

Bisher sind E-Autos in der Anschaffung teurer, aber im Betrieb preiswerter. Dies könnte dazu führen, dass der (einmal bezahlte) Pkw intensiver genutzt wird. Auch für Fahrten, die ohne diesen zu Fuß, mit dem Fahrrad, mit dem ÖV oder gar nicht zurückgelegt worden wären.

■ Einfluss Lademanagement

Die Problematik des Lademanagements und die Erfordernis, Fahrten zu planen, könnten andererseits auch dazu führen, dass weniger mit dem Kfz gefahren wird.

■ Verstärkte Zulassung von Zweit- und Drittwaren

Aufgrund der begrenzten Reichweite von E-Autos werden diese von den Nutzern zum Teil noch nicht als vollständiges Äquivalent zum „Familienauto“, mit dem der Jahresurlaub zurückgelegt wird, wahrgenommen. Die Bewerbung der E-Autos als besonders umweltfreundlich könnte bei einigen Nutzern dazu führen, dass sie ein E-Fahrzeug als Zweit- oder Drittwaren anschaffen und Wege damit zurücklegen, die sie sonst mit dem Fahrrad oder ÖV zurückgelegt hätten.

■ Verkehrsinduzierende Effekte kostenloser Ladeangebote von Arbeitgebern

Als Maßnahme zur Förderung der Elektromobilität findet man häufig die Forderung, Arbeitgeber sollten (kostenlose) Lademöglichkeiten am Arbeitsort anbieten. Dies soll fördern, dass Arbeitnehmer von Verbrenner- auf E-Pkw umsteigen. Es könnte jedoch auch dazu führen, dass Arbeitnehmer ihren zuvor im Umweltverbund zurückgelegten Arbeitsweg auf das E-Auto verlegen, bzw. sich ein solches zusätzlich anschaffen.

■ Verkehrsinduzierende Effekte kostenloser Ladeangebote von Einzelhandelsbetrieben

Teilweise bieten Einzelhandelsbetriebe kostenlose oder kostengünstige Ladeangebote auf ihren Parkplätzen an. Dies könnte nach [VOGT 2017] dazu führen, dass Nutzer ihre Einkaufsziele ändern. Hierbei stellt sich die Frage, ob auch die Verkehrsmittelwahl für den Einkauf beeinflusst wird. Ob man statt mit dem Fahrrad mit dem E-Auto zum nahegelegenen Einkauf (oder auch zu einem weiter entfernten Ziel) fährt, um bei der Gelegenheit noch kostenlos zu laden.

■ Verkehrsinduzierende Wirkung kostenfreier Parkplätze

Das Elektromobilitätsgesetz von 2015 sieht als eine Fördermaßnahme die Befreiung von Parkgebühren für E-Kfz vor. Hier besteht die Gefahr, dass innerstädtische Parkplätze von Beschäftigten genutzt werden, die ihre Pkw den ganzen Arbeitstag

innerstädtisch abstellen können, während sie sonst mit dem Umweltverbund zum Arbeitsplatz gekommen wären. Dies widerspricht der Zielrichtung des Parkraummanagements, Stellplätze für Kunden und Besucher der Innenstadt vorzuhalten.

2.4.3 Änderungen des Verkehrsverhaltens durch autonome Fahrzeugkonzepte

Parallel zur Elektrifizierung des Verkehrs erfolgen weitere Schritte in Richtung Autonomes Fahren. Bis zum vollautonomen Fahren sind sowohl auf technischer als auch rechtlicher Seite noch viele Schritte zu vollziehen, wobei der Zeithorizont für das vollautonome Fahren als auch von Zwischenschritten nicht sicher definierbar ist. Bezuglich ihrer Ökobilanz werden sich die autonomen Fahrzeuge nicht erheblich von den manuell bedienten elektrischen Pkw unterscheiden. Auch hier besteht aber die Frage, welche Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten der Nutzer zu erwarten sind.

Eine ausführliche Modellrechnung zu den Auswirkungen autonomer Fahrzeuge in privater Nutzung, Carsharing-Nutzung und Ridesharing-Nutzung führte [Friedrich 2016] durch. Festgestellt wird dabei, dass die Einführung autonomer Fahrzeuge das Verkehrsangebot und damit die Mobilitätsoptionen für die Verkehrsteilnehmer in großem Umfang verändern kann. Die Auswirkungen zeigen sich dabei komplex und unterscheiden sich stark nach der Art des Einsatzes der autonomen Fahrzeuge. Es sind positive Wirkungen denkbar im Sinne eines stärker multimodalen Verkehrsverhaltens mit Fahrgastgewinnen für den ÖV. Diese aus verkehrsplanerischer Sicht wünschenswerte Entwicklung wird aber nicht ohne flankierende Maßnahmen eintreten. Ohne diese ist eher ein Rückgang der Nachfrage im ÖPNV wahrscheinlich. Die Ausgestaltung der flankierenden Maßnahmen wird erhebliche Anforderungen an den Gesetzgeber und die Kommunen stellen. Um hier konkrete Handlungsempfehlungen geben zu können, ist es zu diesem Zeitpunkt jedoch zu früh. [FRIEDRICH 2016] schlägt derzeit Modellprojekte für nichtautonome Ridesharing-Flotten vor, um Erfahrungen zu sammeln und gesetzliche Grundlagen schaffen zu können.

In [SRU 2017] wird der gegenwärtige Wissenstand zu den erwarteten Auswirkungen des autonomen Fahrens zusammengefasst:

- Effekte auf Fahrzeugebene:
 - Es wird davon ausgegangen, dass der effizientere und vorausschauende Fahrstil der autonomen Pkw zu Energieeinsparungen führt.
 - Mit der fortschreitenden Vernetzung autonomer Fahrzeuge untereinander ist zu erwarten, dass diese in geringem Abstand hintereinander fahren können (Platooning), was den Luftwiderstand der Fahrzeugkolonne verringert.
 - Verringerte Unfallwahrscheinlichkeiten könnten zur Reduzierung der passiven Sicherheit der Fahrzeuge (Knautschzonen) und damit zu geringerem Fahrzeuggewicht führen.
 - Aus den genannten Effekten resultiert ein geringerer Energieverbrauch, eine höhere Reichweite der Fahrzeuge und somit eine höhere Akzeptanz.
- Effekte auf Verkehrsebene:
 - Kapazitätsgewinn der Infrastruktur durch geringere Sicherheitsabstände und weniger Unfälle.
 - Wenn autonome Fahrzeuge das Unfallrisiko bei hohen Geschwindigkeiten deutlich reduzieren, da menschliche Reaktionszeiten und Fehlerquellen ausgeschlossen sind, ist zu erwarten, dass die Kfz durch eine Mehrzahl der Nutzenden auf Streckenabschnitten ohne zulässige Höchstgeschwindigkeit schneller als bisher betrieben werden. Da mit steigender Geschwindigkeit der Luftwiderstand quadratisch ansteigt, wird die Energieintensität deutlich erhöht. Außerdem kann dies zu einem weiteren Anstieg der Beförderungsleistung im MIV führen. [Anmerkung: Allerdings führt das autonome Fahren auch dazu, dass Geschwindigkeitsbeschränkungen eher eingehalten werden, da diese vom Kfz ohne Einfluss der Passagiere umgesetzt werden.]
 - Da kein Führerschein notwendig ist, werden zusätzliche Nutzergruppen induziert, die zu zusätzlicher Nachfrage führen (Jugendliche, Kinder, Mobilitätseingeschränkte). Eine Abschätzung für die USA ergab +40 Prozent Verkehrsleistung.
 - Derzeit wird davon ausgegangen, dass autonome Fahrzeuge die Kosten-Nutzen-Bilanz von Pkw deutlich verbessern (Betriebskosten, Versicherungskosten, Parkgebühren) und damit zusätzliche Nachfrage induzieren. Die niedrigen Betriebskosten könnten dabei auch zu unnötigen Leerfahrten führen, wenn Fahrzeuge in großer Distanz geparkt werden

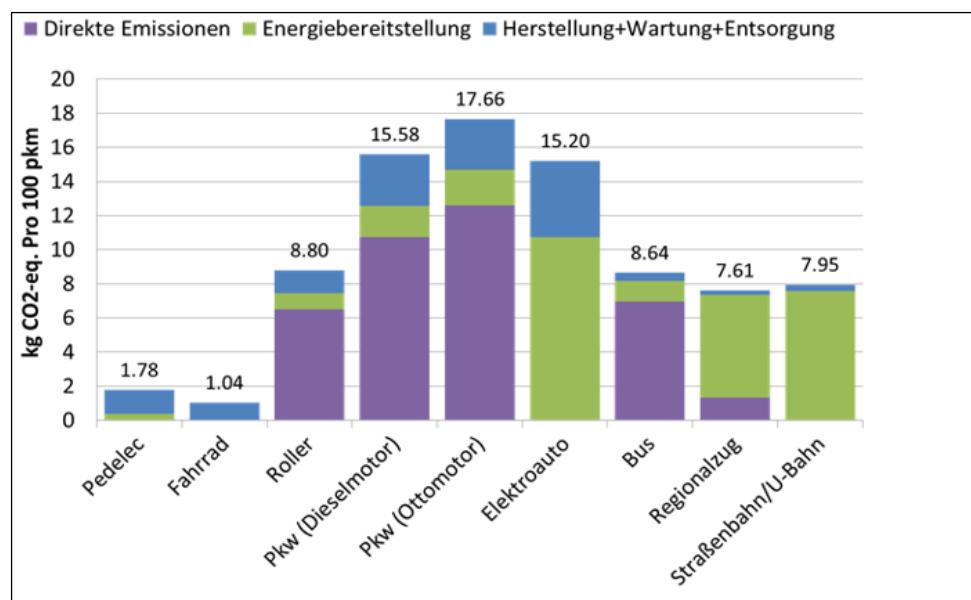
oder im Zweifel die Parkplatzsuche und -kosten durch ein permanent fahrendes Fahrzeug ganz vermieden werden können.

- Den größten Effekt auf die Verkehrsnachfrage könnten die veränderten Opportunitätskosten des Autofahrens haben: Statt wie bisher hinter dem Steuer zu sitzen, könnte die Fahrzeit zum Arbeiten, Schlafen oder für Freizeitaktivitäten genutzt werden. Damit wäre die Fahrzeit keine „verlorene“ Zeit mehr, was die Kosten-Nutzen-Bilanz des Fahrens deutlich verschieben und zusätzlichen individuellen Verkehr induzieren könnte.
- Der durch die autonomen Fahrzeuge weiter verbesserte Verkehrsfluss könnte für die Nutzenden der selbstfahrenden Fahrzeuge einen zusätzlichen Anreiz zum Zurücklegen weiterer Distanzen bieten.
- Wenn die relativen Fahrtkosten sinken, steigt die Attraktivität des Wohnens in größerer Distanz vom Arbeitsplatz. Infolgedessen könnten die Zersiedelung und der Flächenverbrauch ansteigen.
- Es entstehen zusätzliche Potentiale für bedarfsgerechte Anforderungsverkehre im ÖPNV, wobei die Grenzen zwischen ÖPNV und MIV teilweise verschwimmen.

Insgesamt besteht bezüglich der Effekte des autonomen Fahrens und deren Auswirkung auf das Ziel der Dekarbonisierung ein hohes Maß an Unsicherheit, da die zu lösenden technischen und rechtlichen Probleme erheblich sind und das Verkehrswesen mit seinen Bestandteilen Fahrzeugflotte und Infrastruktur recht langlebig ist. Deshalb werden mögliche diesbezügliche Entwicklungen nicht in diese Potenzialanalyse einbezogen.

2.4.4 Umwelt- und Klimabilanz von Elektrofahrrädern

Die Absatzzahlen von Elektrofahrrädern sind in den letzten Jahren gestiegen und es ist davon auszugehen, dass dieser Trend auch in Zukunft anhält. Im Verkehrsmittelvergleich schneiden Fahrrad und E-Bike bezüglich der Klimawirkungen sehr gut ab. E-Bikes sind für den Klimaschutz förderlich, wenn Auto-Kilometer ersetzt werden, was laut einer Untersuchung des IFEU Heidelberg [IFEU 2015] am häufigsten bei Pendlern der Fall ist. Als Motive für den Kauf von E-Bikes geben Nutzer vor allem die im Vergleich zum konventionellen Fahrrad geringere körperliche Anstrengung an. Weitere Gründe für die E-Bike-Nutzung sind Schnelligkeit und Entspannung beim Fahren, die Möglichkeit zur Bewältigung anspruchsvoller Strecken und eine höhere Reichweite. Dadurch wirken sich E-Bikes auf das Nutzerverhalten aus: Während gewöhnliche Fahrräder im Alltag für Wege mit durchschnittlich 7,1 km Länge genutzt werden, fahren E-Bike-Nutzer/innen mit durchschnittlich 11,4 km meist längere Strecken.



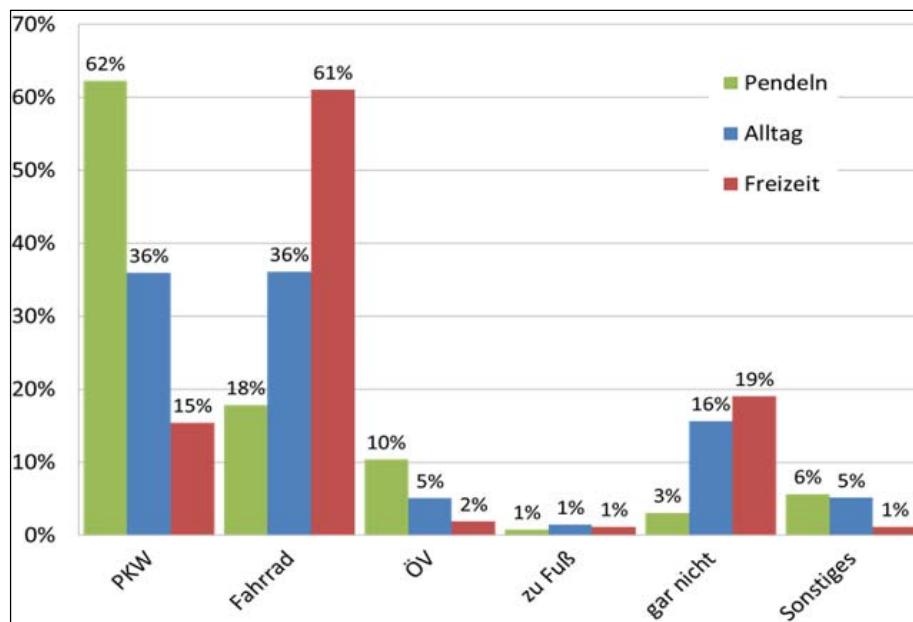
Quelle: IFEU 2015

Abbildung 22: Klimawirkung verschiedener Verkehrsmittel pro km

Die Klimawirkung der E-Bike-Nutzung ist dabei gegenüber den meisten anderen Verkehrsmitteln sehr günstig, auch wenn man Herstellung, Wartung und Entsorgung der Fahrzeuge mit einbezieht (siehe Abbildung 22): E-Bikes verursachen nur etwa ein Zehntel der Klimawirkung eines Benzin-Pkw pro Personenkilometer und haben damit ein großes Klimaentlastungspotenzial. Dabei haben Herstellung, Wartung und Entsorgung beim E-Bike mit knapp 80 Prozent sogar den größten Anteil

an der gesamten Klimawirkung, während die Klimawirkung des Stromverbrauchs durch die Tretunterstützung klein ist. Die gegenüber konventionellen Fahrrädern etwas schlechtere Klimabilanz der E-Bikes ist vor allem auf die zusätzlichen Komponenten (wie z. B. die Batterie) zurückzuführen.

Die Verlagerungs- und Klimaeffekte von Pedelecs wurden in dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit geförderten Projekt „Pedelection“ untersucht. Die Ergebnisse (Abbildung 23) zeigen, dass die E-Bike-Fahrten und -Strecken vorher in der Regel entweder mit dem Fahrrad oder aber mit dem Auto zurückgelegt wurden, während Wege mit anderen Verkehrsmitteln kaum verlagert wurden. Besonders bei den Pendlern war der Anteil der durch E-Bikes ersetzen Pkw-Kilometer besonders hoch, während Alltagsnutzer und Freizeitnutzer häufig nur ihre bisherigen Fahrradstrecken nun mit dem E-Bike zurücklegen.



Quelle: IFEU 2015

Abbildung 23: Verlagerungseffekte durch die Pedelec-Anschaffung bei Pendlern, Alltagsnutzern und Freizeitfahrern: Streckenanteil der für die Pedelec-Strecken zuvor genutzten Verkehrsmittel

Zusammenfassend lässt sich festhalten: ein E-Bike ist in seiner Klimawirkung etwas schlechter als ein Fahrrad, aber besser als jedes andere Verkehrsmittel. Ersetzen die E-Bike-Fahrten Fußwege oder konventionelle Fahrradfahrten, dann ist der Klimaeffekt schwach negativ. Werden jedoch andere motorisierte Fahrten ersetzt, dann ist der Klimaeffekt stark positiv. Starke Verlagerungen von Fahrradfahrten zum E-Bike sind im Freizeitverkehr zu erwarten, starke Verlagerungen vom MIV zum E-Bike/Pedelec bei Arbeitswegen.

Elektrokleinstfahrzeuge, wie E-Scooter sind bisher nur in wenigen Fällen für den öffentlichen Straßenverkehr in Deutschland genehmigt. Es bleibt abzuwarten, welche Regeln für den Einsatz getroffen werden und ob diese kleinen Fahrzeuge eher Fußwege/Wege mit dem Rad oder Wege, welche bisher mit dem Kfz zurückgelegt werden, ersetzen.

2.4.5 CO₂-Emissionen des Verkehrs in Dresden

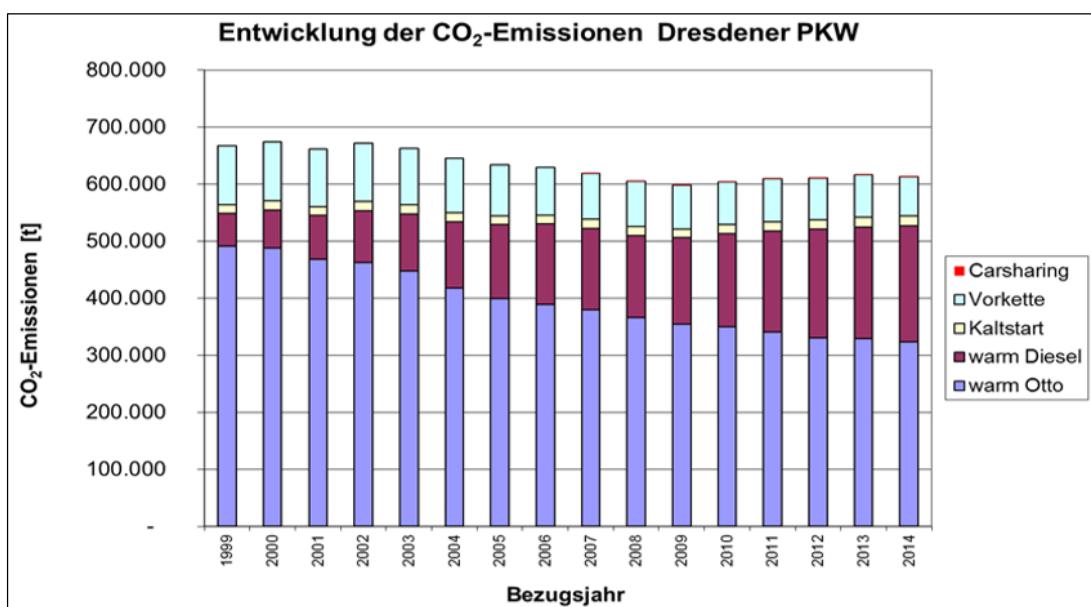
Seit mehreren Jahren werden die verkehrlichen CO₂-Emissionen der Dresdner nach dem Inländerprinzip bilanziert. Im bogengebundenen Pkw-Verkehr ist insbesondere die Anzahl der Pkw und deren jährliche Laufleistung entscheidend. Die Entwicklung der Dresdner Pkw-Fahrleistung ist in Abbildung 24 dargestellt.



Quelle: TU Dresden 2016/1

Abbildung 24: Entwicklung der Dresdner Pkw-Fahrleistung

Abbildung 24 zeigt die Entwicklung der Dresdner Pkw-CO₂-Emissionen als Summe der Emissionen mit warmem Motor – getrennt nach Diesel- und Otto-Motoren – und der Kaltstartemissionen sowie des Vorkettenanteils¹¹. Danach sinken die Emissionen im betrachteten Untersuchungszeitraum um 8,6 Prozent. Deutlich sichtbar ist der Einfluss der steigenden Diesel-Fahrleistungen auf die Emissionsbilanz. So steigt der Anteil der Dieselfahrzeuge an den warmen Gesamtemissionen von 10 Prozent im Jahre 1999 auf 39 Prozent im Jahre 2014. Die seit 2007 annähernd konstanten CO₂-Gesamtemissionen der Pkw der Dresdner sind durch sinkende Emissionsfaktoren bei steigenden Gesamtfahrleistungen bedingt. Die spezifischen CO₂-Emissionen aus dem Pkw-Verkehr der Dresdner in kg/Person und Jahr sind von 1999 bis 2014 um 20 Prozent gesunken. Die Emissionen von gasbetriebenen Kfz und E-Kfz spielen derzeit kaum noch eine Rolle und sind deshalb in Abbildung 25 nicht dargestellt.



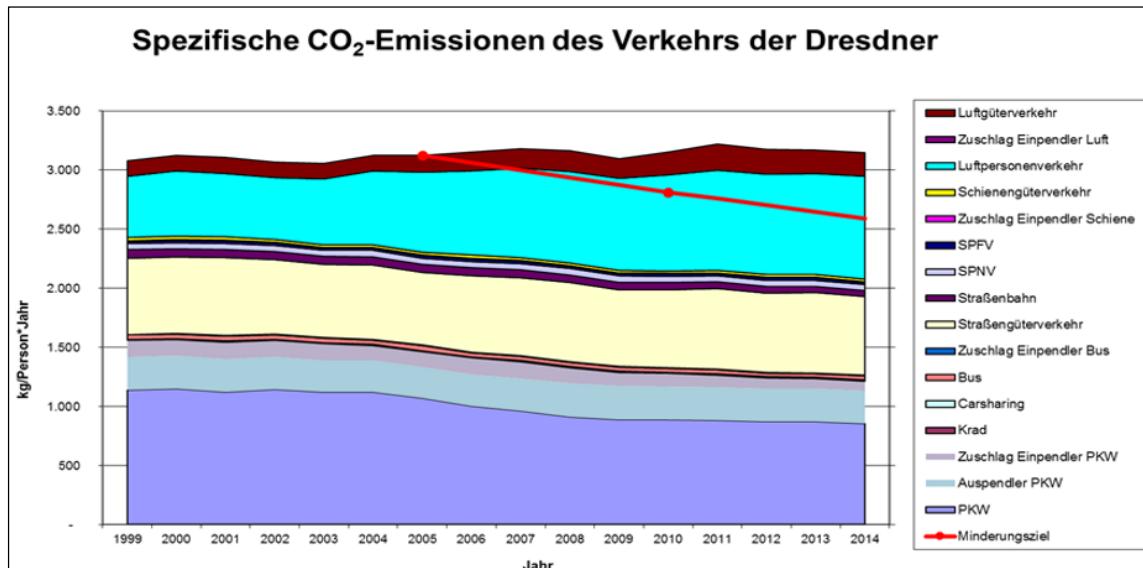
Quelle: TU Dresden 2016/1

Abbildung 25: Entwicklung der CO₂-Emissionen Dresden Pkw

In Abbildung 26 sind die Ergebnisse der Berechnungen der spezifischen CO₂-Emissionen für alle Verkehrsträger zusammengestellt. Der Personenluftverkehr ist 2014 für 28 Prozent der CO₂-Emissionen verantwortlich, der MIV für 39 Prozent, der

¹¹ Mit dem Begriff Vorkette werden die vorgelagerten Prozesse beim Lebensweg eines Energieträgers bezeichnet. So werden bei Emissionsfaktoren mit Vorkette auch die Emissionen von Förderung, Aufbereitung und Transport einbezogen.

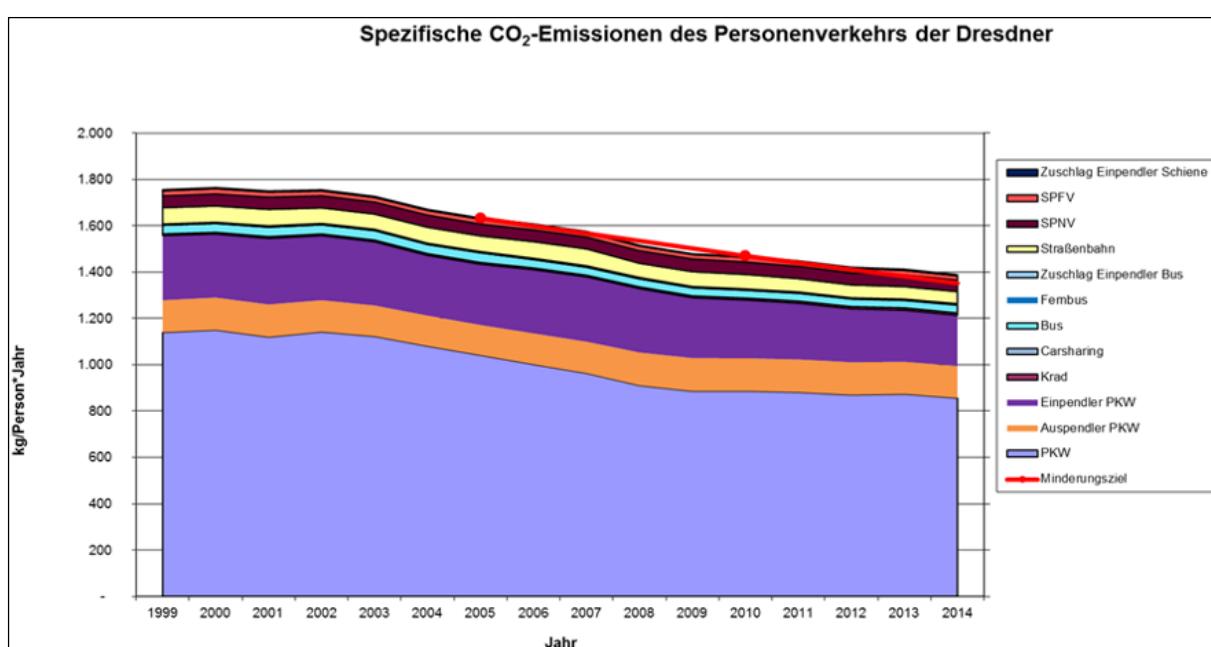
ÖV für 5 Prozent und der Güterverkehr für 28 Prozent. Die gesamten spezifischen CO₂-Emissionen des Verkehrs der Dresdner sind bezüglich des Jahres 1999 um 2 Prozent und bezüglich des Jahres 2005 um 1 Prozent gestiegen. Bezogen auf das Jahr 2010 sind die spezifischen CO₂-Emissionen annähernd konstant. Die Emissionen des Landverkehrs sind dabei leicht rückläufig (minus 3 Prozent), während die Emissionen des Luftverkehrs weiter steigen (plus 7 Prozent). Beim Landverkehr wiederum sind die Emissionen des Personenverkehrs seit 2010 rückläufig (minus 5 Prozent), während die Emissionen des Straßengüterverkehrs (plus 1 Prozent) und des Schienengüterverkehrs (plus 4 Prozent) steigen.



Quelle: TU Dresden 2016/1

Abbildung 26: Spezifische CO₂-Emissionen des Verkehrs der Dresdner

In Abbildung 27 sind die spezifischen CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs pro Dresden Einwohner dargestellt. Bezüglich des Jahres 1999 haben sich die gesamten spezifischen CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner um 21 Prozent verringert. Die CO₂-Emissionen des MIV haben sich in dem Zeitraum, bedingt durch sinkende Emissionsfaktoren und stagnierende Fahrleistungen, um 22 Prozent vermindert. Die Emissionen des ÖV gingen um 13 Prozent zurück. Bezüglich des Jahres 2010 haben sich die spezifischen CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner um 5,3 Prozent verringert. Bedingt ist das durch die Entwicklungen im MIV (minus 5 Prozent) und im ÖV (minus 7,9 Prozent).



Quelle: TU Dresden 2016/1

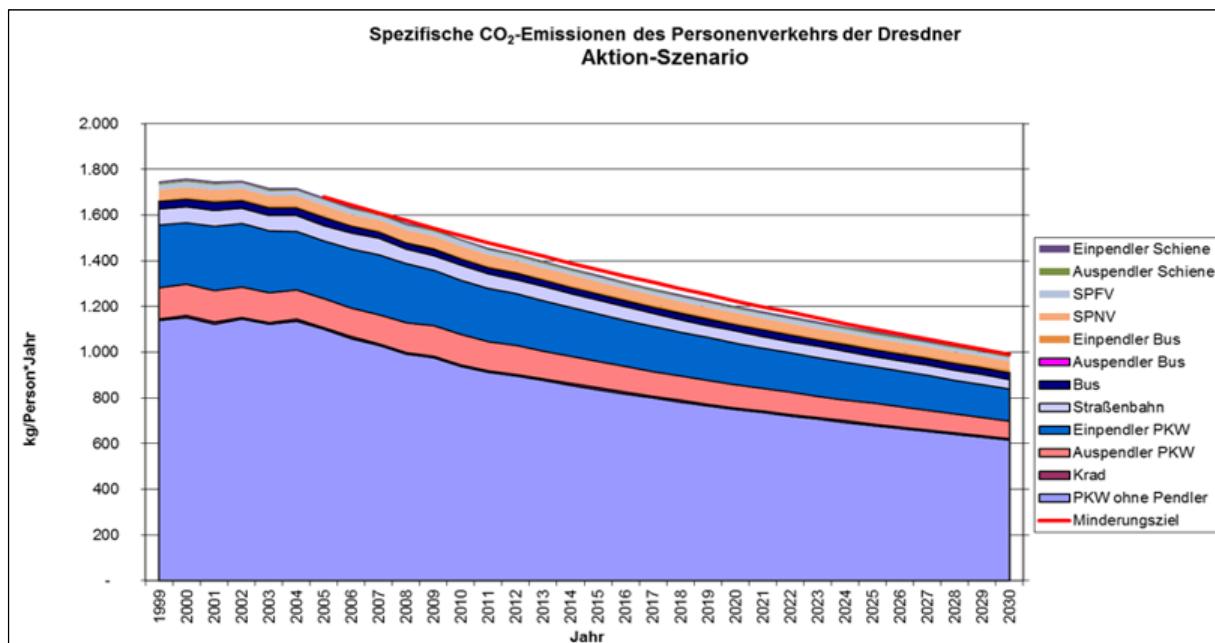
Abbildung 27: Spezifische CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner

In Abbildung 27 wurde im Vergleich zur Emissionsentwicklung (ohne Luftverkehr) auch das Emissionsminderungsziel seit 2005 (10 Prozent in 5 Jahren) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Dresden für das Segment des bodengebundenen Personenverkehrs derzeit nicht mehr ganz im Plan liegt (103 Prozent der zulässigen CO₂-Emissionen). Bezieht man allerdings den Luftverkehr mit in die Betrachtung ein, dann wird das Klimaziel für den Personenverkehr der Dresdner um 19 Prozent verfehlt.

Im Teilprojekt Klimafreundlicher Verkehr im IEuKK wird für die Szenarien Trend, Aktion und Effizienz die Entwicklung der CO₂-Emissionen aus dem bodengebundenen Personenverkehr der Dresdner prognostiziert. In dem vom Stadtrat beschlossenen Szenario Aktion wird von folgendem Maßnahmenpaket ausgegangen:

- Förderung des Radverkehrs mit dem Ziel eines 18-prozentigen Wegeanteils des Radverkehrs.
- Förderung des ÖV mit dem Ziel eines 23-prozentigen Wegeanteils des ÖV.
- Einführung eines betrieblichen Mobilitätsmanagements, im Rahmen dessen zusätzlich 1.000 Angestellte auf den Umweltverbund umsteigen.
- Verstärkte Koordination zwischen Raum- und Verkehrsplanung, um den Tendenzen hin zu Verkehrswachstum und Zersiedlung entgegenzuwirken.

Die berechnete Entwicklung der CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner im Szenario Aktion ist in Abbildung 30 grafisch dargestellt. Unter den damals getroffenen Annahmen würden die CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner im Jahre 2030 ziemlich genau den als Klimaschutzziel festgelegten Wert treffen. Die Pro-Kopf-CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner sollten in diesem Szenario von 1,5 Tonnen pro Jahr (2010) auf 0,99 Tonnen im Jahr 2030 sinken.



Quelle: TU Dresden 2012

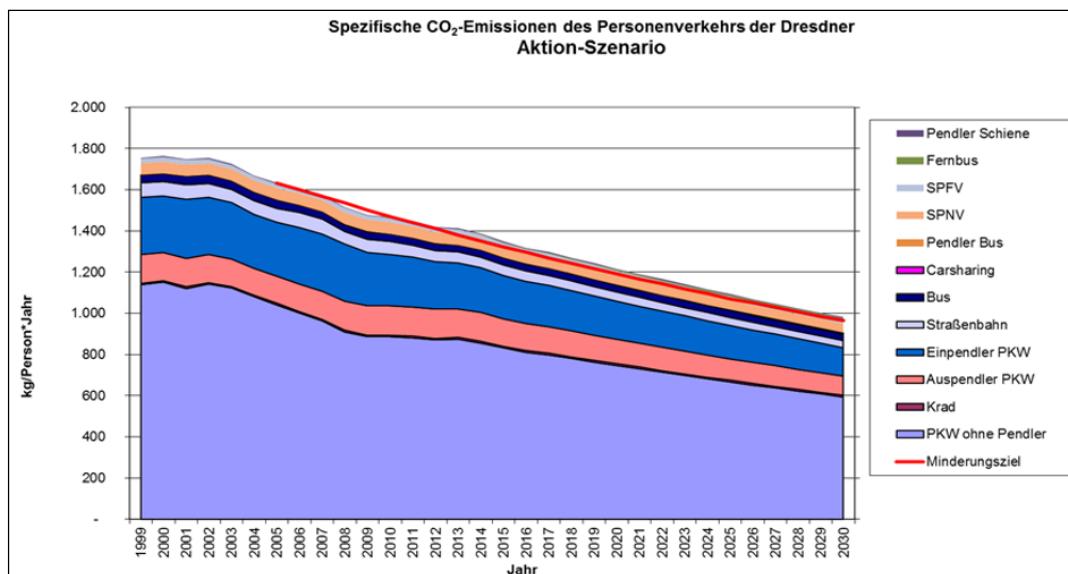
Abbildung 28: Entwicklung der spezifischen CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Aktion-Szenario nach IEuKK, Datenstand 2010

Aktualisiert man dieses Szenario mit den aktuell vorliegenden Daten mit Datenstand 2014, dann ist festzustellen, dass Dresden wie schon in Abbildung 27 dargestellt, vom Minderungsziel abweicht. Ein wesentlicher Grund dafür ist die in Abbildung 25 dargestellte Emissionsentwicklung im Pkw-Verkehr.

Die Gründe für das Nichteintreten der erwarteten Emissionsrückgänge sind:

- Steigender Anteil von Dieselfahrzeugen mit höherer Jahresfahrleistung.
- Prognostizierte Verbrauchsminderungen durch Technikentwicklung wurden durch steigende Fahrzeugeleistung kompensiert.
- Lücke zwischen Verbrauch bei Prüfstandmessungen und Realverbrauch wurde größer, infolgedessen mussten die HBEFA-Emissionsfaktoren nach oben korrigiert werden.

Bei Aktualisierung der spezifischen CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner (Aktion-Szenario, Abbildung 28) mit den bis 2014 vorliegenden Daten und Beibehalten der Trends bis 2030, ergibt sich das in Abbildung 29 aufgezeigte Bild.



Quelle: TU Dresden 2016/1

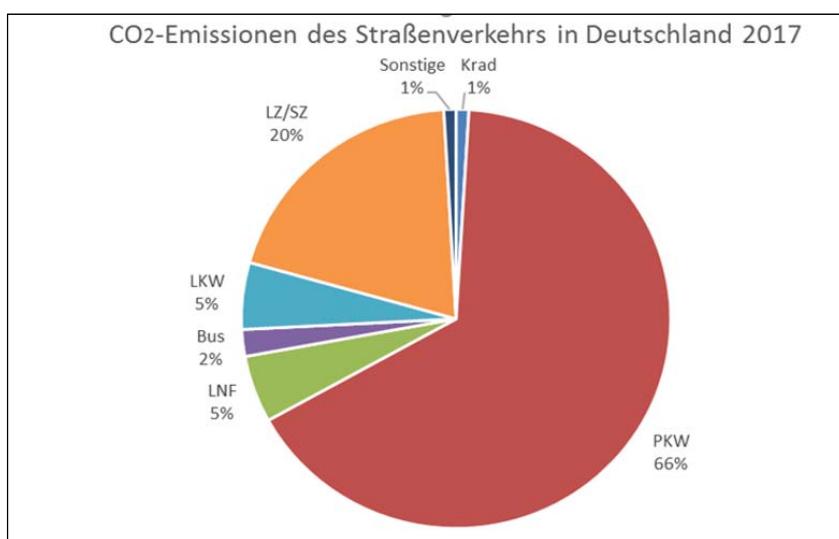
Abbildung 29: Entwicklung der spezifischen CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Aktion-Szenario nach IEuKK, Datenstand 2014

Zu erkennen ist, dass die Entwicklung derzeit nicht im Zielkorridor verläuft, sich bei der Annahme der Trends aus dem Aktion-Szenario dem Minderungsziel jedoch wieder annähert. Unter den hier dargestellten Annahmen würde das Minderungsziel für das Jahr 2030 um 2 Prozent knapp verfehlt.

3. Potenziale der Elektromobilität in Dresden

3.1 Randbedingungen auf internationaler und Bundesebene

Laut Umweltbundesamt wurden im Jahr 2016 21 Prozent (bzw. 165,0 Mio. t) der CO₂-Emissionen Deutschlands im Verkehrsbereich emittiert.¹² In Abbildung 30 ist dargestellt, wie sich die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien verteilen. Der Personenverkehr inkl. des Verkehrs der leichten Nutzfahrzeuge (LNF) ist für 74 Prozent der CO₂-Emissionen verantwortlich, der Güterverkehr für rund 25 Prozent.



Quelle: IFEU 2017

Abbildung 30: CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland 2017 nach Fahrzeugkategorie

Im UBA-Papier „Klimaschutz im Verkehr: Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen“ [UBA 2017] sind Randbedingungen und der Handlungsbedarf der nächsten Jahre beschrieben, um die Entwicklung des Verkehrssektors in Deutschland mit den Anforderungen des Pariser Klimaschutzabkommens und des „Klimaschutzplans 2050“ der Bundesregierung zur Deckung zu bringen. Es wird festgestellt, dass Deutschland und die EU ihre Anstrengungen für den Klimaschutz deutlich intensivieren müssen und dabei auch der Verkehr einen stärkeren Beitrag als bisher zu leisten hat. Weiterhin wird festgestellt, dass das Gesamtziel einer Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95 Prozent nur mit einem treibhausneutralen Verkehr im Jahr 2050 erreicht werden kann.

¹² https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3_tab_emi-ausgew-thg-kat_2018.pdf

Deshalb werden in [UBA 2017] die folgenden Maßnahmen vorgeschlagen:

- die Weiterentwicklung der Effizienzregulierung von Neufahrzeugen,
- die Förderung der Elektromobilität auf der Straße,
- der Ausbau einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur für eine Verlagerung des Verkehrs auf klimafreundliche Verkehrsträger und
- der Abbau von umweltschädlichen Subventionen sowie die Einführung einer fahrleistungsabhängigen Maut für alle Straßenfahrzeuge.

Das SRU-Sondergutachten [SRU 2017] fasst die angestrebte Vorgehensweise in der „Dekarbonisierungskaskade“ (Abbildung 31) zusammen. Diese beginnt mit der Verringerung der Verkehrsleistung und endet mit der Umstellung auf eine vollständig regenerative Versorgung für den letztlich verbleibenden Energiebedarf. Der Aufbau der „Dekarbonisierungskaskade“ spiegelt dabei keine Maßnahmenpriorisierung wider, sondern folgt dem Verlauf der Emissionsentstehung im Verkehrssektor. Wegen der hohen Dringlichkeit der Dekarbonisierung des Verkehrssektors müssen Maßnahmen zeitgleich an allen Stufen der Kaskade ansetzen.



Quelle: nach SRU (2017), S. 77

Abbildung 31: Dekarbonisierungskaskade im Verkehrsbereich

Aufgrund der Zielstellung der vorliegenden Studie soll im Weiteren auf die Maßnahme „Förderung der Elektromobilität“ fokussiert werden. In [UBA 2017] wird festgestellt, dass die direkte Nutzung von Strom große Effizienzvorteile hat und damit insbesondere für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge die bevorzugte Technologievariante darstellt. Bei kleineren Nutzfahrzeugen (bis 12 t zulässiges Gesamtgewicht) sind prinzipiell die gleichen Techniken wie bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen einsetzbar. Bei Lkw sind die technischen Hürden höher, allerdings müssen auch dort Lösungen gefunden werden. Auch für Linienbusse ist eine Elektrifizierung laut [UBA 2017] mit heutiger Technik möglich und empfehlenswert.

Für das Erreichen des Verkehrsziels des deutschen „Klimaschutzplans 2050“ ist in 2030 nach [UBA 2017] ein Bestand von mindestens 12 Millionen Elektrofahrzeugen notwendig. Da die derzeitigen Instrumente zur Förderung der Elektromobilität noch nicht mit der nötigen Intensität wirken, wird in [UBA 2017] eine Neuzulassungsquote für Elektrofahrzeuge im Pkw- und LNF-Bereich vorgeschlagen. Zum Erreichen eines Bestandes von 12 Millionen Elektrofahrzeugen in 2030 wurden in [UBA 2017] Neuzulassungsquoten von 3 Prozent (2020), 30 Prozent (2025) und 70 Prozent (2030) ermittelt. Das SRU-Sondergutachten vom November 2017 [SRU 2017] greift diesen Vorschlag auf, mindert die geforderten Quoten jedoch auf 25 Prozent in 2025 und 50 Prozent in 2030.

Die Durchsetzung einer solchen Quote ist mit verschiedenen rechtlichen, technischen, wirtschaftlichen und nicht zuletzt politischen Herausforderungen verbunden. Diese sind aber nicht Gegenstand der vorliegenden Studie, da sie nicht im Einflussbereich der Landeshauptstadt Dresden liegen. Hier soll betrachtet werden, welche Effekte und welche Erfordernisse sich aus einer solchen Entwicklung für Dresden ergeben.

Noch unsicher ist die weitere Vorgehensweise bei der Elektrifizierung des Straßengüterfernverkehrs. Bei Lkws tritt das Problem auf, dass derzeit aufgrund der hohen Leistungsabnahme ein Batteriebetrieb nur bei kleinen Reichweiten, z. B. im Nah-Logistikverkehr, aber nicht für Fernstrecken sinnvoll erscheint. Dazu laufen derzeit mehrere Pilotprojekte. Für Fernverkehrsstrecken gibt es u. a. Überlegungen zu Oberleitungs-Hybrid-Lkws, welche eine international ausgebauten Oberleitungsinfrastruktur benötigen würden. Als weitere Elektro-Optionen im Straßengüterverkehr gelten Brennstoffzellenantriebe und die Nutzung von strombasierten Kraftstoffen im Verbrennungsmotor, die jedoch im Moment aus Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsgründen noch nicht marktfähig sind. Hier sind auf Bundes- bzw. EU-Ebene die Weichen zu stellen, da ohne einen Beitrag des Güterfernverkehrs zur Emissionsminderung die Minderungsziele nicht erreicht werden können.

Der Schienenverkehr ist bereits heute ein vergleichsweise energieeffizientes und klimafreundliches Verkehrsmittel. Da der Schienenverkehr nach Verkehrsleistung tkm/Pkm schon zu 95 Prozent elektrisch fährt, kann er einfacher als andere Verkehrsträger auf erneuerbare Energien umgestellt werden. Mittels Elektrifizierung weiterer Streckenabschnitte kann seine Umweltverträglichkeit weiter verbessert werden [SRU 2017]. Derzeit sind bundesweit rund 60 Prozent aller Eisenbahnstrecken elektrifiziert.

Aufgrund der langen Seewege sind die technischen Optionen einer Dekarbonisierung der Seeschifffahrt stark eingeschränkt. Batterieelektrische Antriebe können bislang nur im Fährverkehr eingesetzt werden. Erprobt wird derzeit, die Bordstromversorgung durch Brennstoffzellen zu gewährleisten. Dabei wird allerdings SchiffsDiesel eingesetzt, der an Bord zu Wasserstoff umgewandelt wird. Inwieweit die Technik zukünftig genutzt werden kann, hängt auch davon ab, ob Brennstoffzellen den Bedingungen auf See standhalten [SRU 2017].

Im Luftverkehr ist der Umstieg auf batterieelektrischen bzw. Brennstoffzellenantrieb gegenwärtig nicht absehbar. Daher wird die Energieversorgung des Luftverkehrs möglicherweise mit Biokraftstoffen der zweiten und dritten Generation und vor allem mit synthetischen Kraftstoffen (Power-to-Liquid – PtL) erfolgen müssen [SRU 2017].

3.2 Entwicklung der Mobilität in Dresden (Verkehrsentwicklungsplan2025plus)

Der 2014 beschlossene Verkehrsentwicklungsplan (VEP) 2025plus [LH DRESDEN 2014/1] der Landeshauptstadt Dresden fokussiert nicht auf Technikentwicklung und damit verbundene Emissionseffekte, sondern ist das konzeptionelle Steuerungsinstrument, mit dem Ziele und Strategien urbaner verkehrlicher Entwicklung für den Planungshorizont von 10 bis 15 Jahren beschrieben und bewertet werden. Er formuliert Leitziele wie nachhaltige Verkehrs- und Mobilitätsqualität, sozial gerechte Mobilitätsteilhabe und Sicherung der Stadt- und Umweltqualität durch Effizienzsteigerung integrierter Verkehrssysteme. Daraus ergibt sich der grundlegende Ansatz „Vermeiden-Verlagern-Verbessern“, der in voller Übereinstimmung zur „Dekarbonisierungskaskade“ (Abbildung 31) steht. Das Thema Elektromobilität ist insbesondere der Kategorie „Verbessern“ zuzuordnen. In den Bereich „Verlagern“ ließen sich Verlagerungen von motorisierter Fahrleistung zum E-Bike und vom MIV zum ÖV durch Steigerung der Attraktivität der elektrischen ÖV-Angebote (z. B. Stadtbahnausbau) einordnen. Der nicht vermeidbare und nicht verlagerbare Verkehr soll auf einem möglichst effizienten und stadtverträglichen Weg durchgeführt werden. Die Zielstellungen des VEP werden dabei technologienutral formuliert, insofern enthält der VEP auch keine Zielgrößen oder Festlegungen zu Flottenanteilen verschiedener Antriebsarten.

Der VEP enthält folgende Bezüge zum Thema Elektromobilität:

- Thema Verkehrsmanagement:
- Unterstützung innovativer Konzepte
- Förderung neuer Mobilitätsformen wie Carsharing, Elektrofahrzeuge und verkehrs-telematische Anwendungen

- Thema Anpassungen am Rechtsrahmen
 - notwendige rechtliche Regelungen für die Infrastruktur für Elektromobilität
 - Auflagen von Investoren für Parkgaragen, größere Einzelhandelsvorhaben u. ä. mit Einrichtung und Betrieb von Ladestationen für Elektro-Kfz und vor allem Pedelecs im Zuge der Baugenehmigung
 - Förderung von intermodalen Mobilitätsstilen
 - Carsharing-Standorte im öffentlichen Straßenraum
 - Ladeinfrastrukturen für Elektromobilität

- Thema ÖV
 - Stadtbahnprojekt 2020
 - Stärkung der Elektromobilität bei Bussen des ÖPNV entsprechend dem technischen Fortschritt, insbesondere auf Linien, die überwiegend der inneren Erschließung von Wohngebieten dienen
 - Prüfung von induktiver Stromversorgung der Stadt-/ Straßenbahn bei Neubeschaffung, um auf Teilstrecken aus stadtgestalterischen Gründen oberleitungsfrei verkehren zu können
 - Ausbau der Nordanbindung auf der regionalen Bahnstrecke Richtung Bischofswerda durch eine Systematisierung weitgehend bestehender Angebote (S-Bahn, RB/RE) zu einem regelmäßigen attraktiven Takt und einer Elektrifizierung

- Thema städtischer Fuhrpark

Umstellung des städtischen (Kfz-)Fuhrparks auf emissionsarme Fahrzeuge sowie deutlich verstärkte Nutzung von Carsharing und Pedelecs auch im Sinne einer kommunalen Vorbildfunktion

- Thema Öffentlichkeitsarbeit:

Öffentlichkeitsarbeit und effektive Awareness-(Aufmerksamkeits-)Kampagnen zum persönlichen Mobilitätsstil mit dem Ziel der Förderung intermodaler Mobilität und Priorisierung von Rad, ÖV und Carsharing sowie Elektromobilität

- Thema Innovative Mobilität
 - Förderung "Innovativer Mobilität" durch Wohnnutzungen auf innerstädtischen Brachbereichen in integrierten Lagen unter Nutzung von Elektromobilität, Carsharing, Radstation, ÖV, multimodalen Infosystemen und nahräumlichen Strukturentwicklungen
 - Impulssetzung für neue, vernetzte Radlieferdienste mit Elektrorädern in der Innenstadt oder den Stadtteilzentren
 - Kleinteilige Einrichtung von Ladestationen für Elektro-Kfz und Pedelecs im Straßenraum, aber auch beispielsweise in gekennzeichneten Läden, Gaststätten oder öffentlichen Einrichtungen

- Thema Radverkehr

Ausweitung der Förderung des Radfahrens im Berufsverkehr, auch unter Nutzung der Potenziale von Pedelecs

- Thema Güterverkehr

Ausweitung umweltfreundlicher Citylogistik mit der Güterstraßenbahn, Elektrofahrzeugen und E-Bikes bzw. vernetzten Radlieferdiensten (E-Delivery)

Im Sinne des Grundsatzes Vermeiden-Verlagern-Verbessern liegt der Fokus des VEP auf verkehrsvermeidenden Strukturen und einem Modal Split mit möglichst geringem MIV-Anteil. Aus Sicht des VEP fällt ein Technologiewechsel zur Elektromobilität im MIV in den Bereich „Verbessern“ und kann insbesondere in Kombination mit innovativen Mobilitätskonzepten auch teilweise zum „Verlagern“ beitragen. Aus Sicht des VEP ist es jedoch auch von Bedeutung, dass eine Förderung der E-Mobilität nicht zu einer Förderung des MIV mit dem Effekt einer Modal-Split-Verschiebung zugunsten des MIV führt. Dies ist bei der Ausgestaltung der Maßnahmen unbedingt zu beachten. Der Ausbau der Elektromobilität im ÖV-Sektor dagegen kombiniert die Bereiche „Verlagern“ und „Verbessern“ durch die Schaffung attraktiver ÖV-Angebote bei gleichzeitig verbesserter Emissionssituation.

3.3 Potenzial der Elektromobilität

Für den Einsatz von Elektroenergie im Verkehr gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Elektrofahrräder (Unterstützung der Muskelkraft)
- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV)
- Oberleitungsfahrzeuge/Oberleitungshybridfahrzeuge
- aus Elektroenergie erzeugte synthetische Kraftstoffe (Power to Liquid (PtL) oder Power to Gas (PtG))
- Brennstoffzellenfahrzeuge

Die Umstellung des Straßengüterverkehrs auf Oberleitungs-Hybrid-Lkw ist derzeit Gegenstand der Forschung und der politischen Diskussion. Die Entscheidungen hierzu werden jedoch auf Bundesebene getroffen und liegen nicht im Einflussbereich der LH Dresden (siehe auch Abschnitt 3.1).

Die PtG- und PtL-Technologie befindet sich noch in der Entwicklung und kann zurzeit aufgrund ihrer geringen Wirkungsgrade (siehe Tabelle 5) und der hohen Kosten noch nicht in größerem Maße eingesetzt werden. Der Einsatz von klimaneutralen, strombasierten Kraftstoffen benötigt – bezogen auf einen Fahrzeugkilometer – die zweieinhalb- bis achtfache Menge an Elektrizität als eine direkte Stromnutzung, z. B. in Elektrofahrzeugen [UBA 2016/2]. Perspektivisch soll die Technologie genutzt werden, um überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien in speicherbare Energieträger umzuwandeln und somit auch nicht direkt elektrifizierbare Verkehrsträger (Schiffs- und Luftverkehr) von fossiler Energie unabhängig zu machen und die Investitionen in Stromnetze zu begrenzen. Es wird davon ausgegangen, dass die Power-to-Gas-Technologie erst in der dritten Phase der Energiewende benötigt wird, wenn der Anteil der Erneuerbaren Energien am Strommix 60 bis 70 Prozent und mehr erreicht [Henning 2015].

	Wirkungsgrad	Energieverbrauch
EE-Strom	89 %	0,13 kWh/km
Wasserstoff	58 %	0,18 kWh/km
EE-Methan	41 %	0,38 kWh/km
EE-Benzin	35 %	0,37 kWh/km
EE-Diesel	35 %	0,35 kWh/km

Datenquelle: DLR, IFEU, LBST, DFZ (2015), S. 15.

Tabelle 5: Wirkungsgrad und Energieverbrauch von Energieträgern aus heimischen Potenzialen von EE-Strom

Auch brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge zählen in den Bereich der Elektromobilität. Gegenüber BEV hat diese Technologie den Vorteil der heute schon verfügbaren höheren Reichweite bei kurzen Tankzeiten. Die Fahrzeuge sind in ihren Nutzungseigenschaften näher an dem, was der Nutzer vom Verbrenner-Fahrzeug gewohnt ist. Probleme gibt es noch bei den Kosten der Fahrzeuge, dem geringeren Wirkungsgrad (siehe Tabelle 5) und beim Aufbau des Wasserstoff-Tankstellennetzes. Bessere Randbedingungen für diese Technologie werden im Schiffsverkehr, Bahnverkehr und Busverkehr gesehen, wo der Aufbau des Wasserstoff-Tankstellennetzes am Betriebsstandort und nicht flächendeckend erfolgen kann.

3.3.1 ÖPNV

Im Jahre 2014 wurden im Auftrag der DVB AG 13,68 Millionen Buskilometer gefahren. Dabei wurden 6,27 Millionen Liter Diesel verbraucht und ca. 18.000 Tonnen CO₂ emittiert. Die Straßenbahn legte im Jahre 2014 13,6 Millionen km Fahrleistung zurück, verbrauchte dabei 188 TJ Strom und emittierte somit indirekt ca. 28.000 Tonnen CO₂. Nach der CO₂-Bilanz des IEUKK sind den Dresdnern im Jahre 2014 knapp 27.000 Tonnen CO₂ aus dem SPNV zuzuordnen. Die reichliche Hälfte davon

ist auf Dieseltraktion zurückzuführen. Dies ist jedoch bedingt durch den sachsenweiten Berechnungsmodus. Im Stadtgebiet von Dresden fahren die S-Bahnen ausschließlich mit Elektrotraktion und nur geringe Fahrleistungen im Regionalverkehr werden noch mit Dieseltraktion erbracht.

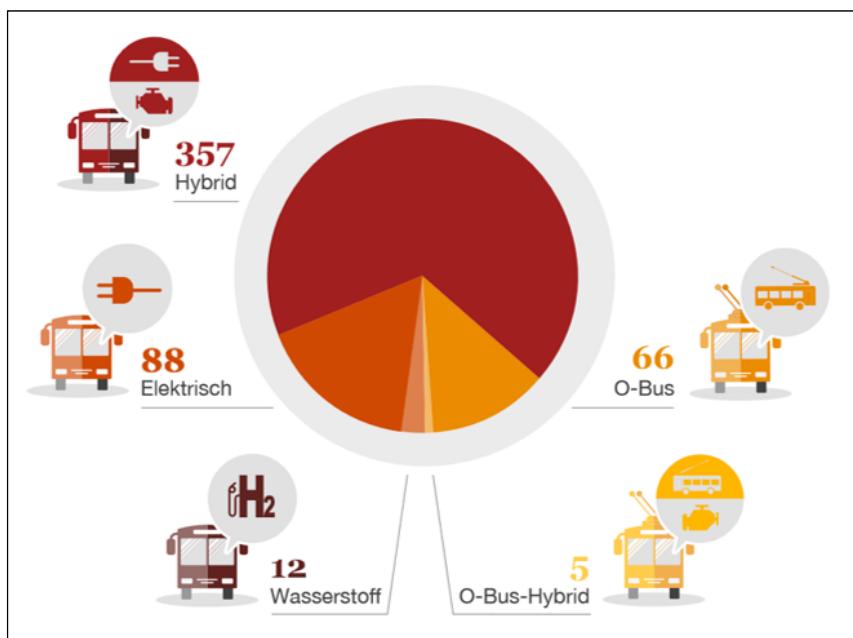
CO₂-Minderungspotenziale bestehen hier in der Elektrifizierung des Busverkehrs und der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Fahrstrom. Für die komplette Umstellung des Busverkehrs der DVB auf Elektrobusse mit heute üblichen Verbrächen von 235 kWh/100km wären etwa 32 GWh Strom zusätzlich erforderlich, was etwa einem Prozent des jährlichen Stromabsatzes der DREWAG entspricht.

2017 sind nach einer Erhebung von PWC [PWC 2018] rund 530 Busse mit alternativen Antrieben auf Deutschlands Straßen unterwegs. Diese verteilen sich wie in Abbildung 32 dargestellt auf die Antriebsarten. Im Verhältnis zur deutschen Linienbusflotte von rund 40.000 Bussen steht die Umstellung auf alternative Antriebe mit einem Anteil von ca. 1,3 Prozent noch am Anfang, liegt damit derzeit allerdings höher als auf dem Pkw-Markt.

Der Hybridbus ist derzeit die häufigste Alternative zum reinen Dieselbus. Der Hybrid galt als Brückentechnologie auf dem Weg in die vollständige E-Mobilität. Die Neuzugänge bei den Hybridbussen sind in den letzten Jahren jedoch deutlich zurückgegangen. Das Interesse der Verkehrsunternehmen gilt jetzt eher den rein elektrisch betriebenen Bussen, da die Einsparungen bei den Hybrid-Fahrzeugen teilweise nicht die Erwartungen an die Technologie erfüllten und die Busse trotzdem sehr viel teurer als Fahrzeuge mit reinem Dieselantrieb sind.

In den nächsten Jahren ist deutschlandweit ein erheblicher Ausbau der rein elektrisch betriebenen Busflotte geplant. Nach derzeitigem Stand planen deutsche Städte bis 2031 die Beschaffung von 872 rein elektrisch betriebenen Bussen, davon 51 mit Brennstoffzelle. Bei diesen Zahlen handelt es sich laut [PWC 2018] jedoch nur um die bereits angekündigten Beschaffungen, ein großer Teil der Ausschreibungen steht noch aus.

Probleme bereitet derzeit noch das mangelnde Angebot von elektrischen Bussen auf dem Markt. Die beiden großen deutschen Bus-Hersteller MAN und Daimler haben erst in jüngster Zeit Elektrobusse im Angebot, mit anderen Anbietern gab es z.T. erhebliche technische Probleme. Die Serienmodelle ausländischer Hersteller erfüllen z.T. nicht die technischen Anforderungen.



Quelle: PWC 2018

Abbildung 32: Anzahl der in Deutschland betriebenen Busse mit alternativen Antrieben nach Antriebsart

Für eine Elektrifizierung des Busverkehrs in Dresden gibt es erste Schritte. Heute fährt bereits jeder achte DVB-Bus als Hybridbus teilweise elektrisch durch Dresden. Von 2013 bis 2016 lief das Projekt „Pilotlinie 64 – effiziente Elektromobilität in

Dresden“. Es zielte darauf ab, die Energieeffizienz von Hybridbussen weiter zu steigern, so dass der Dieselantrieb seltener gebraucht wird. Perspektivisch sollen mehrere Buslinien in Dresden auf Elektro-Antrieb umgestellt werden.

Seit Juni 2015 ist auf der Linie 79 ein Elektrobus im Einsatz. Die Ladestation am Endpunkt Mickten nutzt die vorhandene Strominfrastruktur der Straßenbahn. Hier „tankt“ der zwölf Meter lange Elektrobus über ein Schnellladesystem in nur drei bis vier Minuten seine Batterie mittels Stromabnehmer auf. Die Lithium-Ionen-Batterie hat einen Energiegehalt von 200 Kilowattstunden. Zwei Elektromotoren mit je 100 Kilowatt Leistung sitzen an der Antriebsachse. Auch die Nebenaggregate und die Heizung werden voll elektrisch betrieben. Nachts wird die Batterie auf dem Betriebshof Trachenberge nachgeladen.¹³

Beispiel Hamburg¹⁴

Deutschlandweit ist Hamburg ein Vorreiter in Bezug auf den Einsatz von Elektromobilität im städtischen Busverkehr. Ziel ist, dass ab 2020 nur noch lokal emissionsfreie Busse angeschafft werden. Auf der 10 km langen Innovationslinie 109 setzt das Hamburger Verkehrsunternehmen HOCHBAHN seit Dezember 2014 verschiedene innovative Busse ein. Es handelt sich dabei um Prototypen, die jedoch im Realbetrieb unter normalen Rahmenbedingungen eingesetzt werden. Ziel des Projektes ist das Sammeln von Erfahrungen im Zusammenspiel zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und betrieblichem Einsatz. Es kommen dabei Batterie- und Brennstoffzellenbusse zum Einsatz. Ab Herbst 2018 werden in Hamburg Serien-Elektrobusse eingesetzt. Die Batteriebusse werden im Depot geladen und mit je zwei Lademasten am Linienende zwischengeladen. Als positive Erfahrungen mit Batteriebussen werden genannt:

- Nachladen am Linienende technisch gut beherrschbar, Ladezeit entspricht ohnehin erforderlicher Fahrerpause
- Laden verschiedener Busfabrikate erfolgreich
- Hohe Effizienz der Batteriebusse
- Generell positive Wahrnehmung seitens der Fahrgäste und der Busfahrer

Als Probleme werden genannt:

- Hoher Abstimmungsbedarf bei Installation der Lademasten im öffentlichen Raum
- Bestehende Netzanschlüsse der Betriebshöfe sind zu klein für größere Anzahl an Elektrobusen
- Kritischer Faktor: Heizungs- und Klimatisierungskonzept
- Nur ein Teil der Bestandsumläufe ist mit den in absehbarer Zeit verfügbaren Reichweiten realisierbar

Für die Brennstoffzellenbusse werden als positive Erfahrungen die hohe Reichweite der Busse, der damit verbundene flexible Einsatz und die hohe Verfügbarkeit der Tankstelle genannt. Als Problem wird benannt, dass die Serientwicklung bei Brennstoffzellenbussen derzeit unklar und der Genehmigungsaufwand der Wasserstoffinfrastruktur hoch ist.

Da das Ziel besteht, alle Linien auf emissionsfreie Busse umzustellen, mit den derzeit und bis etwa 2025 verfügbaren Modellen auf der Basis der Depotladung jedoch nur etwa 25 Prozent der Linien bedient werden könnten, werden in Hamburg folgende Optionen gesehen:

- Umstellung betrieblicher Prozesse (zusätzliche Fahrzeuge, zusätzliches Personal, zusätzliche Betriebshöfe)
- Zwischenladung auf der Strecke (Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum erforderlich, Herausforderung für Stromversorgung)
- Einsatz von Brennstoffzelle (H_2) als Range Extender (H_2 -Infrastruktur auf Betriebshöfen notwendig, Sicherheitsanforderungen für Betriebshöfe)

¹³ siehe <https://www.dvb.de/de-de/die-dvb/zukunftsprojekte/elektromobilitaet/>

¹⁴ Quelle: Vortrag von Jörg Burkhardt, Firma HySOLUTIONS bei der 5. Fachkonferenz Elektromobilität vor Ort am 26.02.2018 in Leipzig

Welche dieser Optionen zum Einsatz kommt, ist derzeit noch nicht entschieden. Für diese Entscheidung will man in Hamburg die Marktentwicklung weltweit intensiv beobachten und erst Anfang der 2020er Jahre abschließend entscheiden. Neben der Beschaffung von Bussen ist insbesondere die Schaffung der notwendigen Infrastruktur im Fokus. So baut die Hochbahn derzeit einen Busbahnhof für 240 Elektro-Busse.

Studie Dresden

Neben der eingeschränkten Verfügbarkeit von batterieelektrischen Bussen und den hohen Kosten sind bei Bussen die ökologischen Vorteile von batterieelektrischen Fahrzeugen gegenüber Diesel-Fahrzeugen in Diskussion. Eine umfassende ökologisch-ökonomische Bewertung von Elektrobussen mittels Life Cycle Assessment (LCA) und Life Cycle Costing (LCC) im Auftrag der DVB [TU DRESDEN 2016/2] kam 2016 zu folgendem Fazit:

- Die Analyseverfahren kamen zu dem Ergebnis, dass der Elektrobus dem Dieselbus nicht vorzuziehen ist.
- Die Elektroantriebstechnologie konnte die hohen Kosten und Umweltwirkungen für Herstellung und Infrastruktur in der Nutzungsphase noch nicht ausgleichen.
- Der Batterieantrieb war noch keine reife Technologie, für die nächsten Jahre wurden aber deutliche Lernkurven bei der Technologie- und Preisentwicklung erwartet.
- Elektromobilität ist erst ökologisch konkurrenzfähig im Vergleich zur Dieselmobilität, wenn sie bewusst mit dem Ausbau der erneuerbaren Energie gekoppelt wird.
- Bei einer Beschaffung im Jahr 2027 kann Elektromobilität ökologisch und ökonomisch durchaus wettbewerbsfähig sein.

Die Studie zeigte, dass der Einsatz von Elektrobussen zur Minderung von Treibhausgasen derzeit noch nicht umfänglich sinnvoll ist, lokal jedoch Vorteile bei der Luftreinhaltung erreicht werden können. Diese Vorteile werden jedoch mit hohen finanziellen Aufwänden und teilweise Schadstoffemissionen an anderen Orten erkauft. Prinzipiell werden die Umstellungsprobleme beim Linienbus aufgrund der Spezifik der Nutzung als deutlich größer eingeschätzt als z. B. beim Pkw mit seinen kurzen durchschnittlichen täglichen Fahrleistungen. Zudem steht der Elektrobus in Konkurrenz mit den effizienten und umweltfreundlichen Dieselbussen, bei denen die Abgasreinigung im Gegensatz zu vielen Diesel-Pkws bereits bei EURO- VI-Fahrzeugen zuverlässig funktioniert [LFUG 2017], [BELICON 2017].

Langfristig wird die Zielstellung der Dekarbonisierung des Verkehrs auch im Busbereich eine umfassende Elektrifizierung erfordern. Aktuell plant die DVB, perspektivisch folgende Linien entsprechend der Entwicklung von Rahmenbedingungen, u. a. Förderbedingungen, auf Elektro-Antrieb nach und nach umzustellen: Linie 81, 90, 63, 75, 94.

Exkurs China

Wenn es um den Einsatz von Elektrobussen geht, wird oft das Beispiel Shenzhen in China genannt. In der 12-Millionen-Metropole nahe Hongkong wurden alle Dieselbusse abgeschafft. Derzeit werden über 16.000 batterieelektrische Busse der in Shenzhen ansässigen Firma BYD eingesetzt. Allerdings ist dieses Beispiel nicht auf Dresden oder Deutschland einfach übertragbar:

- Die Entscheidungsabläufe sind in China anders als in Deutschland. So wurde die Umstellung der Flotte innerhalb von 3 Jahren vom Parteichef von Shenzhen festgelegt.
- Shenzhen wurde zur chinesischen Modellstadt für Elektromobilität ernannt, wozu sicher die Existenz des BYD-Werkes in der Stadt beitrug.
- Chinas Interesse ist es, mit dieser Maßnahme die Übernahme der Marktführerschaft im E-Bus-Segment zu unterstützen.
- Die E-Busse haben etwa den vierfachen Preis von Dieselbussen. Die Finanzierung der Busflotte im Wert von ca. 4 Milliarden Euro wurde möglich, da der Staat einen Teil der Kosten übernimmt und die Firma BYD über ein Ratenzahlmodell bezahlt wird. Hinzu kommen noch die nicht bekannten Kosten für die LIS.
- Die angegebenen CO₂-Einsparungen von 1,2 Millionen Tonnen beziehen sich nur auf die direkten Emissionen. Da die chinesische Energieversorgung zum großen Teil auf Kohlestrom basiert, ist der Treibhausgaseffekt unklar.

- Die Reichweitenprobleme der Busse werden durch ein verändertes Betriebskonzept mit doppelten Bussen und zweistündigen Ladeunterbrechungen gelöst, was zweifellos kostenintensiv ist.

Programm Stadtbahn 2020

Die konsequenteste Form der Umstellung bisheriger Dieselfahrleistung auf Elektromobilität stellt das Programm Stadtbahn 2020 dar. Dieses wurde bereits im Rahmen des IEUKK betrachtet, wobei folgende Potenziale bestimmt wurden:

Für die drei Stadtbahnstrecken Plauen-Johannstadt, Lötau-Strehlen und Bühlau-Weißen¹⁵ wurden jährliche Emissionsminderungen von 1.750 t CO₂ pro Jahr bzw. in 50-jähriger Laufzeit von rund 80.000 bis 95.000 t CO₂ berechnet. Bei den hier angegebenen Nachfrageentwicklungen, berechnet nach dem Verfahren der standardisierten Bewertung von Verkehrsweginvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs, handelt es sich um die statische Veränderung. Bei Berücksichtigung der dynamischen Effekte im Sinne einer Stärkung des ÖV-Systems können die Umweltentlastungen deutlich steigen. Wenn man die Auswirkungen mit einer Verschiebung des Modal Split um 0,5 Prozent-Punkte vom MIV zugunsten des ÖV abschätzt, kommen jährlich hinzu:

- 2.500 t CO₂-Einsparung pro Jahr
- bei einer Laufzeit von 50 Jahren wären 125.000 t CO₂ erwartbar

3.3.2 Pkw-Verkehr

Die Bundesregierung strebt an, bis 2030 6 Millionen elektrische Fahrzeuge auf die Straße zu bringen. Das entspricht nach den Annahmen des IFEU [UBA 2016/1] etwa 15 Prozent der Pkw-Flotte. Eine aktuelle Untersuchung des IFEU [UBA 2017] kommt zu folgendem Ergebnis: „In Hinblick auf die Ziele des Klimaschutzplans für 2030 stellen sich die Ergebnisse für den nationalen Verkehr wie folgt dar:

- Im Szenario Klimaschutz E+ sinken die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors auf 100 Mio. t bis 2030 – unter der Bedingung, dass bis dahin sechs Millionen Pkw und leichte Nutzfahrzeuge im Bestand sind und zusätzlich 10 Prozent der im Verkehr verbrauchten Kraftstoffe strombasiert erzeugt werden.
- Der Anteil von 10 Prozent strombasierten Kraftstoffen im Jahr 2030 mindert die Treibhausgasemissionen des nationalen Verkehrs um rund 11 Mio. t, erhöht aber auch den Bedarf an EE-Strom für die Erzeugung der Kraftstoffe um 400 PJ, eine Menge, die aus heutiger Sicht bis 2030 kaum erreichbar ist [UBA, 2016b]. Es werden alternative Strategien benötigt.
- Um die gleiche Einsparung an Treibhausgasen zu erreichen, müsste die Fahrzeugflotte im Jahr 2030 von sechs auf 12 Millionen Fahrzeuge verdoppelt werden. Dann wäre auch der zusätzliche Bedarf an EE-Strom mit rund 50 PJ deutlich niedriger.

Damit wird deutlich: Die Minderungsziele des Klimaschutzplans erfordern bereits bis 2030 große Anstrengungen. Da strombasierte Kraftstoffe aus EE-Strom bis dahin nicht in der erforderlichen Menge zur Verfügung stehen können, müssen alternative Strategien verstärkt verfolgt werden. Eine aussichtsreiche Strategie ist es, die Elektrifizierung der Fahrzeugflotte deutlich stärker voranzutreiben und das Ziel für den Fahrzeugbestand im Jahr 2030 von sechs Millionen auf 12 Millionen Fahrzeuge zu erhöhen.“

Die von [UBA 2017] berechneten 12 Millionen Kfz bestehen nach den dortigen Annahmen zu einem Drittel aus BEV und zu zwei Dritteln aus PHEV.

Die Landeshauptstadt Dresden hat gemeinsam mit der Volkswagen Sachsen GmbH eine Absichtserklärung unterzeichnet. Darin gehört es zu den beabsichtigten Beiträgen der LH Dresden, bis 2025 die Anzahl von privat und kommunal genutzten

¹⁵ Derzeit wird nur der Abschnitt Bühlau-Rossendorfer Straße planerisch verfolgt.

Elektrofahrzeugen in der Stadt auf bis zu 25.000 zu steigern, was etwa 10 Prozent der Dresdner Flotte entspräche [LH DRESDEN 2016].

Im Folgenden sollen im Rahmen einer Modellrechnung für verschiedene Szenarien der Entwicklung des Elektroanteiles an der Pkw-Flotte die zu erwartenden Effekte auf die Treibhausgasemissionen des Verkehrs der Dresdner bestimmt werden.

Annahmen:

In Abschnitt 2.4.1 wird das CO₂-Minderungspotenzial von BEV gegenüber Otto- und Dieselfahrzeugen beschrieben. Für die weiteren Betrachtungen werden folgende Werte angenommen:

- Basis 2018, Strommix :
 - BEV haben ähnliche CO₂-Emissionsfaktoren wie Dieselfahrzeuge und um 20 Prozent geringere CO₂-Emissionsfaktoren als Otto-Pkw
 - PHEV haben ähnliche CO₂-Emissionsfaktoren wie Dieselfahrzeuge und um 20 Prozent geringere als Otto-Pkw
- Prognose 2030, Strommix :
 - BEV haben um 30 Prozent geringere CO₂-Emissionsfaktoren als Dieselfahrzeuge und um 41 Prozent geringere als Otto-Pkw
 - PHEV haben um 11 Prozent geringere CO₂-Emissionsfaktoren als Dieselfahrzeuge und um 25 Prozent geringere als Otto-Pkw
- Prognose 2030, 100 Prozent EE:
 - BEV haben um 65 Prozent geringere CO₂-Emissionsfaktoren als Dieselfahrzeuge und um 70 Prozent geringere als Otto-Pkw
 - PHEV haben um 35 Prozent geringere CO₂-Emissionsfaktoren als Dieselfahrzeuge und um 45 Prozent geringere als Otto-Pkw

Laut Fahrleistungserhebung 2014 der BASt [BASt 2017] liegt aktuell die Jahresfahrleistung von BEV privater Halter in der Größenordnung der Jahresfahrleistung von Benzinfahrzeugen (siehe Tabelle 6). Aufgrund der hohen Anschaffungskosten und der dann eher geringen Betriebskosten wurden in früheren Untersuchungen [z. B. UBA 2016/1] für Elektrofahrzeuge höhere Jahresfahrleistungen angenommen, da sich nur dann die Investition lohnt (ähnlich wie beim Diesel). Dies konnte durch die Daten der BASt bisher nicht bestätigt werden, was wohl daran liegt, dass die BEV derzeit hauptsächlich als Zweit- oder Drittswagen eingesetzt werden. Mit einer Erhöhung der Reichweite der BEV kann sich das ändern, was dann dazu führen kann, dass verstärkt Dieselfahrzeuge durch BEV ersetzt werden.

Antriebsart	Fahrleistung pro Kfz und Jahr (in km)
Benzin	10.435
Diesel	17.411
Flüssiggas	18.213
Erdgas	18.460
Elektro	10.794
Hybrid	13.567

Datenquelle: BASt 2017

Tabelle 6: Jahresfahrleistung nach Antriebsart

Die Modellrechnungen erfolgen auf der Grundlage des Mengengerüsts der CO₂-Bilanz des Verkehrs der Dresdner, die im Rahmen des IEUKK erstellt [TUD 2011] und 2016 mit dem Datenstand 2014 fortgeschrieben wurde [TUD 2016].

Folgende weiteren Annahmen gelten:

- Alle Randbedingungen entwickeln sich entsprechend Aktion-Szenario des IEuKK
- Die Maßnahmen des Aktion-Szenario werden umgesetzt und die den Maßnahmen zugeordneten Wirkungen treten ein
- Die Umstellung auf elektrischen Antrieb erfolgt durch einfachen Antriebstechnologiewechsel, die Fördermaßnahmen führen zu keiner Verhaltensänderung der Nutzer
- Modal split, Motorisierungsrate, mittlere Leistungsdaten der Flotte, Mobilitätswerte werden durch die Förderung der Elektromobilität nicht beeinflusst.

Die Umstellung auf Fahrzeuge mit anderen Nutzungseigenschaften lässt eine Nutzerreaktion erwarten. Diese Reaktionen hängen letztlich von der Ausgestaltung der Maßnahmen ab. Erfolgt die Förderung durch höhere Attraktivität des elektrischen MIV sind Modal Split-Verschiebungen zum MIV zu erwarten. Erfolgt sie durch eine verminderte Attraktivität des fossilen MIV, kann das vermieden werden oder es können gar Modal-Split-Effekte vom MIV weg erreicht werden. Hält der Trend zur Leistungssteigerung durch elektrische Antriebe an, werden die Minderungen kompensiert oder gar überkompensiert. Hier ließen sich noch weitere mögliche Effekte aufzählen. All das kann die folgende Szenarien-Berechnung aber nicht berücksichtigen, sie dient an dieser Stelle ausschließlich zur Darstellung der theoretisch erschließbaren technischen Emissionsminderungspotenziale. Die Ausgangssituation ist in Abbildung 29 dargestellt.

Für die Beschreibung der Potenziale der Elektromobilität für den Klimaschutz wurden hier einfache Szenarien gewählt, die die Größenordnung der möglichen Effekte beschreiben sollen.

Szenario 0, Vergleichsrechnung:

- Jahr 2018, Strommix Deutschland 2018
- Annahme 2018: 100 Prozent BEV

Im Jahre 2017 besteht die Pkw-Flotte der Dresdner zu 28 Prozent aus Diesel-Pkw und zu 70 Prozent aus Otto-Pkw. Wenn im Jahr 2018 alle Fahrleistungen der Dresdner Pkw durch BEV ersetzen würden, würde der CO₂-Effekt demjenigen einer 100-prozentigen Umstellung auf Diesel-Pkw entsprechen. Dies würde Minderemissionen von 8 Prozent für den Pkw-Verkehr oder 7 Prozent für den bodengebundenen Personenverkehr bedeuten. Es würden etwa 610 GWh Strom zusätzlich benötigt, was etwa einer 16-prozentigen Erhöhung des Stromabsatzes der DREWAG entspräche.

Szenario 1, Ziel der Bundesregierung:

- Jahr 2030, Strommix Deutschland (62 Prozent EE)
- Annahme 2030: 30 Prozent Diesel, 55 Prozent Otto, 5 Prozent BEV, 10 Prozent PHEV

Im Szenario 1 wird angenommen, dass der von der Bundesregierung angestrebte 15-prozentige Elektro-Pkw-Anteil im Jahre 2030 auch in Dresden umgesetzt ist. Von den 265.000 Pkw der Dresdner würden dann fast 40.000 zumindest anteilig elektrisch angetrieben. Bei der Annahme einer linearen Entwicklung der Anzahl der Elektrofahrzeuge würde das einen Zuwachs von etwa 3000 E-Autos pro Jahr bedeuten. Unter diesen Umständen wären im Jahre 2025 25.000 BEV und PHEV in Dresden vorhanden, wie es auch die gemeinsame Absichtserklärung der Landeshauptstadt Dresden und der Volkswagen Sachsen GmbH anstrebt [LH DRESDEN 2016]. Es wird angenommen, dass die Umstellung auf Elektro-Pkw vollständig zu Lasten der Otto-Pkw geht, der Dieselanteil mit 30 Prozent etwa gleich bleibt. Die Elektro-Pkw bestehen entsprechend [UBA 2017] zu zwei Dritteln aus PHEV und zu einem Drittel aus BEV. Nach der Planung der Bundesregierung [BMVI 2016] wären dafür in Dresden im Jahr 2030 etwa 1.000 öffentlich zugängliche Normalladestationen und 190 Schnellladestationen erforderlich. Dementsprechend würden für die 25.000 E-Autos im Jahre 2025 600 öffentliche Normalladesäulen und 120 Schnellladesäulen benötigt. Es wären etwa 65 GWh Strom zusätzlich erforderlich, was etwa einer 1,7-prozentigen Erhöhung des Stromabsatzes der DREWAG entspräche. Es wird angenommen, dass die Elektro-Pkw mit dem Strommix 2030 betrieben werden.

Die Modellrechnung ergab, dass unter diesen Annahmen die CO₂-Emissionen der Dresdner Pkw im Jahre 2030 gegenüber dem Fall mit 70 Prozent Otto-Pkw und 30 Prozent Diesel-Pkw um 3,9 Prozent gesenkt werden könnten. Für die CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner würde das eine zusätzliche Minderung um 3,3 Prozent bedeuten. Im Jahre 2025 könnte man bei den dann 25.000 elektrischen Fahrzeugen mit einer 2-prozentigen Minderung der CO₂-Emissionen des Personenverkehrs rechnen. In Abbildung 33 ist die Entwicklung bis 2030 im Verhältnis zum Minderungsziel dargestellt. Unter diesen Annahmen würde das Minderungsziel 2030 für den bodengebundenen Personenverkehr erreicht.

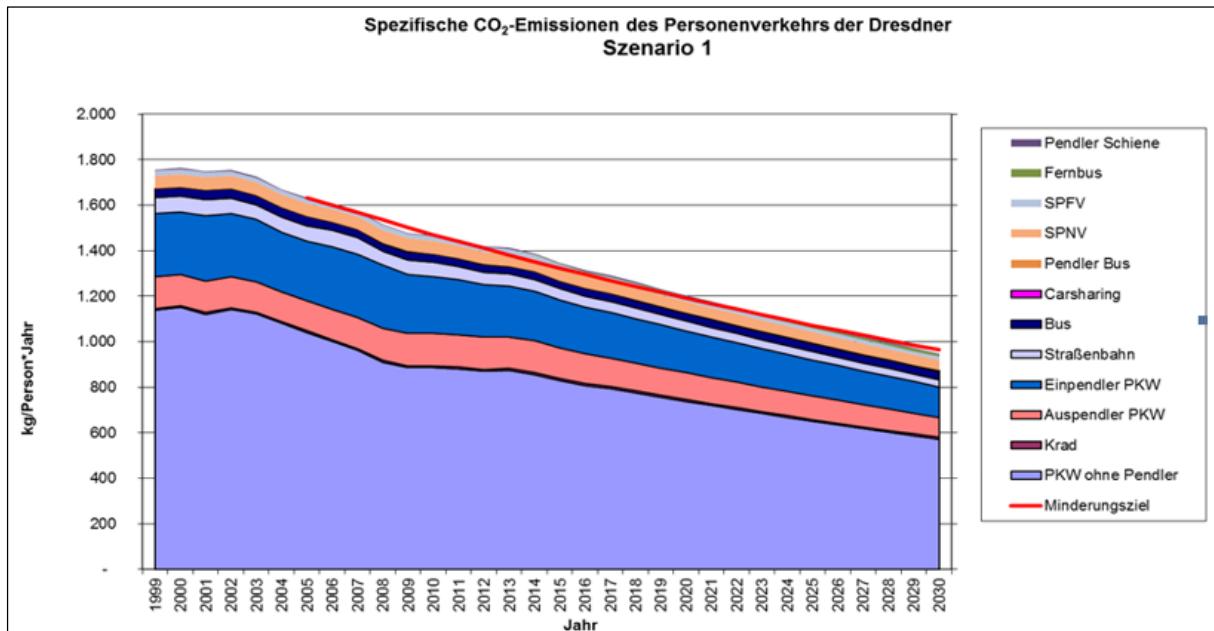


Abbildung 33: Entwicklung der CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 1

Szenario 2, Klimaschutzszenario E+ nach [UBA 2017]:

- Jahr 2030, Strommix Deutschland (62 Prozent EE)
- Annahme 2030: 30 Prozent Diesel, 40 Prozent Otto, 10 Prozent BEV, 20 Prozent PHEV

Im Szenario 2 wird angenommen, dass das Szenario E+ nach [UBA 2017] eintritt. Demnach müssten 12 Millionen Pkw und LNF in Deutschland elektrisch fahren. Von den 265.000 Pkw der Dresdner würden knapp 80.000 elektrisch angetrieben. Es wird angenommen, dass die Umstellung auf Elektro-Pkw vollständig zu Lasten der Otto-Pkw geht, der Dieselanteil mit 30 Prozent etwa gleich bleibt. Die Elektro-Pkw bestehen entsprechend [UBA 2017] zu zwei Dritteln aus PHEV und zu einem Drittel aus BEV. Nach der Planung der Bundesregierung [BMVI 2016] wären dafür in Dresden 2030 etwa 2.000 öffentlich zugängliche Normalladestationen und 380 Schnellladestationen erforderlich. Es würden etwa 130 GWh Strom zusätzlich benötigt, was etwa einer 3,4-prozentigen Erhöhung des Stromabsatzes der DREWAG entspräche. Es wird angenommen, dass die Elektro-Pkw mit dem Strommix 2030 betrieben werden.

Die Modellrechnung ergab, dass unter diesen Annahmen die CO₂-Emissionen der Dresdner Pkw im Jahre 2030 gegenüber dem Fall mit 70 Prozent Otto-Pkw und 30 Prozent Diesel-Pkw um 7,8 Prozent gesenkt werden könnten. Für die CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner würde das eine zusätzliche Minderung um 7 Prozent bedeuten. In Abbildung 34 ist die Entwicklung bis 2030 im Verhältnis zum Minderungsziel dargestellt. Unter diesen Annahmen würde das Minderungsziel um 5 Prozent unterboten. Dies geht von der Annahme aus, dass auch alle anderen Maßnahmen des Szenarios Aktion des IEUKK umgesetzt werden und die abgeschätzten Wirkungen erreichen.

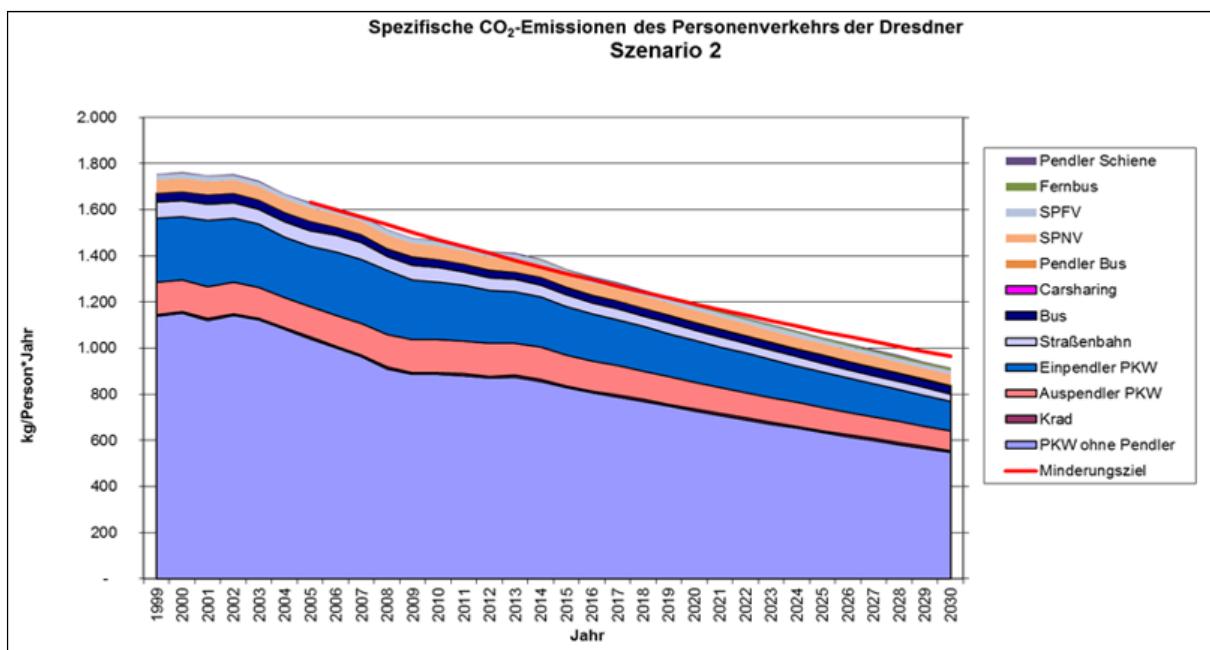


Abbildung 34: Entwicklung der CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 2

Szenario 3, Ziel der Bundesregierung +100 Prozent EE:

- Jahr 2030, 100 Prozent Erneuerbare Energien
- Annahme 2030: 30 Prozent Diesel, 55 Prozent Otto, 5 Prozent BEV, 10 Prozent PHEV

Im Szenario 3 wird angenommen, dass sich die Flotte wie in Szenario 1 entwickelt, der den Fahrzeugen zuzuordnende Strom jedoch zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien stammt.

Die Modellrechnung ergab, dass unter diesen Annahmen die CO₂-Emissionen der Dresdner Pkw im Jahre 2030 gegenüber dem Fall mit 70 Prozent Otto-Pkw und 30 Prozent Diesel-Pkw um 6,8 Prozent gesenkt werden könnten. Für die CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner würde das eine zusätzliche Minderung um 6 Prozent bedeuten. In Abbildung 35 ist die Entwicklung im Verhältnis zum Minderungsziel dargestellt. Unter diesen Annahmen würde das Minderungsziel um 4 Prozent unterboten.

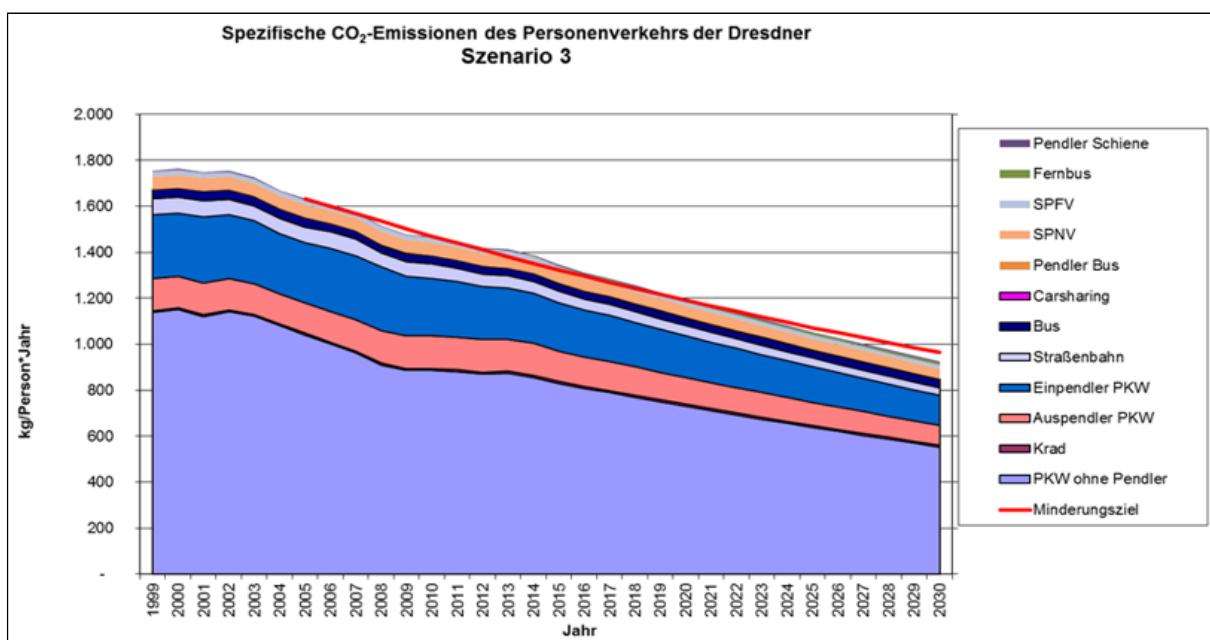


Abbildung 35: Entwicklung der CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 3

Szenario 4, Klimaschutzszenario E+ nach [UBA 2017] +100 Prozent EE:

- Jahr 2030, 100 Prozent Erneuerbare Energien
- Annahme 2030: 30 Prozent Diesel, 55 Prozent Otto, 10 Prozent BEV, 20 Prozent PHEV

Im Szenario 4 wird angenommen, dass sich die Flotte wie in Szenario 2 entwickelt, der den Fahrzeugen zuzuordnende Strom jedoch zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien stammt. Die Modellrechnung ergab, dass unter diesen Annahmen die CO₂-Emissionen der Dresdner Pkw im Jahre 2030 gegenüber dem Fall mit 70 Prozent Otto-Pkw und 30 Prozent Diesel-Pkw um 13,7 Prozent gesenkt werden könnten. Für die CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner würde das eine zusätzliche Minderung um 12 Prozent bedeuten. In Abbildung 36 ist die Entwicklung im Verhältnis zum Minderungsziel dargestellt. Unter diesen Annahmen würde das Minderungsziel um 10 Prozent unterboten.

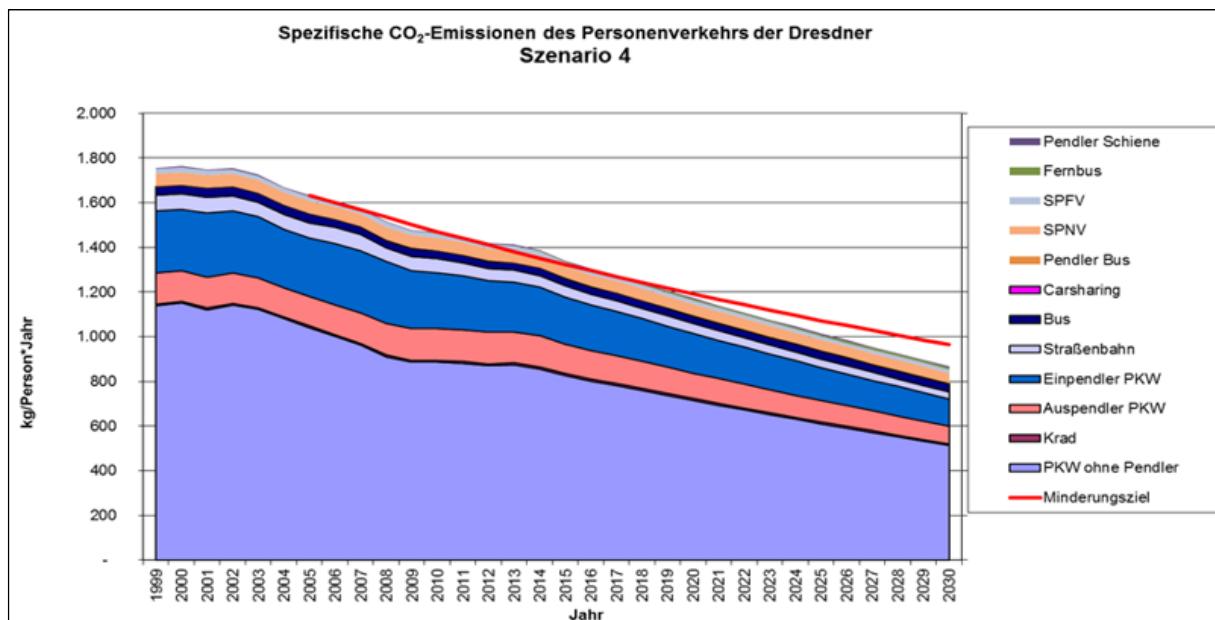


Abbildung 36: Entwicklung der CO₂-Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 4

In Tabelle 7 und Abbildung 37 sind die Annahmen und Minderungen zusammengestellt.

		Anzahl BEV+PHEV	Zusätzliche CO ₂ -Minderung Pkw	Zusätzliche CO ₂ -Minderung Personenverkehr ¹⁶	Zusätzlicher Strombedarf	Ladesäulenbedarf
Szenario 0	Strommix 2018	240.000	-8,0 %	-7 %		
Szenario 1 (25)	Strommix 2025	25.000	-2,4 %	-2,1 %	41 GWh	600 NL 120 SL
Szenario 1 (30)	Strommix 2030	40.000	-3,9 %	-3,3 %	65 GWh	1.000 NL 190 SL
Szenario 2	Strommix 2030	80.000	-7,8 %	-6,6 %	130 GWh	2.000 NL 380 SL
Szenario 3	100 % EE	40.000	-6,8 %	-5,8 %	65 GWh	1.000 NL 190 SL
Szenario 4	100 % EE	80.000	-13,7 %	-11,6 %	130 GWh	2.000 NL 380 SL

NL = Normalladepunkt
SL = Schnellladepunkt

Tabelle 7: Ergebnisse der Szenarien

¹⁶ ohne Luftverkehr

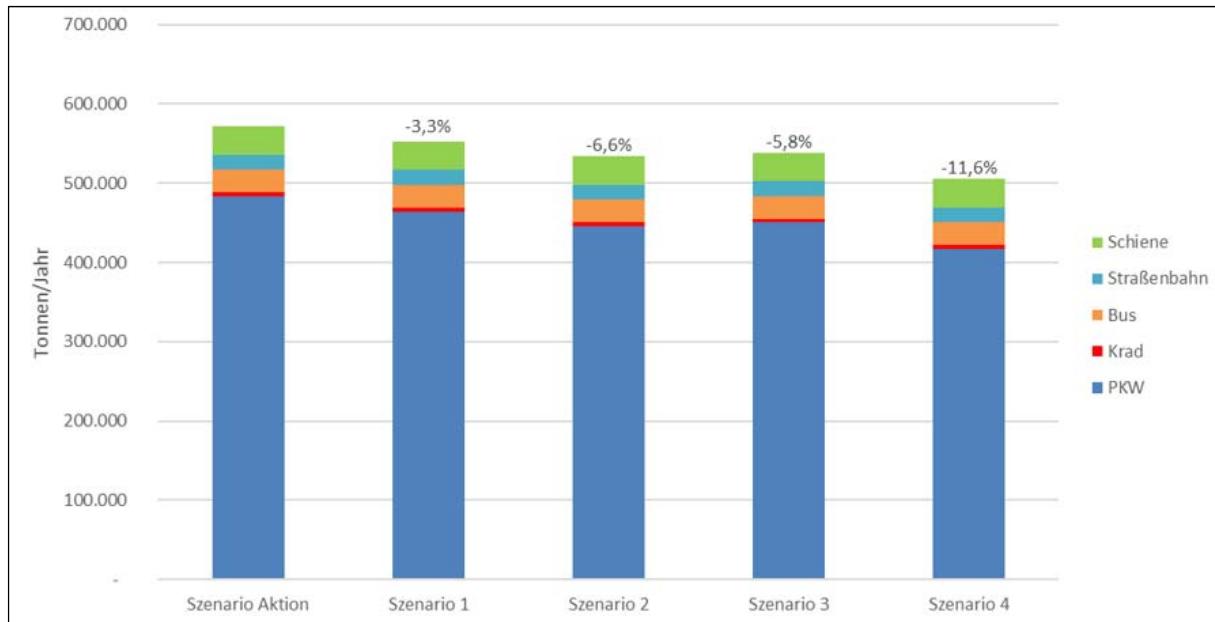


Abbildung 37: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für 2030

Die Berechnungen der Szenarien zeigen, dass Elektromobilität einen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030 der Landeshauptstadt Dresden leisten kann. Allerdings liegen die zusätzlichen Minderungsraten überwiegend im einstelligen Prozentbereich.

Bei den in den Abbildungen verwendeten Darstellung des Minderungsziels ist zu beachten, dass es sich dabei nur um den Bereich des bodengebundenen Personenverkehrs handelt, der im IEKK betrachtet wurde. Die Trends und Prognosen im Luftverkehr und im Güterverkehr gehen weiter von Steigerungen aus, so dass von einer Übererfüllung der Ziele im Verkehrsbereich auch bei Übererfüllung im bodengebundenen Personenverkehr nicht gesprochen werden kann (siehe dazu Abbildung 38).

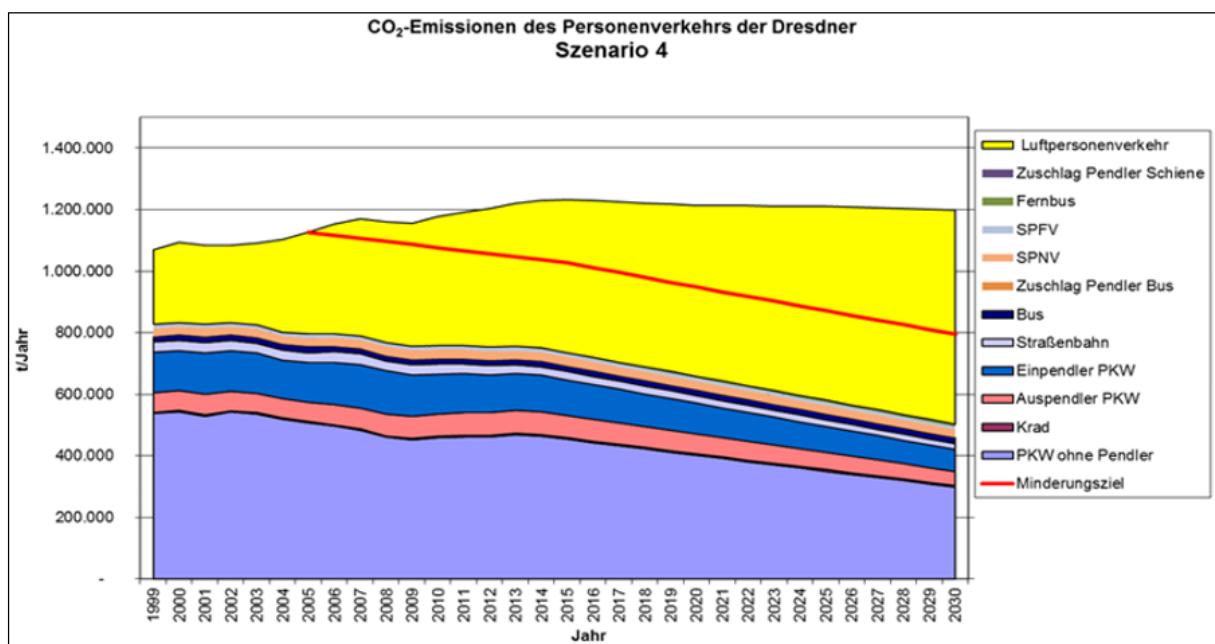
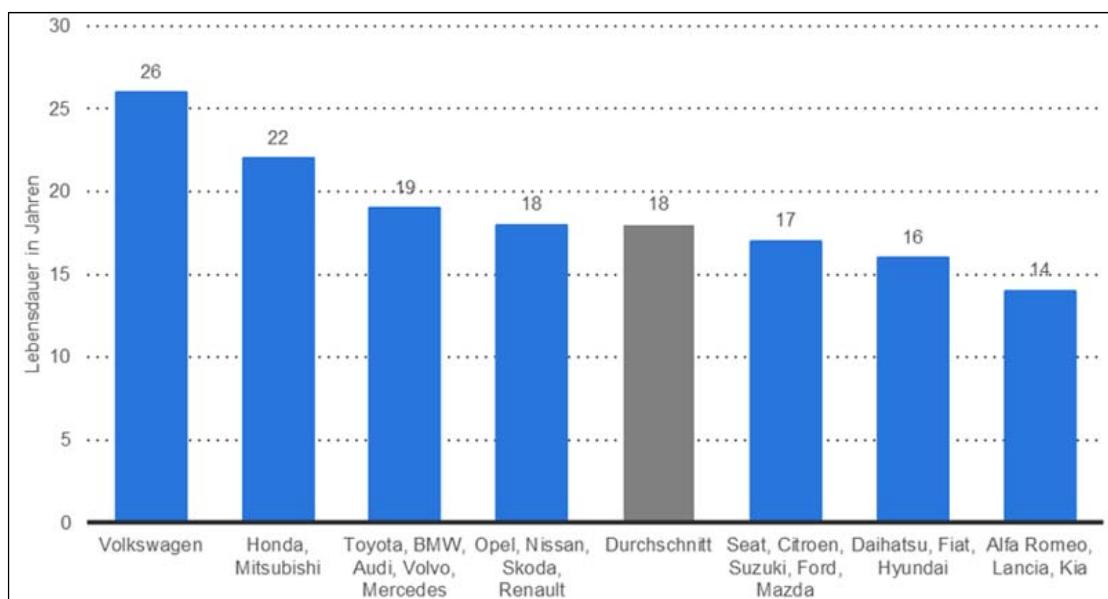


Abbildung 38: Entwicklung der CO₂-Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 4 mit Berücksichtigung des Luftpersonenverkehrs

Zweifellos sind die in Abschnitt 3.3.2 aus [UBA 2017] übernommenen Szenarien des elektrischen Flottenanteils ambitioniert. Man muss in diesem Zusammenhang auch berücksichtigen, dass die durchschnittliche Lebensdauer von Pkw in

Deutschland 18 Jahre beträgt (siehe Abbildung 39), bis 2030 aber nur noch 12 Jahre Zeit sind, so dass der Flottenwandel sehr bald beginnen muss. Allerdings weisen neuere Pkws i. d. R. eine höhere jährliche Laufleistung auf als ältere Pkw.¹⁷



Quelle: Statista 2018/2

Abbildung 39: Typische Lebensdauer von Autos in Deutschland nach Automarken (Stand 2014)

Aber auch wenn die hier prognostizierten Minderungsraten für das Jahr 2030 noch im einstelligen Prozentbereich liegen, ist eine Dekarbonisierung des Verkehrs bis 2050 nach aktuellen Technikprognosen nur über eine vollständige Elektrifizierung bei vollständig dekarbonisierter Energieerzeugung denkbar. Um diese vollständige Elektrifizierung des Verkehrs bis 2050 zu erreichen, sind 30 Prozent Flottenanteil im Jahr 2030 ein wichtiger Zwischenschritt, auch wenn der für 2030 prognostizierte Strommix immer noch knapp 40 Prozent fossil erzeugte Energie enthält und damit die Effekte der Elektrifizierung dämpft.

Ob der angestrebte Flottenwandel in Dresden in dem Zeitraum bis 2030 tatsächlich umsetzbar ist, ist derzeit schwer einzuschätzen und stark vom weiteren Handeln auf Bundes- und EU-Ebene abhängig. Sollen die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens annähernd erreicht werden, ist die Elektrifizierung nach derzeitigem Wissensstand notwendig. Die zum Erreichen dieser Ziele denkbaren Maßnahmen auf städtischer Ebene werden im Kapitel 4 diskutiert.

3.3.3 Güterverkehr

Noch unsicher ist die weitere Vorgehensweise bei der Elektrifizierung des Straßengüterfernverkehrs. Ein Batterieantrieb erscheint hier nach dem gegenwärtigen Wissensstand aufgrund der großen notwendigen Batteriekapazitäten und damit des hohen Eigengewichtes der Batterien schwierig. Im Fernverkehrsbereich würden daher eher Oberleitungs-Hybrid-Lkw in Frage kommen, die jedoch eine international ausgebauten Oberleitungsinfrastruktur benötigen würden. Als weitere Elektro-Optionen im Straßengüterverkehr gelten Brennstoffzellenantriebe und die Nutzung von strombasierten Kraftstoffen im Verbrennungsmotor, die jedoch im Moment aus Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsgründen noch nicht marktfähig sind. Hier sind auf Bundes- bzw. EU-Ebene zeitnah die Weichen zu stellen, da ohne einen Beitrag des Güterfernverkehrs zur Emissionsminderung die Minderungsziele im Verkehrsbereich nicht erreicht werden können.

Um jedoch eine Größenordnung für den Bedarf an Elektroenergie zu erhalten, der bei einer Vollelektrifizierung des Güterverkehrs entstehen würde, wird hierzu eine Überschlagsrechnung durchgeführt. In Tabelle 8 sind die Fahrleistungen der einzelnen Lkw-Größenklassen dargestellt, die im Jahre 2016 nach der CO₂-Bilanz nach dem Inländerprinzip den Dresdnern zuzuordnen wären. Es handelt sich dabei nicht um die Fahrleistungen in Dresden, sondern entsprechend dem Bevölkerungsanteil Dresdens um 0,67 Prozent der deutschen Fahrleistungen. Weist man den einzelnen Fahrzeugklassen geschätzte

¹⁷ siehe TU DRESDEN 2016/1, S. 12

Stromverbräuche für elektrischen Antrieb zu, erhält man einen Gesamtenergiebedarf für den Dresden zuzurechnenden Güterverkehr von 363 GWh im Jahr. Berücksichtigt man noch die von der Verkehrsverflechtungsprognose [BMVI 2014/2] angenommene Entwicklung des Straßengüterverkehrs in den einzelnen Lkw-Größenklassen, erhält man für das Jahr 2030 einen Gesamtbedarf von 423 GWh zusätzlichen Strombedarf für den Straßengüterverkehr.

Fahrzeugart	Fahrleistung in Deutschland 2016 in 1.000 km ¹⁸	Fahrleistung Dresdner in km	Verbrauch in kWh/100km	Verbrauch in GWh/a
Lkw bis 3,5 t	44.679.190	297.769.192	30	89,3
Lkw 3,5-6 t	3.558.921	23.718.806	50	11,9
Lkw >6 t	13.251.048	88.313.012	90	79,5
Sattelzugmaschinen	19.053.415	126.983.502	140	177,8
Sonstige Zugmaschinen	456.662	3.043.472	140	4,3
Summe	80.999.236	178.211		362,7

Tabelle 8: Stromverbrauch für elektrischen Betrieb des den Dresdnern zuzuordnenden Güterverkehrs

3.3.4 Luftreinhaltung

In den bisherigen Betrachtungen standen die Effekte der Elektromobilität auf den Klimaschutz im Vordergrund. Der Klimaschutz stellt zweifellos auch die Hauptmotivation für die Förderung der Elektromobilität dar, da eine Dekarbonisierung des Verkehrs nach aktuellem Wissensstand nur mit Hilfe der Elektrifizierung denkbar ist. Doch auch bezüglich der Luftreinhaltung werden von der Elektromobilität positive Effekte erwartet.

Wie bereits in Abschnitt 2.4.1 dargestellt, ist die Einordnung der Effekte der Elektromobilität auf andere Umweltwirkungen wie Versauerung, Sommersmog, Eutrophierung, Feinstaub oder Luftreinhaltung schwierig. Zweifellos haben BEV, PHEV, Elektrobus oder elektrischer LKW den Vorteil, mit Ausnahme der Abriebs- und Aufwirbelungs-Emissionen lokal emissionsfrei zu fahren und somit besonders belastete Innenstadtbereiche zu entlasten. Berücksichtigt man jedoch die Effekte der Fahrzeug- und Stromherstellung zum jetzigen Zeitpunkt mit, reduzieren sich die positiven Effekte. Insbesondere bei den Feinstaubemissionen über den Lebensweg weist der BEV heute noch um etwa 60 Prozent höhere Werte auf als der Otto-Pkw. Es handelt sich derzeit um eine räumliche Verlagerung der Emissionen. Da es sich bei der Luftreinhaltung jedoch um ein lokales Problem handelt und die Grenzwertehaltung dort sichergestellt werden muss, wo Menschen betroffen sind, kann die lokale Emissionsfreiheit der Elektromobilität Vorteile bringen. In diesem Zusammenhang werden mitunter mögliche Emissionsminderungsraten genannt, die davon ausgehen, dass man alte Diesel durch E-Autos ersetzt. Diese Argumentation ist im Sinne der Luftreinhaltung jedoch nicht korrekt. Beim Neukauf eines Kfz steht man vor der Wahl Diesel, Benzin oder Elektro. Der Vergleichsfall ist also nicht: „Alle fahren weiter ihre alten Autos.“, sondern „Statt EURO 6-Verbrennern werden E-Autos gekauft.“

Für die weitere Entwicklung der Anteile der einzelnen Antriebssysteme an den Fahrleistungen gibt es Unsicherheiten. Dabei stellen sich folgende Fragen:

- Werden die Verschärfungen der Abgastests mit Real Drive Emissions (RDE) dazu führen, dass die Grenzwerte auch in der Realität eingehalten werden?
- Wird der Diesel weiterhin steuerlich bevorteilt?
- Kommt es zu Dieselfahrerboten, von denen auch Neuwagen betroffen sind?
- Oder bleiben die aktuellen Nutzervorteile für Diesel-Fahrzeuge voll erhalten?
- Werden vorrangig Benziner durch E-Autos ersetzt, wie es die derzeitigen Jahresfahrleistungen der E-Autos nahelegen?
- Werden mit der Änderung der Nutzungseigenschaften der E-Autos und Diesel-Pkw auch verstärkt Diesel-Pkw durch E-Autos ersetzt?

¹⁸ Quelle: https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometern_node.html

In einer Szenarienrechnung wurde zuerst für die Pkw die Ist-Situation 2018 mit der HBEFA-Prognose 2030 und dem Szenario 1 (2030, 15 Prozent E-Autos) gegenübergestellt. In Abbildung 40 und Abbildung 41 sind die Ergebnisse für die PM10 und NOx-Emissionen der Pkw dargestellt. Dabei wurde differenziert in die beiden Fälle, dass vorrangig Benziner oder Diesel ersetzt werden. Alle Fälle, in denen die Umstellung sowohl Diesel als auch Benziner betrifft, ergeben Zwischenwerte. Die Werte für das Szenario 2 mit 30 Prozent E-Autos im Jahre 2030 wurden hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mit dargestellt, sind aber direkt skalierbar.

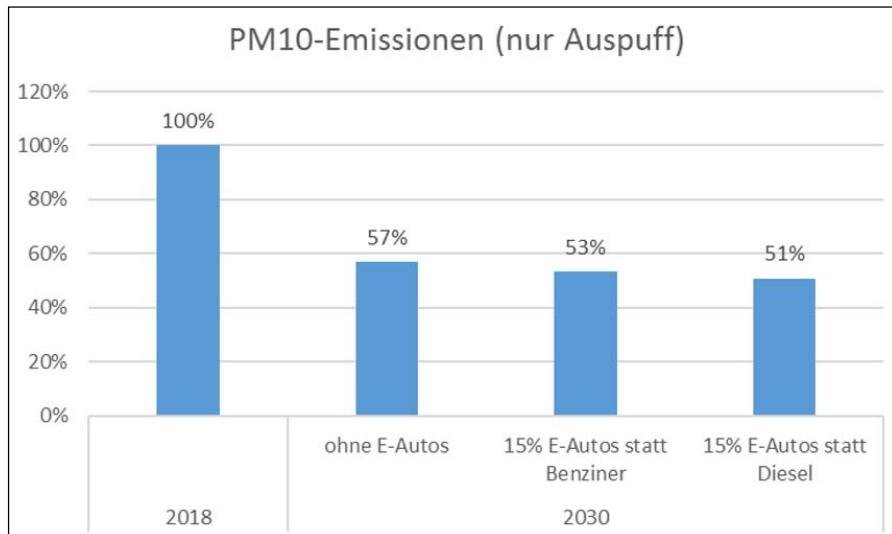


Abbildung 40: Entwicklung der Flottenemissionsfaktoren 2030 für PM10 (nur Auspuff) für die Fälle ohne E-Pkw, 15% E-Pkw die Benzin-Pkw ersetzen und 15% E-Pkw die Diesel-Pkw ersetzen

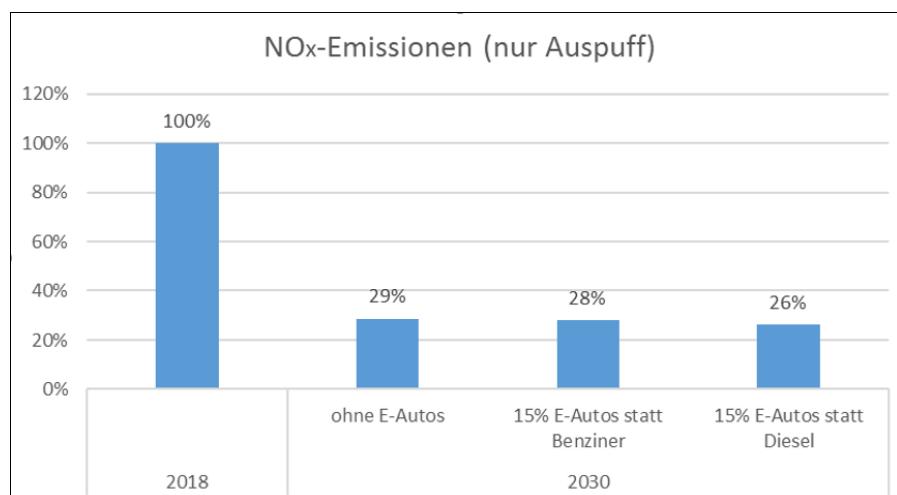


Abbildung 41: Entwicklung der Flottenemissionsfaktoren 2030 für NOx (nur Auspuff) für die Fälle ohne E-Pkw, 15% E-Pkw die Benzin-Pkw ersetzen und 15% E-Pkw die Diesel-Pkw ersetzen

Die Darstellung zeigt, dass die Prognosen von starken Emissionsrückgängen ausgehen, die auch ohne Elektromobilität eintreten werden. Dadurch, dass die E-Autos mit sehr gering emittierenden EURO VI-Fahrzeugen konkurrieren, mindern sich die Effekte auf die Luftreinhaltung. Für die Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass zukünftige EURO VI-Diesel-Pkw die Emissionsgrenzwerte aufgrund der Einführung der RDE-Tests ab 2017 auch im realen Fahrbetrieb annähernd einhalten¹⁹.

¹⁹ In der Vergangenheit mussten die HBEFA-Prognosen der Emissionsfaktoren regelmäßig nach oben korrigiert werden. Die neuen Regeln mit PEMS und RDE zielen darauf ab, die gesetzlichen Regelungen auch tatsächlich in der Praxis umzusetzen.

Weiterhin wurde eine Vergleichsrechnung für die Entwicklung der verkehrlichen Emissionen für den Beispielfall Bergstraße Dresden durchgeführt. Hierbei wurden folgende Fälle verglichen:

1. **2018 HBEFA:** Fahrzeugzahlen nach Themenstadtplan und DVB-Fahrplan, Emissionsfaktoren nach HBEFA 3.3 [INF-RAS AG 2017] für 2018
2. **2030 HBEFA:** Fahrzeugzahlen wie 2018, Emissionsfaktoren nach HBEFA 3.3 für 2030
3. **2030 mit E-Mobilität:** Fahrzeugzahlen wie 2018, Emissionsfaktoren nach HBEFA 3.3 für 2030, 15 Prozent E-Pkw, 15 Prozent E-Lkw, 100P Prozent E-Bus

Die Ergebnisse für PM10 und NO_x sind in Abbildung 42 und Abbildung 43 dargestellt. Im Szenario 1 entsprechenden Fall von 40.000 E-Pkw/E-LNF und zusätzlicher Umstellung von 15 Prozent der Lkw-Flotte und Komplettumstellung der Busflotte auf der Linie 66 auf elektrischen Betrieb, könnten die PM10-Auspuffemissionen und die NO_x-Auspuffemissionen an der Bergstraße noch deutlicher sinken, als es aufgrund der Flottenentwicklung ohne E-Mobilität erwartet wird. Während die PM10-Emissionen im Falle ohne E-Mobilität um 51 Prozent sinken sollen, könnten sie unter den getroffenen Annahmen mit E-Mobilität um 57 Prozent sinken. Bei NO_x könnten das statt 72 Prozent 76 Prozent Minderung sein.

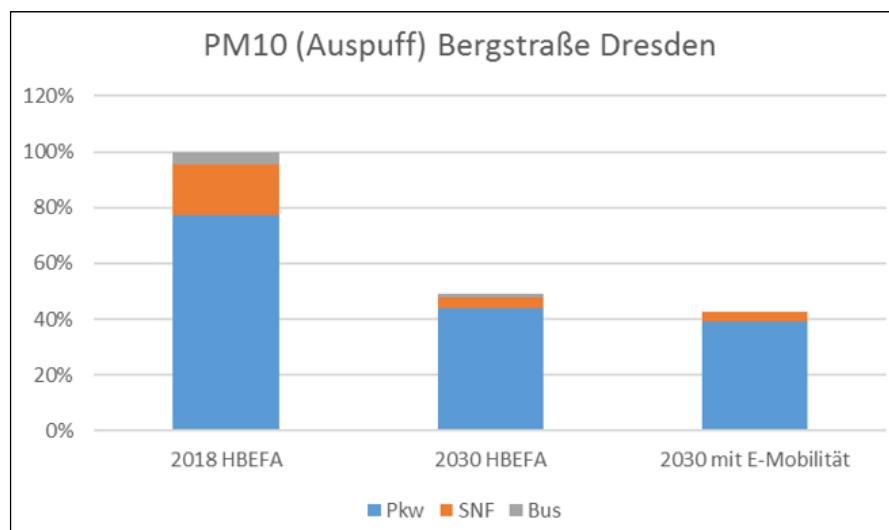


Abbildung 42: Ergebnisse der Vergleichsrechnung zur Entwicklung der verkehrlichen PM10-Auspuffemissionen an der Bergstraße Dresden mit und ohne E-Mobilität

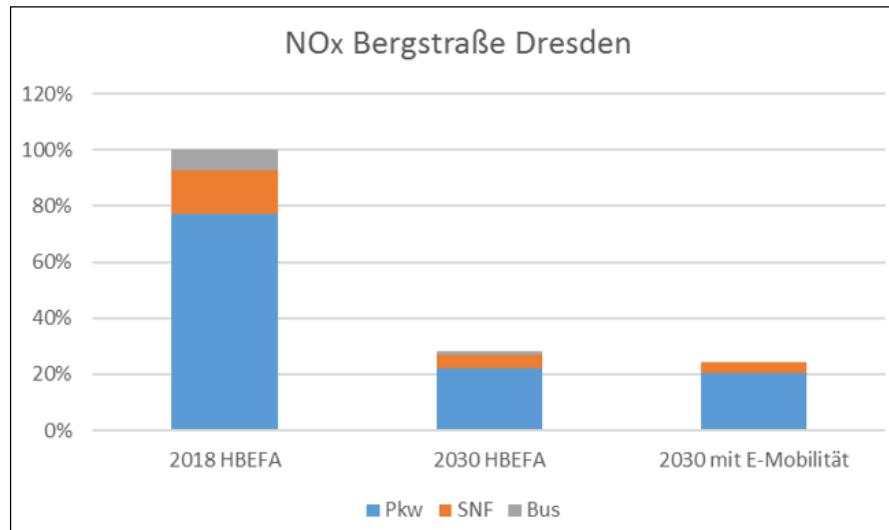
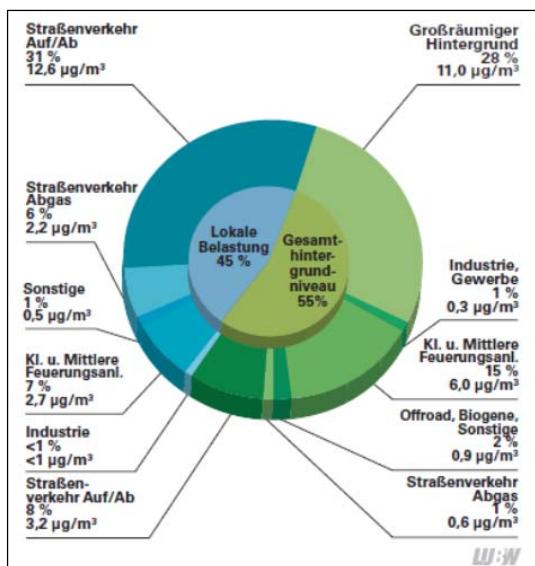


Abbildung 43: Ergebnisse der Vergleichsrechnung zur Entwicklung der verkehrlichen NO_x-Emissionen an der Bergstraße Dresden mit und ohne E-Mobilität

Für die Einordnung der Bedeutung dieser Emissionsentwicklung für die Immissionsentwicklung an der Messstelle Bergstraße soll hier noch auf das Problem der verschiedenen Emissionsquellen eingegangen werden. Die Ursachenanalyse des LUBW [LUBW 2013] für die PM10-Emissionen an der Messstelle „Am Neckartor“ in Stuttgart ergab, dass nur 6 Prozent der

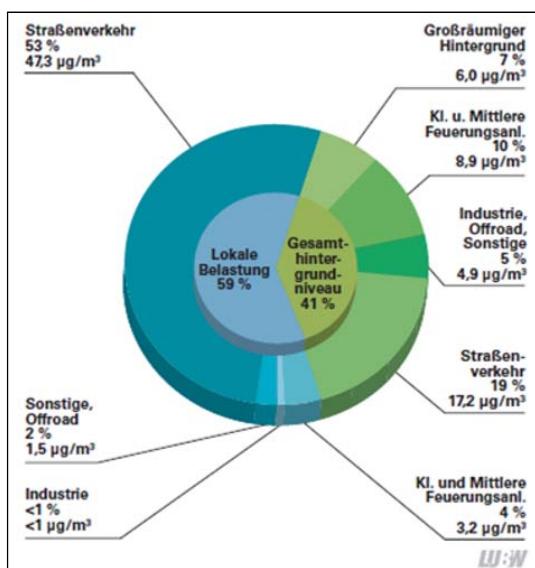
gemessenen PM10-Immissionen aus dem lokal emittierten Abgas des Straßenverkehrs stammen (siehe Abbildung 44). Der größte Teil der PM10 stammt mit 31 Prozent aus den lokalen Aufwirbelungs- und Abrieb-Emissionen des Straßenverkehrs. Wenn man eine ähnliche Quellenverteilung auch für die Bergstraße annimmt, wird klar, dass auch eine 57-prozentige Minderung der PM10-Abgasemissionen nur eine beschränkte Auswirkung auf die PM10-Immissionssituation an der Bergstraße hat. Denn auch elektrisch betriebene Fahrzeuge erzeugen Aufwirbelungs- und Abrieb-Emissionen, wenn auch in geringerem Maße.

Im Unterschied zu PM10 machen die lokalen Abgasemissionen des Straßenverkehrs bei NO₂ einen erheblichen Anteil der Emissionen aus (Abbildung 45). Die Ursachenanalyse ermittelte für die Messstelle „Am Neckartor“ einen Anteil von 53 Prozent aus den lokalen Abgasen des Straßenverkehrs. Dies bedeutet, dass für Stickoxide das Minderungspotenzial aus der technischen Entwicklung der Fahrzeuge deutlich größer ist als bei PM10. Folgt man aber den Prognosen des HBEFA zu Emissionsfaktorentwicklung und Flottenwandel, dann werden bis 2030 starke Emissionsrückgänge auch bei den Verbrennern eintreten (siehe Abbildung 43). Bezüglich des Effektes der Elektromobilität auf die Luftreinhaltung kommt [UBA 2016/1] zu folgendem Fazit: „Zur Lösung der aktuellen Probleme der Luftreinhaltung kommt die Marktdurchdringung aber wahrscheinlich zu spät. Langfristig ist nur bei den NOx-Emissionen ein relevanter zusätzlicher Minderungsbeitrag durch Elektrofahrzeuge zu erwarten.“



Quelle: LUBW 2013

Abbildung 44: Verursacher der PM10-Immissionsbelastung am Messpunkt Stuttgart „Am Neckartor“



Quelle: LUBW 2013

Abbildung 45: Verursacher der NO₂-Immissionsbelastung am Messpunkt Stuttgart „Am Neckartor“

4. Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität

Für das Ziel einer Dekarbonisierung des Verkehrs gibt es nach den heutigen Prognosen keine Alternativen zur Technikentwicklung für die Elektrifizierung des Verkehrs. Das Tempo der Elektrifizierung im MIV-Bereich hängt dabei stark von Akteuren außerhalb der Landeshauptstadt Dresden ab. Eine wesentliche Rolle spielt die technische Entwicklung der elektrischen Fahrzeuge zu konkurrenzfähigen Produkten bezüglich ihrer Nutzungseigenschaften und der Wirtschaftlichkeit. Der Verlauf dieser Entwicklung wird wiederum beeinflusst durch Förderprogramme und fiskalische Maßnahmen auf EU-, Bundes- und eventuell Landesebene. Die Kommune kann diese Entwicklung durch die Schaffung günstiger Rahmenbedingungen und eine Vorbildwirkung ihres eigenen Fuhrparkes unterstützen.

Bei allen Maßnahmen im MIV-Bereich ist die Elektrifizierung des nicht vermeidbaren und nicht verlagerbaren MIV das Ziel. Die Ziele des VEP2025+ müssen im Vordergrund stehen, die Förderung der Elektrifizierung des MIV sollte keine Attraktivitätssteigerung des MIV bewirken. Aus diesem Grunde sind Maßnahmen wie kostenfreie Stellplätze, kostenfreie Abgabe von Ladestrom oder Mitbenutzung von Busspuren durch elektrische Fahrzeuge kritisch zu sehen.

4.1 Kommunaler Fuhrpark

Der Fuhrpark der Landeshauptstadt Dresden umfasst 780 Kfz, was etwa 0,3 Prozent der Dresdner Fahrzeugflotte entspricht. Eine Elektrifizierung des Fuhrparkes der Stadt hat deshalb nur einen geringen direkten Einfluss auf die gesamtstädtischen Emissionen. Dennoch kann die Stadtverwaltung mit der Nutzung von Elektrofahrzeugen ein Zeichen setzen und somit die weitere Entwicklung der Elektromobilität fördern. Zudem bildet der Einsatz von Elektrofahrzeugen in betrieblichen Flotten den Einsatzbereich ab, der am wenigsten von dem gegenwärtig noch vorhandenen Reichweitenproblem der E-Fahrzeuge betroffen ist. Zum einen gibt es nur wenige Fahrten, für die die Reichweite grenzwertig ist. Zum anderen kann dies innerhalb des Fahrzeugpools durch Vorhalten von einzelnen Verbrenner-Fahrzeugen abgesichert werden.

Im Rahmen der Studie zum Elektromobilitäts- und Fuhrparkmanagement für die Landeshauptstadt Dresden [TU DRESDEN 2017/1] erarbeitete die Professur für Kommunikationswirtschaft der TU Dresden Maßnahmenvorschläge zur Umstellung des Fuhrparkes auf Elektromobilität. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass 23 Prozent des aktuellen Fahrzeugbestands (Kleinwagen bis Transporter) im Fuhrpark elektrifizierbar sind, ohne dabei Einschränkungen hinsichtlich der Nutzung in Kauf nehmen zu müssen. Dieser Anteil liegt im Klein- bis Kompaktwagen-Segment sogar bei knapp 50 Prozent. Durch Maßnahmen in Form von Verlagerungen und dem Einbeziehen externer Mobilitätsangebote ist dieser Anteil perspektivisch auf das Doppelte ausbaubar. Die durch die Elektrifizierung anfallenden Mehrkosten von bis zu 15 Prozent können laut der Studie durch Maßnahmen wie Verlagerung und Pooling, die auf das Einsparen von Fahrzeugen fokussieren, aufgefangen werden.

Die Stadtverwaltung plant, den kommunalen Fuhrpark weiter zu elektrifizieren und mehr E-Fahrzeuge in den städtischen Fuhrpark zu integrieren.

Nach Angaben der Fuhrparkstudie stehen den Mitarbeitern der Stadtverwaltung 110 Dienstfahrräder zur Verfügung. 67 Prozent der Mitarbeiter können auf Dienstfahrräder zurückgreifen, 62 Prozent nutzen diese auch. Die Anschaffung von Pedelecs als Dienstfahrräder setzt Anreize, das Fahrrad noch intensiver für Dienstgänge zu nutzen und kurze Pkw-Fahrten zu ersetzen.

Die Fuhrparkstudie [TU DRESDEN 2017/1] gibt auch Handlungsempfehlungen für das weitere Vorgehen bei der Ausstattung des Fuhrparkes mit LIS. Demnach ist vorzugsweise ein Laden an dem Verwaltungsstandort vorzusehen, an dem das Fahrzeug stationiert ist. Für jedes Fahrzeug ist ein eigener Parkplatz mit einem eigenen Ladepunkt (langsame AC-Ladung im Realfall ausreichend) zu berücksichtigen. Bei Standorten mit fünf Ladepunkten ist ein einfaches Tageslastbegrenzungssystem zu installieren.

4.2 Öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur

Das Problem des Aufbaus einer flächendeckenden öffentlichen Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität ist in Deutschland und der EU nur teilweise gelöst. Die erhoffte Dynamik durch das Auftreten kommerzieller Anbieter hat sich bisher nicht flächendeckend eingestellt. Das hat verschiedene Gründe. Es gibt derzeit noch nicht genügend E-Autos, um eine flächendeckende LIS kostendeckend zu betreiben. Zugleich werden keine E-Fahrzeuge gekauft, weil die LIS fehlt. Ein anderes Problem liegt in den grundlegenden Rahmenbedingungen der Technik. Während das Betanken eines Autos mit Verbrennungsmotor an einer Zapfsäule nur kurze Zeit dauert und der Bezahlbetrag meist über 20 Euro liegt, sind die Verhältnisse an einer Ladesäule für Elektroautos deutlich ungünstiger. Das Aufladen an einem 11-kW Ladepunkt würde beispielsweise, je nach Ladezustand der Batterie, ein bis zwei Stunden dauern. Der Betreiber erhält dafür fünf bis maximal zehn Euro Vergütung. Die zu erwartenden Margen sind deshalb gering. Deshalb wird verstärkt auf Schnellladesäulen im öffentlichen Raum gesetzt.

Der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) hat 2017 Schlüsselmaßnahmen beschrieben, die aus seiner Sicht vordringlich sind, um der Technologie einen nachhaltigen Schub zu geben:²⁰

- Notwendig ist der Aufbau einer integrierten Ladeinfrastruktur aus Fahrzeugen, Energieversorgung sowie Abrechnungssystemen. Fördermittel für einzelne Ladesäulen sind Stückwerk. Die Förderung muss stattdessen ein alltagstaugliches Gesamtsystem im Fokus haben: öffentlich, flächendeckend und einheitlich. So ist
 - bei öffentlichen Neubauten eine Ladestation verpflichtend vorzusehen,
 - die Normung des Ladevorgangs zu beschleunigen, denn erst sie ermöglicht das Laden an jedem Ort gleichermaßen, und es ist
 - eine Infrastruktur für vereinheitlichte Bezahlsysteme aufzubauen; proprietäre Systeme behinderten die Alltagstauglichkeit.
- In Wohngebieten sind zentrale öffentliche Schnellladestationen mit mehreren Ladepunkten einzurichten. Eine smarte Steuerung muss die Ladeströme von bis zu 32 Ampere pro Fahrzeug automatisieren.
- Auch nicht-öffentliche Ladestationen (Wallboxen) am Wohnhaus / in der Garage und beim Arbeitgeber sind zu fördern, denn die meisten Autos werden für Fahrten zwischen Wohnung und Arbeitsplatz genutzt.
- Die Ertüchtigung der Elektroinstallation in Wohngebäuden muss in den Katalog der Fördermaßnahmen aufgenommen werden. Die meisten Wohnhäuser in Deutschland sind auf einen Ladestrom von 10 Ampere und mehr über mehrere Stunden nicht vorbereitet.
- Der Einbau einer Ladestation in einem Mehrfamilienhaus darf nicht durch Einsprüche einzelner Bewohner verhindert werden können.
- Eine Finanzierung der Ladeinfrastruktur als Systemtechnologie ist so lange durch die öffentliche Hand sicherzustellen, bis privatwirtschaftliche Geschäftsmodelle möglich sind.
- Die Verteilnetze („letzte Meile“) sollten mit smarten Regelungen ausgestattet werden, um das Laden mehrerer Fahrzeuge in Nachbarschaften zu steuern.

²⁰ ZVEI, Pressemitteilung vom 19.09.2017

Im Rahmen des Aufbaus von Mobilitätspunkten in Dresden ist für die nächsten Jahre der Aufbau von Schnellladestationen in Planung. 2018/2019 sollen 30 Schnellladestationen und 50 Normalladepunkte im öffentlichen Straßenraum von der DREWAG errichtet werden. Deutschlandweit gibt es noch erhebliche Probleme aufgrund der Vielfalt der verschiedenen Abrechnungssysteme der Ladestationen. Prinzipiell kann das Problem nur auf Bundes- oder Europaebene gelöst werden.

Ein Schritt auf dem Weg zum einfacheren und zuverlässigeren Zugang zu öffentlichen Ladesäulen kann die bessere Information zur Verfügbarkeit der Anlagen sein. Zu diesem Zweck soll das Handy-Ticket weiterentwickelt werden, welches intelligente Navigation mit Parkplatzsuche im Stadtgebiet sowie Mitfahrmöglichkeiten und aktuelle Informationen zur E-Ladesäulen-Infrastruktur integrieren soll.

4.3 Nichtöffentliche Ladeinfrastruktur

Wie in Abschnitt 2.3.2 dargestellt, hat rund die Hälfte der Dresdner Bürger derzeit keine Lademöglichkeit im Bereich ihres Abstellplatzes in Wohnnähe zur Verfügung. Zugleich wurde in Abschnitt 2.3.4 dargelegt, dass die Lademöglichkeit in Wohnungsnähe grundlegende Bedeutung für den Betrieb eines E-Autos hat. Hier besteht erheblicher Handlungsbedarf. In der 2018 vom Stadtrat beschlossenen aktualisierten Stellplatzsatzung ist festgeschrieben, dass bei Neubauten bei 25 Prozent aller Stellplätze ein ausreichender Elektroanschluss baulich vorzubereiten ist. Dieser Schlüssel muss mit der Entwicklung der Elektromobilität schrittweise angepasst werden, da eine 1:1-Forderung, die für 2050 erforderlich wäre, heute ökonomisch nicht sinnvoll wäre. Zweifellos ist die Integration von Ladeinfrastruktur beim Neubau einfacher möglich als im Bestand.

Der Einbau von Ladestationen an privaten Stellplätzen im Bestand, z. B. in der Tiefgarage eines Mehrfamilienhauses, ist derzeit ggf. problematisch, da die Eigentümergemeinschaft der Installation zustimmen muss. Aus diesem Grunde hat der Bundestag am 15.12.2017 einen Gesetzentwurf beschlossen, der Verbesserungen der rechtlichen Situation bei der Installation von Ladestationen an privaten Kfz-Stellplätzen vorsieht.

Als Maßnahme zur Förderung der Elektromobilität findet man häufig die Forderung, Arbeitgeber sollten (kostenlose) Lademöglichkeiten am Arbeitsort anbieten. Dies soll dazu führen, dass Arbeitnehmer vom Verbrenner auf den E-PKW umsteigen. Die tatsächlichen Effekte einer solchen Maßnahme sollten jedoch zuerst in einem Modellprojekt untersucht werden. Dieses lukrative Angebot kann auch dazu führen, dass Arbeitnehmer ihren zuvor im Umweltverbund zurückgelegten Arbeitsweg auf das E-Auto verlegen, bzw. sich ein solches zusätzlich anschaffen. Hierbei spielt auch die Lage des Betriebes und der derzeitige Modal Split der Arbeitswege eine Rolle. Ist der MIV-Anteil hoch, da die Firma außerhalb liegt und schlecht mit dem ÖV zu erreichen ist, kann die Maßnahme sinnvoll sein. Bei einer innerstädtischen Lage mit kurzen Arbeitswegen und guter ÖV-Erschließung wären eher negative Effekte zu erwarten. Darüber hinaus werden öffentlich nutzbare, aber nicht öffentliche Ladesäulen zunehmend von Einzelhandelsunternehmen, Tankstellen und Autohäusern angeboten.

4.4 Mobilitätspunkte

Eine zentrale Rolle bei der Förderung der Elektromobilität aus städtischer Sicht nimmt das Konzept der Mobilitätspunkte (siehe Vorlage V1416/16) ein. Die Einrichtung von intermodalen „Mobilitätspunkten“ soll die bestehenden Angebote im ÖPNV, Carsharing und im Radverleih besser vernetzen und die Elektromobilität über die Installation öffentlicher Schnellladestationen einbinden. Auch die Einbindung von e-Bike-Sharing ist perspektivisch denkbar. Mobilitätspunkte sollen dabei dort eingerichtet werden, wo sie auf kurzen Wegen erreichbar und gut öffentlich wahrnehmbar sind, damit zusätzliche Nutzer die intermodalen Angebote optimal nutzen können. Um auch eine organisatorische Erleichterung des Umstiegs zwischen Auto, Rad und ÖPNV zu erreichen, ist für 2019 die Einführung eines integrierten Zugangsmediums (App, Mobilitätskarte) geplant.

Das Konzept geht von 13 zentralen und 63 wohnortnahmen Mobilitätspunkten aus. Im September 2018 ist der erste Mobilitätspunkt am Pirnaischen Platz in Betrieb gegangen, neun weitere sind derzeit in Planung.

4.5 Energiemanagement/Einbindung regenerativer Energiequellen

Eine theoretisch anzunehmende Vollumstellung der für 2030 prognostizierten Pkw-Fahrleistung der Dresdner auf BEV würde zu einem zusätzlichen Strombedarf von 684 GWh führen, was für Dresden etwa einer 18-prozentigen Steigerung des Stromabsatzes der DREWAG entspräche.

Die Vollumstellung des Busverkehrs der DVB auf Elektrobusse würde einem zusätzlichen Strombedarf von etwa 32 GWh entsprechen, also im 1-Prozent-Bereich des DREWAG-Stromabsatzes liegen. Je nach Laderegime der Busse wären hierfür Netzanpassungen erforderlich, wie z. B. Kapazitätserweiterungen der Betriebshöfe für nächtliches Depotladen.

Die Umstellung des Dresden zuzurechnenden Güterverkehrs würde zu weiteren 423 GWh Strombedarf im Jahre 2030 führen. Diese würden allerdings nur zum Teil in Dresden anfallen, da große Teile des Straßengüterverkehrs auf der Autobahn zurückgelegt werden.

Insgesamt muss man davon ausgehen, dass eine vollständige Elektrifizierung des Straßenverkehrs für die für 2030 prognostizierten Fahrleistungen der Dresdner etwa einen Strombedarf von einem Terrawatt bedeuten würde, was etwa der Erhöhung des Stromabsatzes der DREWAG um ein Viertel entspräche. Eine Vollumstellung bis 2030 ist nicht realistisch, für eine Prognose bis 2050 fehlen aber sowohl belastbare Zahlen zur Verkehrsentwicklung als auch zur Verbrauchsentwicklung.

Wie sich das Laden der 40.000 bzw. 80.000 Elektro-Pkw in Dresden im Jahre 2030 auf das Stromnetz auswirkt, hängt stark von der Ladestrategie der Fahrzeuge ab. Der zusätzliche Gesamtverbrauch würde bei 80.000 BEV und PHEV etwa 130 GWh im Jahr bedeuten, was für Dresden etwa einer 3,4-prozentigen Steigerung des Stromabsatzes der DREWAG entspräche. Ob es zu Netzüberlastungen kommen kann, hängt davon ab, welcher Anteil der Ladung mit Schnellladung erfolgt, wie die Ladevorgänge zeitlich verteilt sind und wie die LIS räumlich verteilt ist.

Detaillierte Untersuchungen der durch Elektromobilität zu erwartenden zusätzlichen Lasten in den einzelnen Umspannwerkgebieten in Hamburg [ZISLER 2018] kamen zu dem Ergebnis, dass bei 100.000 BEV in Hamburg im Jahre 2030 die Reserven im Netz in den meisten Fällen ausreichend wären, in vier Umspannwerkgebieten jedoch Überlastungen zu befürchten seien. Für die kritischen Gebiete kommen als mögliche Lösungen sowohl Netzausbaumaßnahmen als auch intelligente Ladekonzepte in Frage. Auch die Erfahrungen bei der Umstellung von Buslinien der Hochbahn Hamburg [ZISLER 2008] haben gezeigt, dass für das Depotladen der Busse die Anschlussleistungen der Betriebshöfe nicht ausreichend sind und umfangreich ausgebaut werden müssen. Die notwendige Anschlussleistung lässt sich dabei allerdings durch Lademanagement reduzieren.

Verschärfen kann sich die Problematik insgesamt durch den Umstand, dass die geforderten steigenden Reichweiten der BEV zu einem wachsenden Ladeleistungsbedarf auch im privaten Bereich führen werden. So ist abzusehen, dass bei BEV-Reichweiten über 300 km die Nachfrage nach Schnellladeinfrastruktur auch im privaten Bereich steigen wird. Die Sicherstellung der Energieversorgung ist kein Mengenproblem, sondern ein Leistungsproblem. Dabei gibt es Zielkonflikte zwischen den Nutzern/Betreibern der LIS und den Netzbetreibern. Wie die Situation in den einzelnen Umspannwerkgebieten in Dresden aussieht, wäre detailliert zu untersuchen und lässt sich nicht im Rahmen der vorliegenden Studie beantworten.

Nach [SCHMITZ-GRETHLEIN 2018] gibt es für die Netzintegration der Elektromobilität mehrere Optionen:

- Last- und Lademanagement sowie Pufferspeicher (LIS-seitig)
- Begrenzung des Leistungsbezugs durch Verteilnetzbetreiber im Gefahrenfall
- Konventioneller Netzausbau (Kupfer und Erdarbeiten)
- Wirtschaftliche Anreize (flexible Stromtarife)

Wie in Abschnitt 2.4.1 dargelegt, hängt der ökologische Vorteil der Elektromobilität stark vom Anteil der erneuerbaren Energien im verwendeten Strommix ab. Insofern wird die Erreichung des Ziels einer Dekarbonisierung des Verkehrs bis 2050 durch die beiden Faktoren Anteil der Elektromobilität und Anteil der erneuerbaren Energien im Strommix bestimmt. Eine Hauptmotivation der Umstellung auf Elektromobilität besteht in der Möglichkeit, erneuerbare Energien für Mobilität zu nutzen. Energetisch ist es nicht sinnvoll, extra Strom mit Erdgas zu erzeugen und dann batteriebetriebene Kfz zu benutzen.

Deshalb ist es besonders wichtig, den Anteil der erneuerbaren Energien im Strommix von Dresden weiter zu erhöhen. Die DREWAG liegt mit einem über 40-prozentigen Anteil erneuerbarer Energien derzeit über dem deutschen Mittelwert. Allerdings wird auf dem Stadtgebiet von Dresden bisher ein nur sehr geringer Anteil regenerativen Stroms erzeugt.

4.6 Carsharing, Taxi- und Lieferverkehr

4.6.1 Carsharing

Dem aktuellen Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD zufolge soll die Förderung für die Umrüstung und Anschaffung von E-Taxen, E-Bussen, E-Nutzfahrzeugen und Carsharing verstetigt werden. Bei den letzten Förderaufrufen für Elektrofahrzeuge betrug die Förderquote für Unternehmen nur 40 Prozent der Mehrkosten von E-Fahrzeugen gegenüber vergleichbaren Modellen mit Verbrennungsmotor. In der Folge setzen viele Carsharing-Unternehmen aufgrund der höheren Kosten und der geringeren Auslastung von E-Fahrzeugen weiterhin auf konventionelle Fahrzeuge.

In Dresden bestehen derzeit ca. 150 Carsharing-Stationen, die z.T. zu Mobilitätspunkten erweitert, z.T. aber auch in ihrem Bestand erhalten werden sollen. Bisher sind vier Elektrofahrzeuge im Carsharing in Dresden im Einsatz.

Das im September 2017 in Kraft getretene Carsharing-Gesetz der Bundesregierung hat juristisch geklärt, dass Kommunen auf Bundesstraßen in ihrer Zuständigkeit Stellplätze für stationsbasierte Carsharing-Anbieter als Sondernutzung einrichten können. Die Umwidmung öffentlicher Stellplätze zu Carsharing bzw. E-Carsharing-Stellplätzen kann die Verfügbarkeit, Attraktivität und Sichtbarkeit des Carsharing-Angebotes erhöhen.

Voraussetzung für die Weiterentwicklung von E-Carsharing ist die Ausrüstung der Carsharing-Stellplätze mit Ladesäulen im Rahmen von Förderprojekten, so wie es bereits in Zusammenarbeit mit der DREWAG erfolgt. Als Maßnahme mit hoher Priorität bei geringen Kosten wird in [NOW 2014] eine Imagekampagne auf kommunaler Ebene für das E-Carsharing gesehen. So könnten z. B. im Rahmen von kommunalen Veranstaltungen Probefahrten im E-Carsharing angeboten und die Technik vorgestellt werden. Dadurch kann sich eine Win-Win-Situation für alle Beteiligten ergeben: Die Kommune demonstriert Klimaschutz-Engagement, die Carsharing-Anbieter lernen die Interessenslage und Hemmnisse potenzieller Nutzer kennen und die Bürger können sich unverbindlich informieren und mit dem Thema Elektromobilität vertraut machen.

4.6.2 Taxi

Im Taxibereich werden elektrische Fahrzeuge bisher nur sehr begrenzt benutzt. Das Erleben der Elektromobilität bei einer Taxifahrt hätte möglicherweise eine multiplikative Wirkung. In Dresden fährt derzeit ein Tesla als Taxi. Der Möglichkeit, den Tesla am kostenlosen Supercharger zu laden und somit die Betriebskosten extrem gering zu halten, hat Tesla durch die im Dezember 2017 veröffentlichte „Super Charger Fair Use Policy“ einen Riegel vorgeschnitten. Diese besagt, dass die Nutzung der Schnellladestationen mit gewerblich betriebenen Taxis nicht mehr zulässig ist.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Mehrkosten bei der Anschaffung elektrischer Fahrzeuge und die begrenzte Reichweite, die z. B. auch einen Schichtbetrieb der Fahrzeuge verhindert, für die geringe Nutzung der E-Autos als Taxi ursächlich sind. Ein weiterer Grund waren Probleme mit der Novellierung der Eichverordnung Ende 2015, die die Nutzung von Elektrofahrzeugen nahezu unmöglich machten. Diese Probleme sollte von der Bundesregierung durch eine weitere Novellierung der Eichverordnung vom Mai 2017 geregelt werden, was aus Sicht der Taxibetreiber nicht vollständig gelungen ist.

Die Koalitionsvereinbarung von CDU, CSU und SPD formuliert das Ziel, dass Länder, Städte und Kommunen künftig in der Lage sind, „verbindliche Vorgaben und Emissionsgrenzwerte für den gewerblichen Personenverkehr wie Busse, Taxen, Mietwagen und Carsharing-Fahrzeuge sowie für Kurier-, Express-, Paket-Fahrzeuge zu erlassen“²¹. Dadurch könnten Kommunen in die Lage versetzt werden, beispielsweise nur noch E-Taxen zuzulassen. Derzeit handelt es sich dabei aber noch um Absichtserklärungen, deren Umsetzung abzuwarten bleibt.

4.6.3 Logistik

Im Bereich der City-Logistik gibt es derzeit vielfältige Versuche, die üblichen dieselbetriebenen Transporter durch alternative Systeme zu ersetzen. Als Beispiele seien genannt:

- Batterieelektrische StreetScooter der Deutschen Post
- Lieferfahrzeuge mit Wechselbehälter, der gleichzeitig als Energiespeicher dient (Fraunhofer Magdeburg)²²
- Elektro-Stehroller mit Kofferaufbau²³
- Kombination von Elektro-Pickups mit Standard-Boxen in Den Haag²⁴
- Batterieelektrische Lkw (z. B. Renault)
- Kombination von Lkw als City-Hub und Auslieferung mit Elektrofahrzeug²⁵
- Kombination von Containern (Mikrodepots) und Auslieferung mit elektrisch unterstützten Lastenfahrrädern, E-Bikes oder zu Fuß (u.a. Hamburg, München)
- Kombination von Güterschiff und Auslieferung mit elektrisch unterstützten Lastenfahrrädern (Paris)²⁶

In Paris dürfen ab 2020 keine Lkw mit Dieselmotor mehr verkehren. Die Transportfirmen reagieren darauf, indem sie bei der Erneuerung ihrer Flotten schrittweise Lkw mit Flüssiggasantrieb oder mit Elektromotor anschaffen. Die Stadt hat fünf Flächen ausgewiesen, auf denen per Ausschreibung auszuwählende Logistikgruppen Hubs für den Umschlag der für den Innenstadtbereich bestimmten Güter und Sendungen errichten können. Lieferparkplätze am Straßenrand dürfen nur noch zu bestimmten Stunden und nur durch Fahrzeuge mit einer Plakette der Stadt benutzt werden. 2013 wurde eine Charta für nachhaltige Citylogistik aufgestellt, die auch zahlreiche Firmen unterzeichnet haben und deren Empfehlungen und Vorschriften sie umsetzen.²⁷

Ähnlich wie im Taxibereich werden die meisten der neuen Systeme im Rahmen von Forschungsprojekten mit Fördermitteln betrieben. Die Nachhaltigkeitsstudie des Bundesverbandes Paket & Expresslogistik BIEK [TU NÜRNBERG 2017], untersucht die möglichen Alternativen zum Dieseltransporter. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass Brennstoffzellenfahrzeuge und Hybride in dem Segment nicht verfügbar sind. Bezuglich des Einsatzes von BEV in der Stadtlogistik kommt die Studie zu folgendem Schluss: „Konventionell motorisierte Zustellfahrzeuge können in urbanen Ballungsräumen nur durch BEV ab 12 m³ Ladenvolumen und 1 000 kg Nutzlast logistisch 1:1 ersetzt werden. Das derzeit am Markt verfügbare Angebot ist unzureichend bzw. in der Klasse bis 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht kaum vorhanden. Kleinere BEV bis 5 m³ und mit ca. 600 kg Nutzlast sind marktverfügbar, können jedoch nur unter bestimmten Voraussetzungen und mit einem kleinen Anteil am Logistikkonzept eingesetzt werden. Eine Wirtschaftlichkeit ist bei BEV infolge der hohen Anschaffungskosten trotz der niedrigeren operativen Energiekosten absolut nicht gegeben, was eine flächendeckende Verbreitung dieser Technologie ohne flankierende politische Maßnahmen verhindert. Erst bei einem Preisniveau von mindestens 3,50 bis 4,50 € pro Liter Dieselkraftstoff sind BEV wirtschaftlich, unter der Annahme einer neunjährigen Nutzungsdauer der Batterien und ohne Entsorgungskosten. Hinzu kommen weitere logistische Effizienzverluste gegenüber Dieselfahrzeugen und die hohen Einmalinvestitionen von bis zu 700.000 € pro Depot für Schnelladestationen, ohne Berücksichtigung von ggf. erforderlichen Hausanschlusserweiterungen oder Lademanagementsystemen zur temporären Begrenzung der Anschlussleistung. Zudem ist zu beachten, dass im

²¹ <https://www.electrive.net/2018/02/07/was-der-koalitionsvertrag-in-puncto-e-mobilitaet-hergibt/>

²² <https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/de/dokumente/publikationen/elektromobilitaet-fuer-city-logistik-fraunhofer-iff.pdf>

²³ <https://stintum.com/modellen/>

²⁴ <https://www.logistra.de/news-nachrichten/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik/9056/maerkte-amp-trends/city-logistik-dhl-setzt-elektro-pickups-mit-st>

²⁵ <https://www.dvz.de/rubriken/logistik/single-view/nachricht/citylogistik-dachser-testet-huckepack-konzept-in-paris.html>

²⁶ <https://www.dvz.de/rubriken/land/binnenschiffahrt/single-view/nachricht/city-logistik-auf-der-seine.html>

²⁷ <https://www.dvz.de/rubriken/logistik/single-view/nachricht/citylogistik-dachser-testet-huckepack-konzept-in-paris.html>

Lebenszyklus eine positive Ökobilanz von BEV nur bei 100-prozentigem Betrieb mit Ökostrom entsteht, was zusätzliche Stromkosten verursachen kann.“

Als bereits heute wirtschaftliche Lösung werden in [TU Nürnberg 2017] die Mikro-Depots in Verbindung mit Lastenräder beschrieben, wie sie in einigen Pilotprojekten bereits eingesetzt werden: „Das Mikro-Depot-Konzept ist bei systematischer stadtgeografischer Vorauswahl von geeigneten Zustellgebieten und anschließender Zeitreihenanalyse der Sendungsstrukturen in diesen Gebieten auf Straßenzugebene im operativen Betrieb grundsätzlich wirtschaftlich. Es können Ersetzungsgrade von Zustellfahrzeugen der Kategorie mittel (bis 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht, z. B. MB Sprinter mit 12 m³ Ladevolumen) durch Lastenräder in Höhe von 1,1 bis 1,3 erzielt werden.“

Als Handlungsempfehlung an die Politik wird die Schaffung von Rechtssicherheit für mobile Mikro-Depots im öffentlichen Straßenraum in Analogie zur geplanten gesetzlichen Privilegierung von Parkflächen für Carsharing-Fahrzeuge gefordert. Ähnlich wie im Taxibereich ist es im Logistikbereich derzeit schwierig, Empfehlungen für das weitere Vorgehen auf kommunaler Ebene abzugeben. Es bleiben die Ergebnisse der Förderprojekte und die Schaffung der rechtlichen Grundlagen abzuwarten.

4.7 Öffentlicher Verkehr

Wie bereits in Abschnitt 3.3.1 dargelegt ist, steht der Elektrobus in Konkurrenz mit den sehr effizienten und relativ umweltfreundlichen Dieselbussen, bei denen die Abgasreinigung im Gegensatz zum Diesel-Pkw bereits bei EURO VI-Fahrzeugen zuverlässig funktioniert [LFUG 2017], [BELICON 2017]. Für lokale Bereiche mit großen Luftschastoffproblemen ist gegebenenfalls der Einsatz von Elektrobussen zu prüfen. Langfristig wird die Zielstellung der Dekarbonisierung des Verkehrs auch im Busbereich eine umfassende Elektrifizierung erfordern. In der aktuellen Situation ist nach den vorliegenden Studien die Umstellung der Busflotte auf EURO VI-Dieselbusse die in der Regel sinnvollere Alternative. Aufgrund der hohen Umstellungserfordernisse beim Übergang vom Diesel- zum Elektroantrieb ist ein Vorantreiben des Elektrobusthemas in Einzelprojekten in Abhängigkeit der Förderbedingungen sinnvoll, um abrupte Friktionen im System und Fehlinvestitionen bei langfristig wirksamen Infrastruktur-Einheiten zu vermeiden.

Anders ist die Situation beim geplanten Ersatz von stark frequentierten Buslinien durch neu zu errichtende Stadtbahnen. Die Stadtbahnen sind sowohl als Maßnahmen im VEP2025 plus als auch im IEuKK enthalten und stellen einen zentralen Bereich bei der Dekarbonisierung des öffentlichen Verkehrs in Dresden dar. Die bisherigen Planungs- und Umsetzungsprozesse weichen erheblich vom ursprünglichen Zeitplan ab, so dass bisher keine Minderungspotenziale realisiert werden konnten. Hier sind Verbesserungen anzustreben.

Die zunehmende Multimodalität, die durch die geplanten Mobilitätspunkte gefördert werden soll, wird auch neue Anforderungen an die Abrechnungssysteme der Mobilität stellen. Hier sollte die Entwicklung einer multimodalen Mobilitätskarte angestrebt werden, mit welcher unterschiedliche Verkehrsangebote (ÖPNV, E-Carsharing, E-Bikesharing, Ladesäulen für private E-Fahrzeuge, etc.) genutzt und auch abgerechnet werden können. Mit der Einführung einer solchen multimodale einsetzbaren Karte wird dem Bürger das Umsteigen von einem Verkehrsträger auf den anderen bzw. die Nutzung emissionsärmer Wegeketten erleichtert.

4.8 Parkraummanagement

Das Elektromobilitätsgesetz sieht die Möglichkeit vor, für Elektrofahrzeuge das Parken generell oder während des Ladevorgangs kostenfrei zu ermöglichen. Die Landeshauptstadt Stuttgart beispielsweise wendet dies an, um den Anteil von Elektrofahrzeugen zu erhöhen. Die Maßnahme stellt möglicherweise einen gewissen Kaufanreiz für diese Fahrzeuge dar, da ein Teil der erhöhten Anschaffungskosten dadurch ausgeglichen wird.

Sie wird aber aus verkehrsplanerischer Sicht kritisch betrachtet. Es besteht die Gefahr, dass solche kostenfreien innerstädtischen Parkplätze von Beschäftigten benutzt werden, welche bisher den Umweltverbund für den Arbeitsweg nutzten. Ebenso hebelt diese Maßnahme damit auch eine Zielrichtung des Parkraummanagements aus, die Stellplätze für potentielle Kunden und Besucher der Innenstadt vorzuhalten. Bezüglich der Kostenfreiheit von Stellplätzen für Elektro-Pkw muss man sich auch die Frage stellen, wie lange, bzw. bis zu welchem Elektroanteil man dieses Vorgehen durchhalten könnte? Welche Kosten entstehen für die Stadt bei einem 30prozentigen Elektroanteil? Wie schwer wird es dann, die Maßnahme nach dem Markthochlauf wieder aufzuheben, wenn viele die Parkkosten bereits in ihre PKW-Kaufentscheidung einbezogen haben? Probleme entstehen hier auch bei der Abgrenzung von BEV und PHEV. Auch PHEV dürfen die Ladesäulen nutzen, es handelt sich dabei aber zum großen Teil um hochmotorisierte Fahrzeuge, deren Abstellen in der Innenstadt nicht zusätzlich subventioniert werden sollte. Preisnachlässe wären im Anwohnerparken für BEV denkbar. Ob dies rechtlich möglich ist, wäre zu prüfen.

Sinnvoll erscheint auch der Ansatz, Null-Emissions-Parkzonen zu schaffen und in bestimmten Bereichen nur BEV parken zu lassen, allerdings zu üblichen Parkgebühren. Diese Stellplätze sollten nicht zusätzlich geschaffen, sondern aus dem Bestand entnommen werden.

Vielfach problematisch ist, dass Stellplätze mit Ladesäule von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren missbräuchlich genutzt werden und somit keine Ladevorgänge stattfinden können. Hier ist eine konsequente Ahndung durch die Vollzugsbehörden notwendig. Ebenso ist es wichtig, dafür zu sorgen, dass die Stellplätze an den Ladesäulen nicht über den Ladevorgang hinaus blockiert werden. Anzustreben ist, dass die Verfügbarkeit von Ladesäulen dem Nutzer digital angezeigt wird, um einen Ladesäulen-Suchverkehr zu vermeiden.

4.9 Null-Emissions-Zonen

Eine Kombination von Maßnahmen zur Luftreinhaltung und zur Förderung der Elektromobilität kann in Form einer Ausweitung einer Null-Emissions-Zone in der Innenstadt erfolgen. Ein genau abgegrenzter Bereich der Innenstadt könnte dabei nur für lokal emissionsfrei fahrende Fahrzeuge und solche mit Sondergenehmigung zugelassen werden. Dies sollte ein Bereich sein, der jetzt noch mit allen Fahrzeugen befahrbar und nicht bereits für Kfz gesperrt ist. Der innerstädtische Verkehr wird dort auf ÖPNV-, Sharing- und Elektrofahrzeuge limitiert. Dies kann die Immissionsbelastung in Innenstädten deutlich reduzieren und gleichzeitig klimafreundlicheren Verkehrsmitteln einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Diese Maßnahme kann sich zunächst auf eine relativ kleine Kernzone beziehen und ggf. später ausgeweitet werden.

Als Vorteile ergäben sich:

- deutliche Effekte für die Luftreinhaltung
- deutlicher Anreiz zum Kauf eines lokal emissionsfreien Pkw
- Steigerung der Aufenthaltsqualität im betroffenen Bereich (Verkehrsreduzierung, Lärmreduzierung)
- Wettbewerbsvorteil für den ÖV

Als Probleme sind zu erwarten:

- Politische Umsetzbarkeit (restriktive Maßnahme)
- Kontrollierbarkeit (nur ein Teil der BEV ist mit E-Kennzeichen ausgestattet, fährt der PHEV wirklich elektrisch?)
- Verwaltungsaufwand für Ausnahmeregeln und Kontrolle
- mit der Verbreitung der E-Mobilität nachlassender Effekt der Verkehrsberuhigung

4.10 Schaffung von Modellquartieren

Im Rahmen des EU-Projektes „MatchUP“ ist Dresden Lighthouse City. Innerhalb des Projektes geht es darum, intelligenter, saubere Städte zu schaffen, die den Klimaschutz voranbringen können. Der Dresdner Stadtteil Johannstadt soll durch die

Kombination mit weiteren Stadtentwicklungsmaßnahmen zu einem intelligenten und energieeffizienten Stadtquartier entwickelt werden. Im Bereich Elektromobilität sind für die Johannstadt folgende Maßnahmen geplant:

- Einrichtung von Mobilitätspunkten mit Lademöglichkeit für E-Mobile
- Bereitstellung von Ladepunkten für Mieter
- Intelligente Messtechnik und Weiterentwicklung der Zugangs- und Abrechnungsmodelle von Ladevorgängen
- Bereitstellung von e-Carsharing-Fahrzeugen

Im Rahmen dieses Projektes in der Johannstadt oder ggf. auch in anderen Stadtteilen sollte angestrebt werden, für spezielle Nutzergruppen spezifische Angebote zu konzipieren, bei denen nachhaltige Wohn- und Mobilitätskonzepte miteinander kombiniert werden. Dies kann dazu beitragen, die Nachfrage nach umweltschonenden Wohn- und Lebensformen zu bündeln und marktfähige Angebote zu platzieren. Solche zielgruppenspezifischen Konzepte können ggf. Vorbildcharakter für ähnliche Folgeprojekte haben.

4.11 Zusammenfassung Maßnahmen

Die Landeshauptstadt Dresden kann in vielfältiger Weise die Elektromobilität fördern:

- Den Ausbau der Ladeinfrastruktur durch private Anbieter organisatorisch und durch die Bereitstellung von Flächen unterstützen
- Die Schaffung von Lademöglichkeiten für Wohnungsneubauten und Stellplatzneubauten durch entsprechende Auflagen regeln
- Mit der (geförderten) Umstellung des kommunalen Fuhrparks Erfahrungen mit Elektromobilität sammeln und als Vorbild dienen
- Mit der Anschaffung von Pedelecs für die Stadtverwaltung als Vorbild für eine moderne, umweltfreundliche Mobilität eines großen Arbeitgebers dienen
- Mit der Umsetzung des Konzeptes der Mobilitätsstationen multimodales Verhalten fördern und die Randbedingungen des E-Carsharing verbessern
- Die gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie z. B. das Carsharing-Gesetz zum Vorteil der E-Mobilität ausnutzen, sobald die Umsetzung auch für Sachsen geregelt ist
- In Zusammenarbeit mit den Akteuren der City-Logistik innovative Lösungen entwickeln und umsetzen
- Den Ausbau des Stadtbahnnetzes vorantreiben
- Die Umstellung der öffentlichen Busflotte auf elektrische Fahrzeuge unter Beachtung der technologischen Entwicklungen und der Förderbedingungen forcieren
- Die Umstellung des Energiesystems auf steigende Anteile erneuerbarer Energie vorantreiben
- Null-Emissions-Parkzonen oder Null-Emissions-Fahrzonen ausweisen
- Stadtteilbezogene Modellprojekte initiieren

5. Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Städte

Die Potenzialstudie Elektromobilität entsteht im Rahmen des grenzüberschreitenden Projektes e-FEKTA. Die tschechische Projektpartnerstadt Litoměřice erstellt ebenfalls im Rahmen des Projektes eine Potenzialstudie Elektromobilität. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse für die Großstadt Dresden auf andere, kleinere sächsische Städte soll deshalb am Beispiel der Stadt Meißen abgeschätzt werden. Meißen hat eine vergleichbare Größe wie Litoměřice, ist ebenfalls als Mittelzentrum einzustufen und beide Städte sind jeweils mit ihrer historischen Altstadt ein bedeutendes touristisches Ziel in der Region.

5.1 SrV-Daten Meißen und Dresden im Vergleich

Die Stadt Meißen war an den SrV-Durchgängen 1977, 1987, 2008 und 2013 beteiligt. Die Einwohnerzahl der Stadt ist in den letzten Jahren steigend. Meißen weist außerdem einen positiven Pendlersaldo auf (siehe Tabelle 9).

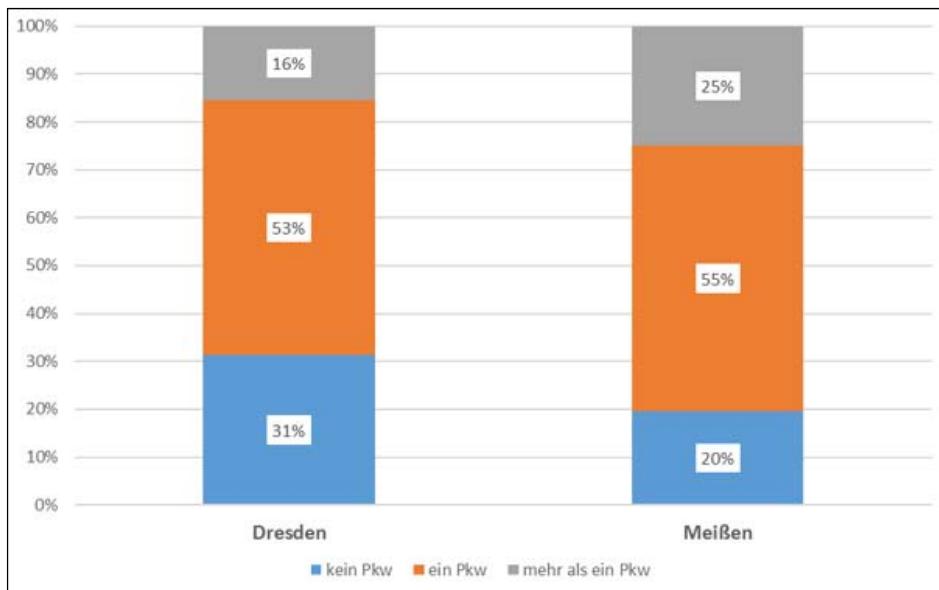
	Anzahl
Einwohner (Stand 2013)	27.135
Einwohner (Stand Ende 2016) ²⁸	28.487
Haushalte (Stand 2011)	14.541
Einpendler nach Meißen (2015)	8.609
Auspendler aus Meißen (2015)	5.415
Pendlersaldo	3.194

Quelle: [STADT MEISSEN 2018]

Tabelle 9: Strukturdaten Meißen

In Abbildung 46 ist die Pkw-Ausstattung der Dresdner und Meißen Haushalte nach SrV 2013 dargestellt. Dies schließt eigene und dienstliche Pkw ein. Während in Dresden 31 Prozent der Haushalte über keinen eigenen Pkw verfügen, sind das in Meißen nur 20 Prozent. Der Effekt der mit der Stadtgröße abnehmenden Motorisierungsrate ist anhand der SrV-Zahlen deutschlandweit zu beobachten. So haben in Berlin 40 Prozent der Haushalte keinen eigenen Pkw, während dieser prozentuale Anteil in den beteiligten Unter-/Grund-/Kleinzentren und ländlichen Gemeinden im einstelligen Bereich liegt. Ein wesentlicher Grund dafür ist das bessere ÖV-Angebot in größeren Städten. Dies spiegelt sich auch im Modal Split (siehe Abbildung 49) wider.

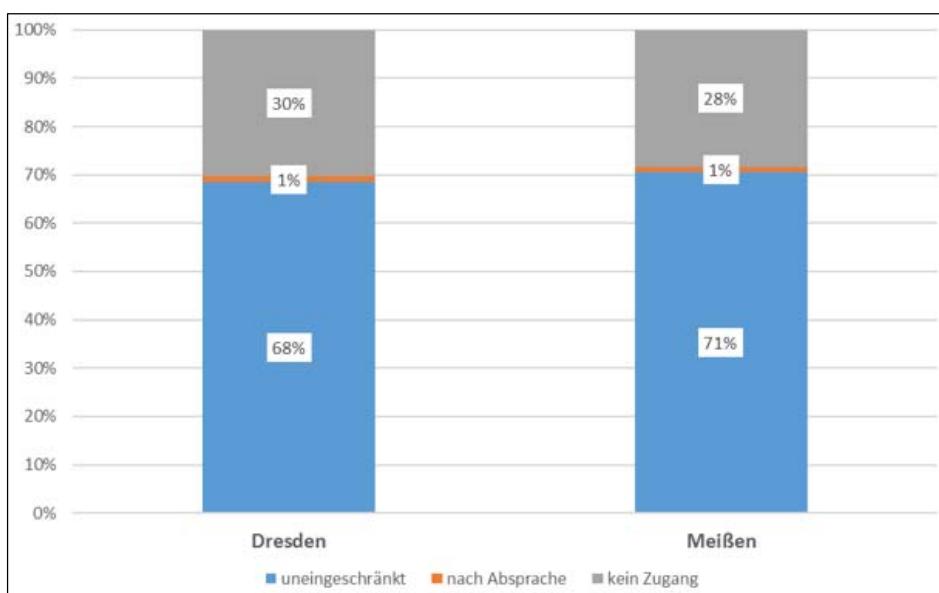
²⁸ <http://www.stadt-meissen.de/Statistisches.html>



Quelle: TU Dresden 2014

Abbildung 46: Pkw-Ausstattung der Haushalte in Dresden und Meißen

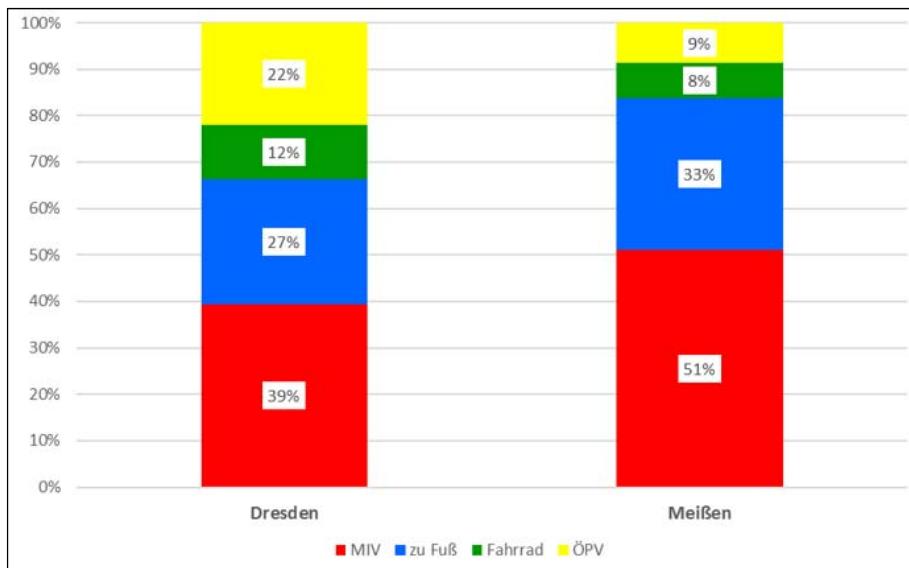
In Abbildung 47 ist die Fahrrad-Verfügbarkeit der Personen für Dresden und Meißen am Stichtag nach SrV 2013 dargestellt. Hier sind nur geringe Unterschiede zu erkennen. Jeweils ein knappes Drittel der Befragten verfügte am Stichtag über kein Fahrrad. Auch die Verfügbarkeit der Elektrofahrräder lag mit 0,5 Prozent in beiden Städten auf ähnlich geringem Niveau.



Quelle: TU Dresden 2014

Abbildung 47: Verfügbarkeit eines Fahrrades am Stichtag

Abbildung 48 zeigt den Modal Split der Wege der Dresdner und der Meißner. Der Anteil der Wege im NMIV ist bei Dresden (39 Prozent) und Meißen (41 Prozent) auf ähnlichem Niveau. Deutliche Unterschiede zeigen sich beim MIV (Dresden 39 Prozent, Meißen 51 Prozent) und beim ÖV (Dresden 22 Prozent, Meißen 9 Prozent). Dieser Effekt des tendenziell sinkenden MIV-Anteiles bei steigender Stadtgröße lässt sich über alle SrV-Städte beobachten. Der MIV-Anteil der Mittelzentren liegt zwischen 48 Prozent (Wittenberg) und 65 Prozent (Dippoldiswalde), bei den Großstädten liegt der Wert zwischen 30 Prozent (Berlin) und 41 Prozent (Düsseldorf). Der ÖV-Anteil der Mittelstädte liegt zwischen 2,5 Prozent (Bautzen) und 17 Prozent (Werder), bei den Großstädten liegt der Wert zwischen 16 Prozent (Bremen) und 27 Prozent (Berlin). Der Fahrradanteil der Mittelstädte liegt zwischen 2 Prozent (Velbert) und 21 Prozent (Verden), bei den Großstädten liegt der Wert zwischen 12 Prozent (Dresden) und 23 Prozent (Bremen). Meißen liegt mit seinen Werten im mittleren Bereich für seine Stadtgröße.



Quelle: TU Dresden 2014

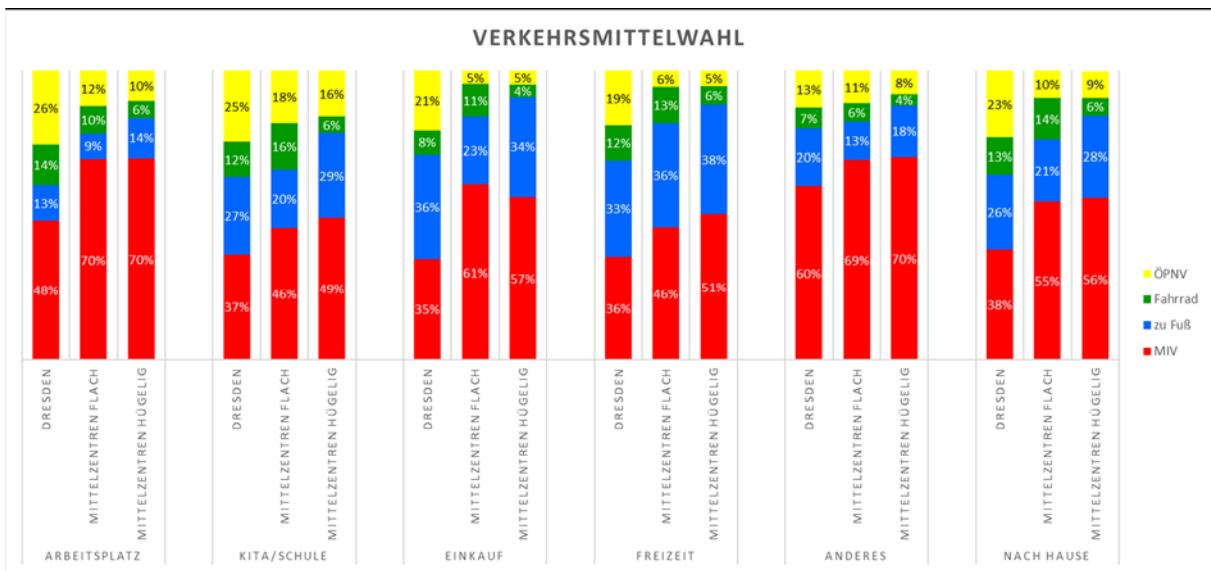
Abbildung 48: Anteil der genutzten Verkehrsmittel bei allen Wegen (bei Wegen bis 100 km Länge)

Abbildung 49 zeigt eine nach den verschiedenen Wegezwecken differenzierte Darstellung für die Verkehrsmittelwahl für Dresden, für die Stadtgruppe der flachen Mittelzentren und die der hügeligen Mittelzentren. Meißen zählt zu den hügeligen Mittelzentren. Litoměřice wäre ebenfalls in diese Gruppe einzuordnen.

Bei den MIV-Anteilen fällt auf, dass besonders große Unterschiede zwischen Dresden und den Mittelzentren bei den Arbeits- und den Einkaufswegen bestehen. Für diese Wege wird in den Mittelzentren deutlich häufiger der Pkw benutzt. Dementsprechend ist bei diesen Wegen der ÖV-Anteil bei den Mittelzentren deutlich geringer. Als Ursachen lassen sich hier vermuten:

- Besseres ÖV-Angebot in Dresden
- Bessere Pkw-Abstellmöglichkeiten in Mittelzentren
- Höhere MIV-Reisegeschwindigkeit in Mittelzentren
- Weitere Wege zu Einzelhandelsstandorten aufgrund der geringeren baulichen Dichte

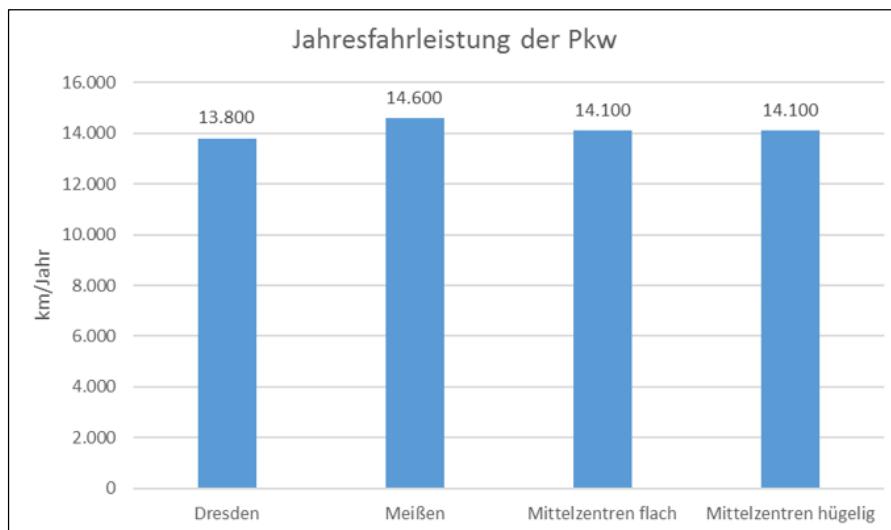
Die Unterschiede zwischen den flachen und den hügeligen Mittelzentren sind bei den MIV- und ÖV-Anteilen hingegen eher gering. Hier bestehen vor allem Unterschiede in den Radverkehrsanteilen, die bei den als hügelig eingruppierten Städten nur etwa die Hälfte der Prozentpunktanteile der flachen Städte erreichen. Dies wird aber größtenteils von den in den hügeligen Städten erhöhten Fußweganteilen ausgeglichen.



Quelle: TU Dresden 2014

Abbildung 49: Verkehrsmittelwahl nach Wegezweck für Dresden und die Stadtgruppe Mittelzentren

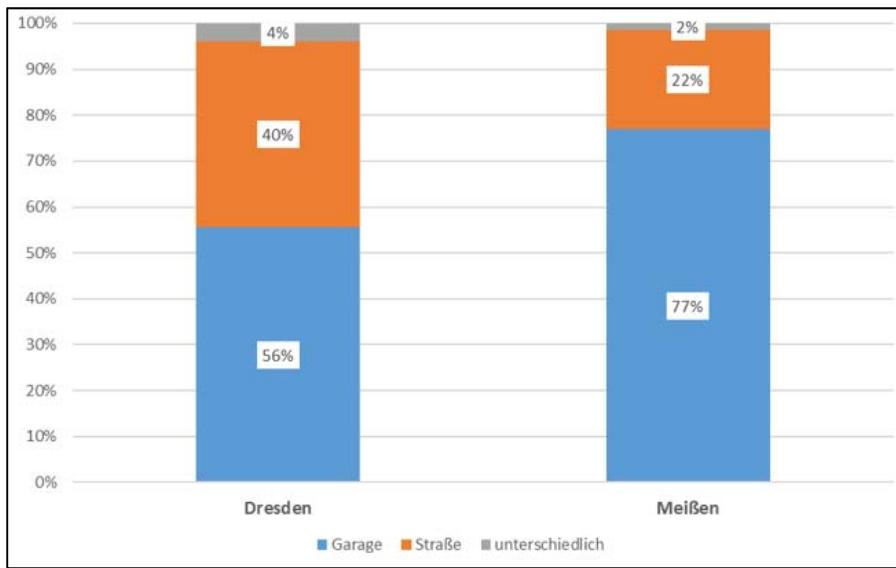
In Abbildung 50 ist die mittlere jährliche Fahrleistung der Pkw nach SrV 2013 [TU DRESDEN 2014] dargestellt. Für die mittlere jährliche Fahrleistung eines Dresdner Pkw wurden 13.800 km/Jahr ermittelt. Die mittlere Jahresfahrleistung eines Meißen Pkw liegt mit 14.600 km um 6 Prozent höher. Die Mittelwerte der Fahrleistung für flache und hügelige Mittelzentren unterscheiden sich nicht und liegen mit 14.100 km zwischen dem Dresdner und dem Meißen Wert.



Quelle: TU Dresden 2014

Abbildung 50: Jahresfahrleistung der Pkw

Abbildung 51 zeigt, wo die Dresdner und die Meißen ihre Pkw regelmäßig abstellen, wenn sie zuhause sind und den Pkw nicht nutzen. Während in Dresden nur 56 Prozent der Pkw auf privaten bzw. personengebundenen Stellplätzen stehen, sind das in Meißen 77 Prozent.



Quelle: eigene Darstellung nach SrV 2013

Abbildung 51: Abstellort des eigenen Pkw

5.2 Kfz-Bestandsdaten im Vergleich

In Tabelle 10 sind die Zulassungszahlen für die Landeshauptstadt Dresden, die Stadt Meißen und den Zulassungsbezirk (ZB) Meißen zusammengestellt.

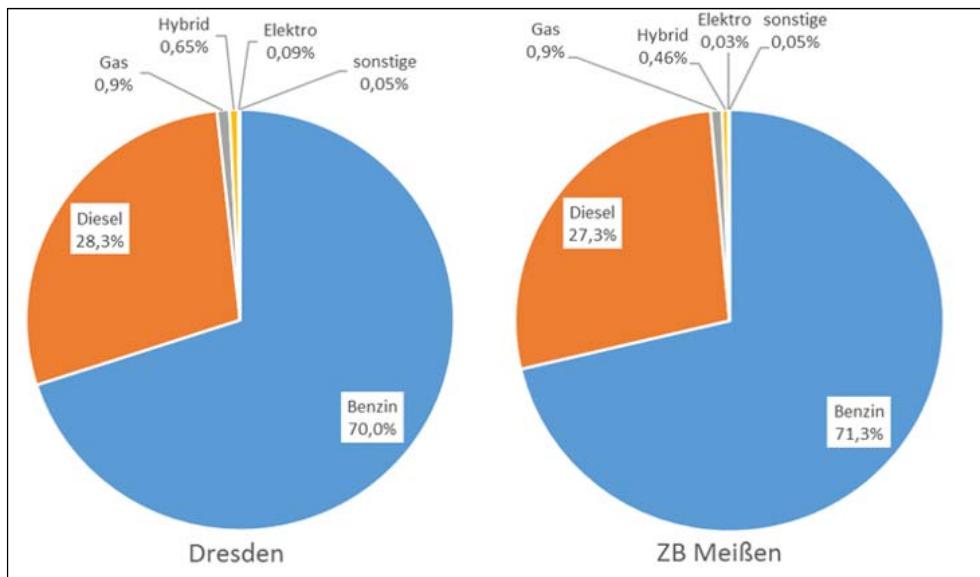
	Krad	Pkw privat	Pkw gewerblich	Lkw	Sonstige	gesamt
Dresden	14.228	192.463	30.173	17.008	3.596	256.894
Stadt Meißen	817	11.597	1.480	1.093	399	15.323
ZB Meißen	10.446	123.927	10.950	13.584	9.190	164.981

Quelle: [KBA 2017/3]

Tabelle 10: Zulassungszahlen für Dresden, Meißen und den Zulassungsbezirk Meißen zum 1. Januar 2017

Der im SrV erhobene höhere Motorisierungsgrad der Meißner gegenüber den Dresdnern lässt sich auch an den Kfz-Bestandszahlen zeigen. Während am 1. Januar 2017 in Dresden 348 Privat-Pkw auf 1.000 Einwohner zugelassen waren, waren es in Meißen 407. Betrachtet man alle Pkw inklusive der gewerblich zugelassenen, gab es in Dresden 403 Pkw/1.000 Einwohner und in Meißen 459 Pkw/1.000 Einwohner.

Bezüglich der Antriebsart der Fahrzeuge liegen die KBA-Daten nicht für die Stadt Meißen, sondern nur für den Zulassungsbezirk Meißen vor. In Abbildung 52 sind die Anteile nach der KBA-Statistik zum 1. Januar 2017 für Dresden und den Zulassungsbezirk Meißen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass nur sehr geringe Unterschiede bestehen. Der Anteil von Elektrofahrzeugen (39 BEV, 624 Hybrid) ist im Zulassungsbezirk Meißen noch geringer als in Dresden. Mit einem BEV-Anteil von 0,03 Prozent liegt der ZB Meißen unter dem Schnitt von Deutschland, welcher bei 0,07 Prozent liegt.



Quelle: [KBA 2017/3]

Abbildung 52: Pkw-Bestand in Dresden und im Zulassungsbezirk Meißen nach Antriebsarten

5.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf kleinere Städte

Die Auswertung der Daten des SrV 2013 hat gezeigt, dass bei den allgemeinen Mobilitätskennziffern wie Wegehäufigkeit, Ausgänge pro Tag oder Entfernung pro Weg keine eindeutige Stadtgrößenabhängigkeit zu erkennen ist. Auch die Flottenzusammensetzung ist offenbar nicht stadtgrößenabhängig, da Dresden und Meißen sehr ähnliche Flottenzusammensetzungen haben. Hierbei gibt es eher regionale Unterschiede z. B. bzgl. höherer Dieselanteile in den alten Bundesländern. Stadtgrößenabhängige Unterschiede zeigen sich dagegen im Motorisierungsgrad und der Pkw-Fähigkeitsbarkeit der Haushalte. Die Pkw-Fähigkeitsbarkeit und die Pkw-Nutzung nehmen mit der Stadtgröße tendenziell ab, was mit dem besseren ÖV-Angebot in den Großstädten und den besseren Abstellmöglichkeiten in den kleineren Städten begründet werden kann. Die Unterschiede in den Abstellmöglichkeiten zeigen sich auch darin, dass in Meißen der Anteil der Pkw, die auf privaten Stellplätzen abgestellt ist, bei 77 Prozent liegt, gegenüber nur 56 Prozent in Dresden.

Während der Fahrradanteil am Modal Split in den Großstädten immer zweistellig ist, streut er in den kleineren Städten zwischen 2 Prozent und 24 Prozent.

Welche Konsequenzen hat das für die Nutzungsmöglichkeiten der Elektromobilität? Prinzipiell gelten die Vorteile der Elektromobilität und die derzeitigen Hemmnisse für deren Entwicklung in beiden Stadtgrößen ähnlich. Als Unterschiede wären zu nennen:

- Der höhere MIV-Anteil ist mit höheren Minderungspotenzialen für Elektrifizierung im MIV-Bereich verbunden.
- Der geringere ÖV-Anteil erschwert aus Wirtschaftlichkeitsgründen die Möglichkeiten zur direkten Elektrifizierung des ÖV mit dem Neubau von Stadtbahnen. Die Möglichkeit des Einsatzes von E-Bussen unterscheidet sich aber nicht wesentlich von der Großstadt.
- Die starke Streuung der Radverkehrsanteile zeigt das erhebliche Potenzial der Radverkehrsförderung, auch unter Einbeziehung der Potenziale von E-Bikes, insbesondere in hügeligen Städten wie Litoměřice und Meißen.
- Die deutlich höhere Verfügbarkeit von privaten Abstellplätzen für Pkw in den kleineren Städten verbessert die Voraussetzungen für die Schaffung privater Lademöglichkeiten an der Wohnung erheblich.

Es sind mit Ausnahme des Neubaus von Stadtbahnlinien kaum Gründe zu erkennen, warum die in Kapitel 4 beschriebenen Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität nicht auch in kleineren Städten anwendbar wären.

6. Zusammenfassung

Einordnung

Das Gesamtziel einer Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95 Prozent kann nur mit einem treibhausgas-neutralen Verkehr im Jahr 2050 erreicht werden. Die dazu notwendige Vorgehensweise lässt sich in der „Dekarbonisierungskaskade“ (siehe Abbildung 31) darstellen. Diese beginnt mit der Verringerung der Verkehrsleistung, beinhaltet Maßnahmen der Verkehrsbündelung und -verlagerung, der Steigerung der Energieeffizienz und endet mit der Umstellung auf eine vollständig regenerative Versorgung für den letztlich verbleibenden Energiebedarf.

Aufgrund der Zielstellung der vorliegenden Studie wurde auf die Maßnahme „Förderung der Elektromobilität“ fokussiert, welche im Rahmen der Dekarbonisierungskaskade den Bereichen Energieeffizienz und Regenerative Kraftstoffe/Energieversorgung zuzuordnen ist.

Für den Einsatz von Elektroenergie im Verkehr gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Elektrofahrräder
- Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)
- Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge (PHEV)
- Oberleitungsfahrzeuge/Oberleitungshybridfahrzeuge
- aus Elektroenergie erzeugte synthetische Kraftstoffe (Power to Liquid (PtL) oder Power to Gas (PtG))
- Brennstoffzellenfahrzeuge

Bestandsentwicklung

Am 1. Januar 2018 waren im Pkw-Bereich 53.861 BEV und 44.419 PHEV in Deutschland zugelassen, was einem Anteil von 0,21 Prozent entspricht. Die Anzahl der Elektro-Pkw hat sich im Jahre 2017 annähernd verdoppelt. Die weitere Entwicklung ist derzeit schwer zu prognostizieren. Würde sich die dynamische Entwicklung des Jahres 2017 bis zum Jahr 2020 fortsetzen, könnten laut NOW 2018 Ende 2020 etwa 1,0 Mio. Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen sein.

Mit 307 BEV und somit einem Anteil von 0,14 Prozent an allen Pkw lag Dresden am 1. Januar 2018 über dem Schnitt von Deutschland, welcher mit insgesamt 53.861 BEV bei 0,11 Prozent lag.

Ladeinfrastruktur

Im 2016 beschlossenen „Nationalen Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ [BMVI 2016] werden die Ziele für den Ausbau von Normallade- und Schnellladepunkten in Deutschland präzisiert. Als bestimmd für die Anzahl der benötigten Schnellladepunkte wird darin insbesondere der Anteil von rein batterieelektrischen Fahrzeugen an der Gesamtzahl von Elektrofahrzeugen gesehen. Im Hochlaufszenario für 2020, das von 500.000 batterieelektrischen Fahrzeugen ausgeht, ergibt sich demnach ein Bedarf von rund 7.000 Schnellladepunkten und 36.000 Normalladepunkten. Damit bleibt die Bedarfsplanung der Bundesregierung deutlich unter dem in der EU-Richtlinie angegebenen Richtwert von einem Ladepunkt für 10 Fahrzeuge, insbesondere wenn man neben den BEV auch die PHEV berücksichtigt. Für die im Februar 2018 in Dresden zugelassenen 307 BEV wären nach dem Rechenansatz der EU-Richtlinie 31 öffentliche Ladesäulen erforderlich, was derzeit gegeben ist.

Eine 2017 veröffentlichte Studie zur Ladeinfrastruktur in Sachsen [TU Dresden 2017/2] kommt zu dem Ergebnis, dass die bestehende Ladeinfrastruktur hinsichtlich der Anzahl der Ladepunkte momentan ausreichend ist, die räumliche Verteilung der Ladeorte jedoch nicht dem Bedarf entspricht, da eine Konzentration an hoch frequentierten Standorten und ein Mangel in der Fläche besteht. Die öffentlichen Ladesäulen haben über den rechnerischen Bedarf hinaus die Funktion von Backups,

um die Nutzung von BEV auch für Fahrten im Grenzbereich der Reichweite oder unter ungünstigen Randbedingungen (Winter) zu ermöglichen.

[VOGT 2017] kommt bezüglich des Nutzungsverhaltens von Elektrofahrzeugen zu dem Ergebnis, dass die private Ladeinfrastruktur, d. h. Ladeinfrastruktur am Wohnort des Nutzers oder auch beim Arbeitgeber, momentan für die Nutzer die wichtigste Lademöglichkeit ist. Etwa 48 Prozent aller Ladevorgänge entfallen auf die private Ladeinfrastruktur zuhause, gut 20 Prozent auf Ladeinfrastruktur beim Arbeitgeber. Der Großteil der heutigen Elektromobilitätsnutzer nimmt die öffentliche Ladeinfrastruktur eher gelegentlich in Anspruch, nur 2,7 Prozent der BEV-Nutzer haben zuhause keine Möglichkeit, ihr Fahrzeug zu laden. BEV werden i. d. R. über Nacht zu Hause und/oder beim Arbeitgeber geladen. Allerdings ist sowohl das Laden zuhause als auch beim Arbeitgeber nicht für alle problemlos möglich. Laut SrV 2013 werden in Dresden nur 56 Prozent der privaten Pkw auf privaten Flächen wie Garagen, Carports oder angemieteten Stellplätzen abgestellt. Auch für diese Flächen kann man nicht davon ausgehen, dass ein Stromanschluss uneingeschränkt verfügbar ist. Insgesamt muss man annehmen, dass deutlich über die Hälfte der Haushalte derzeit keine Möglichkeit hat, am üblichen Abstellplatz in Wohnungsnahe einen Pkw zu laden.

Szenarienrechnung CO₂

Im Rahmen der Studie wurden Modellrechnungen zum elektromobilitätsbedingten CO₂-Minderungspotenzial in Dresden für verschiedene Szenarien des Elektromobilitätshochlaufs angestellt (siehe Tabelle 7).

Die Szenarienberechnungen zeigen, dass Elektromobilität einen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030 der Landeshauptstadt Dresden leisten kann. Auch wenn die hier prognostizierten Minderungsraten für das Jahr 2030 nur zwischen 2 und 12 Prozent liegen, ist eine Dekarbonisierung des Verkehrs bis 2050 nach aktuellen Technikprognosen nur über eine vollständige Elektrifizierung bei vollständig dekarbonisierter Energieerzeugung denkbar. Um diese vollständige Elektrifizierung des Verkehrs bis 2050 zu erreichen, ist ein Anteil von 30 Prozent E-Kfz an der Gesamtflotte in 2030 ein wichtiger Zwischenschritt, auch wenn der für 2030 prognostizierte Strommix immer noch knapp 40 Prozent fossil erzeugte Energie enthält und damit die Klimaschutzeffekte der Elektrifizierung vorerst dämpft.

Ob der angestrebte Flottenwandel in Dresden in dem Zeitraum bis 2030 tatsächlich einsetzt, ist derzeit schwer abzuschätzen und stark vom weiteren Handeln auf Bundes- und EU-Ebene abhängig. Sollen die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens annähernd erreicht werden, ist die Elektrifizierung des Verkehrs nach derzeitigem Wissensstand notwendig.

Maßnahmen

Das Tempo der Elektrifizierung im MIV-Bereich hängt stark von Akteuren außerhalb der Landeshauptstadt Dresden ab. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die technische Entwicklung der elektrischen Fahrzeuge zu konkurrenzfähigen Produkten bezüglich ihrer Nutzungseigenschaften und Wirtschaftlichkeit sowie die steuerlichen Maßnahmen/Sanktionen für andere Antriebsarten. So ist insbesondere der derzeitige Steuvorteil für Dieselkraftstoff in Diskussion. Die Entwicklung wird ferner durch Förderprogramme und fiskalische Maßnahmen auf EU-, Bundes- und eventuell Landesebene beeinflusst.

Bei allen Maßnahmen im MIV-Bereich darf nicht außer Acht gelassen werden, dass das Ziel die Elektrifizierung des nicht vermeidbaren und nicht verlagerbaren MIV ist. Die Ziele des VEP2025+ müssen im Vordergrund stehen, die Förderung der Elektrifizierung des MIV darf keine Förderung des MIV sein. Aus diesem Grunde werden Maßnahmen wie kostenfreie Stellplätze, kostenfreie Abgabe von Ladestrom oder Mitbenutzung von Busspuren durch elektrische Fahrzeuge kritisch gesehen.

Die Landeshauptstadt Dresden kann Elektromobilität durch folgende Maßnahmen fördern:

- Planerische Abstimmung mit dem kommunalen Energieversorger und Dritten bezüglich des Ausbaus und Bereitstellung von Flächen für die Ladeinfrastruktur
- Auflagen bezüglich Ladeinfrastruktur für Stellplätze bei Neubauten in der Stellplatz- und Garagensatzung
- Umstellung des kommunalen Fuhrparks auf E-Kfz (Sammlung von Erfahrungen, Kommune als Vorbild)
- Anschaffung von Pedelecs für die Stadtverwaltung als Vorbild für eine moderne, umweltfreundliche Mobilität

- Umsetzung des Konzeptes der Mobilitätsstationen zur Förderung von Elektromobilität, E-Carsharing und multimodaler Mobilität
- Zusammenarbeit mit den Akteuren der City-Logistik, um innovative Lösungen entwickeln und umsetzen
- Ausbau des Stadtbahnnetzes
- Umstellung der öffentlichen Busflotte auf elektrische Fahrzeuge unter Beachtung der technologischen Entwicklungen und der Förderbedingungen durch die DVB AG
- Umstellung des Energiesystems auf steigende Anteile erneuerbarer Energie vorantreiben
- Null-Emissions-Parkzonen oder Null-Emissions-Fahrzonen ausweisen
- Stadtteilbezogene Modellprojekte initiieren

Fazit

Damit Elektromobilität im motorisierten Verkehr entscheidende Beiträge zum Klimaschutz leisten kann, bleibt festzuhalten:

- Sollen Elektrofahrzeuge mittelfristig einen erheblichen Anteil am Fahrzeugbestand erreichen, sind technische Weiterentwicklungen, insbesondere der Reichweite, Maßnahmen zur Steigerung der Nutzerakzeptanz und deutliche Kostenminderungen erforderlich.
- Sollten diese derzeitigen Nachteile von Elektro-Fahrzeugen staatlicherseits durch monetäre Anreize oder durch Nutzervorteile (z. B. kostenloses Parken, Benutzung der Busspuren) ausgeglichen werden, sind Fehlentwicklungen in Richtung der Verschiebung des Modal Split zugunsten des MIV (relative Attraktivierung MIV), Zunahmen der Motorisierungsrate, Zunahmen der MIV-Fahrleistung und eine Tendenz zu besonders schweren und leistungsstarken elektrischen Pkw zu befürchten. In diesem Sinne wäre eine Förderung der Elektromobilität durch Deattraktivierung fossiler Mobilität der bessere Weg.
- Der Strombedarf der E-Fahrzeuge muss zu einem erheblichen Teil aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Diese sollten dabei möglichst entsprechend der Fahrstromnachfrage zugebaut werden.
- Elektromobilität kann auch einen Beitrag zur Luftreinhaltung in Städten leisten, die Haupteffekte müssen hier aber bis 2030 noch aus der konsequenten Umsetzung der Abgasgesetzgebung bei den Verbrennungsmotoren kommen.
- Im Rahmen der Förderung der Elektromobilität dürfen die im VEP festgeschriebenen Leitziele nicht vernachlässigt werden. Elektromobilität ist keine Alternative, sondern nur ein Baustein zu umweltfreundlicherem Verkehr neben anderen Strategien wie Radverkehrsförderung, ÖV-Förderung, Stadtplanung und Raumordnung.
- Besonders effizient ist Elektromobilität dort, wo sie weitere Ziele des VEP unterstützt, wie bei der Elektrifizierung des ÖV oder bei der Erhöhung der Attraktivität des Radverkehrs durch Pedelecs.
- Gute Potenziale für die Nutzung der Pkw mit Elektroantrieb bietet bereits jetzt der Firmenflottenbetrieb. In diesem Sinne ist die schrittweise Umstellung des kommunalen Fuhrparks auf Elektrofahrzeuge weiter voranzutreiben.

Zusammenfassend soll hier im Sinne der „Dekarbonisierungskaskade“ und des VEP-Ansatzes „Vermeiden-Verlagern-Verbessen“ aus [BECKMANN 2017] zitiert werden: „Insgesamt gesehen bedarf es einer Einbindung der Entwicklung von Antriebstechnologien in integrierte Verkehrskonzepte, die nicht nur auf technologischen Innovationen beruhen dürfen, sondern auch Nachfrage- und Verhaltensänderungen sowie eine verkehrspolitische Steuerung zur Erreichung der definierten Ziele (z. B. CO₂- und NO_x-Reduktion) berücksichtigen müssen. Dabei müssen Handlungsansätze zur Reduktion des Verkehrsaufwandes („Suffizienz“) die Handlungsstrategien der Verbesserung der „Effizienz“ und der modalen Verlagerung („Konsistenz“) ergänzen.“

Anhang 1

Öffentliche Ladestationen in Dresden (Stand Februar 2018)

Bezeichnung	Ort	Anzahl Ladestecker	Abrechnung
DREWAG VW-Zentrum	Hamburger Str. 24	4	Stromticket
DREWAG	Pirnaischer Platz 1	4	Stromticket
ENSO	Friedrich-List-Platz 2	2	Stromticket
HTW	Schnorrstr. 56	3	Stromticket
DREWAG	W.-Reichard-Ring 1	2	Stromticket
Solarwatt AG	Maria-Reiche-Str. 2a	2	Stromticket
DREWAG Elbepark	Peschelstr. 33	3	Stromticket
Gompitz Park DREWAG	Gompitzer Höhe 1	3	Stromticket
DREWAG	Fabrikstr. 5	4	Stromticket
Autohaus Pattusch DREWAG	Kesselsdorfer Str. 300	3	Stromticket
DREWAG Sachsengarage	Liebstädter Str. 5	2	Stromticket
Parkplatz Palaisplatz (DREWAG)	Heinrichstraße 14	4	Stromticket
Bahnhof Neustadt (DREWAG)	Antonstraße 24	3	Stromticket
teilAuto Station	Görlitzer Straße 26	2	Stromticket
Volkswagen Gläserne Manufaktur	Lennéstraße 1	6	Stromticket
Parkplatz Kraftwerk Mitte	Löbtauer Straße 21	4	Stromticket
Elektrobildungszentrum	Scharfenberger Straße	4	Stromticket
	66		
Businesspark	Bertold-Brecht-Allee 22	4	Stromticket
Parkplatz DREWAG	L.-da-Vinci-Straße	4	Stromticket
RWE Effizienz GmbH	Hamburger Str. 11	1	innogy eRoaming
Autohaus Fugel	Hamburger Straße 69-73	1	NewMotion
Adensis	Industriestraße 65	2	Charge&Fuel
Parkhaus Schiller Galerie	Hübnerstraße 8	2	NewMotion
BMW Niederlassung	Dohnaer Straße 99	3	NewMotion
DREWAG Innovationskraftwerk	Liebstädter Straße 1	4	Stromnetz Hamburg
Autohof Altfranken	Rudolf-Walther-Straße 2	2	innogy eRoaming
Autohaus Mätschke	Kesselsdorfer Straße 248	1	NewMotion
Ingenieurbüro für Reg. Energiesysteme	Kügelgenweg 30	1	NewMotion
Citysax	Schönburgstraße 13	5	Park&Charge
Zeitenströmung	Königsbrücker Str. 96	1	Park&Charge
Parkhaus Centrum Galerie	Reitbahnstraße 1	1	Parkgebühren
Maritim Hotel	Devrientstraße 12	1	Parkgebühren
Marcel Schreiber	Fröbelstr. 53	1	Absprache
Marcel Schreiber	Altonaer Straße 4	1	Absprache
Dresdener Reifen Zentrale	Löbtauer Straße 38	1	Absprache
DZH- Schepitz GmbH	Schlüterstraße 37	1	Absprache
Car Cosmetic	Fröbelstraße 51c	2	Absprache
Privater Ladepunkt	Schöne Aussicht 1	2	Absprache

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Pkw-Verfügbarkeit der Dresdner Haushalte.....	8
Abbildung 2: Anteil der Haushalte mit Pkw-Verfügbarkeit und Anteil der Wege mit Pkw am Gesamtverkehr.....	8
Abbildung 3: Verfügbarkeit eines einsatzbereiten Fahrrades.....	9
Abbildung 4: Anteil der genutzten Verkehrsmittel bei allen Wegen der Dresdner (bei Wegen bis 100 km Länge) nach Stadtteilen	9
Abbildung 5: Verkehrsmittelwahl nach Altersgruppen.....	10
Abbildung 6: Verkehrsmittelwahl im SrV-Städtevergleich (Wege im Gesamtverkehr).....	11
Abbildung 7: Verkehrsmittelwahl im Vergleich mit dem Umland (Wege im Gesamtverkehr)	11
Abbildung 8: Entwicklung des Modal Split in Dresden.....	12
Abbildung 9: Verkehrsmittelwahl nach Wegezweck.....	12
Abbildung 10: Verkehrsmittelwahl nach Wegelängenklassen	13
Abbildung 11: Wegelängenverteilung für die Verkehrsmittel	14
Abbildung 12: Verteilung der Pkw-Fahrleistung nach Wegelängen.....	14
Abbildung 13: Verteilung der täglichen Fahrweite pro Pkw-Fahrer/in und der täglichen Fahrleistung der Pkw	15
Abbildung 14: Abstellort des eigenen Pkw am Wohnungsstandort der Dresdner	16
Abbildung 15: Anteil der Carsharing-Nutzer in den Altersklassen (als Fahrer oder Mitfahrer)	16
Abbildung 16: Entwicklung der Fahrleistung von teilAuto Dresden	17
Abbildung 17: Pkw-Bestandsentwicklung in Dresden nach Antriebsart	19
Abbildung 18: Bestandsentwicklung der Elektro-Pkw getrennt nach BEV und PHEV jeweils zum 1. Januar eines Jahres.....	20
Abbildung 19: Mögliche Bestandsentwicklung von Elektrofahrzeugen bis 2020 jeweils zum 31. Dezember eines Jahres	20
Abbildung 20: Treibhausgasemissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte unter durchschnittlichen Bedingungen 2012 in Deutschland	28
Abbildung 21: Treibhausgasemissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte unter den für 2030 prognostizierten Bedingungen in Deutschland	28
Abbildung 22: Klimawirkung verschiedener Verkehrsmittel pro km	31
Abbildung 23: Verlagerungseffekte durch die Pedelec-Anschaffung bei Pendlern, Alltagsnutzern und Freizeitfahrern: Streckenanteil der für die Pedelec-Strecken zuvor genutzten Verkehrsmittel.....	32
Abbildung 24: Entwicklung der Dresdner Pkw-Fahrleistung.....	33
Abbildung 25: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen Dresdner Pkw	33
Abbildung 26: Spezifische CO ₂ -Emissionen des Verkehrs der Dresdner	34
Abbildung 27: Spezifische CO ₂ -Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner	34
Abbildung 28: Entwicklung der spezifischen CO ₂ -Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Aktion-Szenario nach IEuKK, Datenstand 2010	35
Abbildung 29: Entwicklung der spezifischen CO ₂ -Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Aktion-Szenario nach IEuKK, Datenstand 2014	36
Abbildung 30: CO ₂ -Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland 2017 nach Fahrzeugkategorie.....	37
Abbildung 31: Dekarbonisierungskaskade im Verkehrsbereich.....	38
Abbildung 32: Anzahl der in Deutschland betriebenen Busse mit alternativen Antrieben nach Antriebsart	42
Abbildung 33: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 1.....	48
Abbildung 34: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 2.....	49
Abbildung 35: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 3.....	49

Abbildung 36: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des bodengebundenen Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 4.....	50
Abbildung 37: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für 2030.....	51
Abbildung 38: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen des Personenverkehrs der Dresdner im Szenario 4 mit Berücksichtigung des Luftpersonenverkehrs	51
Abbildung 39: Typische Lebensdauer von Autos in Deutschland nach Automarken (Stand 2014).....	52
Abbildung 40: Entwicklung der Flottenemissionsfaktoren 2030 für PM10 (nur Auspuff) für die Fälle ohne E-Pkw, 15% E-Pkw die Benzin-Pkw ersetzen und 15% E-Pkw die Diesel-Pkw ersetzen	54
Abbildung 41: Entwicklung der Flottenemissionsfaktoren 2030 für NOx (nur Auspuff) für die Fälle ohne E-Pkw, 15% E-Pkw die Benzin-Pkw ersetzen und 15% E-Pkw die Diesel-Pkw ersetzen	54
Abbildung 42: Ergebnisse der Vergleichsrechnung zur Entwicklung der verkehrlichen PM10-Auspuffemissionen an der Bergstraße Dresden mit und ohne E-Mobilität.....	55
Abbildung 43: Ergebnisse der Vergleichsrechnung zur Entwicklung der verkehrlichen NO _x -Emissionen an der Bergstraße Dresden mit und ohne E-Mobilität	55
Abbildung 44: Verursacher der PM10-Immissionsbelastung am Messpunkt Stuttgart „Am Neckartor“.....	56
Abbildung 45: Verursacher der NO ₂ -Immissionsbelastung am Messpunkt Stuttgart „Am Neckartor“	56
Abbildung 46: Pkw-Ausstattung der Haushalte in Dresden und Meißen.....	67
Abbildung 47: Verfügbarkeit eines Fahrrades am Stichtag.....	67
Abbildung 48: Anteil der genutzten Verkehrsmittel bei allen Wegen (bei Wegen bis 100 km Länge)	68
Abbildung 49: Verkehrsmittelwahl nach Wegezweck für Dresden und die Stadtgruppe Mittelzentren	69
Abbildung 50: Jahresfahrleistung der Pkw.....	69
Abbildung 51: Abstellort des eigenen Pkw	70
Abbildung 52: Pkw-Bestand in Dresden und im Zulassungsbezirk Meißen nach Antriebsarten.....	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Strukturentwicklung Dresden zwischen 2008 und 2017	7
Tabelle 2:	Kraftfahrzeugbestand in Dresden 2000-2017.....	18
Tabelle 3:	Kfz-Bestand in Dresden im Februar 2018 nach Antriebsart.....	19
Tabelle 4:	Bestehende und geplante Ladeplätze in Dresden nach Angaben der DREWAG.....	25
Tabelle 5:	Wirkungsgrad und Energieverbrauch von Energieträgern aus heimischen Potenzialen von EE-Strom.....	41
Tabelle 6:	Jahresfahrleistung nach Antriebsart.....	46
Tabelle 7:	Ergebnisse der Szenarien.....	50
Tabelle 8:	Stromverbrauch für elektrischen Betrieb des den Dresdnern zuzuordnenden Güterverkehrs.....	53
Tabelle 9:	Strukturdaten Meißen	66
Tabelle 10:	Zulassungszahlen für Dresden, Meißen und den Zulassungsbezirk Meißen zum 1. Januar 2017.....	70

Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom (alternating current)
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEV	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Kfz)
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
CO2	Kohlendioxid
DC	Gleichstrom (direct current)
DVB	Dresdner Verkehrsbetriebe AG
EE	Erneuerbare Energie
Fzkm	Fahrzeugkilometer
g/km	Gramm pro Kilometer
GV	Güterverkehr
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle (Kfz mit konventionellem Antrieb)
IEUKK	Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KBU	Kommunale Bürgerumfrage
Kfz	Kraftfahrzeug
Krad	Kraftrad
L-Bus	Linienbus
LIS	Ladeinfrastruktur
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MZR	Motorisierte Zweiräder
NMIV	Nichtmotorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV	Öffentlicher Personenverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
OH-LKW	Oberleitungshybridlastkraftwagen
PHEV	Plug-In Hybrid Electrical Vehicle (Kraftfahrzeug mit Hybridantrieb, dessen Akkumulator sowohl über den Verbrennungsmotor als auch am Stromnetz geladen werden kann)
Pkm	Personen-Kilometer
Pkw	Personenkraftwagen
PtG	Power to Gas
PtL	Power to Liquid
R-Bus	Reisebus
REEV	Range-Extended Electric Vehicle
SPNV	Schienengebundener Personennahverkehr
SPFV	Schienengebundener Personenfernverkehr
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
SrV	System repräsentativer Verkehrsbefragungen

Strab	Straßenbahn
SSU	Stadt-, Straßen- und U-Bahn
t	Tonnen
tkm	Tonnen-Kilometer
TREMOD	Transport Emission Model
TUD	Technische Universität Dresden
UBA	Umweltbundesamt
VEP	Verkehrsentwicklungsplan
VVO	Verkehrsverbund Oberelbe

Literaturverzeichnis

BAFA 2017

Elektromobilität (Umweltbonus) Zwischenbilanz zum Antragstand vom 30. November 2017, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Eschborn Dezember 2017

BAS 2017

Fahrleistungserhebung 2014-Inländerfahrleistung, BAS-Bericht V 290, Bergisch Gladbach 2017

BAUER 2018

The impact of battery electric vehicles on vehicle purchase and driving behavior in Norway, veröffentlicht in Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 58, Januar 2018

BECKMANN 2017

Elektromobilität: Macht der Wandel des Fahrzeugantriebs den Verkehr umweltfreundlich?, Gruppe emeritierter Verkehrsprofessoren Deutschlands und Österreichs, Berlin/Wien November 2017

BELICON 2017

Vergleichende On-Board (PEMS)-Emissionsvermessung von Euro-V- und Euro-VI-Gelenkbussen unterschiedlicher Hersteller mit konventionellem Dieselkraftstoff nach DIN EN 590 und mit ARAL Super Diesel im Realbetrieb auf der repräsentativen DVB-Stadtbus-Linie 61, Studie im Auftrag der Mobene GmbH & Co. KG und der DVB, August 2017

BMUB 2016

Klimaschutzplan 2050, Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, Berlin, November 2016

BMVI 2014/1

Elektromobilität in Kommunen, Handlungsleitfaden, Herausgegeben vom BMVI, Berlin 2014

BMVI 2014/2

Verflechtungsprognose 2030, Intraplan Consult u.a., Berlin 2014

BMVI 2016

Nationaler Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe als Teil der Umsetzung der Richtlinie 2014/94/EU, Kabinettsbeschluss vom 09.11.2016

EU 2014

Richtlinie 2014/94/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 22.10.2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe, Brüssel 2014

FRIEDRICH 2016

MEGAFON, Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des öffentlichen Nahverkehrs, Studie im Auftrag des VDV e.V., Stuttgart 2016

HENNING 2015

Phasen der Transformation des Energiesystems. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 65, Heft 1/2, (2015), S. 10–13.

IFEU 2011

UMBReLA, Umweltbilanzen Elektromobilität, Ergebnisbericht, Heidelberg 2011

IFEU 2015

Pedelection, Verlagerungs- und Klimaeffekte durch Pedelec-Nutzung im Individualverkehr, IFEU Heidelberg und Institut für Transportation Design Braunschweig, September 2015

IFEU 2017

CO2-Emissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugkategorien, interne Abfrage von TREMOD-Daten, Heidelberg 2017

KBA 2017/1

Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken 1.Januar 2017, Kraftfahrt-Bundesamt 2017

INFRAS AG 2017

Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.3, INFRAS AG Bern 2017

KBA 2017/2

Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umweltmerkmalen 1.Januar 2017, Kraftfahrt-Bundesamt 2017

KBA 2017/3

Fahrzeugzulassungen (FZ) Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Gemeinden 1.Januar 2017, Kraftfahrt-Bundesamt 2017

LFUG 2017

Stickoxidemissionen von Kfz an Steigungsstrecken, Schriftenreihe, Heft 14/2017, Dresden, Dezember 2017

LH DRESDEN 2013

Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept der Landeshauptstadt Dresden 2030, Dresden auf dem Weg zur energieeffizienten Stadt, Umweltamt Dresden 2013

LH DRESDEN 2014/1

Verkehrsentwicklungsplan 2025plus in der Beschlussfassung des Stadtrats vom 20.11.2014, Dresden 2014

LH DRESDEN 2014/2

Ergebnisse des SrV 2013 für Dresden und das Umland, Zusammenstellung wesentlicher Fakten, Dresden 2014

LH DRESDEN 2016

Absichtserklärung zum Handlungsprogramm "Mobilität der Zukunft", Dresden, Nov. 2016

LH DRESDEN STATISTIK 2016

Dresden in Zahlen, 3. Quartal 2016, Landeshauptstadt Dresden Kommunale Statistikstelle, Dezember 2016

LH DRESDEN STATISTIK 2017/1

Kommunale Bürgerumfrage 2016, Hauptaussagen, Landeshauptstadt Dresden Kommunale Statistikstelle, Februar 2017

LH DRESDEN STATISTIK 2017/2

Kommunale Bürgerumfrage 2016, Tabellenteil, Landeshauptstadt Dresden Kommunale Statistikstelle, Februar 2017

LUBW 2013

Luftreinhaltepläne für Baden-Württemberg. Grundlagenband. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Stuttgart 2013

NOW 2014

Elektromobilität in Kommunen, Handlungsleitfaden, im Auftrag des BMVI erstellt durch NOW GmbH Berlin, Berlin 2014

NOW 2018

Elektromobilität vor Ort, Ergebnisbericht des zentralen Datenmonitorings des Förderprogramms Elektromobilität vor Ort des BMVI, NOW GmbH, Berlin Januar 2018

PWC 2018

E-Bus-Radar, <https://www.pwc.de/de/öffentliche-unternehmen/e-bus-radar.pdf>, veröffentlicht am 23.01.2018,

Abruf am 26.01.2018

SCHMITZ-GRETHLEIN 2018

Sektorenkopplung: Erneuerbare Energien und Elektromobilität, Vortrag von Fabian Schmitz-Grethlein (Verband kommunaler Unternehmen e.V.) auf der 5. Fachkonferenz Elektromobilität vor Ort, Leipzig, 27.02.2018

SRU 2017

Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor, Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen, Berlin, November 2017

STADT MEISSEN 2018

Zahlen-Fakten-Wissenswertes, <http://www.stadt-meissen.de/download/zahlen-und-fakten/Zahlen-Fakten-Wissensw.pdf>,

Abruf am 30.01.2018

STATISTA 2018/1

Verteilung der CO2-Emissionen durch den deutschen Verkehr im Jahr 2013 nach Verkehrsträgern, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13150/umfrage/co2-emissionen-im-deutschen-personenverkehr/>,

Abruf am 17.01.2018

STATISTA 2018/2

Typische Lebensdauer von Autos in Deutschland nach Automarken, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/316498/umfrage/lebensdauer-von-autos-deutschland/>,

Abruf am 17.01.2018

TU DRESDEN 2009

Tabellenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten-SrV 2008“ in der Landeshauptstadt Dresden, TU Dresden 2009

TU DRESDEN 2011

CO2-Verkehrsemisionen Dresdens - Maßnahmenpotenziale und Entwicklungsszenarien / Entwicklung und Bewertung von Maßnahmenpaketen, TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Mai 2012

TU DRESDEN 2014

Tabellenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten-SrV 2013“ in der Landeshauptstadt Dresden, TU Dresden

TU DRESDEN 2016/1

Aufbereitung der Daten im Rahmen der Aktualisierung der CO2-Bilanz des Verkehrs der Landeshauptstadt Dresden, TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, September 2016

TU DRESDEN 2016/2

Konzept zum Projekt "Mitwirkung an der Entwicklung eines Entscheidungsmodells für ÖPNV mit Elektrobussen", Endbericht, Dresden 2016

TU DRESDEN 2017/1

Dresden lädt auf - Dresdner Fuhrparkmanagement, Studie zum Elektromobilitäts- und Fuhrparkmanagement für die Landeshauptstadt Dresden, TU Dresden, Professur für Kommunikationswirtschaft, Dresden 2017

TU DRESDEN 2017/2

Status, Bedarf und Strategien für Elektromobilitäts-Ladeinfrastruktur im Freistaat Sachsen, TU Dresden, Professur für Kommunikationswirtschaft, Dresden, November 2017

TU NÜRNBERG 2017

Innovationen auf der letzten Meile, Kurier-, Express-, Paketdienste, Bewertung der Chancen für die nachhaltige Stadtlogistik von morgen, Nachhaltigkeitsstudie 2017 im Auftrag des Bundesverbandes Paket und Expresslogistik e.V., erstellt durch TU Nürnberg, Berlin, März 2017

UBA 2012

Daten zum Verkehr, Ausgabe 2012, Dessau-Roßlau, Oktober 2012

UBA 2014

Marktanalyse Ökostrom, Endbericht, UBA-Texte 04/2014, Dessau-Roßlau März 2014

UBA 2016/1

Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen, UBA-Texte 27/2016, Dessau-Roßlau April 2016

UBA 2016/2

Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050, UBA-Texte 56/2016, Dessau-Roßlau Juni 2016

UBA 2017/1

Klimaschutz im Verkehr: Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen, Teilbericht des Projekts „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs 2050“, UBA-Texte 45/2017, Dessau-Roßlau Juni 2017

UBA 2018

Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2017, Climate Change 11/2018, Dessau-Roßlau April 2018

VOGT 2017

Bedarfsoorientierte Ladeinfrastruktur aus Kundensicht, Handlungsempfehlungen für den flächendeckenden Aufbau benutzerfreundlicher Ladeinfrastruktur, Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW) Ergebnispapier Nr. 35, Frankfurt am Main, März 2017

ZISLER 2008

Ladeinfrastruktur und Netzintegration, Vortrag von Stefan Zisler (Stromnetz Hamburg) auf der 5. Fachkonferenz Elektromobilität vor Ort, Leipzig, 27.02.2018

Impressum

Herausgeber:
Landeshauptstadt Dresden

Geschäftsbereich Umwelt und Kommunalwirtschaft
Klimaschutzstab
Telefon (03 51) 4 88 62 91
Telefax (03 51) 4 88 99 62 91
E-Mail klimaschutz@dresden.de

Amt für Presse-, Öffentlichkeitsarbeit und Protokoll
Telefon (03 51) 4 88 23 90
Telefax (03 51) 4 88 22 38
E-Mail: presse@dresden.de

Postfach 12 00 20
01001 Dresden
www.dresden.de
facebook.com/stadt.dresden

Zentraler Behördenruf 115 – Wir lieben Fragen

Studie:
TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie
Prof. Dr.-Ing. Udo J. Becker
Dr.-Ing. Falk Richter

Redaktion:
Dr. Falk Richter, Margit Haase, Daniel Biallas

Foto, Grafiken: TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie und
LH Dresden, Klimaschutzstab

Juni 2018

Elektronische Dokumente mit qualifizierter elektronischer Signatur können über ein Formular eingereicht werden. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, E-Mails an die Landeshauptstadt Dresden mit einem S/MIME-Zertifikat zu verschlüsseln oder mit DE-Mail sichere E-Mails zu senden. Weitere Informationen hierzu stehen unter www.dresden.de/kontakt.

Dieses Informationsmaterial ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Landeshauptstadt Dresden. Es darf nicht zur Wahlwerbung benutzt werden. Parteien können es jedoch zur Unterrichtung ihrer Mitglieder verwenden.