

1. Einleitung

Der Klimawandel ist eine der großen, aktuellen Herausforderungen, vor der nicht nur einzelne Staaten oder Regionen stehen, sondern die sowohl globale Auswirkungen als auch globale Ursachen hat. Bedingt durch menschliche Treibhausgasemissionen - darunter neben Methan (CH_4) und Distickstoffmonoxid (N_2O) vor allem Kohlendioxid (CO_2) - ist ein kontinuierlicher Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur beobachtbar, was unter anderem zunehmend negative Auswirkungen auf Gletscher- und Polareisschmelze sowie das Auftreten von extremen Wetterereignissen haben wird (IPCC, 2021). Um diese Entwicklung aufzuhalten oder zumindest zu verlangsamen, hat sich die Mehrheit der Staaten im Pariser Klimaabkommen auf das Bestreben geeinigt, die Treibhausgasemissionen zukünftig soweit zu reduzieren, dass der mittlere weltweite Temperaturanstieg auf weniger als $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - idealerweise weniger als $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ - im Vergleich zum vorindustriellen Niveau beschränkt bleibt („Paris Agreement“, 2015). Bei diesen zu reduzierenden Emissionen handelt es sich überwiegend um solche, die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Energiegewinnung entstehen. So hatten in Deutschland im Jahr 2020 neben der Landwirtschaft (8%) und industriellen Prozessen (8%) energiebedingte Emissionen (83%) den größten Anteil an den Gesamttreibhausgasemissionen des Landes (Umweltbundesamt, 2021b).

Innerhalb der energiebedingten Emissionen hebt der Straßenverkehr sich von anderen Sektoren wie der Energienutzung in Gebäuden oder der Industrie dadurch ab, dass die Emissionen pro Fahrzeug zwar in den letzten Jahrzehnten durch strengere Grenzwerte und einhergehenden technologischen Fortschritt kontinuierlich gesunken sind, aber diese Reduktion durch zunehmende Zulassungszahlen und Fahrleistungen wieder kompensiert wurde, sodass die absoluten CO_2 -Emissionen des Straßenverkehrs in den letzten 30 Jahren annähernd konstant geblieben sind, während der relative Anteil an den deutschen CO_2 -Emissionen durch Verbesserungen anderer Sektoren sogar auf 20% angestiegen ist (Umweltbundesamt, 2021a). Folgerichtig rückt daher der Verkehrssektor und insbesondere der Straßenverkehr in den Fokus, wenn es darum geht, Potential für die Verbesserung der CO_2 -Bilanz zu identifizieren und zu nutzen. Eine Möglichkeit ist dabei die Abkehr vom Grundprinzip der Verbrennung fossiler Otto- und Dieselmotoren und ein Wechsel hin zu elektrischen Antriebsformen, die im Betrieb bei Nutzung erneuerbarer Energiequellen keine Treibhausgase mehr emittieren. So sieht die Europäische Kommission

die Notwendigkeit der Reduktion der Emissionen des gesamten Verkehrssektors bei zwischen 54 und 67 Prozent bis 2050 und schlägt dazu neben Effizienzsteigerungen insbesondere die Nutzung von CO_2 -armen (Antriebs-)Technologien vor (Europäische Kommission, 2011). Als positiver Nebeneffekt zur Treibhausgasreduktion würde eine Elektrifizierung des Straßenverkehrs auch die aus Gesundheitsperspektive relevante Feinstaubbelastung an viel befahrenen Straßen reduzieren (Hawkins et al., 2013).

Die Nutzung von elektrischen Antrieben in Straßenfahrzeugen ist keine neue Idee, sondern reicht zurück bis in die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts¹ und war damit der Nutzung von Verbrennungsmotoren im Straßenverkehr zunächst zeitlich voraus. Im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts erreichten elektrisch angetriebene Pkw ihre bis dahin größte Marktdurchdringung (Høyer, 2008)², jedoch sanken die Zulassungszahlen ab da kontinuierlich ab bis zum fast vollständigen Verschwinden aus dem Markt, was insbesondere auf geringe Reichweiten, niedrige Geschwindigkeiten und hohe Anschaffungskosten im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zurückzuführen war (Guarnieri, 2012). Erst durch die zunehmenden Erkenntnisse zum Einfluss des Menschen auf den Klimawandel ab den 1980er und 1990er Jahren kamen elektrisch angetriebene Fahrzeuge im Kontext einer nachhaltigen und klimaneutralen Mobilität wieder in den Fokus von Forschung und Entwicklung (Høyer, 2008). Seit 2009 wird die Elektromobilität in Deutschland mit Schwerpunkt auf dem Pkw-Bereich staatlich gefördert durch Forschungsförderung, finanzielle Kaufanreize, steuerliche Vorteile und Infrastruktursubventionen. Aktuell besteht seitens Politik dabei das Ziel, dass bis 2030 7 bis 10 Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland zugelassen sind und gleichzeitig 1 Million Ladepunkte für die Fahrzeuge zur Verfügung stehen (Bundesregierung, 2019).

Obwohl die monatlichen Neuzulassungen von Pkw mit Elektro-Antrieben insbesondere in den letzten beiden Jahren zunahmen und batterieelektrische Pkw (BEV) in 2021 durchschnittlich (Januar bis November) 12,8% der gesamten Neuzulassungen ausmachten, was einer Steigerung von 120,7% im Vergleich zum Vorjahr entspricht (Kraftfahrt-Bundesamt, 2021c), und damit auch frühe Prognosen eines Marktpotentials von Elektrofahrzeugen von 5% (2011, Lieven et al. (2011)) übertroffen werden, kann von einer flächendeckenden Durchdringung des Marktes noch nicht gesprochen werden. So waren von ca. 48,24 Millionen zum 1. Januar 2021 zugelassenen Pkw in Deutschland nur 0,6% batterieelektrische (309.083 Stück) und 2,1% hybride Fahrzeuge (1.004.089 Stück) (Kraftfahrt-Bundesamt, 2021b). Dies

¹Auf eine detaillierte Beschreibung der technischen Entwicklung von Fahrzeug-, Batterie- und Motortechnik wird verzichtet, da diese nicht im Fokus dieser Arbeit steht.

²38% Marktanteil von elektrischen Pkw in den USA im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (22%) und Dampfantrieb (40%) (Guarnieri, 2012)

verdeutlicht die trotz staatlicher Einflussnahme auf den Markt aktuell noch große Diskrepanz zwischen dem Status Quo auf der einen und den Zulassungszielen der Bundesregierung für 2030 bzw. einer aus Klimaschutzüberlegungen wünschenswerten vollständigen Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs auf der anderen Seite und zeigt gleichzeitig, dass neben politischen, umweltrelevanten, ökonomischen und technologischen auch gesellschaftliche Faktoren relevant für den Erfolg der Elektromobilität sind (Schuh et al., 2018).

Aktuell werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor von den Käufern mehrheitlich bevorzugt und die Gründe dafür sind vielfältig. Unter anderem stellen ökonomische Aspekte, wie z.B. hohe Anschaffungskosten, technische Einschränkungen, wie z.B. Unsicherheiten bei der Akkulebensdauer, oder fehlendes Vertrauen in die Umweltfreundlichkeit und Rohstoffverfügbarkeit Hemmnisse für eine positive Kaufentscheidung dar (Biresselioglu et al., 2018). Ein zentraler Aspekt für die Kaufentscheidung des Einzelnen und damit für die Marktdiffusion ist auch die Wahrnehmung des Ladens durch den potentiellen Nutzer, zum einen hinsichtlich der verfügbaren Ladeinfrastruktur (Biresselioglu et al., 2018; Burkhardt et al., 2015), zum anderen hinsichtlich des Ladevorgangs selbst und dessen Integration in den Alltag, sowie der Wahrnehmung der Fahrzeugreichweite im Kontrast zum eigenen Mobilitätsbedürfnis (Haddadian et al., 2015). Aus diesem Grund fördern einige Industrienationen nicht nur die Forschung zur Elektromobilität oder geben staatliche Kaufanreize, sondern fördern gezielt den Aufbau von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Förderprogramme dazu gibt es u.a. in den USA, China, Japan, Frankreich, in den Niederlanden, im Vereinigten Königreich (Hall & Lutsey, 2017) und Norwegen (Lorentzen et al., 2017). Auch in Deutschland wird seit einigen Jahren Ladeinfrastruktur staatlich gefördert. Während anfangs ab 2009 insbesondere Modellregionen in Forschungsprojekten adressiert wurden und überwiegend lokal begrenzt Infrastruktur errichtet wurde (Bundesregierung, 2009; Burkhardt et al., 2015), erfolgt seit 2017 eine breit angelegte, flächendeckende Förderung (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017). Gleichwohl ergibt sich aus der puren Verfügbarkeit von Finanzierungshilfen noch keine Garantie für ein Ladeinfrastrukturnetz, welches vom potentiellen Nutzer als hinreichend und bedarfsgerecht wahrgenommen wird und somit kein Hemmnis für die Kaufbereitschaft mehr darstellt. Die vorliegende Arbeit greift daher diese Herausforderung auf und fokussiert Nutzeranforderungen an die Positionierung von Ladeinfrastruktur, das damit zusammenhängende Nutzungsverhalten, und die Passung zwischen beiden Aspekten, um die gewonnenen Erkenntnisse in die zukünftige Planung von Ladeinfrastruktur für Elektroautos integrieren zu können.