

Horst Wildemann



Ladeinfrastruktur als Enabler der  
Elektromobilität



*Diese Studie wurde mit dem Ziel erstellt, die Entwicklung, Konzepte und Herausforderungen der elektrifizierten Ladeinfrastruktur darzustellen.*

Horst Wildemann

## **Ladeinfrastruktur als Enabler der Elektromobilität**

Copyright by TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, 2018

1. Auflage 2018

### **Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie:  
Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

**Wildemann, Horst:**  
**Ladeinfrastruktur als Enabler  
der Elektromobilität**

1. Auflage  
München: TCW Transfer-Centrum, 2018  
ISBN: 978-3-941967-98-4

Verlag:

TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, München

Alle Rechte, auch die der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form, auch nicht zum Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet werden.

## Vorwort

Die Elektromobilität bildet das Fundament für eine emissionsfreie Zukunft. Elektrifizierung auf breiter Front und Umstieg auf erneuerbare Energien ist ein erfolgversprechender Weg, um den Ausstoß von Treibhausgasen signifikant zu reduzieren und den Klimawandel zu begrenzen. Die Debatte um innerstädtische Fahrverbote für Dieselfahrzeuge zeigt, dass eine Senkung der Schadstoffbelastung mit herkömmlicher Technologie nur schwer umzusetzen ist. Elektrofahrzeuge sind lokal emissionsfrei und erzielen wesentlich höhere energetische Wirkungsgrade als Verbrennungsmotoren, womit sie den Primärenergiebedarf senken.

Um die Voraussetzungen für den Durchbruch der Elektromobilität zu schaffen, ist der Ausbau der elektrischen Ladeinfrastruktur von zentraler Bedeutung. Die Ängste der potenziellen Nutzer beziehen sich in erster Linie auf zu geringe Reichweiten der Elektrofahrzeuge. Diese können durch ein flächendeckendes Versorgungsnetz zerstreut werden. Eine hervorragend ausgebaute Ladeinfrastruktur ist attraktiv für die Fahrer von Elektrofahrzeugen, aber nicht zwangsläufig wirtschaftlich für die Ladesäulenbetreiber. Der Autor hat sich in der Studie wesentlich mit den Wirtschaftlichkeitsaspekten und möglichen Geschäftsmodellen im Ökosystem der Ladeinfrastruktur befasst. Neben einer Bestandsaufnahme der Entwicklungen der Elektromobilität, werden Treiber und Herausforderungen der Elektromobilität im Detail untersucht. Technische Ausgestaltungsoptionen der Ladeinfrastruktur werden beschrieben und die Anforderungen an die Netzinfrastruktur untersucht. Auf dieser Basis werden Zukunftspotenziale der Ladeinfrastruktur als Enabler der Elektromobilität abgeleitet.

ABB ist einer der führenden Akteure im Bereich der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität. Neben Ladesystemen für unterschiedliche Bereiche bietet ABB Services wie Wartungsdienstleistungen für die Hardware und verschiedene APIs zur Steuerung der Software an. Die mit dem Internet verbundenen Ladestationen von ABB ermöglichen einen schnellen Service und eine proaktive Wartung. ABB verfügt über eine langjährige Erfahrung bei der Planung, dem Bau und der Wartung von Ladeinfrastrukturen einschließlich mehrerer landesweiter Netze von Ladestationen und bietet somit Gesamtlösungen für jeden Standorttyp an.

Der Umstieg auf die Elektromobilität wird jedoch erst im Verbund mit der weiteren Industrie, der Politik und letztendlich dem Kunden gelingen. Die deutsche Industrie zeichnet sich durch erhebliche Kompetenzen im Automobilbau aus. Diese Kompetenz gilt es zu bewahren und auszubauen. Der Staat nimmt bei der Entwicklung der Elektromobilität durch Subventionen und Verordnungen eine tragende Rolle ein. Diese Enabler-Funktion darf die Politik nicht vernachlässigen. Nur so erlangt die Elektromobilität eine breite gesellschaftliche Akzeptanz und Elektrofahrzeuge werden ein selbstverständlicher Bestandteil des Straßenverkehrs.

Mein herzlicher Dank geht an Christoph Sieder von ABB sowie an Sebastian Berndt, Sebastian Eckert, Christopher Hellmann, Jan-Hauke Helmts, Matthias Kammer, Sabine Kücher, Manuel Lutz, Myriam Lutz, Adrian Markgraf, Süleyman Sandikci, Michael Schöppe, Ulrich von Waldow, Dr. Thomas Winter, Kai Wright, Patrick Zimmermann vom TCW, die bei der Erstellung dieser Studie mitgewirkt haben.

München, 2. Mai 2018

Horst Wildemann

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Vorwort .....</b>	<b>5</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>7</b>
<b>Zusammenfassung der Ergebnisse .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>19</b>
<b>2 Elektromobilität – Hype oder Realität? .....</b>	<b>22</b>
2.1 Entwicklung der Elektromobilität .....	23
2.2 Treiber der Elektromobilität .....	26
2.3 Hürden der Verbreitung.....	35
2.4 Zukünftige Entwicklung der Elektromobilität .....	48
<b>3 Ladeinfrastruktur als Enabler der Elektromobilität .....</b>	<b>51</b>
3.1 Bedarfssituation .....	55
3.2 Herausforderungen .....	59
<b>4 Technische Ausgestaltung der Ladeinfrastruktur .....</b>	<b>63</b>
4.1 Ladetechnologien .....	63
4.1.1 Konduktives Laden .....	64
4.1.2 Induktives Laden.....	69
4.1.3 Vergleich von Lade- und Tankstellen.....	71
4.2 Abrechnungsmodelle .....	72
4.3 Fahrzeugkonzepte.....	77
4.3.1 Fahrzeuge mit niedriger Batteriekapazität.....	77
4.3.2 Fahrzeuge mit mittlerer Batteriekapazität .....	78
4.3.3 Fahrzeuge mit hoher Batteriekapazität .....	79
<b>5 Anforderungen an die Netzinfrastruktur .....</b>	<b>81</b>
5.1 Herausforderungen .....	85
5.2 Netzwerksteuerung .....	90
<b>6 Geschäftsmodelle im Ökosystem der Ladeinfrastruktur .....</b>	<b>96</b>
6.1 Rollen im Ökosystem der Ladeinfrastruktur .....	97
6.1.1 Kunden.....	98
6.1.2 Öffentlicher Sektor .....	102
6.1.3 Produzenten .....	116

6.1.4	Betreiber.....	120
6.1.5	Dienstleister .....	128
6.2	Die Rolle von ABB für die Ladeinfrastruktur .....	133
<b>7</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsaspekte der Elektromobilität.....</b>	<b>138</b>
7.1	Ökologische Betrachtung .....	139
7.2	Soziale Betrachtung .....	142
7.2.1	Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt .....	145
7.2.2	Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt .....	149
7.3	Ökonomische Betrachtung .....	152
7.3.1	Wirtschaftlichkeit aus Sicht der Nutzer .....	152
7.3.2	Wirtschaftlichkeit aus Sicht der Betreiber .....	156
7.4	Marktpotenziale .....	168
<b>8</b>	<b>Zukunftsbild elektrifizierter Ökosysteme .....</b>	<b>175</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>186</b>
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>189</b>
	<b>Autor .....</b>	<b>220</b>

## Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Elektrifizierung hat mittlerweile alle Formen der Mobilität erfasst - PKWs, LKWs, Fahrräder, Schiffe, Fahrräder und Flugzeuge. Doch das Phänomen ist nicht neu. In den Jahren um 1900 wurden bereits viele Elektroautos auf Ausstellungen präsentiert. Ende des 19. Jahrhunderts wurde zum ersten Mal die 100 km/h-Grenze überschritten und in den USA gab es damals mit 34.000 Elektrofahrzeugen knapp doppelt so viele batteriebetriebene Fahrzeuge wie Autos mit Verbrennungsmotor. Dieses Verhältnis hat sich im Zuge technischer Entwicklungen jedoch wieder gedreht. In Deutschland liegt der Anteil der Elektrofahrzeuge heute bei unter 1% - aber mit steigender Tendenz. Die Reichweitevorteile von fossilen Brennstoffen haben in den vergangenen Jahrzehnten dazu geführt, dass Elektrofahrzeuge an Bedeutung verloren haben. Ein gestärktes ökologisches Bewusstsein in der Gesellschaft, die Erkenntnis, dass fossiler Treibstoff nicht in unbegrenzten Mengen zur Verfügung steht und die Gewissheit, dass alternative Konzepte langfristig notwendig sind, befeuern immer stärker den Trend zur Elektromobilität. Der Erfolg elektrifizierter Mobilität wird sich in Zukunft darin bemessen, ob und wie wir das heute noch bestehende Reichweitenproblem lösen können. Eine ähnliche Aufgabe, wie sie seit mehr als 50 Jahren von den herkömmlichen Tankstellen bei der Versorgung mit fossilen Kraftstoffen übernommen wird, haben heute Betreiber von Ladesäulen für die Elektromobilität.

Derzeit stehen 14.500 Tankstellen für fossile Kraftstoffe 4.730 elektrische Ladestationen gegenüber. Was Zukunftsbilder angeht, so unterscheiden sich die verfügbaren Szenarien deutlich. Für ein konservatives Verbrennungsmotor-Szenario zeigt sich, dass sich die Elektromobilität eher als Nischentechnologie etablieren wird. Demnach werden bis 2030 lediglich 25% der Fahrzeuge Hybrid- oder reine Elektroantriebe sein. Dieses Szenario kann eintreten, wenn zum Beispiel staatliche Maßnahmen nicht greifen und nur zurückhaltende CO<sub>2</sub>-Regulierungen vorgenommen werden. Auch trifft das zu, wenn in naher Zukunft keine größeren Entwicklungen im Bereich der Elektromobilität zu erwarten sind. Dadurch bleiben Elektroautos teuer und für die Gesellschaft unattraktiv. In einem anderen Szenario wird von einer schnellen Technologieentwicklung ausgegangen. Bis 2030 soll nahezu jedes Fahrzeug zumindest elektrisch unterstützt als Hybridantrieb fahren. Zwischen diesen beiden Szenarien ist alles denkbar – das spiegelt sich auch in internationalen Studien wieder. Nach Alan Kay ist die beste Methode, die Zukunft vorherzusagen, sie zu erfinden. Unter welchen Bedingun-



gen Strom erzeugt, übertragen, gespeichert und dezentral abgerufen wird, ist dabei die zentrale Fragestellung. Die gesamte Ladeinfrastruktur wird somit zum entscheidenden Erfolgsfaktor für eine Marktdurchdringung der Elektromobilität. Die Studie zielt in diesem Zusammenhang auf die Klärung von sechs zentralen Fragestellungen im Spannungsfeld der Elektromobilität ab:

**Kann die elektrifizierte Mobilität den gestiegenen ökologischen Anforderungen gerecht werden?**

Der Verkehr macht rund ein Drittel der in Deutschland jährlich anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Obgleich zahlreiche Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen existieren, wie etwa Frachtbörsen, die Optimierung von Containerladungen, rollwiderstandsarme Reifen oder verbesserte Aerodynamik bietet die Elektromobilität ein enormes Potenzial zur Reduzierung der heute stark diskutierten Luftverschmutzung in Ballungsgebieten. Gerade für den innerstädtischen Liefer- und Personennahverkehr bieten sich so schnell realisierbare Use-Cases zur Verbesserung der Luftqualität. Elektrische Fahrzeuge für sich genommen sind dabei ein Ansatzpunkt zur Reduzierung von lokalen Umwelt- und Gesundheitsschäden in Großstädten, alleine sind sie jedoch nicht die Lösung der Umweltfrage. Für eine ganzheitliche Analyse der Umweltwirkung ist die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs notwendig. Hierbei sind die Herstellung des Fahrzeugs, inklusive der Gewinnung und Verarbeitung der verwendeten Rohstoffe, die Bereitstellung der Betriebsenergie, die Effekte während des Betriebs und die ökologischen Konsequenzen in der Nachnutzungsphase ausschlaggebend. Während bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor die Emissionen direkt anfallen, entstehen diese bei Elektrofahrzeugen indirekt bereits bei der Stromerzeugung. Bei der aufwendigen Herstellung der Batterien entstehen bei einem batterieelektrischen Fahrzeug mit einer realistischen Reichweite von 200 km etwa 9,5 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente an Schadstoffen. Diese machen über den Lebenszyklus bei derzeitigem Strommix etwa 30% der Gesamtemissionen aus. Analysen zeigen, dass Elektrofahrzeuge beim heutigen Strommix in etwa die gleiche CO<sub>2</sub>-Bilanz über den gesamten Lebenszyklus aufweisen können wie Dieselfahrzeuge. Dies führt zu zwei Schlussfolgerungen: Einerseits haben die Ressourcen, aus denen der Strom für die Fahrzeuge gewonnen wird, einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtökobilanz. Andererseits gilt es die Produktionsprozesse für Fahrzeugkomponenten aus ökologischen Gesichtspunkten zu verbessern, wenn eine verbesserte Ökobilanz über den gesamten Lebenszyklus angestrebt werden soll.

### **Wie ist das Marktpotenzial an Ladeinfrastruktur zu charakterisieren?**

Der weitere Ausbau der Elektromobilität ist ohne signifikanten Ausbau der Ladeinfrastruktur nicht zu schaffen. Potenzielle Kunden zögern noch, da sie die Verfügbarkeit einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur als wichtiger bewerten als etwa eine kurze Ladedauer. Dies zeigt die enorme Bedeutung der Ladeinfrastruktur für den weiteren technologischen und ökonomischen Erfolg. Es zeigt sich jedoch auch, dass sich bislang der größte Teil der Ladeinfrastruktur mit etwa 85% im privaten Bereich befindet. Lediglich 15% der Ladepunkte sind öffentlich zugänglich. Beschränkt man sich auf konduktive, Stecker gebundene Ladesysteme gibt es wenig Indizien, dass sich dieses Verhältnis mittelfristig ändert. Fast jedes Elektrofahrzeug wird mit einem privaten Ladepunkt zu Hause oder am Arbeitsplatz ausgestattet. 85% der Autofahrer bevorzugen ein privates Ladeszenario. Gründe hierfür sind vor allem der höhere Komfort und die Benutzerfreundlichkeit für den Nutzer, da das Fahrzeug zuhause oder auf Firmengeländen bequem über mehrere Stunden angeschlossen und aufgeladen werden kann. In Deutschland existierten im September 2017 etwa 10.700 öffentlich zugängliche Ladepunkte an 4.730 Ladesäulen, darunter sind 530 Schnellladesäulen. Das Marktpotenzial an Ladesäulen für die Versorgungsinfrastruktur der Elektromobilität steht in direktem Zusammenhang mit der zukünftigen Entwicklung der Elektromobilität. Auf Grundlage einer vorgenommenen Abschätzung der Entwicklung der Absatzzahlen an Elektroautos wurde ein Basisszenario gebildet, um das Marktpotenzial der Ladesäulen in unterschiedlichen Bereichen zu bestimmen. Zuallererst muss dabei zwischen Ladesäulen an privaten Aufstellorten und Ladesäulen an öffentlichen und halböffentlichen, das heißt für jeden Nutzer zugänglichen, Standorten unterschieden werden. An privaten Aufstellorten erfolgt die Ladung entweder in der Einzel- oder Doppelgarage beziehungsweise einem Stellplatz am Eigenheim, auf Parkplätzen beziehungsweise in der Tiefgarage von Wohnanlagen, Mehrfamilienhäusern und Wohnblocks oder an Firmenparkplätzen auf firmeneigenen Gelände. Allen typischen Standorten gemein ist, dass sie sich auf privatem Gelände befinden und nicht öffentlich für jeden Fahrzeughalter erreichbar sind. Zu den öffentlichen und halböffentlichen Aufstellorten zählen beispielsweise Autohöfe und Autobahnraststätten, Einkaufszentren, Parkhäuser und Kundenparkplätze sowie kommunal geförderte oder betriebene Ladesäulen am Straßenrand oder auf öffentlichen Parkplätzen. Der Großteil in Deutschland insbesondere in den Städten lebt jedoch nicht im Eigenheim, sondern in Wohnungen in Mehrfamilienhäusern oder größeren Wohnanlagen. Im Durchschnitt befinden sich in einem Gebäude mit mehr

als zwei Parteien sieben bis acht Wohnungen, für die im Idealfall eine gleiche Anzahl an Ladepunkten zur Verfügung stehen sollte. Darüber hinaus zählen Ladesäulen auf Firmenparkplätzen für die Mitarbeiter der Unternehmen ebenfalls als privater Aufstellort. Die Berechnung des Marktpotenzials für Ladesäulen auf Firmenparkplätzen bezieht einerseits den Anteil Erwerbstätiger, die mit dem Fahrzeug zur Arbeit pendeln, sowie andererseits den Anteil an Fahrzeugen, die zum Pendeln genutzt werden, mit ein. Neben den privaten Elektrofahrzeugen, die zum Pendeln an die Arbeitsstätte genutzt werden, ist außerdem der Anteil an gewerblich zugelassenen Fahrzeugen, die nicht für Vermietung oder Handel genutzt werden, mit einzubeziehen. Insgesamt ergibt sich für Ladesäulen an privaten Aufstellorten ein Marktpotenzial von 80.000 Ladesäulen in 2020. Bis 2025 steigt das Marktpotenzial kumulativ auf knapp 600.000 Ladesäulen und bis 2030 liegt das Marktpotenzial bei über 2,5 Millionen Ladesäulen. Dabei ist eine grobe Aufteilung von 16% Ladesäulen an Eigenheimen, 23% Ladesäulen an Mehrfamilienhäusern und Wohnanlagen sowie 61% Ladesäulen auf Firmenparkplätzen zu berücksichtigen. Bei der Abschätzung des Marktpotenzials für Ladesäulen an öffentlichen und halböffentlichen Aufstellorten muss in erster Linie zwischen Normalladesäulen und Schnellladesäulen unterschieden werden. Insbesondere im frequentierten Fernwegenetz aus Autobahnen und Bundesstraßen ist ein flächendeckendes Netz aus Schnellladesäulen notwendig, um weite Strecken ohne lange Ladezeiten überbrücken zu können. Normalladesäulen sind insbesondere an öffentlichen und kommerziellen Parkplätzen und Parkhäusern nötig. Dort können Elektrofahrzeuge während ihrer Standzeiten flexibel geladen werden. Durch Einbezug der Verteilung von Normal- und Schnellladungen sowie des Effekts der Mehrfachbelegung zu Stoßzeiten und der Häufung von Elektrofahrzeugen in Ballungszentren, welche lokal ein dichteres Netz an Ladesäulen erforderlich machen, lässt sich das Marktpotenzial von Normal- und Schnellladesäulen bestimmen. Bis 2020 ergibt sich damit ein Marktpotenzial von 62.000 Normalladesäulen und 6.900 Schnellladesäulen an öffentlichen und halböffentlichen Standorten. Damit liegt das Marktpotenzial tatsächlich in einer ähnlichen Größenordnung wie die im Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung festgeschriebenen 100.000 Ladepunkte bis 2020. Bei durchschnittlich zwei Ladepunkten pro Ladesäule beträgt das Marktpotenzial für öffentlichen und halböffentlichen Betrieb somit 138.000 Ladepunkte. Das Marktpotenzial steigt bis zum Jahr 2025 auf 463.000 Normalladesäulen und 51.000 Schnellladesäulen an. 2030 liegt das kumulative Marktpotenzial bei knapp 2 Millionen Normalladesäulen und 220.000 Schnellladesäulen.

### **Welchen volkswirtschaftlichen Einfluss hat die Elektromobilität auf Deutschland?**

Für den Wirtschaftsstandort Deutschland entstehen Chancen und Potenziale für positive Effekte bei Arbeitsplätzen und Wertschöpfung durch die Elektromobilität. Hierfür muss der Wandel durch Politik und Gesellschaft jedoch aktiv gestaltet werden. Auf Basis der technischen Zusammensetzung der Fahrzeuge lassen sich jedoch schon heute Gesetzmäßigkeiten für die zukünftige Wertschöpfung ableiten. Die Anzahl der mechanischen Komponenten ist bei einem Elektrofahrzeug gegenüber den Verbrennern deutlich geringer. Zahlreiche mechanische Komponenten wie Getriebe, Kupplungen, Turbolader, Abgasanlagen und Schalldämpfern und Mittelschalldämpfern werden in einem Elektrofahrzeug nicht mehr benötigt. Auch elektronische Komponenten wie Starter, Lichtmaschinen und Kraftstoffpumpen inklusive der jeweiligen Sensoren entfallen. Ein Fahrzeug mit einem Verbrennungsmotor der neusten Generation weist 90 mal mehr Teile auf als ein Elektrofahrzeug. Während ein Verbrennungsmotor mit 1.400 Teilen einen hochkomplexen Aufbau besitzt, setzt sich ein Elektromotor aus nur 210 Teilen zusammen. Hinter den mechanischen Komponenten bei herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren steht jedoch die gesamte deutsche Industrie der automobilen Tier-x Zulieferer. Die Zulieferindustrie steht vor der Herausforderung zukünftige Markt-, Technologie- und Produktstrategien zu entwickeln, um selbst nicht obsolet zu werden. Im Jahr 2016 waren mehr als 500.000 Menschen für deutsche Automobilhersteller, mehr als 300.000 Menschen in der Zulieferindustrie beschäftigt. Steigt die Produktion von Elektrofahrzeugen weiter an, könnten zwischen 20% und 25% der Arbeitsplätze wegfallen. Deutschland war und ist international als Kompetenzführer in der Automobilindustrie angesehen. Dieser Wissensvorsprung muss genutzt werden, wenn aufstrebenden Spielern im Elektrosegment wie etwa Tesla oder Batterieherstellern in Asien nicht das Feld überlassen werden soll. Ferner zeichnet sich durch die in den letzten Jahren verstärkte M&A-Tätigkeit großer chinesischer Firmen in Europa und vor allem im deutschen Maschinenbau eine weitere, latente Bedrohung ab. Ebenso werben asiatische und amerikanische Firmen im Elektromobilitätsgeschäft zunehmend deutsche Automobilingenieure ab. Die Bedrohung für den Automobilstandort Deutschland ist durchaus ernst zu nehmen und die Vorreiterrolle nicht gesichert. In den Veränderungen, die die Elektromobilität mit sich bringt, liegen jedoch auch Chancen für den Arbeitsmarkt. Investitionen in Infrastruktur oder der technologische Innovationsbedarf lösen für die Elektromobilität einen spezifischen Expansionsbedarf und neue Bedarfe nach Fachkräften aus. Prognosen gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2020

etwa 30.000 zusätzliche Arbeitsplätze entstehen können, unter der Voraussetzung, dass bis 2020 tatsächlich eine Million Elektrofahrzeuge produziert werden. Diese Arbeitsplätze können im Automobilbau, aber auch in anderen Branchen, wie etwa in der Energieversorgung, entstehen. Neue Kompetenzfelder für Akademiker werden interessant und diese liegen verstärkt im Bereich Informationstechnologie. Chancen für Deutschland bestehen, aber nur, wenn wir in Deutschland Elektromobilitäts-Know-how ansiedeln und wenn wir dafür sorgen, wichtiges Komponentenwissen - wie etwa für Batterien - nicht verlieren. Wir befinden uns in einer Übergangsphase und können uns nicht auf das Wissen von gestern verlassen. Die etablierten OEMs müssen sich fragen, ob für das Elektromobilitätszeitalter noch die Formel gilt, dass 70% der Wertschöpfung von den Zulieferern kommen kann. Wenn einfach nur Bauteile ausländischer Zulieferer in die heimische Montage integriert werden, besteht die Gefahr, dass langjährige Fahrzeugkompetenz in Deutschland verloren geht. Es muss die Frage nach den neuen Alleinstellungsmerkmalen beantwortet werden, denn sonst verkommt Deutschland zum Montagestandort asiatischer und amerikanischer Technologiekomponenten und diese Position ist aufgrund der hohen Lohnkosten nicht lange zu verteidigen. Tesla und BMW beweisen aber, dass OEMs die Zeichen der Zeit erkannt haben. Beide entwickeln selbst oder in Kooperationen Batterien.

### **Wie ist die Wirtschaftlichkeit für Betreiberkonzepte von Ladesäulen zu betrachten?**

Der wirtschaftliche Betrieb von Ladesäulen ist bislang und auf absehbare Zeit nicht ohne Subventionen darstellbar. Der Grund ist die geringe Auslastung der Ladesäulen im öffentlichen- und halböffentlichen Bereich und die momentan noch hohen Investitions- und Betriebskosten. Dies gilt auch für Norwegen, wo der Anteil der Elektrofahrzeuge rund 30% beträgt. Um eine Amortisationszeit von drei Jahren bei einem Nutzerpreis von 0,54 €/kWh zu erreichen, müsste sich die Anzahl der Elektroautos bei gleichbleibender Anzahl an Ladepunkten mehr als verzehnfachen. Dies ist jedoch unrealistisch, da eine bessere Abdeckung der Ladeinfrastruktur ja gerade einen Kaufanreiz für Elektrofahrzeuge darstellt. Es wird dadurch deutlich, dass Subventionen des Staates und der Länder momentan und in naher Zukunft unersetzbar sind, um den Ausbau der Ladeinfrastruktur voranzutreiben. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass nur bei einer massiven Reduzierung der Investitionskosten für Ladesäulenbetreiber rentable Geschäftsmodelle entstehen. Dies wird möglich, wenn Skaleneffekte bei einer Erhöhung der Produktionsmenge wirksam werden. Betrachtet

man etwa den Fall, dass sich die Anzahl der Elektrofahrzeuge verfünffacht, bei gleicher Anzahl an Ladepunkten, so kann durch die Halbierung der laufenden Kosten, bei einem gleichbleibenden Kaufpreis der Ladesäule eine Kostendeckung nach beinahe sechs Jahren erreicht werden. Sinken gleichzeitig die Anschaffungskosten der Ladesäule um 30%, so beträgt die Amortisationszeit bereits unter fünf Jahre. Diese Abschätzungen gelten durchschnittlich für jede Ladesäule unter der Annahme einer gleichverteilten Nutzung aller öffentlich zugänglichen Ladesäulen. Einzelne Säulen können jedoch aufgrund einer prominenteren Platzierung deutlich attraktivere Bilanzen aufweisen. Angenommen, der Betreiber würde seinen Strom zu Haushaltspreisen von 0,28 €/kWh anbieten, das entspricht einem Aufschlag von rund 0,10 € pro geladener Kilowattstunde gegenüber den durchschnittlichen Gewerbebezugskosten, so müssten im Durchschnitt täglich vier Autos an der Ladesäule laden, um eine Amortisation von unter drei Jahren zu erreichen. Rentable Geschäftsmodelle lassen sich momentan nur in Verbindung mit anderen Leistungsbestandteilen erreichen oder wenn der Staat massiv subventioniert. Viele Unternehmen außerhalb der Energiebranche, wie etwa Supermärkte, nutzen die teilweise kostenfreie Bereitstellung von Ladestrom dazu, um Kunden mit Elektrofahrzeugen zu Umsätzen in den eigenen Geschäften zu bewegen. Dies hat mehrere positive Effekte. Da Fahrer von Elektrofahrzeugen bislang überdurchschnittliche Einkommen generieren, sind diese Kunden für Einzelhandelsunternehmen besonders attraktiv. Zudem werden Kunden dazu bewegt, weitere Anfahrsstrecken in Kauf zu nehmen, die Anzahl an Kunden steigt. Des Weiteren besteht für den Kunden ein Anreiz, eine längere Verweildauer im Ladengeschäft zu akzeptieren, da in dieser Verweildauer das Fahrzeug geladen wird. Studien belegen, dass eine längere Verweildauer in Geschäften mit höheren Einkaufsumsätzen verbunden ist. Zudem positionieren sich Unternehmen durch dieses Angebot als innovativ und ökologisch, was die Attraktivität gegenüber vielen Kundensegmenten erhöht. Es kann festgehalten werden, dass obgleich die reine Bereitstellung von Strom über Ladesäulen auf absehbare Zeit kaum ein tragfähiges Geschäft darstellen wird, der Betrieb von Ladesäulen ein wichtiger Bestandteil von erweiterten Geschäftsmodellen ist.

### **Welche Rolle hat der deutsche Staat für die Elektromobilität?**

Weil der Betrieb von Ladesäulen bisher nur in Einzelfällen wirtschaftlich darstellbar ist, bestünden aus Betreibersicht ohne Subventionen kaum Anreize, in diese Technologie zu investieren. Geringe Absatzpotenziale führen dazu, dass von Unternehmen geringe Innovati-

onsleistungen erbracht werden. Wir befinden uns momentan in der Phase eines Technologieumbruchs. In dieser Phase ist absehbar, dass die alte Technologie des Verbrennungsmotors keine langfristige Zukunft mehr hat. Die neue Technologie, die elektrifizierte Mobilität, kann aus Nutzen- und Kostengesichtspunkten die alte Technologie noch nicht vollständig ersetzen. Das Ziel muss sein, nicht nur eine Weiterentwicklung der bestehenden Technologien zu beschleunigen, sondern auch die Entwicklung von Substitutionstechnologien zu fördern. Im Falle der Elektromobilität ist diese Initialzündung durch die Politik vorzunehmen. Der Staat unterstützt diesen Technologieübergang bereits durch gezielte Fördermaßen im Rahmen von Gesetzgebung, Steuererleichterung und Investitionsanreizen für Privatpersonen und Unternehmen. Bisläng liegen wir in Deutschland jedoch hinter den gesteckten Zielen zurück. Dies liegt auch daran, dass auf jeder Ebene der öffentlichen Verwaltung, vielfältige, komplexe Fördermaßnahmen existieren, welche potenzielle Betreiber von Ladeinfrastruktur eher verwirren als unterstützen. So wurden bis März 2018 nur knapp 8.000 Normalladepunkte und 1.500 Schnelladepunkte gefördert. Die Normierung ist ein weiteres wichtiges Feld, durch welches Skaleneffekte und letztendlich Kostenreduktionen möglich werden. Es existiert eine deutsche Normungs-Roadmap, welche diese Entwicklung unterstützt. Die Grundlage einer großen Verbreitung elektrifizierter Mobilität stellt der funktionierende Aufbau und Betrieb einer öffentlichen Ladeinfrastruktur in Kommunen und Landkreisen dar. Jedoch kann eine steigende Elektrifizierung die bestehende Netzinfrastruktur an die Leistungsgrenzen bringen. Für den Betrieb des Stromnetzes ist es erforderlich, dass angebotene und nachgefragte Energie auf einem Niveau liegen. In diesem Zusammenhang stellt der Ausbau erneuerbarer Energien eine Herausforderung für die deutschen Stromnetze dar, da die Menge der erzeugten Energie nicht grundlastfähig ist und durch die erneuerbaren Energien allein somit keine Versorgungssicherheit erreicht werden kann. Studien gehen auch davon aus, dass bereits ab einer Quote von 30% Elektrofahrzeugen Lastspitzen auftreten können, welche zu Versorgungsengpässen führen können. Dies tritt auf, wenn Elektrofahrzeuge häufig gleichzeitig geladen werden und wenn Strom aus erneuerbaren Energie nicht zur gleichen Zeit produziert werden kann. Dies ist häufig zu den klassischen Ladezeiten für Privatlader der Fall – am Abend und über Nacht. Es bieten sich hier verschiedene Maßnahmen an: der Ausbau der Netze, Smart Grids und Zwischenspeicherlösungen. Durch eine dezentrale Steuerung von Stromerzeugung und Stromspeicherung kann die Nachfrage nach Strom gepuffert

werden. So könnten etwa Photovoltaikanlagen oder lokale Energiespeicher eingesetzt werden, um das Stromnetz zu entlasten. Der Staat muss die Rolle des Generalplaners für den Ausbau intelligenter Stromnetze übernehmen.

### **Wie werden sich Branchenstrukturen für die Ladeinfrastruktur verändern?**

Zur Analyse der Wirkbeziehung im Bereich Ladeinfrastruktur ist das gesamte Ökosystem zu betrachten. Zu den Stakeholdern der Ladeinfrastruktur zählen Betreiber, Hardwarehersteller, Energieversorger, Softwareproduzenten wie etwa Bezahldienste, Produzenten von Elektrofahrzeugen, der öffentliche Sektor und Plattform-Provider. Potentielle Betreiber von Ladestationen sind einerseits Nutzer, die eine Ladestation für den privaten Gebrauch möchten, als auch öffentliche Organisationen, welche die Ladestationen den Endnutzern zur Verfügung stellen. Im Zentrum des Ökosystems steht der Kunde, der zum einen durch Subventionierung unterstützt Elektrofahrzeuge anschafft und zum anderen mittels Elektromobilitätsplattformen, die verschiedene Zusatzdienste anbieten, die vorhandene Ladeinfrastruktur nutzt. Übergreifende Standards und rechtliche Rahmenbedingungen, Subventionen und Ausbauförderungen werden von öffentlicher Seite getragen. Dieses Ökosystem stellt dabei ein neues Ordnungssystem dar, wenn man bestehende Wertschöpfungsketten der Automobilindustrie gegenüberstellt. Ein bedeutender Akteur, der Endnutzer im Markt verbindet, sind E-Roaming-Plattformen. Verschiedene Ladesäulenbetreiber nutzen bislang unterschiedliche Bezahlssysteme und Tarife. Für Kunden stellt diese Heterogenität eine Hürde bei einer flächendeckenden Nutzung der Ladeinfrastruktur dar. Für Kunden bedeutet E-Roaming eine anbieterübergreifende Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten und eine steigende Standardisierung im Markt der Ladeinfrastruktur. Gleichzeitig werden die Ladestationen in die Navigationssysteme und Lade-Apps der anderen Anbieter mitaufgenommen. Wertschöpfungspartnerschaften, wie sie heute schon bei der gemeinsamen Entwicklung von Batterietechnologie existieren, werden ebenso an Bedeutung zunehmen wie Cloud-Dienste oder Abrechnungsnetzwerke auf Blockchain-Basis. Porsche hat Anfang 2018 verkündet, zusammen mit einem Startup eine Blockchain für verschiedene eigene Anwendungen entwickelt zu haben. Dieses Beispiel ist repräsentativ dafür, wie zukünftige Wertschöpfungsketten aussehen könnten. Nicht nur, dass etablierte deutsche Fahrzeug-OEMs einen elektrifizierten Technologieumbruch meistern müssen. Zudem müssen sie sich der fundamentalen Herausforderung der Sharing Economy stellen. Eine bessere Infrastrukturabdeckung, vielfältige dezentrale Lademöglichkeiten und die digitale Vernetzung zwischen Fahrzeugen und Nutzern bieten



für geteilte Mobilität die besten Voraussetzungen. Die Relevanz von Service-Dienstleistern und Plattformanbietern wird im elektromobilen Zeitalter steigen. Auch wenn in dieser Studie neue Strukturen, Entwicklungstendenzen und Szenarien aufgezeigt werden, welche das Ökosystem der Ladeinfrastruktur charakterisieren, sind Zukunftsbilder unscharf. Die gesamte Branche entwickelt sich. Klar ist jedoch, dass die klassische Tier-X-Wertschöpfungsarchitektur der automobilen Old-Economy ausgedient hat. Langfristig gilt es, geeignete Geschäftsmodelle aufzubauen, um die Lücke zu schließen, die durch den Wegfall von Subventionen entstehen wird.

## 1 Einleitung

Die Elektromobilität stimmt sich auf ihren Durchbruch ein. Zwar gilt es als wahrscheinlich, dass sich der elektrische Antrieb langfristig gegenüber dem Verbrennungsmotor durchsetzt, der genaue Zeitpunkt ist aber noch offen. Bislang wurde die Elektromobilität aufgrund der hohen Ladezeiten der Batterien und geringen Reichweite der Fahrzeuge als entfernte Zukunftsmusik abgetan. Allerdings lassen Trends und Entwicklungen in jüngerer Zeit anklagen, dass der Durchbruch der Elektromobilität schneller kommen könnte als erwartet.

Eine Entwicklung mit globaler Tragweite ist die steigende Nachfrage nach Ressourcen und Energie, die aufgrund von Knappheit von Erdöl, Erdgas, aber auch Metallen und Mineralien erneuerbaren Energiequellen eine immer größere Bedeutung verleiht. Hieran wird häufig die Diskussion um den Klimawandel angeknüpft. Dem Weltklimarat zufolge wird die globale Durchschnittstemperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf über 3 Grad Celsius ansteigen. Die EU-Richtlinie 2008/50/EG, welche mit der 39. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt wurde, schreibt seit dem Jahr 2010 einen Jahresgrenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel für die Schadstoffe Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide vor. Dieser Grenzwert wird in vielen deutschen Großstädten – darunter München, Stuttgart, Köln und Hamburg – regelmäßig überschritten. Ein mögliches Fahrverbot für Diesel-Autos, die für den Großteil der städtischen Schadstoffbelastung verantwortlich sind, bewegt immer mehr Menschen dazu, auf Elektroautos umzusteigen (vgl. Frese 2018; Umwelt Bundesamt (UBA) 2017). Dieser Trend könnte durch das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 27.02.2018 in Leipzig, die Kommunen über die Einführung eines Fahrverbots für Diesel-Fahrzeuge entscheiden zu lassen, verstärkt werden (vgl. FAZ Online 2018). Der Bund erwägt sogar, einen kostenlosen öffentlichen Personennahverkehr einzuführen, um die Stickstoffdioxid- und Feinstaubbelastung zu reduzieren und eine drohende Klage der EU-Kommission abzuwenden. Ein solches Modell soll zunächst in Bonn, Essen, Herrenberg, Reutlingen und Mannheim getestet werden (vgl. ZEIT ONLINE 2018). Mit der Urbanisierung ist das Phänomen der Ausbreitung städtischer Lebensformen zu beobachten, etwa durch Zuzug von Menschen aus ländlichen in urbane Regionen. Während im Jahr 1800 beispielsweise 2% der Weltbevölkerung in Städten lebte, sind es heute bereits 50%, mit steigender Tendenz. Mittelfristig wird die Anzahl von Megastädten mit mehr als zehn Millionen Einwohnern von 23 auf 37 steigen. Damit verändern sich die Mobilitätsbedürfnisse. Die Globalisierung erfordert, globale Strategien unter Einbezug von lokalen und regionalen Anforderungen zu bilden. Ein Wandel ist auch

beim Mobilitätsverhalten zu beobachten. Ein eigenes Auto galt für viele Jahrzehnte als Statussymbol. Dies gilt in vielen Regionen insbesondere für ältere Menschen immer noch. Die Generation der heute unter 35-Jährigen nutzt dagegen häufig Carsharing-Angebote oder andere Fortbewegungsmittel in ihrem täglichen Leben. So ist vor allem in urbanen Ballungsräumen ein Anstieg der Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln und Fahrrädern von jährlich bis zu 150% zu beobachten. Wenngleich es den Automobilherstellern heute gelingt, mit Hilfe von innovativen Lösungen in konventionellen Fahrzeugen ein kontinuierliches Wachstum von 1,5% zu halten, geht die Entwicklung in Richtung alternative Mobilitätsvarianten. Während zunächst gleichgültig ist, ob der Umstieg auf Elektromobilität proaktiv im Sinne der Umwelt oder reaktiv aufgrund von gesetzlichen Verordnungen geschieht, stellt sich vielmehr die Frage, wie der Umstieg auf die Elektromobilität gelingt. Die Ladeinfrastruktur stellt dabei einen wichtigen Einflussfaktor dar, denn die geringe Reichweite der Fahrzeuge und die hohen Ladezeiten der Batterien – im Vergleich zum Tanken von Kraftstoffen – erfordern ein flächendeckendes Versorgungsnetz. Auf der anderen Seite lohnen sich die hohen Investitionen in den Ausbau der Ladeinfrastruktur nur bei hoher Auslastung. Dieses Dilemma charakterisiert das so genannte Henne-Ei-Problem der Elektromobilität. Es betrifft verschiedene Anspruchsgruppen wie etwa Nutzer, Unternehmen, Verbände, Regierungen und Kommunen. Dies zeigt, dass das Ökosystem der Elektromobilität bereits heute komplex ist. Für die Zukunft bleiben jedoch Fragen offen. Vor diesem Hintergrund befasst sich die vorliegende Studie mit folgenden zentralen Fragestellungen:

- Was sind die Treiber und Herausforderungen der Elektromobilität? Wie wird sich die Elektromobilität als Technologie und Markt zukünftig entwickeln?
- Welche besondere Rolle trägt die Ladeinfrastruktur der Elektromobilität? Wie sieht der Stand der Technik aus? Welchen Anforderungen unterliegt die Netzinfrastruktur?
- Welche Wirtschaftlichkeitsaspekte gilt es zu berücksichtigen? Welche Geschäftsmodelle ermöglicht die Elektromobilität? Welches Zukunftsbild ergibt sich?

Zielsetzung dieser Studie ist, Erkenntnisse über die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität mit besonderem Blick auf die Ladeinfrastruktur zu gewinnen. Dabei gilt es, das gesamte Ökosystem der Elektromobilität unter technischen, wirtschaftlichen, politischen, rechtlichen, ökologischen und sozialen Aspekten zu betrachten.

Die vorliegende Studie ist in acht Kapitel untergliedert. Das erste Kapitel versteht sich als Einführung und beinhaltet Forschungsfragen, Zielsetzung und Aufbau dieser Studie. Die

---

Frage, ob Elektromobilität einen Hype darstellt oder schon heute Realität ist, ist Gegenstand des zweiten Kapitels. Dazu werden die Entwicklungen, Treiber und Hürden der Elektromobilität behandelt. Ausgangspunkt des Kapitels ist der veränderte Mobilitätsbedarf. Darüber hinaus wird mit der Formulierung von Zukunftsthesen eine Grundlage für die vorliegende Studie geschaffen. Kapitel drei klärt die Frage nach der besonderen Rolle, welche der Ladeinfrastruktur im Ökosystem der Elektromobilität zukommt. Ein wesentlicher Aspekt dabei ist die Bedarfssituation hinsichtlich der Ladeinfrastruktur, da eine steigende Anzahl an Elektrofahrzeugen mit einem steigenden Bedarf an Ladeinfrastruktur einhergeht. Die sich aus der Bedarfssituation ergebenden Herausforderungen werden ebenfalls vertieft. Der Schwerpunkt des vierten Kapitels liegt auf der technischen Seite der Ladeinfrastruktur. Es werden die Ladetechnologien konduktives und induktives Laden behandelt sowie Lade- und Tankstellen miteinander verglichen. Da die Abrechnung der Kosten für den Strom, der an einer Ladestation entnommen wird, auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen kann, werden Abrechnungsmodelle in einem gesonderten Unterkapitel betrachtet. Zudem werden im vierten Kapitel die Konzepte für Fahrzeuge mit niedriger, mittlerer und hoher Batteriekapazität behandelt. Kapitel fünf geht einen Schritt weiter und konzentriert sich auf die Anforderungen an die Netzinfrastuktur. Zentrale Themen sind hier die Stufen der elektrischen Versorgungskette, Herausforderungen in der Netzinfrastuktur und die Netzwerksteuerung als Lösungsansatz. Die Frage nach der Zukunft der Elektromobilität erfordert unausweichlich auch einen wirtschaftlichen Blickwinkel. Zunächst werden in Kapitel sechs Geschäftsmodelle im Ökosystem der Ladeinfrastruktur dargelegt. Zu vertiefen sind hier jeweils die Rolle der Kunden, des öffentlichen Sektors, der Produzenten, der Betreiber und der Dienstleister. Als Technologieführer und Pionier im Bereich der Ladeinfrastruktur der Elektromobilität wird zudem die Rolle von ABB in der Ladeinfrastruktur betrachtet. Anschließend werden die Wirtschaftlichkeitsaspekte der Elektromobilität beleuchtet. Hierzu zählen erstens die volkswirtschaftlichen Effekte, ökologischer Einsatz, Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt und Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt, zweitens die Wirtschaftlichkeit aus Sicht der Nutzer und drittens die Wirtschaftlichkeit aus Sicht der Betreiber. Für letzteres werden verschiedene Szenarien zum Betrieb von Ladeinfrastruktur untersucht. Unter Berücksichtigung von der digitalen Transformation, Energie und Klimawandel, Urbanisierung und Gesellschaft, intelligenten Verkehrssystemen sowie Diskurs und Allianzen wird abschließend ein Zukunftsbild elektrifizierter Ökosysteme aufgespannt.

## 2 Elektromobilität – Hype oder Realität?

Seit 2015 fahren mehr als 1,2 Milliarden Autos auf der Welt (vgl. Statista 2018d). Im Jahr 2050 sollen es mehr als 2 Milliarden Autos sein (vgl. Kreyenberg 2016). Schon heute ist klar: Der enorme Bedarf nach Mobilität wird Engpässe bei der Kraftstoffbeschaffung von Verbrennungsmotoren erzeugen. Zudem werden die Treibhausgasemissionen weiter zunehmen, sofern sich der Absatz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren nicht verringert. So zeigen Trendszenarien, wie in Abbildung 2-1 dargestellt, dass der Temperaturanstieg bis 2100 mehr als 3 Grad Celsius betragen wird, sofern kein signifikanter Wandel stattfindet (vgl. Wildemann 2012c). Gleichzeitig müssen aber auch Energieeffizienz und Ressourceneffizienz verbessert werden, um den Bedarf an Mobilität zukünftig decken zu können. Vor diesem Hintergrund hat bei Politik, Industrie und Gesellschaft ein Umdenken stattgefunden. Der Wunsch nach saubereren Lösungen und der Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen ließ die Nachfrage nach umweltschonenderen Technologien größer werden (vgl. Wildemann 2018d). In den öffentlichen und politischen Diskussionen hat sich dabei die Elektromobilität als Schlüsseltechnologie herauskristallisiert, mit der auf Dauer eine emissionsfreie Zukunft möglich sein soll. So erlebt die Elektromobilität mehr als 100 Jahre nach ihrem ersten Hype einen zweiten Aufschwung. Eine Vielzahl von Verordnungen und Förderprogrammen auf internationaler und nationaler Ebene wurde verabschiedet, um die Wandlung hin zur Elektromobilität zu schaffen. Daraufhin setzte auch die Industrie verstärkt auf die Produktion von Elektroautos. Während BMW die elektrisch betriebenen i-Modelle vorstellte, entwickelte Volkswagen die E-Modellserie. Zudem drängten neue Wettbewerber wie Tesla auf den

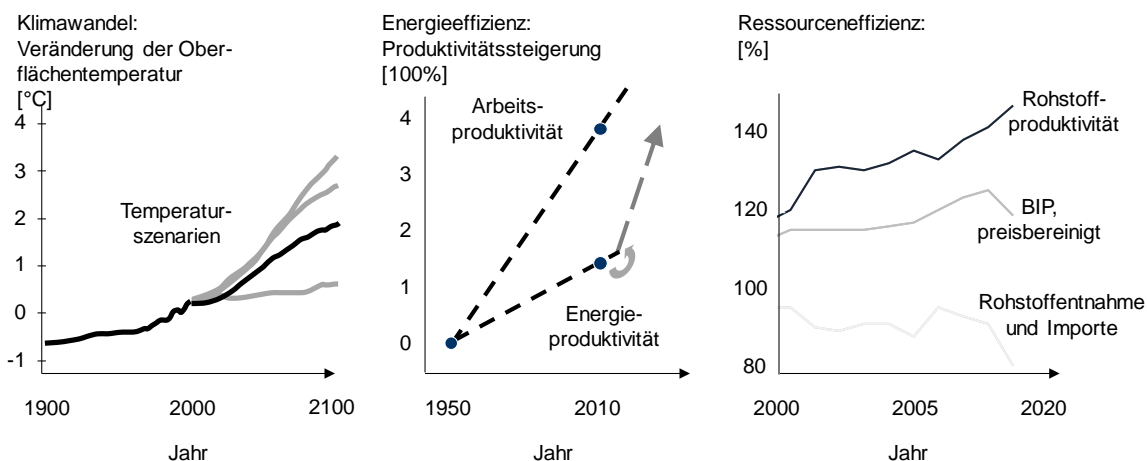


Abbildung 2-1: Megatrends

Markt und schafften zusätzliche Konkurrenz. Doch hat es die Technologie vor dem Hintergrund der geplanten und umgesetzten Maßnahmen in den Alltag geschafft?

## 2.1 Entwicklung der Elektromobilität

Im Jahre 1834 konstruierte Thomas Davenport das erste Elektrofahrzeug, welches mit einer Batterie betrieben wurde (vgl. Naunin 2007). Hierbei handelte es sich um einen Modellzug, welcher aber noch nicht wiederaufladbar war und nur auf einer kurzen Strecke genutzt werden konnte (vgl. Naunin 2007). 1878 konstruierte Gustave Trouvé das erste offiziell anerkannte Elektroauto, welches in Abbildung 2-2 dargestellt ist (vgl. Bundesverband eMobilität 2018; E-Mobilität 2018). Das Fahrzeug war mit einem Blei-Akkumulator ausgestattet und konnte eine Geschwindigkeit von 12km/h erreichen (vgl. Dudenhöffer 2015). Dies entsprach der durchschnittlichen Geschwindigkeit einer Pferdekutsche (vgl. Grüling 2014). In der Zeit zwischen 1880 und 1900 wurden die Elektroautos auf mehreren Ausstellungen vorgestellt, um die Technologie der Gesellschaft zugänglich zu machen und die Akzeptanz der Kunden für sich zu gewinnen (vgl. Naunin 2007). Der Absatz an Elektrofahrzeugen stieg und die Entwicklungen am Elektroauto ermöglichten immer höhere Reichweiten und höhere Geschwindigkeiten. Ende des 19. Jahrhunderts schaffte es der belgische Rennfahrer und Automobilkonstrukteur Camille Jenatton mit einem Elektrofahrzeug, die 100km/h-Grenze zu überschreiten (vgl. Heinisch 2010). Kein Fahrzeug hatte diese Grenze bis zu diesem Zeitpunkt überwinden können. Diese Rekordversuche haben die Aufmerksamkeit für Elektrofahrzeuge gestärkt und den Absatz weiter erhöht. So waren in den USA bereits Anfang des

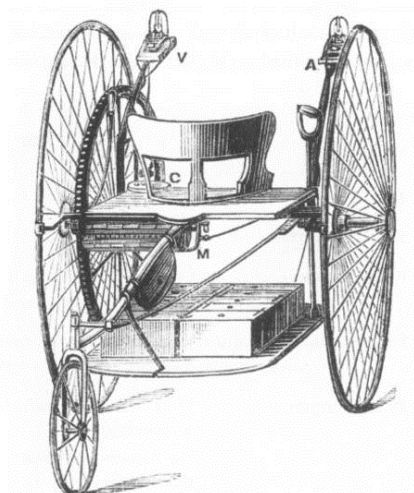
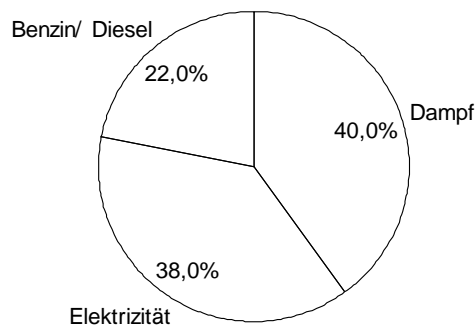


Abbildung 2-2: Erstes Elektrofahrzeug von Gustave Trouvé



**Abbildung 2-3: Fahrzeugmarkt in den USA Anfang des 20. Jahrhunderts**

20. Jahrhunderts mit 34.000 Elektrofahrzeugen knapp doppelt so viele batteriebetriebene Fahrzeuge auf den Straßen wie Autos mit Verbrennungsmotoren (vgl. Brinker/ Hengelage 2014; Stan 2015; Kuther 2017; Patalong 2017). Im Jahr 1900 liefen 38% der Fahrzeuge in den USA elektrisch, während nur 22% einen Verbrennungsmotor besaßen, wie Abbildung 2-3 zeigt (vgl. Grubits 2015). Der restliche Anteil wurde mit Dampf betrieben (vgl. Grubits 2015). Bis 1910 konnte das Elektrofahrzeug höhere Absatzzahlen als der Verbrennungsmotor erreichen. Danach haben Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor aufgrund ihres erhöhten Komforts, ihrer höheren Reichweite und dem Betanken von günstigerem Kraftstoff Elektrofahrzeuge immer mehr vom Markt verdrängt. Zum Beispiel erhöhte sich der Fahrspaß durch Entwicklungen, die im Rahmen von Downsizing und Downspeeding vorangetrieben wurden. Mit Downsizing ist die Erhöhung der Motorleistung bei gleichzeitiger Verkleinerung technischer Größen wie Gewicht oder Hubraum gemeint. Downspeeding beschreibt die Absenkung der Motordrehzahl mittels geänderter Gesamtgetriebeübersetzung (vgl. van Basshuysen 2013). Hierbei lassen sich Verbrauchsverbesserungen durchführen, die vergleichbar mit einer Hubraumreduzierung sind (vgl. van Basshuysen 2013). Bis Ende des 20. Jahrhunderts dominierten daher Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, während Elektrofahrzeuge ein Nischenprodukt bildeten. Durch die zunehmende globale Erwärmung und die Verknappung fossiler Brennstoffe müssen Gesellschaft, Industrie und Staat jedoch umdenken und handeln (vgl. Wildemann et al. 2014). Durch staatliche Verordnungen und der Entwicklung von neuen Elektroautos wird der Drang der Gesellschaft nach mehr Elektromobilität immer mehr gefördert.

Der Wandel darf aber nicht nur im Rahmen der privaten Nutzung von Elektrofahrzeugen erfolgen, sondern muss auch in gewerblichen Flotten vorangetrieben werden. Gewerbliche Flotten spielen auch heute noch eine besondere Rolle beim Wandel, da sie ein Drittel der