

Branchenspezifische Potenzialanalyse der Elektromobilität und alternativer Antriebe

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B. Sc.)“
im Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und
Informatik, Fakultät für Maschinenbau und der
Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Vorname: Christina

Name: Bredow



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 10. Juli 2018

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V
TABELLENVERZEICHNIS	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
1 EINLEITUNG	1
2 THEORETISCHE FUNDIERUNG	2
2.1 DEFINITION ELEKTROMOBILITÄT	2
2.2 DEFINITION ALTERNATIVE ANTRIEBE.....	3
2.3 LITERATURANALYSE	3
3 HISTORISCHE ENTWICKLUNG	6
4 TECHNISCHE BESCHREIBUNG VERSCHIEDENER VARIANTEN ELEKTRISCHER MOBILITÄT	9
4.1 DAS BATTERIEBETRIEBENE FAHRZEUG	9
<i>Der Elektromotor</i>	10
<i>Die Leistungselektronik</i>	13
<i>Der Akkumulator</i>	14
4.2 DAS BATTERIEBETRIEBENE FAHRZEUG MIT REICHWEITENVERLÄNGERUNG	17
4.3 HYBRIDFAHRZEUGE	17
4.4 DAS HYBRIDELEKTROFAHRZEUG	17
<i>Der Mikrohybrid</i>	18
<i>Der Mildhybrid</i>	18
<i>Der Vollhybrid</i>	18
4.5 DAS PLUG-IN-HYBRIDFAHRZEUG.....	19
<i>Die Antriebsstruktur</i>	19
4.6 DAS BRENNSTOFFZELLENFAHRZEUG	20
5 VOR- UND NACHTEILE DER VERSCHIEDENEN FAHRZEUGTYPEN	21
5.1 BATTERIEBETRIEBENES FAHRZEUG	21
<i>Reichweite</i>	21
<i>Energieeffizienz/Verbrauch</i>	25
<i>Luftschadstoffe</i>	26
<i>Kohlenstoffdioxid</i>	26
<i>Fahrkomfort</i>	27
<i>Lärm</i>	27
<i>Sicherheit</i>	28
<i>Ladedauer</i>	28
<i>Ladeinfrastruktur</i>	29
<i>Anschaffungskosten</i>	30
<i>Fördermaßnahmen</i>	30
<i>Betriebskosten</i>	31
<i>Wirtschaftlichkeitsrechnung</i>	32
5.2 DARSTELLUNG DER VOR- UND NACHTEILE ANHAND EINER FAHRZEUGANALYSE.....	33
5.3 HYBRIDELEKTRO- UND PLUG-IN-HYBRIDFAHRZEUG	36
5.4 BRENNSTOFFZELLENFAHRZEUGE	37
6 GEWERBLICHER ERWERB VON FAHRZEUGEN IN UNTERNEHMEN	38
6.1 TAXIBETREIBER	40
6.2 KURIER-EXPRESS-PAKET (KEP)-BEREICH	41
6.3 SOZIALE EINRICHTUNGEN/ ÖFFENTLICHER SEKTOR.....	41
6.4 POLIZEI	42
6.5 ENERGIEUNTERNEHMEN	43
7 LIMITATION	43

8 FAZIT	45
LITERATURVERZEICHNIS.....	48

1 Einleitung

Das Thema der Elektromobilität und alternativer Antriebe ist im Jahre 2018 vor allem durch das im Februar beschlossene Urteil des Bundesverwaltungsgerichts, welches die Genehmigung von Dieselfahrverboten in deutschen Städten gibt, wieder sehr aktuell. Gerade in Ballungsräumen die durch ein hohes Verkehrsaufkommen hohe Werte von Schadstoffen, Lärm und Kohlenstoffdioxid-Ausstoß ausgesetzt sind, soll dieses zu einer Senkung der Stickstoffdioxid-Werte in der Luft führen. Ganze 65 deutsche Städte sind dabei von Stickstoffdioxid-Belastungen, die zu Gesundheitlichen Schäden führen können, von teilweise weit oberhalb der Grenzwerte betroffen. Dieses kann zu einer erheblichen Verringerung der Lebensqualität führen. Zusätzlich wird durch den hohen Ausstoß des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid der Klimawandel weiter gefördert. Über die letzten Jahre sind dabei schon die ersten Folgen des Klimawandels auch hier in Europa ersichtlich geworden. Zahlreiche Waldbrände durch längere Trocken- und Hitzeperioden forderten vor allem im südlichen Teil Europas ihren Tribut und die in immer kleiner werdenden Abständen folgenden Jahrhunderthochwasser sind auch hier in Deutschland zu beobachten.¹

Um den weiteren Prozess bremsen zu können, bedarf es in allen CO₂-emittierenden Sektoren weitreichende Begrenzungen. Bezogen auf den Verkehrssektor wurde von der Bundesregierung das Ziel festgelegt, dass bis ins Jahr 2050 eine Verringerung der CO₂-Emissionen von PKWs um 85% gegenüber des Jahres 2005 fordert.

Dieses stellt die Automobilindustrie vor neuen Herausforderungen um die Mobilitätsbedürfnisse auch zukünftig gewähren zu können. Der Verbrennungsmotor bietet zwar noch großes Verbesserungspotenzial, wird diese Ziele aber niemals erreichen können. Eine Elektrifizierung des Antriebsstrangs vieler Fahrzeuge und ein Technologiesprung über die Hybride hin zu einer flächendeckenden Verbreitung von Elektrofahrzeugen scheint damit unumgänglich.²

Durch eine starke Forschung und Entwicklung in den letzten Jahren besitzen die elektrischen Fahrzeugtypen dabei schon heute Serienreife. Fast jeder Automobilhersteller bietet seine eigenen elektrischen Fahrzeugmodelle an und einige der Modelle können dabei sogar heute schon, unter anderem durch verschiedene Fördermaßnahmen wie z. Bsp. die Umweltprämie, konkurrenzfähig zu ihren vergleichbaren konventionellen Fahrzeugen sein und wirtschaftlich betrieben werden. Trotzdem läuft die flächendeckende Integration der Elektro- und Hybridfahrzeuge nur sehr langsam voran. Die Verkaufszahlen steigen zwar stetig, sind aber im Vergleich

¹ Füßel, A. (2017). *Technische Potenzialanalyse der Elektromobilität. Stand der Technik, Forschungsausblick und Projektion auf das Jahr 2025*. Wiesbaden: Springer Vieweg

² Stan, C. (2015). *Alternative Antriebe für Automobile. Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger* (4. Auflage Ausg.). Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.

zu der Anzahl der Fahrzeuge mit konventionellen Antrieben noch absolut vernachlässigbar. Die Förderung der Bundesregierung mit der Umweltprämie für private und auch gewerbliche Erwerbe von Elektrofahrzeugen wird zudem wenig angenommen und das Ziel der Bundesregierung bis ins Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf den deutschen Straßen zu haben, rückt in weite Ferne. Gründe hierfür liegen vielerlei Hinsicht starken Unsicherheiten über die Handhabung und den verlässlichen Einsatz der Fahrzeuge. Viele Experten sehen dabei die organisationalen Fahrzeuge als Schrittmacher der Adoption von Elektrofahrzeugen. Doch gerade im Bereich der Firmenflotten steht oftmals die Wirtschaftlichkeit an erster Stelle. Die zunehmend wichtigen Fragen hierbei sind, in wie weit die gewerblichen Elektrofahrzeuge im Vergleich zum Einsatz des privaten Erwerbs ein höheres Potenzial darstellen und ob dieses Potenzial, trotz der Nachteile beim Einsatz von Elektrofahrzeugen und alternativen Antrieben, letztendlich auch schon heute zu einer Wirtschaftlichkeit im gewerblichen Betrieb führen kann.^{3, 4, 5}

Hierfür ist zunächst eine Begriffsabgrenzung notwendig. Anschließend soll die Analyse des Potenzials auf einer Literaturanalyse basierend untersucht werden.

2 Theoretische Fundierung

2.1 Definition Elektromobilität

„Elektromobilität beschreibt den „Teil der Mobilität, für den elektrische Energie genutzt wird. I.w.S. sind dies sowohl Eisenbahnfahrten, Transporte mit einem elektrischen Gabelstapler als auch elektrisch unterstützte Fahrräder (Pedelec), Golfcarts, etc.“⁶

„Elektromobilität im Sinne der Bundesregierung umfasst all jene Fahrzeuge, die von einem Elektromotor angetrieben werden und ihre Energie überwiegend aus dem Stromnetz beziehen, also extern aufladbar sind. Dazu gehören rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV), eine Kombination von E-Motor und kleinem Verbrennungsmotor (Range Extender, REEV) und am Stromnetz aufladbare Hybridfahrzeuge (PHEV).“⁷

Diese drei Fahrzeugtypen werden unter dem Begriff des Elektrofahrzeuges zusammen gefasst.

³ Karle, A. (2017). *Elektromobilität. Grundlagen und Praxis* (2. Auflage Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

⁴ Vgl. Stan, C. (2015). *Alternative Antriebe für Automobile*

⁵ Vgl. Karle, A. (2017). *Elektromobilität. Grundlagen und Praxis* (2. Auflage Ausg.).

⁶ Jochem, D. P. (kein Datum). *Gabler Wirtschaftslexikon. Das Wissen der Experten*. Abgerufen am 09. 07 18 von <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/elektromobilitaet-53700/version-276770>

⁷ *Elektromobilität (Definition i.S. der Bundesregierung)*. (2016). Abgerufen am 09. 07 18 von <https://www.erneuerbar-mobil.de/glossar/elektromobilitaet-definition-der-bundesregierung>

Handlungsempfehlungen:

Elektrofahrzeuge können schon heute in gewerblichen Flotten unter diesen vier Bedingungen meist wirtschaftlich betrieben werden:

1. Die Elektrofahrzeuge können ihren Einsatz vorwiegend im Stadtverkehr bzw. auf kurzen Strecken fahren.
2. Es ist eine hohe Planbarkeit der Strecken gegeben um Reichweitenprobleme umgehen zu können.
3. Sie weisen hohe Laufleistungen auf.
4. Es werden Fahrzeuge im Kleinwagen Segment gefahren (Nicht alle Modelle weisen hier eine Wirtschaftlichkeit auf)

*Zusätzlich kann dieses noch durch verschiedene entstehende Image Effekte unterstützt werden.

Wenn ein Unternehmen diese vier Eigenschaften schon heute stellen kann, steht dem grundsätzlichen wirtschaftlichen Betrieb eines Elektrofahrzeuges bei der richtigen Modellwahl nichts mehr entgegen. Es sollten hierbei aber vor allem die Kosten für die zusätzlich benötigte Ladeinfrastruktur berücksichtigt werden. Aber auch ein Blick auf den Möglichen Image- Gewinn lohnt sich. Er kann vor allem zusätzliche Wettbewerbsvorteile gegenüber den anderen Unternehmen generieren. Vor allem wenn die Fahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Energien geladen werden.

8 Fazit

Aus dem Stand der Technik der verschiedenen Fahrzeugtypen der Elektromobilität und Alternativer Antriebe lassen sich verschiedene Vor- und Nachteile gegenüber den konventionellen Fahrzeugen herausarbeiten. Auf deren Basis wurde deutlich, welches Potenzial vor allem die Nutzung von BEVs heute schon bieten kann. Besonders bei Stadtfahrten kann es sein Potenzial gegenüber den konventionellen Fahrzeugen repräsentieren. Hierbei heben die niedrigen Geschwindigkeiten und die vielen Stopps durch Ampeln oder Verkehrsstaus vor allem die Vorteile der Verwendung des Elektromotors hervor. Mit seinem schon bei kleinen Drehzahlen großen Drehmoment ermöglicht er eine schnelle Beschleunigung und erleichtert das Fahren, durch den nicht mehr notwendigen Schaltvorgang. Zudem erzeugt er keine lauten Motorgeräusche und ist vor Ort Emissionen frei. Dieses kann vor allem in Ballungsgebieten heute schon sowohl die Lärmbelastung als auch die Schadstoffe

und den Kohlenstoffdioxid-Anteil in der Luft deutlich verringern und damit die Lebensqualität steigern. Zusätzlich kann durch den Prozess der Rekuperation viel Energie zurückgewonnen werden, welches zusammen mit der hohen Effizienz des elektrischen Antriebes einen nur geringen Energieverbrauch generieren lässt. Folgt darauf aber die Betrachtung der Nachteile der BEVs muss eine lange Ladedauer und die geringe nominelle Reichweite, sowie die Verringerung dieser um etwa einem Drittel auf die tatsächliche Reichweite, erwähnt werden. Die Ladedauer ist dabei von dem verwendeten Ladegerät bzw. des verwendeten Ladeverfahrens abhängig und hat eine Dauer von min. 30 Min. Die nominelle Reichweite stellt eine abhängig zu den sowie so schon hohen Anschaffungskosten dar. Je höher die Anschaffungskosten, desto höher die nominelle und damit auch die tatsächliche Reichweite.

Für eine Wirtschaftlichkeit der Fahrzeugnutzung des BEVs, müssen sich die hohen Anschaffungskosten durch geringe Betriebs- und Instandhaltungskosten ausgleichen. Dieses kann derzeit für vereinzelte Fahrzeugmodelle, vor allem durch die Förderung der BEVs mit der Umweltprämie und KFZ-Steuererlassungen, nachgewiesen werden. Der Betrieb einiger weniger BEV-Modelle ist also denen der vergleichbaren Verbrenner konkurrenzfähig. Hierbei ist jedoch festzustellen, dass das Basismodell mit Minimalausstattung des BEVs nicht konkurrenzfähig mit den Basismodellen mit Minimalausstattung der konventionellen Fahrzeuge ist. Dieses ist unter anderem auf die notwendige Kapazität des Akkus zurückzuführen. Er muss eine große Gesamtkapazität aufweisen, um eine bestimmte Reichweite bereitstellen zu können. Dabei stellt er gleichzeitig aber den größten Kostenpunkt im BEV dar. Eine Senkung der Reichweite um günstigere Akkukosten zu erzeugen stellt derzeit für die meisten Modelle in der Praxis aber keine Alternative dar. So genannte Low-Budget-Modelle existieren für die Elektrofahrzeuge demnach im Vergleich mit den konventionellen Fahrzeugen noch nicht.

Beim Analysieren der Vor- und Nachteile von den Hybridelektro- und Plug-In-Fahrzeuge wird ersichtlich, dass sie aufgrund der Verwendung des Verbrennungsmotors und eines kleinen Elektromotors hauptsächlich auf den Eigenschaften der konventionellen Fahrzeuge basieren. Die einzigen Vorteile gegenüber den konventionellen Fahrzeugen sind die Kraftstoffersparnis und der verringerte CO₂- Ausstoß. Diese beiden Werte sind in ihrer Ausprägung aber sehr stark vom Fahrverhalten des Nutzers abhängig.

Eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist damit in der Theorie möglich, auf die Nutzung der Fahrzeuge in der Praxis jedoch nur gering übertragbar und aus der weiteren Betrachtung auszuschließen.

Die Brennstoffzellenfahrzeuge bieten zu ihrem Vorteil lange Reichweiten und auch keinen CO₂-Ausstoß bei Betrachtung vor Ort. Aufgrund des fehlenden Wasserstofftankstellen-Netzes in Deutschland und aktuell nur zwei auf dem deutschen Markt verfügbaren Fahrzeugmodellen, welche mit sehr hohen Anschaffungskosten verbunden sind, ist dem Brennstoffzellenfahrzeug aus heutiger Sicht noch keine Praxis Relevanz zuzuordnen.

Zusätzlich zu dem Potenzial des BEVs durch die Vor- und Nachteile gegenüber des konventionellen Fahrzeuges, konnte ein Unterschied zwischen dem Nutzen des privaten und gewerblichen Erwerbs herausgearbeitet werden. So kann der gewerbliche Erwerb eines Fahrzeuges durch verschiedene Möglichkeiten, wie z Bsp. der Absetzung der Mehrwertsteuer oder der Kombination der BEVs mit konventionellen Fahrzeugen, Nachteile verringern oder sogar umgehen lassen.

Bei dem Versuch dieses Potenzial auf die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Branchen zu übertragen, indem einige Unternehmensrichtungen genauer beschrieben, untersucht und mit einigen Praxisbeispielen aus verschiedenen Projekten dargestellt wurden, stellte sich heraus:

Fast jedes Unternehmen stellt spezifische Anforderungen an die Faktoren wie der Reichweite, der Ladedauer, der möglichen Zuladung, der Fahrzeugklasse, der Flexibilität, der Höchstgeschwindigkeit und so weiter. Dieses zeigt, dass eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für eine komplette Wirtschaftsbranche nicht möglich bzw. sinnvoll ist. Werden nun einzelne Unternehmensrichtungen auf deren Wirtschaftlichkeit hin analysiert, kann eine Abhängigkeit zu der Jahreskilometerleistung und dem Fahrzeugmodell festgestellt werden. Hohe Jahresfahrleistungen können in Kombination mit einzelnen Fahrzeugmodellen, hauptsächlich vor allem die Kleinwagen, mit konventionellen Fahrzeugen konkurrieren und wirtschaftlich betrieben werden. Hierfür ist jedoch eine wesentlich aufwendigere Planung als bei konventionellen Fahrzeugen für notwendig.

Zudem ist eine Beachtung der Funktion der Aufgabe wichtig. Ein BEV kann z. Bsp für den Mehr-Schicht-Betrieb genutzt werden, indem es dauerhaft in den Pausen der Mitarbeiter durch die Schnellladefunktion geladen wird. Dieses bringt aber bis jetzt noch nur schwer absehbare nachteilige Folgen für die Kapazität des Akkus mit und lässt die Wirtschaftlichkeit des BEVs bis zum Ende der Nutzung ungewiss. Auch Faktoren wie das Unternehmensimage lassen sich nicht auf messbare Werte kalkulieren, können aber Wettbewerbsvorteile gegenüber anderen Unternehmen generieren und damit den Kauf der eigenen Produkte vermehren.

Einer generellen Verbreitung der Elektromobilität in den Unternehmensflotten ist heute noch keine Wirtschaftlichkeit zuweisbar. Einzelne Unternehmen können jedoch schon mit den richtigen Fahrzeugmodellen und in passenden und abgestimmten Anwendungsbereichen eine Wirtschaftlichkeit generieren. Jedes Unternehmen sollte dabei für sich auch die Vorteile abwägen, die nicht messbar sind. So kann trotz einer nicht vorhandenen Wirtschaftlichkeit der Einsatz von BEVs sinnvoll sein.