

Marktanalyse für Leistungs- und Effizienzmesstechnik an Elektro- und Hybridfahrzeugen

Masterarbeit
von
Christoph Pirnar

Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Betriebswirtschaftslehre und Betriebssoziologie

O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Bauer

Graz, im September 2017

In Kooperation mit:

DEWESoft GmbH



DEWESoft[®]
measurement innovation

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

.....

(signature)

Kurzfassung

Das Unternehmen DEWESoft mit Sitz in Kumberg bei Graz zählt weltweit zu den namhaftesten Herstellern von Messgeräten für Forschung und Entwicklung und ist mit seinen Produkten in den Bereichen Automotive, Power & Energy, Dynamic Signal Analysis und Aerospace vertreten. Aufgrund der rasanten Entwicklung und der wachsenden Bedeutung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen möchte sich das Unternehmen einen aussagekräftigen Überblick über mögliche Anwendungsbereiche von Leistungs- und Effizienzmesstechnik verschaffen. Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Identifikation und Analyse attraktiver Marktsegmente im Bereich der Elektrifizierung von Fahrzeugen.

Die wichtigsten Einflussfaktoren der Makroumwelt der Automobilindustrie werden zunächst mit einer auf Sekundärforschung basierenden Analyse erfasst. Zur Verdichtung und übersichtlichen Darstellung der gewonnenen Erkenntnisse wird die PEST-Analyse verwendet. Damit wird die Elektrifizierung in den Gesamtkontext der Branche eingeordnet. In weiterer Folge werden attraktive Fahrzeugsegmente identifiziert und einer weiteren Analyse unterzogen. Die Integration aktuellster Brancheninformationen in Form von Publikationen und Präsentationen von Fachkonferenzen ergänzen die aus der Sekundärforschung gewonnenen Informationen der Marktanalyse.

Es hat sich gezeigt, dass die Elektrifizierung von Antrieben und Verbrauchern in allen Fahrzeugsegmenten teils erhebliche Emissionseinsparungen und Effizienzsteigerungen ermöglicht und somit einen Beitrag zur Einhaltung restriktiver werdender Emissionsvorschriften leistet. Die Elektrifizierung von Nutzfahrzeugen ist trotz der geringeren Stückzahlen und Absatzmengen im Gegensatz zu Personenkraftwagen als attraktiver einzuschätzen. Hohe Anschaffungskosten sowie Bedenken zum zuverlässigen Betrieb lassen die Marktteilnehmer bzw. Endkunden derzeit noch abwartend reagieren, wodurch sich die Elektrifizierung der untersuchten Nutzfahrzeuge und Baumaschinen, mit Ausnahme von Bussen, generell noch am Beginn deren Entwicklung befindet. Die Potentiale der Hybridisierung bzw. Elektrifizierung im Nutzfahrzeuggbereich konnte konkret in Form von Studien bzw. Prototypen aufgezeigt werden. Die Notwendigkeit weiterer Verbesserungen hinsichtlich der technischen Reife, Zuverlässigkeit und Sicherheit im Betrieb lassen auf anhaltend hohe Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in diesen Marktsegmenten schließen und sind daher aus Sicht der Firma Dewesoft von besonders hoher Attraktivität.

Abstract

DEWESoft, based in Kumberg near Graz, is one of the world's leading manufacturers of measuring instruments for research and development and represented in the fields of Automotive, Power & Energy, Dynamic Signal Analysis, and Aerospace. Due to the rapid development and the growing importance of hybrid and electric vehicles, the company would like to get a clear overview of possible application areas of electric power and efficiency measurement technology. The aim of this master thesis is the identification and analysis of attractive market segments in terms of vehicle electrification.

The most important influencing factors of the automotive industry's macro environment are first gathered through analysis based on secondary research. The PEST analysis is used to summarize and clearly represent the obtained findings. The electrification is thus classified into the overall context of the industry. Subsequently, attractive vehicle segments are identified and subjected to further analysis. The inclusion of up-to-date industry information in the form of publications and presentations of symposia complements the market analysis obtained from secondary research.

It has been shown that the electrification of drivetrains and auxiliary loads enables significant emissions savings and efficiency improvements throughout all vehicle segments, thereby contributing to the compliance with more restrictive emissions regulations. Despite the smaller number of units and sales volumes compared to passenger cars, the electrification of commercial vehicles is more attractive. It was found that high purchase costs as well as concerns about reliable operation cause both market participants and end customers to be cautious. Hence, the electrification of the examined commercial vehicles and construction machines, with the exception of buses, is still at the beginning of their development. The potentials of hybridization and electrification in the commercial vehicle sector were shown in the form of studies or prototypes. The results of this master thesis emphasized the need for further improvements in terms of technical maturity, reliability and safety in operation. For DEWESoft this indicates that the research and development activities in these market segments will remain high and are therefore particularly attractive for the company.

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich all jenen Personen danken, die zur Realisierung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt an erster Stelle dem Unternehmen DEWESoft und ganz besonders Herrn Dipl.-Ing. Bernhard Grasel, der es mir ermöglicht hat, meine Masterarbeit in der Abteilung Power & Energy zu verfassen und mir im gesamten Entstehungsprozess dieser Arbeit stets konstruktiv mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist.

Ebenfalls möchte ich dem Institut für Betriebswirtschaftslehre und Betriebssoziologie der Technischen Universität Graz und Herrn O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Bauer sowie Herrn Dipl.-Ing. Volker Koch für die gute Zusammenarbeit bzgl. der Koordination und der Betreuung meiner Arbeit danken.

Ganz besonders möchte ich mich auch bei meinen Eltern bedanken, die mir mein Studium ermöglicht und mich in jeglicher Hinsicht unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Ausgangssituation..... | 1 |
| 1.2 | Ziele und Aufgabenstellungen..... | 1 |
| 1.3 | Untersuchungsbereich..... | 5 |
| 1.4 | Vorgehensweise..... | 5 |
| 2 | Theoretische Grundlagen der Arbeit | 7 |
| 2.1 | Elektrifizierung von Fahrzeugen..... | 7 |
| 2.1.1 | Motivation und Vorteile der Elektrifizierung..... | 7 |
| 2.1.2 | Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs..... | 8 |
| 2.1.3 | Übersicht Elektro- und Hybridfahrzeuge..... | 8 |
| 2.2 | Grundlagen der Marktforschung..... | 11 |
| 2.2.1 | Begriffsdefinitionen..... | 11 |
| 2.2.2 | Informationsbeschaffung in der Marktforschung..... | 12 |
| 2.2.3 | Marktsegmentierung..... | 14 |
| 2.2.4 | PEST-Analyse..... | 16 |
| 2.2.5 | SWOT-Analyse..... | 17 |
| 3 | Praktische Problemlösung | 19 |
| 3.1 | Darstellung des Geschäftsfeldes E-Mobility..... | 19 |
| 3.1.1 | Anforderungen an das Messsystem bei Leistungs- und Effizienzanalysen..... | 19 |
| 3.1.2 | Herausforderungen bei Leistungs- und Effizienzanalysen..... | 21 |
| 3.2 | Marktsegmentierung Elektro- und Hybridfahrzeuge..... | 25 |
| 3.2.1 | Allgemeiner Überblick und Segmentierung..... | 25 |
| 3.2.2 | Priorisierung der zu untersuchenden Marktsegmente..... | 30 |
| 3.2.3 | PEST-Analyse der europäischen Automobilindustrie..... | 31 |
| 3.2.4 | Analyse der Antriebsstrangelektrifizierung..... | 35 |
| 3.2.5 | Fahrzyklen und Real-Drive Emissions..... | 38 |
| 3.3 | Marktanalyse Transportfahrzeuge – Busse und LKWs..... | 41 |
| 3.3.1 | Definition und Übersicht..... | 41 |
| 3.3.2 | PEST-Analyse..... | 42 |
| 3.3.3 | Exkurs LKWs..... | 49 |
| 3.3.4 | Exkurs Busse..... | 53 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.4 | Marktanalyse Heavy Construction and Agricultural Machinery | 55 |
| 3.4.1 | Definition und Übersicht | 55 |
| 3.4.2 | PEST-Analyse..... | 56 |
| 3.4.3 | Exkurs Traktoren und Arbeitsgeräte | 59 |
| 3.4.4 | Exkurs Heavy Construction Machinery | 63 |
| 3.5 | Handlungsempfehlungen für Dewesoft..... | 67 |
| 4 | Zusammenfassung | 69 |
| | Literaturverzeichnis | 71 |
| | Abbildungsverzeichnis | 76 |
| | Tabellenverzeichnis | 79 |
| | Abkürzungsverzeichnis | 80 |
| | Anhang..... | 82 |

1 Einleitung

Das erste Kapitel gibt einen Überblick über die Entstehung, Zielformulierung und Projektabwicklung dieser Masterarbeit. Die Einleitung beinhaltet zunächst eine Beschreibung der Ausgangssituation und in weiterer Folge die daraus abgeleiteten Ziele und Aufgabenstellungen sowie den konkret formulierten Untersuchungsbereich dieser Arbeit. Die Darstellung und Beschreibung der zeitlichen Vorgehensweise in Form eines Projekt- bzw. Ablaufplans schließen dieses erste Kapitel ab.

1.1 Ausgangssituation

Das Unternehmen Dewesoft bietet Komplettlösungen für Messaufgaben in den Geschäftsbereichen Automotive, Power & Energy, Dynamic Signal Analysis und Aerospace an. Der Applikations- bzw. Geschäftsbereich Power & Energy wird von Seiten des Unternehmens in drei Teilbereiche gegliedert: Power und Power Quality Analysis, Power System Testing und E-Mobility.¹

Nach dem ersten Gespräch mit dem Geschäftsführer Herbert Wernigg und dem und dem Verantwortlichen für das Geschäftsfeld, Dipl.-Ing. Bernhard Grasel, hat sich gezeigt, dass es an personeller und zeitlicher Kapazität fehlt, um sich abseits des operativen Geschäfts fundiert in einem strukturierten und zeitlich begrenzten Ausmaß mit dem E-Mobility Markt für Leistungs- und Effizienzmesstechnik an Elektro- und Hybridfahrzeugen auseinanderzusetzen.

Obwohl Dewesoft bereits in diesem Markt vertreten ist und laufend neue Projekte und Kunden akquiriert, sollen Informationen über den Markt an sich sowie über die Bedürfnisse und Anforderungen potentieller Kunden gesammelt werden. Dadurch soll die Firma und die MitarbeiterInnen sensibilisiert werden, um das Potential dieses Geschäftsfeldes in Zukunft optimal ausschöpfen zu können.

Vor diesem Hintergrund und mit dem Wissen um die rasante Entwicklung, zukünftig absehbarer Großinvestitionen und das Aufkommen neuer technologischer Trends in der Elektrifizierung von Fahrzeugen, wird der Geschäftsbereich E-Mobility (für Leistungs- und Effizienzmesstechnik an Elektro- und Hybridfahrzeugen) von Seiten der Firma Dewesoft als High-Potential Markt eingeschätzt, der einer näheren Marktanalyse unterzogen werden soll.

1.2 Ziele und Aufgabenstellungen

Im Rahmen dieser Masterarbeit sollen attraktive Marktsegmente im Bereich der Elektrifizierung von Fahrzeugen durch eine theoretisch fundierte und strukturierte Herangehensweise identifiziert und bezüglich technologischer Trends, ableitbarer Kundenanforderungen sowie potentieller Kunden analysiert werden.

¹ Vgl. <https://www.dewesoft.com/applications> (30.08.2017)

Damit soll ein Überblick über mögliche Anwendungsbereiche von Leistungs- und Effizienzmessetechnik an Elektro- und Hybridfahrzeugen erarbeitet werden und als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Strategientwicklungen dienen, um eine erhöhte Markt- und Kundenorientierung im Geschäftsfeld E-Mobility zu ermöglichen.

Die konkreten Aufgabenstellungen leiten sich aus den jeweiligen Teilzielen dieser Masterarbeit ab, die nun in weiterer Folge mit den konkreten Maßnahmen zur Zielerreichung beschrieben werden.

Ziel 1: Darstellung der Inhalte im Geschäftsfeld E-Mobility

Im Rahmen der Einarbeitungsphase soll ein gemeinsames Grundverständnis für die Problemstellung geschaffen werden, indem der Geschäftsbereich E-Mobility klar umrissen und anhand der Anwendungsbereiche, deren grundlegende Anforderungen sowie aktuelle Projekten beschrieben und dargestellt werden. Darüber hinaus wird die Projektplanung in Form des Masterarbeitsauftrages laufend angepasst und abgeschlossen.

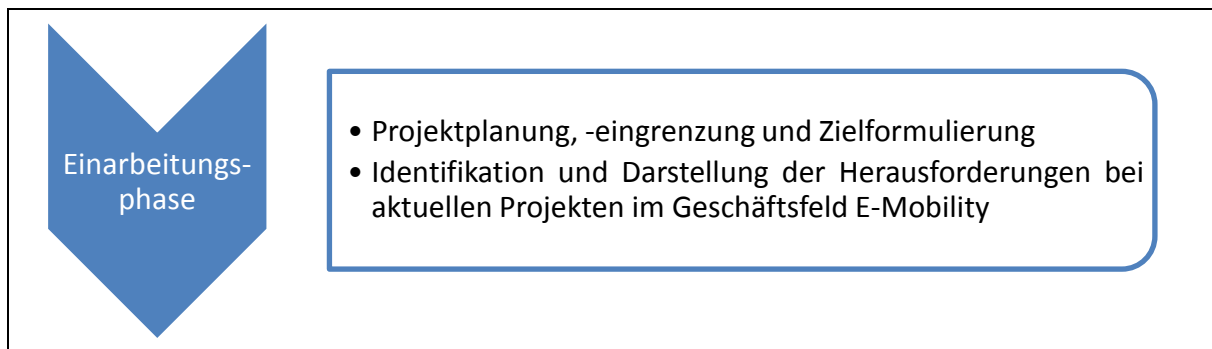


Abbildung 1: Einarbeitungsphase der Masterarbeit

Die Ergebnisse werden als PowerPoint-Präsentation aufbereitet und im Rahmen der ersten Zwischenpräsentation vorgestellt.

Aufgabenstellung

- i. Identifikation und Darstellung der Herausforderungen bei aktuellen Projekten im Geschäftsfeld E-Mobility
 - Im Rahmen von qualitativen Befragungen werden Mitarbeiter, die in der Abteilung Power & Energy arbeiten, im Rahmen eines Brainstormings bzw. von Gesprächen zur Ausgangssituation befragt. Außerdem geben diese Mitarbeiter aufgrund ihrer Erfahrung eine erste Einschätzung zur zukünftigen Marktentwicklung.
 - Durch Einsicht in firmeninterne Unterlagen und eventuell vorhandenen Marktanalysen werden weitere Anhaltspunkte für den anschließenden Segmentierungsprozess gewonnen.

Ziel 2: Identifikation, Segmentierung und Darstellung des E-Mobility-Marktes

Im Anschluss an die Einarbeitungsphase erfolgt mit der Marktsegmentierung der nächste Projektschritt gemäß Abbildung 2:

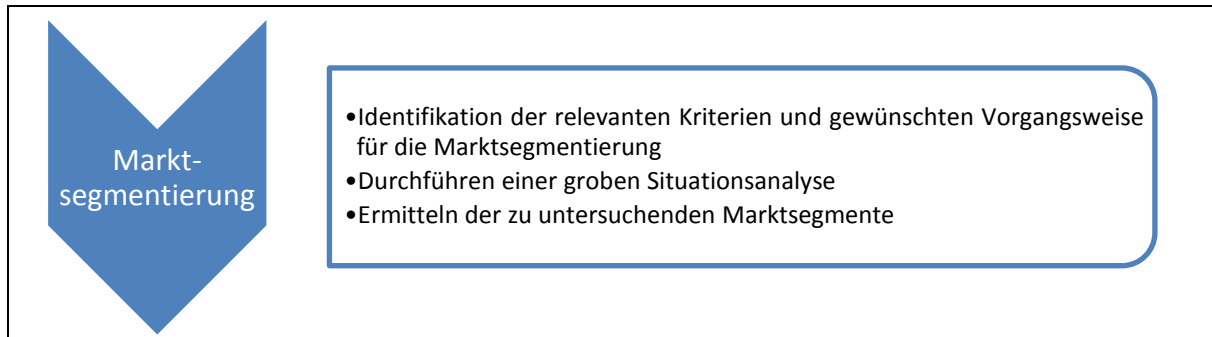


Abbildung 2: Marktsegmentierung

Aufgabenstellungen

- i. Identifikation der relevanten Kriterien und gewünschten Vorgangsweise für die Marktsegmentierung
 - Die Identifikation der Kriterien, nach denen der Markt bestmöglich segmentiert werden kann, erfolgt mit Rücksprache der Firma. Diese dienen als Anhaltspunkte für die anschließende Sekundärforschung und stellen eine koordinierte Durchführung des Marktsegmentierungsprozesses sicher.
- ii. Durchführen einer groben Situationsanalyse
 - Ausgehend von der Vorgangsweise und den Kriterien, die gemeinsam mit der Firma erarbeitet wurden, wird der E-Mobility Markt mittels Sekundärforschung untersucht und segmentiert. Dadurch soll ein erster Überblick zu den Marktsegmenten und wirtschaftlichen Trends sowie eine Einschätzung für die weitere Schwerpunktsetzung gegeben werden.
- iii. Ermitteln der zu untersuchenden Marktsegmente
 - Die einzelnen Schritte des Segmentierungs-Prozesses sollen anschaulich in einer PowerPoint Präsentation präsentiert werden, um diese methodische Herangehensweise zukünftig auch auf andere Geschäftsbereiche übertragen zu können.
 - Die genaue Eingrenzung bzw. Schwerpunktsetzung erfolgt im Rahmen der ersten Zwischenpräsentation, um optimal auf die Informationsbedürfnisse der Firma eingehen zu können.

Ziel 3: Marktanalyse der priorisierten Marktsegmente

Im letzten Schritt dieser Arbeit sollen jene Marktsegmente, die mit Rücksprache des Unternehmens ausgewählt wurden, gemäß den folgenden Kriterien aus Abbildung 3 näher analysiert werden:

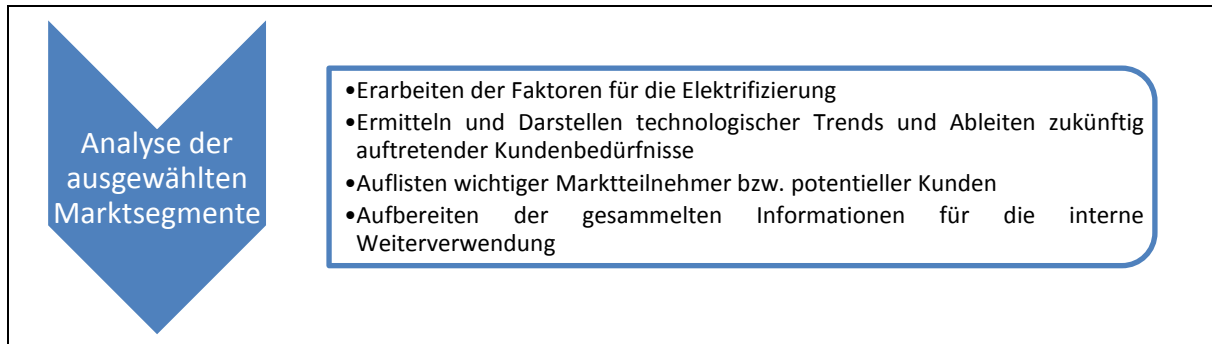


Abbildung 3: Marktanalyse der priorisierten Marktsegmente

Aufgabenstellungen

- i. Erarbeiten der Faktoren für die Elektrifizierung
- ii. Ermitteln und Darstellen technologischer Trends und Ableiten zukünftig auftretender Kundenbedürfnisse
 - Die einzelnen Marktsegmente werden mittels Sekundärforschung untersucht und analysiert. Fachzeitschriften, wissenschaftliche Publikationen sowie Beiträge und Präsentationen von E-Mobility Konferenzen werden im Rahmen von Online-Recherchen die Informationsgrundlagen für die Marktanalyse bilden.
 - Der Besuch der im Folgenden genannten Fachkonferenzen ermöglicht eine Beschaffung aktuellster Informationen und wird in die Auswertung bzw. Bewertung der Sekundärforschung miteinfließen.
 - 9th AVL International Commercial Powertrain Conference 2017, 10. – 11. Mai 2017, Graz
 - 29th International AVL Conference "Engine & Environment", 1. -2. Juni 2017, Graz
 - Die Strukturierung und Verdichtung der recherchierten Informationen erfolgt mithilfe einer PEST-Analyse, um die Makroumwelt und dessen Rahmenbedingungen übersichtlich herauszuarbeiten.
- iii. Auflisten wichtiger Marktteilnehmer bzw. potentieller Kunden
 - Im Zuge der Marktanalyse soll eine Sammlung der Marktteilnehmer bzw. potentieller Kunden gemäß ihrer Position in der Wertschöpfungskette durchgeführt und dem Unternehmen am Ende dieser Arbeit übergeben werden.

- iv. Aufbereiten der gesammelten Informationen für die interne Weiterverwendung
 - Die Erkenntnisse der Marktanalyse sollen für das Unternehmen, deren Mitarbeiter bzw. Vertriebspartner in Form von Word-Dokumenten und PowerPoint-Präsentationen aufbereitet werden.

1.3 Untersuchungsbereich

Die Ermittlung der Ausgangssituation und der Herausforderungen im Geschäftsfeld E-Mobility konzentriert sich auf die Auswertung bestehender firmeninterner Informationen, die mittels Befragungen von Mitarbeitern der Unternehmung erweitert und zusammengefasst werden. Eine Befragung der Vertriebsabteilung oder Vertriebspartnern bzw. von Kunden wird nicht vorgenommen.

Die Identifizierung und Segmentierung des E-Mobility Marktes erfolgt nach Fahrzeugkategorien und wird im Laufe der Masterarbeit durch die Erkenntnisse aus der Sekundärforschung weiter eingegrenzt, um optimal auf die Informationsbedürfnisse der Firma eingehen zu können.

Die genaue Eingrenzung bzw. Schwerpunktsetzung konnte zu Beginn noch nicht abgeschätzt bzw. konkretisiert werden und wurde im Laufe der Masterarbeit durch wiederkehrende Rücksprachen vorgenommen. In den einzelnen Marktsegmenten soll in erster Linie auf die technischen Anforderungen eingegangen werden. Bezüglich der Sammlung und Auflistung potentieller Kunden ist keine Bewertung bzw. Reihung vorgesehen.

1.4 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zur Erreichung der drei Teilziele dieser Masterarbeit ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Definition von Teilzielen wurde von Beginn an bewusst gewählt, um die Erarbeitung des Projektplans hinsichtlich der Setzung von Meilensteinen und zu Gunsten einer besseren zeitlichen Abschätzung zur Dauer dieser Masterarbeit zu ermöglichen.

Die Einarbeitungsphase, die in Form des ersten Teilziels bereits in Kapitel 1.2 detailliert beschrieben wurde, stellte den ersten Projektschritt dar und wurde im Rahmen der ersten Zwischenpräsentation zeitlich und inhaltlich abgeschlossen.

Zum Zeitpunkt dieser Präsentation wurde auch bereits mit der Erarbeitung des zweitens Teilziels zur Identifikation und Segmentierung des E-Mobility Marktes begonnen. Erste Erkenntnisse daraus wurden ebenso im Rahmen der ersten Zwischenpräsentation vorgestellt, um die weitere Vorgehensweise zur anschließenden Marktanalyse abzuklären.

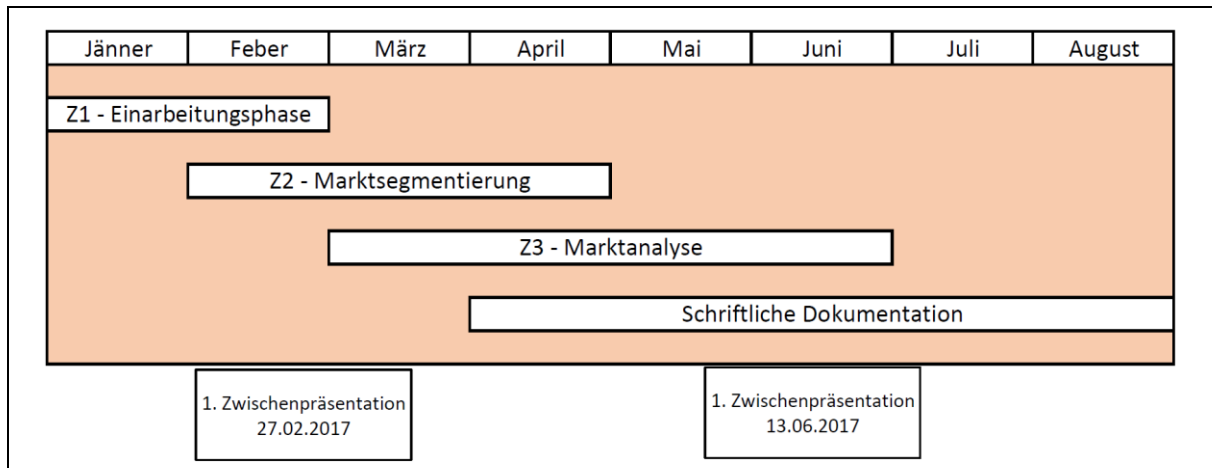


Abbildung 4: Zeitlicher Ablaufplan

Nach der erfolgten Marktsegmentierung folgte die Auswahl jener Marktsegmente, die einer detaillierteren Marktanalyse unterzogen werden sollten. Dies ist in Kapitel 3.2.2 dokumentiert. Den Abschluss dieser Arbeit bildete die Erstellung firmeninternen Unterlagen, die dem Unternehmen in Form von Dokumenten und Präsentationen übergeben wurden. Die in Abbildung 4 dargestellte schriftliche Dokumentation beinhaltet neben diesen Unterlagen auch die vorliegende Arbeit. Darüber hinaus wurden wiederkehrende Besprechungen im Unternehmen genutzt, um über den aktuellen Projektfortschritt zu berichten und neueste Erkenntnisse der Arbeit zu präsentieren. Dadurch konnte ein zeitnaher Wissenstransfer sichergestellt und der Untersuchungsbereich für die Marktanalyse laufend konkretisiert werden.

2 Theoretische Grundlagen der Arbeit

Die theoretische Auseinandersetzung mit den technischen und betriebswirtschaftlichen Themengebieten, die im Rahmen dieser Masterarbeit behandelt werden, soll deren Verständnis sowie sachgemäße Anwendbarkeit im Rahmen der praktischen Problemlösung sicherstellen. Dem Leser bzw. der Leserin wird auf den folgenden Seiten eine Einführung in die Grundlagen der Elektrifizierung von Fahrzeugen sowie der Marktforschung gegeben.

2.1 Elektrifizierung von Fahrzeugen

In diesem Kapitel soll neben den grundsätzlichen Vorteilen der Elektrifizierung gegenüber Fahrzeugen mit herkömmlichen Verbrennungskraftmaschinen auch auf die einzelnen Komponenten des elektrischen Antriebsstranges eingegangen werden. Eine Erklärung der Hybridisierungsarten von Fahrzeugen stellt den schrittweisen Übergang von konventionell betriebenen Fahrzeugen hin zu reinen Elektrofahrzeugen dar und rundet dieses einführende Kapitel zudem ab.

2.1.1 Motivation und Vorteile der Elektrifizierung

Die treibenden Faktoren für die Elektrifizierung von Fahrzeugen sind die Ziele zur Reduktion der Schadstoffemissionen und der Wunsch nach Effizienzsteigerungen im Transportwesen.² Elektromotoren sind aufgrund des hohen Wirkungsgrades, der im Bereich um 90 % liegt, klassischen Verbrennern überlegen, da diese im besten Fall einen Wirkungsgrad von 40 % erreichen. Durch Rekuperation kann die Effizienz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen weiter erhöht werden, zudem weisen Elektromotoren im Gegensatz zu konventionellen Motoren einen geringeren Verschleiß und somit weniger Wartungsaufwand auf (Abbildung 5). Weitere Vorteile sind der weitaus geringere Lärmpegel sowie das hohe Drehmoment, welches bereits bei geringer Drehzahl zur Verfügung steht, wodurch Getriebe und Kupplung nicht mehr notwendig sind.³

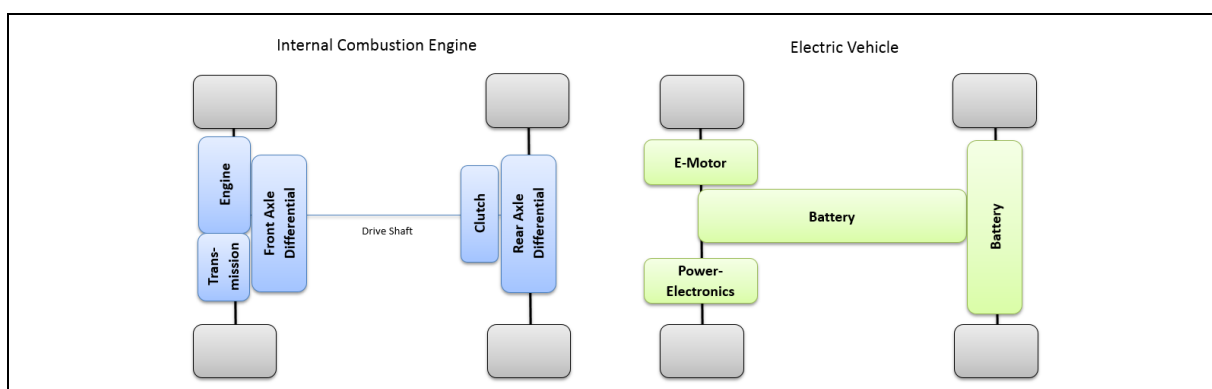


Abbildung 5: Vergleich konventioneller und elektrischer Antriebsstrang⁴

² Vgl. Besprechung, Grasel B., 11.01.2017

³ Vgl. (Karle, 2015, S. 21 ff)

⁴ Vgl. (Dayen et al., 2016, S. 2)

2.1.2 Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs

Der elektrische Antriebsstrang besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten, einer Batterie, einem Inverter und einem elektrischen Motor, in Abbildung 6 dargestellt.

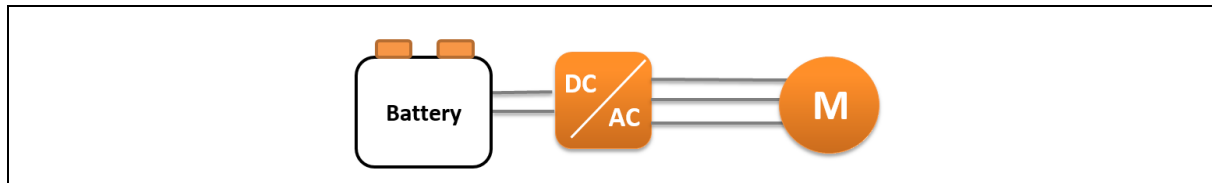


Abbildung 6: Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs⁵

Während Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ihren Kraftstoff, sei dies Benzin, Diesel oder Gas, aus dem Tank beziehen, versorgt die Batterie in Elektrofahrzeugen den Antriebsstrang mit elektrischer Energie.⁶ Die Batterie „bestimmt über die maximale Leistung, die Reichweite, die Sicherheit, die Lebensdauer und die Kosten des Fahrzeuges.“⁷ Die Inverter-Einheit wandelt die von der Batterie gespeiste Gleichspannung in zumeist 3-phasige Wechselspannung und ist somit für die Energieübertragung zwischen Batterie und Motor zuständig. Das Drehmoment, die Drehzahl sowie die Energierückgewinnung werden dabei von der Leistungselektronik gesteuert.⁸ Der Elektromotor wandelt den zur Verfügung gestellten Strom und die Spannung in mechanische Leistung um.⁹

2.1.3 Übersicht Elektro- und Hybridfahrzeuge

Der Übergang vom konventionell betriebenen zum rein elektrisch fahrenden Fahrzeug wird von Hybridfahrzeugen in unterschiedlichster Ausführung abgedeckt. Hybridfahrzeuge zeichnen sich durch das Vorhandensein von jeweils mindestens zwei verschiedenen Energiewandlern und Energiespeichern aus und lassen sich einerseits nach ihrem Elektrifizierungsgrad und andererseits nach ihrer Antriebsarchitektur einteilen.¹⁰ Aus messtechnischer Sicht sind dabei die Strom-, Spannungs- und Leistungskennzahlen von besonderem Interesse, die in Abbildung 7 die Darstellung der Hybridisierungsgrade vervollständigen.

⁵ Interes Dokument der Firma Dewesoft

⁶ Vgl. (Karle, 2015, S. 75 ff)

⁷ (Grasel, 2012, S. 49)

⁸ Vgl. (Karle, 2015, S. 86)

⁹ Vgl. (Grasel, 2012, S. 34)

¹⁰ Vgl. (Tschöke, 2015, S. 2 ff)

| Conventional Vehicle | | | | | | Electric Vehicle |
|-------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Micro-Hybrid Start-Stop | Mild-Hybrid | Full Hybrid (HEV) | Plug-In Hybrid (PHEV) | Range Extender (RE BEV) | Battery Electric Vehicle (BEV) | Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) |
| 12V | 12V/48V | 140V | 280V-420V | 280V-420V | Up to 470V | Up to 470V |
| | | 2km | 20-80km | 50-120km | 80-500km | 400-600km |
| | 10-20kW | 30-50kW | 50-100kW | | 50-150kW | Power of Electric Motor |
| 0% | | | | | 100% | Degree of Electrification |

Abbildung 7: Übersicht über die Hybridarten¹¹

Micro-Hybrid

Das Fahrzeug besitzt keinen Elektromotor und wird rein durch den Verbrennungsmotor betrieben, durch die Start-Stopp Automatik können jedoch Effizienzverbesserungen im Stadtverkehr von bis zu 10% erreicht werden.¹²

Mild-Hybrid

Mild-Hybrid Fahrzeuge erweitern den Verbrennungsmotor erstmals mit einer Batterie und einem Elektromotor im Leistungsbereich von bis zu 20kW, der zur Anfahr- und Beschleunigungsunterstützung sowie zur Rückgewinnung der Bremsenergie eingesetzt wird. Bei niedrigen Geschwindigkeiten treibt der Elektromotor das Fahrzeug alleine an und erreicht damit insgesamt Effizienz einsparungen von bis zu 20%.¹³

Full-Hybrid

Ein leistungsfähigerer Elektromotor ermöglicht Vollhybriden erstmals, rein elektrisch, aber auch nur mit dem Verbrennungsmotor oder kombiniert betrieben zu werden, abhängig von der verwendeten Antriebsarchitektur. Die Reichweite von 10km ist in diesem Fall maßgeblich durch die Kapazität der Batterie begrenzt.¹⁴

Plug-In-Hybrid

Bei Plug-In Hybriden vergrößert sich die elektrische Reichweite auf 30-100km durch größere Traktionsbatterien, die über die Steckdose aufgeladen werden können. Abhängig von der Kapazität der Batterie und dem Fahrzeuggebrauch übernimmt der Elektromotor den gesamten Fahrbetrieb. Der Verbrennungsmotor wird als Folge der geringeren Dimensionierung als Range Extender bezeichnet.¹⁵

¹¹ Vgl. (Docter & Heller, 2016, S. 5)

¹² Vgl. (Tschöke, 2015, S. 2 f)

¹³ Vgl. (Tschöke, 2015, S. 3 f)

¹⁴ Vgl. (Tschöke, 2015, S. 4)

¹⁵ Vgl. (Tschöke, 2015, S. 4 ff)

Battery Electric Vehicle

Das rein elektrisch betriebene Fahrzeug, welches bereits im vorigen Kapitel diskutiert wurde, bildet den Abschluss der Hybridisierung von Fahrzeugen.

Fuel Cell Electric Vehicle

Das Prinzip der Brennstoffzelle basiert auf der Erzeugung elektrischer Energie aus Wasserstoff mithilfe von Sauerstoff. Brennstoffzellenfahrzeuge weisen gemäß Abbildung 7 eine höhere Reichweite auf und können innerhalb weniger Minuten wieder aufgetankt werden. Zu den Nachteilen dieser Technik zählen unter anderem die hohen Herstellungskosten und die kostenintensive Wasserstoff-Produktion.¹⁶

¹⁶ Vgl. (Tschöke, 2015, S. 106 ff.)

2.2 Grundlagen der Marktforschung

Im Anschluss an die theoretische Auseinandersetzung über die Elektrifizierung von Fahrzeugen werden in diesem Kapitel jene Themengebiete der Marktforschung behandelt, die ebenso im praktischen Teil dieser Arbeit Anwendung finden. Beginnend mit der Erklärung grundlegender Begriffe wird in den darauffolgenden Unterkapiteln eine Einführung zur Informationsbeschaffung in der Marktforschung, zur Marktsegmentierung sowie zur PEST-Analyse gegeben.

2.2.1 Begriffsdefinitionen

Bevor näher auf die Marktsegmentierung und Marktforschung eingegangen wird, soll zunächst der Begriff des Marktes definiert werden. „Ein Markt besteht aus potenziellen Kunden mit Bedürfnissen oder Wünschen, die willens und fähig sind, durch einen Austauschprozess die Bedürfnisse oder die Wünsche zu befriedigen.“¹⁷

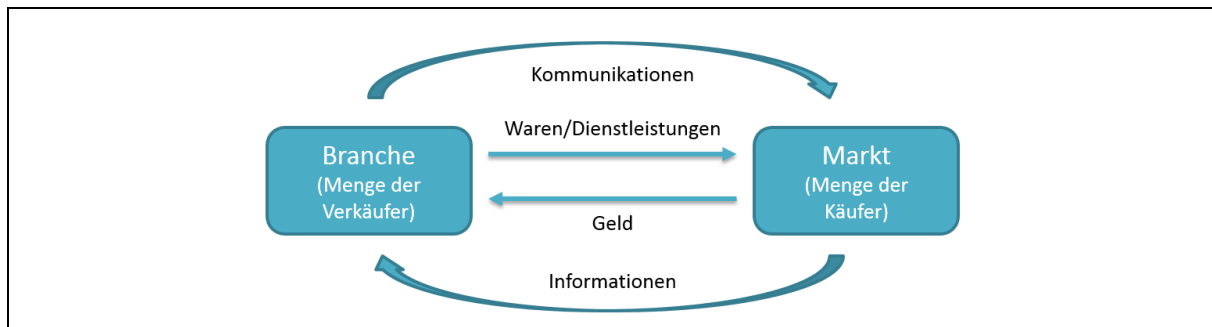


Abbildung 8: Definition des Marktes¹⁸

Der eben zitierte Austauschprozess, der früher typischerweise an einem Dorf- oder Marktplatz vollzogen wurde, beinhaltet dabei neben dem Tausch von Gütern gegen Geld einen Informationsaustausch, der in der äußeren Schleife der Abbildung 8 zu sehen ist. Der Marktbegriff kann sowohl auf einzelne Bedürfnisse, Produkte oder auf geographische Gebiete bzw. Länder bezogen werden.¹⁹

Der Begriff des Marketings kann folgendermaßen definiert werden. „Marketing umfasst die Aktivitäten der Menschen in den Märkten. Marketing heißt, auf diesen Märkten tätig zu sein, um potenzielle Tauschvorgänge zur Zufriedenstellung der Bedürfnisse und Wünsche der Menschen zu bewirken.“²⁰

In weiterer Folge „umfasst Marketing die Funktionen und Prozesse einer Organisation, um für ihre Kunden Wertangebote zu schaffen, zu kommunizieren und zu liefern sowie Kundenbeziehungen zum Wohle der Organisation und ihrer Beteiligten (Stakeholder) zu managen.“²¹

¹⁷ (Kotler et al., 2007, S. 16)

¹⁸ Vgl. (Kotler et al., 2007, S. 17)

¹⁹ Vgl. (Kotler et al., 2007, S. 16)

²⁰ (Kotler, Keller, & Bliemel, 2007, S. 18)

²¹ (Kotler et al., 2007, S. 36)

Der Wunsch nach einer umfassenden Marktanalyse des E-Mobility Marktes, der bereits im Rahmen des Erstgesprächs zur Ermittlung der Ausgangssituation formuliert wurde, zeugt vom Bestreben der Unternehmung, mit dem Informations- und Wissensgewinn dieser Arbeit in letzter Konsequenz am Markt sichtbar zu werden, um die eben zitierten Beziehungen zu Marktteilnehmern und potentiellen Kunden aufbauen zu können.

„Marketing ist eine unternehmerische Denkhaltung. Sie konkretisiert sich in der Analyse, Planung, Umsetzung und Kontrolle sämtlicher interner und externer Unternehmensaktivitäten, die durch eine Ausrichtung der Unternehmensleistungen am Kundennutzen im Sinne einer konsequenten Kundenorientierung darauf abzielen, absatzmarktorientierte Unternehmensziele zu erreichen.“²²

2.2.2 Informationsbeschaffung in der Marktforschung

Da von Seiten eines Unternehmens nicht alle erforderlichen Informationen zur Marktanalyse vorhanden sind, wie auch in der Ausgangssituation dieser Arbeit beschrieben wurde, stellt sich grundsätzlich die Frage nach der Beschaffung dieser Informationen im Rahmen der Marktforschung.

„Die Marktforschung beschäftigt sich mit einer systematischen und empirischen Ermittlung sowie Aufbereitung relevanter Informationen über Absatz- und Beschaffungsmärkte eines Unternehmens, um Marketingentscheidungen zu fundieren.“²³ Speziell im Zuge der Ermittlung unternehmensexterner Informationen muss darauf hingewiesen werden, dass es aufgrund der Komplexität und Unsicherheit einzelner Einflussfaktoren nie möglich sein wird, alle relevanten Informationen im Rahmen der Marktforschung sammeln zu können. Aus diesem Grund ist die Qualität der gesammelten Informationen von entscheidender Bedeutung, die sich anhand von verschiedenen Kriterien bzgl. deren Aktualität, Relevanz oder Objektivität erkennen lassen.²⁴

2.2.2.1 Sekundärforschung

Informationen können entweder durch Primär- oder Sekundärforschung gewonnen werden. „Die Sekundärforschung zeichnet sich dadurch aus, dass sie sich mit der Sammlung, Aufbereitung und Interpretation von Daten beschäftigt, die bereits vorliegen bzw. leicht zu beschaffen sind.“²⁵ Diese Sekundärdaten können entweder firmenintern vorhanden sein oder unternehmensextern in Form von Berichten, Publikationen oder Statistiken zu finden sein. Ein Überblick über mögliche Sekundärdatenquellen wird in Abbildung 9 gegeben.²⁶

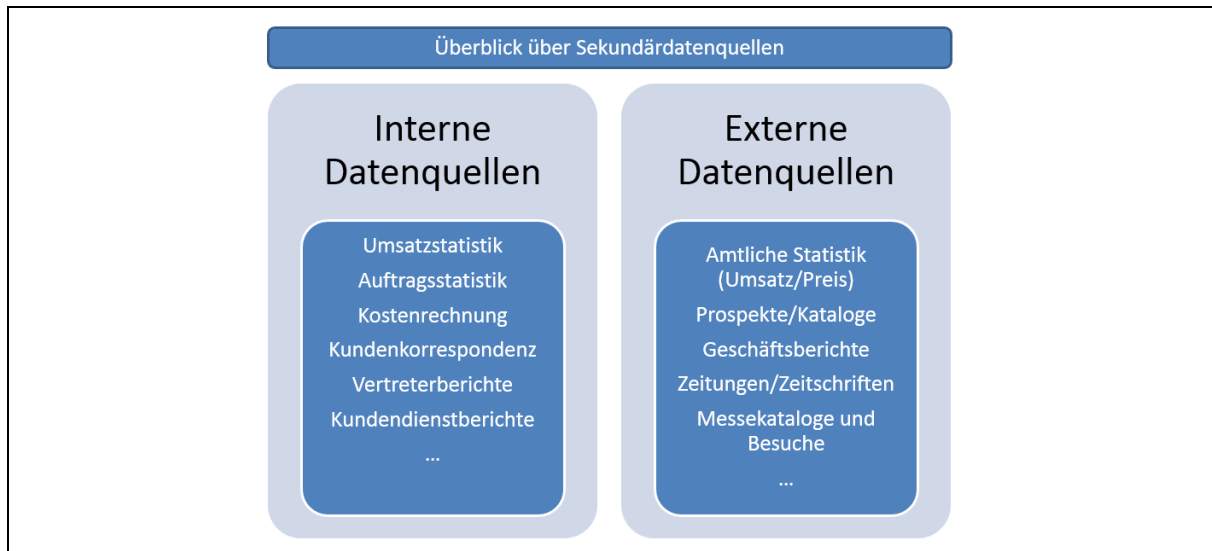
²² (Bruhn, 2016, S. 14)

²³ (Bruhn, 2016, S. 89)

²⁴ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 164 f.)

²⁵ (Bruhn, 2016, S. 109)

²⁶ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 169)

Abbildung 9: Informationsgewinnung mittels Sekundärforschung²⁷

Während sich Sekundärdaten meistens sehr kostengünstig und nicht zuletzt durch das Internet auch sehr schnell beschaffen lassen, sind sie meistens veraltet und eignen sich nicht dazu, spezielle Fragestellungen zu beantworten.²⁸

2.2.2.2 Primärforschung

Reichen die aus der Sekundärforschung vorliegenden Daten nicht aus, um das Informationsbedürfnis ausreichend zu befriedigen, werden diese fehlenden Informationen im Rahmen einer kostenintensiveren Primärforschung selbst erhoben. Die Erhebung erfolgt zumeist mittels Beobachtung oder Befragung.²⁹

2.2.2.2.1 Beobachtung

Bei Beobachtungen werden „aus der Analyse des sinnlich wahrnehmbaren Verhaltens und der Reaktion von Personen auf Stimuli Rückschlüsse auf marketingrelevante Sachverhalte gezogen.“³⁰

2.2.2.2.2 Befragung

Befragungen werden im Marketing sehr häufig eingesetzt und können sowohl schriftlich, mündlich, telefonisch oder online durchgeführt werden. Die Gewinnung der Informationen erfolgt dabei meistens mit einem Fragebogen, deren Fragen von Testpersonen beantwortet werden müssen.³¹

Der Art der Fragestellung erhält bei der Erstellung von Fragebögen neben der Formulierung und Reihenfolge der Fragen eine besondere Bedeutung. Bei der Verwendung von geschlossenen Fragen werden der Testperson mehrere Antworten vorgelegt, von denen eine oder mehrere ausgewählt werden muss. Es ist auch möglich, die Antwort in Form eines

²⁷ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 169)

²⁸ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 170)

²⁹ Vgl. (Meffert et al., 2015, S. 147)

³⁰ (Bruhn, 2016, S. 102)

³¹ Vgl. (Meffert et al., 2015, S. 149)

Skaleneintrags zu geben. Offene Fragen geben hingegen keine Antworten vor, der Proband kann die Fragen uneingeschränkt beantworten.³²

2.2.3 Marktsegmentierung

Bereits bei der Erstellung des Masterarbeitsauftrags bzw. bei der ersten Informationsbeschaffung hat sich gezeigt, dass der Begriff E-Mobility Markt zunächst genauer definiert werden muss, um eine effiziente und zielgerichtete Recherchetätigkeit sicherstellen zu können. Aus diesem Grund wurde die Identifikation sowie Segmentierung des E-Mobility Marktes gemäß Kapitel 1.2 als eigenes Teilziel formuliert.

Die Marktsegmentierung, die im Rahmen der ersten Zwischenpräsentation präsentiert wurde und im Rahmen der praktischen Problemlösung in Kapitel 3.2 näher beschrieben wird, lieferte somit einen ersten Überblick über einzelne Marktsegmente und bildete die Grundlage für die Schwerpunktsetzung zur weiteren Marktanalyse.

Durch die Marktsegmentierung werden potentielle Kunden in sinnvolle Gruppen unterteilt, die sich nach gewissen Gesichtspunkten differenzieren lassen.³³ Die sinnvolle Unterteilung soll sicherstellen, dass „der Marketer die Segmente einzeln effektiver und gewinnbringender bedienen kann, als wenn der Gesamtmarkt gleichförmig bedient würde.“³⁴

Betrachtet man jeden Kunden mit seinen individuellen Präferenzen, stellt dieser gemäß Fall (b) aus Abbildung 10 einen eigenen Markt für sich dar, und würde vom Anbieter am Markt auf sich zugeschnittene Produktangebote erhalten. Da es nicht sehr sinnvoll ist, das Marketing auf einzelne Kunden auszurichten, werden größere Segmente gebildet, die sich zum Beispiel nach Altersgruppen im Fall (d) unterscheiden lassen.³⁵

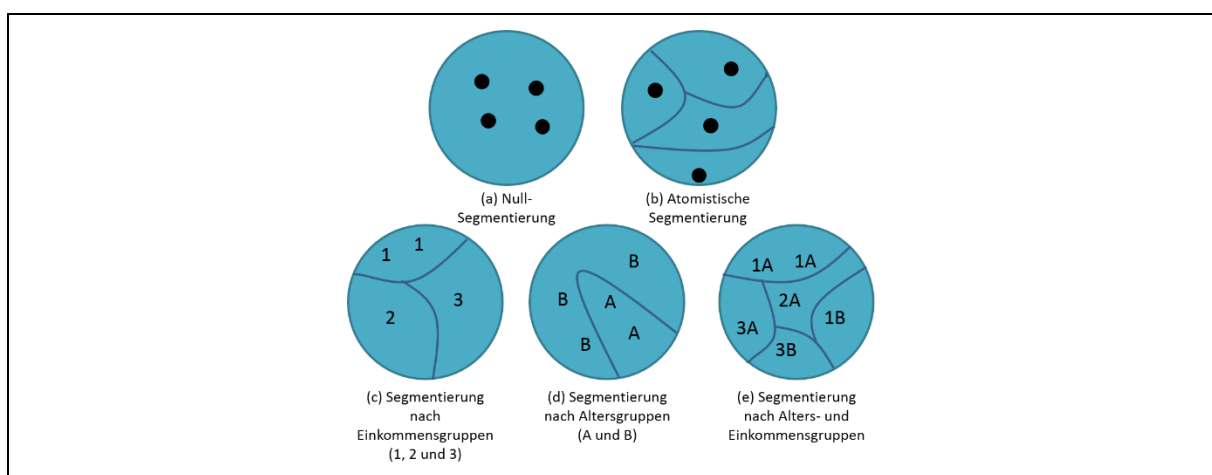


Abbildung 10: Modelle der Marktsegmentierung³⁶

³² Vgl. (Meffert, Burmann, & Kirchgeorg, 2015, S. 149 ff.)

³³ Vgl. (Kotler et al., 2007, S. 357)

³⁴ (Kotler et al., 2007, S. 357)

³⁵ Vgl. (Kotler et al., 2007, S. 357)

³⁶ Vgl. (Kotler et al., 2007, S. 357)

Die Segmentierung von Konsumgütermärkten geschieht üblicherweise anhand von geografischen, demografischen und psychografischen Merkmalen sowie von weiteren speziellen Verhaltensmerkmalen, die in Abbildung 11 abgebildet sind. Zu den geografischen Variablen zählen unter anderem Länder bzw. Gebiete oder die Bevölkerungsdichte, während bei den demografischen Variablen wie bereits erwähnt das Alter, Geschlecht oder auch die Kaufkraft miteinbezogen werden. Die Segmentierung nach psychografischen Kriterien beinhaltet die Persönlichkeit und den Lebensstil. Die Segmentierung von Industriemärkten geschieht teilweise nach den gleichen Gesichtspunkten, wird jedoch durch weitere Variablen gemäß Abbildung 12 erweitert.³⁷

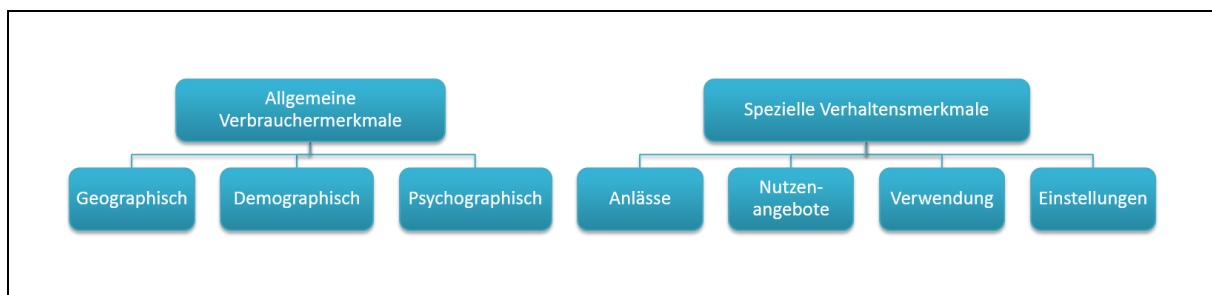


Abbildung 11: Zwei Segmentierungsansätze bei Konsumgütermärkten³⁸

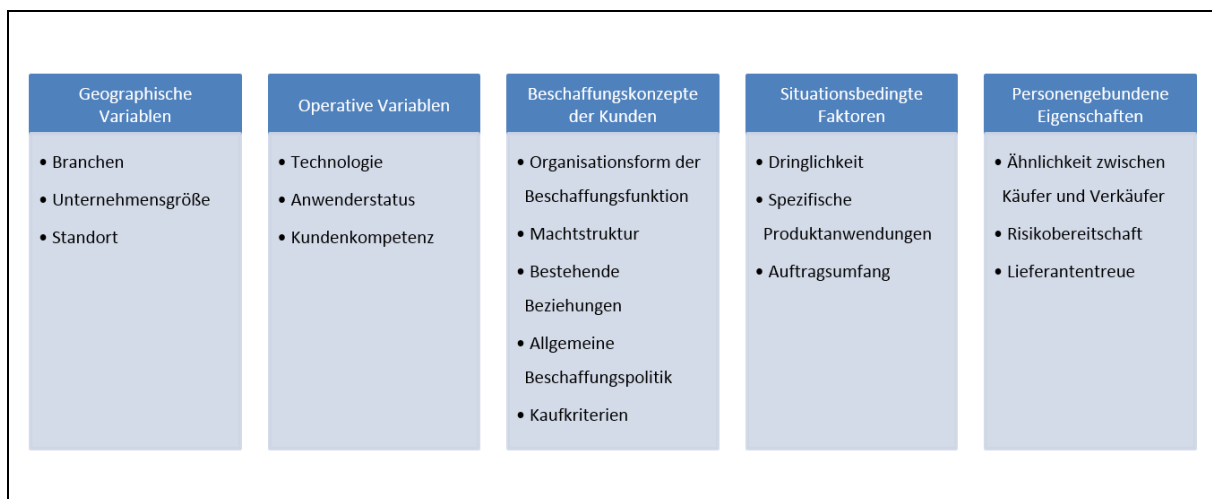


Abbildung 12: Segmentierungskriterien für Industriemärkte³⁹

Ungeachtet der tatsächlichen verwendeten Segmentierungsvariablen sollen die daraus gebildeten Segmente unter anderem messbar, substantiell und erreichbar sein, um die eingangs erwähnte sinnvolle Segmentierung sicherzustellen.⁴⁰ Nach einer erfolgten Marktsegmentierung folgt die Informationsbeschaffung, um genügend Wissen über einzelne Segmente sowie deren Größe bzw. Wachstumspotential zu ermitteln. Auf dieser Basis werden dann meistens Segmente ausgewählt, die in weiterer Folge durch unterschiedlichen Strategien abgedeckt werden können. Dazu zählen das undifferenziertes, differenziertes und konzentriertes Marketing.⁴¹

³⁷ Vgl. (Kotler, Keller, & Bliemel, 2007, S. 395)

³⁸ Vgl. (Kotler et al., 2007, S. 366)

³⁹ Vgl. (Kotler et al., 2007, S. 381)

⁴⁰ Vgl. (Kotler, Keller, & Bliemel, 2007, S. 386)

⁴¹ Vgl. (Kotler et al., 2007, S. 395)

2.2.4 PEST-Analyse

Die Informationsgewinnung dieser Masterarbeit hatte das Ziel, einen strukturierten Überblick über die Automobilbranche zu geben, um die Elektrifizierung von Fahrzeugen und die dadurch entstehenden potentiellen Geschäftstätigkeiten der Firma Dewesoft einordnen und einschätzen zu können. Die Sensibilisierung der Mitarbeiter und das zur Verfügung stellen dieses Wissens ist wichtig, um das wahre Potential des Geschäftsfeldes einschätzen bzw. nutzen zu können.

Um die Ziele dieser Arbeit zu erreichen, wurde die PEST-Analyse eingesetzt, um das Umfeld der Automobilbranche, in dem sich die Firma Dewesoft befindet, zu analysieren. „Die externe Umwelt eines Geschäftsfeldes wird durch eine Vielzahl von Faktoren geprägt, die von außen auf ein Unternehmen einwirken und von diesem nicht direkt beeinflusst werden können.“⁴²

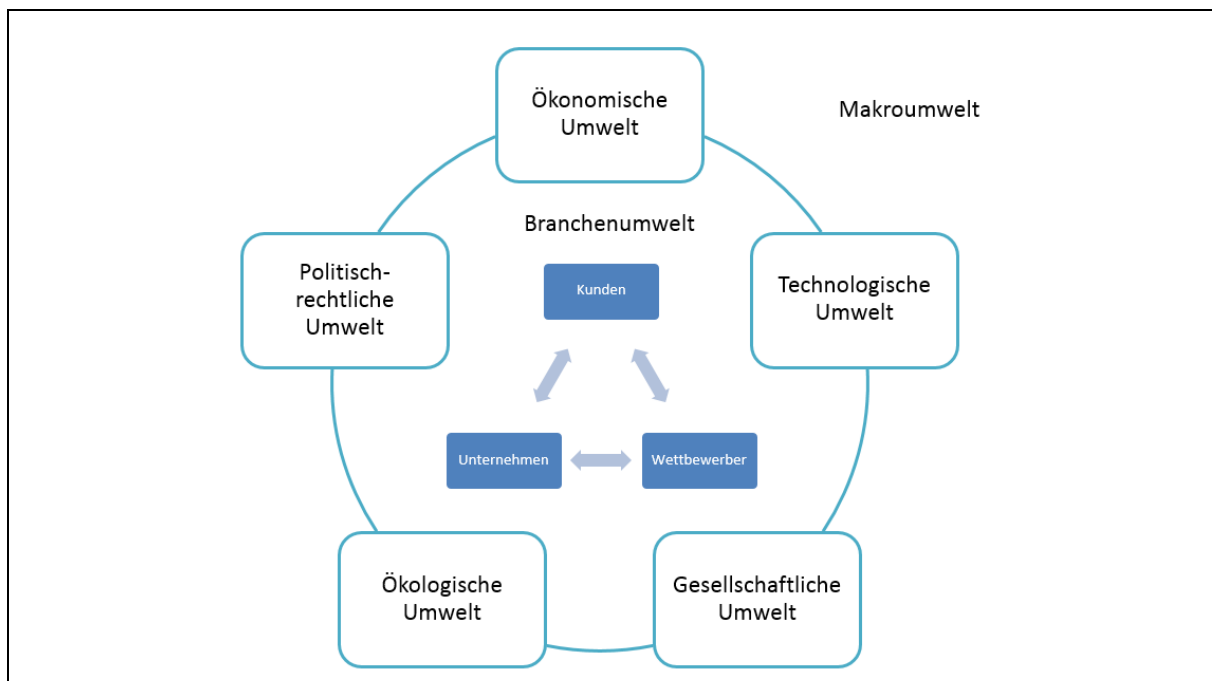


Abbildung 13: Makro- und Branchenumwelt eines Geschäftsfeldes⁴³

Die Analyse der Makroumwelt wurde in dieser Arbeit mithilfe der PEST-Analyse durchgeführt, deren Abkürzung die Umwelten repräsentieren: Politic, Economic, Socialcultural und Technological. In einer Abwandlung wird gelegentlich auch von der PESTLE-Analyse gesprochen, die die eben erwähnten Faktoren um Legal und Ecological erweitert.⁴⁴

Die Analyse der Makroumwelt wird durchgeführt, um „wichtige Einflussgrößen und Entwicklungen in den verschiedenen Umfeldern eines Unternehmens zu erkennen. In jedem dieser Bereiche werden sehr viele unterschiedliche Faktoren zusammengefasst, die in einer konkreten Entscheidungssituation möglicherweise strategierelevant sind. [...] Um im Einzelfall

⁴² (Hungenberg, 2014, S. 87)

⁴³ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 88)

⁴⁴ Vgl. <http://www.themanagement.de/Management/PEST-Analyse.htm> (19.05.2017)

die wichtigen Umfeldentwicklungen zu identifizieren, sollte ein Unternehmen die Analyse der Makroumwelt daher systematisch auf der Grundlage einer alle Umfelder abdeckenden Checkliste angehen.⁴⁵ Diese eben erwähnte Liste ist in Abbildung 14 dargestellt und gibt die Gesichtspunkte wieder, nach denen einzelne Einflussfaktoren zu den jeweiligen Umwelten zugeteilt werden.



Abbildung 14: Makroumwelt-Analyse und Kriterien⁴⁶

Im Zuge der praktischen Problemlösung wurden dann jene Einflussfaktoren, die durch Sekundärforschung gewonnen wurden, entsprechend dieser Abbildung klassifiziert. Es hat sich dabei gezeigt, dass in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Informationen einzelne Umwelten umfangreicher herausgearbeitet werden konnten.

2.2.5 SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse umfasst die Identifikation und Gegenüberstellung unternehmensinterner sowie -externer Einflussfaktoren, die im Rahmen einer strategischen Analyse gesammelt werden. Das Wort SWOT ist eine Abkürzung und enthält die vier Parameter, die sich aus der eben erwähnten internen und externen Analyse ergeben: Strengths, Weaknesses, Opportunities und Threats, also Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken.⁴⁷

Im Rahmen einer externen Analyse werden dabei die Chancen und Risiken identifiziert, die für ein Unternehmen aufgrund dessen Einbettung in die Makro- bzw. Branchenumwelt resultieren, während die Ermittlung der Stärken und Schwächen im Rahmen einer internen Analyse erfolgt. In dieser Arbeit wurde die PEST-Analyse dazu eingesetzt, diverse

⁴⁵ (Hungenberg, 2014, S. 94)

⁴⁶ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 88)

⁴⁷ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 86)

Einflussfaktoren der Makroumwelt zu ermitteln und den fünf Umwelten gemäß Abbildung 13 zuzuordnen. Die grundsätzliche Idee bzw. Gegenüberstellung der gesammelten Punkte der SWOT-Analyse erfolgt zumeist in Form einer anschaulichen Grafik, die in Abbildung 15 zu sehen ist.⁴⁸

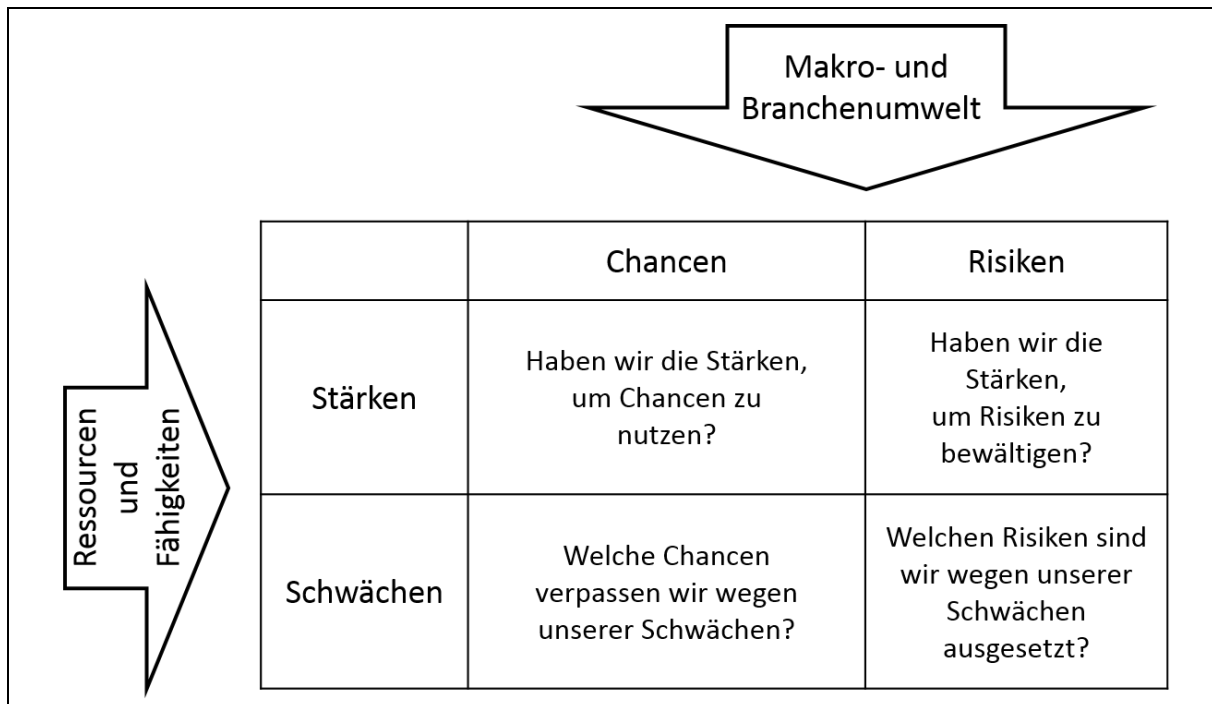


Abbildung 15: SWOT-Analyse⁴⁹

Durch diese Darstellung ist es möglich festzustellen, „ob die gegenwärtigen Stärken und Schwächen eines Geschäftsfelds angesichts der erwarteten Entwicklungen der Umfelders prinzipiell relevant sind und insbesondere, ob sie geeignet sind, die sich auftuenden Chancen und Risiken zu bewältigen.“⁵⁰ Die Erkenntnisse aus der SWOT-Analyse können in weiterer Folge die Grundlage bilden, um Ziele und Strategien für zukünftige Marketingtätigkeiten zu planen und umzusetzen.⁵¹

Die SWOT-Analyse lässt sich jedoch nicht nur auf ein Unternehmen oder Geschäftsfeld anwenden, wie im praktischen Teil dieser Arbeit in Kapitel 3.2.3 zu sehen ist. Im Rahmen der PEST-Analyse der europäischen Automobilindustrie konnte eine SWOT-Analyse gefunden werden, die sich mit den zentralen Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken der europäischen Automobilindustrie auseinandersetzt.

⁴⁸ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 86)

⁴⁹ Vgl. (Hungenberg, 2014, S. 86)

⁵⁰ (Hungenberg, 2014, S. 87)

⁵¹ Vgl. (Meffert et al., 2015, S. 224)

3 Praktische Problemlösung

Aufbauend auf den theoretisch erarbeiteten Grundlagen zur Elektrifizierung von Fahrzeugen sowie den Instrumenten und Methoden der Marktforschung folgt in diesem Kapitel die praktische Umsetzung der Teilziele aus Kapitel 1.2.

Der praktische Teil beinhaltet neben einer Darstellung des Geschäftsbereichs die Erhebung, Verdichtung und Dokumentation jener Informationen, die im Rahmen der Marktforschung gesammelt wurden. Nach einer ersten Analyse und Darstellung des Marktes für Elektro- und Hybridfahrzeuge erfolgt die weitere detailliertere Analyse einzelner Marktsegmente, deren Aufbereitung für die interne Weiterverwendung in der Unternehmung den Abschluss dieser Arbeit bildet.

3.1 Darstellung des Geschäftsfeldes E-Mobility

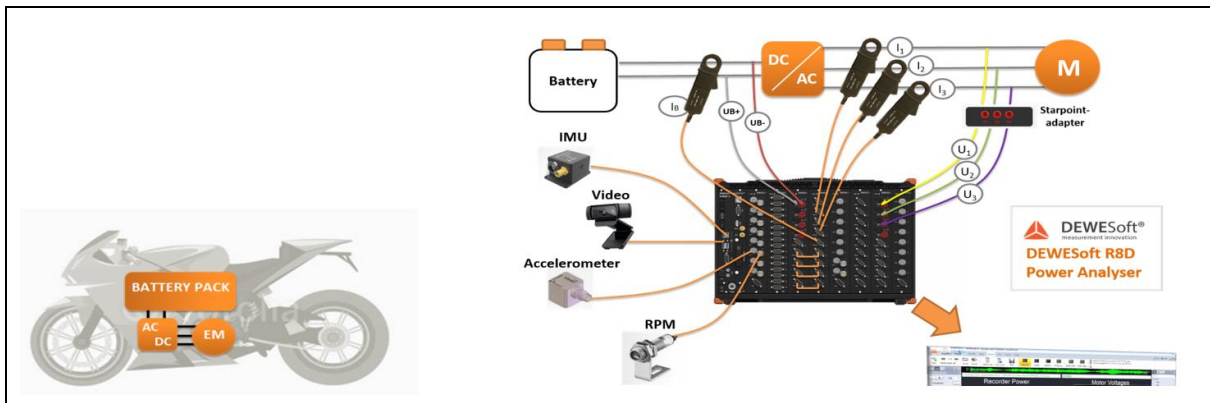
Zu Beginn der Arbeit wurde großen Wert auf die Einarbeitungsphase gelegt, um die Firma Dewesoft und den Geschäftsbereich Power & E-Mobility kennenzulernen und dadurch ein gemeinsames Grundverständnis für die Problemstellung zu schaffen. Mit Hinblick auf die erste Zwischenpräsentation dieser Arbeit hat es sich angeboten, die Einarbeitungsphase als eigenes Teilziel zu definieren, um parallel dazu die Projektplanung in Form des Masterarbeitsauftrages laufend anpassen und letzten Endes auch abschließen zu können.

Das Verständnis für Leistungs- und Effizienzmessstechnik sowie das Kennenlernen der Messgeräte der Firma Dewesoft waren die Voraussetzungen für eine effiziente und gezielte Informationsbeschaffung des nachfolgenden Marktforschungsprozesses. Die Ermittlung der Ausgangssituation im Geschäftsbereich E-Mobility konzentrierte sich auf die Auswertung bestehender firmeninterner Informationen, die mittels Befragungen von Mitarbeitern der Unternehmung erweitert und zusammengefasst wurden. Die Ergebnisse dieser ersten Projektphase werden auf den folgenden Seiten beschrieben und tragen zur besseren Veranschaulichung der grundsätzlichen Problemstellung dieser Arbeit bei.

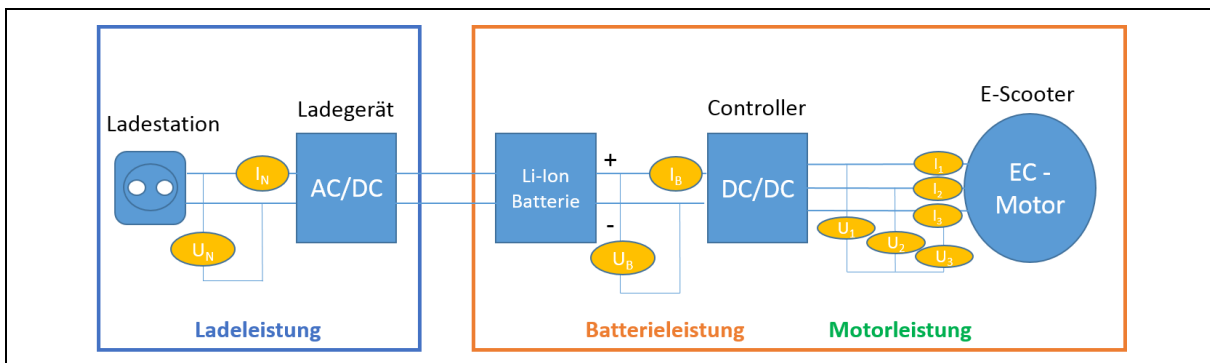
3.1.1 Anforderungen an das Messsystem bei Leistungs- und Effizienzanalysen⁵²

In Abbildung 16 ist ein exemplarisches Anwendungsbeispiel für Leistungs- und Effizienzanalysen dargestellt, welches sich sehr gut dazu eignet, den Einsatz von Messtechnik bei Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen anschaulich darzustellen.

⁵² Vgl. Besprechung, Grasel B., (13.01.2017) Anmerkung: Die Einarbeitung in die Leistungs- und Effizienzmessstechnik erfolgte im Rahmen einer ersten Besprechung in der Firma Dewesoft mit dem Betreuer dieser Masterarbeit, dem sämtliche nun folgende Informationen entnommen wurden.

Abbildung 16: Leistungs- und Effizienzanalyse an einem elektrischen Motorrad⁵³

Um die Energieeffizienz und den Verbrauch eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs ermitteln zu können, ist es notwendig, mithilfe eines Messsystems alle dafür erforderlichen Messgrößen zu erfassen. In diesem Beispiel stellt der Power Analyser R8D der Firma Dewesoft das Messsystem dar, mit dem Ströme und Spannungen entlang des gesamten elektrischen Antriebsstranges, also der Batterie, des Inverters und des Motors erfasst werden. Wie in Abbildung 17 zu sehen ist, kann durch die messtechnische Erfassung dieser Größen die Lade-, Batterie- und Motorleistung und letztendlich die Effizienz des Fahrzeuges bestimmt werden.

Abbildung 17: Messaufbau bei Leistungs- und Effizienzanalysen⁵⁴

Es soll an dieser Stelle noch angemerkt werden, dass Power Analyser zur elektrischen Messdatenerfassung eine hohe Abtastrate, Bandbreite sowie Messgenauigkeit aufweisen müssen, um möglichst exakte und aussagekräftige Ergebnisse zur Energieeffizienz liefern zu können. Im Sinne einer besseren Lesbarkeit der Arbeit und der Konzentration auf die betriebswirtschaftlichen Schwerpunkte dieser Arbeit wird jedoch darauf verzichtet, näher auf diese messtechnischen Details einzugehen.

Zusätzlich zu den elektrischen werden auch mechanische Parameter, unter anderem die Motordrehzahl oder die Beschleunigung des Fahrzeugs, benötigt. Die zusätzliche Verwertung von CAN (Controller Area Network)- und Prüfstands-Daten, z.B. durch das OPC (Open

⁵³ Internes Dokument der Firma Dewesoft

⁵⁴ Vgl. (Grasel, 2012, S. 58)

Platform Communications)-Interface, Temperaturdaten und Videoaufnahmen runden die Messdatenerfassung bei Leistungs- und Effizienzanalysen grundsätzlich ab.

Zusammenfassend erfolgt die Leistungs- und Effizienzanalyse von Elektro- und Hybridfahrzeugen durch die Messung von elektrischen und mechanischen Parametern, die in Kombination mit weiteren Fahrzeugdaten Rückschlüsse auf die Effizienz und den Energieverbrauch ziehen lassen. In Abbildung 18 wurden die Resultate einer Effizienzmessung an einem elektrisch betriebenen Motorrad von Seiten der Unternehmung graphisch dargestellt. Hier ist zu sehen, in welchen Bereichen des elektrischen Antriebsstranges Verluste während einer Testfahrt aufgetreten sind.

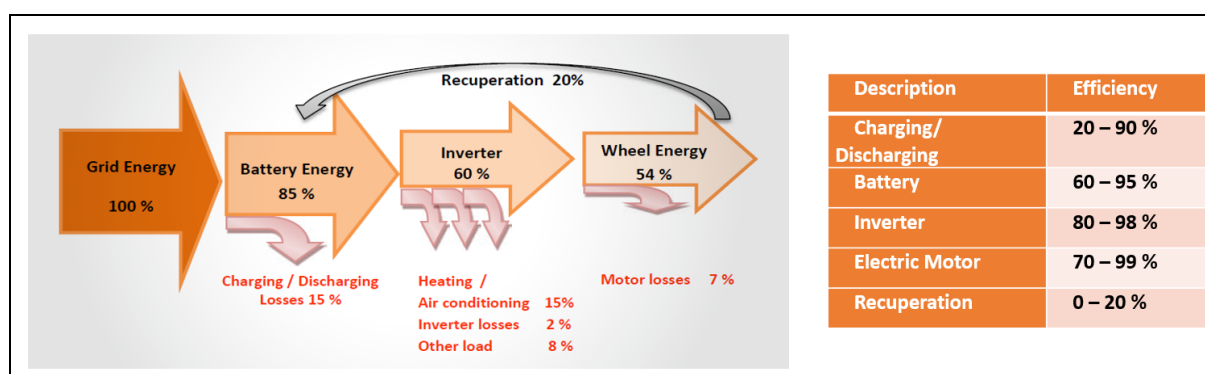


Abbildung 18: Verluste entlang des elektrischen Antriebsstrangs⁵⁵

3.1.2 Herausforderungen bei Leistungs- und Effizienzanalysen⁵⁶

Die eben vorgestellte Leistungs- und Effizienzanalyse stellt ohne Zweifel ein einfaches, aber sehr anschauliches Anwendungsbeispiel dar. Nichtsdestotrotz lassen sich daraus einige charakteristische Merkmale bzw. Herausforderungen bei Leistungs- und Effizienzanalysen ableiten, die im Rahmen einer Besprechung in der Unternehmung erarbeitet und auf fünf zentrale Punkte reduziert wurden.

Vielzahl an Messgrößen und Leistungsanalysen

Abhängig von der Architektur des Antriebsstranges eines Elektro- oder Hybridfahrzeuges kann die Anzahl an Batterien, Invertern und Motoren stark variieren. Es hat sich im Laufe der Diskussion gezeigt, dass die Vielzahl an elektrischen Messkanälen von Seiten der Firma als zentrale Herausforderung für Leistungs- und Effizienzanalysen eingeschätzt wird.

Die meisten Power Analyzer sind aufgrund ihres grundlegenden Designs nicht in der Lage, eine Vielzahl an Spannungs- und Stromkanälen in einem Gerät erfassen zu können. Für Analysen des gesamten elektrischen Antriebsstranges bzw. im Falle mehrerer Motoren in einem Elektrofahrzeug entscheidet die Anzahl der Messkanäle über die Wettbewerbsfähigkeit eines Messgeräteherstellers in diesem Markt.

⁵⁵ Internes Dokument der Firma Dewesoft

⁵⁶ Vgl. Besprechung, Grasel B, 19.01.2017

Speicherung der Rohdaten

Konventionelle Power Analyzer erlauben keine Speicherung der tatsächlich gemessenen Rohdaten, sondern speichern lediglich gemittelte Messwerte ab. Dadurch sind aussagekräftige Leistungs- und Effizienzanalysen nicht möglich, da diese Messgeräte durch die Verwendung von Mittelwerten in der Praxis relative Effizienzkoeffizienten größer als 1 liefern.

Zeitsynchrone Messdatenerfassung

Eine weitere Herausforderung bei Leistungs- und Effizienzanalysen resultiert aus der Vielzahl an unterschiedlichen Messgrößen, die sich aus elektrischen und mechanischen Größen sowie zusätzlichen Fahrzeugdaten ergeben. Für die Effizienzanalyse des elektrischen Motorrads aus dem vorigen Kapitel wurden zum Beispiel 20 verschiedene Messgrößen erfasst.

Konventionelle Power Analyzer stellen bei Effizienzanalysen oft einen limitierenden Faktor dar, da sie, wie in Abbildung 19 ersichtlich ist, zum Beispiel nur maximal drei Strom- und Spannungskanäle erfassen können. Für die Analyse eines elektrischen Antriebsstranges sind deshalb drei dieser Geräte notwendig, um sowohl die Batterie, den Inverter als auch den Motor messtechnisch erfassen zu können. Weitere Messinstrumente wie z.B. CAN- und Daten-Logger bedeuten für den Kunden bzw. End-User, dass eine zeitsynchrone Messdatenerfassung durch diese Herangehensweise nicht bzw. im Idealfall nur mit sehr großem Aufwand möglich ist.

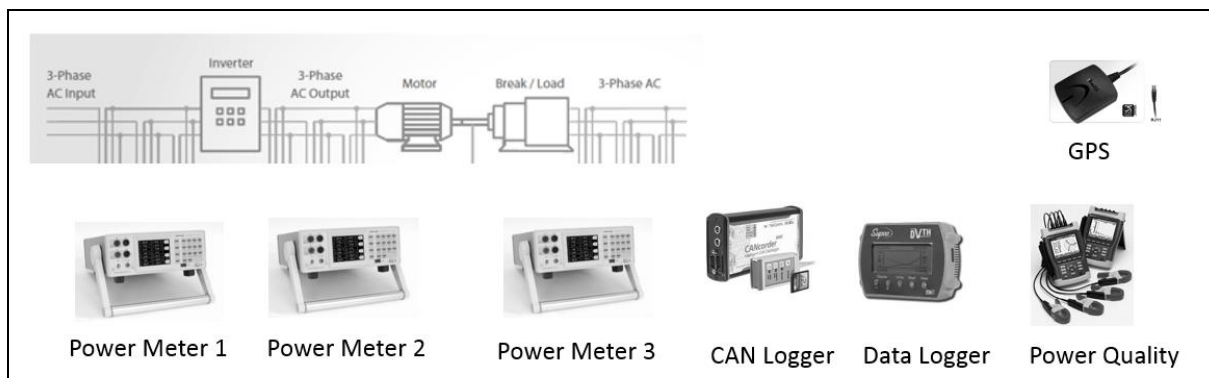


Abbildung 19: Konventioneller Zugang zur Effizienzmessung⁵⁷

Die Herausforderung und in weiterer Folge auftretende Probleme ergeben sich durch die fehlende Synchronisation der Messdaten sowie bei der Zusammenführung dieser Daten, die von den Geräteherstellern in unterschiedlichen Datenformaten gespeichert werden.

Die Firma Dewesoft umgeht dieses Problem durch ihren grundlegenden Ansatz, die Funktionalität aller benötigten Messinstrumente in einem einzigen Messgerät anzubieten und dadurch eine zentrale und für den Anwender unkomplizierte Messdatenerfassung zu ermöglichen. Durch diesen Ansatz, der in Abbildung 20 graphisch dargestellt wird, können alle Messdaten zeitsynchron von einem Messgerät erfasst und ausgewertet werden.

⁵⁷ Internes Dokument der Firma Dewesoft

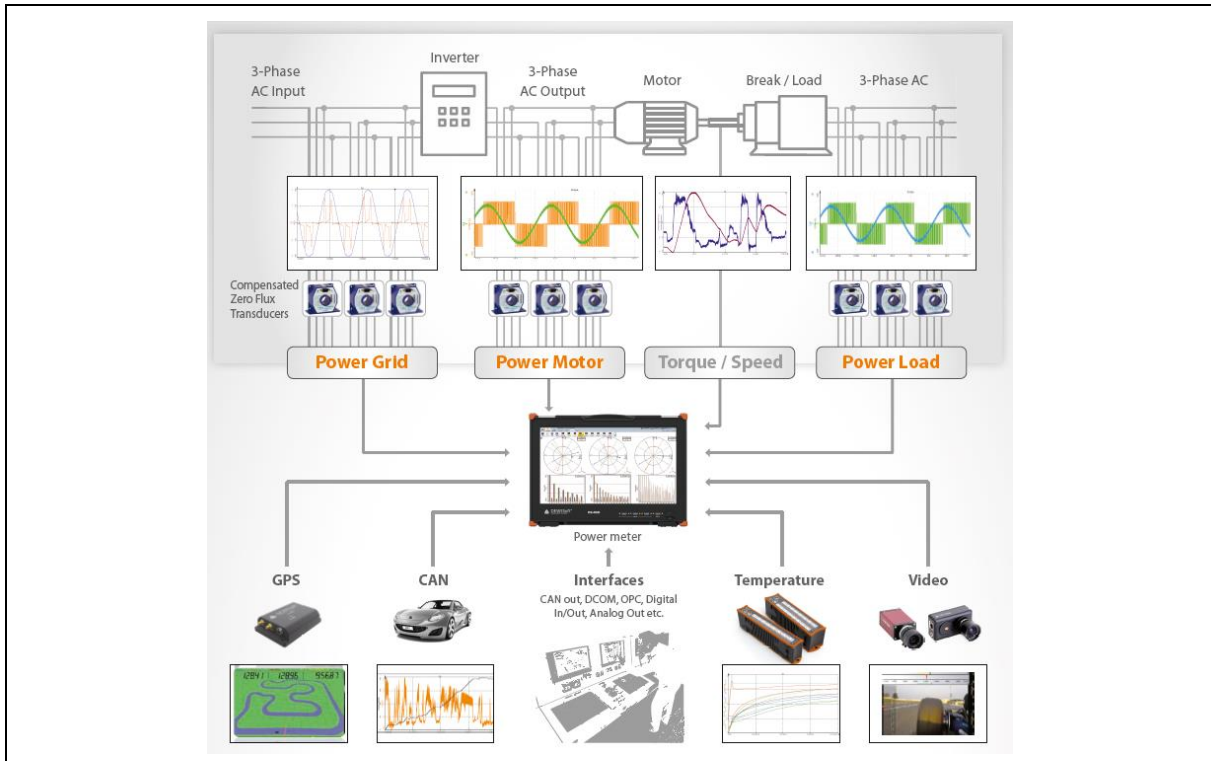


Abbildung 20: Lösung zur zeitsynchronen Messdatenerfassung der Firma Dewesoft⁵⁸

Abweichungen bei Prüfstands-Messungen um bis zu 60% vom realen Verbrauch

Zur Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs sowie zu Schadstoffemissionen werden Fahrzeuge auf Prüfständen standardisierten Tests bzw. Fahrzyklen unterzogen. Diese Fahrzyklen verlieren bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen jedoch an Aussagekraft, da folgende wichtige Einflussfaktoren laut Tabelle 1 nicht berücksichtigt werden.

| Description | Energy Consumption |
|--|--------------------|
| Reference Energy consumption | 20 kWh/100km |
| Driving cycle on testbench | ± 60 % |
| Temperature-dependend capacity of HEV-battery | ± 10 % |
| Behaviour of test driver | ± 10 % |
| Drive train technology (Hybrid Vehicles) | + 20 % |
| Hot weather (Cooling) | + 20 % |
| Cold weather (heating) | + 100 % |
| Uphill | + 800 % |
| Auxiliary loads (e.g. light, fans, radio etc.) | ± 10 % |
| Speed 130 km/h | + 100 % |

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch von Elektro- und Hybridfahrzeugen⁵⁹

⁵⁸ Internes Dokument der Firma Dewesoft

⁵⁹ Vgl. Internes Dokument der Firma Dewesoft

Messungen im realen Fahrbetrieb

Die fehlende Aussagekraft von Prüfstands-Messungen zeigen die Wichtigkeit von Effizienzanalysen für Elektro- und Hybridfahrzeugen im realen Fahrbetrieb auf, um die eben erwähnten Einflussfaktoren aus Tabelle 1 berücksichtigen zu können. Für Messungen im realen Fahrbetrieb muss natürlich auch das Messsystem für den mobilen Einsatz geeignet sein und durch eine möglichst kompakte Bauweise bestmöglich am Testfahrzeug montiert werden können. Die Energieversorgung des Messgeräts sowie aller Sensoren sollten unabhängig von der Fahrzeugbatterie bereitgestellt werden, um rückwirkungsfreie Messungen sicherzustellen.

Zusammenfassung

Die Erarbeitung der zentralen Herausforderungen bei Leistungs- und Effizienzanalysen an Elektro- und Hybridfahrzeugen aus Sicht der Firma Dewesoft haben die Einarbeitungsphase sowohl inhaltlich als auch zeitlich abgeschlossen. Die Erkenntnisse wurden im Rahmen der ersten Zwischenpräsentation vorgestellt und schließen das erste Kapitel zur praktischen Problemlösung ab.

3.2 Marktsegmentierung Elektro- und Hybridfahrzeuge

Das Wissen um die zentralen Herausforderungen bei Leistungs- und Effizienzanalysen und deren Bedeutung für die messtechnische Datenerfassung an Elektro- und Hybridfahrzeugen, welches im Rahmen der Einarbeitungsphase gesammelt wurde, stellte den Ausgangspunkt für die im nächsten Schritt vorgenommene Marktidentifizierung und Segmentierung dar.

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und der daraus resultierende Bedarf nach elektrischen Leistungs- und Effizienzanalysen ist einer von mehreren Trends innerhalb der Automobilbranche. Aus diesem Grund wurde durch eine Analyse der Makroumwelt Wissen generiert, um die Rahmenbedingungen bzw. Einflussfaktoren der Automobilindustrie sichtbar zu machen und die Antriebsstrangelektrifizierung bzgl. ihres Stellenwerts innerhalb der Automobilbranche einordnen zu können.

In den folgenden Unterkapiteln wird ausgehend von einer groben Situationsanalyse und Marktsegmentierung der Automobilbranche deren Makroumwelt analysiert. Zudem wird näher auf technische Entwicklungen und Trends zu den einzelnen Komponenten des elektrischen Antriebsstranges sowie zum Thema Prüfstands-Messungen eingegangen.

3.2.1 Allgemeiner Überblick und Segmentierung

Die Einarbeitung geschah zu Beginn mit der Einsicht von Vorträgen des Industrial Vehicle Symposiums in Köln aus dem Herbst 2016. Dabei hat sich gezeigt, dass die grundsätzliche Einteilung des Marktes nach Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen am sinnvollsten erscheint. Aus diesem Grund wurde die folgende Klassifizierung des Fahrzeugmarkts gemäß Abbildung 21 erstellt.

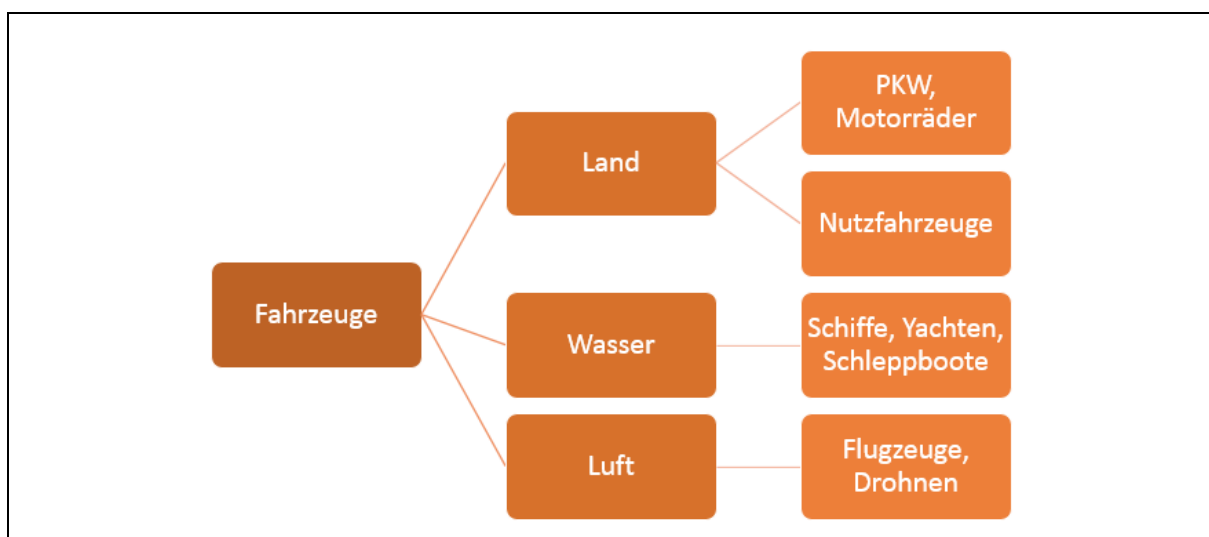


Abbildung 21: Erste Segmentierung des Fahrzeugmarkts⁶⁰

⁶⁰ Eigene Darstellung

Im Jahr 2015 wurden weltweit insgesamt 73,5 Millionen PKWs und 18,1 Millionen Nutzfahrzeuge produziert, wobei China, Europa und Nordamerika zu den größten globalen Märkten zählen, wie in den folgenden Abbildungen 21 und 22 zu sehen ist.⁶¹

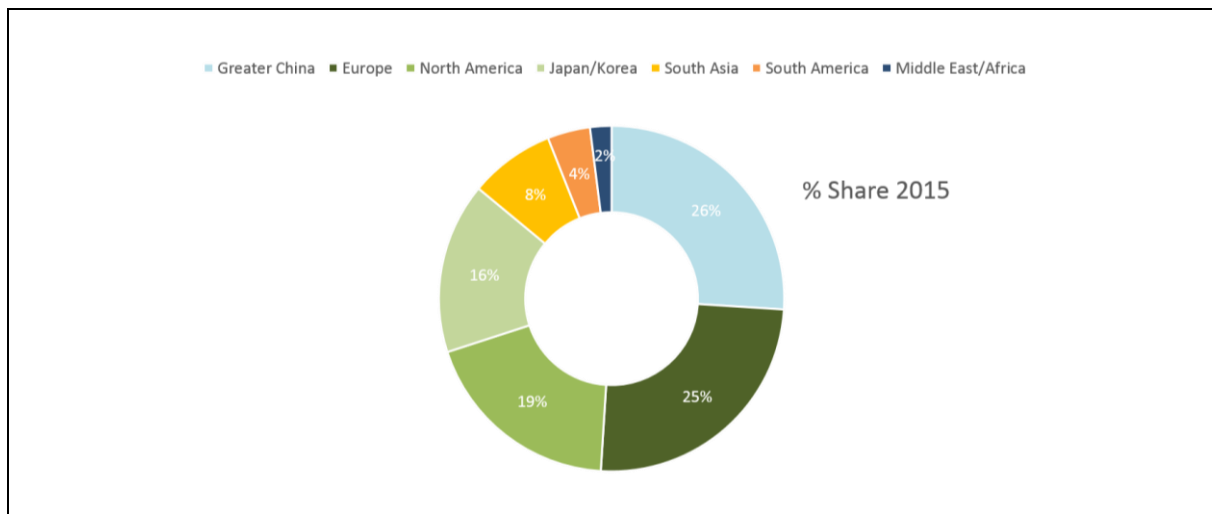


Abbildung 22: Globale Verkaufszahlen von PKWs im Jahr 2015⁶²

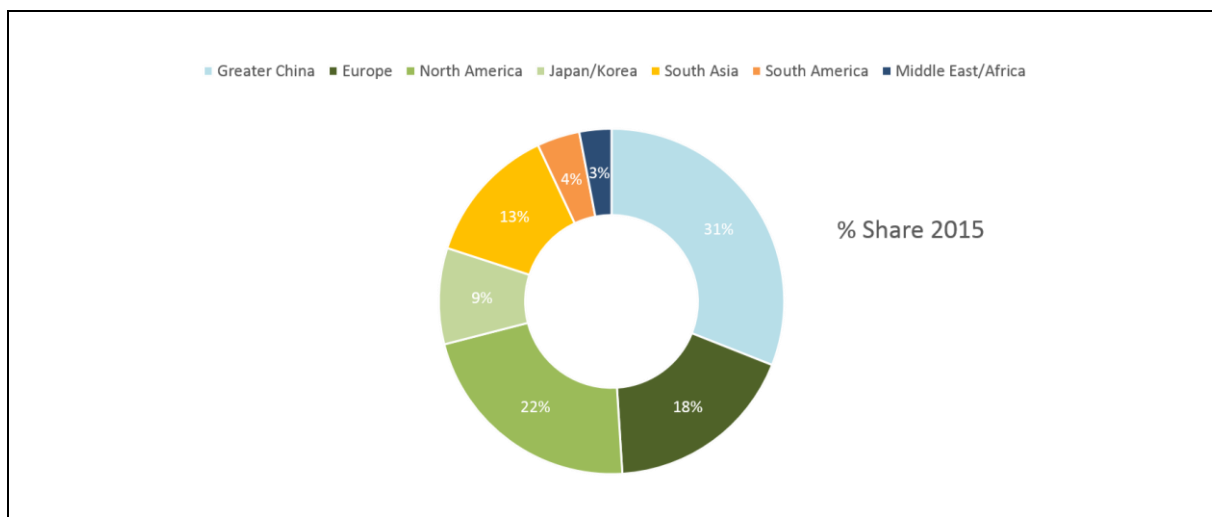


Abbildung 23: Globale Verkaufszahlen von Nutzfahrzeugen im Jahr 2015⁶³

Bricht man diese Zahlen auf den europäischen Markt herunter, wurden im Jahr 2015 rund 18,4 Millionen Fahrzeuge, zum überwiegenden Großteil PKWs, verkauft.⁶⁴ Der Anteil an verkauften Hybrid- und Elektro-PKWs betrug in diesem Zeitraum lediglich 1,5%.⁶⁵

Insgesamt wurden im Jahr 2015 weltweit ca. 500.000 Elektrofahrzeuge verkauft, zu den erfolgreichsten Firmen zählen dabei die Renault-Nissan Gruppe, BYD, Volkswagen und

⁶¹ Vgl. (ACEA, 2016, S. 20 f.)

⁶² Vgl. (ACEA, 2016, S. 20)

⁶³ Vgl. (ACEA, 2016, S. 21)

⁶⁴ Vgl. (ACEA, 2016, S. 22)

⁶⁵ Vgl. (icct, 2016, S. 7)

Tesla.⁶⁶ In Bezug auf die geographischen Märkte nehmen China und die USA die ersten beiden Plätze ein, wie in der folgenden Abbildung 24 zu sehen ist.

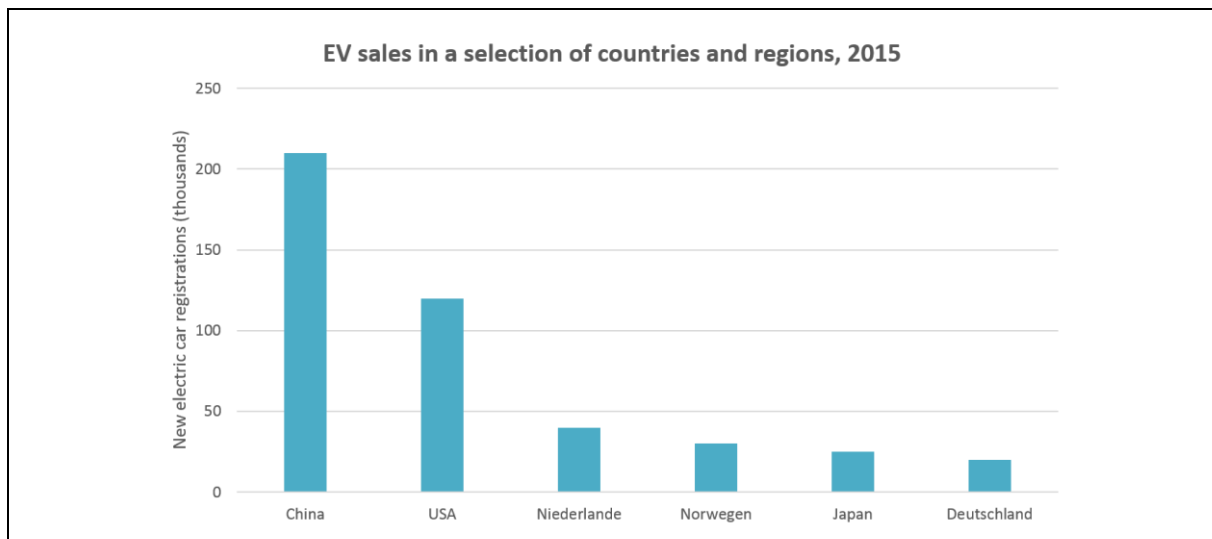


Abbildung 24: Globale Verkaufszahlen von Elektro- und Hybridfahrzeuge im Jahr 2015⁶⁷

Betrachtet man in weiterer Folge Verursacher von Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union anhand von Abbildung 25 ist klar erkennbar, dass ein überwiegender Großteil auf Straßenfahrzeuge bzw. auf PKWs zurückgeführt werden kann.⁶⁸

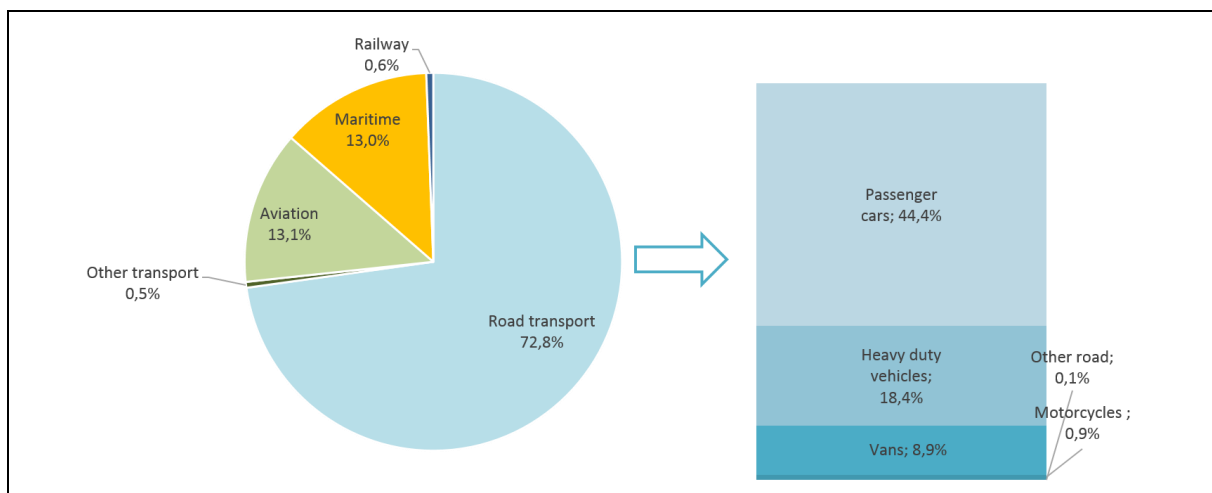


Abbildung 25: Verursacher von Treibhausgasemissionen in der EU im Jahr 2014⁶⁹

Es hat sich im Laufe der ersten Literaturrecherche gezeigt, dass der gesamte Elektro- und Hybridfahrzeugmarkt noch am Beginn seiner Entwicklung steht. Obwohl PKWs aufgrund der Anzahl an potentiellen Abnehmern bzw. Kunden in großen Stückzahlen gefertigt werden, wird diesem Fahrzeugsegment jedoch nicht der größte Profit bei der Hybridisierung bzw. Elektrifizierung vorausgesagt.⁷⁰

⁶⁶ Vgl. (icct, 2016, S. 43)

⁶⁷ Vgl (OECD/IEA, 2016)

⁶⁸ Vgl. (EEA, 2016, S. 17)

⁶⁹ Vgl. (EEA, 2016, S. 17)

⁷⁰ Vgl. (Gonzalez, 2014, S. 19)

Die prognostizierten weltweiten Investitionen in Elektro- und Hybridfahrzeuge werden im Jahr 2026 477 Mrd. USD betragen, wobei sich diese zu 87% zum überwiegenden Großteil auf Landfahrzeuge konzentrieren wird. Von diesem Investitionsvolumen werden 65% in Nutzfahrzeuge, und zwar zu insgesamt 34% in Busse investiert.⁷¹ In Tabelle 2 ist ein Auszug zum aktuellen und prognostizierten Marktwert einzelner Branchen dargestellt.

| 13 of the categories in US\$ billion | | |
|---|-------|-------|
| Market value (US\$ billion) | 2017 | 2027 |
| Indoor forklift/intralogistic | 19,63 | 26,08 |
| Outdoor forklift/intralogistic | 7,64 | 16,07 |
| Forklift/ intralogistic fuel cell | 0,11 | 0,92 |
| Mining | 0,14 | 21,08 |
| Construction and Agriculture | 0,1 | 7,21 |
| Mobile cranes heavy | 0,76 | 1,53 |
| Buses Under 8 t | 8,98 | 39,02 |
| Pure Electric Busses Over 8 t | 20,08 | 151,4 |
| HEV/PHEV Buses Over 8 t | 12,88 | 11,39 |
| Fuel cell buses over 8 t | 0 | 2,83 |
| Delivery trucks & other on-road excluding buses | 3,11 | 13,84 |
| Airport | 2,15 | 2,67 |
| Indoor cranes/platform lifters | 5,24 | 6,46 |
| Off-road other | 1,29 | 1,76 |

Tabelle 2: Aktueller und prognostizierter Marktwert ausgewählter Fahrzeugkategorien⁷²

Wie auch anhand von Tabelle 3 klar zu erkennen ist, wird der Transportsektor in China in Form von Bussen und Lastkraftwagen als sehr attraktiv eingeschätzt. Weiters lässt sich herauslesen, dass der gesamte Fahrzeugbereich abseits der Straße, der die Kategorien Mining, Construction and Agriculture beinhaltet, in Amerika bzw. Europa große Forschungstätigkeiten aufweist und damit auch für Leistungs- und Effizienzanalysen äußerst attraktiv ist.

⁷¹ Vgl. (Harrop, 2015, S. 4 ff.)

⁷² Vgl. (Harrop, 2015, S. 6)

| Category | Largest market/production region | Largest manufacturer by a clear margin |
|---|----------------------------------|--|
| Indoor forklift/intralogistics | Europe, East Asia | Toyota |
| Outdoor forklift/intralogistic | | |
| Forklift/ intralogistic fuel cell | USA | |
| Mining | America | |
| Construction and Agriculture | USA | |
| Mobile cranes heavy | USA Europe Japan | |
| Buses Under 8 t | China | |
| Pure Electric Buses Over 8 t | | Yutong |
| HEV/PHEV Buses Over 8 t | | Yutong |
| Fuel cell buses over 8 t | | |
| Delivery trucks & other on-road excluding buses | USA, Europe | |
| Airport | USA | |
| Indoor cranes/platform lifters | Europe, East Asia | |
| Off-road other | USA | |

Tabelle 3: Attraktive Fahrzeugkategorien für die Elektrifizierung⁷³

⁷³ Vgl. (Harrop, 2015, S. 7)

3.2.2 Priorisierung der zu untersuchenden Marktsegmente

Die Erkenntnisse der ersten Situationsanalyse wurden zunächst im Rahmen einer Präsentation in der Unternehmung vorgestellt. Durch die anschließende Diskussion wurde dann die genaue Eingrenzung bzw. Schwerpunktsetzung der zu untersuchenden Marktsegmente vorgenommen.

Die Marktanalyse sollte sich demnach auf den Bereich der Nutzfahrzeuge, und zwar im Besonderen auf Busse, Trucks und den Bereich Heavy Construction and Agricultural Machinery konzentrieren, da diese Segmente von Seiten des Unternehmens als attraktiv eingeschätzt und dieser Eindruck durch die erste Sekundärforschung bestätigt wurde. Der Fokus soll dabei auf technische Trends und Informationen gelegt werden, da die Ableitung von relevanten Schlussfolgerungen für die messtechnischen Anforderungen von zentralem Interesse ist.⁷⁴

Um die Erkenntnisse dieser Masterarbeit bestmöglich für die firmeninterne Weiterverwendung nutzbar zu machen, sollen diese dem Unternehmen zusätzlich zur vorliegenden Masterarbeit in Form von Application Notes und Präsentationen übergeben werden.

⁷⁴ Vgl. Besprechung, Grasel B, 21.02.2017

3.2.3 PEST-Analyse der europäischen Automobilindustrie

Für ein besseres Verständnis des Marktes für Elektro- und Hybridfahrzeuge wird die Makroumwelt der europäischen Automobilbranche zunächst mit Hilfe der PEST-Analyse untersucht. Dadurch ist es möglich, die Entwicklungen und Treiber für die Antriebsstrangelektrifizierung zu ermitteln und mithilfe der einzelnen Umweltfaktoren anschaulich darzustellen. Durch diese Herangehensweise kann zudem der Stellenwert der Antriebsstrangelektrifizierung innerhalb der Branche besser eingeschätzt werden.

Politisches Umfeld

In den letzten Jahren hat in der Gesellschaft ein Umdenken zum Thema Umweltschutz eingesetzt und sich in Form von Gesetzen und Emissionsstandards auch auf politischer bzw. gesetzgebender Ebene ausgewirkt. Das Bestreben der EU, der Energieimportabhängigkeit entgegenzuwirken, ist zudem ein weiteres wichtiges Kriterium für die Suche nach alternativen Antriebskonzepten.⁷⁵

Das erklärte Ziel für den europäischen Transportsektor ist, ausgehend vom Vergleichsjahr 1990, eine Emissionsreduktion von 60% im Jahr 2050 zu erreichen. Unter den jetzigen gesetzlichen Rahmenbedingungen werden diese nicht erreicht, der Transportsektor ist der einzige europäische Wirtschaftszweig, der noch immer höhere Emissionen als im Jahr 1990 vorweist.⁷⁶

Um den europäischen Transportsektor zu fördern und auch im globalen Kontext zu einem Vorreiter hinsichtlich Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit zu machen, wurden mehrere Förderprogramme und Initiativen, wie z.B. Horizon 2020 und die European Green Vehicles Initiative (EGVI), ins Leben gerufen.⁷⁷

Ökonomisches Umfeld

Die Automobilindustrie ist mit rund 13 Millionen Beschäftigten ein wichtiger Wirtschaftsfaktor in der Europäischen Union, der mit 7% zum gesamten Bruttoinlandsprodukt und zu 25% aller Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der EU beiträgt.⁷⁸

Die Struktur der Automobilindustrie wird sich nicht zuletzt aufgrund der Elektrifizierung der Fahrzeuge und dem steigenden Einsatz von Elektronik- und Telematik-Lösungen und dem damit verbundenen Einstieg von bisher branchenfremden Unternehmen grundlegend ändern. Dies wird zur Folge haben, dass Elektronik- und IT-Unternehmen neben den Komponentenzulieferern entlang der Wertschöpfungskette entscheidend an Einfluss gewinnen und neue Geschäftsmodelle in der Automobilbranche Einzug halten werden.⁷⁹ Die Veränderung der Wertschöpfungskette ist in Abbildung 26 graphisch dargestellt.

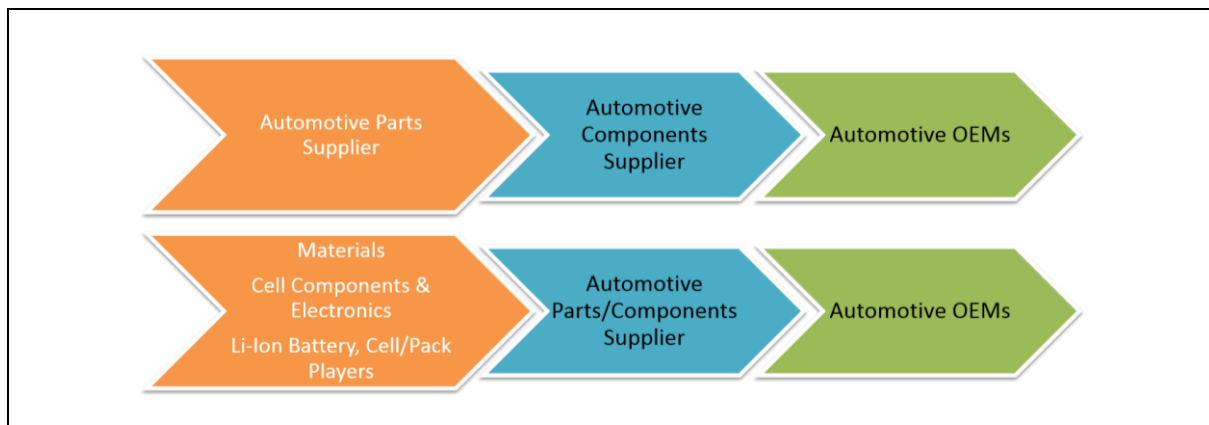
⁷⁵ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 15)

⁷⁶ Vgl. (EEA, 2016, S. 31)

⁷⁷ Vgl. (Krsteva et al., 2014, S. 12)

⁷⁸ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 3)

⁷⁹ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 6 & 15)

Abbildung 26: Die Wertschöpfungskette im Wandel⁸⁰

Soziales Umfeld

Die steigende Weltbevölkerung, der prognostizierte Trend zur Urbanisierung sowie der demographische Wandel, der eine älter werdende Gesellschaft und einen Anstieg an kaufkraftstarken älteren Personen zur Folge hat, werden das zukünftige Transportbedürfnis der Gesellschaft prägen. Die Auswirkungen des Klimawandels und der von der Menschheit verursachte Schadstoffausstoß werden von Seiten der Gesellschaft wahrgenommen und als Problem für zukünftige Generationen erkannt, wodurch das Bewusstsein für umweltschonende und energieeffiziente Transportmöglichkeiten gestiegen ist.⁸¹

Die Schaffung von sogenannten Niedrig-Emissions-Gebieten und angekündigte Verbote von Dieselfahrzeugen in europäischen Städten können als erste Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensqualität, speziell im urbanen Raum, gesehen werden.⁸²

Car-Sharing Konzepte werden in Ballungsräumen zu einer nachhaltigen Veränderung des Transportwesens beitragen. Darüber hinaus sind neue Mobilitätskonzepte sowie der verstärkte Einzug von Smartphone- und Web-Applikationen als Geschäftsmodelle abzusehen.⁸³ Private Endnutzer werden zukünftig von neuen Konzepten zur Stauvermeidung ebenso profitieren wie von sinkenden Wartungskosten der elektrifizierten Fahrzeuge.⁸⁴

Die Akzeptanz von Elektro- und Hybridfahrzeugen wird neben deren preislichen Entwicklung und dem notwendigen Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur maßgeblich davon beeinflusst werden, wie von Seiten der Automobilindustrie auf die oft zitierte Reichweitenangst sowie Bedenken zur Sicherheit reagiert wird.⁸⁵

Technologisches Umfeld

⁸⁰ Vgl. (Todd et al., 2013, S. 41)

⁸¹ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 15)

⁸² Vgl. <https://ww2.frost.com/frost-perspectives/impact-external-factors-powertrain-development-challenges-faced-vehicle-manufacturers-europe/> (26.04.2017)

⁸³ Vgl. (EEA, 2016, S. 6)

⁸⁴ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 8)

⁸⁵ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 24)

Neben der Elektrifizierung des Antriebsstranges werden die Ladeinfrastruktur, der Einsatz von leichteren Materialien sowie der Einzug von Telematik-Lösungen als einflussreichste Bereiche für die zukünftige Entwicklung in der Automobilbranche genannt. Diese Innovationen befinden sich noch am Beginn ihrer Entwicklung und sind in der folgenden Abbildung 27 entlang der Wertschöpfungskette graphisch aufgeschlüsselt.⁸⁶

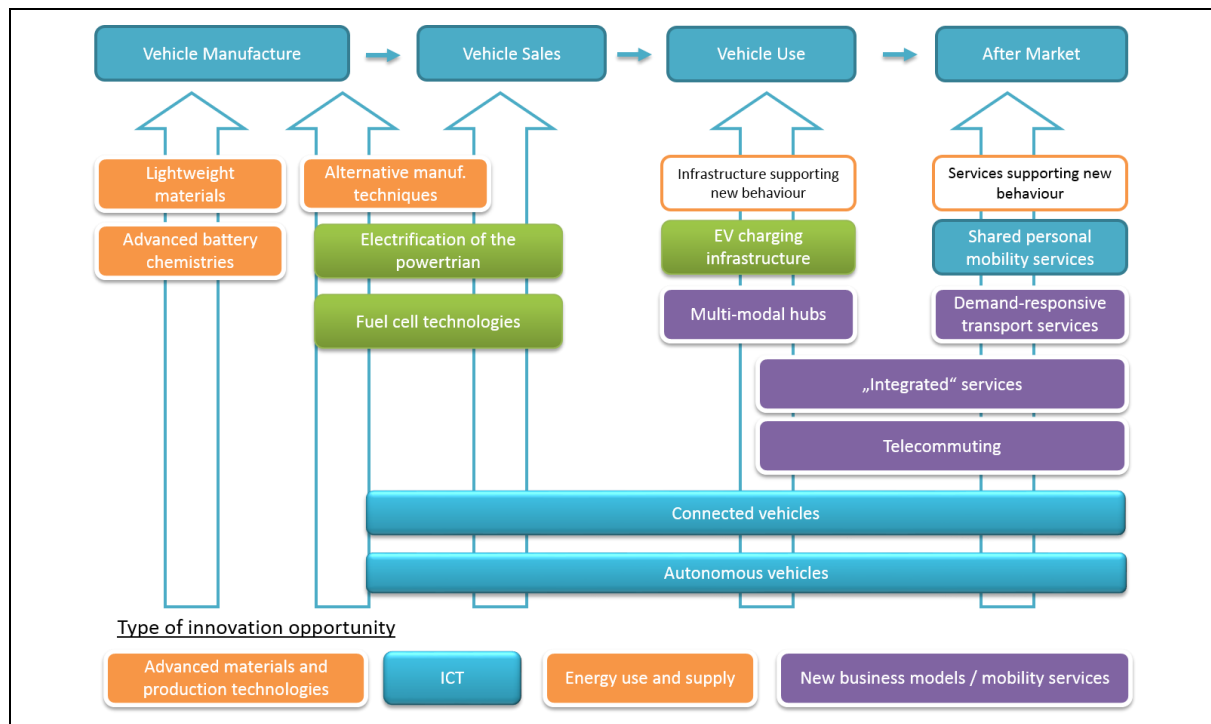


Abbildung 27: Innovationen entlang der Wertschöpfungskette⁸⁷

Die europäische Automobilbranche befindet sich aufgrund ihrer langen Geschichte im Fahrzeugbau sowie dessen guten Rufs in einer guten Ausgangsposition, um die eben erwähnten Innovationen nutzbar zu machen. Eine detaillierte Analyse konnte in Form einer SWOT-Analyse gemäß der folgenden Abbildung 28 gefunden werden. Anhand der Analyse der Stärken und Schwächen der europäischen Industrie lässt sich klar herauslesen, dass diese zwar über eine traditionell sehr einflussreiche und gewichtige Position innerhalb der Automobilindustrie verfügt, jedoch sehr wenig Knowhow im Bereich der Elektrifizierung besitzt und im Bereich der Leistungselektronik und Batterieforschung auf die Expertise von Firmen aus EU-Drittländern angewiesen und dadurch auch abhängig ist. Hier ergibt sich generell die Gefahr, dass die europäische (Automobil-)Industrie global gesehen an Einfluss sowie Innovationspotential verliert und z.B. im Vergleich zu chinesischen Herstellern weiter abfällt. Dieser Eindruck hat sich auch im Laufe dieser Arbeit durch diverse globale Marktprognosen bestätigt, die auf den folgenden PEST-Analysen zu finden sind und den Wettbewerb zwischen Europa, Nordamerika sowie China aufzeigen.⁸⁸

⁸⁶ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 3 f.)

⁸⁷ (Windisch et al., 2016, S. 4)

⁸⁸ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 4 f.)



Abbildung 28: SWOT-Analyse der europäischen Automobilindustrie⁸⁹

Eine große Herausforderung lässt sich in Bezug auf das aufkommende Thema „Shared Mobility“ aus dieser Grafik herauslesen. Obwohl der Markt für Lösungen in diesem Bereich im Wachsen begriffen ist, ist die fehlende Sensibilisierung der Endkunden für diese innovativen Mobilitätslösungen der Zukunft noch nicht gegeben und könnte für die europäische Industrie insofern sehr gefährlich werden. Auch in Bezug auf Elektrofahrzeuge liegt es an den Marktteilnehmern und der Branche im Allgemeinen, die Vorzüge der Elektrifizierung sowohl im gesellschaftlichen aber auch im individuellen Kontext aufzuzeigen.

⁸⁹ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 5)

3.2.4 Analyse der Antriebsstrangelektrifizierung

Anhand der PEST-Analyse im vorigen Kapitel wurde aufgezeigt, dass die Antriebsstrangelektrifizierung eine von mehreren Einflussfaktoren darstellt, um die Reduktion der Schadstoffemissionen zu erreichen. Legt man nun den Fokus auf die Antriebsstrangelektrifizierung und deren Auswirkungen und Umsatzmöglichkeiten entlang der traditionellen Wertschöpfungskette in der Automobilbranche, ergibt sich folgendes Bild gemäß Abbildung 29.

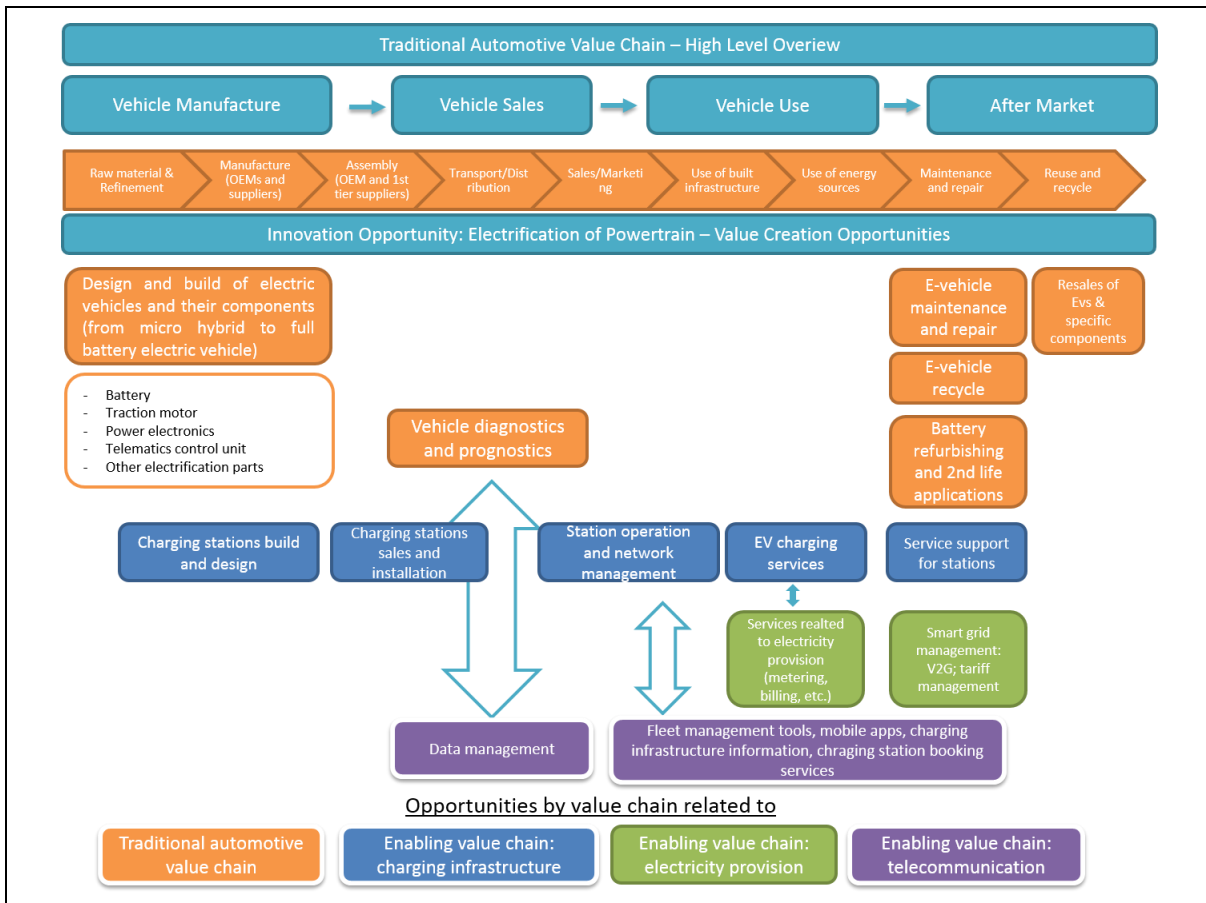


Abbildung 29: Neue Ertragsmöglichkeiten durch die Antriebsstrangelektrifizierung⁹⁰

Aus Sicht der Firma Dewesoft lässt sich neben dem steigenden Bedarf an Leistungs- und Effizienzanalysen des gesamten Antriebsstrangs im Forschungs- und Entwicklungsbereich ein sehr hoher Bedarf an Batterieanalysen herauslesen. Recycling-Maßnahmen, Reparaturen und Wartungen werden einen enormen Markt für die Analyse von Batterie- und Ladeleistung entstehen lassen.

Da die Firma Dewesoft ihren wichtigsten Einsatzbereich in der Forschung und Entwicklung sieht, wurde genauer auf Entwicklungen rund um die Hauptkomponenten des elektrischen Antriebsstranges eingegangen. Sowohl konventionelle als auch elektrische Antriebsstränge werden laufend weiterentwickelt und optimiert, um die bestrebten Effizienzsteigerungen

⁹⁰ Vgl. (Windisch et al., 2016, S. 23)

erreichen zu können. Diese werden gemäß Abbildung 30 mit einer signifikanten Kosten-, Größen- und Gewichtsreduktion einhergehen.⁹¹

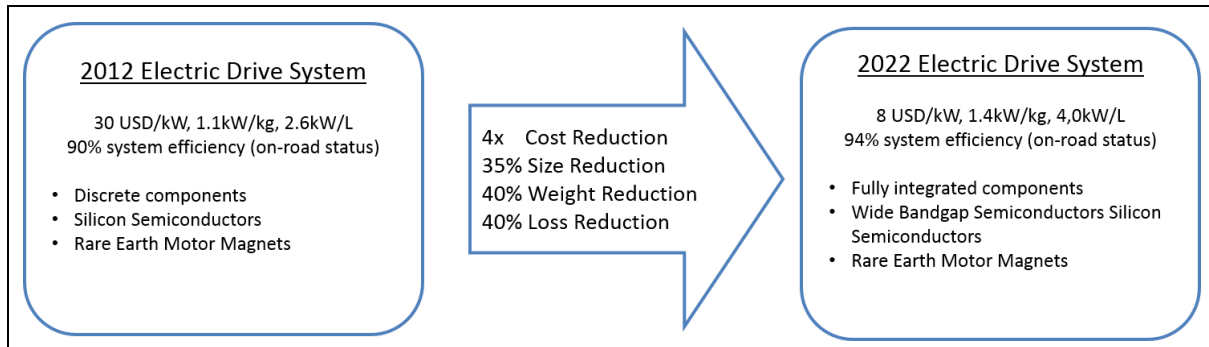


Abbildung 30: Prognostizierte Entwicklung elektrischer Antriebsstränge⁹²

Der in Abbildung 30 prognostizierte Trend zur Integration von Motor, Inverter und Getriebe zu einer nach außen hin abgeschlossenen Blackbox würde aufgrund des fehlenden Zugangs zu den einzelnen Komponenten künftige Leistungs- und Effizienzanalysen erheblich beeinflussen bzw. erschweren. Die Halbleiterindustrie, deren Anwendungsbereiche in der Ansteuerung von Elektromotoren und Batteriemangement-Systemen bzw. in den Ladecontrollern zu finden sind, wird aufgrund des steigenden Elektrifizierungsgrads der Fahrzeuge mehr Schaltleistung zur Verfügung stellen müssen.

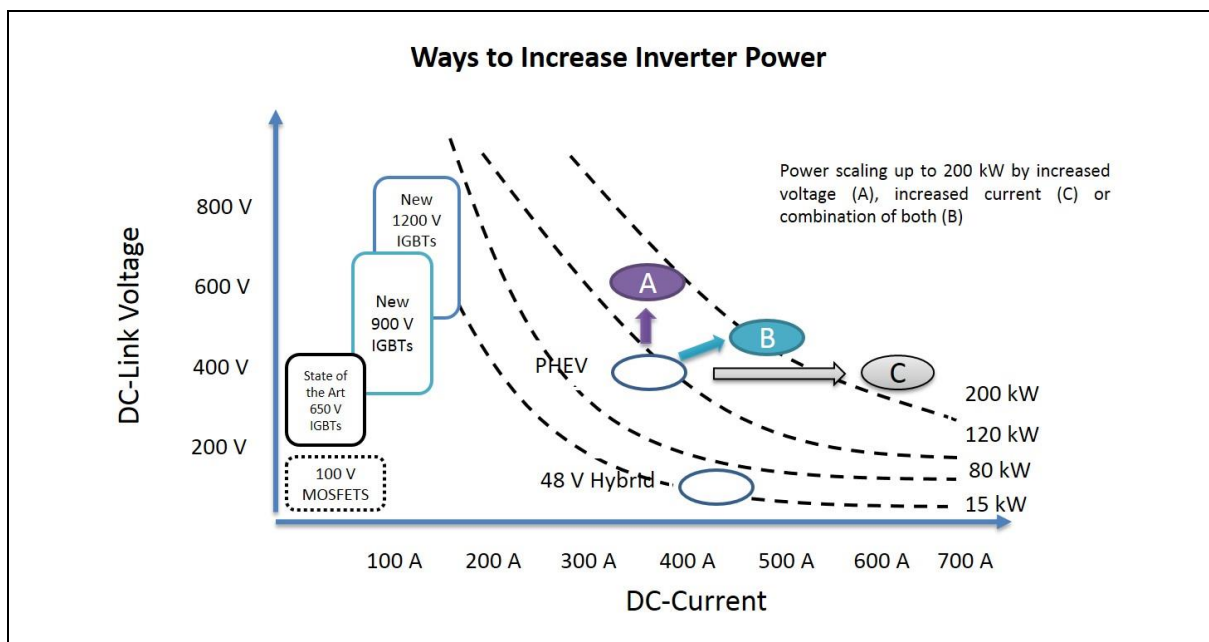


Abbildung 31: Prognostizierte Entwicklung in der Halbleitertechnik⁹³

Dies kann, wie in Abbildung 31 ersichtlich ist, durch eine Erhöhung der Schaltspannung, des Schaltstroms oder durch eine Kombination beider Parameter erreicht werden. Der Trend zu höheren Schaltspannungen und Schaltfrequenzen, unter anderem bedingt durch den Einsatz

⁹¹ Vgl. (Docter & Heller, 2016, S. 20)

⁹² Vgl. (Docter & Heller, 2016, S. 20)

⁹³ Vgl. (Docter & Heller, 2016, S. 14)

neuer Halbleitermaterialien und Hardware-Topologien, wird zu einer höheren Leistungsdichte und einer Senkung der Verluste führen.⁹⁴

Ähnlich wie in der Halbleitertechnik werden auch Elektromotoren mit höheren Leistungsdichten durch eine Erhöhung der Umdrehungszahlen entwickelt. Das Abkommen von seltenen Erden wird zu einer weiteren Kostenreduktion und einem veränderten Temperatur- und Einsatzbereich beitragen, wie in Abbildung 32 näher ausgeführt ist.⁹⁵

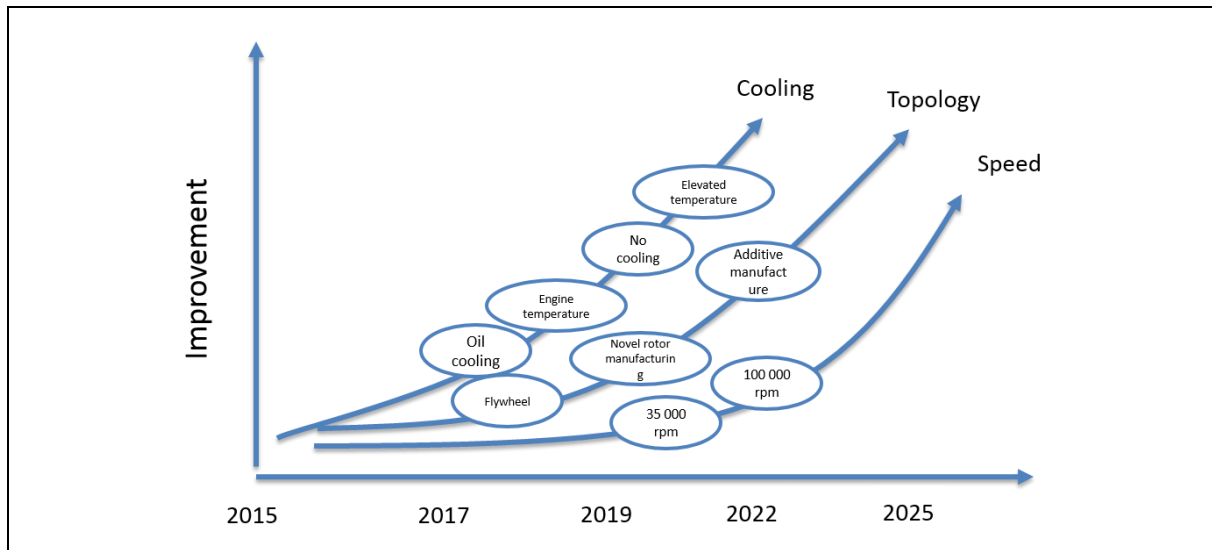


Abbildung 32: Prognostizierte Entwicklung elektrischer Motoren⁹⁶

⁹⁴ Vgl. (Docter & Heller, 2016, S. 22 ff.)

⁹⁵ Vgl. (Atkins, 2016, S. 12)

⁹⁶ Vgl. (Atkins, 2016, S. 12)

3.2.5 Fahrzyklen und Real-Drive Emissions

Wie bereits in Kapitel 3.1.2 herausgearbeitet wurde, weichen die Schadstoff- und Verbrauchsangaben von Fahrzeugen zum Teil erheblich von den tatsächlich im realen Fahrbetrieb auftretenden Größen ab. Im Rahmen der Recherchen und Fachkonferenzen hat sich gezeigt, dass die Reduktion der Schadstoffemissionen von Fahrzeugen einen wesentlichen Einflussfaktor für die Automobilindustrie darstellt und das Thema bzgl. aussagekräftiger Tests am Prüfstand sowie im realen Fahrbetrieb an Bedeutung gewinnt.

Da dieses Thema aus Sicht der Firma Dewesoft nicht nur für konventionelle Fahrzeuge und somit für den Automotive-Geschäftsbereich, sondern auch für Hybrid- und Elektrofahrzeuge und somit für den Geschäftsbereich Power & E-Mobility sehr bedeutend ist, wurde dem Thema der neuen Prüfstands-Tests ein eigenes Kapitel gewidmet.

Neben der Angabe der verursachten Schadstoffemissionen eines konventionell betriebenen PKWs ist auch der Kraftstoffverbrauch bzw. die Effizienz von großem Interesse. Wie in Abbildung 33 ersichtlich ist, wird ausgehend vom Tank aufgrund von diversen Verlusten lediglich ein Bruchteil der im Kraftstoff gespeicherten Energie tatsächlich dazu verwendet, das Fahrzeug in Bewegung zu versetzen.

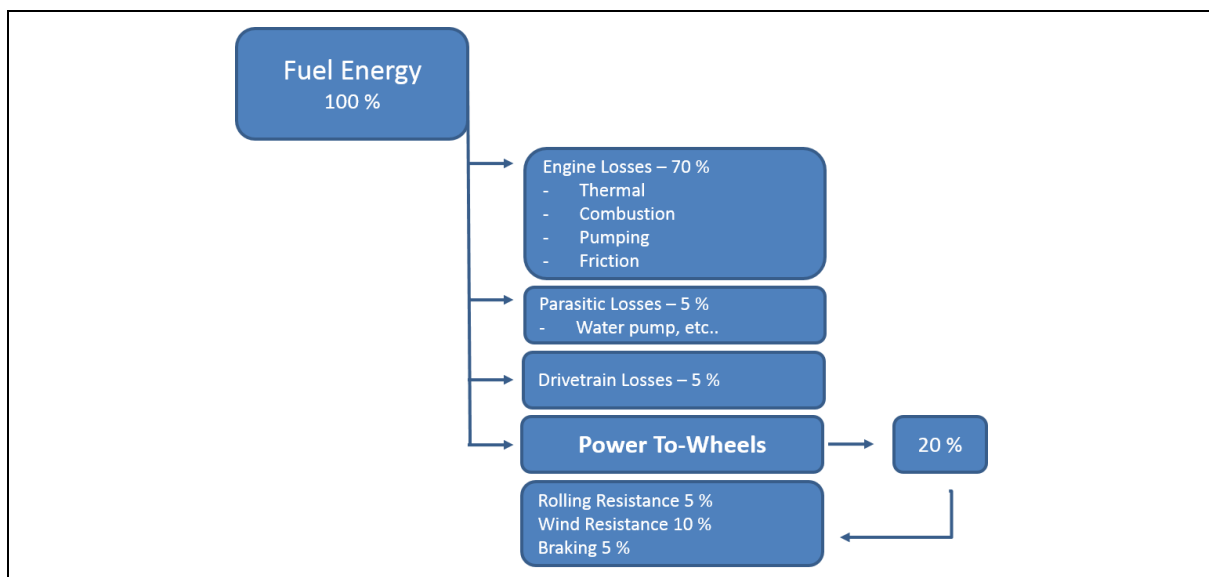


Abbildung 33: Übersicht über die Verluste und Gesamteffizienz eines PKWs⁹⁷

Der Kraftstoffverbrauch wie auch die Schadstoffemissionen von Fahrzeugen werden seit den 1980er-Jahren mit dem NEDC-Testzyklus (New European Driving Cycle) am Prüfstand durchgeführt. Bedingt durch den langen Zeitraum seit dessen Einführung und einiger technologischer Entwicklungen hat der NEDC-Test an Aussagekraft verloren, da kein realistischer Fahrzyklus abgebildet wird. Aus diesem Grund ist von Seiten der EU ein neues

⁹⁷ Vgl. (EEA, 2016a, S. 11)

Verfahren mit der Abkürzung WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) entwickelt worden, welches im September 2017 in Kraft tritt.⁹⁸

Das Ziel des WLTP-Testzyklus ist es, einen aussagekräftigen Fahrzyklus bzw. Prüfstands-Test zu entwickeln, der die realen Gegebenheiten auf der Straße widerspiegelt und somit verlässliche Kraftstoffverbrauchs- und Schadstoffemissionsangaben liefert. Dazu wurden die Test- bzw. Rahmenbedingungen des WLTP-Testzyklus im Gegensatz zum NEDC-Fahrzyklus gemäß Tabelle 4 teilweise stark verändert.⁹⁹

| | NEDC | WLTP |
|--|--|--|
| Test cycle | Single test cycle | Specific test cycles for three different power-to-weight classes of vehicles |
| Cycle time | 20 minutes | 30 minutes |
| Cycle distance | 11 kilometre | 23.25 kilometre |
| Driving phases | 2 phases, 37% urban and 63% extra-urban | 4 phases with more emphasis on high performance, 12% urban and 87% extra-urban |
| Average speed | 34 kilometre per hour | 46.5 kilometre per hour |
| Maximum speed | 120 kilometre per hour | 131 kilometre per hour |
| Influence of optional equipment | Impact on CO ₂ and fuel performance not considered under NEDC | Additional features (which can differ per car) are taken into account |
| Gear shifts | Vehicles have fixed gear shift points | Different gear shift points for each vehicle |
| Test temperatures | 20-30°C | 23°C set-point in the lab |

Tabelle 4: Unterschiede zwischen NEDC und WLTP¹⁰⁰

Ungeachtet der zahlreichen Anpassungen bleiben Tests am Prüfstand in ihrer Aussagekraft limitiert, da sie weder Wetter- oder Verkehrsbedingungen oder das Fahrverhalten unterschiedlicher Fahrer berücksichtigen, und die ermittelten Emissionswerte aus diesem Grund auch weiterhin von den tatsächlich auftretenden Werten auf der Straße abweichen werden.¹⁰¹

Aus diesem Grund wird der WLTP-Test mit dem Real Driving Emissions (RDE)-Test ergänzt, um die Einhaltung der Schadstoffemissionen auch im realen Fahrbetrieb sicherzustellen. Das RDE-Konzept sieht vor, dass das Fahrzeug mit einem portablen Messgerät (PEMS) ausgestattet wird, welches die Emissionsdaten im Rahmen einer Testfahrt, auf öffentlichen Straßen und mit charakteristischen Fahrbedingungen, sammelt. Diese portablen Messgeräte analysieren die Abgase und die Abgasmenge und sammeln Wetter- bzw. Positionsdaten mittels GPS. Darüber hinaus werden auch Borddaten des Fahrzeuges in die Analyse integriert.¹⁰²

⁹⁸ Vgl. <http://wlpfacts.eu/what-is-wltp-how-will-it-work/> (24.05.2017)

⁹⁹ Vgl. <http://wlpfacts.eu/wltp-benefits/> (29.06.2017)

¹⁰⁰ Vgl. <http://wlpfacts.eu/from-nedc-to-wltp-change/> (29.06.2017)

¹⁰¹ Vgl. <http://www.caremissionstestingfacts.eu/difference-between-lab-tests-real-world-emissions/#> (29.06.2017)

¹⁰² Vgl. <http://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/#> (29.06.2017)

| Trip specifics | | Provision set in the legal text |
|---------------------|----------|---|
| Total trip duration | | Between 90 and 120 min |
| Distance | Urban | >16km |
| | Rural | >16km |
| | Motorway | >16km |
| Trip composition | Urban | 29% to 44% of distance |
| | Rural | 23% to 43% of distance |
| | Motorway | 23% to 43% of distance |
| Average speeds | Urban | 15 to 40 km/h |
| | Rural | Between 60 km/h and 90 km/h |
| | Motorway | >90 km/h (>100 km/h for at least 5 min) |

Tabelle 5: Spezifikationen des RDE-Tests 1/2¹⁰³

Neben der Definition der drei unterschiedlichen Möglichkeiten der Testfahrten aus Tabelle 5, in erster Linie durch die durchschnittlichen Fahrtgeschwindigkeiten charakterisiert, werden auch weitere Parameter wie die Umgebungstemperatur oder die Maximalgeschwindigkeit gemäß Tabelle 6 genauer beschrieben. Der Zeitplan der EU zur Umsetzung der RDE-Gesetzgebung sieht vor, dass der RDE-Test für erstmals zugelassene PKWs im September 2017 in Kraft tritt und zwei Jahre später, ab September 2019, auf alle neu angemeldeten PKWs angewendet wird. Im Zuge der Literaturrecherche hat sich gezeigt, dass der RDE-Fahrzyklus in vier sogenannten Packages in geltendes Recht umgesetzt wird, und der letzte Teil im Sommer 2017 vorgestellt werden soll.¹⁰⁴

| Parameter | | Provision set in the legal text |
|------------------------------------|----------------|---|
| Payload | | ≤ 90% of maximum vehicle weight |
| Altitude | Moderate | 0 to 700 m |
| | Extended | Between 700 and 1300 m |
| Altitude difference | | No more than a 100-m-altitude difference between start and finish |
| Cumulative altitude gain | | 1200 m/100 km |
| Ambient temperature | Moderate | 0°C to 30°C |
| | Extended | From -7°C to 0°C and 30°C to 35°C |
| Stop percentage | | Between 6% and 30% of urban time |
| Maximum speed | | 145 km/h (160 km/h for 3% of motorway driving time) |
| Dynamic boundary conditions | Maximum metric | 95th percentile of $v \cdot a$ (speed * positive acceleration) |
| | Minimum metric | RPA (relative positive acceleration) |
| Use of auxiliary systems | | Free to use as in real life (operation not recorded) |

Tabelle 6: Spezifikationen des RDE-Tests 2/2¹⁰⁵

¹⁰³ Vgl. (icct, 2017, S. 5)

¹⁰⁴ Vgl. <http://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/#> (29.06.2017)

¹⁰⁵ Vgl. (icct, 2017, S. 6)

3.3 Marktanalyse Transportfahrzeuge – Busse und LKWs

Beginnend mit der Einarbeitungsphase und der Ermittlung der Herausforderungen bei Leistungs- und Effizienzanalysen in Kapitel 3.1 wurde in Kapitel 3.2 eine Marktsegmentierung vorgenommen und die Automobilindustrie mittels PEST-Analyse untersucht. Dadurch konnte die Bedeutung der Antriebsstrangelektrifizierung innerhalb der Branche herausgearbeitet werden. Die Abweichungen von Emissions- und Verbrauchstests an Prüfständen und die in Kraft tretenden legislativen Änderungen bildeten den Abschluss des vorigen Kapitels.

In diesem und im nächsten Kapitel erfolgt nun die Analyse jener Marktsegmente, die im Rahmen der ersten Situationsanalyse gemäß Kapitel 3.2.2 ausgewählt worden sind. Die Marktanalyse der Nutzfahrzeuge im Transportsektor, also der Busse und LKWs, ist in diesem Kapitel dokumentiert, während die Marktanalyse der Heavy Construction and Agricultural Machinery in Kapitel 3.4 folgt.

In diesem Kapitel wird zunächst die Makroumwelt der Nutzfahrzeuge im Transportsektor mittels PEST-Analyse untersucht. Dabei wird eine geographische Eingrenzung auf den europäischen Transportsektor vorgenommen, wobei großen Wert auf die Einordnung im globalen Kontext gelegt wird. In weiterer Folge werden die Erkenntnisse zur Elektrifizierung von Bussen und LKWs in separaten Unterkapiteln zusammengefasst, um näher auf technische Besonderheiten und bereits elektrifizierte bzw. hybridisierte Fahrzeuge bzw. Prototypen eingehen zu können.

3.3.1 Definition und Übersicht

Bei Lastkraftwagen, im Englischen oft als Trucks bezeichnet, handelt es sich um motorisierte Fahrzeuge mit mindestens vier Reifen und 3,5 Tonnen Masse, die zum Gütertransport eingesetzt werden. LKWs über 3,5 Tonnen werden in die Kategorie N2, Fahrzeuge über 12 Tonnen in die Kategorie N3 eingeteilt. Bei den meisten LKWs handelt es sich aufgrund der breiten Anwendungsbereiche um Spezialanfertigungen, die sich in Ihrer Konstruktion und in den Abmessungen stark unterscheiden.¹⁰⁶ Speziell bei LKWs wirken sich die unterschiedlichen Konstruktionen oder die Anzahl der Anhänger ebenso wie die Fahrzyklen auf die auftretenden Schadstoffemissionen aus.¹⁰⁷

Busse und Reisebusse, im Englischen auch Coaches genannt, sind gemäß Definition „vehicles having at least four wheels, designed and constructed for the carriage of passengers, comprising more than eight seats in addition to the driver's seat“.¹⁰⁸ Busse der Kategorie M2 wiegen unter 5 Tonnen, und werden bei größerer Fahrzeugmasse mit M3 klassifiziert.¹⁰⁹

¹⁰⁶ Vgl. (ACEA, o.J., S. 1)

¹⁰⁷ Vgl. <http://reducingco2together.eu/#> (22.05.2017)

¹⁰⁸ (ACEA, o.J. a, S. 1)

¹⁰⁹ Vgl. (ACEA, o.J. a, S. 1)

3.3.2 PEST-Analyse

Aufgrund vieler Gemeinsamkeiten bezüglich der Umweltfaktoren wurde von einer getrennten PEST-Analyse bzgl. Bussen und Trucks abgesehen. Auf den folgenden Seiten wird gegebenenfalls eine thematische Unterteilung vorgenommen, um die Übersicht und Lesbarkeit zu gewährleisten.

Politisches Umfeld

Der Transportsektor ist im Allgemeinen für ein Viertel der Treibhausgasemissionen in der EU und damit für Luftverschmutzung und Lärmbelästigung verantwortlich.¹¹⁰ Schwere Nutzfahrzeuge, die zu 75% den Frachtverkehr auf der Straße übernehmen, verursachen insgesamt 5% des gesamten Schadstoffausstoßes, wie in Abbildung 34 graphisch dargestellt ist.¹¹¹ Mit Hybrid- und Elektrofahrzeugen lässt sich der lokale Ausstoß von CO_x-, NO_x- und SO_x-Emissionen reduzieren, während im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung auch die Erzeugungsart des elektrischen Stromes berücksichtigt werden sollte.¹¹²

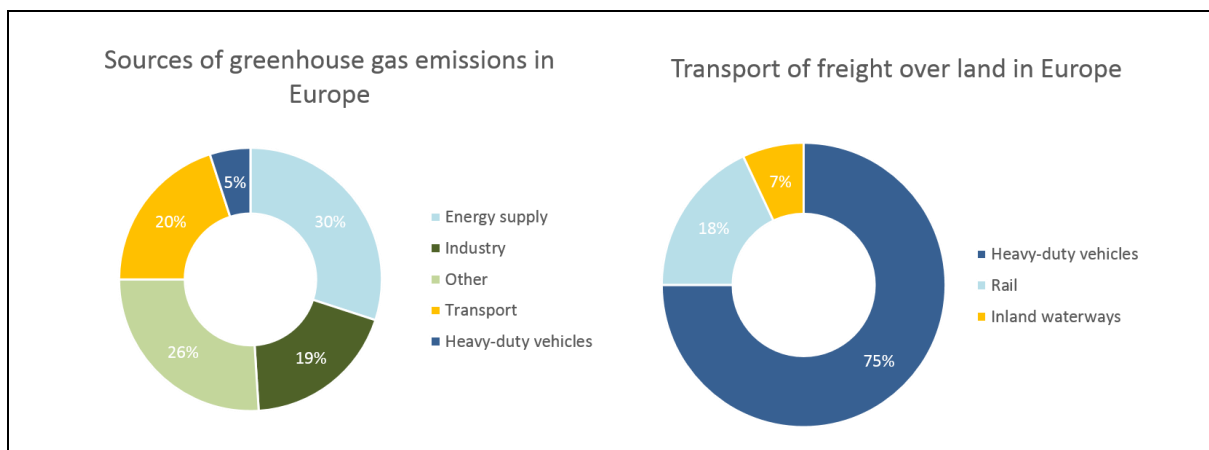


Abbildung 34: Verursacher von Treibhausgasemissionen¹¹³

Von politischer bzw. gesetzgebender Seite wurden deshalb Emissionsvorschriften eingeführt, die in Abbildung 35 auf globaler Ebene dargestellt sind. Zur besseren Einordnung dieser Vorschriften lässt sich anhand der europäischen Euro-6-Busse festhalten, dass diese um 95% weniger Stickoxide ausstoßen als Busse, die nach dem Euro-5 Standard klassifiziert sind.¹¹⁴

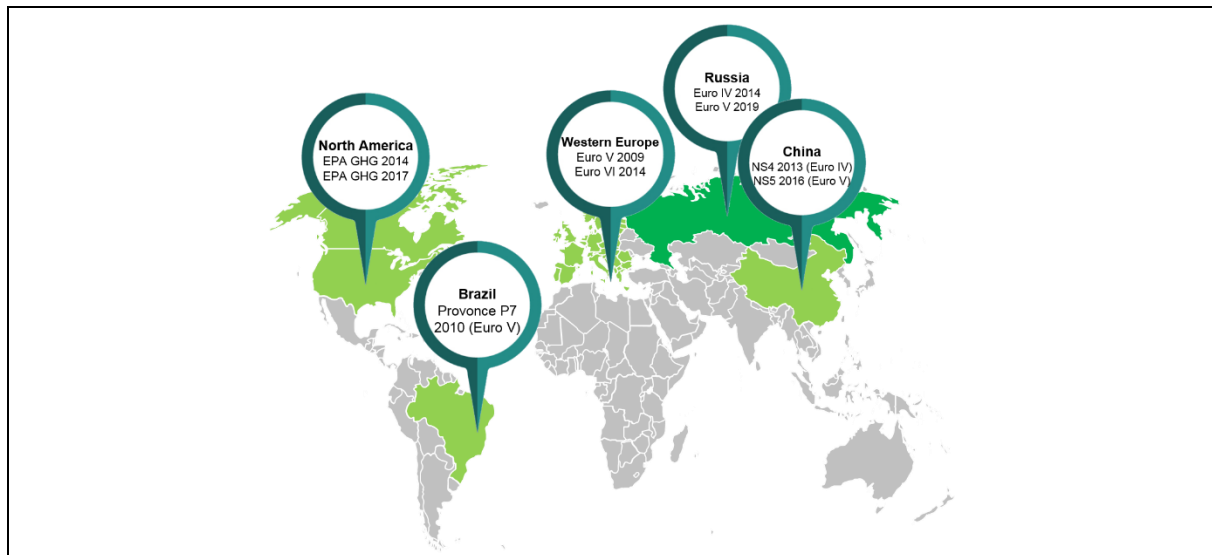
¹¹⁰ Vgl. (EEA, 2016, S. 31)

¹¹¹ Vgl. <http://reducingco2together.eu/#> (30.03.2017)

¹¹² Vgl. (Krasteva et al., 2014, S. 14)

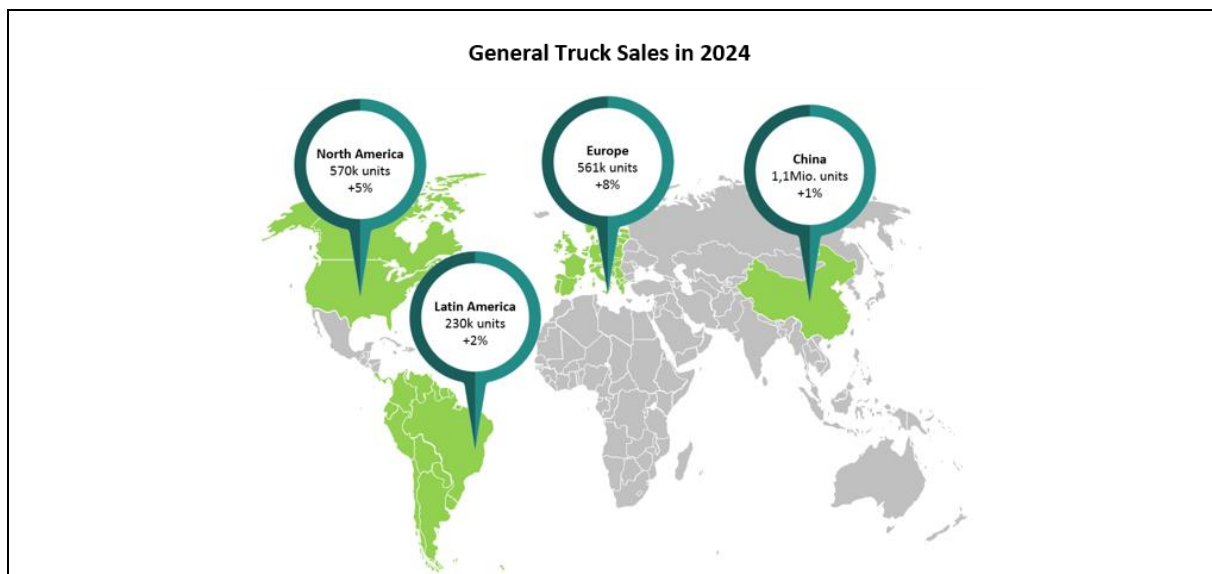
¹¹³ Vgl. <http://reducingco2together.eu/#> (30.03.2017)

¹¹⁴ Vgl. (Truck & Bus Builder, o.J., S. 6)

Abbildung 35: Globale Emissionsstandards¹¹⁵

Ökonomisches Umfeld

Das zukünftige Transportbedürfnis der Gesellschaft, welches erstmals im Rahmen der PEST-Analyse in Kapitel 3.2.3 angesprochen wurde, wird dazu führen, dass im Jahr 2050 die Personenbeförderung im Vergleich zum Jahr 2010 um 40% und der Frachtverkehr um 58% steigen werden.¹¹⁶ Im europäischen Frachttransport sind 2,4 Millionen Menschen beschäftigt.¹¹⁷ Die Europäische Union zählt gemeinsam mit China und Indien zu den zahlenmäßig größten LKW-Märkten der Welt, wie in der folgenden Abbildung 36 anhand der Verkaufszahlen zu sehen ist.¹¹⁸

Abbildung 36: Entwicklung des globalen LKW-Verkaufs¹¹⁹

¹¹⁵ Vgl. (Truck & Bus Builder, o.J., S. 7)

¹¹⁶ Vgl. (EEA, 2016, S. 31)

¹¹⁷ Vgl. (ACEA, o.J., S. 2)

¹¹⁸ Vgl. (Nürk & Maier, 2014, S. 2)

¹¹⁹ Vgl. (Nürk & Maier, 2014, S. 2)

Electric Freight Vehicles, kurz EFVs, weisen im Gegensatz zu herkömmlich betriebenen Frachtfahrzeugen höhere Anschaffungspreise für das Fahrzeug sowie die Infrastruktur auf, während die Betriebskosten aufgrund des fehlenden Treibstoffes niedriger sind.¹²⁰ Der Einkaufspreis steigt im Verhältnis zu herkömmlichen LKWs gemäß Abbildung 37 exponentiell an.

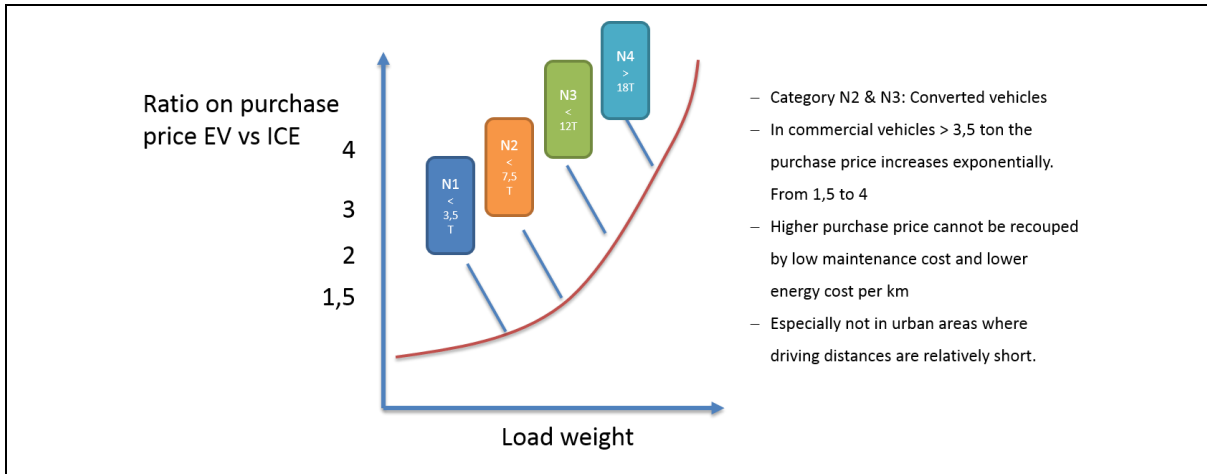


Abbildung 37: Preisverhältnis EV vs. ICE LKWs¹²¹

Das hohe Ausmaß an Spezialfertigungen bedeutet fehlende Skalenträge, wodurch sich Elektrifizierung von LKWs noch in der Entwicklungs- und Einführungsphase befindet, wie auch in der folgenden Abbildung 38 illustriert ist.¹²² Dieselbetriebene Lastkraftwagen werden aus diesem Grund auf der Langstrecke auch bis ins Jahr 2025 der wichtigste Fahrzeugtyp sein, während der Einsatz von Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen im städtischen Bereich Vorteile ausweist.¹²³

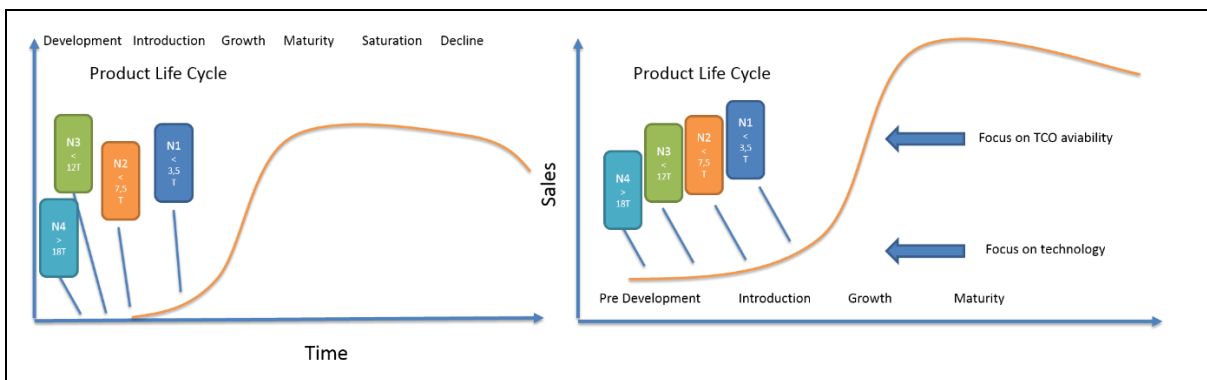


Abbildung 38: LKW Elektrifizierung in der Entwicklungsphase¹²⁴

Für Hybrid- und rein elektrisch betriebene LKWs wird von Seiten der Fuhrparkleiter eine Amortisationsdauer von drei bis vier Jahren als wichtiges Kriterium für die Anschaffung genannt.¹²⁵ Das durchschnittliche Alter von Busflotten in der Europäischen Union beträgt

¹²⁰ Vgl. (Quak, 2016, S. 16)

¹²¹ Vgl. (Rieck, 2016, S. 46)

¹²² Vgl. (Rieck, 2016, S. 41 & 45)

¹²³ Vgl. (Rieck, 2016, S. 51)

¹²⁴ Vgl. (Rieck, 2016, S. 41 & 45)

¹²⁵ Vgl. (Rieck, 2016, S. 47)

9 Jahre.¹²⁶ Ein großes Attraktivitäts-Potential für Hybrid- und Elektro-LKWs ergibt sich durch die Tatsache, dass die Treibstoffkosten für rund ein Drittel der Betriebskosten verantwortlich sind, wie in Abbildung 39 zu sehen ist.

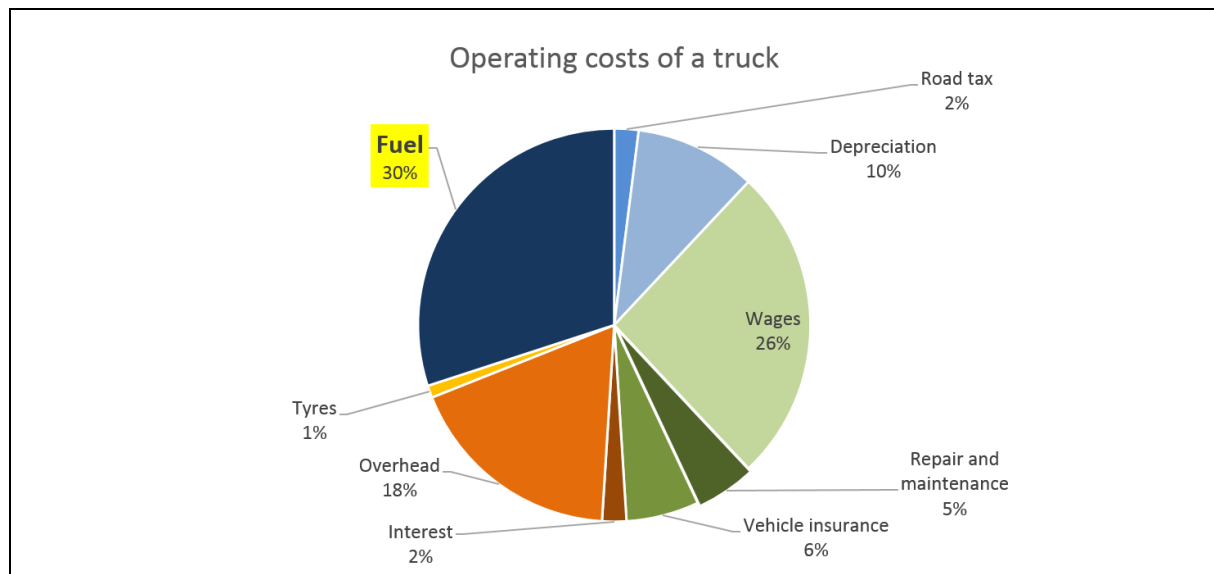


Abbildung 39: Aufschlüsselung der Betriebskosten von LKWs¹²⁷

Betrachtet man den Markt für Busse und deren Potential für die Hybridisierung bzw. Elektrifizierung, erkennt man an folgender Prognose gemäß Abbildung 40 die zukünftige Dominanz Chinas auf globaler Ebene.¹²⁸

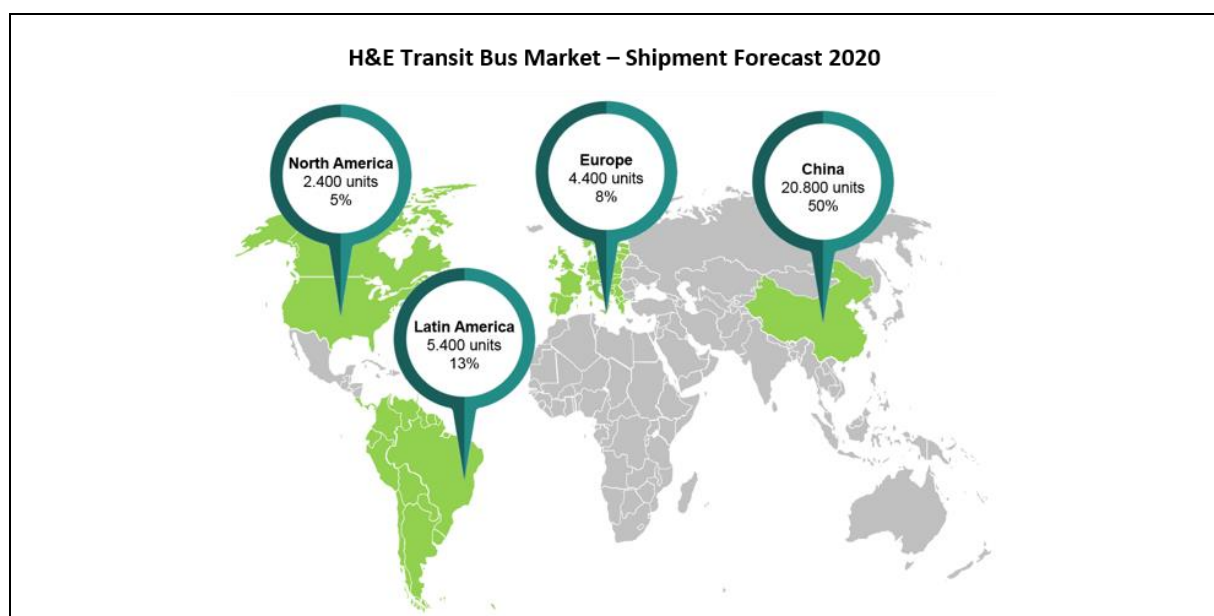


Abbildung 40: Globale Marktentwicklung Hybrid- und Elektrobusse¹²⁹

¹²⁶ Vgl. (ACEA, o.J. a, S. 2)

¹²⁷ Vgl. <http://reducingco2together.eu/#> (30.03.2017)

¹²⁸ Vgl. (Kailasam, o.J., S. 10)

¹²⁹ Vgl. (Kailasam, o.J., S. 10)

Soziales Umfeld

Der Trend zur Urbanisierung hat in den letzten 50 Jahren angehalten, 72,5% der Bevölkerung in der EU-28 leben in Städten und Vororten, also im urbanen Bereich.¹³⁰ Der Logistik- und Transportsektor trägt besonders im städtischen Bereich stark zur Beeinträchtigung der Luftqualität und zur Schadstoffemission bei.¹³¹

Dem steigenden Verkehrsaufkommen kann speziell in urbanen Gebieten mit Bussen entgegengewirkt werden, da mit einem Bus im Schnitt 30 PKWs ersetzt werden. Dadurch weisen sie auch im Vergleich zu allen anderen motorisierten Transportmöglichkeiten die beste CO₂-Bilanz pro Passagier auf.¹³²

Elektrische Busse und LKWs werden von der Bevölkerung als auch von den Fahrern als auch von den Fahrern als umweltfreundlich wahrgenommen und überzeugen darüber hinaus mit einem geringeren Lärmpegel. Nichtsdestotrotz müssen Fahrer eingeschult und mit den Gegebenheiten von EFVs vertraut gemacht werden, um die Erwartungen und Vorteile der Elektrifizierung auch tatsächlich ausnutzen zu können.¹³³

Technologisches Umfeld

Die Reichweite elektrischer Frachtfahrzeuge ist im urbanen Raum nur bedingt ein limitierender Faktor und abhängig vom logistischen Konzept des Logistik- bzw. Postunternehmens. Als Hürden werden die Batterie(-kosten), die lange Ladedauer sowie die dafür notwendige Infrastruktur genannt. Aufgrund der hohen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zur Verbesserung dieser kritischen Punkte befindet sich der Markt noch eher in einer Warteschleife.¹³⁴ Nichtsdestotrotz wird ein weiterer signifikanter Preisverfall der Batteriekosten prognostiziert, wie in Abbildung 41 zu sehen ist.

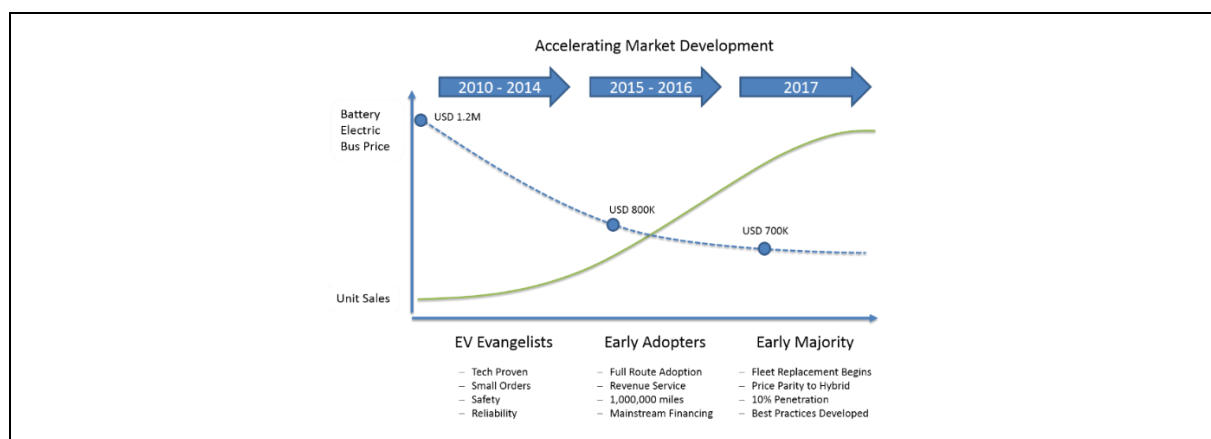


Abbildung 41: Marktentwicklung Busse¹³⁵

¹³⁰ Vgl. (EEA, 2016, S. 45)

¹³¹ Vgl. (Quak, 2016, S. 2)

¹³² Vgl. (ACEA, o.J. a, S. 1)

¹³³ Vgl. (Nesterov et al., 2013, S. 2)

¹³⁴ Vgl. (Nesterov et al., 2013, S. 3 f)

¹³⁵ Vgl. (Horton, 2016, S. 5)

Zur Reduktion der Emissionen von LKWs werden diverse treibstoffsparende Entwicklungen, unter anderem im Bereich der Aerodynamik der Fahrzeuge, geringerer Rollwiderstände der Reifen oder GPS-basierter automatischer Schaltgetriebe investiert.¹³⁶ Ein Überblick über die potentiellen Einsparungen sind in Abbildung 42 übersichtlich dargestellt.

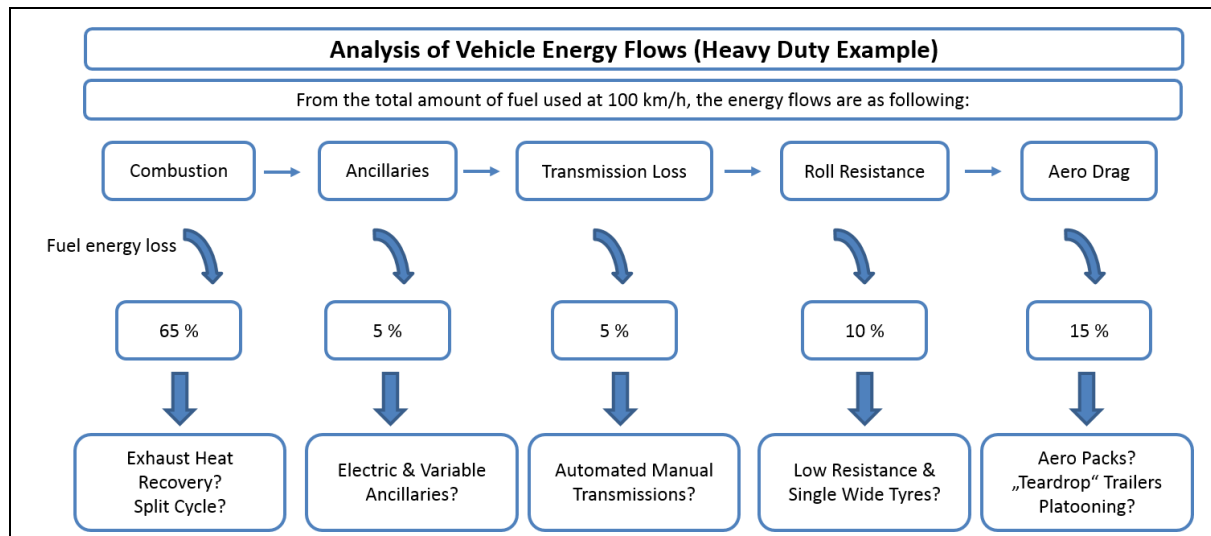


Abbildung 42: Verluste und Einsparungspotentiale im Heavy-Duty Bereich¹³⁷

Weitere Emissions- bzw. Kraftstoffverbrauchseinsparungen werden in Zukunft durch das Konzept des Truck Platooning erreicht. Dieses sieht vor, dass mehrere selbstfahrende LKWs über Funkverbindungen miteinander kommunizieren und eine auf einander abgestimmte LKW-Kolonnen bilden. Dadurch wird ein gleichmäßigerer Fahrbetrieb mit definierten Abständen zwischen den einzelnen Fahrzeugen erreicht, der eine geringere Beanspruchung der Bremsen zur Folge hat und die CO₂-Emissionen um 10% verringern soll.¹³⁸

Busse müssen ähnlich den LKW in der Lage sein, große Massen zu beschleunigen und speziell im städtischen Verkehr in regelmäßigen Abständen abzubremsen. Trotz der potentiellen Emissionseinsparungen müssen elektrische Busse auch anhand der wichtigsten technischen Parameter mit konventionell betriebenen Bussen mithalten können. Wie in Abbildung 43 abgebildet ist lassen sich Busse mit einem elektrischen Antriebsstrang nahezu identisch beschleunigen, zudem ist der fiktiv verglichene Treibstoffverbrauch bzw. die Reichweite bei Elektrobussen weitaus höher. Elektrobusse nutzen die zur Verfügung gestellte Energie also weitaus effizienter als diesel-betriebene Busse.¹³⁹

Bei der Elektrifizierung von Bussen ist die Reichweite sowie die benötigte Ladedauer von großer Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit von von elektrischen Bussen. Abbildung 44 ermöglicht eine bessere Einschätzung zum aktuellen Stand der eben erwähnten technischen Parameter verschiedener Busmodelle.

¹³⁶ Vgl. <http://reducingco2together.eu/#> (30.03.2017)

¹³⁷ Vgl. (Jackson, 2016, S. 11)

¹³⁸ Vgl. <http://reducingco2together.eu/#> (30.03.2017)

¹³⁹ Vgl. (Chandler et al., 2016, S. 25)

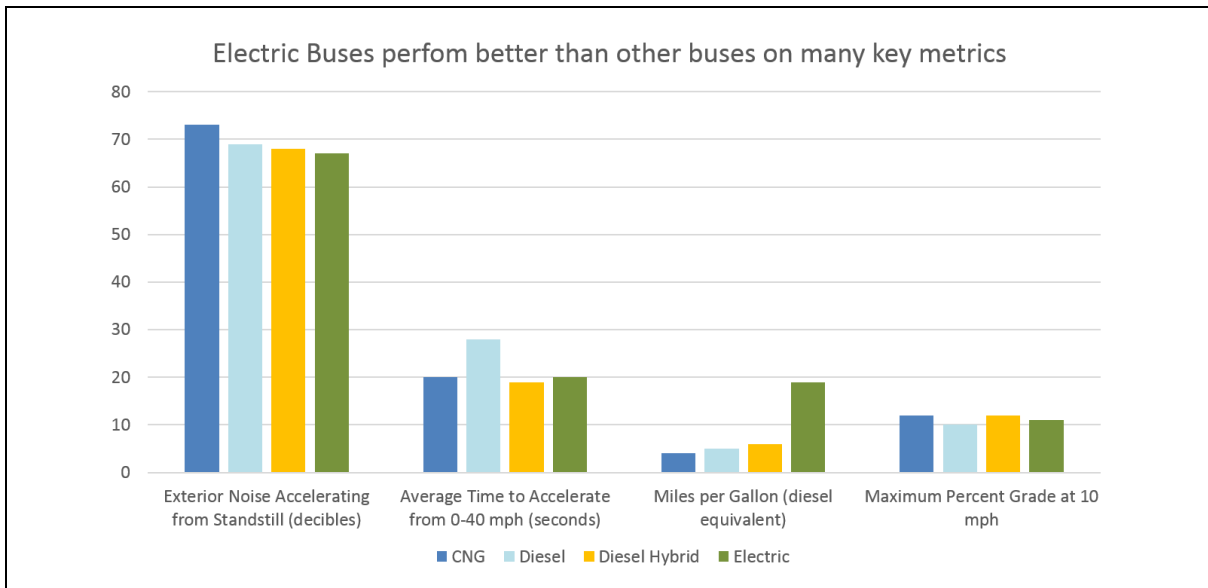


Abbildung 43: Lautstärkepegel und Kraftstoffverbrauch elektrischer Busse¹⁴⁰

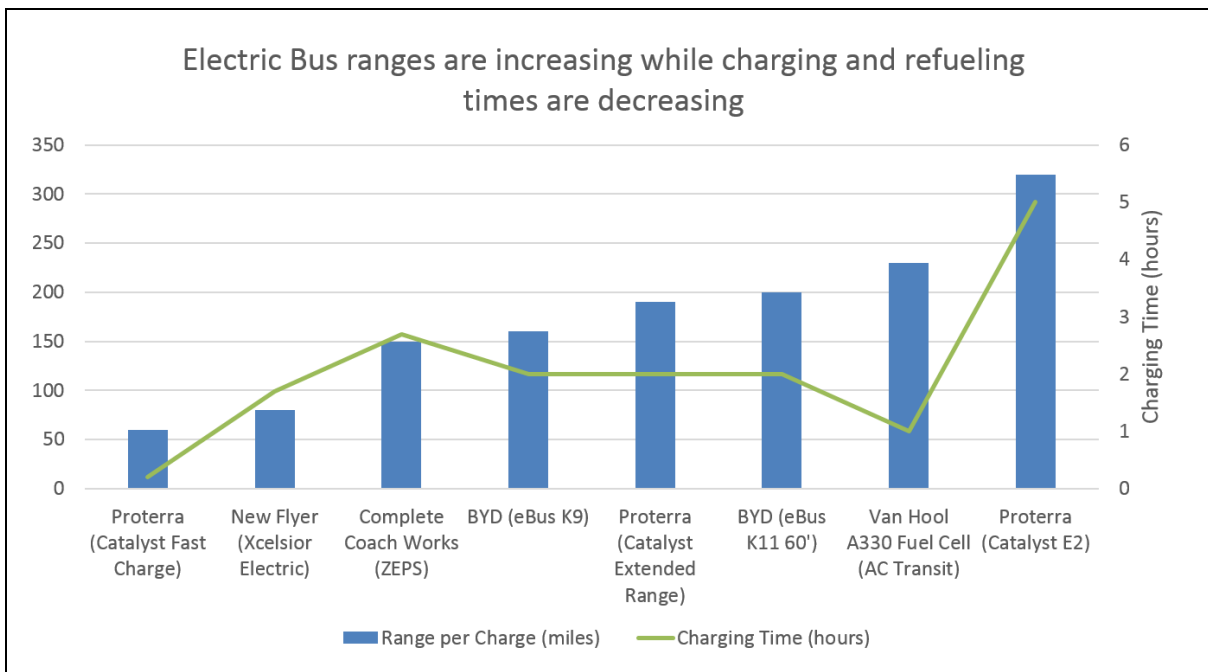


Abbildung 44: Reichweite und Ladedauer elektrischer Busse¹⁴¹

Ökologisches Umfeld

Im Gegensatz zu Diesel-betriebenen Bussen weisen elektrische Busse, abhängig von der Herkunft des elektrischen Stroms als Energiequelle, einen reduzierten CO₂-Ausstoß auf. Zudem ist eine Reduktion des Schadstoffausstoßes von Feinstaub und Stickoxiden um bis zu 80% möglich, wie in Abbildung 45 und Abbildung 46 ersichtlich ist.¹⁴²

¹⁴⁰ Vgl. (Chandler et al., 2016, S. 25)

¹⁴¹ Vgl. (Chandler et al., 2016, S. 26)

¹⁴² Vgl. (Chandler et al., 2016, S. 3)

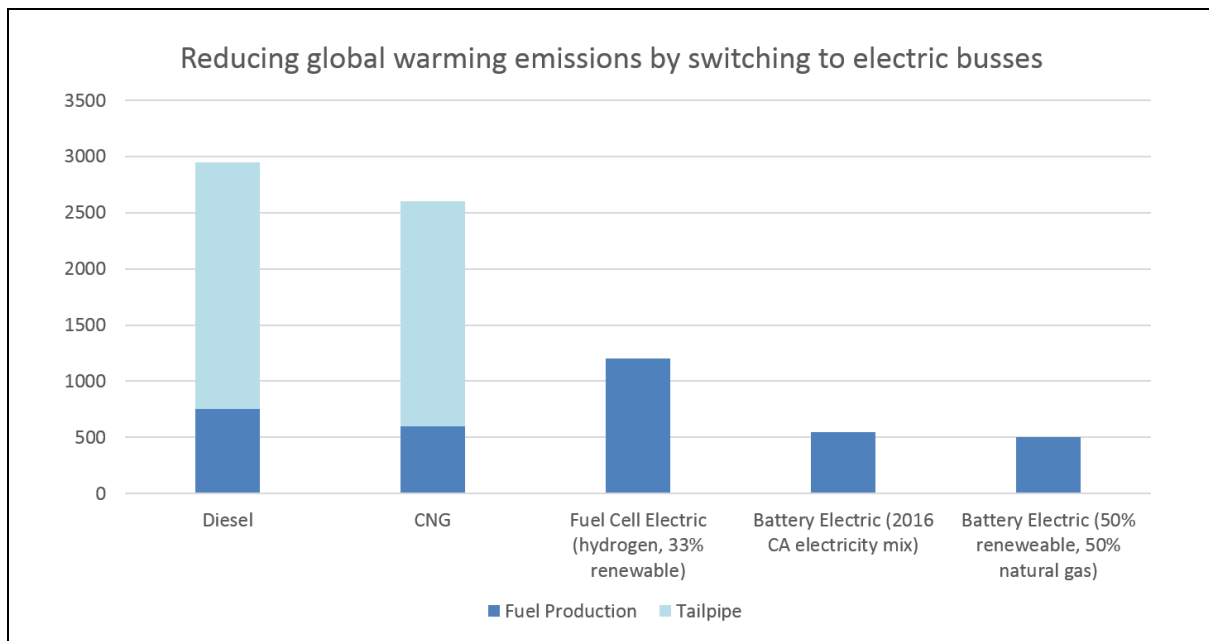


Abbildung 45: CO2-Einsparungen elektrischer Busse¹⁴³

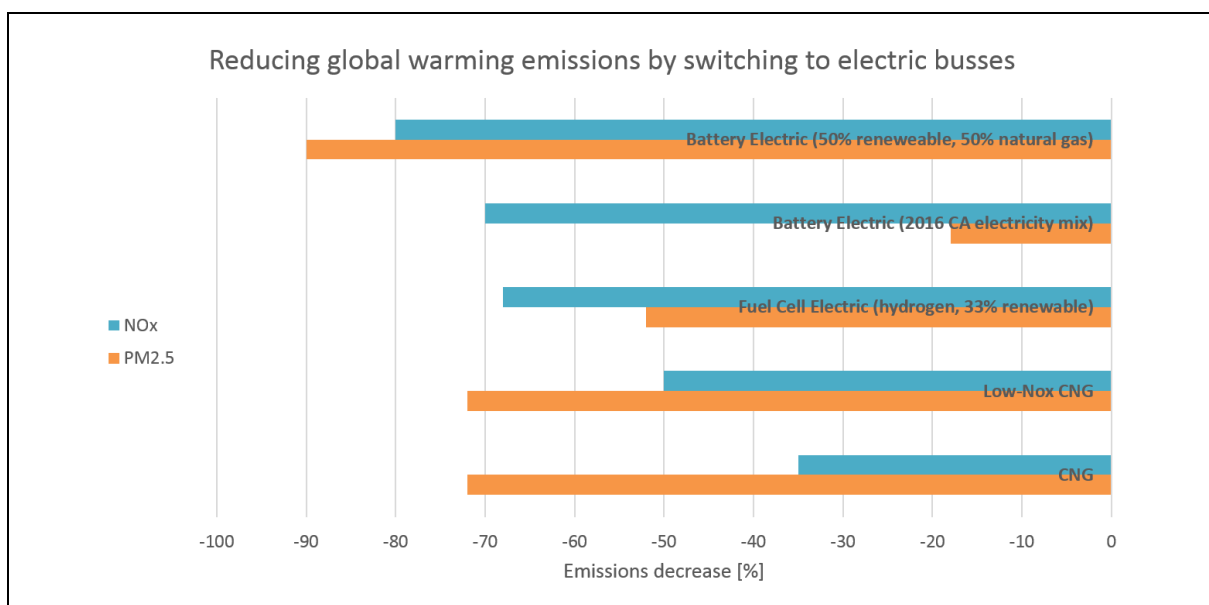


Abbildung 46: Feinstaub- und NOx Emissionseinsparung elektrischer Busse¹⁴⁴

3.3.3 Exkurs LKWs

Im Rahmen der AVL-Konferenz Energy&Environment hat sich gezeigt, dass bisherige Hybrid- und Elektro-LKW auf der Basis konventionell betriebener LKW und deren Architektur gebaut wurden. Um die Leistungsfähigkeit weiter verbessern und zudem Produktionskosten senken zu können, werden zukünftige Fahrzeuge von Grund auf neu modelliert und konzipiert.

¹⁴³ Vgl. (Chandler et al., 2016, S. 3)

¹⁴⁴ Vgl. (Chandler et al., 2016, S. 3)

Dadurch kann eine bessere Abstimmung der einzelnen Antriebsstrangkomponenten erreicht werden.¹⁴⁵

Für eine Bewertung des Hybridisierungs- bzw. Elektrifizierungspotentials von Lastkraftwagen muss eine Unterteilung in Kurzstrecken- und Langstreckenfahrzeuge unternommen werden, da sich die Fahrzyklen grundlegend unterscheiden. Kleintransporter, die speziell im urbanen Bereich zum Waren- und Gütertransport eingesetzt werden, weisen ähnliche Fahrzyklen wie die in Kapitel 3.3.4. beschriebenen Busse im öffentlichen Verkehr auf, während bei Sattelschleppern die jährlich zurückgelegte Distanz von bis zu 200.000 km ein anderes Elektrifizierungspotential zur Folge hat.¹⁴⁶

3.3.3.1 Marktentwicklung und Beispielprojekte

Die Überlegung, Hybrid- bzw. Elektro-LKW im städtischen Bereich einzusetzen, ist aufgrund des eingeschätzten CO₂-Einsparungspotentials von bis zu 20% attraktiv, wobei im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der Schadstoffemissionen die Erzeugungsart des elektrischen Stromes eine sehr entscheidende Rolle einnimmt. Hier besteht also die Gefahr, dass Schadstoffemissionen auf lokaler Ebene eingespart werden, über die gesamte Lebensdauer jedoch zu keiner signifikanten Reduktion führen.¹⁴⁷

Bei LKW zur Beförderung von Gütern auf der Langstrecke reduziert die Batterie aufgrund der Masse und des Platzbedarfs den potentiellen Stauraum und stellt aufgrund dieses grundsätzlichen Problems die Sinnhaftigkeit von Hybrid- bzw. elektrischen Lösungen in diesem Einsatzbereich in Frage. Aufgrund der immens hohen zurückgelegten Distanzen der LKW können kleine prozentuelle Verbesserungen bereits ein beachtliches Einsparungspotential des Verbrauchs und somit der CO₂-Emissionen zur Folge haben. Aufgrund der eben erwähnten Schwierigkeiten mit der Batterie ist der Einsatz von Brennstoffzellen-LKW weitaus interessanter und attraktiver, wiewohl die technische Reife in absehbarer Zeit nicht erreicht werden wird.¹⁴⁸

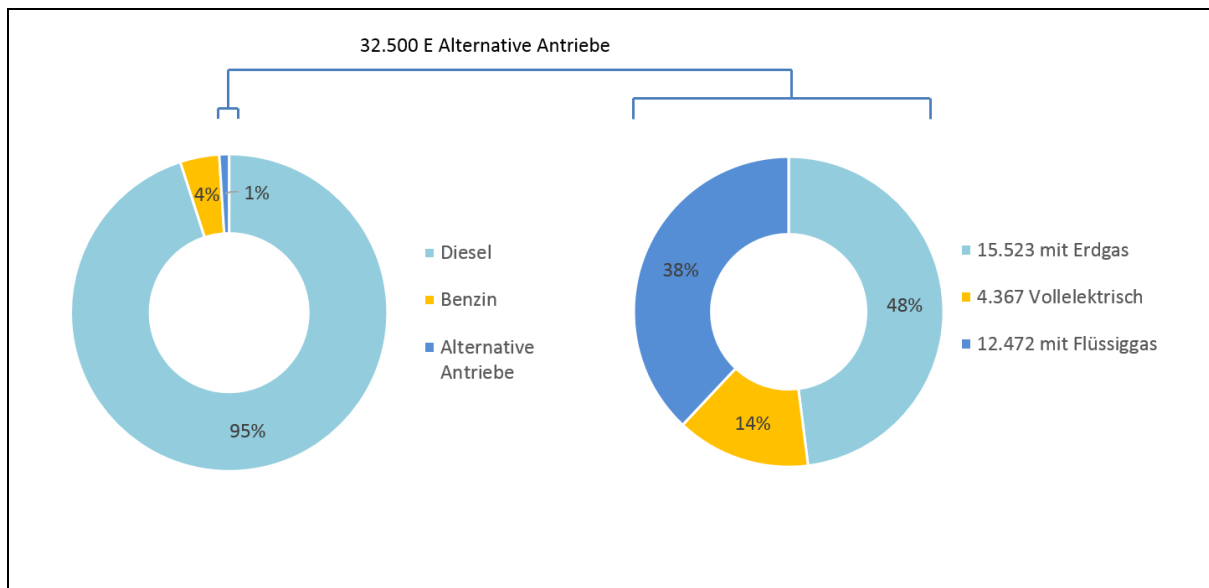
Vergleicht man diese Einschätzungen mit einer Studie zur zukünftigen Entwicklung von LKW mit alternativen Antriebskonzepten anhand des deutschen Marktes, so ergibt sich folgendes Bild gemäß Abbildung 47. Demzufolge werden zurzeit lediglich ein Prozent aller zugelassenen Fahrzeuge rein elektrisch betrieben.

¹⁴⁵ (Schreier H. et al., 2017)

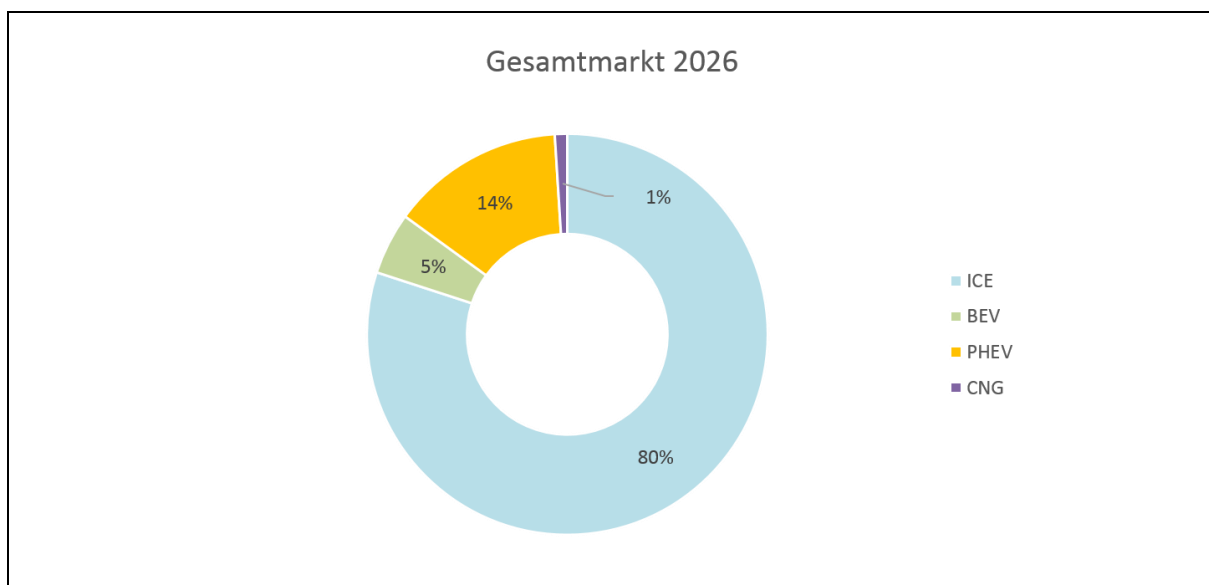
¹⁴⁶ Vgl. <http://articles.sae.org/15305/> (19.05.2017)

¹⁴⁷ Vgl. <http://articles.sae.org/15305/> (19.05.2017)

¹⁴⁸ Vgl. <http://articles.sae.org/15305/> (19.05.2017)

Abbildung 47: Klassifizierung alternativ betriebener LKW in Deutschland¹⁴⁹

In der Klasse der sogenannten mittelschweren LKW wird auch im Jahr 2026 der gewöhnliche Verbrennungsmotor am weitesten verbreitet sein. In diesem Marktsegment werden jedoch PHEV durch die Halbierung der Batteriekosten auf 104 EUR/kWh einen bedeutenden Marktanteil einnehmen, wie in Abbildung 48 zu sehen ist.¹⁵⁰

Abbildung 48: Marktübersicht mittelschwerer LKW im Jahr 2026¹⁵¹

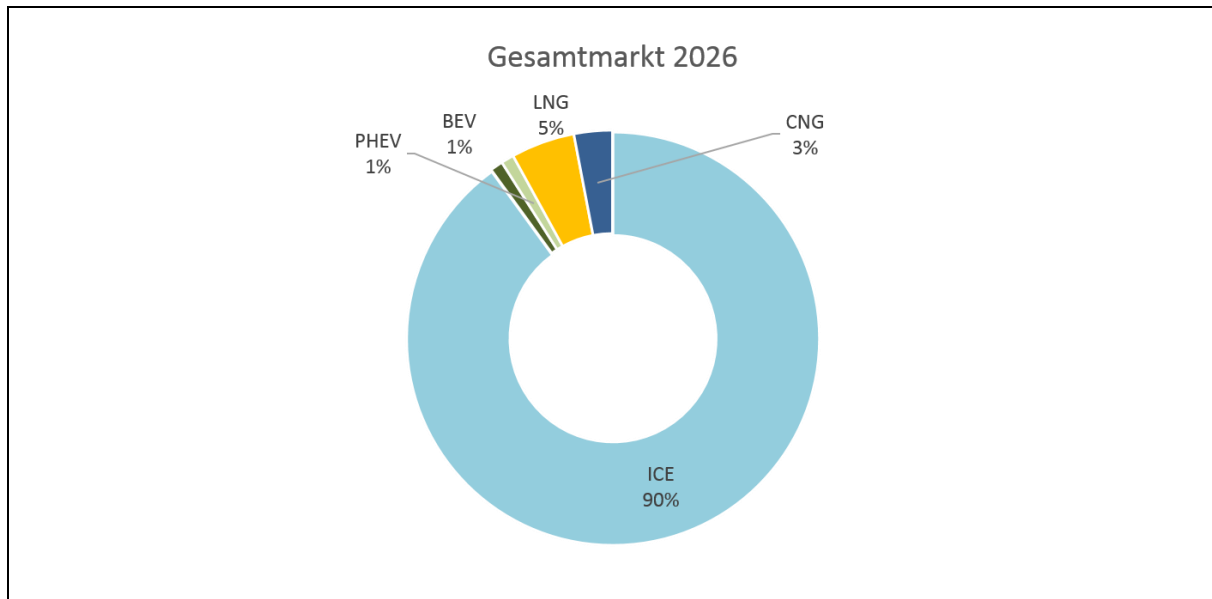
Im Bereich der Langstrecke, indem die Fahrzeuge gemäß der Publikation als schwere LKW ausgewiesen werden, wird die Elektrifizierung auch im Jahr 2026 keine signifikante Rolle spielen. Dieser Umstand wird anhand des geringen prognostizierten Marktanteils aus Abbildung 49 untermauert.¹⁵²

¹⁴⁹ Vgl. (Deloitte, 2017, S. 23)

¹⁵⁰ Vgl. (Deloitte, 2017, S. 25)

¹⁵¹ Vgl. (Deloitte, 2017, S. 25)

¹⁵² Vgl. (Deloitte, 2017, S. 23ff.)

Abbildung 49: Marktübersicht schwerer LKW im Jahr 2026¹⁵³

Trotz der grundsätzlich schwierigen Rahmenbedingungen für die Elektrifizierung auf der Langstrecke und den entsprechend bescheidenen Prognosen werden laufend Forschungsprojekte und Prototypen von diversen LKW-Herstellern entwickelt. Von Seiten des Unternehmens Volvo Trucks werden zurzeit die Einsparungspotentiale eines Hybrid-LKW auf der Langstrecke untersucht. Es ist hierbei von einer CO₂-Einsparung von bis zu 30% die Rede.¹⁵⁴ Die zuvor in diesem Kapitel angesprochene Attraktivität von Brennstoffzellen-LKW wird von der Firma Nikola in Form des vielversprechenden Modells Nikola One aufgegriffen. Ausgestattet mit einer 300 kW Brennstoffzelle zur Versorgung der Batterie, deren Kapazität mit 320 kWh angegeben wird, soll eine Reichweite von umgerechnet knapp 2000 km erzielt werden können. Eine Übersicht über die zentralen technischen Spezifikationen ist in der folgenden Tabelle 7 gegeben.¹⁵⁵

| Motor & Drivetrain | |
|------------------------|---|
| Motor Type | 800 V AC Motors |
| Battery Capacity | 320 kWh Lithium Ion |
| Transmission | Two speed Automated with Direct Drive and Low-Noise Gears |
| Drive System Type | 6X4 Four-Wheel Drive |
| Active Descent Control | Comes Standard |
| Cooling | Biodegradable Non-Electrically Conductive Liquid Coolant |

Tabelle 7: Nikola One – Spezifikationen des elektrischen Antriebsstrangs¹⁵⁶

¹⁵³ Vgl. (Deloitte, 2017, S. 27)

¹⁵⁴ Vgl. <https://www.trucks.com/2017/03/02/volvo-truck-hybrid-alternative-powertrain-technology/> (19.07.2017)

¹⁵⁵ Vgl. <https://nikolamotor.com/one> (04.08.2017)

¹⁵⁶ Vgl. <https://nikolamotor.com/one> (04.08.2017)

3.3.4 Exkurs Busse

Der gewöhnliche Fahrzyklus von Bussen im öffentlichen städtischen Verkehr zeichnet sich durch wiederkehrende Beschleunigungs- und Bremsphasen aus, der aufgrund der großen Masse des Fahrzeuges und der Passagiere ein dementsprechend hohes Drehmoment erfordert. Die Maximalgeschwindigkeit ist im Gegensatz zu PKW nicht so sehr von Bedeutung. Eine der größten limitierenden Faktoren von rein elektrisch betriebenen Bussen ist die Batteriekapazität bzw. die Sicherstellung des regelmäßigen Ladens. Die bekannten Routen und Haltestellen können anhand von Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofilen in Form von standardisierten Fahrzyklen wie dem Braunschweig-Zyklus angegeben werden, und mildern die eben erwähnte Herausforderung des Ladens ein wenig ab.¹⁵⁷

3.3.4.1 Marktentwicklung und Beispielprojekte

Wie sich im Laufe der Literaturrecherche gezeigt hat, sind in vielen europäischen Städten Elektrobuse bereits im (Test-) Einsatz. Der Trend zum verstärkten Einsatz von Hybrid- und rein elektrisch betriebenen Bussen ist aufgrund der prognostizierten Neuanschaffungen zahlreicher europäischer Transportunternehmen eindeutig zu erkennen. Ein signifikanter Anstieg von Hybrid- und Elektrobussen in der europäischen Flotte ist somit zu erwarten, betrug der Gesamtanteil elektrischer Busse in Europa im Jahr 2013 lediglich 1,2%.¹⁵⁸

Auf globaler Ebene nimmt China eindeutig die Vorreiterrolle bei Elektrobussen im öffentlichen Verkehr ein. Bedingt durch die politischen Rahmenbedingungen sind 98,3% der weltweit 173.000 Elektrobuse in chinesischen Städten im Einsatz. Dieser Umstand unterstreicht die im Rahmen der PEST-Analyse aufgezeigte Dominanz Chinas am Weltmarkt.¹⁵⁹

Ein überaus umfassender Überblick über den Einsatz von Elektrobussen in europäischen Städten konnte in Form einer Publikation des EU-Projekts ZeEUS gefunden werden. In dieser ist der eben zuvor erwähnte Trend zur Beschaffung von Hybrid- bzw. Elektrobussen in Form von Pilotprojekten konkret dargestellt. Von besonderem Interesse sind dabei die detaillierten Informationen zu den technischen Komponenten der elektrischen Antriebsstränge sowie den Firmenprofilen ausgewählter Bushersteller, die ebenso in dieser Publikation zu finden sind. In Tabelle 8 wurden Modelle des weltweit größten Busherstellers BYD anhand ausgewählter technischer Parameter dargestellt.¹⁶⁰

¹⁵⁷ Vgl. (Lajunen, 2014, S. 32ff.)

¹⁵⁸ Vgl. (ZeEUS, 2016, S. 6f.)

¹⁵⁹ Vgl. (ZeEUS, 2016, S. 7)

¹⁶⁰ Vgl. (ZeEUS, 2016)

| Electric bus model name | BYD 12m China | BYD 12m Overseas | BYD mini bus | BYD 10,8m Variants | BYD Double Decker | BYD 18m Articulated | BYD 12m coach |
|-------------------------|------------------------|------------------|--------------|--------------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| Electric Motor | | | | | | | |
| Suppliers | BYD | | | | | | |
| Type | Wheel-hub motor (PNSM) | | | | | | |
| Power peak | 2x90kW | 2x 90/150kW | 2x90kW | 2x 90/150kW | 2x150kW | | 2x180kW |
| Torque | 2x350Nm | 2x350/550 Nm | 2x350Nm | 2x350/550 Nm | 2x350Nm | | 2x1,500 Nm |
| Battery | | | | | | | |
| Suppliers | BYD | | | | | | |
| Type | Iron-Phosphate battery | | | | | | |
| Warranty | 5 years | | | | | | |
| Charging System | | | | | | | |
| Charging System | Plug-in | | | | | Phosphate and Plug-in | Plug-in |
| Charge Rate | 2x40kW | | | | | Plug-in 2x40kW | 2x40kW |
| Charge Time | 4 – 4,5h | | 2h | 4 – 4,5h | 4,5h | Up to 3h | 3h |

Tabelle 8: Spezifikationen von Elektrobussen der Firma Marke BYD¹⁶¹¹⁶¹ Vgl. (ZeEUS, 2016, S. 83f.)

3.4 Marktanalyse Heavy Construction and Agricultural Machinery

Anschließend an die Marktanalyse der Nutzfahrzeuge im Transportwesen in Kapitel 3.3 folgt im letzten Kapitel dieser Arbeit die Marktanalyse des zweiten priorisierten Marktsegments der Heavy Construction and Agricultural Machinery.

Dabei werden zunächst, ähnlich zum vorigen Kapitel, Begrifflichkeiten und der Bereich der Off-Road-Fahrzeuge definiert, um danach deren Makroumwelt zu analysieren. Diesbezüglich wird erneut eine Fokussierung auf den europäischen Markt vorgenommen, wobei die Einordnung und der Vergleich auf globaler Ebene ebenso herausgearbeitet werden.

Ausgehend von der PEST-Analyse soll auf die wichtigsten Faktoren zur Elektrifizierung einzelner Fahrzeuggruppen eingegangen werden. Da sich speziell in diesem Marktsegment die Anforderungen und technische Besonderheiten besonders stark unterscheiden, wurde aus diesem Grund eine Schwerpunktsetzung vorgenommen, welche sich auf die Elektrifizierung von Traktoren und Baggern konzentriert und dieses Kapitel abschließt.

3.4.1 Definition und Übersicht

Laut EU-Definition werden Off-Road Fahrzeugen dem Sammelbegriff der Non-Road Mobile Machinery (NRMM) zugeordnet und sind "any mobile machine, transportable equipment or vehicle with or without bodywork or wheels, not intended for the transport of passengers or goods on roads, and includes machinery installed on the chassis of vehicles intended for the transport of passengers or goods on roads."¹⁶²

Baumaschinen und landwirtschaftlich genutzte Fahrzeuge werden meistens mit Dieselmotoren betrieben und decken zusammen mit den zugehörigen Betriebsmitteln einen sehr großen Leistungsbereich ab, wie in der folgenden Abbildung 50 zu sehen ist.¹⁶³ Aus diesem Grund unterscheiden sich die Anforderungen von Off-Road Fahrzeugen bzw. Baumaschinen signifikant von Straßenfahrzeugen, anhand von Abbildung 51 graphisch dargestellt. Langlebigkeit und Zuverlässigkeit im Betrieb sind die wichtigsten Kriterien dieses Marktsegments und können anhand der erheblich größeren Dimension von Kraftstoffverbrauch, Kosten, Anschaffungspreis und höheren Beanspruchung beschrieben werden.¹⁶⁴

¹⁶² (Official Journal of the European Union, 2016, S. 9)

¹⁶³ Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 4)

¹⁶⁴ Vgl. (Sobotzik & Lenz, 2016, S. 6)

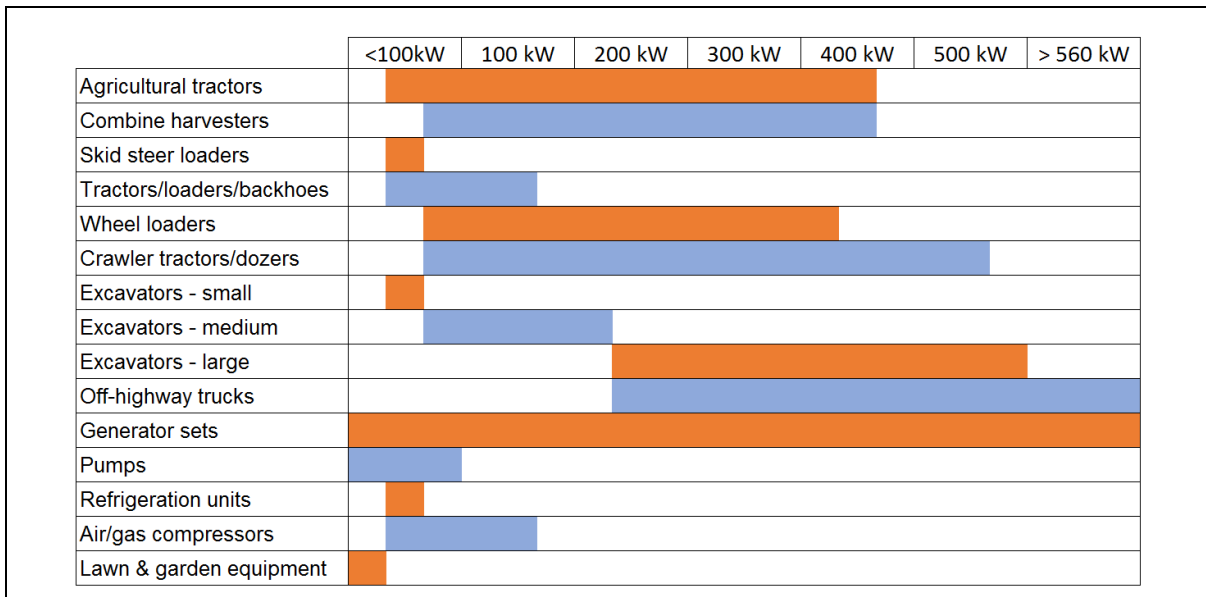


Abbildung 50: Leistungsbereich im Off-Road Bereich¹⁶⁵

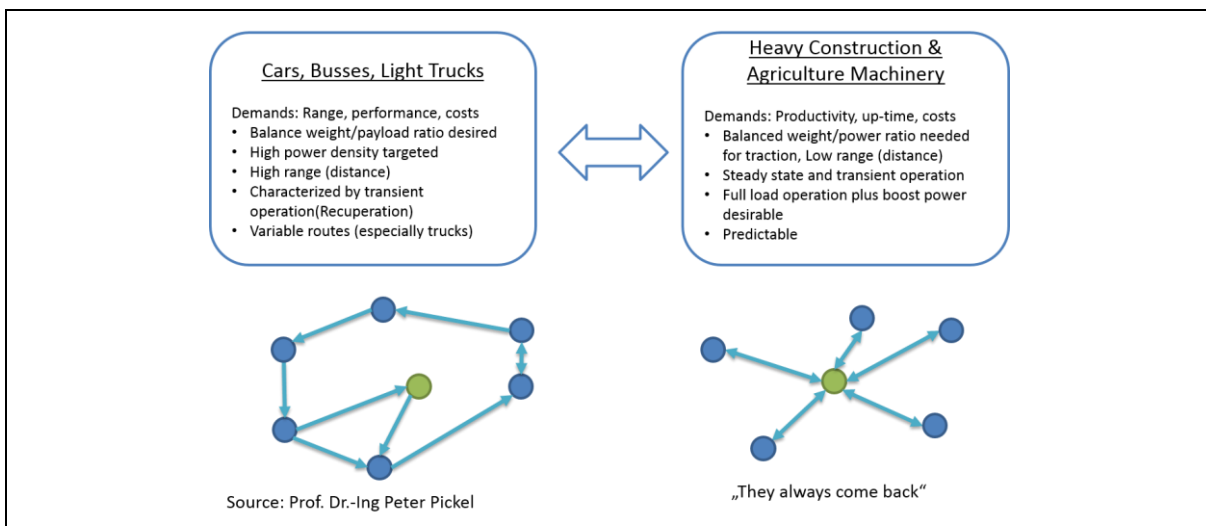


Abbildung 51: Anforderungen im Bereich Heavy Construction & Agricultural Machinery¹⁶⁶

3.4.2 PEST-Analyse

Anhand der Analyse der Makroumwelt der Off-Road Nutzfahrzeuge in diesem Unterkapitel soll ein grundlegendes Verständnis für dieses grundsätzlich sehr breite Marktsegment erarbeitet werden.

Politisches Umfeld

Regulatorische Bemühungen zur Senkung von Treibhausgasemissionen im Off-Road Bereich hinken generell jenen der Straßenfahrzeuge hinterher, werden jedoch auf globaler Ebene immer bedeutender. Die Europäische Union zählt mit den USA zu den fortschrittlichsten Regionen, in denen Emissionssenkungen mittels etablierter und neu entwickelter Emissionsstandards vorangetrieben werden. Emissionsstandards zur Senkung von

¹⁶⁵ Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 5)

¹⁶⁶ Vgl. (Sobotzik & Lenz, 2016, S. 6)

Treibhausgasemissionen wurden von der EU erstmals im Jahr 1997 vorgestellt, orientieren sich am Leistungsbereich der Motoren und werden in Stufen klassifiziert, wie in der folgenden Abbildung 52 zu sehen ist.¹⁶⁷

| Emission standards for non-road diesel engines in the European Union | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| Engine Rating kW | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| P < 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.0 / (7.5) / 0.4 |
| 8 ≤ P < 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 6.6 / (7.5) / 0.4 |
| 19 ≤ P < 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.0 / (4.7) / 0.015 |
| 37 ≤ P < 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.0 / (4.7) / 0.015 |
| 56 ≤ P < 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.0 / (4.7) / 0.015 |
| 75 ≤ P < 130 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.0 / (4.7) / 0.015 |
| 130 ≤ P < 225 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.0 / (4.7) / 0.015 |
| 225 ≤ P < 450 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.0 / (4.7) / 0.015 |
| 450 ≤ P < 560 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.0 / (4.7) / 0.015 |
| P ≥ 560 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.5 / 0.19 / 3.5 / 0.045 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Pollutant key (g/kWh) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CO / HC / NO _x / PM | Unregulated | Tier 1 / Stage 1 | Tier 2 / Stage II | Tier 3 / Stage IIIA | Tier 4I / Stage IIIB | Tier 4f / Stage IV | Stage V (proposed) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CO / (HC+NO _x) / PM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 52: Emissionsstandards der EU¹⁶⁸

Ökonomisches Umfeld

Durch den Einsatz von Hybrid- und Elektroantrieben sind diese Fahrzeuge um ungefähr 30% teurer als vergleichbare Fahrzeuge mit herkömmlichen Antriebskonzepten.¹⁶⁹ Die Hybridisierung bzw. Elektrifizierung in diesem Marktsegment befindet sich noch in der Entwicklungsphase und wird durch die hohen Kosten, fehlende Skalenerträge sowie Bedenken zur Verlässlichkeit im Betrieb charakterisiert. Es wird jedoch erwartet, dass die Attraktivität von Hybrid-Lösungen im Bereich der NRMM in den nächsten Jahren zunimmt und Kunden deren Vorteile und Einsparungspotentiale hinsichtlich Kosten und Energieverbrauchs als überzeugende Argumente erkennen werden. Die weitere Marktentwicklung wird gemäß Abbildung 53 prognostiziert.¹⁷⁰

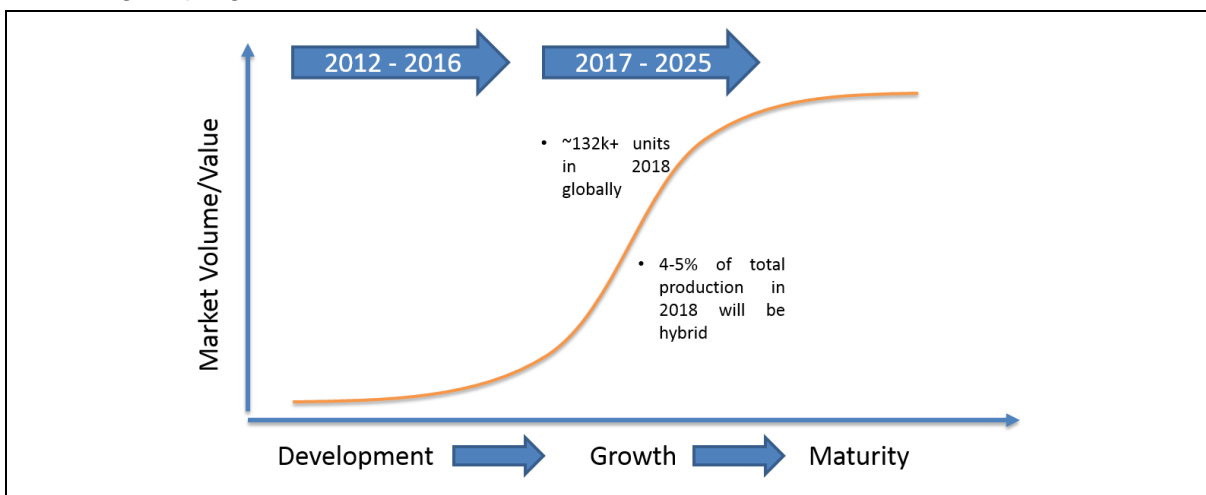


Abbildung 53: Entwicklung des Off-Road Markts¹⁷¹

¹⁶⁷ Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 1 & 10)

¹⁶⁸ Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 11)

¹⁶⁹ Vgl. (Srinivasan, 2016, S. 9)

¹⁷⁰ Vgl. (Srinivasan, 2016, S. 8)

¹⁷¹ Vgl. (Srinivasan, 2016, S. 8)

Ökologisches Umfeld

Off-Road Fahrzeuge sind in der EU für 16% des NO_x- und für 25% des PM_{2.5}-Ausstoßes verantwortlich. Schlüsselt man diese Zahlen gemäß Abbildung 54 weiter in die Anwendungsbereiche auf, ist zu erkennen, dass in der EU die Land- und Forstwirtschaft dominiert, während in den USA Baumaschinen und Industrie den größeren Anteil am Schadstoffausstoß haben.¹⁷²

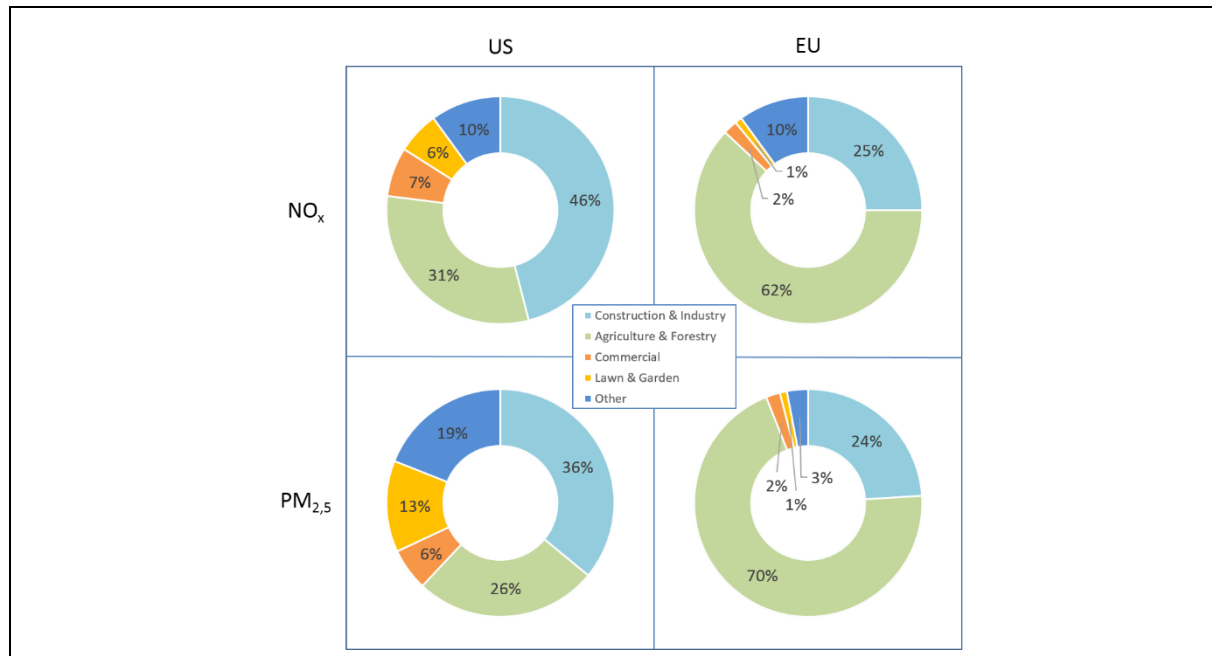


Abbildung 54: Schadstoffausstoß Non-Road Sektor¹⁷³

Der CO₂-Ausstoß steht in direkter Proportion zum Energieverbrauch von Fahrzeugen und wird in den USA zu 98% von den Dieselmotoren verursacht. Die Aufteilung der CO₂-Emissionen in der folgenden Abbildung 55 bezieht sich zwar auf die USA, zeigt jedoch trotzdem gut auf, dass Traktoren, Bagger und Frontlader zu den großen und wichtigen Fahrzeugkategorien zählen.¹⁷⁴

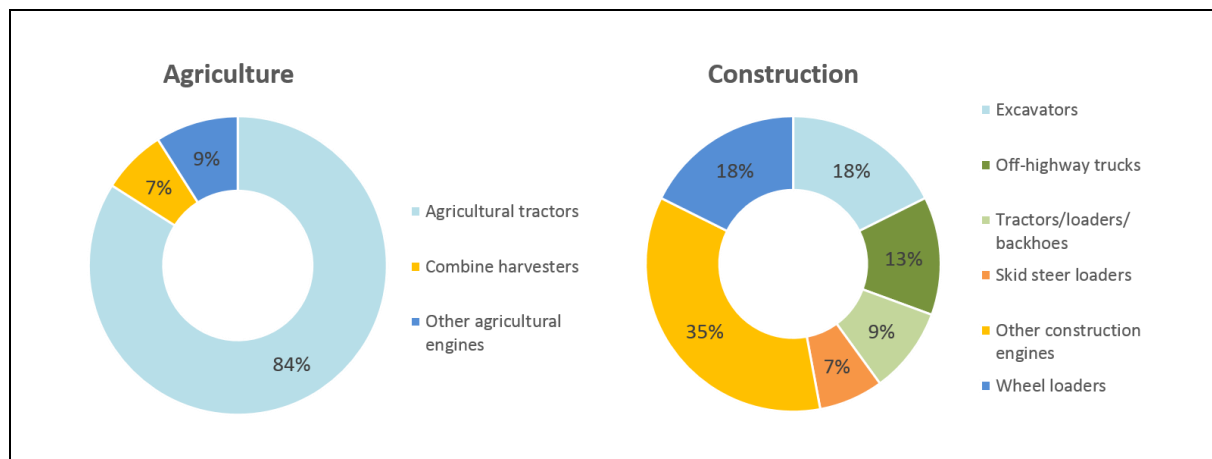


Abbildung 55: Verursacher von CO₂-Emissionen in den USA¹⁷⁵

¹⁷² Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 6 f.)

¹⁷³ Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 7)

¹⁷⁴ Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 7 f.)

¹⁷⁵ Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 8)

Technologisches Umfeld

Die Elektrifizierung von Fahrzeugen und Baumaschinen stellt eine mögliche Alternative für Kraftstoffeinsparungen und Schadstoffreduktionen dar. Im Bereich der konventionell mit Diesel betriebenen NRMM wird versucht, unter anderem durch Änderungen im Motordesign, der Kraftstoffeinspritzung und Nachbehandlung der Abgase die Senkung von Treibhausgasemissionen zu verbessern.¹⁷⁶

Eine detaillierte Auseinandersetzung mit den technologischen Entwicklungen und Potentialen zur Hybridisierung und Elektrifizierung wird in den nächsten beiden Unterkapiteln anhand von Traktoren und Baggern gegeben.

3.4.3 Exkurs Traktoren und Arbeitsgeräte

In der Landwirtschaft ist die steigende Weltbevölkerung, die zu einem größer werdenden Bedarf nach Nahrungsmitteln führt, gemäß Abbildung 56 einer der wichtigsten treibenden Faktoren für die Digitalisierung und Elektrifizierung. Um den erhöhten Nahrungsmittelbedarf abdecken zu können, aber auch um den Emissionsgesetzen gerecht zu werden, ist eine effizientere und auf die Menge bezogene, stärker produzierende und gleichzeitig umweltfreundliche Landwirtschaft notwendig.¹⁷⁷

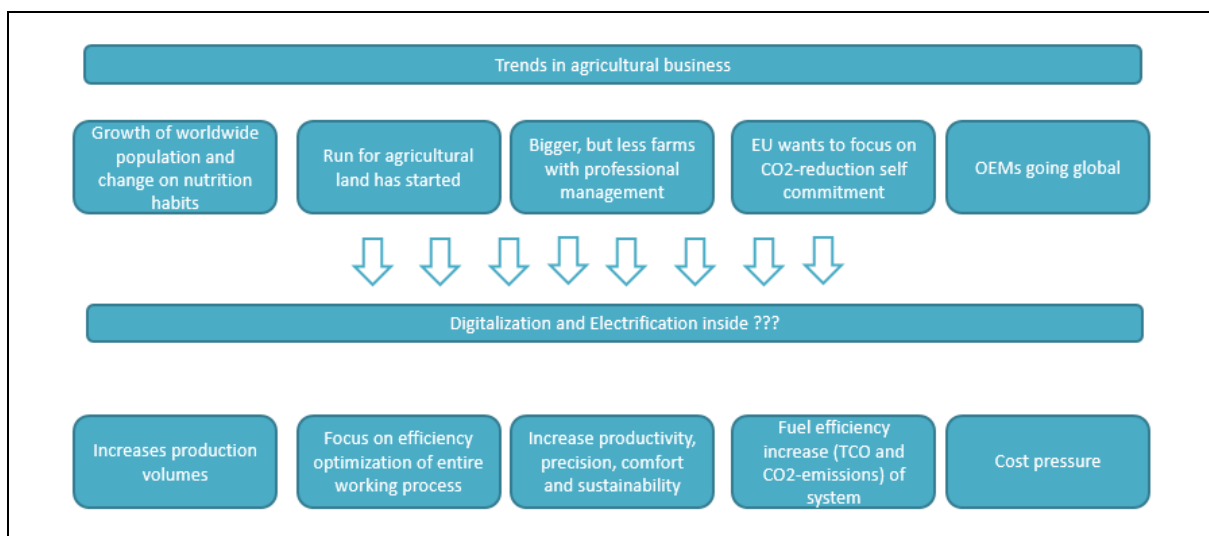


Abbildung 56: Trends in der Landwirtschaft¹⁷⁸

Die Elektrifizierung dient in der Landwirtschaft einerseits für den Antrieb und andererseits für die Versorgung von Verbrauchern und Arbeitsgeräten, wobei anzumerken ist, dass sich das Marktsegment der Elektrifizierung am Beginn seiner Entwicklung befindet.¹⁷⁹

Bei der Elektrifizierung in der Landwirtschaft wird elektrischer Strom durch einen Generator erzeugt, der vom Dieselmotor angetrieben wird. Der Generator versorgt die Zapfwelle mit

¹⁷⁶ Vgl. (Dallmann & Menon, 2016, S. 20)

¹⁷⁷ Vgl. (Adam, Mai 2017)

¹⁷⁸ Vgl. (Adam, Mai 2017)

¹⁷⁹ Vgl. (Rahe & Resch, Mai 2017)

elektrischer Energie, wodurch die mechanische Verbindung zum Motor entfällt und die angeschlossenen Arbeitsgeräte wiederum mit Elektromotoren betrieben werden.¹⁸⁰ Abbildung 57 zeigt den eben beschriebenen Aufbau des Antriebsstrangs bzw. die Energieflüsse in einem Hybrid-Traktor.

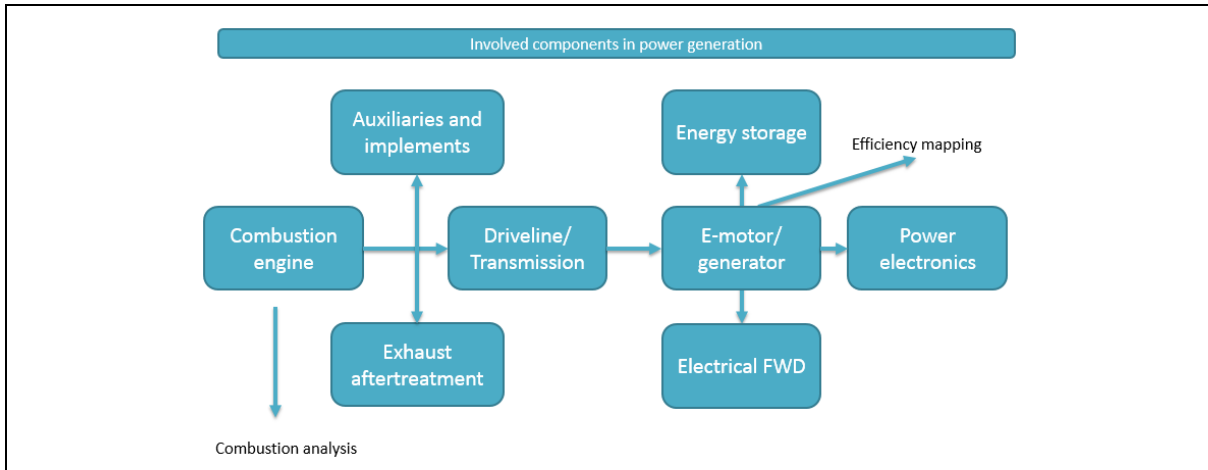


Abbildung 57: Leistungserzeugung in hybriden Traktoren¹⁸¹

Aus Sicht der Hersteller von Arbeitsgeräten steigt der Bedarf nach mehr elektrischer Leistung, da die vorhandenen 660 W nicht mehr ausreichen. In dieser Hinsicht wird zurzeit nach einer Lösung bezüglich passender Spannungslevel und Etablierung von Standards gesucht. Die zentrale Frage hierbei ist, ob die elektronischen Komponenten auf den Traktoren oder den Arbeitsgeräten platziert werden sollen.¹⁸² Diese grundsätzliche Überlegung ist in Abbildung 58 zu sehen.

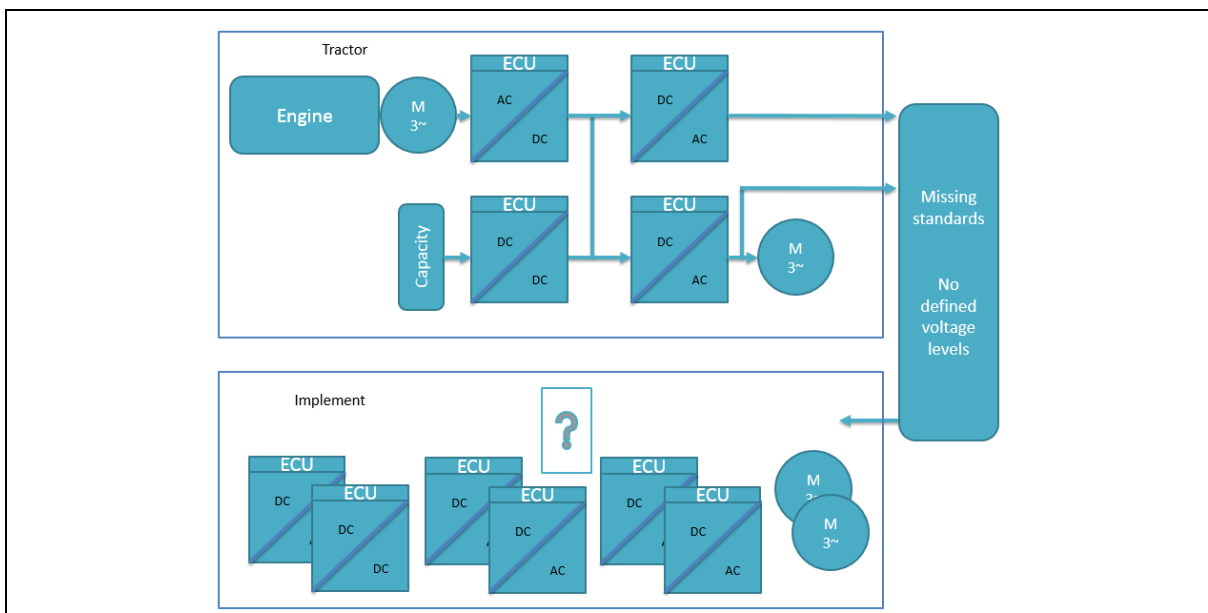


Abbildung 58: Elektrifizierung in der Landwirtschaft¹⁸³

¹⁸⁰ Vgl. <http://articles.sae.org/15305/> (19.05.2017)

¹⁸¹ Vgl. (Adam, Mai 2017)

¹⁸² Vgl. (Rahe & Resch, Mai 2017)

¹⁸³ Vgl. (Adam, Mai 2017)

Im Anwendungsfall des Projekts ElecTra wurden die Inverter-Einheiten auf dem Traktor platziert, die dann über eine entsprechende Verbindung alle Verbraucher bzw. Arbeitsgeräte mit elektrischer Energie versorgen.

3.4.3.1 Marktentwicklung

Obwohl bereits vor ungefähr 10 Jahren mehrere Prototypen elektrischer Traktoren von verschiedenen Herstellern präsentiert wurden, ging nur eines dieser Fahrzeuge aufgrund der hohen Kosten auch tatsächlich in Produktion. Nichtsdestotrotz wird darauf gehofft, Lösungsansätze aus der PKW- bzw. LKW-Branche übernehmen zu können. Der Einsatz von höheren Spannungsebenen bei den landwirtschaftlichen Arbeitsgeräten von 48 V und einem Leistungsbedarf von bis zu 5 kW wird als nächster Schritt gesehen.¹⁸⁴

Die Elektrifizierung des Antriebsstranges und die damit verbundene Einführung höherer Spannungsebenen, in Form von 400 V Wechselspannung bzw. 700 V Gleichspannung, befindet sich in einem sehr frühen Entwicklungsstadium, und kann keine Standards vorweisen. Eine Marktentwicklung dieses Segments wird noch weitere 10 Jahre dauern. Die bereits erwähnte Einführung der 48 V-Spannungsebene dient der Elektrifizierung von Arbeitsgeräten und Verbrauchern, dieses Marktsegment ist bereits im Aufbau begriffen. Nichtsdestotrotz fehlt hier noch eine Übereinkunft bzgl. standardisierter Verbindungen.¹⁸⁵

3.4.3.2 Beispielprojekte

Obwohl der Markt für elektrische Traktoren noch nicht vorhanden ist, forschen zahlreiche Hersteller an möglichen Lösungen für eine elektrische und umweltschonendere Landwirtschaft. An dieser Stelle soll ein Auszug aktueller Prototypen gegeben werden.

John Deere Sesam

John Deere hat mit dem Sesam einen elektrischen Traktor vorgestellt, dessen Batterie mit einer Kapazität von 130 kWh zwei Elektromotoren mit einer Leistung von jeweils 150 kW mit elektrischer Energie versorgt und somit eine Gesamtleistung von 300 kW bzw. 402 PS vorweist.¹⁸⁶

Multi Tool Trac

Hier handelt es sich ebenfalls um einen rein elektrisch betriebenen Traktor, der mit 4 Elektromotoren und einer Leistung von jeweils 22 kW Nominal- bzw. 44 kW Maximalleistung ausgestattet ist. Ein 160 kW Dieselmotor zur Verlängerung der Reichweite und eine Batterie mit einer Kapazität von 30 kWh runden die zentralen Spezifikationen dieses Elektrotraktors ab.¹⁸⁷

¹⁸⁴ Vgl. (Adam, Mai 2017)

¹⁸⁵ Vgl. (Rahe & Resch, Mai 2017)

¹⁸⁶ Vgl. <https://electrek.co/2016/12/05/john-deere-electric-tractor-prototype/> (05.07.2017)

¹⁸⁷ Vgl. <http://www.multitooltrac.com/construction/> (23.05.2017)

New Holland NH2 Hydrogen Tractor

New Holland hat mit dem NH2 einen Traktor vorgestellt, der auf Basis eines bestehenden Modells auf die Brennstoffzellentechnik setzt. Die Leistung dieses Traktors wird mit 75 kW angegeben, ein Elektromotor übernimmt dabei den Antrieb des Fahrzeugs während ein zweiter Elektromotor die Zapfwelle bzw. Arbeitsgeräte mit elektrischer Energie versorgt.¹⁸⁸

RigiTrac EWD 120

Hierbei handelt es sich um einen diesel-elektrischen Traktor, der zur Kraftübertragung vier Radnabenmotoren einsetzt. Abbildung 59 zeigt den 91 kW bzw. 126 PS starken Dieselmotor, welcher über einen Generator mit einer Leistung von 85 kW und einem Gleichrichter ein Boardnetz von 450 V bis 650 V zur Verfügung stellt. Von besonderem Interesse bei diesem Traktor sind die vier 33 kW Radnabenmotoren, die einzeln angesteuert werden können und die Bedienbarkeit im Vergleich zu herkömmlichen Traktoren erheblich verbessern.¹⁸⁹

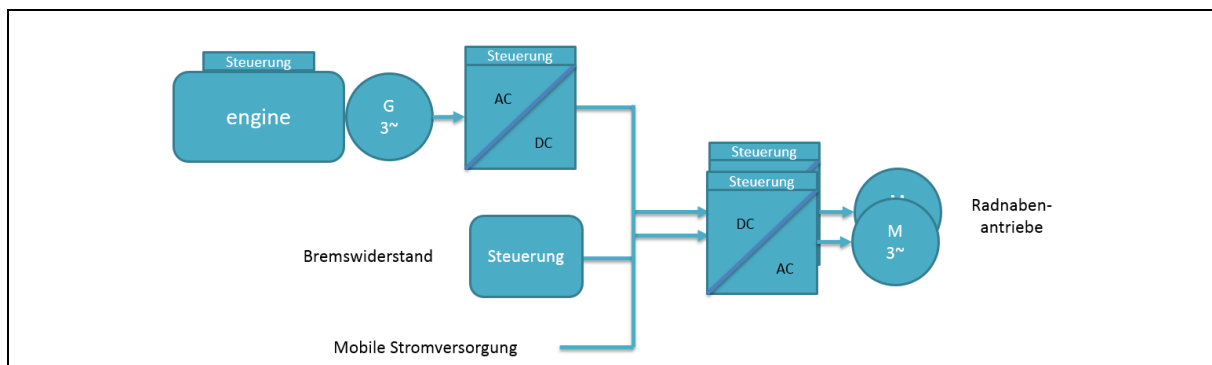


Abbildung 59: RigiTrac EWD 120 Antriebsarchitektur¹⁹⁰

¹⁸⁸ Vgl. (New Holland, o.J., S. 1)

¹⁸⁹ Vgl. (TU Dresden, Professur für Agrarsystemtechnik, oJ, S. 2)

¹⁹⁰ Vgl. (TU Dresden, Professur für Agrarsystemtechnik, oJ, S. 2)

3.4.4 Exkurs Heavy Construction Machinery

Die Umgebungsbedingungen im schweren Maschinenbau stellen hohe Anforderungen an die Maschinen sowie deren Einzelkomponenten. Dazu zählen Betriebstemperaturen zwischen - 40° und 85°C, hohe Feuchtigkeit, staubige Umgebungen in Minen oder in Küstengegenden und Vibrationen. Eine weitere Herausforderung ist das Thema der elektromagnetischen Verträglichkeit, da die Elektronik der Fahrzeuge bzw. Baumaschinen in einer Wechselwirkung mit hohen elektrischen und magnetischen Feldern steht.¹⁹¹

3.4.4.1 Marktentwicklung

Die treibenden Faktoren für die weitere Entwicklung der Branche lassen sich in die drei großen Themengebiete Effizienz, Sicherheit und Konnektivität zusammenfassen. Die Elektrifizierung ist unter anderem deshalb ein Thema, da die sogenannten Niedrig-Emissions-Gebiete in Städten auch Baufahrzeuge betreffen. Die Elektrifizierung von Maschinen und Fahrzeugen im statischen Bereich bis zu einem Elektrifizierungsgrad von 100%, im Englischen als Material Handling bezeichnet, ist realistisch und auch sinnvoll, da bei diesen Einsatzgebieten die notwendige Infrastruktur bereits vorhanden ist. Von diesem Bereich jedoch abgesehen ist die Elektrifizierung für potentielle Kunden aufgrund der hohen Kosten nicht leistbar und aufgrund der steigenden Komplexität auch nicht attraktiv. Die CO₂-Einsparungen sollen durch ein ganzheitliches betrachtetes Herangehen erreicht werden.¹⁹²

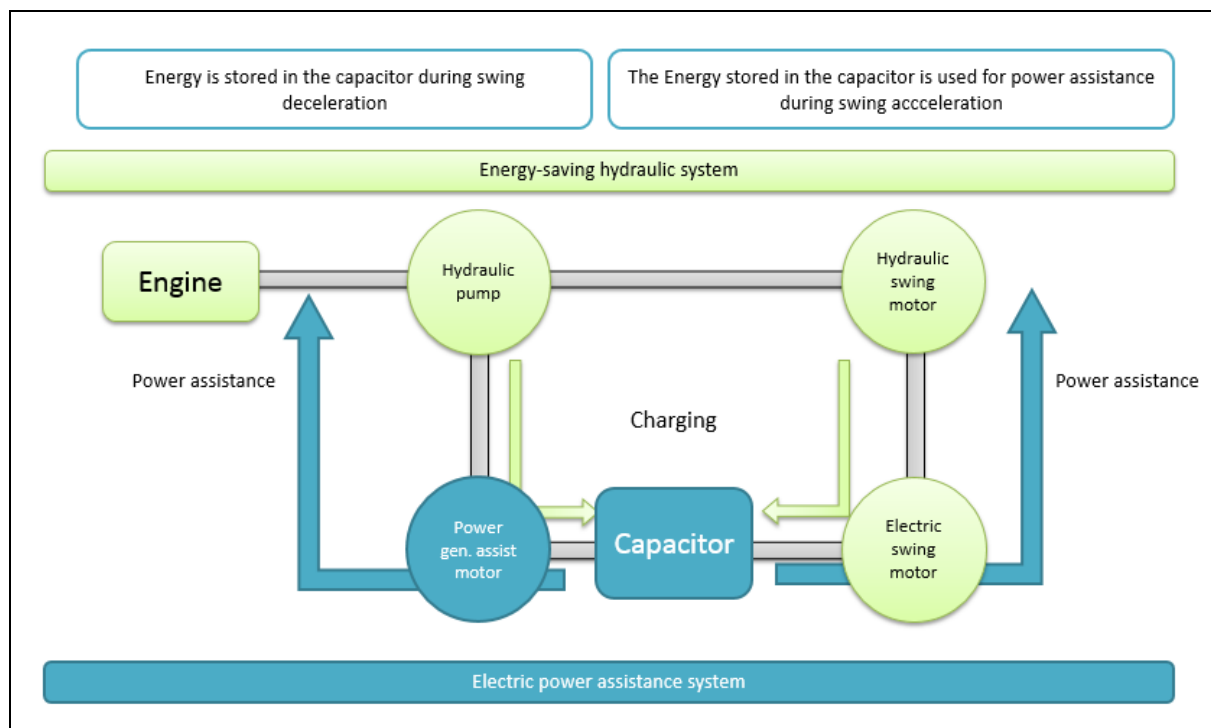


Abbildung 60: Effizienzsteigerung eines Hybrid-Baggers¹⁹³

¹⁹¹ Vgl. (Wanner, 2015, S. 9&10)

¹⁹² Vgl. (Burget, Mai 2017)

¹⁹³ Vgl. http://www.hitachi.com/environment/products/hybrid_excavator/index.html (23.05.2017)

Die Hybridisierung wird als sinnvoll angesehen, da der Elektromotor sowohl bei der Beschleunigungsunterstützung eingesetzt werden und beim Bremsen im generatorischen Betrieb die Batterie wieder laden kann. Auf diese Art und Weise wurden bei Simulationen von Radladern Sprit- bzw. CO₂-Einsparungen von bis zu 15% erreicht.¹⁹⁴ Abbildung 60 illustriert dieses Prinzip von Hybrid-Baggern.

Volvo Electrified Quarry

Im Zuge der Sekundärforschung hat sich gezeigt, dass die Firma Volvo sehr innovativ und zukunftsweisend am Markt tätig ist. Volvo sieht in der Elektrifizierung den Schlüssel zu einer unfallfreien und emissionsfreien Branche, die zudem von kürzeren Wartungszeiten der Nutzfahrzeuge und Baumaschinen profitieren wird. Volvo bewertet die Branche als konservativ und versucht mit dem Projekt „Electrified Quarry“ die CO₂-Emissionen einer Anlage um 95% und die TCO (Total Costs of Ownership) des Kunden um 25% zu senken.¹⁹⁵

3.4.4.2 Beispiel eines Hybrid-Baggers

Anhand des hydraulischen Hybrid-Baggers SK80H der Firma Kobelco kann der Einsatz von elektrischen Komponenten anschaulich erläutert werden. Wie in Abbildung 61 zu sehen ist, wird eine hydraulische Pumpe von einem Dieselmotor angetrieben, der mit dem Druck sämtliche Aktoren sowie die Motoren für die Schwingbewegungen bzw. für das Fahren versorgt. Die hydraulische Pumpe des Baggers liefert stets die Leistung für die maximale Last, unabhängig von der tatsächlichen benötigten Leistung der Aktoren, wie in Abbildung 62 zu sehen ist. Der entstandene Energieüberschuss, der ungenutzt in Form von Wärme abgegeben wird, führt zu einem effektiven Wirkungsgrad von 20% führt, dessen Zusammensetzung in Form eines Flussdiagramms in Abbildung 63 abgebildet ist.¹⁹⁶

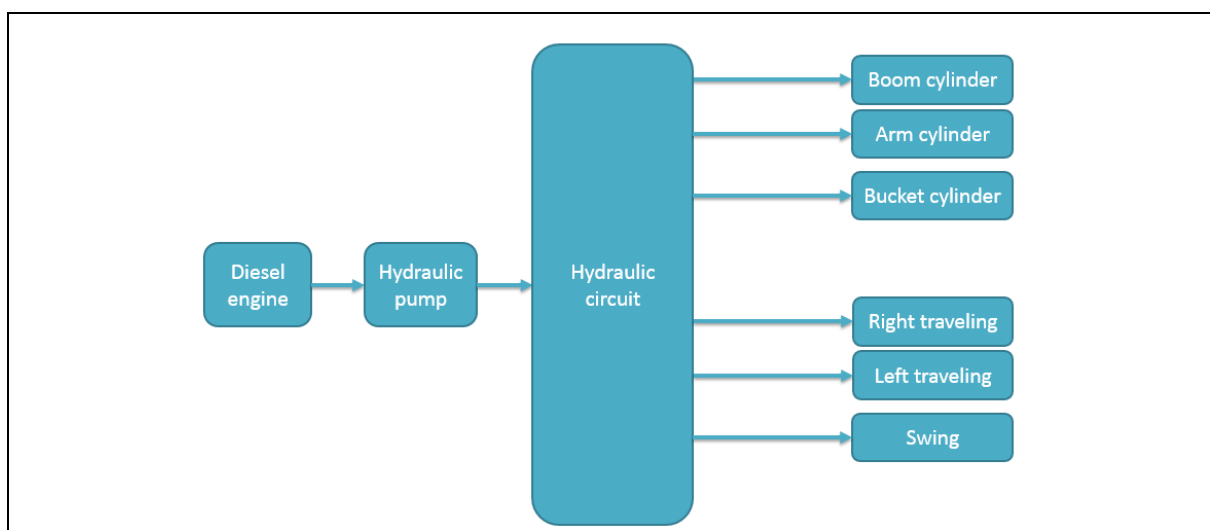


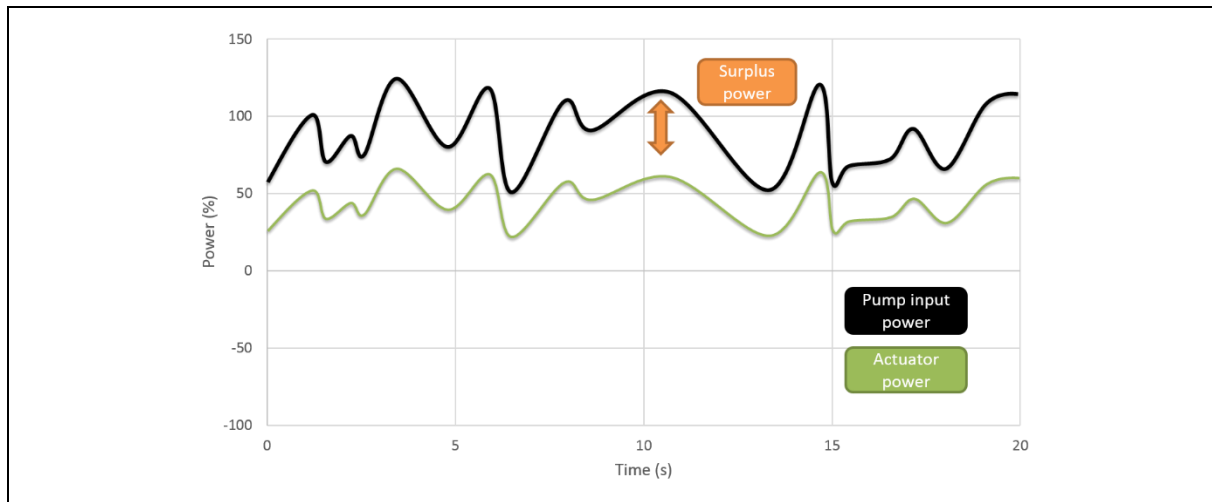
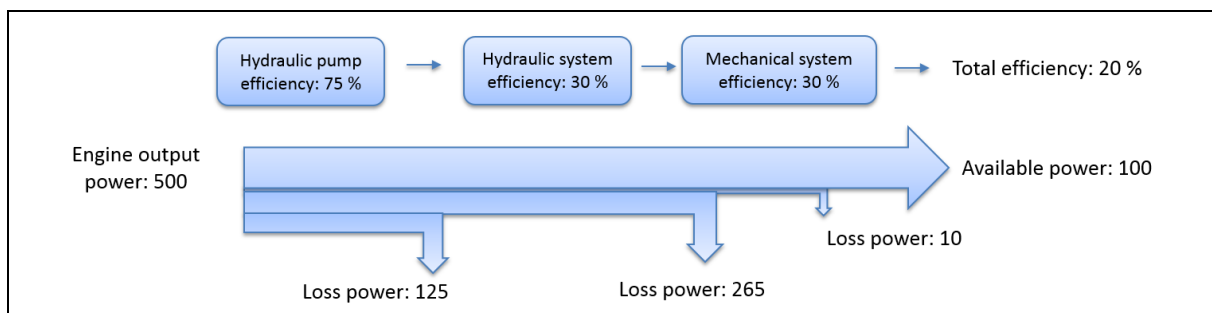
Abbildung 61: Prinzip-Schaltbild eines hydraulischen Baggers¹⁹⁷

¹⁹⁴ Vgl. <http://articles.sae.org/15305/> (19.05.2017)

¹⁹⁵ Vgl. (Fass & Elfsberg, Mai 2017)

¹⁹⁶ Vgl. (Kagoshima, 2013, S. 6)

¹⁹⁷ Vgl. (Kagoshima, 2013, S. 6)

Abbildung 62: Leistungsüberschuss eines hydraulischen Baggers¹⁹⁸Abbildung 63: Leistungsfluss und Verluste eines hydraulischen Baggers¹⁹⁹

Um die Effizienz im Betrieb zu steigern, wurden neben der Verbesserung des hydraulischen Kreislaufs Elektromotoren für die Schwingbewegungen eingesetzt. Damit ist es möglich, überschüssige Energie zurückzugewinnen und gegebenenfalls den Dieselmotor zu unterstützen.²⁰⁰

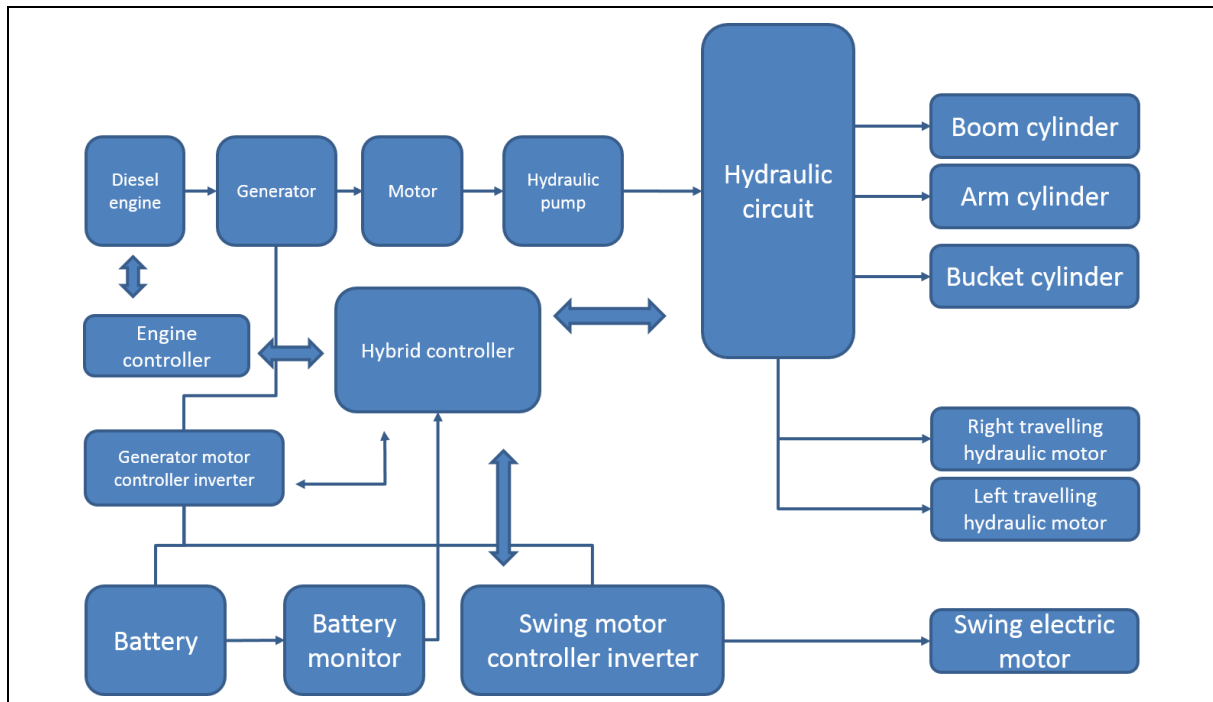
Ein Blick auf das Blockschaltbild in Abbildung 64 des Hybrid-Baggers lässt die Vielzahl an unterschiedlichen Controller-Einheiten erkennen. Durch die Hybridisierung mit einem Elektromotor bzw. -generator mit einer Leistung von 10 kW konnte der Dieselmotor von zirka 40 kW auf 27 kW verkleinert werden. Durch die Hybridisierung konnte in diesem konkreten Fall konnte der Kraftstoffverbrauch um 40% und der Lärmpegel ebenfalls signifikant gesenkt werden.²⁰¹

¹⁹⁸ Vgl. (Kagoshima, 2013, S. 6)

¹⁹⁹ Vgl. (Kagoshima, 2013, S. 6)

²⁰⁰ (Kagoshima, 2013, S. 7)

²⁰¹ Vgl. (Kagoshima, 2013, S. 8 ff.)

Abbildung 64: Blockschaftbild des Hybrid-Baggers²⁰²

²⁰² Vgl. (Kagoshima, 2013, S. 6)

3.5 Handlungsempfehlungen für Dewesoft

Aus den Erkenntnissen dieser Arbeit lassen sich einige Handlungsempfehlungen für das Unternehmen Dewesoft ableiten. Es hat sich gezeigt, dass die Elektrifizierung von Antrieben und Verbrauchern in allen Fahrzeugsegmenten teils erhebliche Emissionseinsparungen und Effizienzsteigerungen ermöglicht. Das Potential der technischen Lösungen wird zurzeit von Bedenken der konservativ agierenden Marktteilnehmer zum sicheren und zuverlässigen Betrieb gebremst. Die Kombination all dieser Einflussfaktoren lassen auf hohe F&E-Tätigkeiten von Fahrzeug- und Komponentenhersteller schließen, die für das Unternehmen Dewesoft aufgrund der bewährten Kompetenz und Flexibilität in diesem Bereich sehr attraktiv ist.

Die Elektrifizierung von Antrieben und Verbrauchern in der Automobilindustrie bedeutet aus Sicht des Unternehmens Dewesoft im Wesentlichen eine zunehmende Überschneidung der beiden Geschäftsbereiche Automotive und Power & Energy. Die Vielschichtigkeit der Fahrzeugelektrifizierung konnte in dieser Arbeit auf rein technischer Ebene aufgezeigt werden und erweitert die Anforderungen des Automotive-Geschäftsbereiches um das Wissen zu den elektrischen Komponenten und dazugehörigen Leistungs- und Effizienzanalysen.

Aus Sicht des Unternehmens sollte die Konzentration zunächst darauf gelegt werden, das Knowhow beider Geschäftsbereiche intern bestmöglich zu sammeln und die Mitarbeiter bzw. speziell den Verkauf dahingehend zu sensibilisieren. Dies wird durch die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit ermöglicht, die dem Unternehmen in Form von Application Notes und Präsentationen übergeben wurden. In diesen werden die Rahmenbedingungen sowie die Potentiale der Hybridisierung bzw. Elektrifizierung im Nutzfahrzeugbereich konkret mit Studien und Prototypen aufgezeigt.

Es empfiehlt sich zudem, bestehende Kunden der Geschäftsbereiche Automotive und Dynamic Signal Analysis unternehmensintern zu evaluieren, um diese gegebenenfalls auch für den Geschäftsbereich Power & Energy als Kunden gewinnen zu können. Um für potentielle Neu-Kunden sichtbar zu werden, empfiehlt sich eine verstärkte Ausrichtung der Marketing- und Sales-Tätigkeiten im Geschäftsbereich Power & Energy auf das Thema der Fahrzeugelektrifizierung im Nutzfahrzeugbereich. Speziell in den Nischenmärkten der Lastkraftwagen, Traktoren, Bagger sowie ist es möglich, durch die gewonnenen Erkenntnisse dieser Masterarbeit in diesen Märkten aktiv zu werden und neue Kunden gewinnen zu können. Die Erstellung des neuen E-Mobility Flyers für Messen und Konferenzen kann an dieser Stelle als erste bereits umgesetzte Maßnahme erwähnt werden.

Eine Sammlung von attraktiven Marktteilnehmern, Unternehmen sowie Forschungseinrichtungen in den einzelnen Marktsegmenten wurden dem Unternehmen Dewesoft am Ende dieser Arbeit übergeben. Diese sollte dem Vertrieb die Neukundenakquise ermöglichen bzw. erleichtern, Dewesoft in der Forschung und Entwicklung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen zu positionieren. Weiters wäre es von besonderer Attraktivität, verstärkt an

den universitären Bereich sowie an Forschungseinrichtungen heranzutreten, um in den noch nicht entwickelten Märkten Knowhow im Bereich der Elektrifizierung sammeln zu können und das Unternehmen durch Projekte und entsprechende Publikationen zunehmend am Markt zu positionieren und bekannt zu machen.

4 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Masterarbeit war, die Automobilindustrie anhand deren Makroumwelt und Einflussfaktoren zu analysieren, um zukunftsweisende Entwicklungen erfassen und dem Unternehmen Dewesoft aufzeigen zu können. Der dadurch geschaffene Überblick sollte es in weiterer Folge erlauben, attraktive Marktsegmente im Bereich der Elektrifizierung von Fahrzeugen zu identifizieren und in einem höheren Detailgrad auszuarbeiten.

Die Einarbeitungsphase begann mit der Ermittlung der zentralen Herausforderungen von Leistungs- und Effizienzanalysen bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Nach Einsicht in firmeninterne Unterlagen sowie der Einschätzung zur zukünftigen Marktentwicklung seitens des Unternehmens wurde im Rahmen einer ersten Sekundärforschung das Branchenumfeld der Automobilindustrie analysiert. Die PEST-Analyse wurde zur übersichtlichen Darstellung der Einflussfaktoren eingesetzt. Es hat sich gezeigt, dass die Elektrifizierung eines der bestimmenden Themen der Branche ist und entlang der Wertschöpfungskette erheblich an Bedeutung gewinnen wird. Bisher branchenfremde Unternehmen, vor allem aus dem IT- und Telematik-Bereich, werden Einzug in die Branche halten. Durch den steigenden Einsatz von Hybrid- und Elektrofahrzeugen ergibt sich für das Unternehmen Dewesoft großes Potential, über die Leistungs- und Effizienzanalysen hinaus am Markt teilzunehmen. Der in einigen Jahren neu entstehende Markt für Wartungen und Reparaturen von gebrauchten Batterien werden den Bedarf an Messungen und Analysen in diesem Bereich beträchtlich erhöhen. Die zur Zeit des Entstehens dieser Arbeit viel diskutierten Prüfstand-Messungen und deren wenig aussagekräftige Angaben zum Schadstoffausstoß bzw. zur Reichweite von Fahrzeugen wurde ebenso aufgegriffen und im Anschluss an die Branchenanalyse separat ausgearbeitet.

Im nächsten Schritt wurden attraktive Fahrzeugmärkte bzgl. der F&E-Tätigkeiten, prognostizierten Investitionssummen sowie der geographischen Lage ermittelt und dem Unternehmen präsentiert. Die gesammelten Informationen des Marktsegmentierungsprozesses haben gezeigt, dass der Nutzfahrzeugbereich aus Sicht des Unternehmens von besonders großem Interesse ist. Aus diesem Grund folgte mit Rücksprache der Firma eine weitere Analyse der Transportnutzfahrzeuge sowie Off-Road-Fahrzeuge und Baumaschinen. Es wurde das Branchenumfeld dieser Marktsegmente mithilfe der PEST-Analyse übersichtlich abgebildet. Darüber hinaus wurden Informationen zur weiteren Marktentwicklung, Potentiale zur Effizienzsteigerung und eventuell vorhandene Prototypen und Beispielprojekte ausgearbeitet. Die Informationsgrundlagen für die Marktanalyse bildete eine umfassende Sekundärrecherche, die durch den Besuch von Fachkonferenzen und den Beiträgen von Vertretern aus der Automobilindustrie ergänzt bzw. vertieft wurden. Dadurch war es möglich, ein möglichst umfassendes Bild der ausgewählten Marktsegmente zu erstellen.

Es hat sich gezeigt, dass die Elektrifizierung in sämtlichen analysierten Marktsegmenten großes Potential aufweist, konventionell betriebene Fahrzeuge aufgrund der charakteristischen Fahrzyklen mit Hybridlösungen zu verbessern und durch vollständige Elektrifizierung zu ersetzen. Die Möglichkeit zur Beschleunigungsunterstützung sowie zur

Rekuperation erlauben die Gesamteffizienz zu erhöhen und den Schadstoffausstoß bzw. den Kraftstoffverbrauch zu verringern. Während sich der Markt für Hybrid- und Elektrobusse bereits in einem sehr fortgeschrittenen Stadium befindet, hinken die übrigen Marktsegmente der LKW, Baumaschinen und Traktoren sowie Arbeitsgeräte hinterher. In diesen Fällen war es möglich, durch Studien und Prototypen die Potentiale der Elektrifizierung aufzuzeigen. Nichtsdestotrotz konzentrieren sich die Bemühungen im Nutzfahrzeugbereich auf die Sicherstellung eines zuverlässigen und sicheren Betriebs und Senkung der Kosten. In diesem Fall wird verstärkt auf die Übernahme etablierter und kostengünstiger Lösungen aus dem PKW-Bereich gehofft. Die absehbaren hohen Investitionen in Forschung und Entwicklung ergeben aus Sicht der Firma Dewesoft aufgrund ihrer bewährten Kompetenz und Flexibilität in diesem Bereich eine hohe Attraktivität. Mit dieser Arbeit ist es möglich, das vorhandene Potential für Leistungs- und Effizienzanalysen einschätzen, die Markt- und Kundenorientierung erhöhen und neue Kunden im Geschäftsfeld E-Mobility gewinnen zu können.

Literaturverzeichnis

- ACEA. (Juni 2016). *The Automobile Industry Pocket Guide*. Abgerufen am 13. April 2017 von http://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2016_2017.pdf
- ACEA. (o.J. a). *Fact Sheet Buses*. Abgerufen am 29. März 2017 von http://www.acea.be/uploads/publications/factsheet_buses.pdf
- ACEA. (o.J. b). *WLTP Facts*. Abgerufen am 29. Juni 2017 von <http://wltpfacts.eu/about-us/>
- ACEA. (o.J.). *Car Emissions Testing Facts*. Abgerufen am 29. Juni 2017 von <http://www.caremissionstestingfacts.eu/#>
- ACEA. (o.J.). *Fact Sheet Trucks*. Abgerufen am 29. März 2017 von http://www.acea.be/uploads/publications/factsheet_trucks.pdf
- Adam, H. (Mai 2017). *Higher, Faster & Smarter - Agriculture technology yesterday and tomorrow*. 9th AVL International Commercial Powertrain Conference, Graz.
- Atkins, A. (22. April 2016). *Some challenges in future automotive innovation*. Abgerufen am 21. April 2017 von https://www.sheffield.ac.uk/polopoly_fs/1.573521!/file/AAtkins.pdf
- Bruhn, M. (2016). *Marketing Grundlagen für Studium und Praxis*. Basel: Springer Gabler.
- Burget, W. (Mai 2017). *Challenges and Potentials in future construction machinery industry - an OEM viewpoint*. 9th AVL International Commercial Powertrain Conference, Graz.
- Chandler et al. (2016). *Delivering Opportunity - How Electric Buses and Trucks Can Create Jobs and Improve Public Health in California*. Abgerufen am 25. April 2017 von <http://www.ucsus.org/sites/default/files/attach/2016/10/UCS-Electric-Buses-Report.pdf>
- Dallmann, T., & Menon, A. (September 2016). *Technology Pathways for Diesel Engines used in Non-Road Vehicles and Equipment*. (I. C. Transportation, Hrsg.) Abgerufen am 10. April 2017 von http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Non-Road-Tech-Pathways_white-%20paper_vF_ICCT_20160915.pdf
- Dayen et al. (August 2016). *Disruption from Electric Vehicles Presents New Growth Opportunities*. Abgerufen am 19. Mai 2017 von <https://www.clearbridge.com/content/dam/clearbridge/perspectives/2016/White-Papers/pdf/clearbridge-electric-vehicle-aug2016.pdf>
- Deloitte. (2017). *Global Truck Study 2016*. Abgerufen am 03. August 2017 von <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/Detoitte%20Global%20Truck%20Studie%202016.pdf>
- Dewesoft. (2017). *Applications*. Abgerufen am 30. August 2017 von <https://www.dewesoft.com/applications>

- Docter, A., & Heller, M. (07. September 2016). *Power Electronics for e-MOBILITY Applications*. Abgerufen am 21. April 2017 von <http://www.epe2016.com/resources/Keynotes/Keynote3.pdf>
- EEA. (2016). *Transitions towards a more sustainable mobility system*. Abgerufen am 28. März 2017 von http://www.eea.europa.eu/publications/term-report-2016/at_download/file
- EEA. (2016a). *Explaining road transport emissions - A non-technical guide*. Abgerufen am 29. Juni 2017 von <http://climateobserver.org/wp-content/uploads/2016/02/Explaining-road-transport-emissions.pdf>
- Fass, U., & Elfsberg, J. (Mai 2017). *CO2 reduction on a Construction Site*. 9th AVL International Commercial Powertrain Conference, Graz.
- Gehm, R. (14. März 2017). *Alternative powertrain tech for CO2 reduction a focus at ICPC 2017*. Abgerufen am 19. Mai 2017 von <http://articles.sae.org/15305/>
- Gonzalez, F. (14. Dezember 2014). *Electric Vehicles Trends and Opportunities*. Webinar.
- Grasel, B. (27. Juli 2012). *Elektromobilität – Energiebilanz eines Elektrozweirades (E-Scooter) im realen Fahrbetrieb*.
- Harrop, P. (2015). *Needs and Potentials: Industrial and Commercial Electric Vehicles in 13 Categories 2017-2027*. Industrial Electric Vehicle Symposium Cologne 2016.
- Hitachi. (o.J.). *New Generation Hybrid Excavator Zh200-5B*. Abgerufen am 23. Mai 2017 von http://www.hitachi.com/environment/products/hybrid_excavator/index.html
- Horton, M. (2016). *EV Summit 2016*. Abgerufen am 30. März 2017 von <http://evsummit.org/speakers/presentations/2016/Horton.pdf>
- Hungenberg, H. (2014). *Strategisches Management in Unternehmen*. Nürnberg: Springer Gabler.
- icct. (November 2016). *European Vehicle Market Statistics*. Abgerufen am 19. April 2017 von Pocketbook 2016/17: http://www.eupocketbook.org/wp-content/uploads/2016/11/ICCT_Pocketbook_2016_Web_PDF.pdf
- icct. (Jänner 2017). *REAL-DRIVING EMISSIONS TEST PROCEDURE FOR EXHAUST GAS POLLUTANT EMISSIONS OF CARS AND LIGHT COMMERCIAL VEHICLES IN EUROPE*. Abgerufen am 29. Juni 2017 von http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU-RDE_policy-update_18012017_vF.pdf
- Isaacs, D. (02. März 2017). *New Volvo Hybrid Truck is Part of Alternative Powertrain Technology Movement*. Abgerufen am 19. Juli 2017 von

- <https://www.trucks.com/2017/03/02/volvo-truck-hybrid-alternative-powertrain-technology/>
- Jackson, N. (24. Februar 2016). *Future Powertrain Demands, Energy Sources & Potential Technologies*. Abgerufen am 21. April 2017 von <https://futurepowertrains.co.uk/wp-content/uploads/2016/01/Future-Powertrains-Keynote-Jackson.pdf>
- Kagoshima, M. (31. Jänner 2013). *The Development of an 8 tonne Class Hybrid Hydraulic Excavator SK80H*. Abgerufen am 23. Mai 2017 von http://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr_31/006-011.pdf
- Kailasam, C. (o.J.). *Strategic Analysis of Global Hybrid and Electric Heavy-Duty Transit Bus Market*. Abgerufen am 28. März 2017 von http://academy.busworld.org/lib/plugins/fckg/fckeditor/userfiles/file/seminars/busworld/in_the_footsteps_of_prime_minister_modi/12_chandramowli_kailasam_-_strategic_analysis_of_global_hybrid_and_electric_heavy_duty_transit_bus_market.pdf
- Karle, A. (2015). *Elektromobilität Grundlagen und Praxis*.
- Kotler et al. (2007). *Marketing-Management Strategien für wertschaffendes Handeln*. Pearson Studium.
- Krasteva et al. (September 2014). *Urban Electric Mobility in the EU Policy Context*. Abgerufen am 28. März 2017 von http://e-mobility-nsr.eu/fileadmin/user_upload/downloads/info-pool/Activity_7.2_Report.pdf
- Lajunen, A. (10. September 2014). *Improving the Energy Efficiency and Operating Performance of Heavy Vehicles by Powertrain Electrification*. Abgerufen am 10. April 2017 von <http://lib.tkk.fi/Diss/2014/isbn9789526058252/isbn9789526058252.pdf>
- Lambert, F. (05. Dezember 2016). *John Deere unveils latest all-electric tractor prototype for zero-emission agriculture*. Abgerufen am 05. Juli 2017 von <https://electrek.co/2016/12/05/john-deere-electric-tractor-prototype/>
- Landerl, P. (15. Februar 2017). *Status and Future Perspectives of Electric Buses in Urban Public Transport*. Abgerufen am 03. August 2017 von https://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2017/html/files/presentations/PR_68_Landerl_Patrick.pdf
- Meffert et al. (2015). *Marketing Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung*. Springer Gabler.
- Multi Tool Trac BV. (2016). *Multi Tool Trac Specs*. Abgerufen am 23. Mai 2017 von <http://www.multitooltrac.com/construction/>
- Nesterov et al. (17. Dezember 2013). *State of the art of the electric freight vehicles implementation in city logistics*. Abgerufen am 29. März 2017 von <http://frevue.eu/wp->

- content/uploads/2016/05/FREVUE_D1-3_State_of_the_art_city_logistics_and_EV_FINAL-3312014_137-PM.pdf
- New Holland. (o.J.). *New Holland NH2 Hydrogen Powered Tractor*. Abgerufen am 01. August 2017 von http://www.thecleanenergyleader.com/filemanager/cms_newholland/images/NH2_detail/NH2_90014_INB.pdf
- Nikola Motor Company. (2017). Abgerufen am 04. August 2017 von <https://nikolamotor.com/one>
- Nürk, C., & Maier, M. (2014). *Truck Market 2024 Sustainable Growth in Global Markets*. Abgerufen am 30. März 2017 von <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/process-and-operations/truck-studie-2014-s.pdf>
- OECD/IEA. (2016). *Global EV Outlook 2016*. Abgerufen am 19. April 2017 von <https://www.iea.org/media/topics/transport/GlobalEVOutlook2016FLYER.pdf>
- Official Journal of the European Union. (14. September 2016). Abgerufen am 28. Juni 2017 von Regulation (EU) 2016/1628 of the European Parliament and of the Council: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628&from=EN>
- Quak, H. (12. April 2016). *Why electric Freight Vehicles?* Abgerufen am 30. März 2017 von http://www.ieahev.org/assets/1/7/2016-04-12_IA-HEV_Task_27_2nd_Workshop_Amsterdam_Presentations.pdf
- Rahe, F. et al. (25. Juni 2013). *Field trials with EDX eSeed and ZF Terra+*. Abgerufen am 05. August 2017 von http://app.claas.com/2013/university-symposia/download/wieselburg/07_Rahe_Amazone.pdf
- Rahe, F., & Resch, R. (Mai 2017). *Electrification of agricultural machinery from the perspective of an implement manufacturer*. 9th AVL International Commercial Powertrain Conference, Graz.
- Recklies, D. (2006). *Die PEST(LE) Analyse*. Abgerufen am 19. Mai 2017 von <http://www.themanagement.de/Management/PEST-Analyse.htm>
- Rieck, F. (12. April 2016). *Experiences and prospects of electric freight vehicles*. Abgerufen am 30. März 2017 von http://www.ieahev.org/assets/1/7/2016-04-12_IA-HEV_Task_27_2nd_Workshop_Amsterdam_Presentations.pdf
- Schreier H. et al. (2017). *Powertrain solutions for electrified trucks and buses*.
- Sobotzik, J., & Lenz, M. (11. April 2016). *Electrification Off-Highway Challenges and Solution Approaches*. Industrial Electric Vehicle Symposium Cologne 2016.

- Srinivasan, A. (November 2016). *Hybridisation and Future of Off Highway Vehicles*.
- Todd et al. (2013). *Creating the Clean Energy Economy*. Abgerufen am 12. April 2017 von
Analysis of the Electric Vehicle Industry:
http://www.iedconline.org/clientuploads/Downloads/edrp/IEDC_Electric_Vehicle_Industry.pdf
- Truck & Bus Builder. (o.J.). *Analysis of the bus and coach market for Chinese OEMs*.
Abgerufen am 25. April 2017 von
http://www.busandcoach.travel/download/Busworld2016/China/analysis_of_the_bus_and_coach_market_for_chinese_oems.pdf
- Tschöke, H. (2015). *Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs Basiswissen*.
- TU Dresden, Professur für Agrarsystemtechnik. (oJ). *Elektrische Antriebe Leistungverteilung und Einzelradantrieb in Landmaschinen*. Abgerufen am 01. August 2017 von RigiTRac EWD 120 - Diesel Electric: https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/int/ast/ressourcen/dateien/forschung/files/flyer_rigitrac.pdf?lang=de
- Wanner, K. (17. März 2015). *Novel & Ruggedized Power Electronics for Off-Highway Vehicles*. Abgerufen am 23. Mai 2017 von http://www.apec-conf.org/Portals/0/Industry%20Session%20Presentations/2015/IS2_1052A%5B1%5D.pdf
- Windisch et al. (Oktober 2016). *Driving Innovation in the Automotive Value Chain*. Abgerufen am 12. April 2017 von http://i2-4c.eu/wp-content/uploads/2016/10/SP_IP_Driving-innovation-in-the-automotive-value-chain_3.3_hyperlinked1.pdf
- ZeEUS. (2016). *ZeEUS eBus Report - An overview of electric buses in Europe*. Abgerufen am 25. April 2017 von <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Einarbeitungsphase der Masterarbeit | 2 |
| Abbildung 2: Marktsegmentierung | 3 |
| Abbildung 3: Marktanalyse der priorisierten Marktsegmente | 4 |
| Abbildung 4: Zeitlicher Ablaufplan | 6 |
| Abbildung 5: Vergleich konventioneller und elektrischer Antriebsstrang | 7 |
| Abbildung 6: Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs | 8 |
| Abbildung 7: Übersicht über die Hybridarten | 9 |
| Abbildung 8: Definition des Marktes | 11 |
| Abbildung 9: Informationsgewinnung mittels Sekundärforschung | 13 |
| Abbildung 10: Modelle der Marktsegmentierung..... | 14 |
| Abbildung 11: Zwei Segmentierungsansätze bei Konsumgütermärkten | 15 |
| Abbildung 12: Segmentierungskriterien für Industriemärkte..... | 15 |
| Abbildung 13: Makro- und Branchenumwelt eines Geschäftsfeldes..... | 16 |
| Abbildung 14: Makroumwelt-Analyse und Kriterien..... | 17 |
| Abbildung 15: SWOT-Analyse | 18 |
| Abbildung 16: Leistungs- und Effizienzanalyse an einem elektrischen Motorrad | 20 |
| Abbildung 17: Messaufbau bei Leistungs- und Effizienzanalysen..... | 20 |
| Abbildung 18: Verluste entlang des elektrischen Antriebsstrangs..... | 21 |
| Abbildung 19: Konventioneller Zugang zur Effizienzmessung..... | 22 |
| Abbildung 20: Lösung zur zeitsynchronen Messdatenerfassung der Firma Dewesoft..... | 23 |
| Abbildung 21: Erste Segmentierung des Fahrzeugmarkts | 25 |
| Abbildung 22: Globale Verkaufszahlen von PKWs im Jahr 2015 | 26 |
| Abbildung 23: Globale Verkaufszahlen von Nutzfahrzeugen im Jahr 2015 | 26 |
| Abbildung 24: Globale Verkaufszahlen von Elektro- und Hybridfahrzeuge im Jahr 2015..... | 27 |
| Abbildung 25: Verursacher von Treibhausgasemissionen in der EU im Jahr 2014 | 27 |
| Abbildung 26: Die Wertschöpfungskette im Wandel | 32 |
| Abbildung 27: Innovationen entlang der Wertschöpfungskette | 33 |
| Abbildung 28: SWOT-Analyse der europäischen Automobilindustrie..... | 34 |
| Abbildung 29: Neue Ertragsmöglichkeiten durch die Antriebsstrangelektrifizierung | 35 |
| Abbildung 30: Prognostizierte Entwicklung elektrischer Antriebsstränge | 36 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 31: Prognostizierte Entwicklung in der Halbleitertechnik | 36 |
| Abbildung 32: Prognostizierte Entwicklung elektrischer Motoren | 37 |
| Abbildung 33: Übersicht über die Verluste und Gesamteffizienz eines PKWs | 38 |
| Abbildung 34: Verursacher von Treibhausgasemissionen | 42 |
| Abbildung 35: Globale Emissionsstandards..... | 43 |
| Abbildung 36: Entwicklung des globalen LKW-Verkaufs..... | 43 |
| Abbildung 37: Preisverhältnis EV vs. ICE LKWs..... | 44 |
| Abbildung 38: LKW Elektrifizierung in der Entwicklungsphase..... | 44 |
| Abbildung 39: Aufschlüsselung der Betriebskosten von LKWs | 45 |
| Abbildung 40: Globale Marktentwicklung Hybrid- und Elektrobusse | 45 |
| Abbildung 41: Marktentwicklung Busse | 46 |
| Abbildung 42: Verluste und Einsparungspotentielle im Heavy-Duty Bereich..... | 47 |
| Abbildung 43: Lautstärkepegel und Kraftstoffverbrauch elektrischer Busse..... | 48 |
| Abbildung 44: Reichweite und Ladedauer elektrischer Busse..... | 48 |
| Abbildung 45: CO ₂ -Einsparungen elektrischer Busse | 49 |
| Abbildung 46: Feinstaub- und NO _x Emissionseinsparung elektrischer Busse | 49 |
| Abbildung 47: Klassifizierung alternativ betriebener LKW in Deutschland | 51 |
| Abbildung 48: Marktübersicht mittelschwerer LKW im Jahr 2026 | 51 |
| Abbildung 49: Marktübersicht schwerer LKW im Jahr 2026..... | 52 |
| Abbildung 50: Leistungsbereich im Off-Road Bereich..... | 56 |
| Abbildung 51: Anforderungen im Bereich Heavy Construction & Agricultural Machinery | 56 |
| Abbildung 52: Emissionsstandards der EU..... | 57 |
| Abbildung 53: Entwicklung des Off-Road Markts | 57 |
| Abbildung 54: Schadstoffausstoß Non-Road Sektor..... | 58 |
| Abbildung 55: Verursacher von CO ₂ -Emissionen in den USA..... | 58 |
| Abbildung 56: Trends in der Landwirtschaft..... | 59 |
| Abbildung 57: Leistungserzeugung in hybriden Traktoren | 60 |
| Abbildung 58: Elektrifizierung in der Landwirtschaft..... | 60 |
| Abbildung 59: RigiTrac EWD 120 Antriebsarchitektur..... | 62 |
| Abbildung 60: Effizienzsteigerung eines Hybrid-Baggers..... | 63 |
| Abbildung 61: Prinzip-Schaltbild eines hydraulischen Baggers..... | 64 |
| Abbildung 62: Leistungsüberschuss eines hydraulischen Baggers | 65 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 63: Leistungsfluss und Verluste eines hydraulischen Baggers | 65 |
| Abbildung 64: Blockschaltbild des Hybrid-Baggers | 66 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|--|
| Tabelle 1: Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch von Elektro- und Hybridfahrzeugen ..23 | |
| Tabelle 2: Aktueller und prognostizierter Marktwert ausgewählter Fahrzeugkategorien.....28 | |
| Tabelle 3: Attraktive Fahrzeugkategorien für die Elektrifizierung29 | |
| Tabelle 4: Unterschiede zwischen NEDC und WLTP39 | |
| Tabelle 5: Spezifikationen des RDE-Tests 1/2.....40 | |
| Tabelle 6: Spezifikationen des RDE-Tests 2/2.....40 | |
| Tabelle 7: Nikola One – Spezifikationen des elektrischen Antriebsstrangs52 | |
| Tabelle 8: Spezifikationen von Elektrobussen der Firma Marke BYD54 | |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| AC | Alternate Current |
| BEV | Battery Electric Vehicle |
| BYD | Build Your Dreams |
| bzgl. | bezüglich |
| bzw. | beziehungsweise |
| ca. | zirka |
| CAN | Controller Area Network |
| CO | Kohlenmonoxid |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| DC | Direct Current |
| EFV | Electric Freight Vehicle |
| EGVI | European Green Vehicles Initiative |
| EU | Europäische Union |
| EUR | Euro |
| F&E | Forschung und Entwicklung |
| f. | Und folgende |
| ff. | Und fortfolgende |
| GPS | Global Positioning System |
| IT | Informationstechnik |
| kW | Kilowatt |
| kWh | Kilowattstunden |
| LKW | Lastkraftwagen |
| Mrd. | Milliarden |
| NEDC | New European Driving Cycle |
| NO _x | Stickoxide |
| NRMM | Non-Road Mobile Machinery |
| OPC | Open Platform Communications |

| | |
|-----------------|---|
| PEMS | Portable Emission Measurement System |
| PEST | Politic Economic Socialcultural Technological |
| PKW | Personenkraftwagen |
| PM2.5 | Particular Matter |
| PS | Pferdestärken |
| RDE | Real Driving Emissions |
| SO _x | Schwefeloxide |
| SWOT | Strenghts Weaknesses Opportunities Threats |
| TCO | Total Costs of Ownership |
| USD | United States Dollar |
| V | Volt |
| Vgl. | Vergleiche |
| WLTP | Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure |
| z.B. | zum Beispie |
| ZeEUS | Zero Emission Urban Bus System |

Anhang

| | |
|---|-----------|
| Anhang 1: Application Note Agriculture and Implements Electrification..... | 83 |
|---|-----------|

Anhang 1: Application Note Agriculture and Implements Electrification



Overview

- Introduction
- Drivers for electrification
- Market development
- Application examples
- Solution with Dewesoft



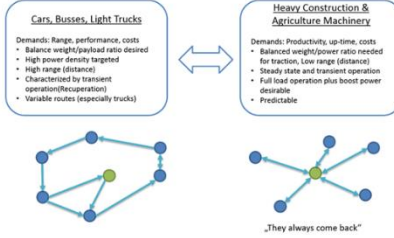
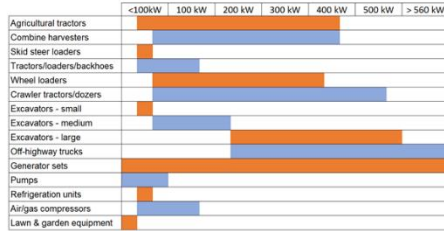
2

Introduction



3

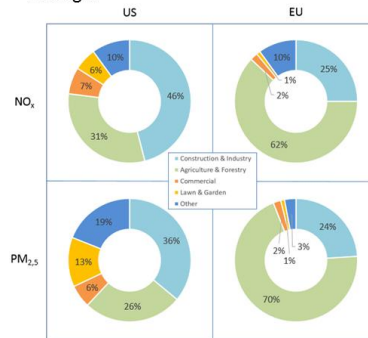
Heavy Construction and Agriculture Machinery



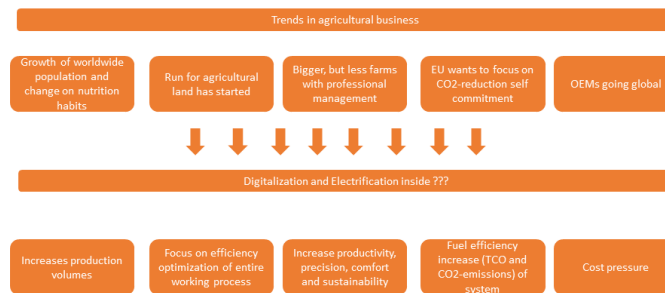
PEST-Analysis – Heavy Construction and Agriculture Machinery

- **Political**
 - Emissions standards
- **Economic**
 - High costs and missing scales of economies
 - Hybrid and electric vehicles more than 30% more expensive
 - Concerns about durability and reliability in operation
- **Technological**
 - Usually driven by diesel engines
 - Trends: electrification, exhaust after treatment, improvements of the conventional drivetrain

• **Ecologic**



Electrification in Agriculture

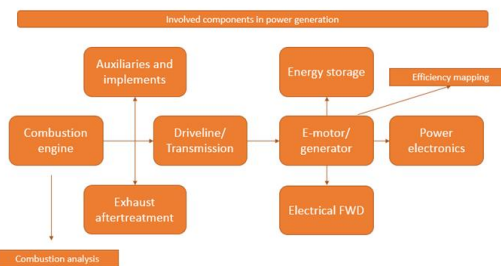


Drivers for electrification

Electrification in Agriculture

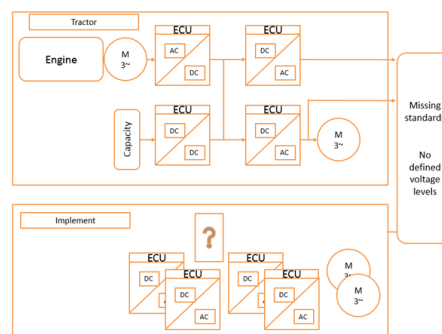
means electrification of

- the drivetrain: diesel engine powers the e-motor/generator
- Auxiliary loads and implements



Electrification in Agriculture

- Current power level: 12 V, 660W not enough anymore
- No standards at the moment
 - AC or DC?
 - Plugs?
 - Location of the inverter units?



Advantages of Electrification in Agriculture

- **A very high potential to increase efficiency**
 - Efficiency improvements of up to 15%,
 - Excellent Controllability (in-wheel drives)
 - Noise
 - Improved Power Distribution
- **But: very high costs, implements are used for a couple of weeks in a year**
 - several manufactures presented prototypes of electric tractors already more than 10 years ago
 - Problem: too expensive
 - Possible solution: transferable solutions from passenger car and truck industry

Market development

Market development

- **High voltage Electrification**
 - For traction drives means 400V AC and 700V DC (in-wheel drives!!)
 - Segment still not developed (no regulations/standards)
 - Market is not expected to be developed earlier than in 10 years
- **Higher voltages for implements & auxiliaries**
 - means 48V and power requirement of up to 5kW
 - 48V is being established at the moment to support precision farming
 - No standard interface to the implements prevents further market establishment

Application examples



13

Application examples

- **John Deere Sesam**
 - fully powered by a battery pack
 - capacity battery pack: 100 kWh
 - 2x 150 kW electric motors for a total power output of up to 300kW (402hp)
- **Multi Tool Trac**
 - electric powertrain with 4 x 22 kW nominal and 4 x 44 kW maximal
 - battery capacity of 30 kWh
 - modern 6-cylinder diesel engine (160kW/210 Hp) with an efficient high speed generator as a range extender



Further information: <https://electrek.co/2016/12/05/john-deere-electric-tractor-prototype/>
<http://www.multitooltrac.com/construction/>

14

Application examples

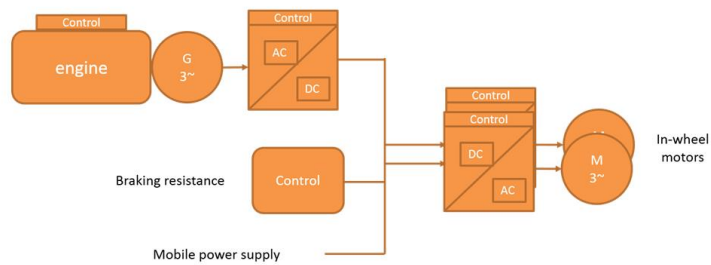
- **RigiTrac EWD 120**
 - Diesel electric tractor
 - 91kw diesel engine
 - 650V DC /85kW PMSM generator
 - 4x 33kW (44kWmax) in-wheel motors
 - Electric break (40kW, up to 200kW) for wear-free braking
- **New Holland NH2**
 - Hydrogen tractor
 - 75 kW total power
 - 2 electric motors



Further information: https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/inf/ast/ressourcen/dateien/forschung/files/Datenblatt_RigiTrac.pdf?lang=de
http://www.reo-ll.de/Stammbaum_Daten/2011_Profi_RigiTrac_EWD120.pdf
http://www.rigitrac.com/index.htm_files/21_LT2%20ELEKTRISCHER%20ANTRIEB_31.pdf
http://www.thecleanenergyleader.com/filemanager/cms_newholland/images/NH2_detail/NH2_90014_INB.pdf

15

RigiTrac EWD 120 drive train architecture

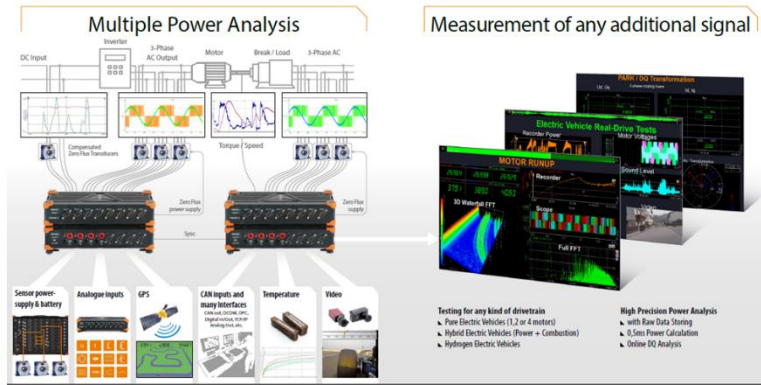


Solutions with DEWESoft

Solution with DEWESoft

- Multiple Power Analysis (e.g. In-Wheel Motor analysis)
- Mobile Measurements with DEWESoft's smallest Power Analyser in the world
- Power supply of sensors out of instrument
- Measurement of any other signal

Solution with DEWESoft



19

Solution with DEWESoft

Instruments

Measurement range: 50 mV to 1600 V DC
 Safety: CAT II 1000V / CAT III 600V
 Sampling Rate: 1 MS/s
 Bandwidth: 2 MHz
 Accuracy: 0.03 %

Rack mount: 24 channels

All-in-One: 16 channels

Ultimate All-in-One: 64 channels

Smallest Power Analyzer: just 1.5 kg, 8 channels

Connection of any current transducer



20

Solution with DEWESoft

Combination of multiple products

Power Quality Analyzer, Data Logger, CAN Logger, Power Analyzer, Oscilloscope

Power Analysis
 P, Q, R, or p/q, ... more than 100 calculated dIs

Raw data storing
 Scope and vector scope

Power Quality
 P, Q, R, harmonics, imbalance, THD, unbalance, ...

DQ Transformation
 Real time Clarke and Park transformation

Combustion analysis
 Testbed and in-vehicle measurement

FFT Analysis
 2D and 3D FFT analysis



21