



Lucas Onitsch, BSc

# **CO<sub>2</sub> - REGULARIEN (CHINA, USA, EU) UND DIE AUSWIRKUNGEN DER ELEKTRIFIZIERUNG IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Elektrotechnik

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Bachhiesl, Udo, Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation

## **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 entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

---

Datum

---

Unterschrift

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit sowie in meinem gesamten Studium unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein herzlicher Dank Herrn Professor Bachhiesl, der meine Diplomarbeit begutachtet, hilfreiche Anregungen gegeben und mich in dieser Zeit betreut hat.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen Vorgesetzten Dipl. Ing. Gerald Teuschl, der mir diese Gelegenheit in Zusammenarbeit mit der Firma AVL List gegeben hat.

Meinen Freunden als auch meiner Freundin Monika Betzenbichler danke ich besonders für den starken emotionalen Rückhalt über die Dauer meines gesamten Studiums.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Mutter Beatrix Onitsch und meiner Schwester Lena Onitsch bedanken, dass sie stets ein offenes Ohr für mich in dieser Zeit meines Studiums hatten.

Lucas Onitsch

Graz, 05.02.2018

# Inhalt

Kurzfassung .....	4
Abstract.....	5
1. Einleitung .....	6
2. Gesetzgebung zu CO <sub>2</sub> -Emissionsstandards .....	8
2.1 Übersicht .....	8
2.2 Europäische Union .....	10
2.3 Republik China .....	16
2.4 Vereinigte Staaten von Amerika (USA).....	24
2.5 Testzyklen .....	30
3. Auswirkungen der Energiequellen auf die Automobilität .....	36
3.1 Europäische Union .....	37
3.2 Republik China .....	42
3.3 Vereinigte Staaten von Amerika .....	46
3.4 Ladeinfrastrukturausbau .....	50
3.5 Lithium-Ionen Batterien.....	52
4. Effizienz der Elektrifizierung .....	57
4.1 Mild-Hybrid Electric Vehicle (MHEV) .....	57
4.2 Voll-Hybrid Electric Vehicle (HEV) .....	60
4.3 Plug-In-Hybrid Electric Vehicle (PHEV).....	65
4.4 Range Extender (RE) .....	66
4.5 Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge (BEV) .....	68
4.6 Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) .....	70
5. „Tools“ zur Veranschaulichung der Entwicklung .....	73
5.1 Global Alternative Vehicle Database.....	73
5.2 Berechnung und Darstellung: .....	75
5.3 Beschreibung anhand eines Beispiels .....	99
5.4 Analyse- und Berechnungs-Tool.....	103
6. Zusammenfassung.....	108

Literaturverzeichnis .....	111
Abbildungsverzeichnis .....	115
Tabellenverzeichnis .....	117

## **Kurzfassung**

Die Masterarbeit beschreibt die sich verändernden Verhältnisse der Automobilindustrie und den wirtschaftlichen und technischen Aspekten, die diese beinhalten. Durch die im Kyoto-Protokoll, der Vereinigten Staaten gefassten Beschlüsse, die CO<sub>2</sub>-Emissionen drastisch zu senken, musste sich die Automobilindustrie rasant in eine neue Richtung der Elektrifizierung orientieren.

Um die entsprechenden wirtschaftlichen und technischen Wechsel erläutert darlegen zu können, wurde ein Tool zur visuellen Darstellung generiert, um damit das Potential der verschiedenen Technologien im Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erkennen und die Betrachtung der Ausgereiftheit der Komponenten zu gewährleisten. Das Tool wurde im Rahmen einer Kooperation mit AVL List GmbH erstellt und für die Zwecke der CO<sub>2</sub>-Berechnung, Forecasts, sowie Prognosen der verschiedenen Elektrifizierungsgrade angewendet.

## **Abstract**

This Master thesis describes the changing of circumstances in the automobile industry and their economic and technical aspects which they are considered with. Through the decisions to sign the Kyoto-Protocol, the CO<sub>2</sub>-Emissions have to be reduced dramatically. Therefore the automobile industry had to orient in a different way, from combustion engines to electrification or electrified cars.

To visualize the technical and economic change, a tool was generated to face the potential of the different technologies with reference to CO<sub>2</sub>-Emissions and to take a look at the components if they are matured in the right way. This database and the integrated and optimized methodology for the best CO<sub>2</sub>-Calculations featuring calculated and build metrics are able to make some forecasts and projections of the diverse electrification grades based on market information.

## 1. Einleitung

Durch das Pariser Übereinkommen 2015 in Hinblick auf den Klimaschutz wurde festgelegt, die CO<sub>2</sub>-Neutralität zu fördern. Mit diesem Beschluss soll weltweit bis ins Jahr 2050 eine Neutralität geschaffen werden, die besagt, dass der gleiche Anteil an Kohlendioxid ausgestoßen wie absorbiert werden soll. Laut dem Abkommen sollen Emissionen 2030 um 40% und 2050 um bis zu 95% auf den Basiswert 1990 reduziert werden. Die Vereinigten Staaten von Amerika stiegen 2017 aus dem Pariser Abkommen aus und werden nach weiteren drei Jahren nicht mehr zum Gremium gehören. China versucht den Beschluss weiter zu verfolgen und bis 2030 die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Jahr 2005 um 60% zu reduzieren. Es wird für alle Beteiligten ein harter Weg diese Ziele zu erreichen.

Unter Beachtung der vorherrschenden Lage der industriellen Entwicklung und dem damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist dies ein schwieriges Unterfangen, das sich auf die Automobilindustrie stark auswirkt. Mit einem aktuellen globalen Fahrzeugbestand von ungefähr 900 Millionen Personenkraftwagen und den ansteigenden Verkaufszahlen wurden in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Verbrauch drastische Maßnahmen getroffen. Die Automobilindustrie wurde durch die Klimaschutz- und CO<sub>2</sub>-Gesetzgebungen in den einzelnen Handelsmärkten zur Elektrifizierung der Fahrzeuge gedrängt. Durch eine langsame Einführung der „sauberen“ Fahrzeuge in die Wirtschaft sollen die CO<sub>2</sub>-intensiven Personenkraftwagen ersetzt werden. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Lebensdauer der Fahrzeugmodelle von 6 Jahren, sollen die verschiedenen Automobilhersteller in der Lage sein, ihre Flotte bis 2030 soweit durch saubere Fahrzeuge aufzustocken, um vorrangig CO<sub>2</sub> neutrale Modelle anbieten zu können.

Im Konkreten heißt das aber nicht, dass die CO<sub>2</sub>-armen Fahrzeuge die CO<sub>2</sub>-intensiven Fahrzeuge ersetzen, denn CO<sub>2</sub>-neutral bedeutet nicht CO<sub>2</sub>-frei. Der Kohlendioxid ausstoß sollte soweit begrenzt werden, dass er durch die Natur oder durch technische Hilfsmittel vollständig absorbiert werden kann. Viele Lösungen, die das Kohlendioxid absorbieren können – z.B. „Carbon Capture“ ist die Absorption von CO<sub>2</sub> aus der Luft – sind mit sehr hohem Energieaufwand zu bewerkstelligen.

Als Fazit aus diesen Erläuterungen geht hervor, dass es zu einer Justierung in der Realisierung der verschiedenen Technologien und Antriebssysteme in Fahrzeugen, aber auch in der Energiewirtschaft kommen muss. Denn ein Elektrofahrzeug ist nicht CO<sub>2</sub>-arm, wenn der Strom, der benötigt wird um es zu laden, nicht aus „sauberer“ Energiegewinnung stammt. Somit muss sich auch die Energiewirtschaft politisch und technisch ambitioniert auf diese Umstellung einstellen.

Auch die Zulieferer der einzelnen Automobilhersteller in der Automobilindustrie müssen sich hinsichtlich der Ausrichtung ihrer Komponenten neu konfigurieren, da ein elektrischer Antrieb aus wesentlich weniger bewegten Teilen besteht als ein klassischer Verbrennungsmotor. Dies führt dazu, dass sich verschiedene Fahrzeugkomponenten in naher Zukunft erübrigen werden.<sup>1</sup>

Dies wurde Grundlage zur Motivation der aufgenommenen Studie, Automobilhersteller und Zulieferer die Veränderungen der Automobilindustrie, als auch die Elektrifizierung nahelegen. Zielgerichtet werden die Aufmerksamkeit und der Fokus auf markante Punkte gesetzt, um Automobilherstellern Einblick in die Abwandlung der Gesetzgebung, hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Regularien sowie der technischen Modifikation in der Entwicklung von Fahrzeugen, zu geben.

---

<sup>1</sup> AVL List, internes Dokument, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP), Graz, 2017.

## **2. Gesetzgebung zu CO<sub>2</sub>-Emissionsstandards**

Der Beschluss, 2050 CO<sub>2</sub>-Neutralität zu erreichen, wirft in der Entwicklung sowie in der weltweiten Gesetzgebung zur Regulierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen starke Änderungen auf und wirkt sich auf die Märkte der Automobilindustrie aus. In den folgenden Kapiteln werden drei Weltmärkte und ihre Richtlinien näher betrachtet.

### **2.1 Übersicht**

Der Hauptgrund für die Einführung der neuen Emissionsgesetze und die Vorgaben der Politik diesbezüglich ist, die Treibhausgase, soweit es möglich ist, zu verringern und einen besseren Einblick in die Automobilindustrie zu bekommen. Dies soll durch weitere Förderungen von alternativen Kraftstoffen und neuen Technologien herabgesenkt werden. Einzelne Vergleiche zwischen den CO<sub>2</sub>-Richtlinien der unterschiedlichen Märkte sind schwer zu treffen. Die folgende Abbildung 1 stellt die Abweichungen der einzelnen Abgasgesetze bis 2025 dar.

Dazu zählen auch die Erzeugung von Strom, die Umstellung der Stromressourcen auf erneuerbare Energieträger, sowie die damit verbundene Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Auch das Potential in der Produktion von Batterien auf der Basis von Lithium und anderen elektronischen Komponenten, die ebenso weiterentwickelt werden müssen, um auch die Umwelt weitgehend zu schützen, steht im Fokus der Regierungen.

Country	Topic	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Notes
	Limits	Euro 5b		Euro 6b		Euro 6d temp		Euro 6d		?		? Euro 7				2019 Euro 6d -EVAP
	RDE					Monitor		RDE NOx + PN		RDE CF NOx 1.5, CF PN <1.5						EU-6d temp: RDE DF NOx 2.1, PN 1.5
	CO2					130 g/km CO <sub>2</sub>		95 g/km CO <sub>2</sub>		67-78						
	Tech. Reg.	UN-ECE Reg. 83						GTR-15 (WLTP)								
	EPA	US-EPA – Tier 2		US-EPA – Tier 3												PM also for gasoline
	CARB	US-CARB – LEV II		US-CARB – LEV III												PM also for gasoline
	RDE															
	CO2	GHG (2012-2016) 263 -> 225 gCO <sub>2</sub> /mi		GHG (2017-2025) 212 -> 143 gCO <sub>2</sub> /mi												GHG limits in addition to CAFE
	Tech. Reg.	CFR-86						CFR-1066								
	National	GB-4		GB-5		GB-6a		GB-6b (50% of EU6)+ RDE								-7°C also for Diesel
	Beijing	Beijing-5				Beijing-6 = GB-6b – RDE		GB-6 + RDE								
	RDE					Monitor		RDE CF NOx 2.1, CF PN 1.5								Altitude 0-700-1300-2400m
	CO2	Fuel Consumption Stage-II		6.9 l/100km (161 gCO <sub>2</sub> /km)		Fuel Consumption 5l/100km (117 gCO <sub>2</sub> /km)										Fleet Average
	Tech. Reg.	UN-ECE Reg. 83						GTR-15 (WLTP)								After 2025 likely a own Chinese legislation

Abbildung 1: Vergleiche der Gesetzgebungen EU/USA/China<sup>2</sup>

Anhand der Vergleiche zwischen den Märkten ist zu erkennen, dass es für jeden Markt unterschiedliche Gesetzgebungen und Testzyklen der Emissionsmessung gibt die in folgenden Unterpunkten beschrieben werden.

<sup>2</sup> Pricewaterhouse Coopers, PwC Autofacts, Mit Elektrifizierung und Verbrennungsmotoren auf dem Weg in die Zukunft der Mobilität, Deutschland, 2016.

## **2.2 Europäische Union**

### **Gesetzgebung**

Durch die Roadmap in Europa wird das Ziel angestrebt, die von Menschen verursachten Emissionen bis 2050 um 95% im Vergleich zu den Treibhausgasemissionen im Jahre 1990 zu senken. Großen Anteil an der Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen soll das Verkehrswesen mit sich bringen, da in diesem Sektor die Degression der Treibhausgasemissionen 2050 bis 60% betragen soll. Für 22,4% der von Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Europäischen Union wird der einfache Straßenverkehr verantwortlich gemacht. Neue politische Gesetzgebungen geben den Weg vor, den die Autoindustrie in den folgenden Jahren einschlagen muss. 2030 soll der durchschnittliche CO<sub>2</sub> Flottenverbrauch für PKWs auf 51 gCO<sub>2</sub>/km gesenkt werden. Weitere Zielvorgaben und Reduktionen sind in Verhandlung.

EU-Nomen die diese Regularien beinhalten sind die Normen Euro 6a-6d und Euro 6b-6d. Bedeutendster Unterschied dabei ist die Veränderung der CO<sub>2</sub> Testzyklen von NEDC Tests (New European Driving Cycle) auf WLTP Tests (World Harmonised Light Vehicle Test Prozedure) sowie die Beinhaltung der RDE Test (Real Drive Emissions) die Richtwerte für NO<sub>x</sub> und CO<sub>2</sub> überwachen.

### **Standards**

CO<sub>2</sub>-Emissionen werden hauptsächlich über die Emissionswerte der Personenkraftwagen (PKW) reguliert. Bis in das Jahr 2015 wurden die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der PKW auf einen Flottenzielwert von 130 g/km begrenzt. Ende 2020 soll dieser Flottenzielwert durch Elektrifizierung oder Hybridisierung der Fahrzeuge auf 95 g/km reduziert werden.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Engeljehring Kurt, internes Dokument, 01 AVL-D Emission Tech Day - Legislation - 2017-05-16, Graz, 2017.

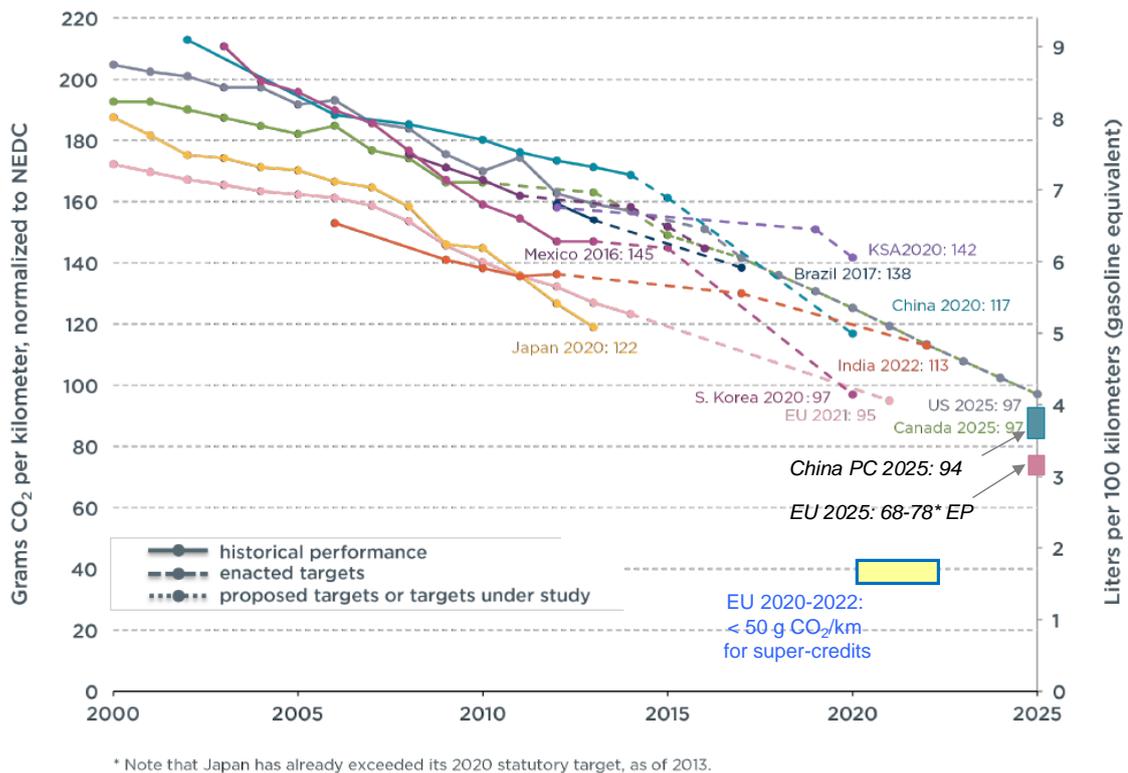


Abbildung 2: CO<sub>2</sub>-Szenarien des weltweiten Verkehrs – Dramatische CO<sub>2</sub>-Reduktion und erforderliche Ziele<sup>4</sup>

In Abbildung 2 ist zu sehen, dass die weltweiten CO<sub>2</sub>-Ziele eine drastische Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen erfordern. Insbesondere in den Bereichen des Verkehrs müssen diese Probleme auch global gelöst werden.

Anhand dieser detaillierten Aufnahme von Fahrzeugdaten müssen die Hersteller die CO<sub>2</sub>-Emissionswerte und den Kraftstoffverbrauch der Personenkraftwagen von NEDC-Werten bis zum 1. Januar 2019 auf WLTP-Werte umstellen bzw. unter Berücksichtigung der Super Credits umrechnen. Ab dem 1. September 2017 werden die Abgaswerte der Neufahrzeuge mit den neuen WLTP Emissionsrechnungen bewertet. Genau ein Jahr später erfolgt die Erneuerung der Registrierungen von Fahrzeugen, die CO<sub>2</sub>-Tests auf Basis von WLTP auszuführen.

<sup>4</sup> ICCT, ICCT, EEA. \* Volvo, Hyundai, Kia, Honda plotted with average weight of 2014 (EEA, 11-2015) [www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards](http://www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards), o.O., 2015

Alle neuen Fahrzeuge, die 2020 neu registriert werden, müssen sich den Messungen der WLTP und zusätzlich einer Simulation oder einer Messung zu NEDC CO<sub>2</sub>-Werten unterziehen.

In den darauf folgenden Jahren werden für jeden Automobilhersteller die WLTP Werte aus 2020 mit den aus 2020 errechneten NEDC-Emissionen verglichen und ein Faktor berechnet. Daraus wird ein spezifisches WLTP CO<sub>2</sub>-Emissionsziel für 2021 über diesen beschlossenen Faktor kalkuliert.

## Normen

Für Personenkraftwagen, die neu in den Markt integriert werden, werden die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionswerte in gCO<sub>2</sub>/km gemessen und mit der folgenden Formel auf Übereinstimmung geprüft.

$$e = d + a * (M - M_0) \tag{1}$$

- M Masse des Fahrzeuges in Kilogramm [kg]
- M<sub>0</sub> = 1392.4
- a = 0.0457 / 0.0333
- e spezifische Emissionen
- d jahresabhängiger Zielwert

CO <sub>2</sub> -Zielwerte	g/km	g/km
Jahre	2016	2020
d	130	95

*Tabelle 1: CO<sub>2</sub>-Zielwerte 2016, 2020*

Von jedem Automobilhersteller sind die Emissionsziele eines Kalenderjahres über den durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Verbrauch der spezifischen Personenkraftwagen zu berechnen. Liegen die berechneten CO<sub>2</sub>-Zahlen über den Begrenzungen, wird über diese Hersteller eine abgestufte Strafzahlung verhängt. Bis 2018 werden 5€ für das erste gCO<sub>2</sub>, für das zweite Gramm 15€, für das dritte Gramm 25€

und alles darüber 95€ an Bußgeld verrechnet. Über dieses Jahr hinaus wird eine 95€ Regelung für jedes Gramm CO<sub>2</sub> festgesetzt.

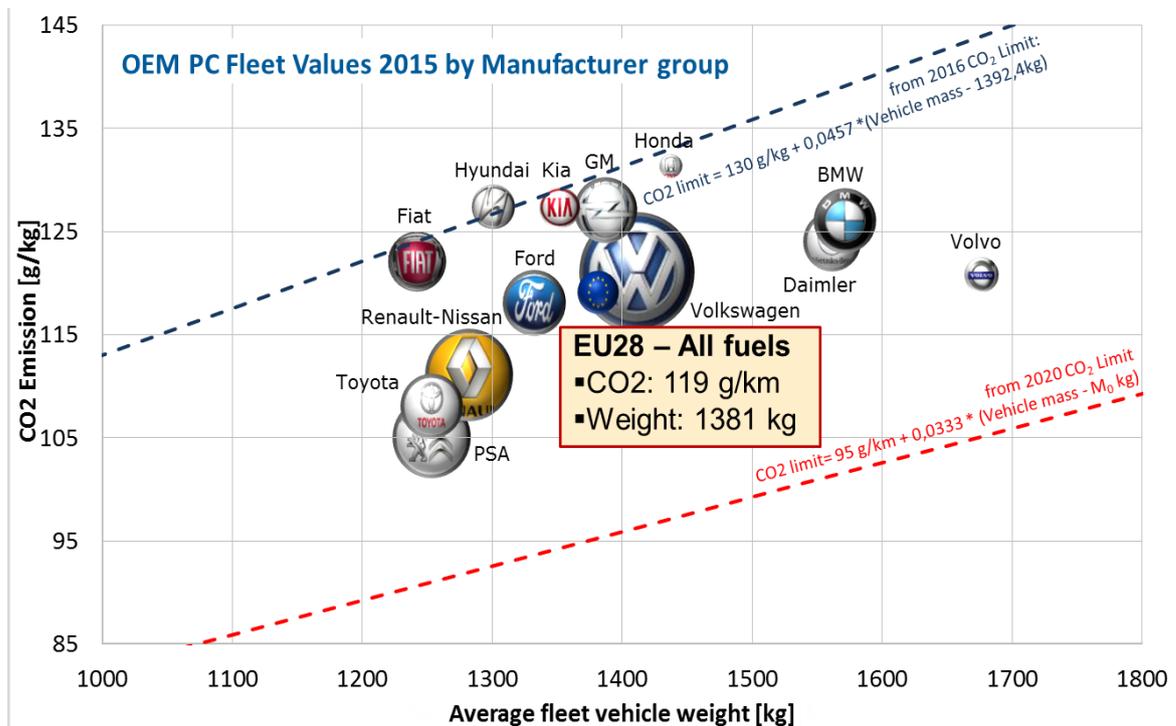


Abbildung 3: CO<sub>2</sub>-Flottenverbräuche basierend auf den Werten von 2015<sup>5</sup>

Die Abbildung 3 zeigt die durchschnittlichen Flottenverbräuche der einzelnen Automobilhersteller in Europa, berechnet durch die 2015 erschienenen Daten.<sup>6</sup>

Durch das politische Gremium und die implementierbaren Entscheidungen des Europäischen Parlaments wurden auch verschiedene Technologien für die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen vergegenwärtigt. Zu diesen neuen Technologien zählen elektrifizierte Fahrzeuge wie z.B. Voll-Hybride (HEV), Mild-Hybride (MHEV), Plug-In Hybride (PHEV), reine Elektrofahrzeuge (EV), Fahrzeuge mit

<sup>5</sup> ICCT, ICCT, EEA. \* Volvo, Hyundai, Kia, Honda plotted with average weight of 2014 (EEA, 11-2015) [www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards](http://www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards), o.O., 2015.

<sup>6</sup> IHS Automotive, *IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update*, o.O., 2015.

Range Extender (RE) aber auch Fahrzeuge, die für den Antrieb eine Brennstoffzelle (FCEV) oder mit alternativen Brennstoffen (AFV) betrieben werden.

### **Credit System**

Über die Kalkulation der spezifischen Emissionen, werden alle neu registrierten PKWs, die einen Emissionswert von weniger als 50 gCO<sub>2</sub>/km aufweisen, differenziert gezählt.

- 2 PKWs in 2020
- 1,67 PKWs in 2021
- 1,33 PKWs in 2022

Alle Fahrzeuge, die nach 2022 registriert werden, zählen weiterhin als ein PKW ohne zusätzliche Faktoren.

### **Ausblick**

Durch die Flottenzielregulierung von 95 g/km bis ins Jahr 2020 kommt es schon heute zur Produktion, Entwicklung und zum Verkauf von elektrifizierten Fahrzeugen. Für die folgende Abbildung 4 wurden die Produktionszahlen und die Prognosen der Produktion bis 2028 aus der IHS Datenbank 8-2016 entnommen und mit den unterschiedlichen innovativen Technologien in der Elektrifizierung dargestellt.

In Abbildung 5 ist ein rasanter Anstieg der elektrifizierten, innovativen Technologien aufgrund der Gesetzgebungen der Europäischen Union für die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission klar ersichtlich.

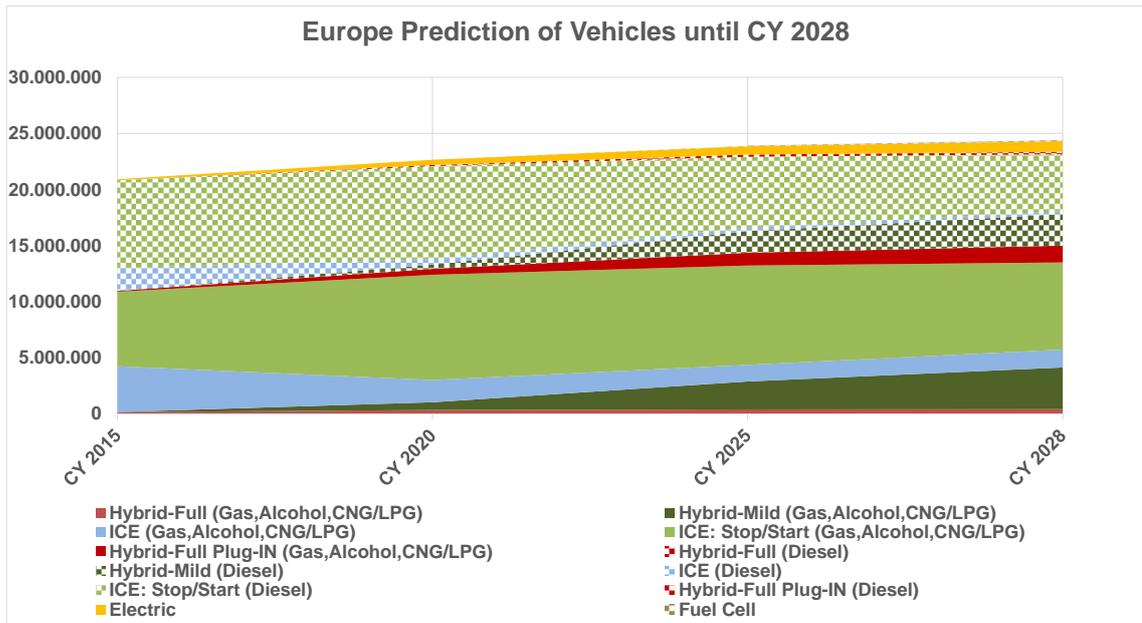


Abbildung 4: Europa Prognose der Produktion von Fahrzeugen der unterschiedlichen Technologien<sup>7</sup>

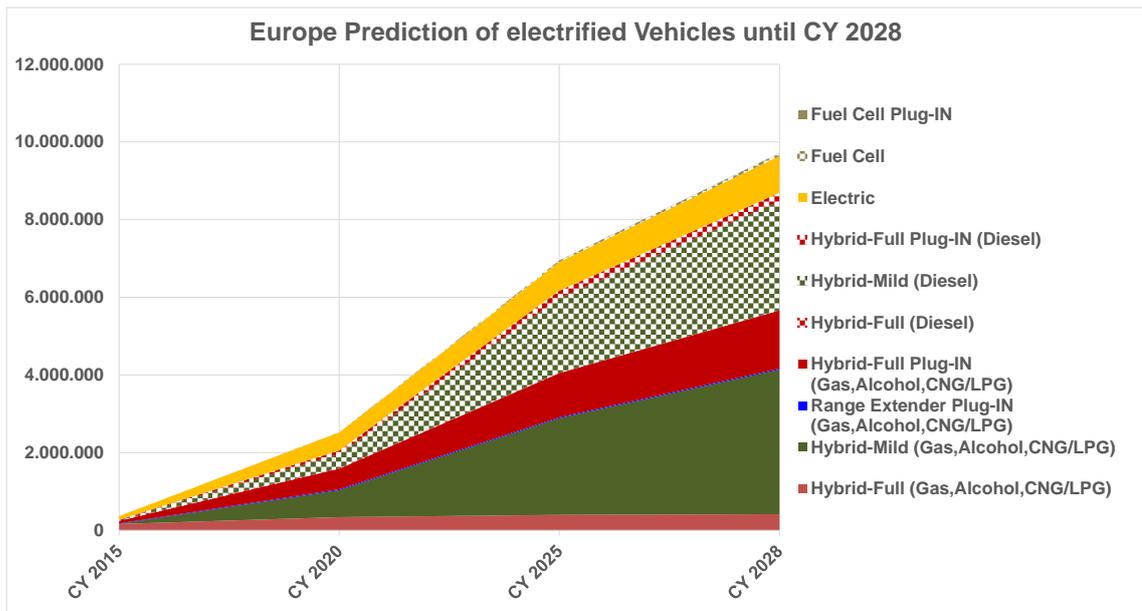


Abbildung 5: Europa Prognose der Produktion von elektrifizierten Fahrzeugen<sup>8</sup>

<sup>7</sup> IHS Automotive, IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, o.O., 2016..

<sup>8</sup> IHS Automotive, IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, o.O., 2016..

## **2.3 Republik China**

### **Gesetzgebung**

Auch in anderen Erdteilen sollen durch die Einführung eines neuen Standards für die „Entwicklung von Energiesparmaßnahmen und neuenergetischen Fahrzeugindustrien“ die Energiesparttechnologien auf allen Ebenen fortschrittlich bis 2020 vorangetrieben werden, um den Kraftstoffverbrauch zu senken. Der Verbrauch der neu registrierten PKWs in China soll bis 2020 auf einen Zielwert von 5 l/100km sinken.

Der durchschnittliche Flottenverbrauch, berechnet im Jahr 2015, befand sich bei 6,9 l/100km. Dies kommt einer prozentualen Reduktion von 28% gleich oder einer Herabsetzung des Kraftstoffverbrauchs von jährlich 6,2% zwischen 2015 und 2020.

### **Standards**

Um diese Ziele zu erreichen, wird die Phase 4 der beschlossenen Gesetzgebung der Regierung, beginnend mit 2016, allmählich eingeführt. Durch diese Abschwächung dürfen die Automobilhersteller das bestimmte CAFC (Corporate Average Fuel Consumption) Ziel zwischen 2016 und 2019 um einen geringen Prozentsatz übersteigen. Die Regierung erhofft sich hierbei einen Anreiz, um neue Elektrofahrzeuge oder sonstige niedrigverbrauchende Fahrzeuge zu entwickeln, die nicht mehr Kraftstoff als 2,8 l/100km verbrauchen.

Für elektrifizierte Fahrzeuge wie Hybride (Plug-In oder keine Plug-In) und rein elektrisch betriebene Fahrzeuge wird der elektrische Energieverbrauch gemessen und in einen äquivalenten Benzin- (EV und Benzin HEV) oder Dieserverbrauch (Diesel HEV) konvertiert.

Ab einschließlich 2020 wird der elektrische Energieverbrauch nicht mehr auf die Kraftstoffverbrauchsziele und CAFC-Ziele umgerechnet. Brennstoffzellenfahrzeuge werden mit einem Energieverbrauch von Null kategorisiert und sind daher aus dieser Konvertierung ausgenommen. In Abbildung 6 werden die jeweiligen

Kraftstoffverbrauchsziele bzw. Kraftstoffverbrauchslimits über das Fahrzeuggewicht dargestellt, die Automobilhersteller mit ihren Flottenwerten erfüllen müssen.

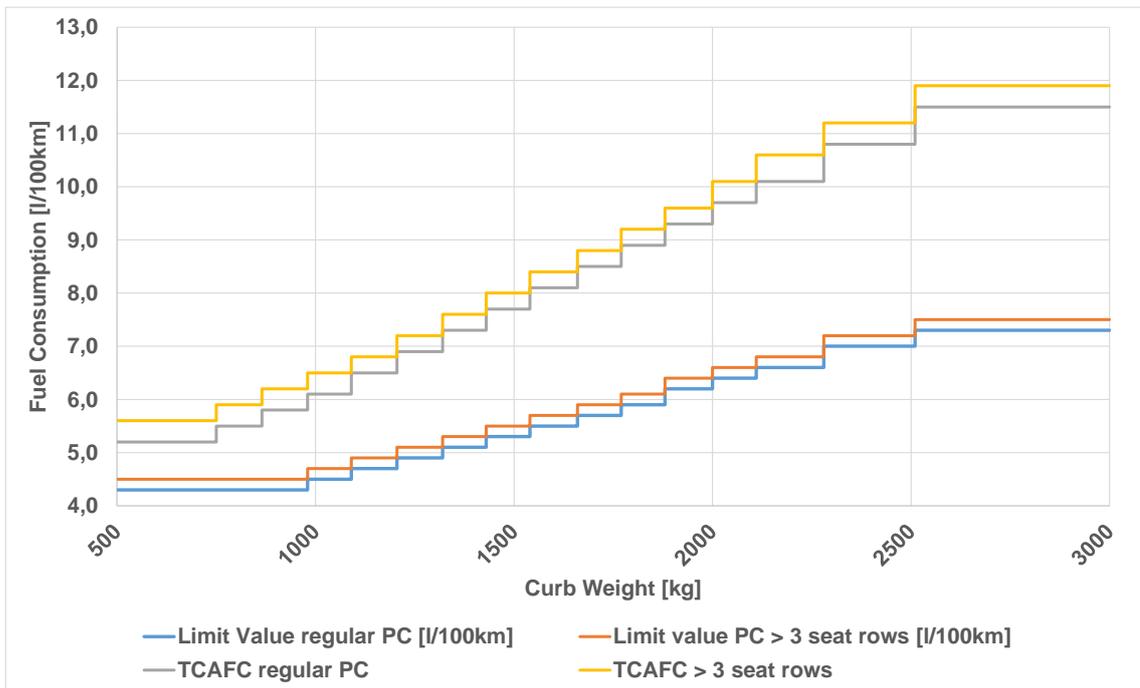


Abbildung 6: Regulierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in China

## Normen

Die seit Jänner 2016 eingeführte Phase 4 der Kraftstoffverbrauchsenkung schreibt einen maximalen Verbrauch der registrierten Fahrzeuge vor. Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch CAFC basiert auf den Produktionszahlen und den Importzahlen von Fahrzeugen und deren Leergewicht (siehe Tabelle 2).

Curb mass (CM) [kg]	Maximum Limit [L/100km]		CAFC Target [L/100km]	
	Reg. Cars	≥ 3 seat rows	Reg. Cars	≥ 3 seat rows
CM ≤ 750	5,2	5,6	4,3	4,5
750 < CM ≤ 865	5,5	5,9	4,3	4,5
865 < CM ≤ 980	5,8	6,2	4,3	4,5
980 < CM ≤ 1090	6,1	6,5	4,5	4,7
1090 < CM ≤ 1205	6,5	6,8	4,7	4,9
1205 < CM ≤ 1320	6,9	7,2	4,9	5,1
1320 < CM ≤ 1430	7,3	7,6	5,1	5,3
1430 < CM ≤ 1540	7,7	8,0	5,3	5,5
1540 < CM ≤ 1660	8,1	8,4	5,5	5,7
1660 < CM ≤ 1770	8,5	8,8	5,7	5,9
1770 < CM ≤ 1880	8,9	9,2	5,9	6,1
1880 < CM ≤ 2000	9,3	9,6	6,2	6,4
2000 < CM ≤ 2110	9,7	10,1	6,4	6,6
2110 < CM ≤ 2280	10,1	10,6	6,6	6,8
2280 < CM ≤ 2510	10,8	11,2	7,0	7,2
2510 < CM	11,5	11,9	7,3	7,5

Tabelle 2: Maximale Limits des Kraftstoffverbrauchs in China und deren CAFC-Ziele<sup>9</sup>

### CAFC (Corporate Average Fuel Consumption)

Wie in der unten angegebenen Formel wird der CAFC-Wert des jeweiligen Herstellers in einem bestimmten Jahr berechnet.

$$CAFC = \frac{\sum_{i=1}^N FC_i * V_i}{\sum_{i=1}^N V_i * W_i} \quad (2)$$

- i      Seriennummer des Fahrzeugtyps des PKWs  
FC<sub>i</sub>    Kraftstoffverbrauch des i-ten Fahrzeugtyps  
V<sub>i</sub>      jährliche Produktion/Import Volumen des i-ten Fahrzeugtyps  
W<sub>i</sub>      Multiplikationsfaktor bezogen auf den Fahrzeugtyps i

<sup>9</sup> ICCT, ICCT, EEA. \* Volvo, Hyundai, Kia, Honda plotted with average weight of 2014 (EEA, 11-2015) [www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards](http://www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards), o.O., 2015

Für die Fahrzeugtypen, die durch Elektrifizierung, wie batteriebetriebene PKWs, Brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge und Plug-In Hybride, mit einer kombinierten Reichweite von nicht weniger als 50 km durch den elektrischen Fahrmodus, wird der Multiplikationsfaktor  $W_i$  für die jährlichen Produktions- bzw. Importvolumina anhand der unten angeführten Faktoren herangezogen (siehe Tabelle 3).

<b>Multiplication Factor</b>	<b><math>W_i</math></b>
<b>Range</b>	<b>&gt;50km</b>
<b>2016-2017</b>	5
<b>2018-2019</b>	3
<b>2020</b>	2

*Tabelle 3: Multiplikationsfaktoren für elektrifizierte Fahrzeuge mit mehr als 50km elektrischer Reichweite*

Bei anderen Fahrzeugen, deren Verbrauch nicht mehr als 2.8 l/100 km übersteigt, verändert sich der Multiplikationsfaktor  $W_i$  abermals (siehe Tabelle 4).

<b>Multiplication Factor</b>	<b><math>W_i</math></b>
<b>Verbrauch</b>	<b>&lt; 2,8l/100km</b>
<b>2016-2017</b>	3,5
<b>2018-2019</b>	2,5
<b>2020</b>	1,5

*Tabelle 4: Multiplikationsfaktoren für Fahrzeuge mit einem Verbrauch von weniger als 2,8l / 100km*

Alle Automobile, die auch diese Attribute nicht aufweisen, werden mit dem Faktor  $W_i = 1$  multipliziert.

## Corporate Average Fuel Consumption Target ( $T_{CAFC}$ )

Der Parameter  $T_{CAFC}$  (Corporate Average Fuel Consumption Target) beschreibt das Kraftstoffverbrauchsziel des einzelnen Fahrzeugtyps, das in einem entsprechenden Jahr produziert oder importiert wurde.

$$T_{CAFC} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i * V_i}{\sum_{i=1}^N V_i} \quad (3)$$

- $i$  Seriennummer des Fahrzeugtyps des PKWs
- $T_i$  Zielwert des Kraftstoffverbrauchs des Fahrzeugtyps  $i$
- $T_{CAFC}$  Corporate Average Fuel Consumption Target
- $V_i$  jährliche Produktion/Import Volumen des Fahrzeugtyps  $i$

Ab dem Jahr 2016 darf das Verhältnis zwischen den CAFC und dem  $T_{CAFC}$  eines Herstellers nicht das in Tabelle 5 angeführte Verhältnis überschreiten.

Year	Ratio between CAFC and TCAFC [%]
2016	134%
2017	128%
2018	120%
2019	110%
2020 afterwards	100%

Tabelle 5: Verhältnis zwischen CAFC und TCAFC <sup>10</sup>

Durch den politischen Einfluss des MIIT (Ministry of Industry and Information Technology) werden weitere Maßnahmen zur Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs eingeleitet und diskutiert. Vergleichbar mit den in Europa eingeführten

---

<sup>10</sup> ICCT, ICCT, EEA. \* Volvo, Hyundai, Kia, Honda plotted with average weight of 2014 (EEA, 11-2015) [www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards](http://www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards), o.O., 2015

WLTP-Tests werden auch in China neue Fahrtests zur Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs besprochen (CATC - China Automotive Testing Cycle).

Durch Bekanntgabe des MIIT wird beabsichtigt, eine Phase 5 des Kraftstoffverbrauchsgesetzes einzuführen, die aller Voraussicht nach einen Zielwert von 4 l/100km bis 2025 vorschreiben wird und sich auf NEDC Basis beruft.<sup>11</sup> Nach 2025 will die chinesische Regierung eigene Testzyklen zur Erfassung der Emissionen einführen.

Über die Organisation MIIT wurde auch ein Credit Management Service (Börse) eingeführt, um Automobilhersteller mit positiven oder negativen Credits Möglichkeiten anzubieten diese CO<sub>2</sub>-Defizite durch Credit Kauf oder Verkauf zu Regulieren.

### **Credit System**

Über die Management Plattform des MIIT können die berechneten Credits der einzelnen Hersteller transferiert werden, wenn folgende Voraussetzungen bestehen. Hersteller müssen zuerst ein Konto eröffnen auf dem sie ihre Credits lagern können. Anschließend werden die ersten berechneten Credits auf diesen Konto angehäuft. Dies wird jedes weitere Jahr wiederholt.

Um Credits zu transferieren muss eine Einverständniserklärung des MIIT, sowie der zwei Parteien vorliegen. Vorausgesetzt diese Abmachungen sind bestätigt kann das Geld und die dazugehörigen Credits im Austausch transferiert werden.<sup>12</sup>

China denkt über die Einführung eines Dual-Credit-Systems für den Kraftstoffverbrauch von Benzinautos und die Produktion neuer Elektroautos nach. Es wird

---

<sup>11</sup> EPA, Fact sheet, Office of Transportation and Air Quality EPA-420-F-12-051 August 2012.

<sup>12</sup> EPA, Fact sheet, Office of Transportation and Air Quality EPA-420-F-12-051 August 2012.

dazu beitragen, die Entwicklung neuer Energiefahrzeuge und die Regierung voranzutreiben. Subventionen werden in dieser Form schrittweise abgebaut. Das Dual-Credit-System wird die Hauptrolle des Marktes spielen, und energiesparende und NEV-Autohersteller können mehr gesellschaftliche Ressourcen nutzen, um den Finanzdruck der Regierung zu reduzieren (siehe Abbildung 7).<sup>13</sup>



Abbildung 7: Dualsystem für NEV Credits in China<sup>14</sup>

## Ausblick

Um die Umstellung auf die Änderungen des Gesetzes und die Normen in China etwas besser zu veranschaulichen, wurden die Produktionszahlen und deren Prognosen über die Datenbank des IHS 8-2016 in zwei Diagrammen visualisiert und in unterschiedliche innovative Technologien der Elektrifizierung unterteilt (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).

<sup>13</sup> AVL List, internes Dokument, The introduction of fuel consumption credit trading platform, Graz, o.J.

<sup>14</sup> CATARC (China Automotive Technology and Research Center), [http://www.catarc.ac.cn/ac\\_en/](http://www.catarc.ac.cn/ac_en/), China.

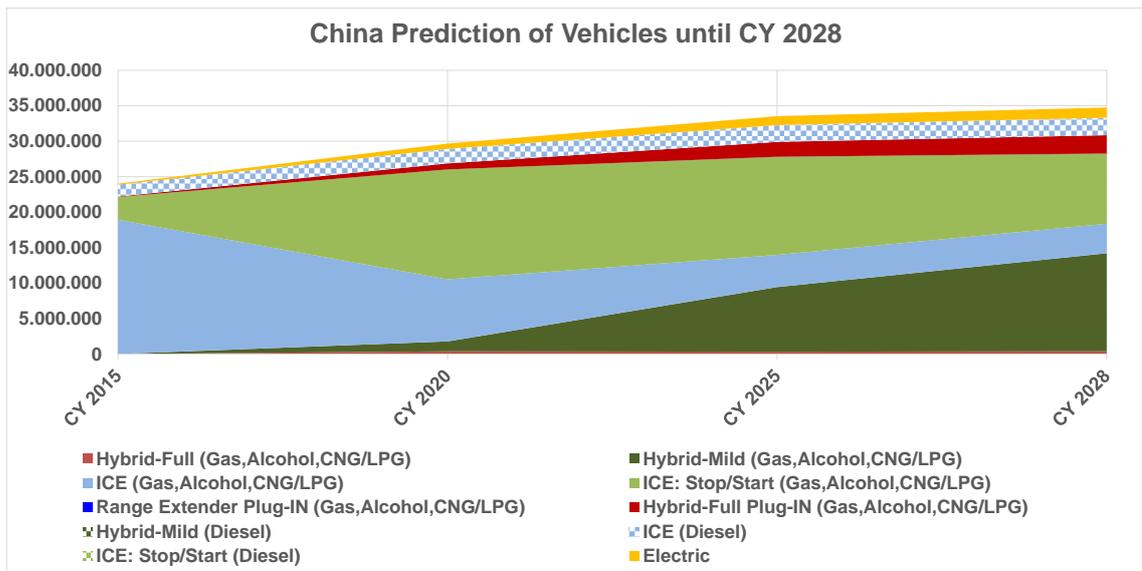


Abbildung 8: Prognose der Produktion von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Technologien in China bis 2028 <sup>15</sup>

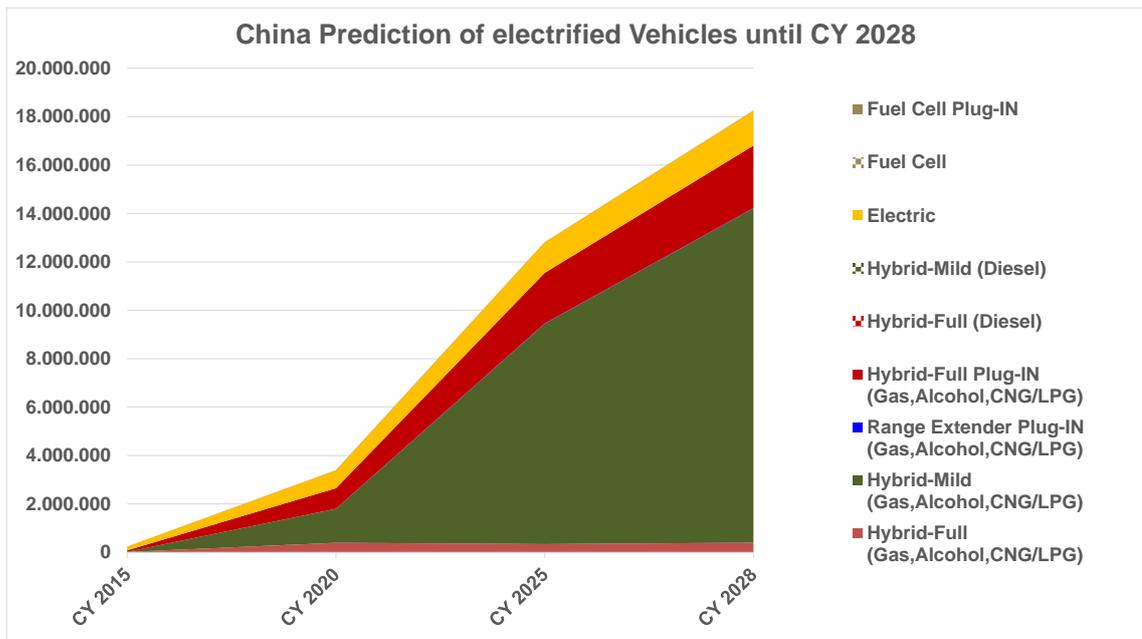


Abbildung 9: Prognose der Produktion von elektrifizierten Fahrzeugen in China bis 2028 <sup>16</sup>

<sup>15</sup> IHS Automotive, IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, o.O., 2016.

<sup>16</sup> IHS Automotive, HIS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, o.O., 2016.

## 2.4 Vereinigte Staaten von Amerika (USA)

### Gesetzgebung

Um die Luftverschmutzung in den USA zu reduzieren, wurden von der Environmental Protection Agency (EPA) strengere Regeln für die Emissionen auferlegt. Durch den neuen, strenger ausfallenden, Standard sollten die Emissionsregulierungen für alte und neue Fahrzeuge effektiver werden.<sup>17</sup> Die Gesetzgebungen der amerikanischen Regierungen basieren auf Standards wie Part 86, Part 600 der EPA den CAFE Standard Parts 523 – 537 der NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) und den kalifornischen LEV III Standards. Unterschiede zwischen den EPA Part 600 und Part 86 bestehen darin, dass Part 600 sich ausschließlich mit dem Kraftstoffverbrauch und Part 86 mit den CO<sub>2</sub> Emissionen befasst. LEV III beinhalten beide Regularien, sowohl die Emissionen als auch den Kraftstoffverbrauch wobei der Standard NHTSA sich hauptsächlich am Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge orientiert.

### Standards

Diese nach Vorbild von Kalifornien neu eingeführten Standards werden im Jahr 2025 voraussichtlich einen durchschnittlichen industriellen Flottenverbrauch von 163 g/mile CO<sub>2</sub> aufweisen, welcher äquivalent zu dem Verbrauch von 54,5 miles/Gallon steht. Dieser basiert auf den CO<sub>2</sub>-Emissionsprofilkurven, indem jedes Fahrzeug ein differenziertes CO<sub>2</sub>-Emissionsvergleichsziel, abhängig des Fahrzeugprofils, besitzt. Generell sind Fahrzeuge mit einem größeren Profilabstand (Achsabstand in Breite x Länge) auch mit einem korrespondierend höheren CO<sub>2</sub>-Emissionsziel ausgestattet (siehe Abbildung 10).

---

<sup>17</sup> IHS Automotive, *IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update*, o.O., 2016.

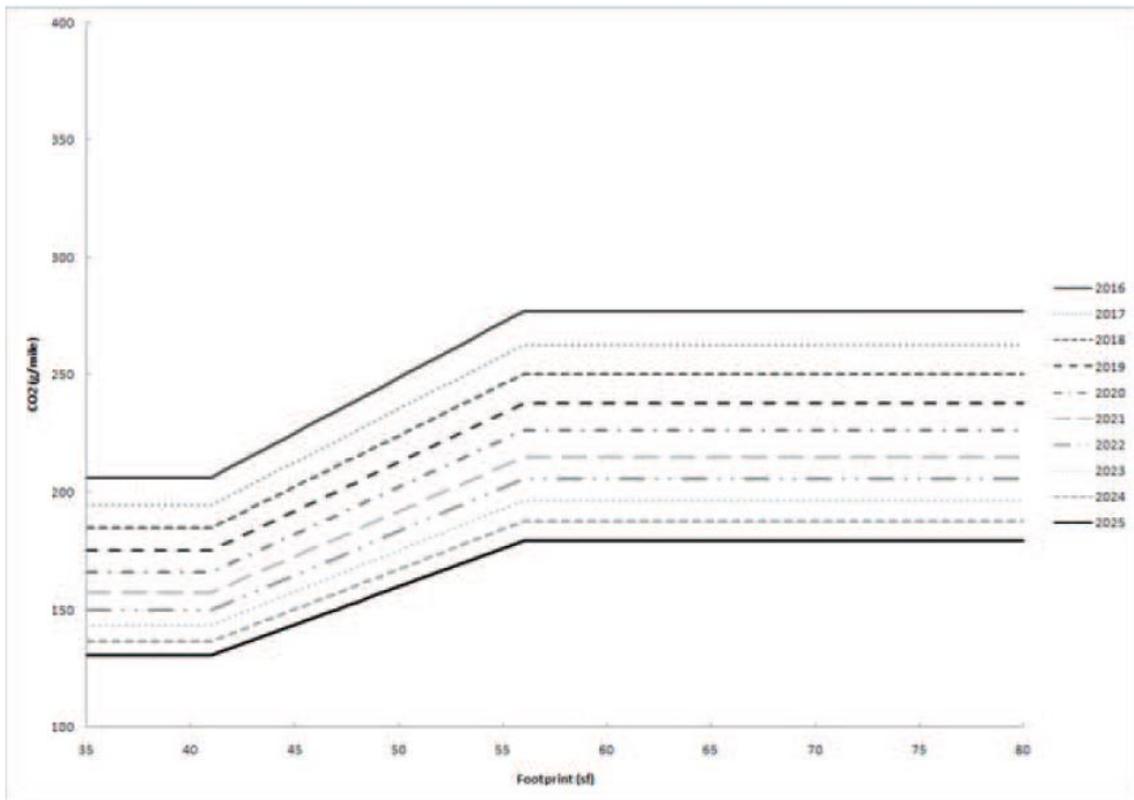


Abbildung 10: CO<sub>2</sub> (g/mile) Standardkurve für PKWs 2017-2025<sup>18</sup>

Somit werden die Automobilhersteller nicht gezwungen Fahrzeuge herzustellen, die eine bestimmte Größe oder Art entsprechen und haben auch keinen Anreiz, in dieser Beziehung etwas zu unternehmen, da jedes einzelne Fahrzeug seinen individuellen Emissionszielen unterworfen ist. Dadurch wird den Herstellern weiterhin die Befugnis erteilt, ihre Fahrzeuge auf ihre eigene Art und Weise zu produzieren.

<sup>18</sup> EPA, Fact sheet, Office of Transportation and Air Quality EPA-420-F-12-051 August 2012

## Normen

In den unten angeführten Tabellen 6 und 7 werden die Emissionsziele in g/mile bis 2025 angeführt, die die Automobilindustrie berücksichtigen und einhalten muss.

g/km	2016 base	2017	2018	2019	2020
Passenger Cars	140	132	126	120	114
Light Trucks	185	183	178	173	168
Combined	155	151	145	139	133
	2021	2022	2023	2024	2025
Passenger Cars	107	102	98	93	89
Light Trucks	155	148	140	133	127
Combined	124	118	112	107	101

*Tabelle 6: Emissionsziele der Hersteller in g/km bis 2025<sup>19</sup>*

g/mile	2016 base	2017	2018	2019	2020
Passenger Cars	225	213	203	193	183
Light Trucks	298	295	287	278	270
Combined	250	243	234	223	214
	2021	2022	2023	2024	2025
Passenger Cars	173	164	157	150	143
Light Trucks	250	238	226	214	204
Combined	200	190	181	172	163

*Tabelle 7: Emissionsziele der Hersteller in g/mile bis 2025*

Erreichen die Automobilhersteller Reduktionen der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die sich nicht in den aktuellen Testverfahren widerspiegeln, werden diese mit einem Guthaben (Credit) gefördert. Technologien, die nicht in den Testverfahren aufkommen, beinhalten Solarpaneele an Hybriden, Start-Stopp-Systeme oder aktive Aerodynamiken.

---

<sup>19</sup> EPA, Fact sheet, Office of Transportation and Air Quality EPA-420-F-12-051 August 2012.

Zusätzliche CO<sub>2</sub>-Guthaben werden für Mild-Hybride- und Voll-Hybrid-Pickup Trucks vergeben, vorausgesetzt der jeweilige Hersteller besitzt bzw. produziert einen gewissen Prozentsatz an solchen Fahrzeugen.

Mild-Hybrid Pickups werden mit einem CO<sub>2</sub>-Guthaben von 10 g/mile über eine Zeitspanne zwischen 2017 – 2025 gefördert, wenn diese Technologie bei 20% der produzierten Pickup Trucks 2017 eingesetzt wird und steigend auf 80% bis 2021 aufgebaut wird.

Voll-Hybride werden mit einem CO<sub>2</sub>-Guthaben von 20 g/mile zwischen 2017 – 2025 bemessen, wenn die geförderten Technologien in 10% der gesamten Voll-size Pickup Produktion eingesetzt werden.

Multiplikationsfaktoren werden auch bei anderen elektrifizierenden Technologien herangezogen. Auf diesem Wege werden Elektrofahrzeuge bzw. Plug-Ins und Brennstoffzellenfahrzeuge in der Berechnung des Herstellers nicht als ein einziges Fahrzeug gezählt, sondern mit folgenden Multiplikatoren ausgestattet. Elektrofahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge werden mit einem Faktor von Zwei im Jahr 2017 bewertet. Dieser Wert senkt sich auf 1,5 im Jahr 2021 ab. Bei PHEVs ist der Multiplikator zuerst 1,6 (2017) und wird ab 2021 auf einen Wert von 1,3 reduziert. In den darauffolgenden Jahren wird dieser Faktor nicht mehr berücksichtigt.

Anhand der von der EPA berechneten Endwerte werden diese elektrifizierten Fahrzeuge mit einem CO<sub>2</sub>-Emissionswert von 0 g/mile (2017 – 2021) angeführt, dabei wird auch keine Rücksicht auf die Quantität dieser genommen. Für darauffolgende Jahre werden Fahrzeuge von Herstellern mit 0 g/mile berücksichtigt, die gewisse Umsatzgrenzen nicht übersteigen. Bei Verkäufen, welche diese Schwell-

len übersteigen sind die Hersteller verpflichtet, die Netto-Upstream-Treibhausgasemissionen für den elektrischen Teil des Betriebs zu berücksichtigen.<sup>20</sup> Annahmen wie diese sind optimistisch angelegt, da die Stromproduktion Schadstoffe und somit auch CO<sub>2</sub> ausstößt.

### **Credit System**

Ein Automobilhersteller der durch die Berechnungen Credits im gegebenen Jahr produziert hat folgende Möglichkeiten diese zu nutzen.

Wenn eine Credit-Generierung in den nächsten 3 Modelljahren geplant ist, können diese Credits verwendet werden, um einen Short-Fall im aktuellen Modelljahr auszugleichen. Diese Credits werden als Carry-back Credits bezeichnet.

Sind die Credits für das laufende Modelljahr geplant ist, können diese Gutschriften verwendet werden (mitnehmen - carry forward), um einen Short-Fall innerhalb der nächsten 5 Modelljahre auszugleichen.

Um Credits zu tauschen (trade Credits) muss der Benutzer (Käufer) Gutschriften vom Verkäufer kaufen, um eine Soll- / Minderzahlung im aktuellen Modelljahr auszugleichen.

Eine weitere Möglichkeit Credits einzusetzen besteht darin, dass die in der Pkw-Flotte verdienten Gutschriften dazu verwendet werden, einen Soll- / Minderbetrag in der Light-Truck-Flotte auszugleichen und umgekehrt.

---

<sup>20</sup> EPA, Fact sheet, Office of Transportation and Air Quality EPA-420-F-12-051 August 2012

## Ausblick

Um auch hier einen Einblick auf die Prognosen über die Veränderung der Produktion zu geben, werden auch hier die Produktionszahlen und deren Prognosen über die IHS Datenbank 8-2016 in Abbildung 11 und Abbildung 12 veranschaulicht und mit den unterschiedlichen Technologien der Elektrifizierung dargestellt.

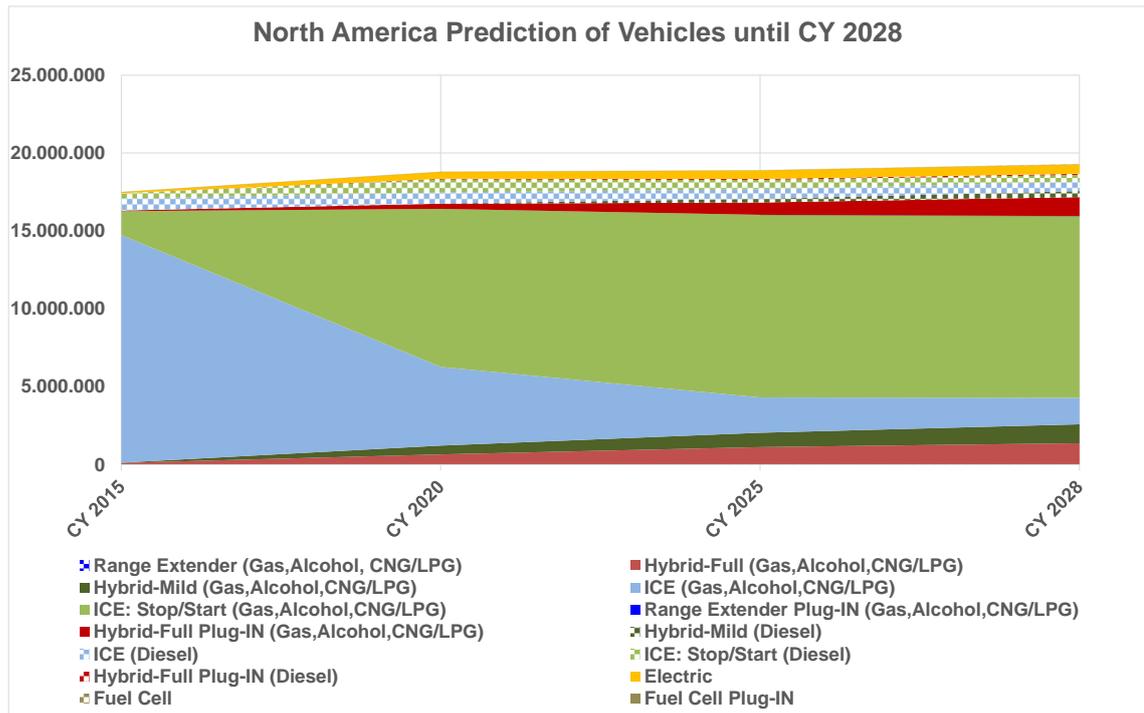


Abbildung 11: Prognose der Produktionszahlen der unterschiedlichen Technologien in den USA bis 2028<sup>21</sup>

<sup>21</sup> IHS Automotive, IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, o.O., 2016.

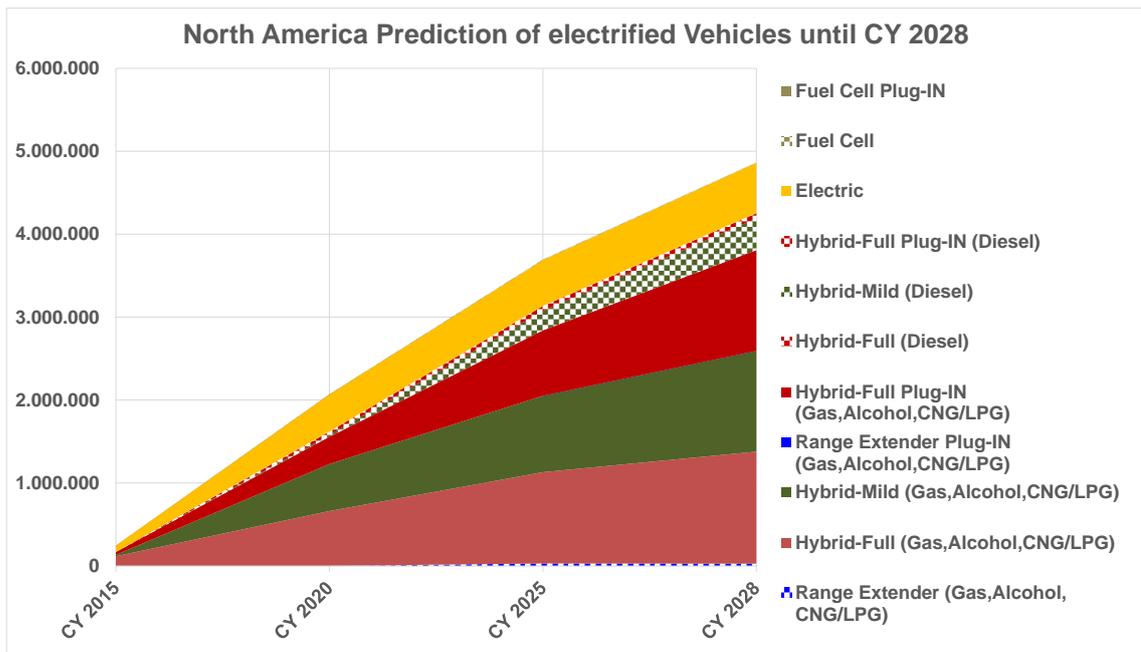


Abbildung 12: Prognose der Produktionszahlen der elektrifizierten Fahrzeuge der USA bis 2028<sup>22</sup>

## 2.5 Testzyklen

Um standardmäßige CO<sub>2</sub>-Emissionen der Personenkraftwagen ermitteln zu können wurden Testzyklen (NEDC und WLTP) für die Bestimmung dieser eingeführt.

### Standards

Um Vergleiche zwischen den zwei unterschiedlichen Auffassungen von CO<sub>2</sub>-Emissionsberechnungen zu erkennen, werden die gemessenen WLTP CO<sub>2</sub>-Werte in einem eigenen Programm (CO<sub>2</sub>MPAS) auf NEDC-Werte im Simulationsstool übersetzt und dabei auf die Einhaltung der NEDC-Ziele geachtet. Die Unterschiede der beiden Testzyklen belaufen sich im Durchschnitt auf zirka 6% - 18%, die der WLTP-Wert über den alten NEDC-Werten liegt.

<sup>22</sup> IHS Automotive, IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, o.O., 2016.

## Normen

Durch die Basis genauer Daten des Fahrverhaltens, in den verschiedenen Märkten, wurde ein Testzyklus bzw. Fahrzyklus errechnet, welcher sich auf Beschleunigung, Geschwindigkeit, Stillstandszeiten usw. bezieht und repräsentativ für alle Regionen sein soll. Der Testzyklus wird abhängig von der Geschwindigkeit in vier Abschnitte Low, Middle, High und Extra High unterteilt. Theoretisch werden diese Testprozeduren für Fahrzeuge unterschiedlichen Gewichtes neu definiert. Praktisch werden von Hersteller und Entwickler vorhandene PKWs auf die höchste WLTP-Klasse 3b gehoben, die sämtliche Abschnitte des Testzyklus beinhaltet.

Unterschiede in den Tests NEDC auf WLTP sind grundsätzlich in der Zeit der konstanten Fahrt zu finden. Diese sind in den neuen Testzyklen wesentlich geringer als in den vorhergegangenen. Durch diese Änderungen bildet sich in den WLTP Tests ein dynamisches Fahrprofil ab. Zusätzlich muss der WLTP-Test auf einer längeren Strecke absolviert werden, da eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit verlangt wird (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14).<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> IHS Automotive, *IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update*, o.O., 2016.

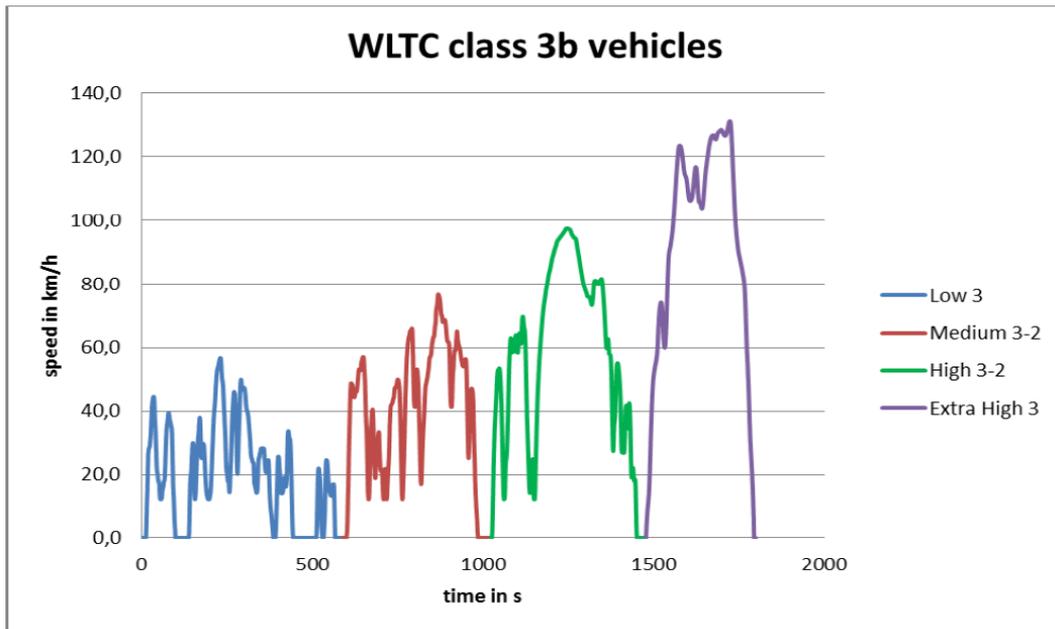


Abbildung 13: WLTP-Testzyklen der Klasse 3b<sup>24</sup>

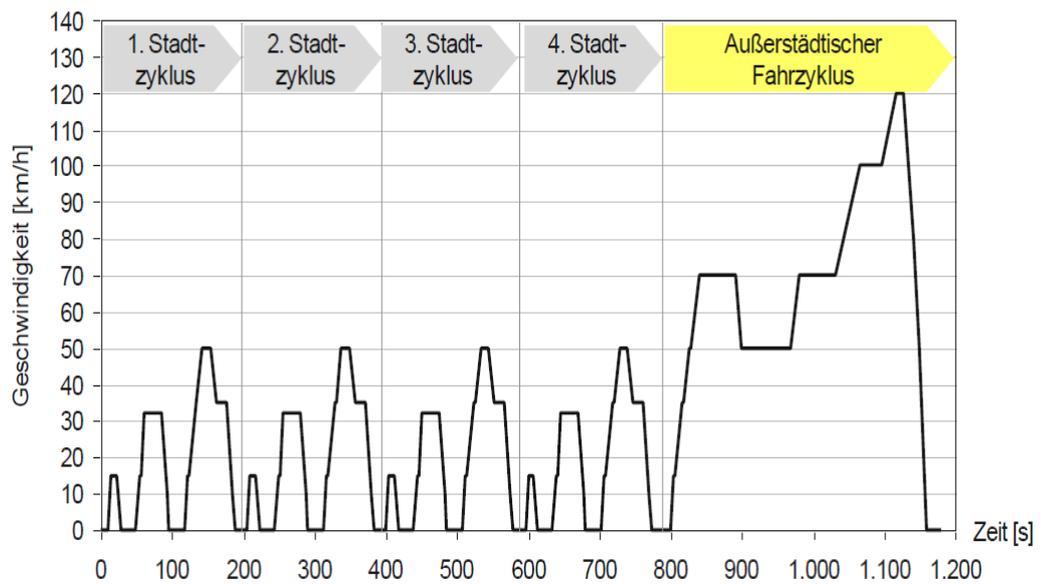


Abbildung 14: NEDC-Testzyklus<sup>25</sup>

<sup>24</sup> Ika and RWTH Aachen, CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen nach 2020, Aachen, 2014.

<sup>25</sup> AVL List, internes Dokument, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP), Graz, 2017.

Der Unterschied zu den Testzyklen des WLTP besteht darin, dass diese zur Messung des Kraftstoff- bzw. Emissionsverbrauchs hauptsächlich daraus besteht, die Simulationen des Stadtverkehrs darzustellen wie in Abbildung 14 zu sehen ist. Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bleiben während der Tests in einem niedrigeren Bereich als es bei den WLTP-Tests der Fall ist.

Eine Studie von JATO hat bestätigt, dass der Unterschied von WLTP-Tests auf NEDC-Tests sich in diesen Bereich der prozentuellen Abweichung von 6%-18% bewegt. In der unten angeführten Tabelle 8 werden die getesteten Fahrzeuge und deren Unterschiede zwischen Juli 2017 und Oktober 2017 der WLTP-Tests zu den NEDC korrelierten Werte angegeben.

MAKE	MODEL	VERSION	g/km OF CO <sub>2</sub>		CHANGE OCT vs JUL		TYPE OF CHANGE
			JUL-17	OCT-17	in g/km	in %	
BMW	X5	3.0 XDRIVE30D A	156	183	27	17%	NEDC Corr
BMW	X5	3.0 M50D A	173	205	32	18%	NEDC Corr
BMW	X5	3.0 XDRIVE40D A	157	183	26	17%	NEDC Corr
BMW	X6	3.0 M50D	174	206	32	18%	NEDC Corr
BMW	X6	3.0 XDRIVE30D A	157	183	26	17%	NEDC Corr
BMW	X6	3.0 XDRIVE40D A	163	183	20	12%	NEDC Corr
PEUGEOT	308	1.2 PURETECH 130 ALLURE SW	111	124	13	12%	NEDC Corr
PEUGEOT	308	1.2 PURETECH 130 ACTIVE SW	106	121	15	14%	NEDC Corr
PEUGEOT	308	1.2 PURETECH 130 ALLURE	107	120	13	12%	NEDC Corr
PEUGEOT	308	1.2 PURETECH 130 ACTIVE	104	117	13	13%	NEDC Corr
VOLVO	XC60	2.0 D4 MOMENTUM GEARTRONIC 4WD	133	144	11	8%	NEDC Corr
VOLVO	XC60	2.0 D5 INSCRIPTION GEARTRONIC 4WD	144	152	8	6%	NEDC Corr
VOLVO	XC60	2.0 D4 INSCRIPTION GEARTRONIC 4WD	133	148	15	11%	NEDC Corr
VOLVO	XC60	2.0 D4R DESIGN GEARTRONIC 4WD	133	148	15	11%	NEDC Corr
VOLVO	XC60	2.0 D5R DESIGN GEARTRONIC 4WD	144	152	8	6%	NEDC Corr
VOLVO	XC90	2.0 D5 AWD INSCRIPTION GEARTRONIC	149	163	14	9%	NEDC Corr
VOLVO	XC90	2.0 D5 AWD MOMENTUM GEARTRONIC	149	173	24	16%	NEDC Corr
VOLVO	XC90	2.0 D5 AWR R DESIGN GEARTRONIC	149	163	14	9%	NEDC Corr

Tabelle 8: Unterschied der Testzyklen WLTP und NEDC<sup>26</sup>

Diese Änderungen der Emissionen werden in den Flottenzielen der Hersteller Veränderungen bewirken, dass sich auch auf den Konsumenten in Form von

<sup>26</sup> Alessandro Paolucci, JATO Dynamics, The future of the car industry as WLTP bites where is the Automotive Industry heading amidst more stringent emissions targets, o.O, 2017.

Preisanstiegen oder Steueranstiegen auswirken kann um Geldstrafen durch das nicht Erreichen der Flottenziele zu kompensieren.<sup>27</sup>

### RDE Tests (Real Drive Emissions)

Der RDE-Testzyklus unterscheidet sich typischerweise mit den Werten, die in den Zertifikaten der gekauften Fahrzeuge stehen. Die Gründe dafür, sind die bestehenden und angewendeten Tests und Bewertungsverfahren. Die Unterschiede der RDE-Tests zu den WLTP- und NEDC-Testzyklen werden mit einer Lücke von bis zu 50% prognostiziert, wenn die jetzige Praxis anhält. In der folgenden Tabelle 9 werden die typischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der einzelnen Technologien angeführt.

	Petrol	Diesel	PHEV	BEV	FCV	NGV
<b>2015</b>	125	120	58	0	0	104
<b>2020</b>	95	95	50	0	0	95
<b>2025</b>	95	95	50	0	0	95
<b>2030</b>	95	95	50	0	0	95
<b>2035</b>	95	95	50	0	0	95
<b>2040</b>	95	95	40	0	0	95
<b>2050</b>	95	95	30	0	0	95

*Tabelle 9: CO<sub>2</sub>-Emissionsziele der Technologien<sup>28</sup>*

Durch die Umwandlung NEDC-Testwerte auf RDE-Testzyklen wurden Multiplikationsfaktoren berechnet um den Unterschied der Testzyklen besser darzustellen und auf dem originalen Real-Drive Werte zu gelangen (siehe Tabelle 10).

---

<sup>27</sup> Alessandro Paolucci, JATO Dynamics, The future of the car industry as WLTP bites where is the Automotive Industry heading amidst more stringent emissions targets, o.O., 2017.

<sup>28</sup> EAFO study, Netherlands Organisation for applied scientific research and others, The transition to a Zero Emission Vehicles fleet for cars in the EU by 2050, o.O., 2017.

	<b>Petrol</b>	<b>Diesel</b>	<b>PHEV</b>	<b>BEV</b>	<b>FCV</b>	<b>NGV</b>
<b>2015</b>	1,36	1,38	2,14	0	0	1,43
<b>2020</b>	1,47	1,47	2,14	0	0	1,47
<b>2025</b>	1,47	1,47	2,14	0	0	1,47
<b>2030</b>	1,47	1,47	2,14	0	0	1,47
<b>2035</b>	1,47	1,47	2,14	0	0	1,47
<b>2040</b>	1,47	1,47	2,15	0	0	1,47
<b>2050</b>	1,47	1,47	2,13	0	0	1,47

*Tabelle 10: RDE-Multiplikationsfaktoren<sup>29</sup>*

Durch die Multiplikation der typischen CO<sub>2</sub>-Werte der Fahrzeuge mit dem RDE-Faktor kommen die Technologien der heutigen Zeit auf etwa eine Steigerung um 50% zu den angegebenen Fakten, wie in der unteren Tabelle 11 ersichtlich ist. Diese Werte beziehen sich ausschließlich auf Tank-to-Wheel Emissionen, da diese für die Flottenemission der Hersteller interessant werden.<sup>30</sup>

	<b>Petrol</b>	<b>Diesel</b>	<b>PHEV</b>	<b>BEV</b>	<b>FCV</b>	<b>NGV</b>
<b>2015</b>	170	165	124	0	0	149
<b>2020</b>	140	140	107	0	0	140
<b>2025</b>	140	140	107	0	0	140
<b>2030</b>	140	140	107	0	0	140
<b>2035</b>	140	140	107	0	0	140
<b>2040</b>	140	140	86	0	0	140
<b>2050</b>	140	140	64	0	0	140

*Tabelle 11: RDE-Emissionen der Technologien<sup>31</sup>*

---

<sup>29</sup> EAFO study, Netherlands Organisation for applied scientific research and others, The transition to a Zero Emission Vehicles fleet for cars in the EU by 2050, o.O., 2017..

<sup>30</sup> EAFO study, Netherlands Organisation for applied scientific research and others, The transition to a Zero Emission Vehicles fleet for cars in the EU by 2050, o.O., 2017..

<sup>31</sup> EAFO study, Netherlands Organisation for applied scientific research and others, The transition to a Zero Emission Vehicles fleet for cars in the EU by 2050, o.O., 2017.

### 3. Auswirkungen der Energiequellen auf die Automobilität

Durch den wirtschaftlichen und umwelttechnischen Einfluss der Automobilindustrie ist zu erkennen, dass sich die Energiestrukturierung und die Produktion von elektrifizierten Fahrzeugen weltweit neu entwickeln und orientieren müssen und gleichermaßen auf die Entwicklung angewiesen sind. Die Tendenz zu elektrifizierten Fahrzeugen hat den gleich hohen Stellenwert wie die CO<sub>2</sub>-arme Stromgewinnung durch erneuerbare Energieträger, um die Umwelt weitgehendstes „sauber“ zu halten und somit die Klimaschutzziele zu erreichen. Dieses Konzept der CO<sub>2</sub>-armen Energiegewinnung bis hin zu den Fahrzeugen des Straßenverkehrs wird als Well-To-Wheel bezeichnet.

Natürlicherweise entstehen auch bei erneuerbaren Energien Emissionen durch die Erzeugung von Elektrizität. Diese Emissionen werden von der IEA (International Energy Agency) aufgenommen und in verschiedenen Darstellungen visualisiert. Die erzeugte Energie durch die unterschiedlichen Energieträger wird in (Mtoe – Megatonnes oil equivalent) statistisch veröffentlicht. Durch die Umrechnung der Mtoe auf GWh durch das Verhältnis (1 GWh = 0.000086 Mtoe) und den statistischen CO<sub>2</sub>-Werten der Primärenergieträger kann auf die Emissionen geschlossen werden. In der folgenden Tabelle sind die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Werte der Energieträger zu sehen. Sie werden zu den Untersuchungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Elektrofahrzeugen [gCO<sub>2</sub>/kWh] der einzelnen Märkte wie in den nächsten Kapiteln beschrieben herangezogen.

Energieträger	gCO <sub>2</sub> /kWh
Oil products	866
Solar / Wind / Tide	33
Coal	820
Biomass	740
Natural Gas	490
Hydro	24
Nuclear	12

Tabelle 12: Durchschnittliche gCO<sub>2</sub>/kWh von Primärenergieträgern

Ausgehend vom durchschnittlichen Verbrauchs eines Benzinfahrzeuges errechnet sich über die Reaktionsgleichung  $2 \text{C}_8\text{H}_{18} + 25 \text{O}_2 \rightarrow 18 \text{H}_2\text{O} + 16 \text{CO}_2$  der Durchschnitt der kg  $\text{CO}_2$ , die ein Fahrzeug mit Benzinantrieb auf 100 km verbrauchen würde. Bei der Verbrennung von 1 Liter Benzin werden 2,33 kg  $\text{CO}_2$  freigesetzt. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch eines PKWs von 6l/100km ergeben sich 13,98 kg  $\text{CO}_2$  auf 100km. In den nachfolgenden Kapiteln wird der Unterschied zu Elektrofahrzeugen deutlich sichtbar.

### **3.1 Europäische Union**

#### **Strommix**

Wegen der europäischen Klimaschutzziele, die es zu erreichen gilt, werden alle bestehenden Energieträger benötigt, den Bedarf an Strom zu decken, um die umwelttechnischen Ziele zu erfüllen und genügend Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Aktuell werden die erneuerbaren Energien in Form von Windenergieanlagen der ersten Generation stark gefördert. Es sollte aber berücksichtigt werden, dass in der nächsten Dekade die Lebensdauer der Anlagen zu ihrem Ende kommt. Ein Neubau der Kapazitäten sowie der Bau von Ersatzanlagen, sogenanntes Repowering, wird eine große Rolle spielen.

2020–2030 wird voraussichtlich verstärkt auf den Ausbau von Solaranlagen bzw. Photovoltaikanlagen gesetzt. Zudem werden zum Erreichen der Klimaschutzziele in Europa auch Back-up Kraftwerken wie z.B. Gas- Kohle- Kern- aber auch Pumpspeicherkraftwerke erforderlich, um die nötige Versorgungssicherheit und Flexibilität zu erreichen. Diese Entwicklung kann aber nur funktionieren, wenn zusätzlich zum Ausbau der erneuerbaren Energieträger und Ersatzenergiequellen, die Stromspeichermöglichkeiten für alternierenden Strom gegeben sind, der Netzbau vorangetrieben wird und die Energieeffizienz erhöht wird.

Der Strombedarf wird bis ins Jahr 2030 laut unterschiedlichen Prognosen um 13% ansteigen. 2030 wird auch die Solarenergie einen wesentlichen Anteil zur Energiegewinnung beitragen, jedoch wird weiterhin die Hälfte des Strombedarfs von konventionellen Kraftwerken bereitgestellt. Folgende Tabellen 13 und 14 geben einen Einblick in die Stromerzeugung und Verteilung in Europa.

Kraftwerkstyp	2007		2020		2030	
	TWh	Anteil	TWh	Anteil	TWh	Anteil
<b>Nuklear</b>	<b>929</b>	<b>28 %</b>	<b>754</b>	<b>21 %</b>	<b>715</b>	<b>19 %</b>
Braunkohle	365	11 %	372	10 %	285	8 %
Steinkohle	642	19 %	405	11 %	248	6,5 %
Gas	652	20 %	710	19 %	465	12 %
Gas dezentral	105	3 %	102	3 %	151	4 %
Öl	31	1 %	64	2 %	32	1 %
Diesel dezentral	63	2 %	59	1,5 %	54	1,5 %
<b>Summe fossiler Kraftwerke</b>	<b>1.858</b>	<b>56 %</b>	<b>1.712</b>	<b>46,5 %</b>	<b>1.235</b>	<b>33 %</b>
Wasser	296	9 %	375	10 %	432	12 %
Wind	119	3,5 %	536	15 %	872	23 %
Solar	4	< 0,5 %	78	2 %	182	5 %
Flüssige Biokraftstoffe	7	< 0,5 %	26	1 %	51	1,5 %
Biogas dezentral	12	0,5 %	59	1,5 %	90	2,5 %
Andere Erneuerbare	74	2 %	108	3 %	151	4 %
<b>Summe erneuerbarer Kraftwerke</b>	<b>512</b>	<b>16 %</b>	<b>1.181</b>	<b>32,5 %</b>	<b>1.778</b>	<b>48 %</b>
Import-/Exportsaldo	8	0,2 %	8	0,2 %	8	0,2 %
<b>Gesamt</b>	<b>3.306</b>		<b>3.655</b>		<b>3736</b>	

Tabelle 13: Stromproduktion in Europa (2007-2030)<sup>32</sup>

Kraftwerkstyp	2007		2020		2030	
	MW	Anteil	MW	Anteil	MW	Anteil
<b>Nuklear</b>	<b>133.005</b>	<b>17 %</b>	<b>116.000</b>	<b>12 %</b>	<b>110.000</b>	<b>11 %</b>
Braunkohle	60.456	8 %	60.000	6,5 %	50.000	5 %
Steinkohle	141.934	18 %	90.000	9,5 %	55.000	5 %
Gas	177.099	23 %	200.000	21 %	155.000	15 %
Gas dezentral	15.000	2 %	17.000	2 %	27.500	2,5 %
Öl	63.654	8 %	40.000	4 %	20.000	2 %
Diesel dezentral	9.000	1 %	9.000	1 %	9.000	1 %
<b>Summe fossiler Kraftwerke</b>	<b>467.143</b>	<b>60 %</b>	<b>416.000</b>	<b>44 %</b>	<b>316.500</b>	<b>30,5 %</b>
Wasser	101.202	13 %	125.000	13 %	144.000	14 %
Wind	56.500	7 %	195.000	20 %	280.000	27 %
Solar	4.730	0,5 %	65.000	7 %	133.000	12 %
Flüssige Biokraftstoffe	1.000	< 0,5 %	4.000	0,5 %	8.500	1 %
Biogas dezentral	2.000	< 0,5 %	9.000	1 %	15.000	1,5 %
Andere Erneuerbare	13.341	2 %	25.000	2,5 %	35.000	3 %
<b>Summe erneuerbarer Kraftwerke</b>	<b>178.773</b>	<b>23 %</b>	<b>423.000</b>	<b>44 %</b>	<b>612.500</b>	<b>58,5 %</b>
<b>Summe</b>	<b>778.921</b>		<b>955.000</b>		<b>1.039.000</b>	

Tabelle 14: Stromkapazitäten in Europa (2007-2030)<sup>33</sup>

<sup>32</sup> VDMA Power Systems, Power Expertenausblick, Strommix in der EU27, Entwicklung der Stromerzeugung in Europa 2007 bis 2030, Deutschland, o.J., [www.vdma.org/powersystems](http://www.vdma.org/powersystems).

<sup>33</sup> VDMA Power Systems, Power Expertenausblick, Strommix in der EU27, Entwicklung der Stromerzeugung in Europa 2007 bis 2030, Deutschland, o.J., [www.vdma.org/powersystems](http://www.vdma.org/powersystems)

## CO<sub>2</sub>-Emissionen

Auswertungen der gesamten Europäischen Union werden von der E-Control publiziert. Mit Hilfe der unten angeführten Tabelle 15, werden Leistungen und die von Energieträger abhängigen CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet. Diese Berechnungen sind für die Well-to-Wheel Berechnung von elektrischen Fahrzeugen sehr wichtig, denn elektrische Fahrzeuge haben nicht wie erwartet keine CO<sub>2</sub>-Emissionen. Emissionen des elektrischen Fahrzeuges gehen bis zur Produktion des Stromes zurück, den das Fahrzeug zur Betankung benötigt. In folgenden Berechnungen werden die CO<sub>2</sub>-Ausstöße der einzelnen Kraftwerke berechnet um einen übersichtlichen Einblick in den CO<sub>2</sub>-Verbrauch zu geben.

<b>ENTSOE-Mix 2016</b>	<b>GWh</b>
<b>Wasserkraft</b>	604.620
<b>Sonstige erneuerbare Energieträger</b>	594.768
<b>Fossile Brennstoffe</b>	1.535.135
<b>Nuklearenergie</b>	816.606
<b>Sonstige Primärenergieträger</b>	10.363
<b>Summe</b>	<b>3.561.493</b>

Tabelle 15: Europäischer Strommix 2016<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> E-Control, ENTSO-E-Mix 2016, E-Control, Wien, 2016, [https://www.e-control.at/stromnachweis/news/-/asset\\_publisher/15xLquyJKFLI/content/entso-e-mix-20-1?inheritRedirect=false](https://www.e-control.at/stromnachweis/news/-/asset_publisher/15xLquyJKFLI/content/entso-e-mix-20-1?inheritRedirect=false).

## Berechnung

Europe	GWh	kWh	Share	gCO <sub>2</sub> e/ kWh	Calculated Emissions MtCO <sub>2</sub>	gCO <sub>2</sub> /kWh	gewich. Share gCO <sub>2</sub> /kWh	E-Auto gCO <sub>2</sub> /100 km
fossile Brennstoffe	1.535.135	1,53514E+12	43,10%	866	1.329,43	373,28	373,28	5.076,58
sonstige erneuerbare Energien	594.768	5,94768E+11	16,70%	33	19,63	5,51	5,51	74,95
Sonstige Primärenergieträger	10.363	10363000000	0,29%	490	5,08	1,43	1,43	19,39
Hydro	604.620	6,0462E+11	16,98%	24	14,51	4,07	4,07	55,41
Nuclear	816.606	8,16606E+11	22,93%	12	9,80	2,75	2,75	37,42
<b>Total</b>	<b>3.561.492</b>	<b>3,56149E+12</b>					<b>387,04</b>	<b>5.263,75</b>

Tabelle 16: Berechnung der gCO<sub>2</sub>/100km von Elektrofahrzeuge für verschiedene Energieträger in Europa 2016<sup>35</sup>

Zur Berechnung des Verbrauchs wird anhand der Emissionen der Kraftwerke mit Hilfe der CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und eines gewichteten Anteils der Primärenergieträger der CO<sub>2</sub>-Verbrauch wie folgt errechnet.

Verbrauch \* gCO<sub>2</sub>e der einzelnen Stromarten, gewichtet nach ihren Anteilen an der Stromerzeugung in Europa ergibt multipliziert mit dem durchschnittlichen Verbrauch eines Elektrofahrzeuges von 13,6 kWh/100km den gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines Elektroautos auf 100km.

$$13,6 \text{ kWh}/100\text{km} * 387,04 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = 5.263,75 \text{ gCO}_2/100\text{km} \quad (4)$$

Werden nur erneuerbare Energien für diese Berechnung herangezogen reduziert sich der Verbrauch drastisch.

13,6 kWh/100km \* gCO<sub>2</sub>e der erneuerbaren Energieträger, gewichtet nach ihren Anteilen an der erneuerbaren Stromerzeugung in Europa.

<sup>35</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, Berechnung *Strommix*, Graz, 2017.

$$13,6 \text{ kWh}/100\text{km} * 9,59 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = 130,36 \text{ gCO}_2/100\text{km} \quad (5)$$

Daraus ist ersichtlich, dass die Stromerzeugung durch erneuerbare Energien wesentlich CO<sub>2</sub>-ärmer ist. Auch im Unterschied zu einem normalen Verbrennungsmotor können Elektrofahrzeuge mit Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wesentliche Reduktionen der CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielen.<sup>36</sup>

### **Ausblick**

Über die steigende Einspeisung von Energie aus erneuerbaren Energieträgern müssen die Kraftwerke zunehmend an Flexibilität gewinnen. Somit müssen in diesen Bereichen Pump- bzw. Druckluftspeicherkraftwerke einen großen Teil der Speicherkapazitäten ausmachen, um die Weiterentwicklung des Stromnetzes zu gewährleisten und notwendige elektrische Energie zu generieren.<sup>37</sup> In der Europäischen Union, werden nach 2030, 80% durch erneuerbaren Energien generiert deren größter Teil aus Windenergie produziert und sich zum führenden Energieträger entwickelt.<sup>38</sup>

---

<sup>36</sup> Martin Randelhoff, Elektroautos können den CO<sub>2</sub>-Ausstoß erhöhen, Zukunft Mobilität, o.O., 2011, <https://www.zukunft-mobilitaet.net/7102/analyse/elektroautos-co2-wahrer-ausstoss-stromerzeugung>

<sup>37</sup> VDMA Power Systems, Power Expertenausblick, Strommix in der EU27, Entwicklung der Stromerzeugung in Europa 2007 bis 2030, Deutschland, o.J., [www.vdma.org/powersystems](http://www.vdma.org/powersystems)

<sup>38</sup> International Energy Agency, World Energy Outlook, o.O., 2017, <https://www.iea.org/weo2017/>.

## 3.2 Republik China

### Strommix

1900 war China wirtschaftlich und industriell kaum relevant. Mit lediglich 3% der weltweiten Industrieproduktion lag die Republik China um Generationen zurück. Eine extreme Industrialisierung führte dazu, dass China mittlerweile ein Viertel der weltweiten Industrieproduktion ausmacht und somit auch auf enorme Energiereserven zurückgreifen musste, die hauptsächlich aus Kohlekraftwerken gewonnen wurden und einen Anstieg von 86% des weltweiten Kohleverbrauchs zwischen 1900 und 2011 bedeuteten.

Heutzutage ist China der größte Kohleproduzent der Welt, obwohl der Energiehaushalt sich stetig senkt, steigt die Mittelschicht der chinesischen Bevölkerung an. Diese Menschen verlagerten ihr Leben in die Großstädte Chinas, wo mittlerweile die Umweltverschmutzung durch den Feinstaub der Kohlekraftwerke eine außerordentliche Dimension angenommen hat.

Auch der Verkehr in den Städten hat zu dieser Feinstaubbelastung in China beigetragen. Durch Investitionen in den Hochgeschwindigkeitsverkehr und die Dichte der Siedlungen, ist in China der Verkehr umweltverträglicher als beispielsweise in Nordamerika. Trotzdem ist China sehr vom Klimawandel bedroht.<sup>39</sup>

Die Industrie ist weiterhin der größte Energiekonsument der Republik. Der Konsum ist im Jahr 2016 weiter angestiegen und wird größtenteils von Kohlekraftwerken generiert, auch wenn durch Neubauten von Solar- und Windkraftwerken erneuerbare Energieträger gefördert werden. In Abbildung 15 ist der Energieanstieg der Stromerzeugung in TWh zwischen 2015 und 2016 ersichtlich.

---

<sup>39</sup> ECCURO, *Energiewende in China*, o.O., 2016, <https://www.eccuro.com/artikel/260-energiewende-in-china>.

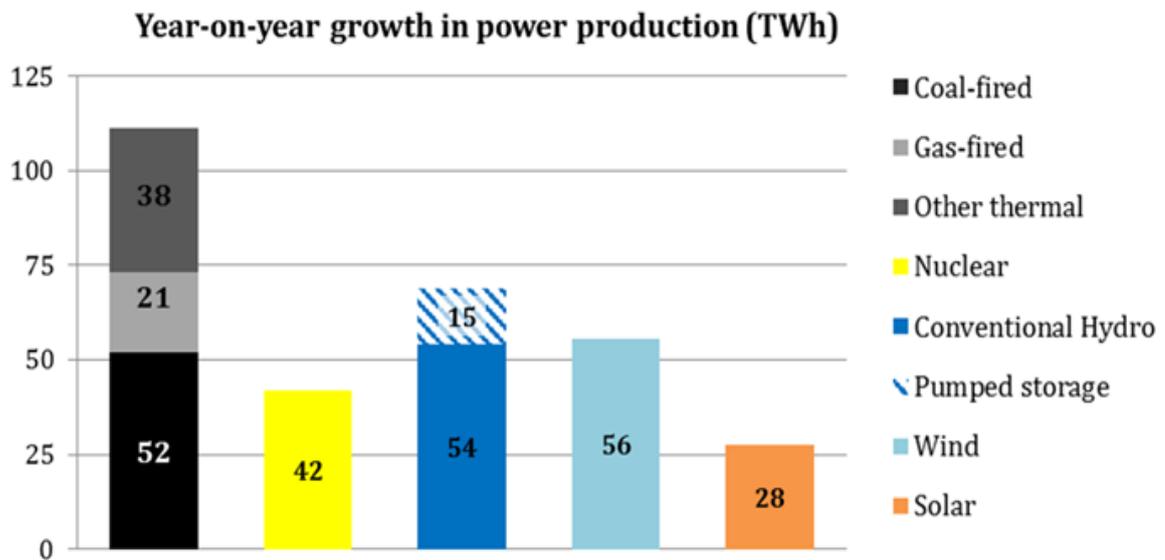


Abbildung 15: Energieanstieg der Stromerzeugung in TWh zwischen 2015 und 2016<sup>40</sup>

Das Wachstum der erneuerbaren Energien ist stark ansteigend. Nichtsdestotrotz wird die meiste Energie aus Kohlekraftwerken gewonnen, die in den Wintermonaten die wichtigste Wärmequelle für die meisten Großstädte in China ist.

Somit ist die chinesische Bevölkerung weitgehend von den Kohlekraftwerken abhängig, sodass sich in den kommenden Jahren voraussichtlich nichts ändern wird. Eine wichtige Aufgabe wird sein, die erneuerbaren Energien weiterhin in Form von Wasserkraftwerken und Solarenergie zu fördern, um einer weitere Verschlechterung der Luftgüte zu vermeiden.<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Simon Göß, *Stromerzeugung in China 2016: Großes Wachstum erneuerbarer Energien inmitten thermischer Erzeugung*, Energy BrainBlog, o.O., 2017, <https://blog.energybrainpool.com/stromerzeugung-in-china-2016-grosses-wachstum-erneuerbarer-energien-inmitten-thermischer-erzeugung/>

<sup>41</sup> Simon Göß, *Stromerzeugung in China 2016: Großes Wachstum erneuerbarer Energien inmitten thermischer Erzeugung*, Energy BrainBlog, o.O., 2017, <https://blog.energybrainpool.com/stromerzeugung-in-china-2016-grosses-wachstum-erneuerbarer-energien-inmitten-thermischer-erzeugung/>

## CO<sub>2</sub>-Emissionen

Durch den in Abbildung 16 dargestellten Strommix werden auch für die Republik China CO<sub>2</sub>-Emissionen der unterschiedlichen Primärenergieträger berechnet.

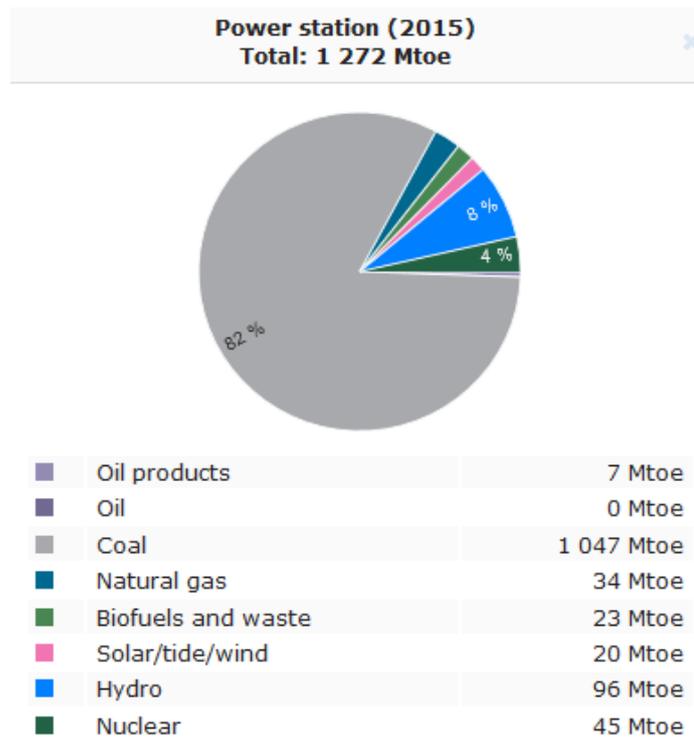


Abbildung 16: Strommix der Republik China 2015<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> IEA International Energy Agency, Sankey, Balance 2016, <https://www.iea.org/Sankey/>

## Berechnung:

China	GWh	kWh	Share	gCO <sub>2</sub> e/ kWh	Calculated Emissions MtCO <sub>2</sub>	gCO <sub>2</sub> /kWh	gewich. Share gCO <sub>2</sub> /kWh	E-Auto gCO <sub>2</sub> /100 km
Oil products	81.395,35	8,14E+10	0,55%	866	70,49	11,98	4,77	64,81
Solar / Wind / Tide	232.558,14	2,33E+11	1,57%	33	7,67	1,30	0,52	7,06
Coal	12.174.418,60	1,22E+13	82,31%	820	9.983,02	1.696,72	674,95	9.179,36
Biomass	267.441,86	2,67E+11	1,81%	740	197,91	33,64	13,38	181,97
Natural Gas	395.348,84	3,95E+11	2,67%	490	193,72	32,92	13,10	178,13
Hydro	1.116.279,07	1,12E+12	7,55%	24	26,79	4,55	1,81	24,63
Nuclear	523.255,81	5,23E+11	3,54%	12	6,28	1,07	0,42	5,77
<b>Total</b>	<b>14.790.698</b>	<b>5,88372E+12</b>						
<b>Electrical OUTPUT</b>	<b>5.883.721</b>						<b>708,951258</b>	<b>9.641,74</b>

Tabelle 17: Berechnung der gCO<sub>2</sub>/100km für verschiedene Energieträger (China) 2015<sup>43</sup>

Wie in Europa wird der durchschnittliche Verbrauch eines Benzinfahrzeuges herangezogen um zu errechnen, wie groß der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Elektrofahrzeugen ist. Bei der Verbrennung von 1 Liter Benzin werden 2,33 kg CO<sub>2</sub> freigesetzt. Bei einem durchschnittlichen Verbrauchs eines PKWs von 6,9l/100km ergeben sich 15,87 kg CO<sub>2</sub> Verbrauch auf 100km.

Verbrauch \* gCO<sub>2</sub>e der einzelnen Stromarten, gewichtet nach ihren Anteilen an der Stromerzeugung in China ergibt multipliziert mit den durchschnittlichen Verbrauch eines Elektrofahrzeuges von 13,6 kWh/100km den gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines Elektroautos auf 100km.

$$13,6 \text{ kWh}/100\text{km} * 708,95 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = 9.641,74 \text{ gCO}_2/100\text{km} \quad (6)$$

<sup>43</sup> Onitsch Lucas, *internes Dokument, Berechnung Strommix, Graz, 2017.*

Werden nur erneuerbare Energien für diese Berechnung herangezogen reduziert sich der Verbrauch.

13,6 kWh/100km \* gCO<sub>2</sub>e der erneuerbaren Energieträger, gewichtet nach ihren Anteilen an der erneuerbaren Stromerzeugung in China.

$$13,6 \text{ kWh/100km} * 15,71 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = 213,67 \text{ gCO}_2/100\text{km} \quad (7)$$

Im Unterschied zu einem normalen Verbrennungsmotor können Elektrofahrzeuge mit Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wesentliche Reduktionen der CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielen, da der durchschnittliche Verbrauch von Verbrennern schon im Allgemeinen höher ist, als es in Europa der Fall ist.<sup>44</sup>

### **Ausblick**

Ein Drittel der neuen Wind- und Photovoltaikanlagen der Welt sind in China installiert, da China selbst einen enorm hohen Wert auf den Bau von Elektrofahrzeugen legt. China wird in den nächsten Jahren die Vereinigten Staaten von Amerika als den größten Konsumenten ablösen. Da die Vorhersage der produzierten Elektrofahrzeuge in China - jedes vierte Auto ein Elektroauto bis 2040 - bedeutet, dass China nicht mehr die führende Kraft im Ölverbrauch sein wird aber immer noch die Kohlemacht bleibt.

## **3.3 Vereinigte Staaten von Amerika**

### **Strommix**

Unter Barack Obama wurde 2009 die Kohleproduktion der Vereinigten Staaten von Amerika durch das Umweltabkommen drastisch gesenkt. Mittlerweile ist die

---

<sup>44</sup> Martin Randelhoff, *Elektroautos können den CO<sub>2</sub>-Ausstoß erhöhen, Zukunft Mobilität*, o.O., 2011, <https://www.zukunft-mobilitaet.net/7102/analyse/elektroautos-co2-wahrer-ausstoss-stromerzeugung>.

Energiegewinnung durch Kohlekraftwerke auf 30% geschrumpft, da es durch Investitionen zur Förderung erneuerbaren Energien gekommen ist.

Dies erscheint als Umbruch in der Energiegewinnung der USA um aus ökologischer Sicht und in Hinsicht auf den Klimawandel weitere Schritte nach vorne zu tätigen. 2015 wurde ein Zuwachs von 16% der erneuerbaren Energiequellen bestätigt, die sich hauptsächlich auf Windenergie, Solarenergie, Photovoltaikanlagen auf Wohngebäuden beschränken.

Diese rasanten Änderungen im Energiebereich sind auf eine rapide Kostensenkung der Energie zurückzuführen. Außerdem ist in den Vereinigten Staaten von Amerika ohnehin ein gewaltiges Potential an erneuerbaren Energien vorhanden. Laut Untersuchungen des NREL (National Renewable Energy Laboratory) kann durch großflächige Photovoltaikanlagen Energie erzeugt werden, die zirka 75-mal so hoch wäre als der momentane Gesamtverbrauch an Strom der USA.

Auch die einzelnen Staaten haben aufgrund politischer Auflagen (CPP – Clean Power Plan) die Förderung der erneuerbaren Energien wahrgenommen und setzen sich in diesem Bereich ein, um bestimmte Anteile am Strommix von erneuerbaren Energieträgern zu generieren und die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen voranzutreiben. Deshalb musste jeder Staat detaillierte Aufzeichnungen der zu erreichenden Ziele vorlegen. Mit diesem Unterfangen wurden das Energiemanagement und die Flexibilität der Branche als Fokus der Energiewirtschaft ernannt.<sup>45</sup>

---

<sup>45</sup> *Energiezukunft, Die amerikanische Energiewende nimmt Fahrt auf, o.O., 2016, <https://www.energiezukunft.eu/politik/die-amerikanische-energiewende-nimmt-fahrt-auf-gn104032/>.*

## CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der einzelnen Energieträger wird wie in den vorhergehenden Märkten berechnet.

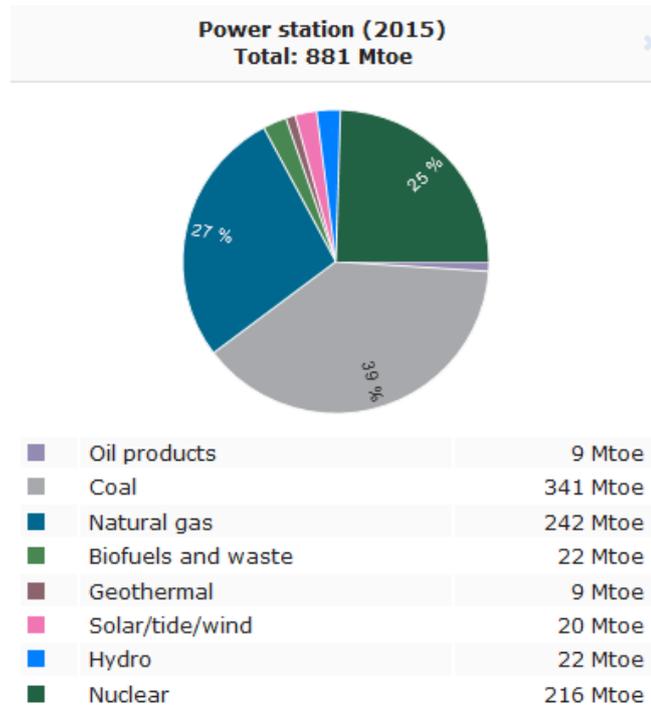


Abbildung 17: Strommix der USA 2015<sup>46</sup>

---

<sup>46</sup> IEA International Energy Agency, Sankey, Balance 2016, <https://www.iea.org/Sankey/>.

## Berechnung

USA	GWh	kWh	Share	gCO <sub>2</sub> e/ kWh	Calculated Emissions MtCO <sub>2</sub>	gCO <sub>2</sub> /kWh	gewich. Share gCO <sub>2</sub> /kWh	E-Auto gCO <sub>2</sub> /100 km
Oil products	104651,1628	1,05E+11	1,02%	866	90,63	21,06	8,85	120,32
Solar / Wind / Tide	337209,3023	3,37E+11	3,29%	33	11,13	2,59	1,09	14,77
Coal	3965116,279	3,97E+12	38,71%	820	3.251,40	755,73	317,39	4.316,49
Biomass	255813,9535	2,56E+11	2,50%	740	189,30	44,00	18,48	251,31
Natural Gas	2813953,488	2,81E+12	27,47%	490	1.378,84	320,49	134,60	1.830,52
Hydro	255813,9535	2,56E+11	2,50%	24	6,14	1,43	0,60	8,15
Nuclear	2511627,907	2,51E+12	24,52%	12	30,14	7,01	2,94	40,01
<b>Total</b>	<b>10.244.186</b>	<b>4,30233E+12</b>						
Electrical OUTPUT	<b>4.302.326</b>						<b>483,94</b>	<b>6.581,58</b>

Tabelle 18: Berechnung der gCO<sub>2</sub>/kWh für verschiedene Energieträger (USA) 2015<sup>47</sup>

Verbrauch \* gCO<sub>2</sub>e der einzelnen Stromarten, gewichtet nach ihren Anteilen an der Stromerzeugung in den USA ergibt multipliziert mit den durchschnittlichen Verbrauch eines Elektrofahrzeuges von 13,6 kWh/100km den gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines Elektroautos auf 100km.

$$13,6 \text{ kWh}/100\text{km} * 483,94 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = 6.581,58 \text{ gCO}_2/100\text{km} \quad (8)$$

Werden nur erneuerbare Energien für diese Berechnung herangezogen reduziert sich der Verbrauch drastisch.

<sup>47</sup> Onitsch Lucas, *internes Dokument, Berechnung Strommix, Graz, 2017.*

13,6 kWh/100km \* gCO<sub>2</sub>e der erneuerbaren Energieträger, gewichtet nach ihren Anteilen an der erneuerbaren Stromerzeugung in den Vereinigten Staaten von Amerika.

$$13,6 \text{ kWh/100km} * 20,16 \text{ gCO}_2/\text{kWh} = 274,24 \text{ gCO}_2/100\text{km} \quad (9)$$

Zu erkennen ist, dass durch die erneuerbaren Energien die CO<sub>2</sub>-Emissionen stark abgeschwächt werden.

### **Ausblick**

Die USA werden in den 2020er der weltweit größte Exporteur für flüssiges Naturgas (LNG – liquified natural Gas) und ein paar Jahre später ein noch größerer Exporteur für Öl sein. In 2040 wird ungefähr 70% des weltweiten Öl-Export nach Asien transferiert. Die Produktion von Elektrofahrzeugen, lässt den Ölpreis früher oder später sinken, dass den USA als Ölmacht nicht in die Hände spielt.

Aufgrund des Abkommens des Kyoto-Protokolls der Vereinten Nationen wird weltweit gezielt auf die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen eingegangen. Wegen der globalen Maßnahmen zur Senkung der Emissionen und Treibhausgase werden große industrielle Bereiche, wie die Umstellung auf erneuerbare Energien oder die Automobilindustrie, zu Maßnahmen gezwungen, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß radikal zu minimieren.

### **3.4 Ladeinfrastrukturausbau**

Ein wichtiger Baustein in dieser Konstellation wird die Elektromobilität als wirtschaftliche Komponente sein die, wie andere elektrische Verbraucher, aus dem Netz Energie entnehmen muss und eine bestimmte Infrastruktur benötigt. Hier werden verschiedene Ladetechnologien wie das konduktive Laden und das stationäre und mobile induktive Laden entwickelt um Technologien der Elektrifizierung weiter zu fördern.

Sind diese infrastrukturellen Möglichkeiten nicht gegeben, werden perspektivisch auch Wasserstoff-Infrastrukturen, wie Brennstoffzellen als Energiespeicher in Frage kommen.<sup>48</sup>

Neben der Einführung der Elektrifizierung des Verkehrsektors, stehen erforderliche ökologische als auch nutzerbezogenen Faktoren, wie die Ladeinfrastruktur in den einzelnen Einsatzgebieten im Fokus. Die Strukturierung und die Überlegungen der Ladeinfrastrukturen und deren Einfluss auf das Potential der Elektrofahrzeuge werden wirtschaftlich rege diskutiert. Durch den technologischen Fortschritt, den die Automobilindustrie in der Forschung praktiziert, stehen einige Ladetechniken für elektrifizierte Fahrzeuge zur Verfügung.

Die aktuellen Tendenzen der Ladeinfrastrukturen streben danach die konduktive Ladetechnik zu fördern und auszubauen, da stationäre Ladetechniken sich weiterhin noch in der Entwicklungsphase befinden.

Im Gegensatz zum induktiven Laden, stationär oder mobil, wird hierbei die Batterie (Energiespeicher) durch eine Verbindung eines Ladekabels zu einer Ladestation mit Energie versorgt.

Beim stationär induktiven Laden wiederum handelt es sich um ein berührungsloses Laden des Energiespeichers, während der Standzeit eines Fahrzeuges. Diese Technik würde auch mithilfe einer unterirdischen Spule in der Fahrbahn und einer weiteren Spule im Fahrzeug im mobilen Zustand funktionieren. Basierend auf dem Induktionsgesetz müsste der Energiespeicher nicht mehr geladen werden, stattdessen würde dieser rein der Kraftübertragung dienen.

---

<sup>48</sup> VDMA Power Systems, Power Expertenausblick, Strommix in der EU27, Entwicklung der Stromerzeugung in Europa 2007 bis 2030, Deutschland, o.J., [www.vdma.org/powersystems](http://www.vdma.org/powersystems).

Ladetechniken dieser Art haben gegenüber dem konduktiven Laden massive Probleme im Wirkungsgrad und im Falle des mobilen Ladens auch in der Komplexität. Trotzdem findet diese Technik des Ladens in der Automobilindustrie Anklang bei manchen Unternehmen, die in diese Richtung weiterhin Forschungen betreiben und sich im Visionsstadium befinden.

Idealerweise würden sich Batteriewechselsysteme anbieten, an denen leere Energieträger durch neue geladene Batterien ersetzt und umgetauscht werden können. Diese Strategie wurde aber unterbunden, da dies zu einer Standardisierung der Batterien führen würde, sowie zu hohen Investitionskosten. Weiters würde sich bei den Automobil- und den Batterieherstellern der Gestaltungsspielraum zur Entwicklung verflüchtigen und der Wettbewerb bezüglich der Batterie verloren gehen.<sup>49</sup>

Unter den Bedingungen des globalen Ausbaus der Elektrifizierung in der Automobilindustrie werden zusätzlich auch die Ressourcen für die Herstellung der Batterien weitgehend ins Blickfeld genommen.

### **3.5 Lithium-Ionen Batterien**

Dadurch, dass die Batterie als Herzstück des elektrifizierten Fahrzeuges gilt, wird auch dessen Leistungsfähigkeit sowie Reichweite gezielt erforscht und Hochleistungsbatterien entwickelt. Lithium-Ionen Technologien werden für den Einsatz in Fahrzeugen häufig herangezogen, da diese eine bessere Energiedichte und ebenso eine verbesserte Leistungsdichte aufweisen als andere Energieträger. Lithium-Ionen Batterien bestehen aus mehr als nur einfachem Lithium.

---

<sup>49</sup> Brunnert, Stefan, *Technische Universität München Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik Modellierung des Technisch-Wirtschaftlichen Einsatz-Potentials von Elektrofahrzeugen in Großstädten*, 2012.

Normalerweise wird eine Kathode verwendet, die aus einem Lithium–Nickel–Magnesium–Kobalt–Oxid-Puder besteht, während die Anode aus Graphit gefertigt wird. Minen, in welchen diese Materialien abgebaut werden, sind mit Stand 2015 auf 32 Länder weltweit beschränkt. Auffallend dabei ist, dass nur in zwei Ländern alle Materialien gewonnen werden.

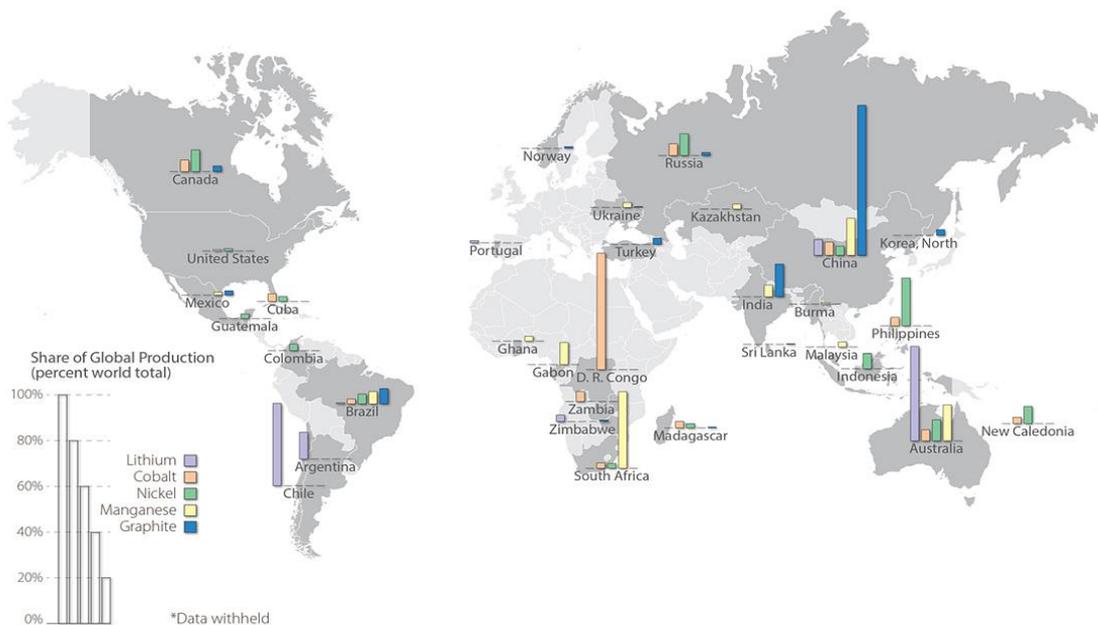


Abbildung 18: Globale Verteilung der Minen zum Abbau der Materialien<sup>50</sup>

Der Abbau der einzelnen Materialien verteilt sich über die ganze Welt, wie in der oberen Abbildung 18 ersichtlich ist. Der Hauptanteil des abgebauten Kobalts, bis 55% in 2019, stammt aus der Republik Kongo. Kobalt ist das teuerste Material, welches zur Herstellung benötigt wird. China gab bekannt, dass 66% des natürlich vorkommenden Graphits weltweit im eigenen Land abgebaut werden. Lithium wird hauptsächlich in Australien und Chile abgebaut, sowie 34% des Magnesiums in Südafrika. Tesla verarbeitet in einem Tesla Model S (85kWh) ungefähr

<sup>50</sup> Emma Elgquist, CEMAC, Lithium Ion Battery Key Elements – More Than Just Lithium, o.O., 2016, <https://www.manufacturingcleanenergy.org/blog-20160413.html>

54kg Grafit und ungefähr 63kg an Lithium. Dadurch werden auch Abbau und der Preis der Rohstoffe ansteigen.<sup>51</sup>

Diese Elemente werden maßgeblich für die Produktion von Automobilbatterien, für elektrifizierte Fahrzeuge, benötigt und werden durch die voraussichtliche Batterieentwicklung auch nicht verschwinden. Aufgrund der momentanen Trends und des Einflusses der steigenden Verkaufszahlen der elektrifizierten Fahrzeuge, wurde eine grobe Bestandsaufnahme der Materialien für Batteriehersteller berechnet. Gegenwärtige Reserven der Elemente verändern sich weiter, werden ausgeschöpft, aber ebenso werden Sedimentationen der Elemente erneut entdeckt. Aktuell werden die in Betrieb stehenden Minen auf 3% der Reserven geschätzt.<sup>52</sup> Lithium-Ionen Batterien sind die am häufigsten vorkommenden Batterietypen in der Automobilindustrie. Neben den Lithium-Ionen Batterien gibt es aber auch andere Batterietechnologien. In folgender Abbildung 19 ist die prozentuelle Aufteilung der Technologien in der Automobilindustrie illustriert.

---

<sup>51</sup> Lambert F, Electrek, Breakdown of raw materials in batteries and possible bottlenecks, o.O., 2016.

<sup>52</sup> Emma Elgquist, CEMAC, Lithium Ion Battery Key Elements – More Than Just Lithium, o.O., 2016, <https://www.manufacturingcleanenergy.org/blog-20160413.html>.

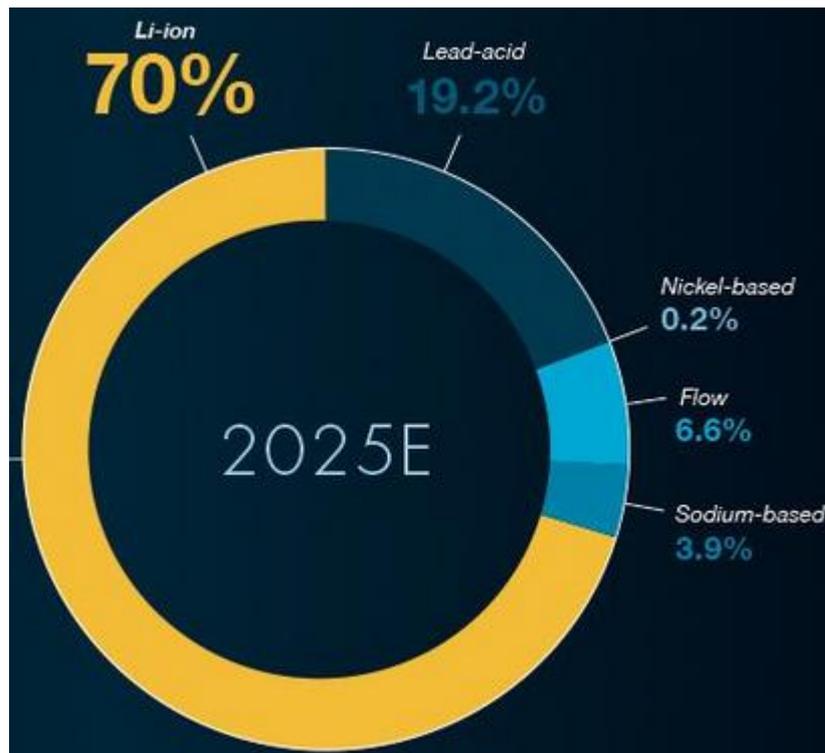


Abbildung 19: Aufteilung der Batterietechnologien<sup>53</sup>

Es ist ersichtlich, dass die Lithium-Ionen Batterien einen Marktanteil von 70% erreichen wobei Bleiakkumulatoren nur 19,2% erlangen. Natürlich ist Lithium nicht das einzige Material, dass in Lithium-Ionen Zellen verwendet wird. Die Anzahl der verschiedenen Kathodentypen und Batterietypen findet sich wie vorher gesehen in den verschiedenen Materialien wieder die für die Herstellung der Batterien ausschlaggebend sind. Anhand dieser Fakten können die Hersteller der Lithium-Ionen-Batterien, einen wesentlichen Beitrag zum Übergang zu einer sauberen Energiewirtschaft leisten und die Effizienz der Elektrifizierung von Fahrzeugen und deren Technologien vorantreiben.<sup>54</sup>

<sup>53</sup> Fred Lambert, *Electrek, Breakdown of raw materials in Tesla's batteries and possible bottlenecks*, o.O., 2016.

<sup>54</sup> Emma Elgquist, CEMAC, *Lithium Ion Battery Key Elements – More Than Just Lithium*, o.O., 2016, <https://www.manufacturingcleanenergy.org/blog-20160413.html>

In der heutigen Zeit werden zum Großteil Lithium-Ionen Batterien in den elektrischen Fahrzeugen verbaut, da die Leistungsdichte der Batterien sehr hoch ist. Diese beträgt im Durchschnitt 400 W/kg, und die mit Kosten belaufen sich auf ca. 600\$/kWh. Bis 2020 soll diese Leistungsdichte auf 2000 W/kg anwachsen, dafür aber der Preis auf 125\$/kWh sinken.<sup>55</sup> Nichtsdestotrotz werden die Reichweiten weiterhin nicht mit fossilen Kraftstoffen vergleichbar sein. Aus diesem Grund wird in der Forschung an weiteren Technologien wie Lithium-Luft, Lithium-Schwefel und Zink-Luft Technologien getüftelt.

Auch wenn Technologien wie diese Reichweiten der elektrischen Fahrzeuge erhöhen sollten, wird es weiterhin die Barriere der Batteriekosten und der Ladeinfrastruktur geben.<sup>56</sup>

---

<sup>55</sup> Alankus, Orhan B, Technology forecast for electrical vehicle battery technology and future electric vehicle market estimation, advances in automobile engineering, o.O.,2017.

<sup>56</sup> Alankus, Orhan B, Technology forecast for electrical vehicle battery technology and future electric vehicle market estimation, advances in automobile engineering, o.O.,2017.

## 4. Effizienz der Elektrifizierung

Um eine Erneuerung der Gesetzgebung zur Reduktion der Emissionen anzutreiben, ist es notwendig neue elektrische Antriebstechniken zu entwickeln und einzusetzen. Aufgrund der Forderung, dass der weltweit durchschnittliche CO<sub>2</sub> Flottenverbrauch im Verkehrsbereich gesenkt werden muss, wurden neben den konventionellen Elektrofahrzeugen auch Hybridfahrzeuge entwickelt. Diese unterscheiden sich wiederum voneinander und werden in Mild-Hybrid, Plug-In Hybrid und Voll-Hybrid aufgeteilt.<sup>57</sup> Diese werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

### 4.1 Mild-Hybrid Electric Vehicle (MHEV)

#### Eigenschaften

Mild-Hybride (MHEV – Mild Hybrid Electric Vehicle) sind Fahrzeuge, die einen elektrischen Motor und einen konventionellen Verbrennungsmotor gemeinsam verwenden können, um den Antrieb mit Strom zu versorgen bzw. zu unterstützen. Die Fähigkeit, die Last auf den Elektromotor und den Verbrennungsmotor aufzuteilen, ist der Technologieschritt, der neben den Start / Stopp und den regenerativen Bremseigenschaften als Mild - Hybrid bezeichnet wird.

Diese Fahrzeuge müssen mit einem ausreichend großen Elektromotor und Energiespeicher (Batterie) bestückt sein, wobei der Trend zu 48V Systemen geht, um das Fahrzeug während der Fahrt elektronisch zu unterstützen.<sup>58</sup>

Bei dieser Technologie wird ein sehr kleiner leistungsschwacher Elektromotor, in der Größenordnung von 5 kW – 10 kW, eingesetzt und dementsprechend die

---

<sup>57</sup> Winkler, M. Hoffmann, S. Unterberger, B. Park, S.G. Weissbäck, M, internes Dokument, AVL List, Holistic Approach on 48V Hybridization, Kurzfassung, Graz, 2015.

<sup>58</sup>AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

Batterie im Niederspannungsbereich ausgelegt. Der Elektromotor dient hauptsächlich zur Rückgewinnung der Bremsenergie, zum Laden der Batterie und zur kurzzeitigen Leistungserhöhung bei Spitzenlasten.

## System

Da der Verbrennungsmotor durchgehend in Betrieb sein muss, ist die Effizienz des Kraftstoffverbrauches um einiges geringer als bei HEVs oder PHEVs.<sup>59</sup> Mit Hilfe von Motoren Downsizing und Downspeeding werden die Getriebeübersetzungen hinausgezögert, um den Ablaufplan der Gangschaltung zu verändern und zu optimieren, wodurch diese Entwicklungsgrade des Mild-Hybriden verbessert werden

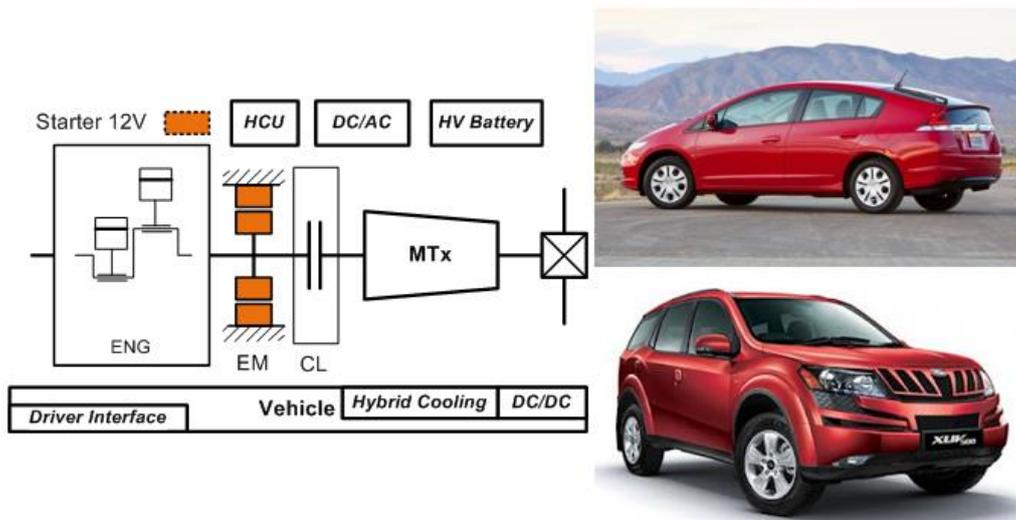


Abbildung 20: Mild-Hybrid Lösungssystem – Parallel Hybrid Lösung – ISG und deren Fahrzeugbeispiele<sup>60</sup>

<sup>59</sup> Dr. Rüdiger Paschotta, RP-Energie-Lexikon - Brennstoffzelle, Wasserstoff, Methan, Methanol, Brennstoffe, Niedertemperatur, Hochtemperatur, Anwendungen, Elektroauto, o.O., 2019, <https://www.energie-lexikon.info/brennstoffzelle.html>.

<sup>60</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

Der Verbrennungsmotor und der Elektromotor sind in dieser Konfiguration mechanisch verbunden und werden ebenfalls in Mild-Hybridsysteme eingegliedert, da dieselben Eigenschaften mit zusätzlichen Funktionen und Eigenschaften des elektrischen Kriechens bezogen werden wie bei Start – Stopp - Systemen. Einige weitere Erkenntnisse über die Technologielösungen des Mild-Hybrides können anhand der folgenden Tabelle festgestellt werden. Hierbei werden Eigenschaften dieser elektrifizierten Technologie gegenübergestellt, um Unterschiede und Vergleiche zu anderen Elektrifizierungsgraden visualisieren zu können.

<b>Start/Stopp</b>	Ja
<b>Elektrischer Schub (Boost)</b>	Ja
<b>Energie Rückgewinnung</b>	JA
<b>Rein elektrisches Kriechen (Creep)</b>	Teilweise
<b>Rein elektrisches Fahren</b>	Nein
<b>Fahren &amp; Laden</b>	Teilweise
<b>Plug-In</b>	Nein
<b>Motor Downsizing</b>	Ja
<b>Motor Downspeeding</b>	Ja

*Tabelle 19: Darstellung der Eigenschaften eines Mild-Hybrid Fahrzeuges<sup>61</sup>*

---

<sup>61</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

## 4.2 Voll-Hybrid Electric Vehicle (HEV)

### Eigenschaften

Fahrzeuge, die ein rein elektrisches Fahren durch den Elektromotor und unterstützt durch die Batterie, aufweisen, jedoch nicht extern geladen werden können, werden Voll-Hybride (HEV – Hybrid Electric Vehicle) genannt. Typischerweise wird beim Start, sowie bei niedrigen Geschwindigkeiten, das Personenkraftfahrzeug durch den Elektromotor angetrieben, der in höherem Tempo vom Verbrennungsmotor abgelöst wird.<sup>62</sup>

Dieses Konzept inkludiert alle möglichen Vorteile eines Hybridsystems, um die Effizienz, durch Rekuperation die Batterie aufzuladen, oder durch Unterstützung die Beschleunigung zu erhöhen. In städtischen Gebieten erweist sich diese Technologie als großer Vorteil im Stop-and-Go-Verkehr. Im Vergleich zu den Mild-Hybriden wird das Antriebsnetz im Hochspannungsbereich (bis zu 800 V) betrieben.

Nachteile dieser Technologien bestehen darin, dass einerseits der technische Aufwand enorm hoch ist, andererseits das Fahrzeuggewicht durch die schwere Batterie ansteigt und somit auch die Energieeffizienz gesenkt wird. Jedoch werden bei ausgereiften Voll-Hybrid-Technologien, im Zusammenhang mit der CO<sub>2</sub>-Effizienz, Ziele erreicht, die unter dem durchschnittlichen Flottenverbrauchszielwert bis 2020 liegen.<sup>63</sup>

---

<sup>62</sup>AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012..

<sup>63</sup> Dr. Rüdiger Paschotta, RP-Energie-Lexikon - Brennstoffzelle, Wasserstoff, Methan, Methanol, Brennstoffe, Niedertemperatur, Hochtemperatur, Anwendungen, Elektroauto, o.O., 2019, <https://www.energie-lexikon.info/brennstoffzelle.html>.

## System

Durch die Weiterentwicklung der Voll-Hybride entstanden unterschiedliche Topologien, die sich durch die Position und Einbauweise des Elektromotors ins Fahrzeug und der elektrifizierten Achse unterscheiden. Einbauweisen und elektrisch unterstützte Achsen können auch in Verschmelzung mit anderen Topologien auftreten und viele unterschiedliche Variationen von Hybridsystemen ermöglichen. Zur Veranschaulichung der Topologien sind folgend anhand bestehender Beispiele, Topologien und Einbauweisen in Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt.

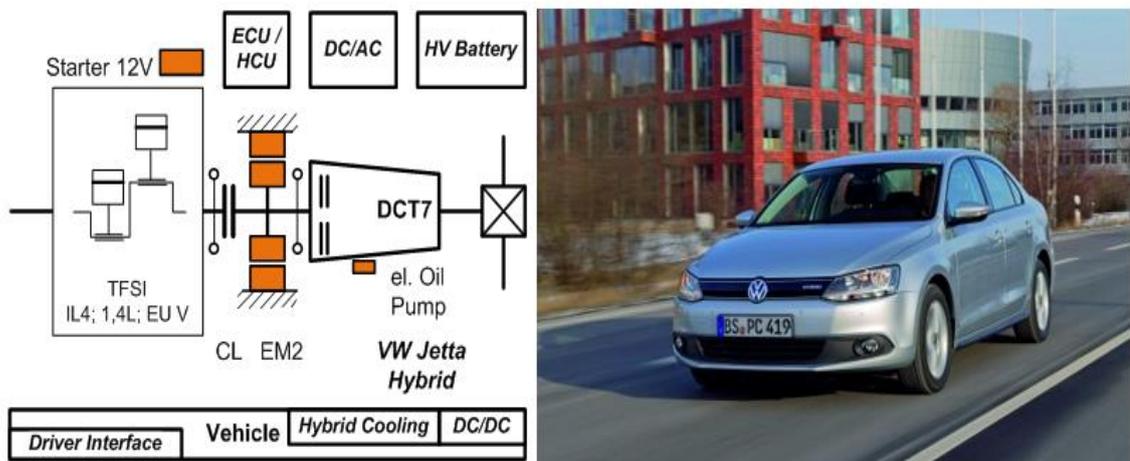


Abbildung 21: Darstellung eines P2 Hybriden<sup>64</sup> (Quelle: Volkswagen)

<sup>64</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

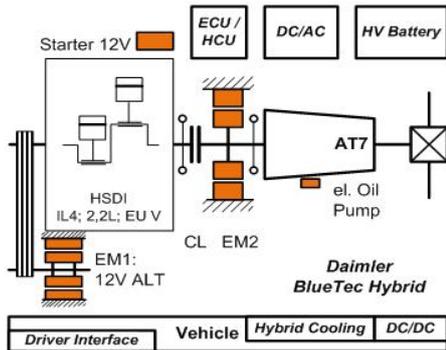
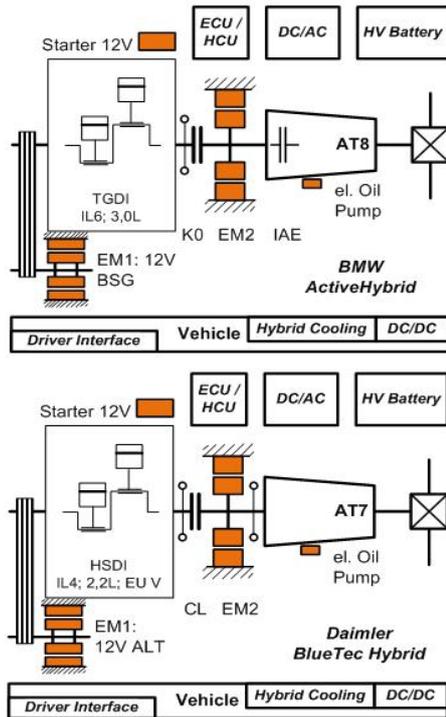


Abbildung 22: Darstellung der P0/2 Hybridtechnologie<sup>65</sup> (Quelle: BMW/Mercedes)

Bei Topologien wie in den Abbildungen 21 und 22 dargestellt, wird der Elektromotor durch eine direkte mechanische Verbindung mit der Getriebeeingangswelle gekoppelt und wird sowohl bei Voll-Hybriden als auch bei Plug-In Hybriden eingesetzt.

<sup>65</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

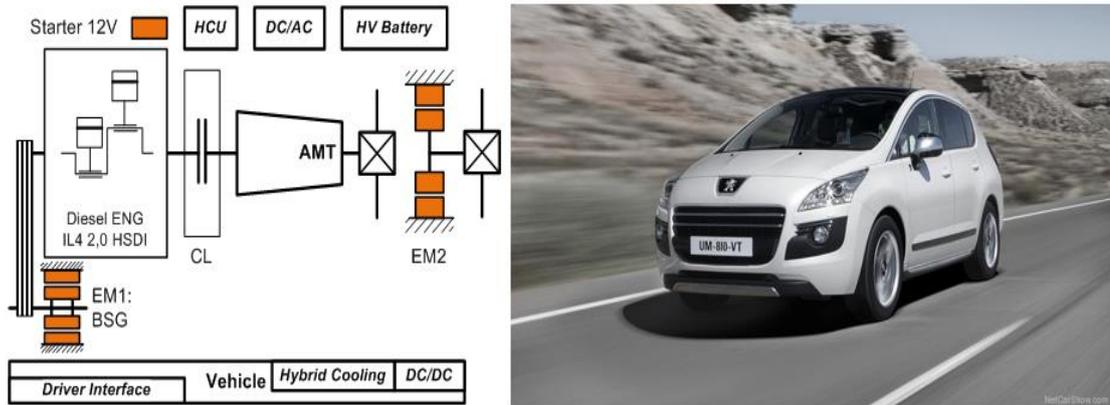


Abbildung 23: Darstellung eines P0/4 Hybridfahrzeuges<sup>66</sup> (Quelle: Peugeot)

Abbildung 23 zeigt eine Hybridisierungsmethode, die den Elektromotor mit einer hinten angetriebenen Achse des Fahrzeuges verbindet und wird ebenfalls in PHEVs wie HEVs integriert. Der Energiefluss der Parallel Hybrid Fahrzeuge (P0 – P4) erfolgt direkt vom Verbrennungsmotor zu den Rädern und wird von einer Assistenz für die Dynamik und maximale Drehzahl unterstützt.

---

<sup>66</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

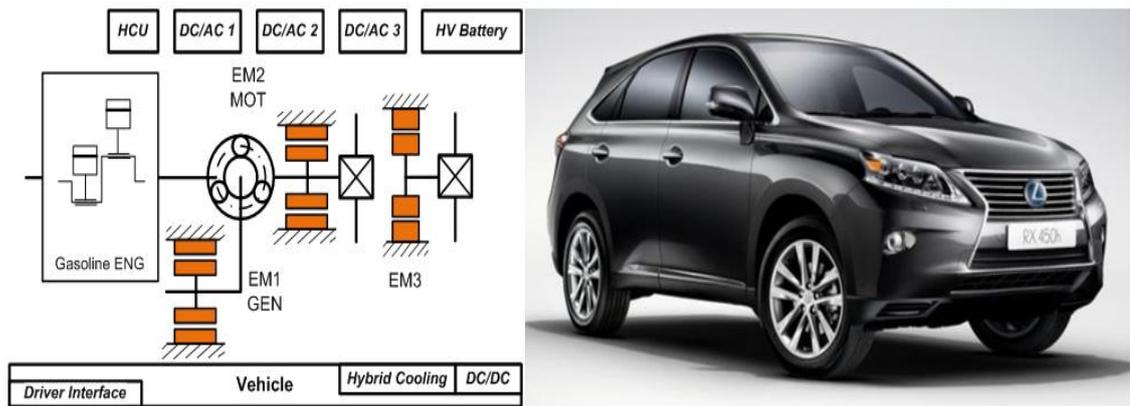


Abbildung 24: Darstellung Power Split Technologie PS<sup>67</sup> (Quelle: Lexus)

Power Split Hybride (PS) haben eine komplexe Leistungsverteilung und Lastpunktverschiebung und die Möglichkeit, diese mit einem stufenlosen elektrisch unterstützten Getriebe auszustatten, um den Verbrennungsmotor durch Downsizing zu verkleinern und zu optimieren. In folgender Tabelle 20 werden die Eigenschaften vollhybridisierter Fahrzeuge dargestellt, um Vergleiche zu Mild-Hybriden erläutern zu können. Diese Voll-Hybridlösungen jeglicher Art werden ebenfalls in Plug-In-Varianten realisiert.

<b>Start/Stop</b>	Ja
<b>Elektrischer Schub (Boost)</b>	Ja
<b>Energie Rückgewinnung</b>	Ja
<b>Rein elektrisches Kriechen (Creep)</b>	Ja
<b>Rein elektrisches Fahren</b>	Ja
<b>Fahren &amp; Laden</b>	Ja
<b>Plug-In</b>	Ja
<b>Motor Downsizing</b>	Ja
<b>Motor Downspeeding</b>	Ja

Tabelle 20: Darstellung der Eigenschaften von Voll-Hybridfahrzeugen<sup>68</sup>

<sup>67</sup> AVL List, internes Dokument, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List,

<sup>68</sup> AVL List, internes Dokument, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List.

### 4.3 Plug-In-Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

#### Eigenschaften

Diese Technologie (PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle) unterscheidet sich vom Voll-Hybriden darin, dass der Energiespeicher (Batterie) sowohl durch Rückgewinnung der kinetischen Energie als auch über das Stromnetz geladen werden kann. Fahrzeuge dieser Art werden als Mischform zwischen Voll-Hybriden und Elektrofahrzeugen signifiziert.<sup>69</sup>

#### System

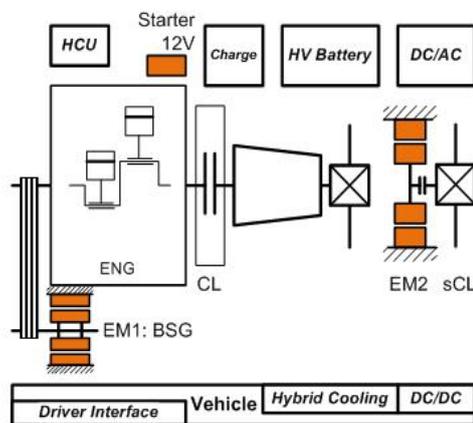


Abbildung 25: Plug-In Hybrid Version P4/0<sup>70</sup> (Quelle: Volvo)

Plug-In-Hybride sind gegenwärtig die kleinste aufzufindende Hybridtechnologie, da diese mit leistungsstärkeren Batterien ausgestattet ist, was sich rückwirkend an dem Preis widerspiegelt. Der energieeffizienten Batterie ist es zu verdanken,

<sup>69</sup> Engel, Tomi, *Plug-In Hybrids, Studie zur Abschätzung des Potentials zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im PKW-Verkehr bei verstärkter Nutzung von elektrischen Antrieben im Zusammenhang mit Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen*, Berlin, 2008.

<sup>70</sup> AVL List, *internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public*, Graz, 2012.

dass diese Technologie eine rein elektrische Reichweite von bis zu 50 km erreichen kann und somit den durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Flottenverbrauch signifikant senkt. Im zähfließenden Stadtverkehr können Kraftstoffverbrauchswerte erzielt werden, die um den Faktor 2 niedriger sind als die eines konventionellen Verbrennungsmotors und den CO<sub>2</sub> Wert bis auf 50 g/km senken (siehe Tabelle 21).<sup>71</sup>

<b>Start/Stopp</b>	Ja
<b>Elektrischer Schub (Boost)</b>	Ja
<b>Energie Rückgewinnung</b>	Ja
<b>Rein elektrisches Kriechen (Creep)</b>	Ja
<b>Rein elektrisches Fahren</b>	Ja
<b>Fahren &amp; Laden</b>	Ja
<b>Plug-In</b>	Ja
<b>Motor Downsizing</b>	Ja
<b>Motor Downspeeding</b>	Ja

*Tabelle 21: Darstellung der Eigenschaften von Plug-In Hybriden<sup>72</sup>*

## 4.4 Range Extender (RE)

### Eigenschaften

Die Hauptaufgabe eines Range Extender (RE) liegt darin, die Reichweite des Elektrofahrzeuges zu erweitern, falls der Fall einer entladenden Batterie auftritt. Diese Hilfsstromeinheit treibt einen elektrischen Generator an, der die Batterie auflädt, die den Elektromotor mit Strom versorgt.<sup>73</sup>

---

<sup>71</sup> Dr. Rüdiger Paschotta, RP-Energie-Lexikon - Brennstoffzelle, Wasserstoff, Methan, Methanol, Brennstoffe, Niedertemperatur, Hochtemperatur, Anwendungen, Elektroauto, o.O., 2019, <https://www.energie-lexikon.info/brennstoffzelle.html>

<sup>72</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

<sup>73</sup> Reichweitenverlängerer – Wikipedia, o.O., 2017, <https://de.wikipedia.org/wiki/Reichweitenverl%C3%A4ngerer>

Durch das zusätzliche Aggregat, das im Fahrzeug verbaut wird, erhöht sich ebenfalls das Leergewicht des Transportmittels und als Folge dessen schnell auch der Energieverbrauch in die Höhe.

## System

Der Grund dafür, dass dieses Hilfsmittel nicht in allen Fahrzeugen verbaut wird, liegt darin, dass mit dieser Technologie ein preislicher Anstieg einhergeht, der sich auf Kunden keinesfalls lukrativ auswirkt. Nichtsdestotrotz werden Automobile mit Range Extendern wie in folgenden Beispiel in Abbildung 26 versehen.<sup>74</sup>

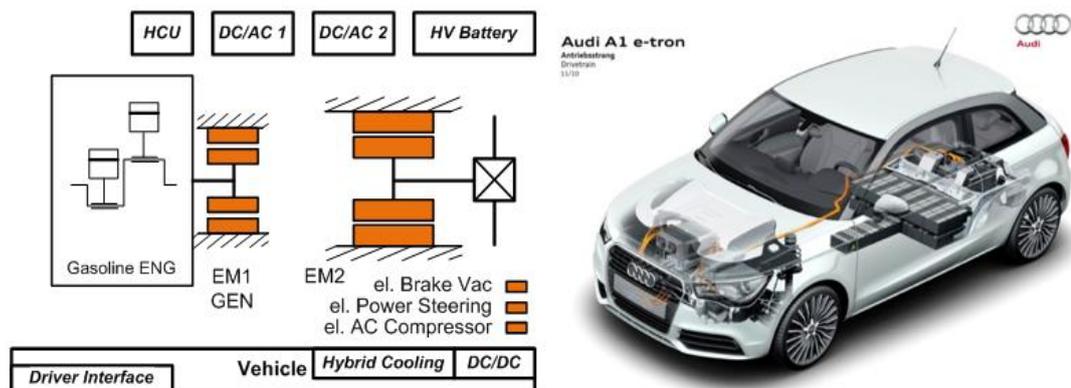


Abbildung 26: Darstellung eines Seriellen Hybridfahrzeuges mit Range Extender<sup>75</sup> (Quelle: Audi)

<sup>74</sup> Dr. Rüdiger Paschotta, RP-Energie-Lexikon - Brennstoffzelle, Wasserstoff, Methan, Methanol, Brennstoffe, Niedertemperatur, Hochtemperatur, Anwendungen, Elektroauto, o.O., 2019, <https://www.energie-lexikon.info/brennstoffzelle.html>.

<sup>75</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

Strategien wie diese erscheinen nur in Hochvoltlösungen und können durch rein elektrisches Fahren, abhängig von Batteriegröße und elektrischer Leistung, erhöhte Reichweiten erzielen. Zusätzlich erfüllt der Range Extender die gleichen Eigenschaften wie der PHEV (siehe Tabelle 22).

<b>Start/Stopp</b>	Ja
<b>Elektrischer Schub (Boost)</b>	Ja
<b>Energie Rückgewinnung</b>	Ja
<b>Rein elektrisches Kriechen (Creep)</b>	Ja
<b>Rein elektrisches Fahren</b>	Ja
<b>Fahren &amp; Laden</b>	Ja
<b>Plug-In</b>	Ja
<b>Motor Downsizing</b>	Ja
<b>Motor Downspeeding</b>	Ja

*Tabelle 22: Darstellung der Eigenschaften eines Seriellen Hybriden mit Range Extender<sup>76</sup>*

## 4.5 Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge (BEV)

### Eigenschaften

Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen global zu senken, sollten die reinen Elektrofahrzeuge (BEV – Battery Electric Vehicle) unter Einfluss erneuerbarer Energieträger betrieben bzw. geladen werden. Elektrofahrzeuge erzeugen selbst keine Schadstoffe, wohingegen konventionelle Kraftwerke zur Gewinnung von Strom, um die Batterien zu laden, wesentlich höhere Emissionswerte aufweisen. Ökostrom zur Betankung der Elektrofahrzeuge, erzeugt durch erneuerbare Energieträger, erzielt dadurch einen hohen Stellenwert in der Gesellschaft als auch in wirtschaftli-

---

<sup>76</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

chen Bereichen. Die zur Verfügung stehende Batterie eines Elektroautos ist maßgeblich daran beteiligt, wie hoch die Reichweite eines Fahrzeuges ausfällt. Extreme Belastungen des Energieträgers, wie schnelleres Fahren oder starke Beschleunigungen, reduzieren die Reichweite des Fahrzeuges schnell.<sup>77</sup>

## System

In Abbildung 27 ist der Systemaufbau eines reinen Elektrofahrzeuges dargestellt.

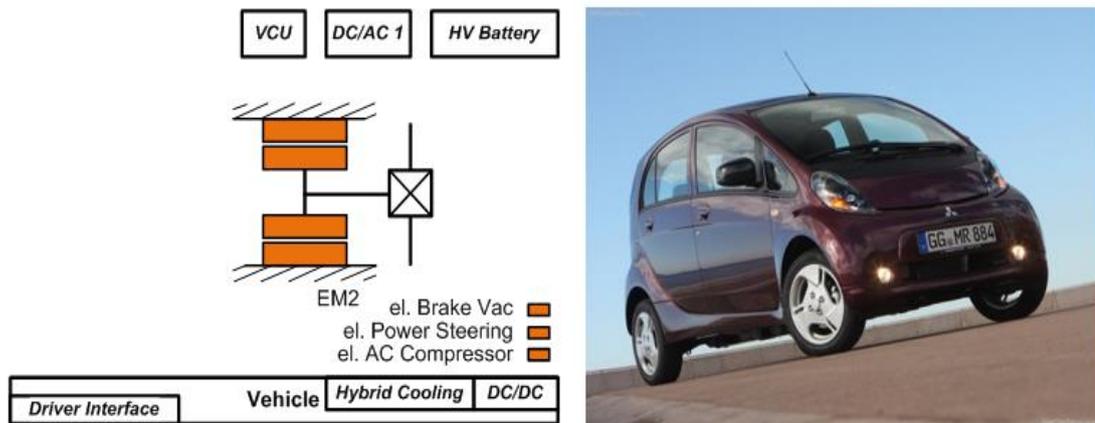


Abbildung 27: Rein elektrischer Systemaufbau EV<sup>78</sup> (Quelle: Mitsubishi)

In diesem Konzept der Automobilbranche steckt eine große entwicklungsreiche Zukunft, in der die Fahrzeuge batterie-, lade- und leistungstechnisch verbessert werden, um im Bereich der Kosten für den Kunden Schritte in die richtige Richtung zu setzen, um Elektrofahrzeuge attraktiver zu machen. Mit Batterien von

<sup>77</sup> Dr. Rüdiger Paschotta, RP-Energie-Lexikon - Brennstoffzelle, Wasserstoff, Methan, Methanol, Brennstoffe, Niedertemperatur, Hochtemperatur, Anwendungen, Elektroauto, o.O., 2019, <https://www.energie-lexikon.info/brennstoffzelle.html>.

<sup>78</sup> AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

höherer Leistung und Energiedichte würden sich die Ladezeiten drastisch senken.<sup>79</sup>

## **4.6 Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)**

### **Eigenschaften**

Brennstoffzellenfahrzeuge sogenannte FCEVs (Fuel Cell Electric Vehicle) sind zumeist mit Niedertemperatur-Brennstoffzellen ausgestattet, deren Brennstoff Wasserstoff ist. Vorteile beziehen diese Fahrzeuge aus dem schadstofflosen Betrieb und dem hohen Wirkungsgrad. Einzig und alleine die hohen Investitionskosten, um Wasserstoffinfrastrukturen zu erschaffen, als auch dessen Transport, würde Schwierigkeiten bereiten.

### **System**

Als alternativer Brennstoff würde Methanol dieses kostenintensive Unterfangen um einiges vereinfachen, stellt jedoch andere Anforderungen an die Brennstoffzellenentwicklung. Dessen ungeachtet schreitet die Einführung der brennstoffzellenbetriebenen Fahrzeuge fort und wird möglicherweise in ferner Zukunft die Elektrofahrzeuge, im Segment der Fahrzeuge mit großer Masse, ablösen. Dies liegt augenscheinlich am Bestreben, dass Brennstoffzellenfahrzeuge über eine höhere Reichweite und Leistungsdichte verfügen.

---

<sup>79</sup> Dr. Rüdiger Paschotta, RP-Energie-Lexikon - Brennstoffzelle, Wasserstoff, Methan, Methanol, Brennstoffe, Niedertemperatur, Hochtemperatur, Anwendungen, Elektroauto, o.O., 2019, <https://www.energie-lexikon.info/brennstoffzelle.html>.

Diese Entwicklung könnte durch die aufwändige Erzeugung von Wasserstoff, durch Elektrolyse, ins Stocken geraten, da diese mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist und damit der Wirkungsgrad des Gesamtsystems sinkt.<sup>80</sup>

Die Beschreibung der einzelnen Systemkomponenten der verschiedenen Hybrid-Technologien wird in folgender Tabelle 23 dargestellt.

<b>Systemkomponenten</b>	<b>Beschreibung</b>
ENG	Engine
EM	Elektromotor
CL	Clutch (Kupplung)
HV Battery	Hochvolt Batterie
DC/AC	Gleich-/Wechselstrom Inverter
HCU	Hybrid Control Unit
DC/DC	Gleichstrom Inverter
MT	Manual Transmission
ECU	Electric Control Unit
el. Oil Pump	elektrische Ölpumpe
DCT	Dual Clutch Transmission
AMT/AT	Automatic Transmission
BSG	Belt Starter Generator
GEN	Generator

*Tabelle 23: Systemkomponenten der angeführten Technologien*

Dank der entstandenen Technologien, der Elektrifizierung der Fahrzeuge und dem weiteren Einsatz, diesen Trend zu stärken, können die durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Flottenziele der Hersteller erreicht und ein großer Schritt in eine saubere Zukunft getan werden. Abbildungen 4, 5, 8, 9 und 11, 12 zeigen den Verlauf und Prognosen der Entwicklung und des Verkaufs von elektrifizierten Fahrzeugen in den Märkten Europa, China und den USA. Daraus ist ersichtlich, dass der Anstieg

---

<sup>80</sup> Dr. Rüdiger Paschotta, RP-Energie-Lexikon - Brennstoffzelle, Wasserstoff, Methan, Methanol, Brennstoffe, Niedertemperatur, Hochtemperatur, Anwendungen, Elektroauto, o.O., 2019, <https://www.energie-lexikon.info/brennstoffzelle.html>.

dieser Technologien bis 2028 sehr rapide nach oben geht, obwohl diese Auswertungen konservative Denkweisen beinhalten. In Abbildung 28 werden die Auswirkungen der Elektrifizierung in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß anhand der Hybridisierung in Europa illustriert.

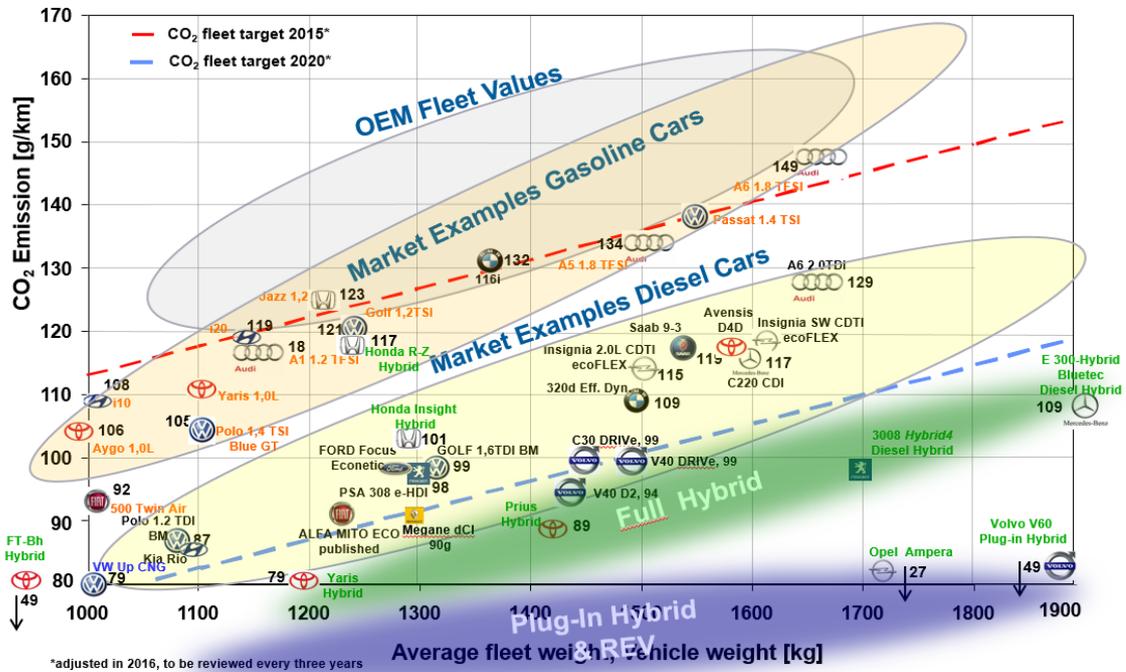


Abbildung 28: Darstellung der CO<sub>2</sub> Flottenzielwerte mit Gegenüberstellung von Verbrennungsmotoren<sup>81</sup>

Zu erkennen sind die CO<sub>2</sub>-Grenzwerte 2015 (rot) und die Grenzwerte 2020 (blau) die als Beschränkung der Emissionen gelten und bei Überschreiten entgeltliche Bestrafungen zur Folge haben.

<sup>81</sup>AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_List, ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012.

## **5. „Tools“ zur Veranschaulichung der Entwicklung**

Infolge von Überlegungen zur Berechnung des CO<sub>2</sub> Flottenverbrauchs und der Neugier, Auswirkungen frühzeitig zu erkennen, wurden Dateien entwickelt um Automobilherstellern aktuelle Befindlichkeiten und Forecasts zur Entwicklung, in Hinsicht auf Elektrifizierung sowie den CO<sub>2</sub> Flottenverbrauch, zugänglich zu machen. Dazu werden Datenbanken verschiedenster Organisationen aufbereitet, um diese so konsistent wie möglich zu halten und dadurch Verzerrungen zu vermeiden. Optimierungen dieser Datenbanken, durch automatischen Datentransfer oder strategische Zusammenführung der „Tools“, wären zusätzliche zukunftsorientierte Schritte für dieses Projekt.

### **5.1 Global Alternative Vehicle Database**

Die Global Alternative Vehicle Database ist eine Datenbank, die aus elektrifizierten, bereits zum Verkauf stehenden aber auch in Zukunft produzierten, Fahrzeugen besteht und zur Visualisierung von Vorhersagen verwendet wird. Die Bestückung wurde mit zielsicheren Recherchen von öffentlich zugänglichen Informationen versehen und bis ins Detail segmentiert, um daraus ein Datenmodell der bestmöglichen Metriken zu generieren, damit eine vertrauenswürdige Vorhersage der Entwicklung getroffen werden kann.

Um übersichtliches Arbeiten und Kalkulieren zu gewährleisten, wurde jedes Fahrzeug einzeln aufgeschlüsselt und in Kategorien unterteilt. Somit entstanden komponentenspezifische Datenblöcke, die unkompliziert und simpel zu bestmöglichen Metriken verrechnet werden konnten.

#### **Kategorien:**

Hierbei werden die jeweiligen Fahrzeuge in Datenblöcke zerlegt, um gezielt informelle Aussichten zu berechnen, die die Situation der Elektrifizierung der Automobilindustrie artgerecht widerspiegeln sollen. Die essenziellsten Datensätze eines Fahrzeuges setzen sich aus den Rubriken Fahrzeug (Vehicle), Transmission, elektrischer Antrieb (Electric – Drive) und Batterie (Battery) zusammen, durch welche ein Fahrzeug Eindeutigkeit in der Datenbank erlangt.

## Template:

Um eine kundenfreundliche Plattform zu errichten, wurde ein Template in Form einer PowerPoint Folie erstellt, dass durch VBA Programmierung im Excel vollständig automatisch bestückt werden kann. Diese Eigenschaft ermöglicht eine schnelle und effiziente Variante, um Fahrzeuge zu visualisieren und einfacher darzustellen. In der folgenden Abbildung wird ein kurzer Ausschnitt aus einem dieser bestückten Templates dargestellt. Jedes in der Datenbank aufgenommene elektrifizierte Fahrzeug kann in dieser Form gespeichert und bearbeitet werden.

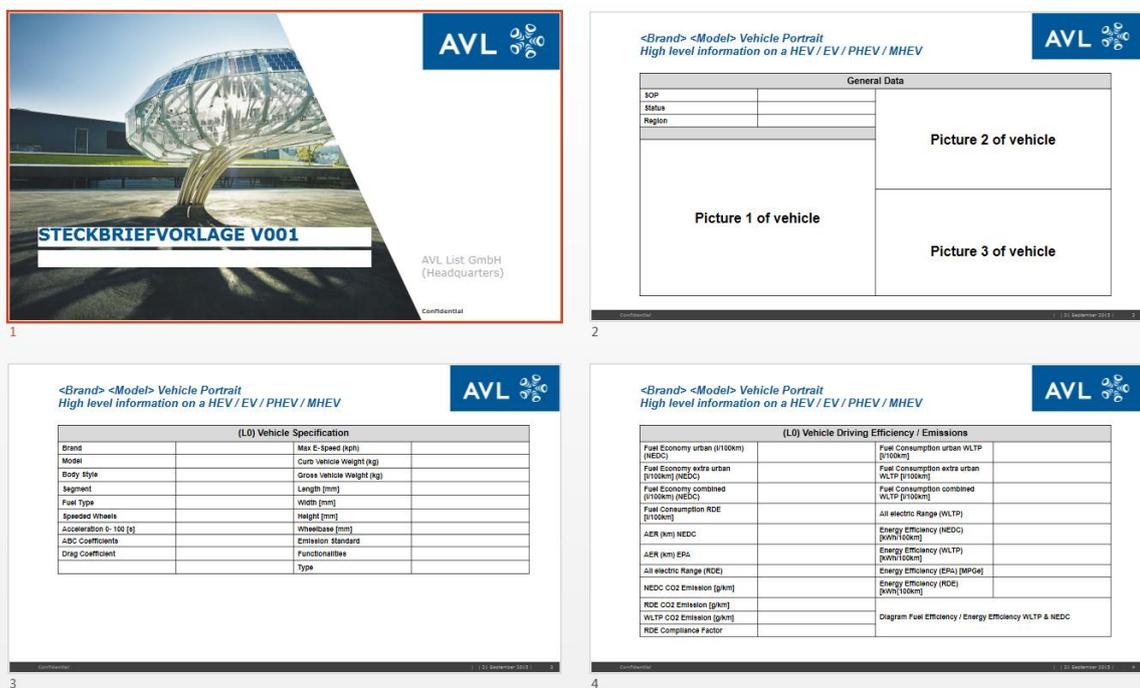


Abbildung 29: Ausschnitt aus dem Template

## Eigenschaften:

In den Dashboards befindet sich ein weiteres Feature des Datensatzes. Durch einen Tastendruck wird das Exportieren der ausgewerteten Diagramme ins PowerPoint vereinfacht. Diese unproblematische Form des Exportes ist auch in der Lage bestehende Präsentationen mit diesen Auswertungen zu befüllen.

Eine weitere Erleichterung, um Variationen von Berechnungen und deren Diagramme zu erhalten, sind Filtersetzungen der Pivot Tabellen an den Dashboards. Durch die Auswahl der Filtersetzungen können gewünschte Veränderungen der Illustrationen aufbereitet werden, um gezielter auf Probleme oder Trends hinzuweisen.

## **5.2 Berechnung und Darstellung:**

Umwandlungen mathematischer Funktionen in einzelne Werte, die als Maßzahlen abgebildet werden können werden Metriken genannt.<sup>82</sup>

Mithilfe von Pivot Tabellen werden die einzelnen Metriken in den verschiedenen Rubriken berechnet, um Vereinfachungen zu erlangen. Die Voraussetzung für diese Simplifizierung ist das detaillierte Auflösen der Datenbank in ihre einzelnen Bestandteile.

### **Allgemeine Daten (General Data):**

Um Einblicke in die verschiedenen Verkaufsmärkten zu gewährleisten, werden in diesem Bereich des Tools Zahlen veröffentlicht, die den Einstieg in den Markt veranschaulichen, aber es liegen auch elektrifizierte Fahrzeuge vor die unter Entwicklung stehen und als Konzeptfahrzeuge existieren. In diesem Bereich wird die Anzahl der elektrifizierten Fahrzeuge in Markt und Status unterteilt und dargestellt, um einen kleinen Einblick zu gewinnen, welche Masse an Fahrzeugen den ersten Schritt bereits geschafft haben, und welche Fahrzeuge voraussichtlich in Zukunft erscheinen werden. Diese Aufnahmen basieren auf den Einträgen und ausführlichen Recherchen und Einträgen der Datenbank.

---

<sup>82</sup> Harry M. Sneed, Richard Seidl, and Manfred Baumgartner, *Software in Zahlen die Vermessung von Applikationen* (Hanser Fachbuch Leseprobe), o.O., 2010.

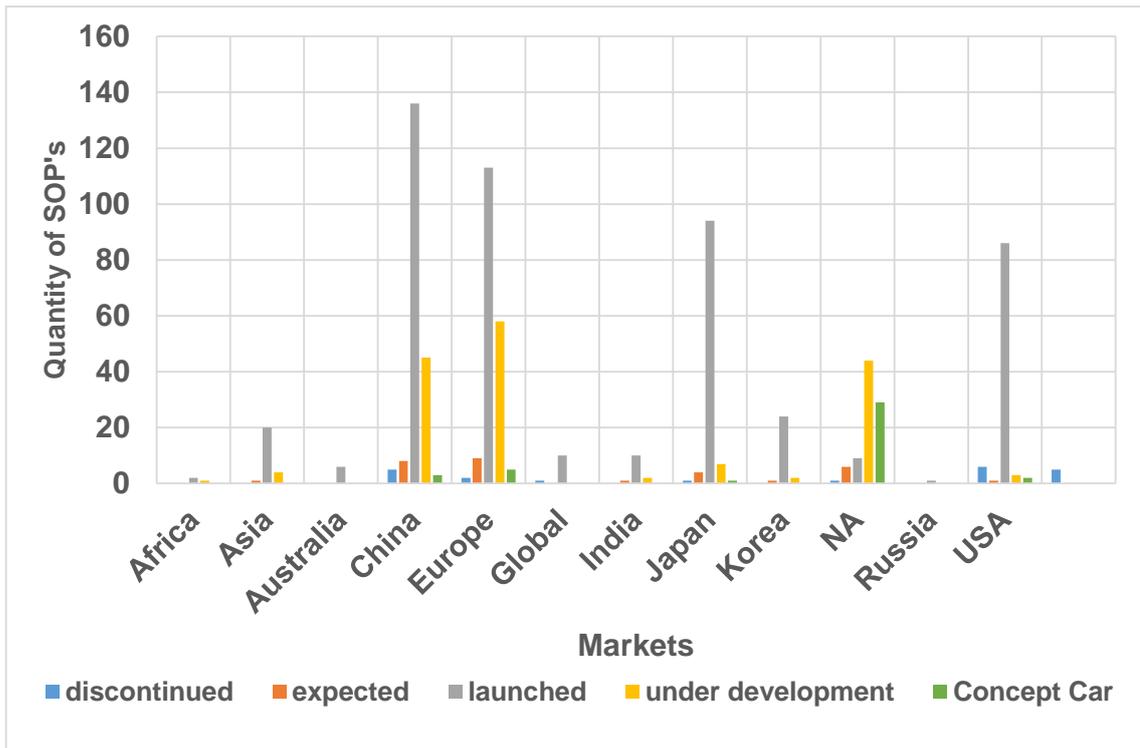


Abbildung 30: Anzahl der Fahrzeuge in der Datenbank unterteilt in ihren Status der Entwicklung über den voraussichtlichen Erscheinungsmarkt<sup>83</sup>

Mithilfe der Unterteilung der elektrifizierten Fahrzeuge in ihre Gewichtsklassen lassen sich Aussagen in gewünschten Gewichtssegmenten darstellen. Die Ansichten der Diagramme helfen dabei, eine übersichtliche Einsichtnahme der konkurrierenden Projekte und Entwicklungen in jenen Segmenten zu ermöglichen.

<sup>83</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

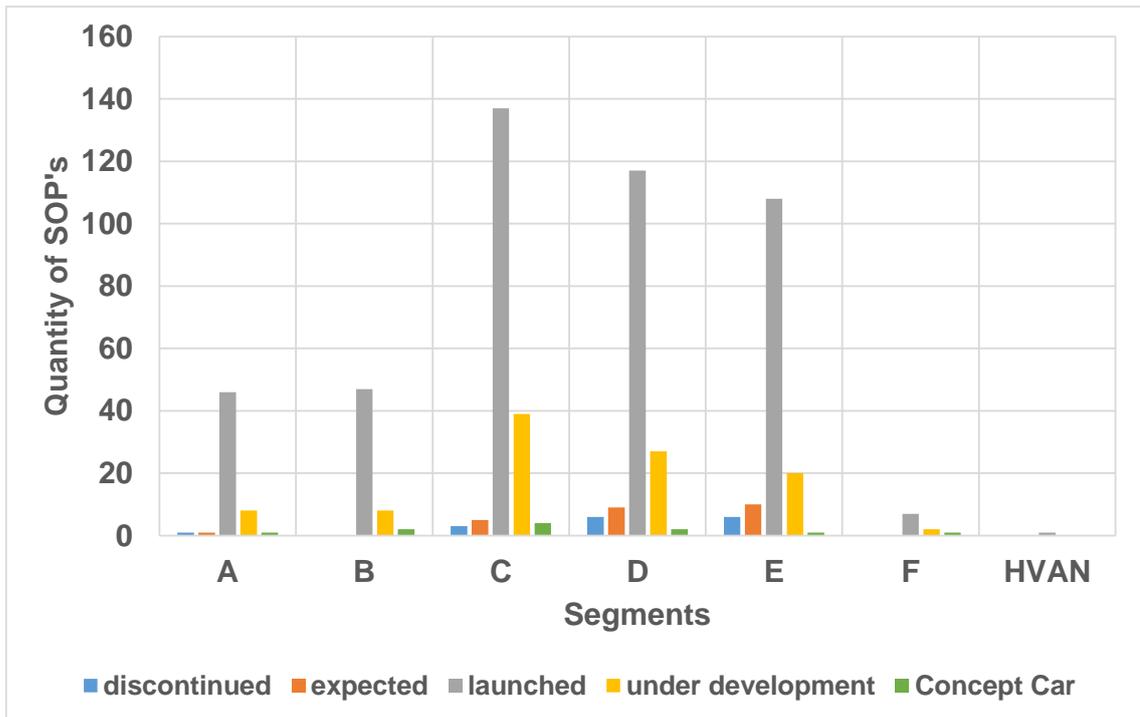


Abbildung 31: Darstellung der Fahrzeugenanzahl auf deren Segmente und Status<sup>84</sup>

Unter Betracht der unterschiedlichen Fahrzeugtypen, ist der größte Anstieg in den beobachteten Jahren, um zirka 40% der Verkaufszahlen, SUVs zuzuschreiben. Gewichtsmäßig wiegen SUVs durchschnittlich um 200kg mehr als herkömmliche Fahrzeuge und bewirken ein Emporheben der installierten Leistungen, sowie dem Kraftstoffverbrauch. Entwicklungen der Automobilindustrie wie diese, in Bezug auf die Kraftstoffeinsparungen, müssen durch Elektrifizierung verschiedenster Klassen entschärft werden.

<sup>84</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

## Batterie (Battery):

Metriken der Batterieebene beziehen sich hauptsächlich auf die gravimetrische Energiedichte [Wh/kg], die sich aus der elektrischen Leistung der Batterie und dem Gewicht dieser zusammensetzt.

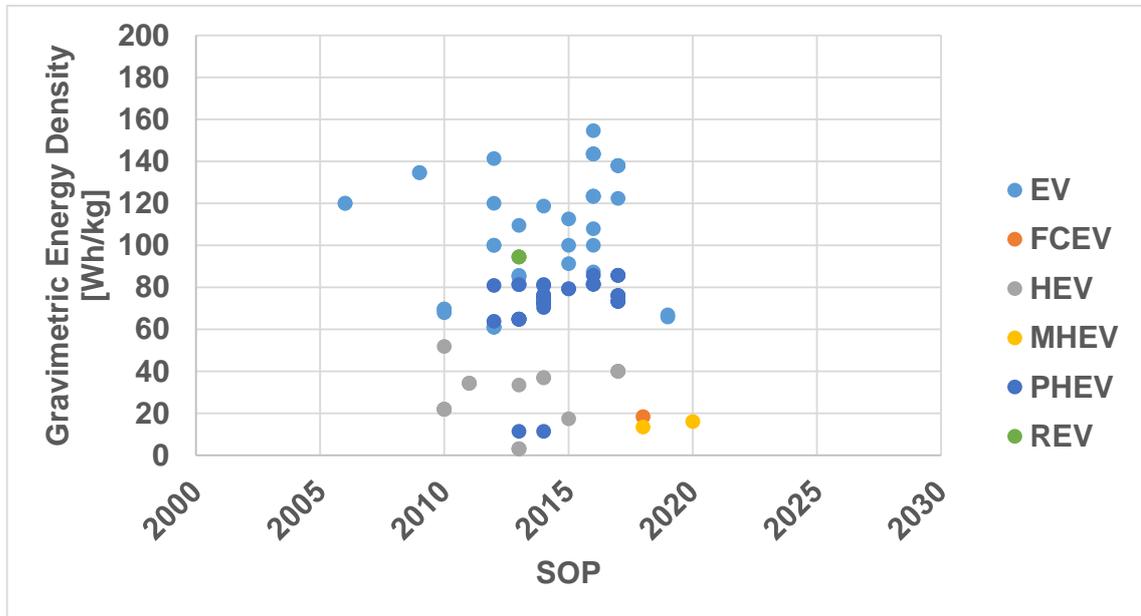


Abbildung 32: Darstellung der gravimetrischen Energiedichte der verschiedenen Elektrifizierungstypen über die Jahre des SOPs<sup>85</sup>

Durch den bestehenden Datensatz der Datensammlung können solche Darstellungen der Energiedichte über den entsprechenden Startpunkt der Produktion des Fahrzeuges präsentiert werden. Separate Filterungen der Elektrifizierungsgrade sind ebenfalls ersichtlich. Die als Basis angenommene Energiedichte der Energieträger wurde fortlaufend in abgewandelter Weise umgerechnet, um den Energieverbrauch [Wh/kg/km] zu visualisieren.

<sup>85</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

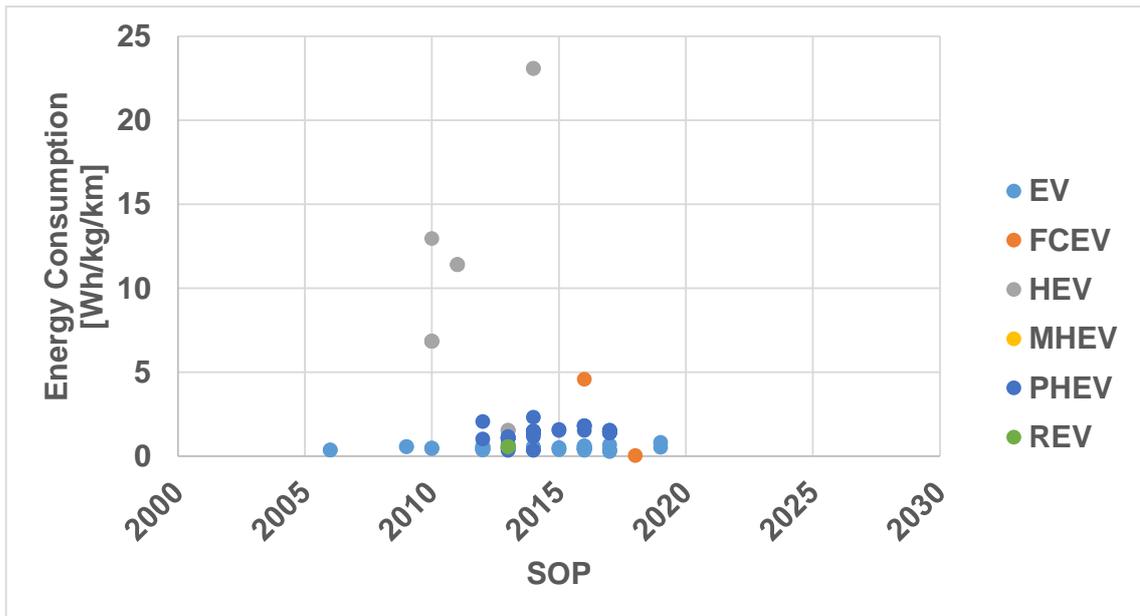


Abbildung 33: Energieverbrauch der Batterie über die Startpunkte der Produktion<sup>86</sup>

Auffälligkeiten des Energieverbrauchs bestehen im Bereich des Elektrifizierungsgrades der Voll-Hybride, deren Werte deutlich über dem der anderen elektrifizierten Fahrzeuge liegen. Diese deutlich erkennbaren Unterschiede resultieren daher, dass die Energiedichte der Voll-Hybride weitaus größer im Verhältnis zur rein elektrischen Reichweite ist, als bei anderen Elektrifizierungstechnologien.

<sup>86</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

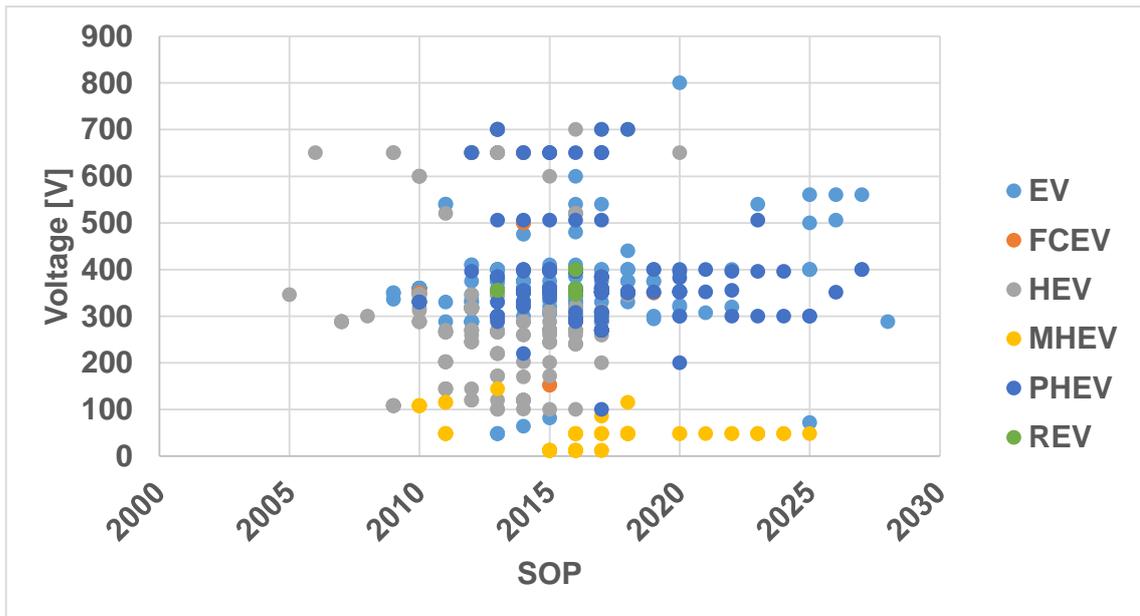


Abbildung 34: Batteriespannung der Elektrifizierungsgrade über SOP<sup>87</sup>

Um weitere Verhältnisse und Zusammenhänge hinsichtlich der Eigenschaften der Batterie darzustellen, wurden zusätzlich Metriken aus dem bestehenden Datensatz produziert, um die Spannungen und Leistungen der Energieträger und deren Abhängigkeit der Zeit demonstrieren. Auswertungen dieser Art und Weise zeigen, dass die Weiterentwicklung der Batterie in den kommenden Jahren nicht außer Acht gelassen werden kann, um neue Trends in der Automobilindustrie zu setzen.

<sup>87</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

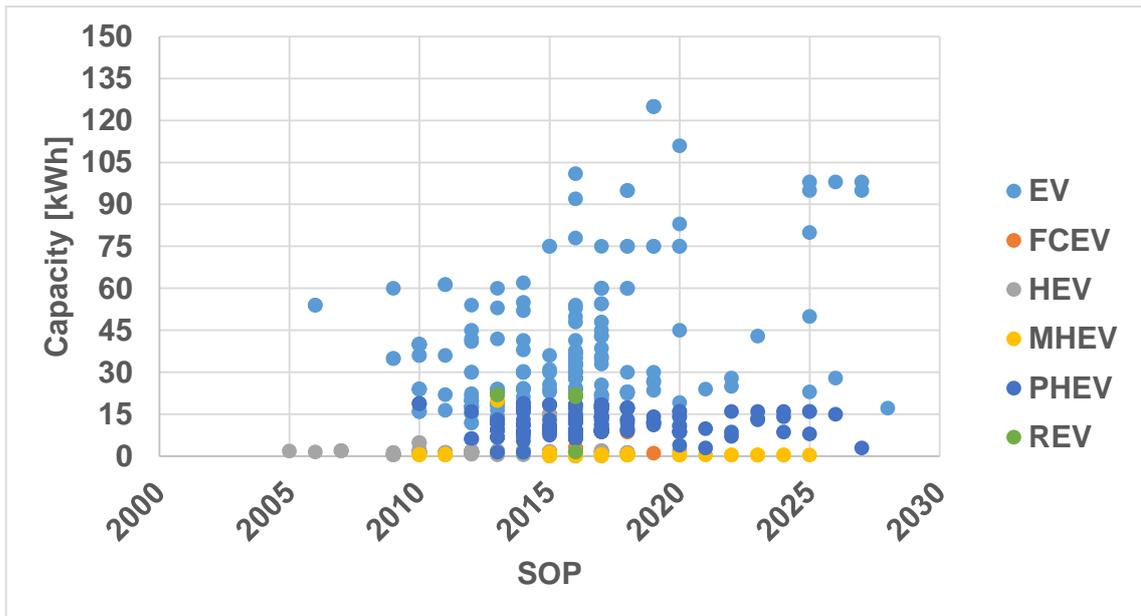


Abbildung 35: Leistung der Batterie der jeweiligen Elektrifizierungsgrade über SOP<sup>88</sup>

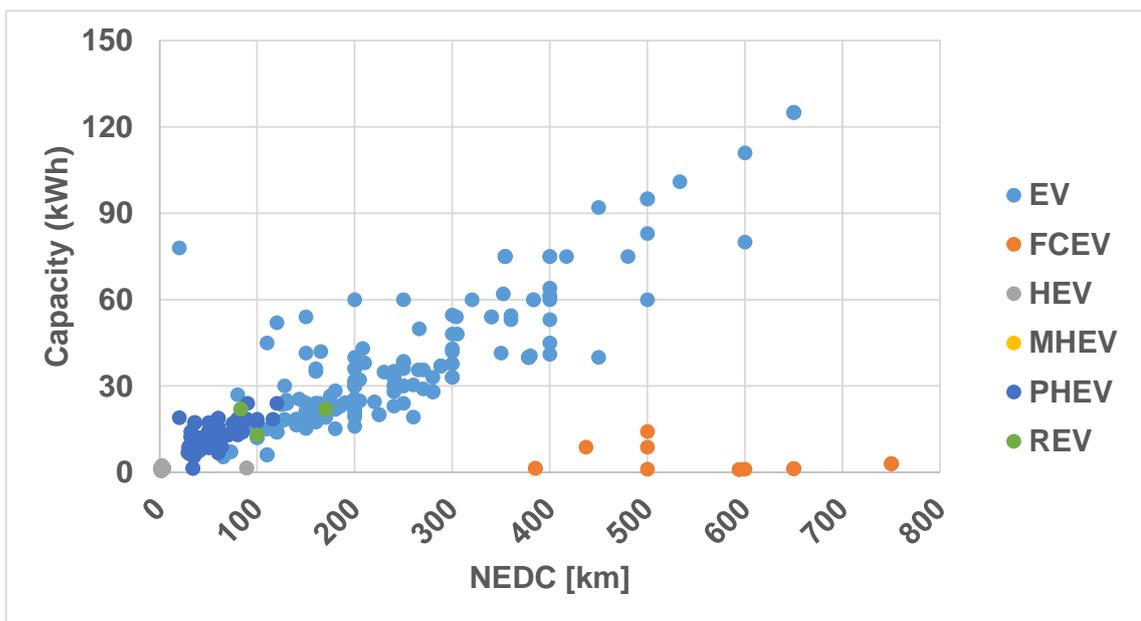


Abbildung 36: Leistung der Batterie über die rein elektrische Reichweite<sup>89</sup>

<sup>88</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

<sup>89</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

Vorangegangene Abbildungen zeigen die Variation der Leistungen und der Spannungen der aktuellen Batterieentwicklung für elektrifizierte Fahrzeuge sehr strukturiert. Wie zu erwarten, entwickeln Personenkraftwagen mit größerer Batterieleistungen auch eine dementsprechend höhere Reichweite.

Natürlich sind diese Annahmen stationärer Herkunft, da sich im tatsächlichen Gebrauch der Batterien Verschiebungen in technischen Bereichen ergeben werden. Dazu gehören die Verminderung der Reichweite bei höherer Beschleunigung oder höheren Geschwindigkeiten sowie der Einfluss der Kälte in den Wintermonaten. Energiedichten [Wh/kg], die batteriebetriebene Fahrzeuge hervorbringen, sind weit unter den Energiedichten von Benzin- oder Dieseltreibenden KFZs, was der Auslöser der kleineren Reichweite ist.

### **Fahrzeugebene: (Vehicle)**

Die am häufigsten gestellten Fragen der Hersteller an Unternehmen der Entwicklung sind: „In welcher Gewichtsklasse - Segment – werden welche elektrifizierten Fahrzeuge produziert und welche Richtung ist voraussichtlich der beste Weg uns zu etablieren?“. Trendvorhersagen zu diesem kritischen Thema können in der Datenbank ebenfalls durch geeignete Datensätze, basierend auf Recherchen, diagnostiziert und herangezogen werden.

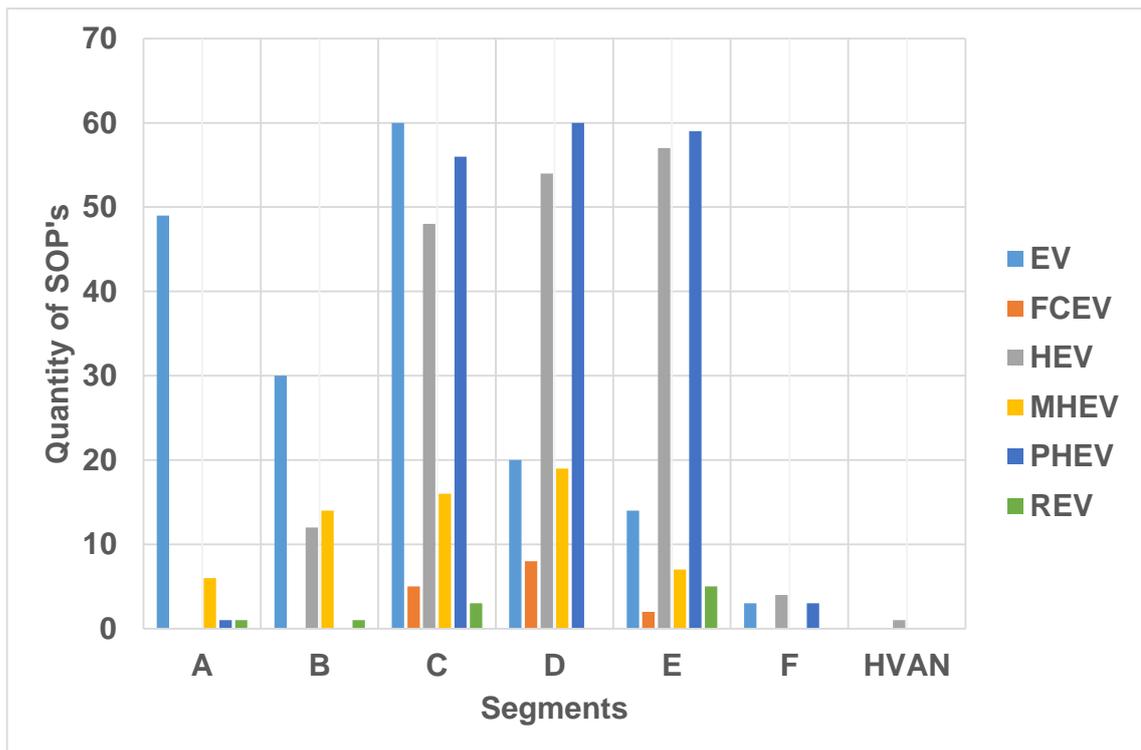


Abbildung 37: Darstellung der elektrifizierten Fahrzeuge in deren Segmenten<sup>90</sup>

Auffallend ist die Tendenz der Elektrofahrzeuge, die am häufigsten in den Segmenten A, B und C in Erscheinung tritt. Merkmale wie diese lassen sich auf die Batterieentwicklung zurückverfolgen, da sich höhere Energiedichten zur Beschleunigung von schwereren Automobilen in der Entwicklungsphase befinden. Nähere Betrachtungen ergeben, dass sich Plug - In - Hybride einem allgemeinen Trend anschließen und in Segmenten C, D und E zu 90% entwickelt werden. Um auf Fahrzeugebene die Auswirkungen der spezifischen Energiedichte zu eruieren, wurden angepasste Metriken errichtet und präsentiert. Hierbei wurde das Verhältnis aus Kapazität [Wh] des Energieträgers und des Leergewichts des Fahrzeuges kalkuliert und in unterschiedlichen Diagrammen visualisiert.

<sup>90</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

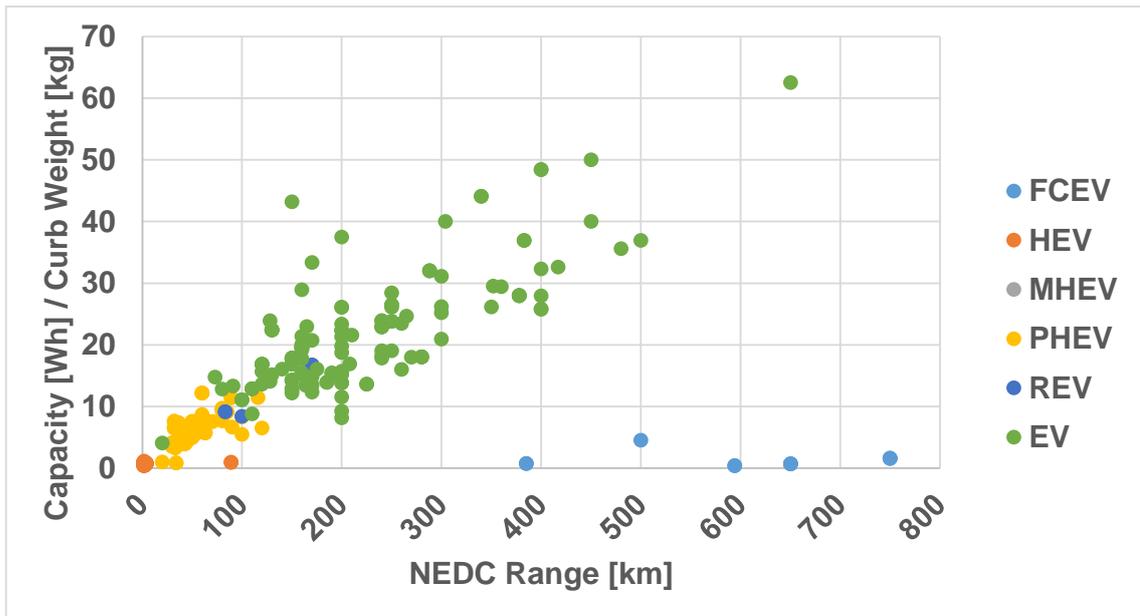


Abbildung 38: Energiedichte über die rein elektrische Reichweite<sup>91</sup>

Weitgehende Unterscheidungen in Reichweite und spezifischer Energiedichte, in Abhängigkeit der Elektrifizierungsgrade, sind ersichtlich und können in Trendlinien aussagekräftige Behauptungen darstellen.

Während die Elektrofahrzeuge mit einer hohen Reichweite und Energiedichte versorgt werden, können Plug-In-Hybride diese Reichweiten mit den aktuellen installierten Leistungen nicht erzielen. Im folgenden Diagramm basierend auf den Auswertungen, wurden die Reichweiten miteinbezogen und im Verhältnis zur spezifischen Energiedichte berechnet [Wh/kg/km].

<sup>91</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

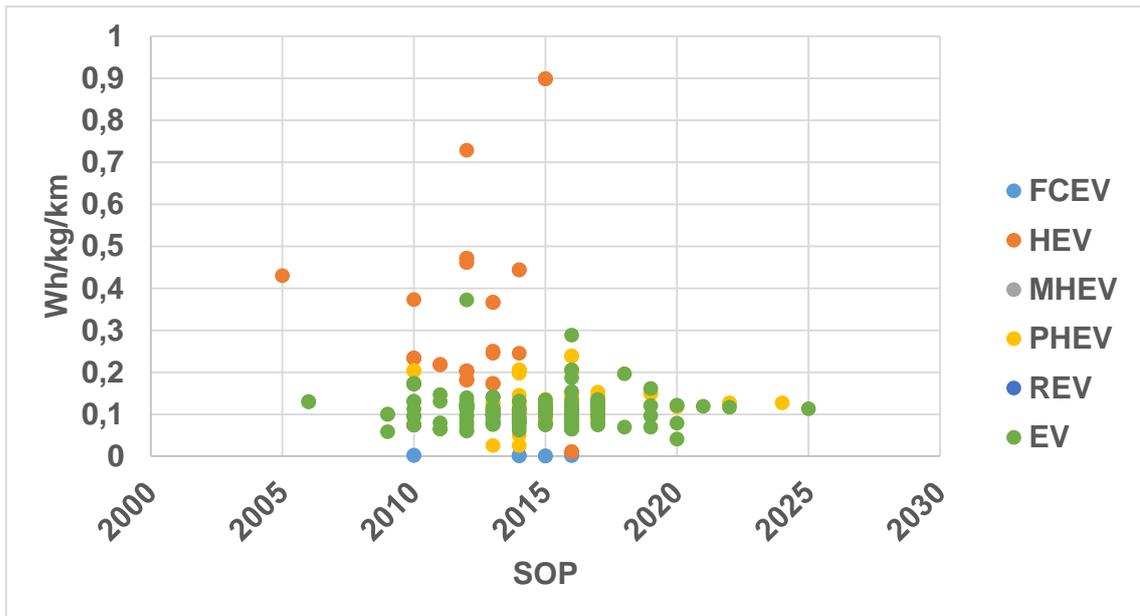


Abbildung 39: Energiedichte mit miteinbezogener elektrischer Reichweite über den SOP<sup>92</sup>

HEV, in Orange gehalten, erzielen dabei Höchstwerte. Der Grund dafür ist die kleinere Reichweite dieser elektrifizierten Fahrzeuge im Gegensatz zu anderen Elektrifizierungsgraden. Ein Einblick in elektrische Leistungsdichten der PKWs wurde ebenfalls gewährleistet, indem das Verhältnis der elektrischen Leistungen und des Fahrzeugleergewichtes berechnet wurden. Hybridisierungsgrade und deren Topologien wurden in folgenden Betrachtungen außer Acht gelassen, um Komplexitäten der Metrik- und Hintergrundberechnungen zu vermeiden.

<sup>92</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

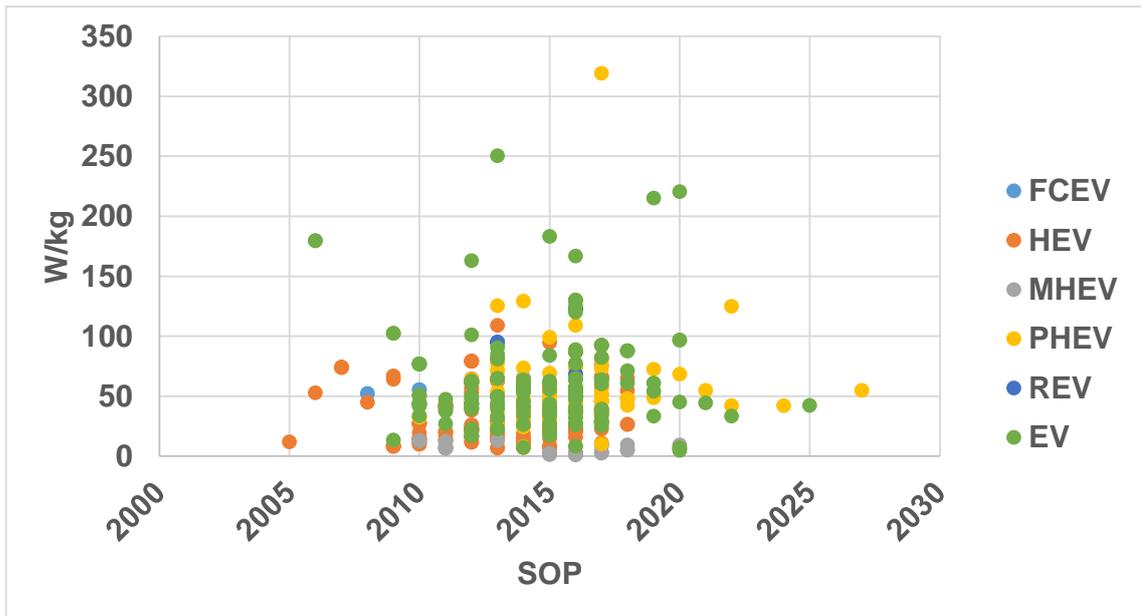


Abbildung 40: Elektrische Leistungsdichte des Fahrzeuges über Startpunkt der Produktion<sup>93</sup>

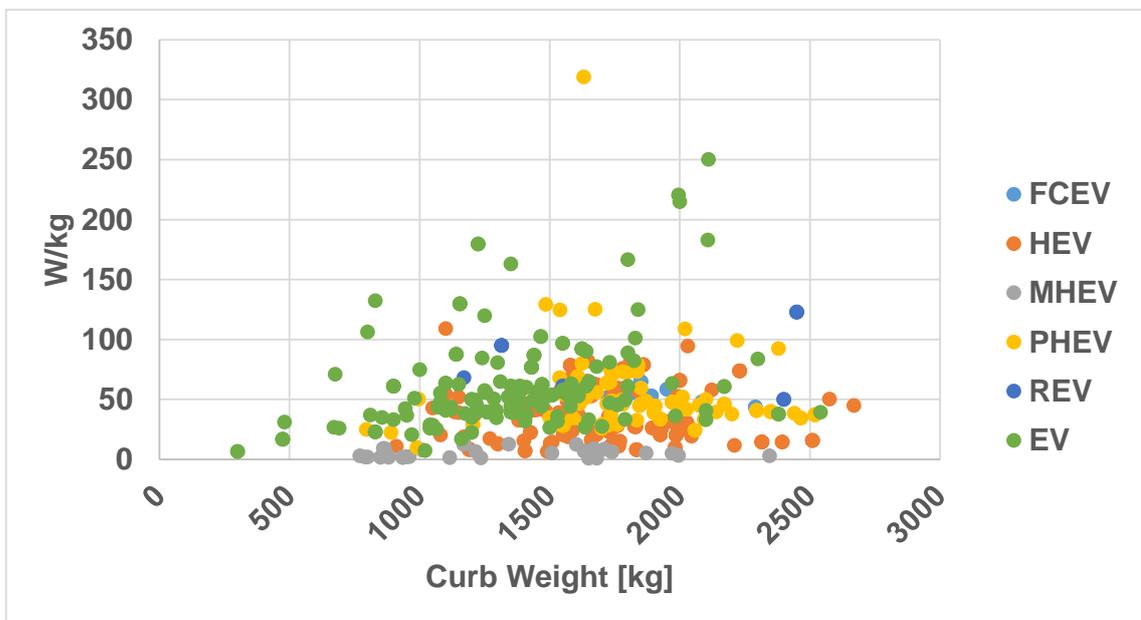


Abbildung 41: Elektrische Leistungsdichte über das Leergewicht des Fahrzeuges<sup>94</sup>

<sup>93</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

<sup>94</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

Elektrische Leistungsdichten der Elektrofahrzeuge weisen eine wesentlich höhere Streuung auf, als das bei anderweitigen Elektrifizierungsgraden der Fall ist. Vorkommen wie diese werden in Abbildung 41 deutlich sichtbar. Die Leistungsdichte ist in der heutigen Zeit, durch Einführung der Elektrifizierung, ein wesentlicher Baustein für Hersteller, um sich zu orientieren und spielt dadurch eine große Rolle in der Elektromobilität. Um bezüglich der elektrischen Leistungen, die in Fahrzeugen in Form von Elektromotoren verbaut wurden, Stellung zu nehmen, wurden segmentierte Darstellungen der jeweiligen aussagekräftigen Eigenschaften vorgenommen.



Abbildung 42: Elektrische Leistung des Elektromotors über das Leergewicht des Fahrzeuges<sup>95</sup>

<sup>95</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

Angesichts der Gegenüberstellung der elektrischen Leistungen in Bezug auf das Leergewicht des Automobils ist zu erkennen, dass Fahrzeuge mit Mild-Hybrid Technologien im Gegensatz zu anderen Elektrifizierungsgraden schwächere Leistungen aufweisen.

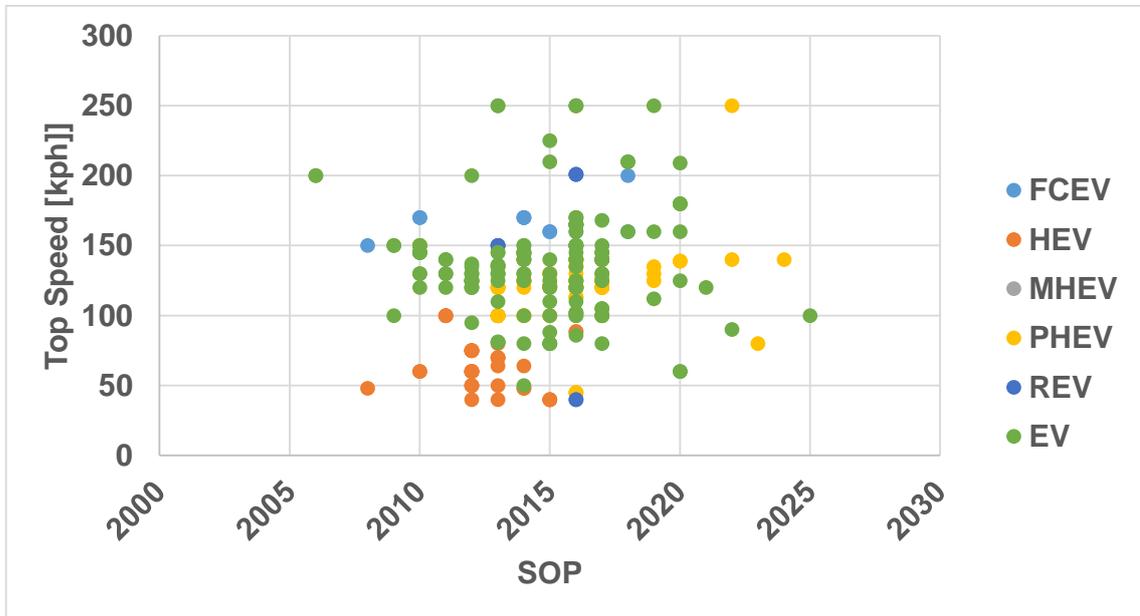


Abbildung 43: Entwicklung der Höchstgeschwindigkeiten über SOP<sup>96</sup>

Natürlicherweise wirken sich schwächere elektrische Leistungen auch auf die Höchstgeschwindigkeit der Fahrzeuge aus. Gut zu erkennen ist, dass Voll - Hybride, in Orange gehalten, die Höchstgeschwindigkeiten der jeweiligen anderen Technologien nur in den seltensten Fällen erreichen.

---

<sup>96</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

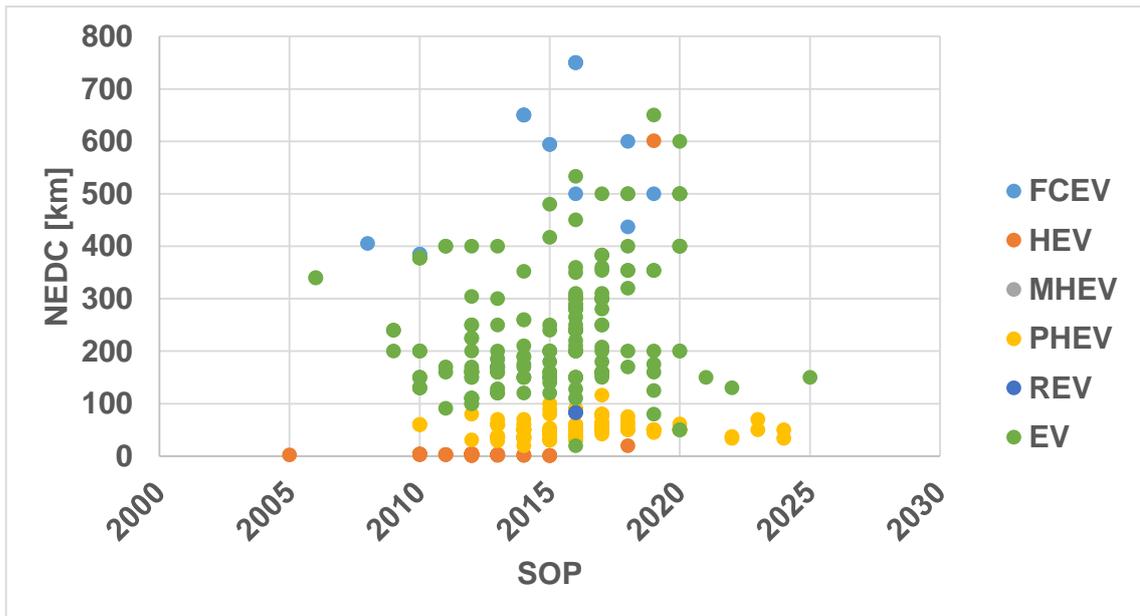


Abbildung 44: Entwicklung der Reichweite der elektrifizierten Fahrzeuge über SOP<sup>97</sup>

Anders stellt es sich in der Bewegung der elektrischen Reichweite der Elektrifizierung dar. Hier zeigen sich im Wesentlichen zwei Trends. Zum einen steigen die Reichweiten der Elektrofahrzeuge und der Brennstoffzellenfahrzeuge und zum anderen bleiben die Reichweiten durch die Leistungen der Batterien in den anderen Technologien annähernd konstant. Als Folge dessen erzielen Elektrofahrzeuge und brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge in den kommenden Jahren weiterhin die größte Reichweite in der elektrifizierten Automobilindustrie.

Abweichungen und Streuungen größeren Ausmaßes fallen unter Berücksichtigung des Leergewichts der Automobile auf. Mit steigendem Leergewicht werden die Reichweiten ebenfalls reduziert, da der Energieaufwand für die Beschleunigung und Fortbewegung der Autos steigt. Anhand des Datensatzes der vorliegenden Fahrzeuge ist dieses Gesetz sehr gut zu erkennen und nachzuweisen.

<sup>97</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

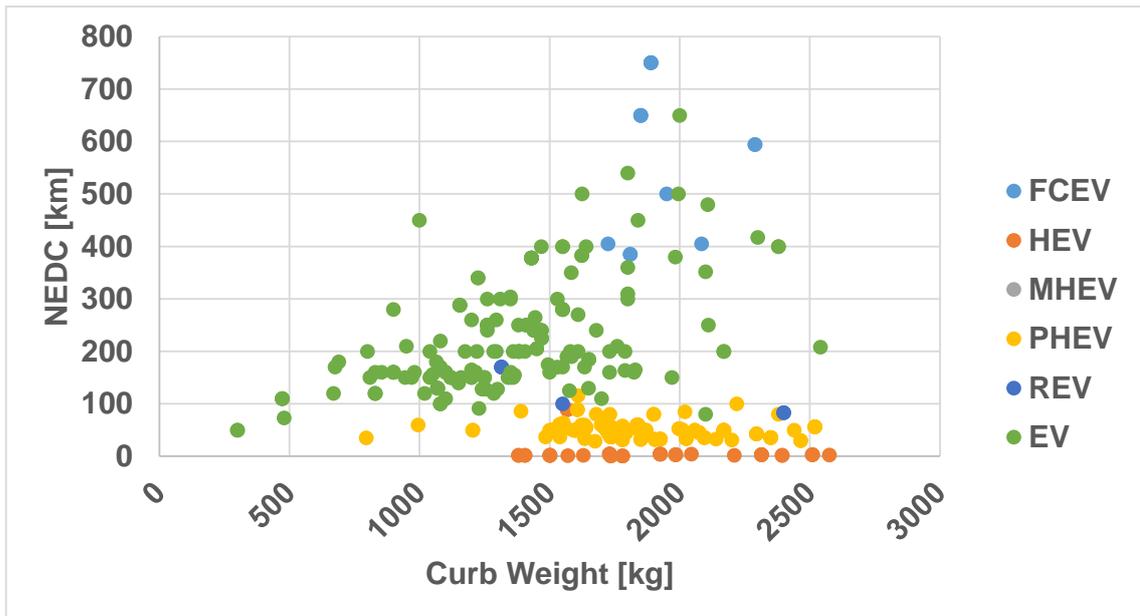


Abbildung 45: Elektrische Reichweite in Abhängigkeit des Leergewichts<sup>98</sup>

### Elektrische Antriebe (Electric Drive):

Wird über rein elektrisch betriebene Fahrzeuge debattiert, so sprechen Hersteller und Entwickler hauptsächlich über Batterien und ihre Technologien. Antriebe zur Umsetzung der gelieferten Energie werden dabei häufig außer Acht gelassen. Dabei handelt es sich um Elektromotoren in ihrer ganzen Vielfalt, als wichtigste Bausteine in Konzepten der Elektrifizierung.

Kernziffern der Elektrifizierung setzen sich aus der Leistung und dem Drehmoment, der Spannung und der Stromstärke zusammen, wobei bei Verbrennungsmotoren der Hubraum interessant ist. Dabei spielt die Leistungselektronik, die das Verbindungsstück zwischen Elektromotor und Batterie repräsentiert, eine große Rolle und ist in der Entwicklung und Forschung ein Hauptbestandteil.<sup>99</sup>

<sup>98</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

<sup>99</sup> Spiegel Online, Motoren in Elektroautos: Die großen Unbekannten, o.O., 2010, <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/motoren-in-elektroautos-die-grossen-unbekannten-a-675692.html>

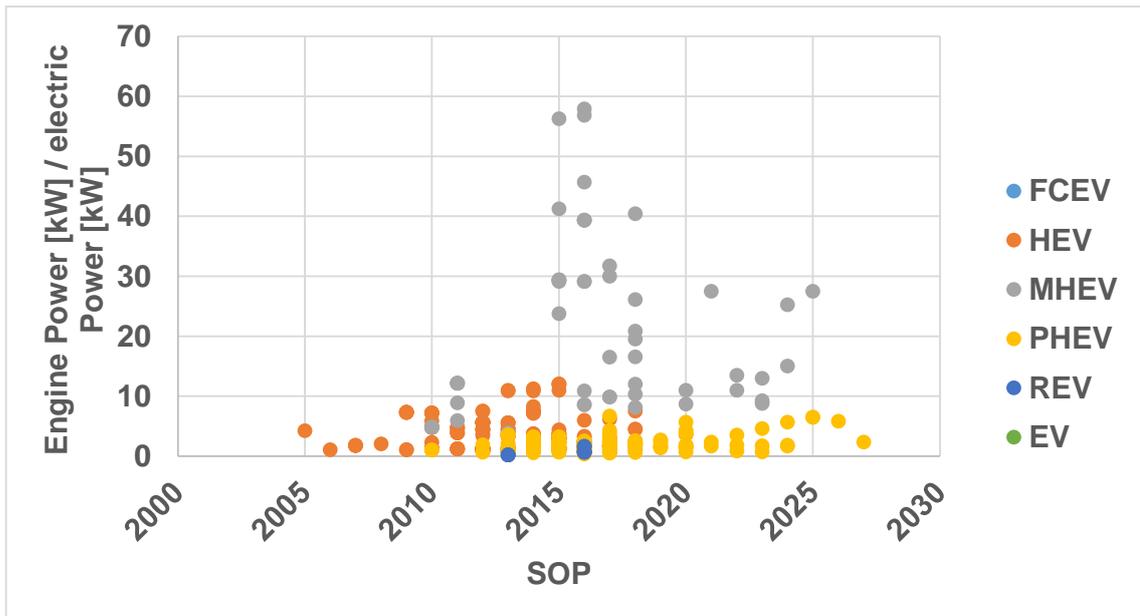


Abbildung 46: Verhältnis der mechanischen zur elektrischen Leistung über SOP<sup>100</sup>

Darstellungen des Verhältnisses zwischen elektrischer Leistung und mechanischer Leistung treffen darüber überblicksartige Vorhersagen, welchen Leistungsfaktor die Automobilindustrie anstrebt und welche Technologietendenzen in Zukunft die Automobilindustrie repräsentieren.

<sup>100</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

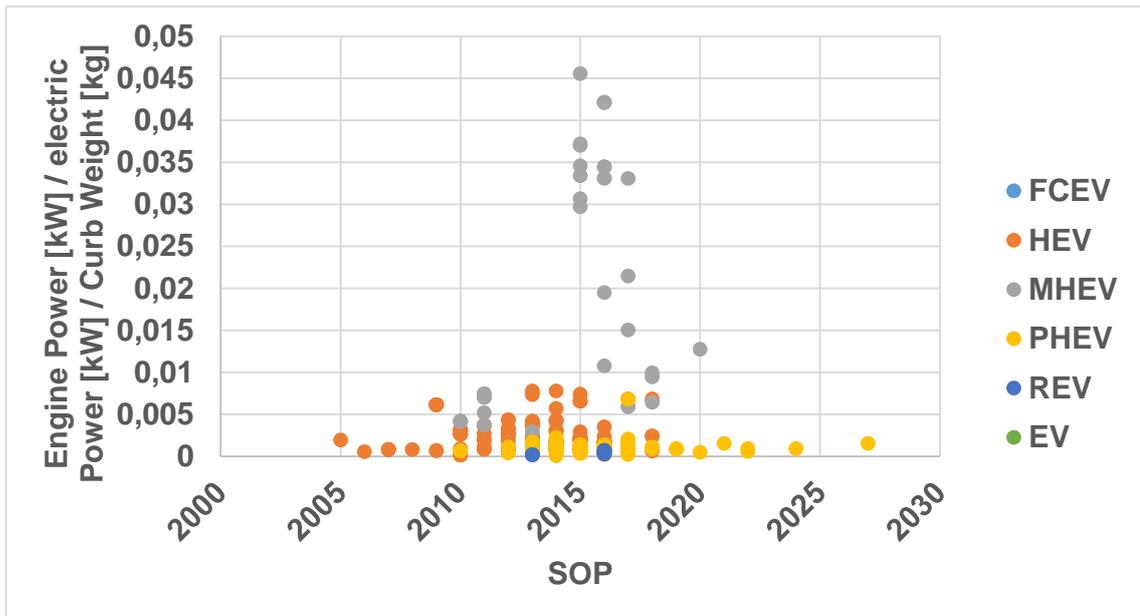


Abbildung 47: Verhältnis der Leistungen zum Leergewicht des Fahrzeuges über SOP<sup>101</sup>

Aufgrund der Unterschiede zwischen elektrischen und mechanischen Leistungen setzen sich die Verhältnisse der Mild-Hybride, wie im obigen Diagramm ersichtlich wird, ab. Dies ist auf die Technologie zurückzuführen, welche auf Automobile dieses Elektrifizierungsgrades installiert ist, da die Maschinen des Antriebes geringere Arbeit zur Unterstützung der Fortbewegung verrichten und kleinere elektrische Leistungen bereitstellen müssen.

Die Abbildung 48 stellt den Zusammenhang der elektrisch installierten Leistungen in Abhängigkeit des Elektrifizierungsgrades dar. In den Elektrifizierungsgraden Mild-Hybride bis zu Voll-Hybride weisen die elektrischen Leistungen eine konstante Tendenz auf, wohingegen bei Plug-In Hybriden und Elektrofahrzeugen die Leistungen wegen deren Reichweite einem steigenden Trend folgen.

<sup>101</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

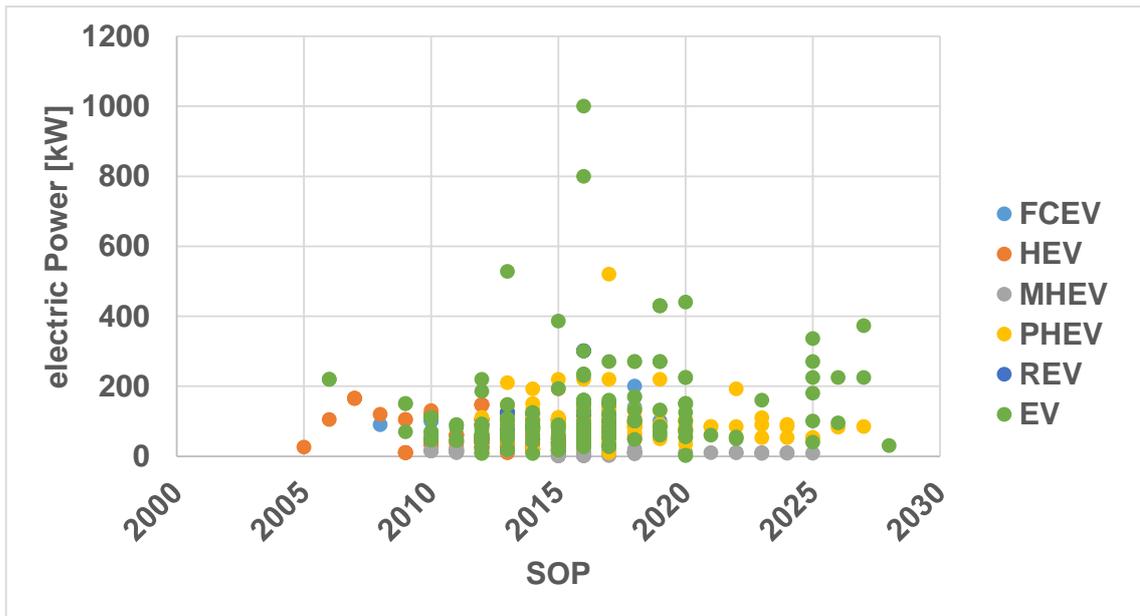


Abbildung 48: Elektrische Leistung der verbauten Elektromotoren über SOP<sup>102</sup>

Der Einsatz von Elektromotoren in der Automobilindustrie beschränkt sich weitgehend auf zwei einsetzbare Motortypen. Am häufigsten verbaut sind dabei elektrisch erregte Asynchronmotoren und Permanentmagnetsynchronmaschinen. Elektromotoren Hersteller der ganzen Welt werden auch weiterhin an der Forschung und Weiterentwicklung arbeiten, um den Handel mit den elektrischen Motoren zu steigern und damit helfen, die Automobilindustrie zu verbessern und den CO<sub>2</sub> Emissionen im Verkehrswesen weiter entgegenzuwirken.

---

<sup>102</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

## **Verbrennungsmotor (Combustion Engine):**

Um CO<sub>2</sub> Einsparungen im Verbrennungsmotorenbereich zu erreichen, können nur kleine Optimierungen vorgenommen werden, da die Verbrennungsmotoren bereits zum jetzigen Zeitpunkt keine großen CO<sub>2</sub> Reduktionen zulassen. Ein probates Mittel um Optimierungen vorzunehmen, ist das „Motor-Downsizing“. Darunter versteht sich es, Hubräume von Verbrennungsmotoren zu verkleinern, um den Kraftstoffverbrauch zu senken, aber dabei durch die Aufladung Leistungen von größeren, hubraumstärkeren Motoren zu erreichen. Dieses Konzept wird weiter vorangetrieben und Motoren werden weiter schrumpfen.<sup>103</sup>

CO<sub>2</sub> Emissionen und das dazugehörige Fahrzeugleergewicht sind ausschlaggebend für den Kraftstoffverbrauch als auch für den CO<sub>2</sub> Ausstoß. In folgenden Abbildungen werden Auswertungen präsentiert, die eine Aufschlüsselung dieser Bereiche abdecken und nähere Einblicke in die Entwicklung und den Fortschritt der Reduzierung von Emissionen geben sollen.

Aktuelle und ausschlaggebende Bereiche der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden anhand der vorhandenen Daten des CO<sub>2</sub> Verbrauchs, als auch des Kraftstoffverbrauches in den folgenden Diagrammen dargestellt.

---

<sup>103</sup> *T-online.de, Verbrennungsmotoren, Viele kleine Schritte zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung, o.O., 2014, [https://www.t-online.de/auto/technik/id\\_71861534/verbrennungsmotoren-viele-kleine-schritte-zur-co2-reduzierung.html](https://www.t-online.de/auto/technik/id_71861534/verbrennungsmotoren-viele-kleine-schritte-zur-co2-reduzierung.html).*

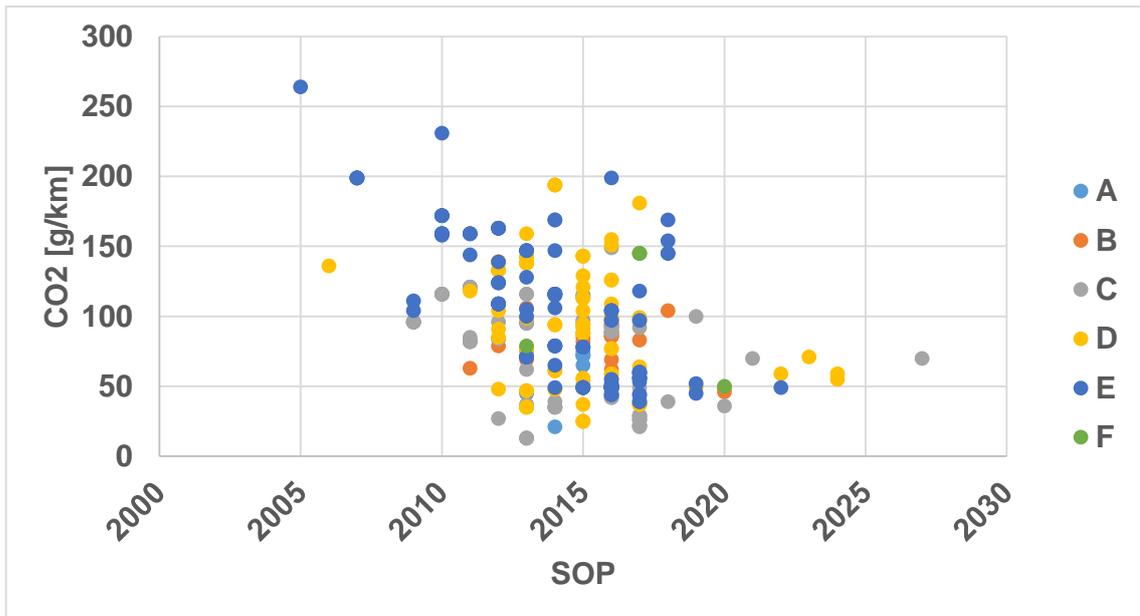


Abbildung 49: CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Fahrzeuge in den jeweiligen Segmenten über den SOP<sup>104</sup>

Abbildung 49 zeigt die aktuelle Lage der CO<sub>2</sub> Emissionen [g/km] elektrifizierter Fahrzeuge, ausgehend von Basisdaten der Datenbank, in Abhängigkeit der Gewichtsklassen (Segmente). Auffallend dabei sind die sinkenden Tendenzen des CO<sub>2</sub> Ausstoßes, um vorgegebene CO<sub>2</sub> Regularien zu erfüllen. Gleiche Anzeichen setzen sich durch das Motor-Downsizing im Kraftstoffverbrauch durch.

<sup>104</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

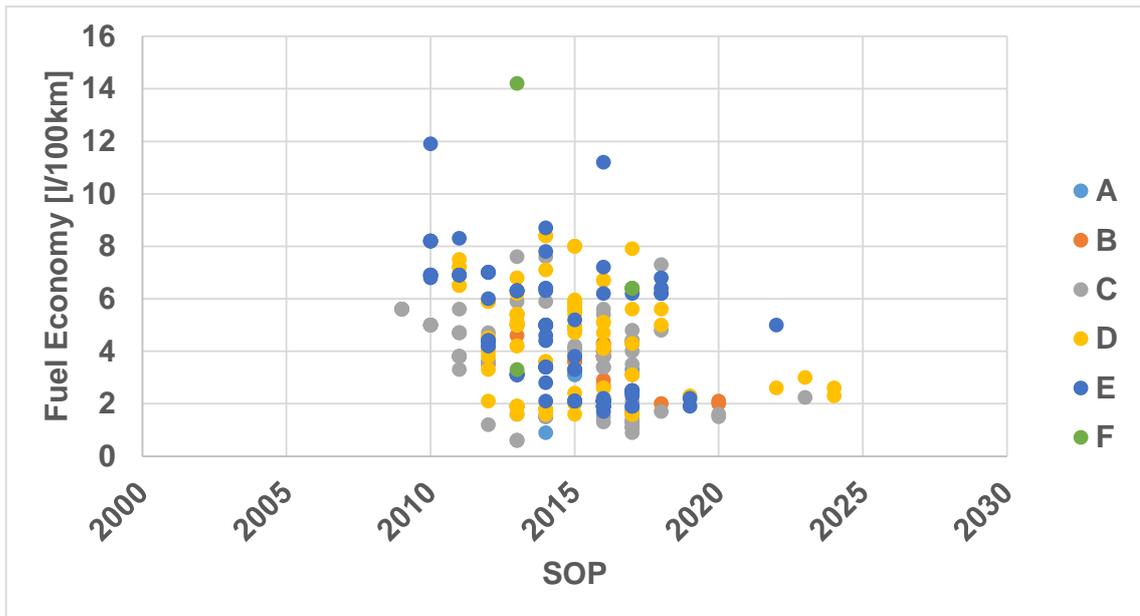


Abbildung 50: Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge der einzelnen Segmente über SOP<sup>105</sup>

Nicht ersichtlich in diesem Verhalten der Kraftstoff- und CO<sub>2</sub> Emissionsänderungen sind die Elektrifizierungsgrade der jeweiligen Fahrzeuge. Dabei ist zu beachten, dass die Kraftstoffverbrauchswerte sowie CO<sub>2</sub> Emissionswerte durch die verschiedenen Elektrifizierungsgrade und deren Entwicklung weiter gesenkt

<sup>105</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

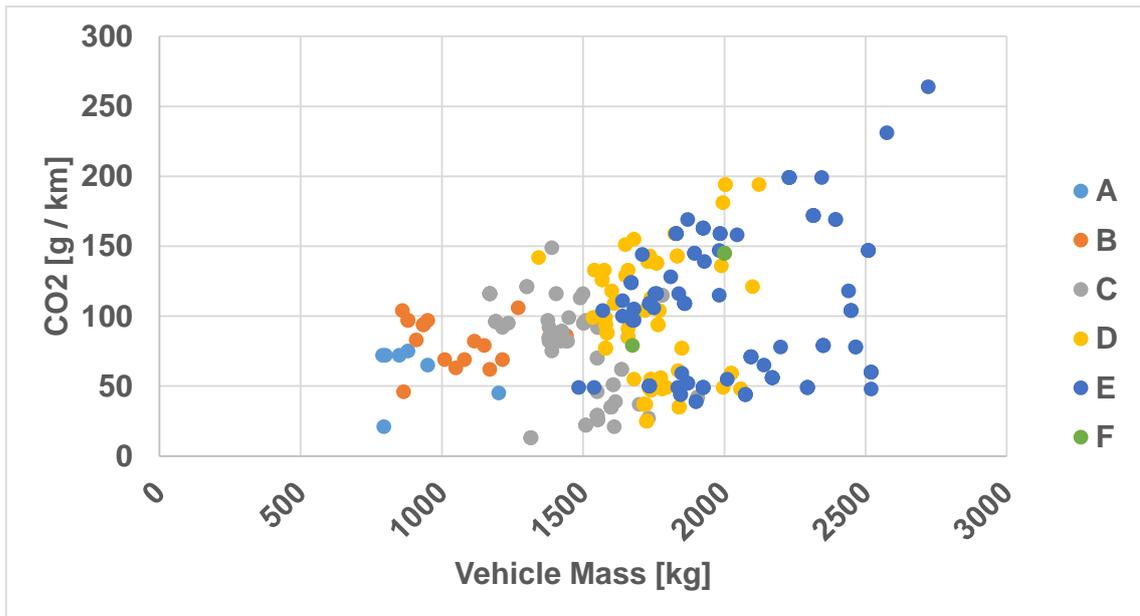


Abbildung 51: CO<sub>2</sub>-Ausstoß der einzelnen Fahrzeuge in ihren Segmenten über deren Leergewicht<sup>106</sup>

Darstellung 51 spiegelt den Einfluss des Gewichtes auf den CO<sub>2</sub> Ausstoß deutlich wider. Automobile, die in höheren Gewichtsklassen (Segment E) angesiedelt sind, erzeugen wesentlich höhere CO<sub>2</sub> Emissionswerte als jene der leichteren und kleineren Autos, da diese signifikante Unterschiede in Bezug auf Leergewichte aufweisen.

Zukunftsorientierte Fragen bezüglich des Kraftstoffes stehen weiterhin im Raum und können annähernd durch Tendenzen vorhergesehen werden. Werden Fahrzeuge weiterhin mit Diesel und Benzin betrieben, oder müssen sich dieselbetriebene Verbrennungsmotoren früher oder später aus den Einsatzmärkten für Personenkraftwagen zurückziehen. Zu diesen Gerüchten wurden durch die aufgenommenen Daten ebenso Darstellungen genutzt, um einen Funken Licht in die Spekulationen über den Brennstoff zu bringen.

---

<sup>106</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

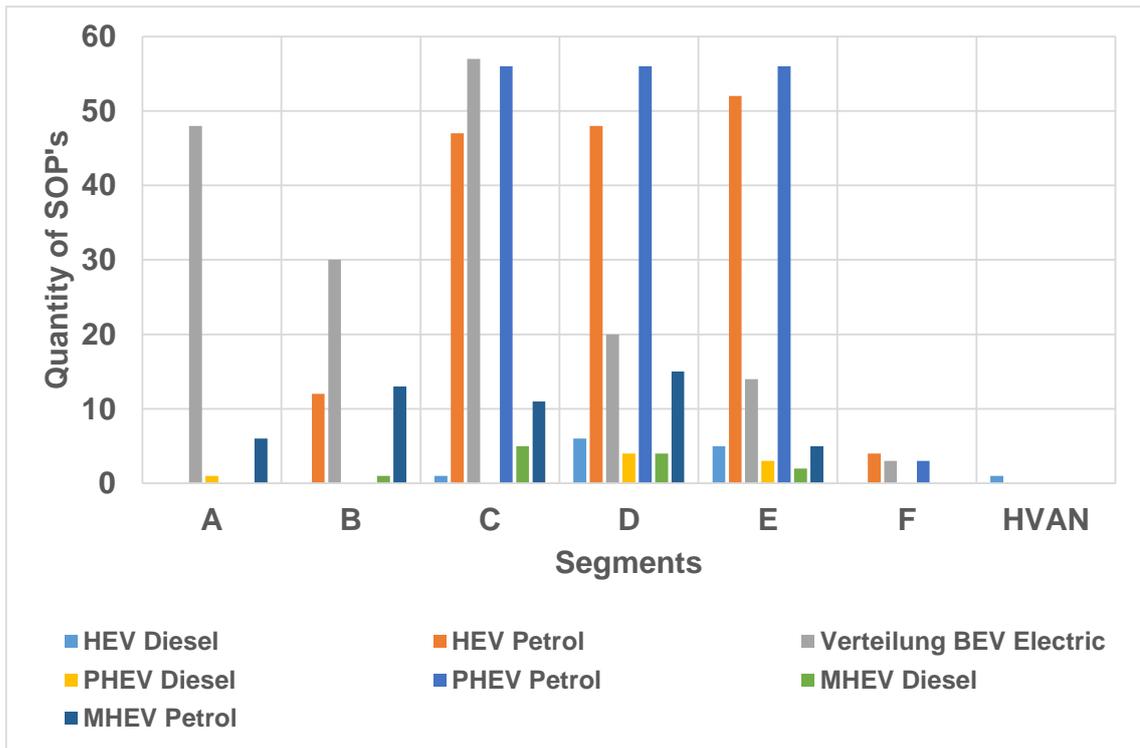


Abbildung 52: Gegenüberstellung der Benzin und Diesel betriebenen Fahrzeuge in deren Segmenten<sup>107</sup>

Abzeichnende Trends dieses Diagramms zeigen deutliche Reduktionen an Dieselfahrzeugen und machen den Anschein, als würden Elektrofahrzeuge im Bereich der Personenkraftwagen die dieselbetriebenen Fahrzeuge verdrängen. Spekulationen über den Zeitraum dieser Tendenzen sind noch unklar aber erscheinen anhand der vorhandenen Datenbank realistisch. Diese Veränderungen im Kraftstoffbereich sind nur im PKW Bereich denkbar, nicht aber in Gewichtsklassen der Lastkraftwagen.

<sup>107</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

Über diese Metriken wurden Darstellungen zur Veranschaulichung und Vorhersage erstellt, die sich automatisch durch Aktualisierung der Datenbank verändern und damit am aktuellen Stand bleiben.

Basierend auf diesem Datenmodell und den Berechnungen wurde ein klares, zielgerichtetes Model zur Fertigung der bestmöglichen Darstellungen entwickelt, das in Bezug auf Automobilherstellern anwendbar ist, da diese Tendenzen den offen liegenden Marktdaten zugrunde liegen.

### **5.3 Beschreibung anhand eines Beispiels**

Anhand des folgenden ausgewerteten Beispiels wird gezeigt, wie die Marktentwicklung im Bereich der elektrifizierten Fahrzeuge interpretiert werden und entscheidenden Einfluss auf Automobilhersteller und deren Visionen nehmen kann.

Nach Absprachen mit Entwicklungsfirmen zur Bestimmung von Gewichtsklasse und Elektrifizierungsgrad, werden Richtwerte für den elektrischen Antrieb sowie anderweitige Dimensionierungen vorgenommen.

Als Hilfestellung für dieses Vorhaben kann die Datenbank herangezogen werden, um Herstellern Entwicklungen und deren Leistungswerte am Weltmarkt zu präsentieren.

Handelt es sich um die Motivation zur Entwicklung eines Elektrofahrzeuges, wird in folgenden Abbildungen eine Herangehensweise zur Dimensionierung gezeigt, um Entwicklungsziele unter Berücksichtigung der jeweiligen Tendenzen zu visualisieren, damit eine Hilfestellung zur Evolution eines konkurrenzfähigen Fahrzeuges gegeben werden kann.



Abbildung 53: Auswertung der Reichweite mit Trendlinie für EVs und Zielareal für Automobilhersteller<sup>108</sup>

Abbildung 53 zeigt, dass es in den Jahren bis 2025 tendenziell keine Steigerung der Reichweiten gibt. Natürlich sind diese Prognosen nur tendenziell zu sehen, da diese von den vorhandenen Datensätzen der Automobilhersteller abhängen. Hersteller sind selbstverständlich bestrebt höhere Reichweiten zu erzielen.

Um wettbewerbsfähig agieren zu können, sollten Trends der Entwicklung nicht außer Acht gelassen werden. Mit erhöhten Leistungen der Energieträger inkrementiert natürlich auch das Fahrzeuggewicht und schränkt die Reichweite weitgehend ein, da der Energieaufwand zur Beschleunigung steigt. Dementsprechend sind auch Einschläge in Bezug auf das Fahrzeuggewicht mit revolutionären Entwicklungen der Leichtmetallbauweise und Reduktionen des Batteriegewichtes zu erkennen, um Reichweiten dementsprechend zu potenzieren.

---

<sup>108</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.



Abbildung 54: Zielbereich des Leergewichtes in Bezug auf EVs<sup>109</sup>

Unter dem Einsatz und Bestreben höhere Reichweiten zu erzielen, müssen ebenfalls installierte elektrische Leistungen in Abhängigkeit des Leergewichtes angehoben werden, um entsprechende Ziele und Anforderungen zu erreichen.

---

<sup>109</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

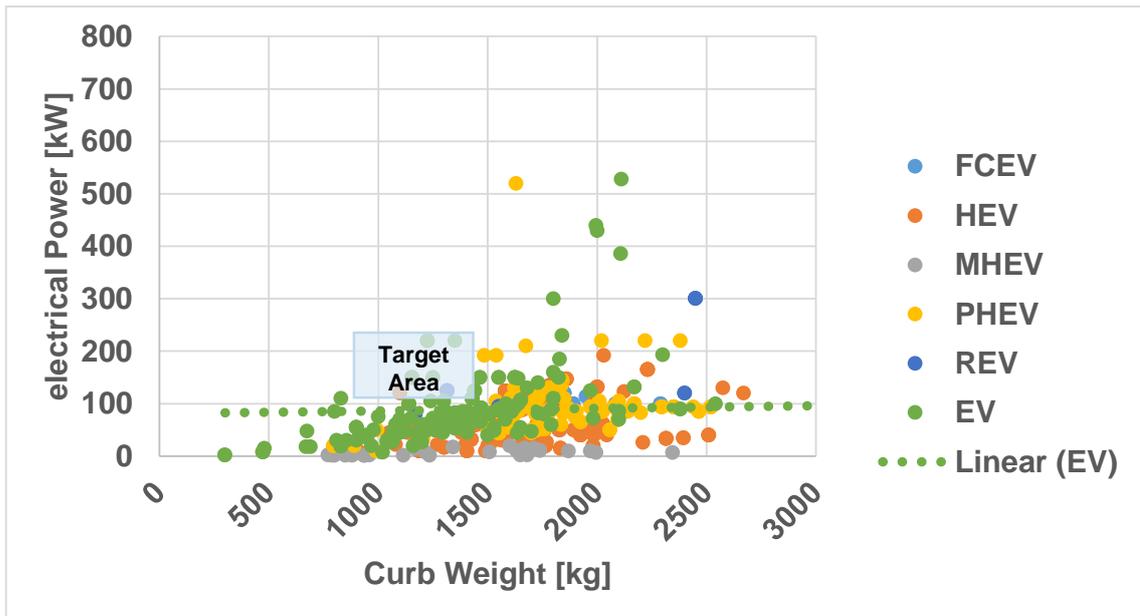


Abbildung 55: Elektrisch installierte Leistung in Abhängigkeit des Leergewichtes und deren Trends<sup>110</sup>

Durch die Zusammenführung der einfließenden Parameter und Verhältnisse zwischen Leergewicht, elektrischer Leistung und Reichweite der betrachteten Fahrzeuge, können deren Zielareale und Trends in allen angeführten Bereichen aufgezeigt werden, um Anstöße sowie Hilfestellungen darzustellen.

<sup>110</sup> Onitsch Lucas, internes Dokument, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017.

## 5.4 Analyse- und Berechnungs-Tool

Es wurde ein Modell entwickelt, um Berechnungen von Szenarien der zukünftigen Fahrzeugentwicklung unter unterschiedlichen Einflussfaktoren zu gewährleisten. Ausgehend der letztjährigen Verkaufszahlen werden Schwerpunkte auf durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Flottenemissionswert, durchschnittliches Fahrzeugflottengewicht sowie die Unterscheidung in Gewichtsklassen und Elektrifizierungsgrade in der Europäischen Union gesetzt, um präzise Berechnungen in diesem Markt durchführen zu können.

Um Szenarien dieser Art erstellen zu können, muss an einigen variablen Parametern gedreht werden. Dazu gehören prozentuelle Anteile der Gewichtsklassen, Anteile unterschiedlicher Kraftstoffe, Einfluss der Super Credits als auch die Werterhöhungen zukunftsorientierter Technologien. Zusätzlich können auch CO<sub>2</sub> Emissionsziele, bezogen auf die Umstellung von NEDC zu WLTP, ebenso in Well-To-Wheel-Szenarien variiert und visualisiert werden.

Ausgehend einer Datenbank (EEA – European Environment Agency) werden, basierend auf dem Vorjahresverkauf jeglicher Automobilhersteller, relevante Berechnungen durchgeführt, um bestimmte Szenarien anzufertigen. Unterteilungen von Gewichtssegmente und Elektrifizierungsgrad müssen weitgehend manuell erstellt werden, da diese Informationen nicht aus einer vorhandener Datenbank, zur Verfügung gestellt von EEA, abzulesen sind, jedoch, große Bedeutung zur Berechnung von Szenarien haben. Zusätzliche Fakten bezüglich Informationen zu Verkaufshöchstwerten (Bestseller) von Fahrzeugmodellen als auch Kostendifferenzen können aus der bestehenden Datenbank gefiltert und wenn notwendig aufbereitet werden.

Erste Schritte der durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Flottenverbrauchswertberechnung werden durch Separation des Verkaufsvolumens in Abhängigkeit der Gewichtssegmente erlangt, um Einsicht in notwendige Verteilungen zu bekommen. Für jede dieser Gliederungen müssen die durchschnittlichen Leergewichte, als auch die durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Emissionswerte, kalkuliert werden, um Aufklärung über die CO<sub>2</sub> Emissionen gegenüber den Zielwerten der Europäischen Union zu erhalten.

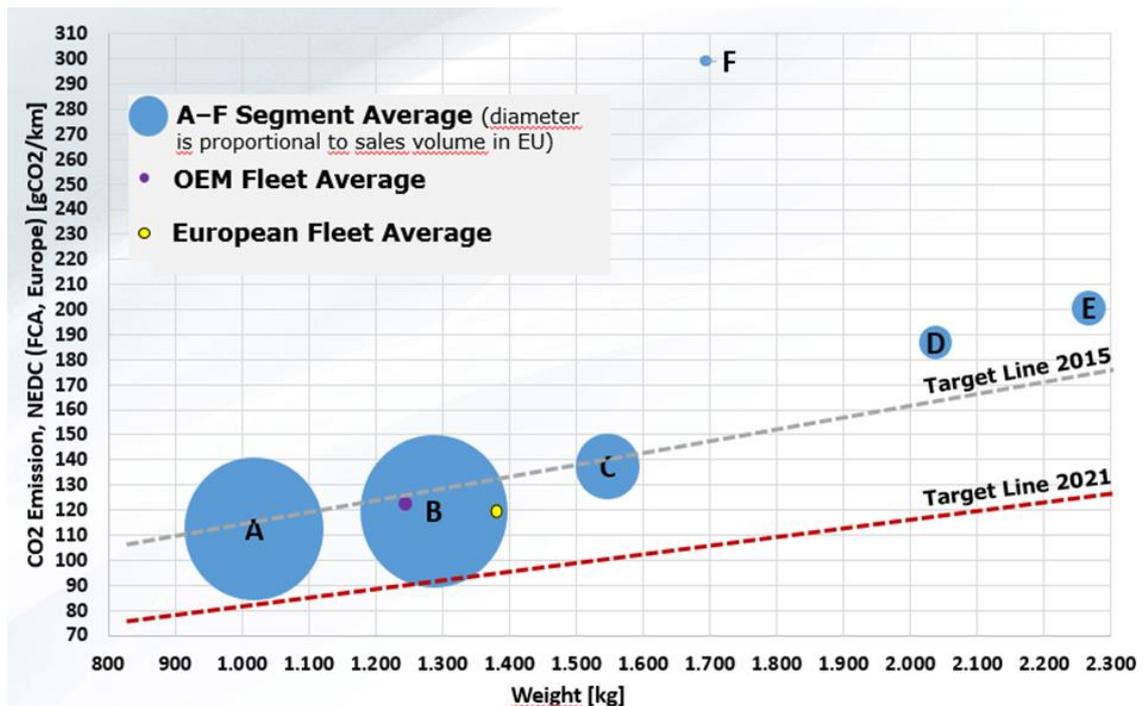


Abbildung 56: Verteilung der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Flottenwerte eines europäischen OEMs<sup>111</sup>

Abbildung 56 repräsentiert eine allgemeine Flottendurchschnittsberechnung eines europäischen Automobilherstellers. Der Durchmesser der Segmentierung beschreibt das Verkaufsvolumen in angeordneten Gewichtsklassen in Abhängigkeit der durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Emissionswerte.

Die CO<sub>2</sub> Gesamtflottendurchschnittswerte des europäischen Herstellers als auch die der Europäischen Union wurden durch den violetten Punkt bzw. der Europäischen Flagge im Diagramm markiert. Unter Berücksichtigung der Gesetzgebung im Bereich der CO<sub>2</sub> Regelung verkörpern die Begrenzungslinien Ziele des durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Flottenausstoßes, die bis zu den jeweiligen Jahren unterschritten werden müssen. Infolgedessen wird auch eine Zerlegung dieser segmentab-

<sup>111</sup> AVL List, internes Dokument, CO<sub>2</sub>\_Tool--v02, Präsentation, Graz, 2017.

hängigen durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Werte in Abhängigkeit des Kraftstoffes visualisiert, um die Verteilungen dessen verständlicher wiederzugeben. Die verschiedenen farbigen Kugeln stellen den Unterschied zwischen Diesel (orange), Benzin (grau) und gasbetriebenen Fahrzeugen (blau) und den Zielwerten der Europäischen Union bis 2030 dar.

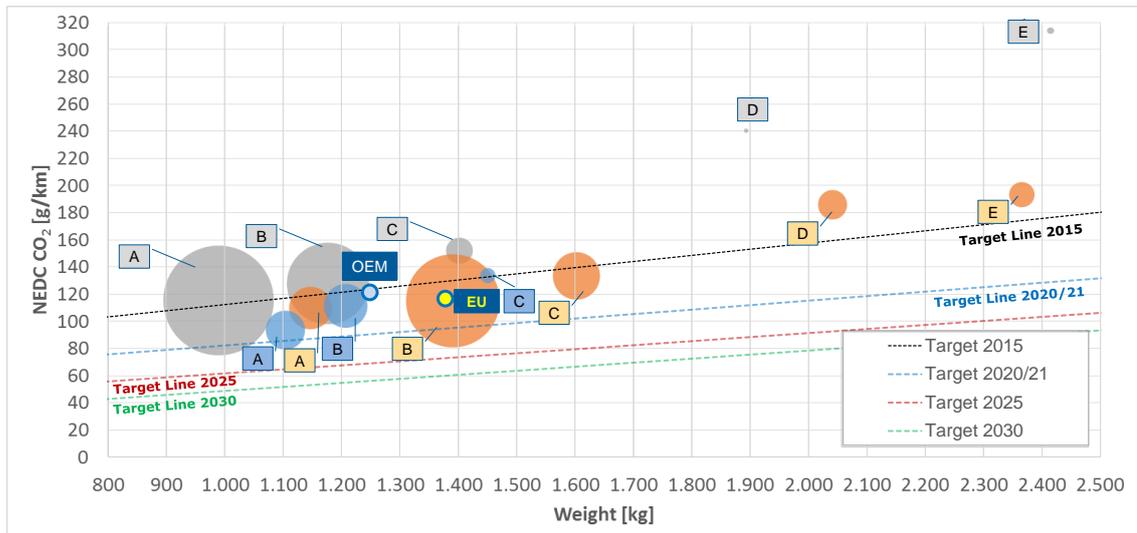


Abbildung 57: Gliederung der Kraftstoffe in Abhängigkeit des Leergewichtes, und CO<sub>2</sub> Ausstöße<sup>112</sup>

Analysen dieser Beschaffenheit sind in der heutigen Zeit für Automobilhersteller unüberwindbar, um Strafzahlungen zu verhindern und Gesetzgebungen einhalten zu können.

Die berechneten Datensätze werden nun zur Erstellung von Szenarien in Gebrauch genommen. Hierbei werden die Verkaufszahlen, die durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Flottenverbrauchswerte, sowie die Verteilung der unterschiedlichen Kraftstoffe in Abhängigkeit der Elektrifizierungstechnologien und deren Gewichtssegmente unterschieden und in eine entwickelte Plattform überführt.

<sup>112</sup> Lucas Onitsch, internes Dokument, 20170301\_EuropeSecenario, Graz, 2017.

Unter dem Einfluss und vorwärtsschreitenden Entwicklungen elektrifizierter Technologien wird angenommen, dass elektrifizierte Fahrzeuge in ferner Zukunft ein Wachstum aufweisen. Somit werden Elemente mit Technologien dieser Art um prozentuelle Faktoren, 2% bis 2020, 1,5% zwischen 2021 – 2025 und 1% zwischen 2026 – 2030, vervielfacht um Technologieverzerrungen zu vermeiden. Als Betrachtungsjahre werden 2016, 2021, 2025 und 2030 für auswertungsrelevante Forschungen herangezogen und dazwischen liegende Jahre durch Interpolation ausgefüllt.

Formelbasierende und faktorielle Verlinkungen werden herangezogen, um automatisierte Schritte zur Vereinfachung der Entwicklung von Szenarien zu gewährleisten und um Umrechnungen zu tätigen, die durchschnittlichen CO<sub>2</sub> Emissionswerte in Kraftstoffverbräuche [l/100km] durch Aufgliederung der Gewichtssegmente und Kraftstoffvarianten kalkulieren.

Dieses Unterfangen wird aktuell zweimal durchgeführt, um die Differenzen nahezulegen, die zwischen Flottenverbräuchen, inklusive elektrifizierter Technologien und ohne Berücksichtigung dessen, zu visualisieren sind. In den Berechnungen vorherrschender Art muss berücksichtigt werden, dass spezifizierte Fahrzeuge, die weniger als 50g/km CO<sub>2</sub> Ausstoß aufweisen, in den Jahren 2020 – 2022 einem Multiplikationsfaktor (2 PKWs → 2020, 1,67 PKWs → 2021 und 1,33 PKWs → 2022) unterzogen werden. Darauf folgende Jahre werden ausschließlich mit 1 bewertet. Dieser Einfluss spiegelt sich dementsprechend der Berechnungen und der Flottenwerte des Herstellers im folgenden Diagramm wider.

Um verschiedenartige Szenarien zu entwickeln können, müssen, wie vorher beschrieben, Parameter verändert werden, um die Auswirkungen dieser Einflussfaktoren abzubilden und nahezulegen. Darüber hinaus können auch Marktverteilungen der verschiedenen Szenarien visualisiert werden, um frühzeitig Einblick auf Technologieänderungen oder Kraftstoffverteilungen zu erkennen.

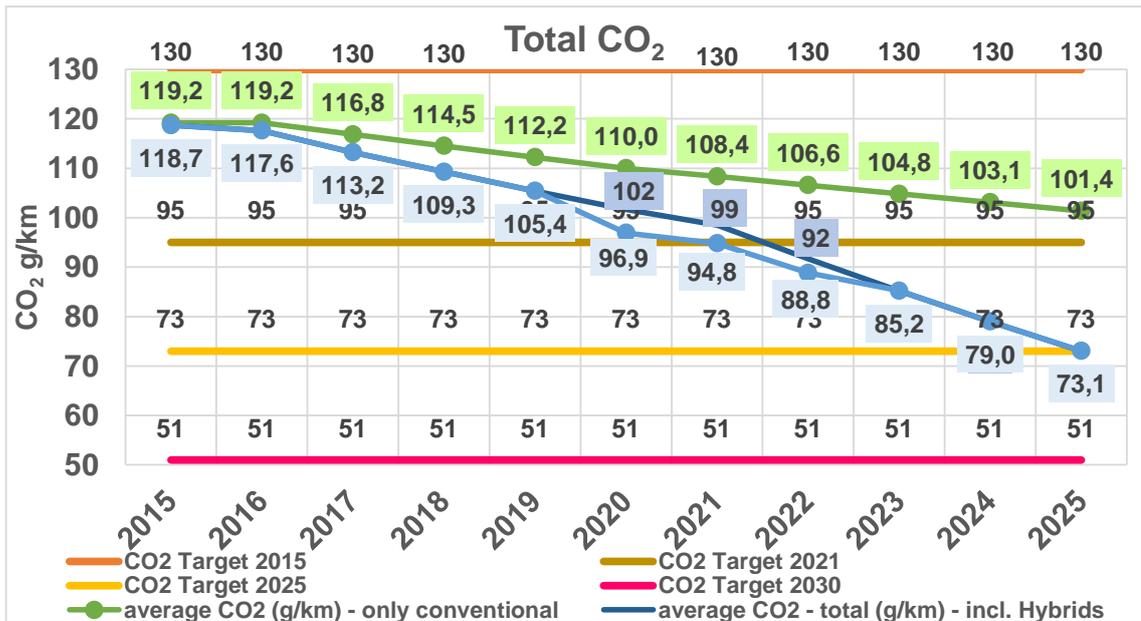


Abbildung 58: Auswertung der CO<sub>2</sub>-Flottenberechnung<sup>113</sup>

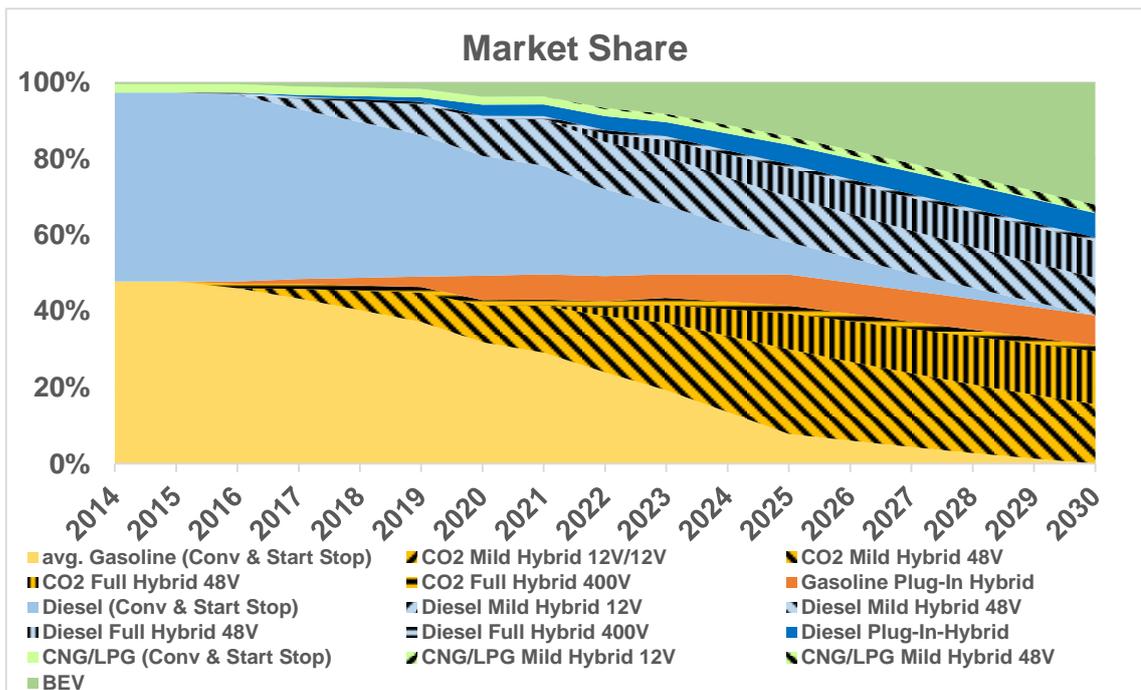


Abbildung 59: Marktverteilung nach Szenarien Entwicklung der EU<sup>114</sup>

<sup>113</sup> Lucas Onitsch, internes Dokument, 20170301\_EuropeSecenario, Graz, 2017.

<sup>114</sup> Lucas Onitsch, internes Dokument, 20170301\_EuropeSecenario, Graz, 2017.

Verbesserungen zur Erweiterung der Auswertungen und Darstellungen sind in weiterer Folge zu tätigen, um ein System wie dieses konsistenter bedienen zu können. In diesen Bereich fallen Dieselszenarien, indem die Verlagerung der dieselbetriebenen Fahrzeuge auf benzinbetriebene Fahrzeuge dargestellt wird. Für dieses Unterfangen müssen verschiedene Parameter berücksichtigt werden, da es derzeit zu Verzerrungen in Bezug der Fahrzeugmasse kommt. Ebenso würde eine Zusammenführung der beiden Entwicklungsformen zur Vereinfachung der Bedienung einen wesentlichen Fortschritt bedeuten. Schwieriger wird die Ausarbeitung äquivalenter Tools für unterschiedliche Märkte, da diese mit unterschiedlichen Gesetzgebungen und Informationen bezüglich der CO<sub>2</sub> Emissionen sowie Fahrzeugverkaufsdaten verbunden sind und teilweise auch nur entgeltlich erhältlich sind. So müssen in diesem Bereich noch einige Recherchen zur Weiterentwicklung betrieben werden.

## **6. Zusammenfassung**

Die auf die massebezogenen CO<sub>2</sub> Emissionsminderungen hat auf die Automobilindustrie einen großen Einfluss. Insbesondere bei Fahrzeugen mit höherer Masse ist die absolute und relative Anforderung zur Erreichung zukünftiger CO<sub>2</sub> Emissionsziele sehr hoch.

Aktuell beschlossene Ziele, für 2020, die weltweit einen niedrigen Flottenemissionswert vorsieht sind auch heute schon eine sehr hohe Herausforderung für die Automobilhersteller. Damit sind auch finanzielle und technologische Fortschritte und Anstiege zu erwarten, die nicht linear sondern in erster Linie exponentiell ansteigen werden.

Durch die Umstellung der NEDC Tests auf die WLTP Testzyklen wird ein dynamischerer Test des Fahrzeuges durchgeführt, dem ein höherer Emissionswert nachgewiesen werden wird. Durch die Multiplikationsfaktoren der elektrifizierten Fahrzeuge sollte die Verschärfung der Gesetzgebungen (EU, China) abgeschwächt werden. Diese Multiplikationsfaktoren können nur mit einberechnet

werden, wenn elektrifizierte Fahrzeuge in der Flotte bestehen. Mit der Weiterentwicklung der Technologien (MHEV, PHEV, BEV, FCEV, RE) reduzieren sich die CO<sub>2</sub> Emissionsziele, während sich der Preis der Fahrzeuge erhöhen wird. Real Drive Tests werden den Automobilherstellern weiterhin vor große Probleme stellen, da diese den CO<sub>2</sub> Ausstoß noch einmal drastisch erhöhen. Hersteller werden darauf mit Preiserhöhungen gegenüber den Konsumenten reagieren müssen um anstehende Strafzahlungen kompensieren zu können.

Andere Märkte wie die USA oder China bevorzugen zusätzliche Credit-Systeme die durch Emissionsberechnungen verifiziert werden können. Fahrzeugflotten mit wenigen Emissionen generieren positive andere negative Credits. Positive Credits können in weiterer Folge in verschiedenen Varianten genützt werden (Transferieren, Tauschen, usw.)

Auch aus verschiedenen Analysen geht hervor, dass die Nutzung der fortgeschrittenen Technologien sich die absoluten Emissionen von Ottomotoren allmählich an den Dieselmotor annähern. Durch die Einführung der elektrifizierten Fahrzeuge kommen Dieselmotoren in Hybridfahrzeugen seltener zum Einsatz. Szenarien die diese Verringerung der Dieselmotoren miteinrechnen, sind in weiterer Folge nötig um präzisere Vorhersagen treffen zu können.

Zusammenfassend werden Aussagen aus diesen Tools angewandt, um Aufschluss über die Entwicklungsszenarien von elektrifizierten Automobilen zu geben, um Herstellern die Chancen der Wettbewerbsfähigkeit in der Europäischen Union oder weiterführend in anderen Märkten zu gewährleisten. Diese Entwicklung wird auf Basis der Fahrzeugebene und Ebene der Komponenten, sowie des CO<sub>2</sub> Emissionsgesetzes geführt, da durch die im Kyoto – Protokoll der Vereinten Staaten gefassten Beschlüsse zur Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen, die Richtung der Elektrifizierung in der Automobilindustrie eingeschlagen werden muss.

Anhand der Methodikern zur optimierten Analyse können Tendenzen der behandelten Thematiken schnell und einfach visualisiert und dargestellt werden, um Problemzonen aufzuzeigen oder neue Erkenntnisse zu generieren. Dementsprechend können dadurch wirtschaftliche und technische Trends erläutert und veranschaulicht werden.

Hierfür wurden Modelle entwickelt, um die Fahrzeugindustrie auf technischer Ebene aber auch auf CO<sub>2</sub> Emissionsebene weiterzuentwickeln und die Aufmerksamkeit auf diese Faktoren zu lenken. Marktentwicklungen und entgeltliche Strafzahlungen können so vermieden und Gesetzgebungen verschiedener Märkte eingehalten werden.

Verbesserungen der Anwendungen und Analysen werden jetzt und auch in Zukunft bewältigt, um diese Tools durch Vereinfachungen in Bedienung, Handling und Aussagekraft zusammen zu nützen und technische Innovationen sowie auch Emissionsverbräuche miteinander visualisieren zu können.

Außerdem müssen diese Berechnungen und Analysen so aufbereitet werden, dass auch auf Zielmärkte mit unterschiedlichen Gesetzgebungen und deren jeweiligen Fokussierungen in Bezug auf die Emissionsberechnungen und Technologieentwicklungen angepasst werden können. Angesichts der schnellen wirtschaftlichen und technologischen Änderungen wird diese Thematik weiterhin ein großes Thema in der Automobilindustrie bleiben.

## Literaturverzeichnis

*International Energy Agency, World Energy Outlook, o.O., 2017, <https://www.iea.org/weo2017/>*

*Alankus, Orhan B, Technology forecast for electrical vehicle battery technology and future electric vehicle market estimation, *advances in automobile engineering*, o.O.,2017*

*AVL List, internes Dokument, 2012\_0927\_SQP\_Electrification\_AVL\_ServicesAndReferences\_Public, Graz, 2012*

*AVL List, internes Dokument, CO2\_Tool--v02, Präsentation, Graz, 2017*

*AVL List, internes Dokument, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP), Graz, 2017*

*AVL List, internes Dokument, The introduction of fuel consumption credit trading platform, Graz, o.J.*

*AVL List, internes Dokument, IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, Graz, 2016*

*Lucas Onitsch, internes Dokument, Berechnung Strommix, Graz, 2017*

*Brunnert Stefan, Technische Universität München Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, Modellierung des technisch-wirtschaftlichen Einsatz-Potentials von Elektrofahrzeugen in Großstädten, 2012*

*CATARC (China Automotive Technology and Research Center), internes Dokument, Graz, o.J, [http://www.catarc.ac.cn/ac\\_en/.](http://www.catarc.ac.cn/ac_en/)*

*Emma Elgquist, CEMAC, Lithium Ion Battery Key Elements – More Than Just Lithium, o.O., 2016, <https://www.manufacturingcleanenergy.org/blog-20160413.html>.*

*IHS Automotive, IHS Propulsion Database, Global Alternative Propulsion Dictionary,o.O.,2015*

E-Control, ENTSO-E-Mix 2016, E-Control, Wien, 2016, [https://www.e-control.at/stromnachweis/news/-/asset\\_publisher/15xLquyJKFLI/content/entso-e-mix-2017?inheritRedirect=false](https://www.e-control.at/stromnachweis/news/-/asset_publisher/15xLquyJKFLI/content/entso-e-mix-2017?inheritRedirect=false)

*ECCURO, Energiewende in China, o.O., 2016, <https://www.eccuro.com/artikel/260-energiewende-in-china>.*

*Energiezukunft, Die amerikanische Energiewende nimmt Fahrt auf, o.O., 2016, <https://www.energiezukunft.eu/politik/die-amerikanische-energiewende-nimmt-fahrt-auf-gn104032/>.*

*Engel, Tomi, Plug-In Hybrids, Studie zur Abschätzung des Potentials zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im PKW-Verkehr bei verstärkter Nutzung von elektrischen Antrieben im Zusammenhang mit Plug-in Hybrid Fahrzeugen, Berlin, 2008.*

*Harry M. Sneed, Richard Seidl, and Manfred Baumgartner, Software in Zahlen, Die Vermessung von Applikationen (Hanser Fachbuch), Leseprobe, o.O., 2010.*

*IEA International Energy Agency, Sankey, Balance 2016, <https://www.iea.org/Sankey/>*

*Ika, and RWTH Aachen, CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen nach 2020, Aachen, 2014*

*Kurt Engeljehring, internes Dokument, 01 AVL-D Emission Tech Day - Legislation - 2017-05-16, Graz, 2017*

*Lambert, Fred, Electrek, Breakdown of raw materials in Tesla's batteries and possible bottlenecks, o.O., 2016*

*Lambert F, Electrek, Breakdown of raw materials in batteries and possible bottlenecks,o.O., 2016*

*Lucas Onitsch, internes Dokument, 20170301\_EuropeSecenario, Graz, 2017*

Martin Randelhoff, *Elektroautos können den CO<sub>2</sub>-Ausstoß erhöhen*, *Zukunft Mobilität*, o.O., 2011, <https://www.zukunft-mobilitaet.net/7102/analyse/elektroautos-co2-wahrer-ausstoss-stromerzeugung/>

Spiegel Online, *Motoren in Elektroautos: Die großen Unbekannten*, o.O., 2010, <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/motoren-in-elektroautos-die-grossen-unbekannten-a-675692.html>

EAF0 study, Netherlands Organisation for applied scientific research and others, *The transition to a Zero Emission Vehicles fleet for cars in the EU by 2050*, o.O., 2017. Onitsch Lucas, *internes Dokument*, 2017\_07\_11\_GAPV\_Database\_Rel\_2\_0, Graz, 2017

Paolucci, Alessandro, JATO Dynamics, *The future of the car industry as WLTP bites where is the automotive industry heading amidst more stringent emissions targets*, o.O., 2017

Pricewaterhouse Coopers, PwC Autofacts, *Mit Elektrifizierung und Verbrennungsmotoren auf dem Weg in die Zukunft der Mobilität*, Deutschland, 2016

*Reichweitenverlängerer* – Wikipedia, o.O., 2017, <https://de.wikipedia.org/wiki/Reichweitenverl%C3%A4ngerer>

Dr. Rüdiger Paschotta, *RP-Energie-Lexikon - Brennstoffzelle, Wasserstoff, Methan, Methanol, Brennstoffe, Niedertemperatur, Hochtemperatur, Anwendungen, Elektroauto*, o.O., 2019, <https://www.energielexikon.info/brennstoffzelle.html>

Simon Göß, *Stromerzeugung in China 2016: Großes Wachstum erneuerbarer Energien inmitten thermischer Erzeugung*, *Energy BrainBlog*, o.O., 2017, <https://blog.energybrainpool.com/stromerzeugung-in-china-2016-grosses-wachstum-erneuerbarer-energien-inmitten-thermischer-erzeugung/>

*VDMA Power Systems, Power Expertenausblick, Strommix in der EU27, Entwicklung der Stromerzeugung in Europa 2007 bis 2030, Deutschland, o.J., [www.vdma.org/powersystems](http://www.vdma.org/powersystems)*

*Winkler, M. Hoffmann, S. Unterberger, B. Park, S.G. Weissbäck, M, internes Dokument, AVL List, Holistic Approach on 48V Hybridization, Kurzfassung, Graz, 2015*

*T-online.de, Verbrennungsmotoren, Viele kleine Schritte zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung, o.O., 2014, [https://www.t-online.de/auto/technik/id\\_71861534/verbrennungsmotoren-viele-kleine-schritte-zur-co2-reduzierung.html](https://www.t-online.de/auto/technik/id_71861534/verbrennungsmotoren-viele-kleine-schritte-zur-co2-reduzierung.html)*

*IHS Automotive, IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, o.O., 2015.*

*IHS Automotive, IHS-Powertrain Database-8-2016-Technology\_Update, o.O., 2016.*

*ICCT, ICCT, EEA. \* Volvo, Hyundai, Kia, Honda plotted with average weight of 2014 (EEA, 11-2015) [www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards](http://www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards), o.O., 2015*

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleiche der Gesetzgebungen EU/USA/China .....	9
Abbildung 2: CO <sub>2</sub> -Szenarien des weltweiten Verkehrs – Dramatische CO <sub>2</sub> -Reduktion und erforderliche Ziele .....	11
Abbildung 3: CO <sub>2</sub> -Flottenverbräuche basierend auf den Werten von 2015.....	13
Abbildung 4: Europa Prognose der Produktion von Fahrzeugen der unterschiedlichen Technologien .....	15
Abbildung 5: Europa Prognose der Produktion von elektrifizierten Fahrzeugen .....	15
Abbildung 6: Regulierung der CO <sub>2</sub> -Emissionen in China .....	17
Abbildung 7: Dualsystem für NEV Credits in China.....	22
Abbildung 8: Prognose der Produktion von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Technologien in China bis 2028 .....	23
Abbildung 9: Prognose der Produktion von elektrifizierten Fahrzeugen in China bis 2028 .....	23
Abbildung 10: CO <sub>2</sub> (g/mile) Standardkurve für PKWs 2017-2025 .....	25
Abbildung 11: Prognose der Produktionszahlen der unterschiedlichen Technologien in den USA bis 2028 .....	29
Abbildung 12: Prognose der Produktionszahlen der elektrifizierten Fahrzeuge der USA bis 2028 .....	30
Abbildung 13: WLTP-Testzyklen der Klasse 3b .....	32
Abbildung 14: NEDC-Testzyklus .....	32
Abbildung 15: Energieanstieg der Stromerzeugung in TWh zwischen 2015 und 2016 .....	43
Abbildung 16: Strommix der Republik China 2015.....	44
Abbildung 17: Strommix der USA 2015.....	48
Abbildung 18: Globale Verteilung der Minen zum Abbau der Materialien .....	53
Abbildung 19: Aufteilung der Batterietechnologien.....	55
Abbildung 20: Mild-Hybrid Lösungssystem – Parallel Hybrid Lösung – ISG und deren Fahrzeugbeispiele	58
Abbildung 21: Darstellung eines P2 Hybriden (Quelle: Volkswagen) .....	61
Abbildung 22: Darstellung der P0/2 Hybridtechnologie (Quelle: BMW/Mercedes) .....	62
Abbildung 23: Darstellung eines P0/4 Hybridfahrzeuges (Quelle: Peugeot) .....	63
Abbildung 24: Darstellung Power Split Technologie PS(Quelle: Lexus).....	64
Abbildung 25: Plug-In Hybrid Version P4/0 (Quelle: Volvo).....	65
Abbildung 26: Darstellung eines Seriellen Hybridfahrzeuges mit Range Extender (Quelle: Audi) .....	67
Abbildung 27: Rein elektrischer Systemaufbau EV (Quelle: Mitsubishi).....	69
Abbildung 28: Darstellung der CO <sub>2</sub> Flottenzielwerte mit Gegenüberstellung von Verbrennungsmotoren ..	72
Abbildung 29: Ausschnitt aus dem Template .....	74
Abbildung 30: Anzahl der Fahrzeuge in der Datenbank unterteilt in ihren Status der Entwicklung über den voraussichtlichen Erscheinungsmarkt .....	76
Abbildung 31: Darstellung der Fahrzeugenanzahl auf deren Segmente und Status .....	77
Abbildung 32: Darstellung der gravimetrischen Energiedichte der verschiedenen Elektrifizierungstypen über die Jahre des SOPs .....	78
Abbildung 33: Energieverbrauch der Batterie über die Startpunkte der Produktion .....	79
Abbildung 34: Batteriespannung der Elektrifizierungsgrade über SOP .....	80
Abbildung 35: Leistung der Batterie der jeweiligen Elektrifizierungsgrade über SOP .....	81
Abbildung 36: Leistung der Batterie über die rein elektrische Reichweite .....	81
Abbildung 37: Darstellung der elektrifizierten Fahrzeuge in deren Segmenten.....	83

Abbildung 38: Energiedichte über die rein elektrische Reichweite .....	84
Abbildung 39: Energiedichte mit miteinbezogener elektrischer Reichweite über den SOP .....	85
Abbildung 40: Elektrische Leistungsdichte des Fahrzeuges über Startpunkt der Produktion.....	86
Abbildung 41: Elektrische Leistungsdichte über das Leergewicht des Fahrzeuges .....	86
Abbildung 42: Elektrische Leistung des Elektromotors über das Leergewicht des Fahrzeuges.....	87
Abbildung 43: Entwicklung der Höchstgeschwindigkeiten über SOP .....	88
Abbildung 44: Entwicklung der Reichweite der elektrifizierten Fahrzeuge über SOP .....	89
Abbildung 45: Elektrische Reichweite in Abhängigkeit des Leergewichts .....	90
Abbildung 46: Verhältnis der mechanischen zur elektrischen Leistung über SOP .....	91
Abbildung 47: Verhältnis der Leistungen zum Leergewicht des Fahrzeuges über SOP.....	92
Abbildung 48: Elektrische Leistung der verbauten Elektromotoren über SOP .....	93
Abbildung 49: CO <sub>2</sub> -Ausstoß der Fahrzeuge in den jeweiligen Segmenten über den SOP.....	95
Abbildung 50: Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge der einzelnen Segmente über SOP.....	96
Abbildung 51: CO <sub>2</sub> -Ausstoß der einzelnen Fahrzeuge in ihren Segmenten über deren Leergewicht .....	97
Abbildung 52: Gegenüberstellung der Benzin und Diesel betriebenen Fahrzeuge in deren Segmenten ...	98
Abbildung 53: Auswertung der Reichweite mit Trendlinie für EVs und Zielareal für Automobilhersteller .	100
Abbildung 54: Zielbereich des Leergewichtes in Bezug auf EVs.....	101
Abbildung 55: Elektrisch installierte Leistung in Abhängigkeit des Leergewichtes und deren Trends .....	102
Abbildung 56: Verteilung der durchschnittlichen CO <sub>2</sub> -Flottenwerte eines europäischen OEMs .....	104
Abbildung 57: Gliederung der Kraftstoffe in Abhängigkeit des Leergewichtes, und CO <sub>2</sub> Ausstöße .....	105
Abbildung 58: Auswertung der CO <sub>2</sub> -Flottenberechnung.....	107
Abbildung 59: Marktverteilung nach Szenarien Entwicklung der EU .....	107

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: CO <sub>2</sub> -Zielwerte 2016, 2020 .....	12
Tabelle 2: Maximale Limits des Kraftstoffverbrauchs in China und deren CAFC-Ziele .....	18
Tabelle 3: Multiplikationsfaktoren für elektrifizierte Fahrzeuge mit mehr als 50km elektrischer Reichweite	19
Tabelle 4: Multiplikationsfaktoren für Fahrzeuge mit einem Verbrauch von weniger als 2,8l / 100km.....	19
Tabelle 5: Verhältnis zwischen CAFC und TCAFC .....	20
Tabelle 6: Emissionsziele der Hersteller in g/km bis 2025 .....	26
Tabelle 7: Emissionsziele der Hersteller in g/mile bis 2025.....	26
Tabelle 8: Unterschied der Testzyklen WLTP und NEDC .....	33
Tabelle 9: CO <sub>2</sub> -Emissionsziele der Technologien .....	34
Tabelle 10: RDE-Multiplikationsfaktoren .....	35
Tabelle 11: RDE-Emissionen der Technologien.....	35
Tabelle 12: Durchschnittliche gCO <sub>2</sub> /kWh von Primärenergieträgern .....	36
<i>Tabelle 13: Stromproduktion in Europa (2007-2030).....</i>	<i>38</i>
Tabelle 14: Stromkapazitäten in Europa (2007-2030).....	38
Tabelle 15: Europäischer Strommix 2016 .....	39
Tabelle 16: Berechnung der gCO <sub>2</sub> /100km von Elektrofahrzeuge für verschiedene Energieträger in Europa 2016 .....	40
Tabelle 17: Berechnung der gCO <sub>2</sub> /100km für verschiedene Energieträger (China) 2015 .....	45
Tabelle 18: Berechnung der gCO <sub>2</sub> /kWh für verschiedene Energieträger (USA) 2015.....	49
Tabelle 19: Darstellung der Eigenschaften eines Mild-Hybrid Fahrzeuges .....	59
Tabelle 20: Darstellung der Eigenschaften von Voll-Hybridfahrzeugen.....	64
Tabelle 21: Darstellung der Eigenschaften von Plug-In Hybriden .....	66
Tabelle 22: Darstellung der Eigenschaften eines Seriellen Hybriden mit Range Extender .....	68
Tabelle 23: Systemkomponenten der angeführten Technologien .....	71