

Wirtschaftlichkeitsanalyse verschiedener PKW-Antriebe

Bachelorarbeit

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

vorgelegt von

Name: Kuhl

Vorname: Sophie



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Ort, den Hannover,

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Einleitung	1
2. Vorstellung der einzelnen Fahrzeugantriebe	5
2.1. Diesel am Beispiel des VW Golf 1.6. TDI.....	7
2.2. Batterie-elektrischer Antrieb am Beispiel des VW E-Golf	9
2.3. Brennstoffzellen-elektrischer Antrieb am Beispiel des Toyota Mirai	12
2.4. Gas/Methan-Verbrenner am Beispiel des VW Golf 1.5. TGI	13
2.5. H ₂ -Verbrenner am Beispiel des BMW Hydrogen 7.....	14
3. Technologienbewertung	15
3.1. Treibhausgasausstoß, Schadstoffe und Umweltfreundlichkeit.....	16
3.2. Ladeinfrastruktur	22
3.3. Reichweiten	25
4. Kostenfaktoren	28
4.1. Kaufpreis und Zukunftstrends	29
4.2. Wartung & Reparaturen.....	36
4.3. Kraftstoff, Versicherung	38
4.4. Politische Rahmenbedingungen: Kfz - Steuer	43
5. Kostenvergleich der fünf Fahrzeuge	46
6. Probleme/Chancen jedes Antriebs	50
7. Diskussion, Implikationen und Handlungsempfehlungen	51
8. Abschließendes Fazit	52
9. Ausblick	53
Literaturverzeichnis	54
Anhänge	60

1. Einleitung

In Zeiten des Klimawandels und der damit in Zusammenhang stehenden Erderwärmung rückt die Thematik des Schutzes unseres Klimas immer weiter in den Vordergrund.

Seit Anbeginn aller Forschungen, Messungen und Aufzeichnungen gilt die Erde als einziger bekannter bewohnbarer Planet. Das liegt daran, dass eine Vielzahl von unterschiedlichen Variablen zusammentreffen, die eine Existenz sämtlicher Lebewesen letztendlich erst ermöglichen können. Dazu zählen unter anderem die Sauerstoffkonzentration, das Wasservorkommen und letztendlich auch die passenden klimatischen Verhältnisse, auf die nachfolgend in Bezug auf die Thematik dieser Ausarbeitung ein verstärkter Fokus gelegt wird.

So stellt das Klima auf der Erde für sämtliche Tiere, Pflanzen und Menschen eine der wesentlichen Einflussgrößen dar, um eine Grundlage für das Überleben zu gewährleisten. Was passiert jedoch, wenn diese aus dem Gleichgewicht gerät?

Insbesondere seit Anbeginn des industriellen Zeitalters sorgen erhebliche Verbrennungsmengen fossiler Brennstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle für einen immens hohen Ausstoß an Kohlendioxid. Diese enorm hohe Konzentration an Kohlenstoffdioxidmolekülen in der Atmosphäre verhindert letztendlich die partielle Rückleitung der Wärmestrahlung in den Weltraum, was zur Konsequenz hat, dass die Wärmeenergie in der Erdatmosphäre gespeichert wird und damit verbunden die klimatischen Verhältnisse auf unserem Planeten ansteigen.¹

Aufgrund der Analogie dieses Prozesses der Wärmespeicherung mit dem Prinzip eines Treibhauses, wird diese Entwicklung in der Wissenschaft als natürlicher Treibhauseffekt bezeichnet.²

Führt man sich einmal die bereits real bestehenden Einflüsse der Erderwärmung auf unsere Umwelt vor Augen, wird schnell deutlich, wie weitreichend und dringlich diese Auswirkungen sind.

„2018 war das wärmste Jahr seit Aufzeichnungsbeginn und übertraf damit noch die Rekordjahre 2016 und 2017“. „Die Mitteltemperatur an der Erd- und Wasseroberfläche hat in den vergangenen Jahrzehnten stetig zugenommen“.⁴

Die Speicherung der Wärmeenergie erfolgt mit bis zu 93 % zum größten Teil über die Ozeane, was zur thermischen Expansion der Weltmeere führt. Dieser signifikante Temperaturanstieg hat zur Konsequenz, dass die Eisschilde und Gletscher der kälteren Regionen rund um den Bereich der Polkappen wie Grönland und der Antarktis von starken Abschmelzprozessen betroffen sind.⁵

Allein das gesamte Abschmelzen der Antarktis würde zu einem Meeresspiegelanstieg von insgesamt 60 Metern führen und damit sämtliche Landmassen überfluten. Um sich in diesem Zusammenhang die Dramatik der möglichen Konsequenzen bei einer kontinuierlichen Entwicklung des Prozesses vor Augen zu führen, wäre ein Anstieg von nur einem Meter ausreichend,

¹ Vgl. Hipp, Roland und Kaiser, Martin, Erwärmung im Akkord (o.J.), www.greenpeace.de (Zugriff: 20.05.2019).

² Vgl. Ittershagen, Martin, Wie funktioniert der Treibhauseffekt (03.08.2013), www.umweltbundesamt.de (Zugriff 20.05.2019).

³ Breitkopf, A.; Statistik: Jahre mit der höchsten Durchschnittstemperatur in Deutschland (12.08.2019), Statistiken, <https://de.statista.com> (Zugriff: 14.08.2019).

⁴ Egenter, Sven, Klimawandel – Eine Faktenliste (o.J.), www.klimafakten.de (Zugriff: 22.05.2019).

⁵ Ebd.

um die gesamte niederländische und weite Teile der deutschen Küste untergehen zu lassen.⁶

Derzeitig beträgt der grönländische Eisschwund 250-300 Milliarden Tonnen pro Jahr, was aufgrund der Größendimensionen der Weltmeere lediglich mit einem Anstieg von 0,6 mm jährlich verbunden ist.⁷ Deshalb liegen die zuvor prognostizierten Horroszenarien zwar noch in weiter Ferne, rücken aber stetig und mit einer immer schneller wachsenden Rate näher, weshalb schon in der heutigen Zeit ein Umdenken mit Blick auf die Zukunft stattfinden muss.

Die Kette der mit der Erderwärmung verbundenen Reaktionen ist lang und lässt sich im Rahmen dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung nicht vollständig darlegen. Entscheidend ist jedoch, dass vor dem Hintergrund der bereits vorliegenden und vorgestellten Auswirkungen, der Klimawandel eine der größten und einschneidendsten Problematiken aller Zeiten darstellt und sich zur Sicherung der Existenz der Artenvielfalt, der Menschheit und unseres gesamten Planeten der Herausforderung gestellt werden muss, dieser Entwicklung mit allen uns zur Verfügung stehenden Möglichkeiten entgegenzuwirken.

Bei der Ermittlung von Ursachen für den zuvor erläuterten Klimawandel, stößt man unter anderem auf das breitgefächerte Feld der Automobilbranche.

In Anknüpfung an die oben genannte Problematik des Klimawandels spielen die Schadstoffemissionen grade dieser Branche eine immens große Rolle. Dabei ist allen Schadstoffen voran das Kohlenstoffdioxid das Gas, welches neben anderen Stickoxiden zu 80 % für die Klimaerwärmung verantwortlich ist. Es entsteht bei Verbrennungsprozessen als Abbauprodukt, welches in die Erdatmosphäre emittiert wird.⁸ Bei einer gegenwärtigen Momentaufnahme werden noch viel zu viele Automobile mit Verbrennungsmotoren betrieben und tragen somit die Verantwortung für die großen CO₂-Mengen in der Atmosphäre.

Aufgrund dessen hat die Bundesregierung in seinen Minderungszielen festgehalten, den Schadstoffausstoß bis zum Jahre 2020 um 40 % zu reduzieren. Diesem Ziel wird Deutschland mit einer prognostizierten Reduktion von 32 % bis zum Ende des Jahres nicht gerecht werden können.⁹ Daran ist der deutsche Verkehrssektor zu einem sehr hohen Teil mitschuldig. Er trägt mit 170 Millionen Tonnen Treibhausgasemissionen ca. 19 % zum gesamten deutschen Schadstoffausstoß bei und zählt direkt nach dem Industriesektor zum zweitgrößten CO₂-Verursacher.¹⁰

Die Automobilindustrie, die 20 % des gesamten Industrieumsatzes in Deutschland ausmacht, und damit als am umsatzstärksten gilt, stellt damit eine der mächtigsten, einflussreichsten und auch für den Klimawandel mitverantwortlichsten Branchen dar.¹¹

Vergrößert man nun etwas seinen Blickwinkel und legt sein Augenmerk nicht nur auf Deutschland, sondern auf Europa und die ganze Welt, wird deutlich wie viel die Automobilindustrie auch global zum Schadstoffausstoß beiträgt.

Im Jahre 2016 betrug der CO₂-Ausstoß der EU ca. 4.291 Millionen Tonnen.¹²

⁶ Vgl. Schadwinkel, Alina, Sie schmilzt (13.06.2018), www.zeit.de (Zugriff: 15.06.2019).

⁷ Vgl. Egenter, Sven, Klimawandel – Eine Faktenliste (o.J.), www.klimafakten.de (Zugriff: 22.05.2019).

⁸ Vgl. Kusch, Marcel, EU reduziert CO₂-Emissionen (08.05.2019), www.spiegel.de (Zugriff: 25.05.2019).

⁹ Vgl. Zylka, Regine (2018), S.18.

¹⁰ Vgl. Müller-Görnert, Michael, VCD Faktencheck (08/2018), www.vcd.org (Zugriff: 30.05.2019).

¹¹ Vgl. Bormann, René et al., (2018), S.7.

¹² Vgl. Ittershagen, Martin, Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union (03.08.2013), www.umweltbundesamt.de (Zugriff 20.05.2019).

78 % aller Treibhausgasemissionen der EU wurden dabei im Bereich des Energiesektors verursacht. 33 % davon entstehen innerhalb des Transportsektors.¹³

44,5 % aller Treibhausgasemissionen des Transportsektors in der EU werden dabei von PKW produziert.¹⁴

Das bedeutet also, dass von allen in der EU entstandenen Abgasemissionen, über 10 % den PKW zugeordnet werden können.

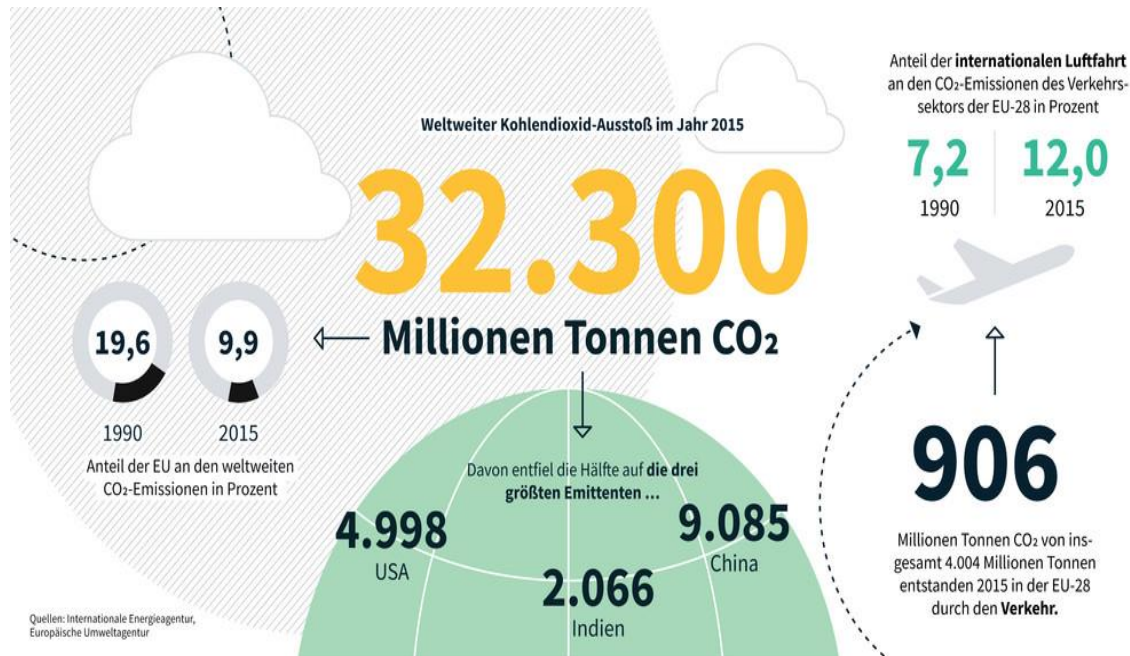


Abbildung 1: Weltweiter Kohlendioxid-Ausstoß im Jahr 2015¹⁵

Wie sich der Abbildung 1 entnehmen lässt, beliefen sich die weltweiten Treibhausgasemissionen auf 32.300 Millionen Tonnen CO₂.¹⁶

23 % dieser globalen Emissionen - in absoluten Zahlen also 7.429 Millionen Tonnen CO₂ – werden dabei innerhalb des Transportsektors von Personen und Gütern verursacht.¹⁷

Und diese Zahlen nehmen rapide zu. Da China, Indien und ganz Südostasien starke Fertilitätsraten verzeichnen und die Bevölkerung dort stetig wächst, rechnet der Weltklimarat bis 2050 mit einer Verdopplung des CO₂-Ausstoßes in diesem Sektor, wenn dem nicht entgegengewirkt wird.¹⁸

Die Automobilindustrie trägt damit nicht nur deutschland-, oder europaweite, sondern eine globale Verantwortung den Klimawandel zu stoppen und die oben genannten Folgen mit Hilfe neuer Mobilitätskonzepte und Antriebsarten zu verhindern.

Diese Verantwortung, sowie steigender politischer Druck z.B. neuen Vorgaben zu entsprechen, um das 40 % - Ziel der Bundesregierung zur Dekarbonisierung einhalten zu können, führte zur

¹³ Vgl. Europäisches Parlament, Treibhausgasemissionen nach Ländern und Sektoren (07.03.2018), www.europarl.europa.eu (Zugriff: 30.05.2019).

¹⁴ Vgl. Jork, Herrmann, Klimapolitik: Die CO₂-Welt (09.11.2017), www.iwd.de (Zugriff 02.06.2019).

¹⁵ Quelle: Hüther, Michael et al., CO₂-Emissionen in der EU: Der Transportsektor (2017), [iwd.de](http://www.iwd.de) (Zugriff: 21.05.2019).

¹⁶ Ebd.

¹⁷ Vgl. Blume, Jutta, Verkehr verursacht fast ein Viertel der weltweiten CO₂-Emissionen (25.11.2015), www.heise.de, (Zugriff 10.06.2019).

¹⁸ Ebd.

Entwicklung vieler neuer Antriebsarten.

In dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung werden vier davon, sowie der konventionelle Dieselmotor hinsichtlich ihrer Kosten und Umweltverträglichkeit analysiert und einem Vergleich unterzogen.

Im nachfolgenden Teil dieser Arbeit geht es darum, einen soliden Überblick über die einzelnen Antriebsarten zu schaffen, da diese den Grundstein für alle weiteren Analysen darstellt.

Im Hauptteil dieser Ausarbeitung werden dann die Kostenfaktoren behandelt, die auf den Gesamtpreis Einfluss haben, um am Ende herauszustellen, welches Fahrzeug stellvertretend für die verschiedenen Antriebe am kostengünstigsten ist und welches hinsichtlich der Kosten/km und der Umweltschädlichkeit angeschafft werden sollte.

Welches Fahrzeug/welcher Antrieb auch unter Umweltaspekten am kostengünstigsten ist und wie sich der Gesamtpreis in Bezug auf gewisse Kostenfaktoren verändert, stellt die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit dar. Um die Auswirkungen der einzelnen Kosten auf die Gesamtkosten und die Abhängigkeiten untereinander darzustellen, wurde das Excel-Tool genutzt.

Des Weiteren ist es Ziel dieser Arbeit für verschiedene Nutzer auch vor einem kostentechnischen Hintergrund Handlungsempfehlungen geben zu können und Thesen aufzustellen, welche Perspektiven fahrzeugtechnisch für welchen Nutzer realisierbar sind.

Allgemein sollen Impulse zum Umdenken gegeben werden, um so einen weiteren Schritt gegen die Erwärmung unseres Planeten zu gehen.

8. Abschließendes Fazit

In dieser Ausarbeitung wurden fünf verschiedene Technologien und Automobile anhand vielerlei Kriterien analysiert. Den größten Faktor spielten dabei die Kostenkriterien. Aber auch weitere Kauf- und Umweltaspekte wie die Reichweiten, Ladeinfrastrukturen und Abgaswerte wurden berücksichtigt. Zunächst wurde zum besseren Verständnis der Analyse jeder Antrieb hinsichtlich seiner technischen Aspekte beleuchtet. Dabei wurden schon einige Vor- und Nachteile jedes Antriebs erkennbar.

Verbrennerfahrzeuge verlieren aufgrund ihrer vielen benötigten Bauteile und dem damit zusammenhängendem hohen Gewicht an Wirkungsgrad. Ebenso sind alle Prozesse, bei denen etwas verbrannt wird vom Carnotschen Wirkungsgrad beschränkt. Für elektrifizierte Fahrzeuge, bei denen keine Umwandlung mechanischer in Wärmeenergie abläuft, trifft diese Beschränkung nicht zu. Wirkungsgradverluste bedeuten immer direkt, dass mehr Kraftstoff für weniger Leistung benötigt wird. Die Gesetze der Thermodynamik stehen also in einem direkten Verhältnis zum Kraftstoffverbrauch, welcher die Grundlage für die Kraftstoffkosten darstellt.

Des Weiteren wurde beispielsweise aufgedeckt, dass eine Verbrennung von Dieselpartikeln ungleichmäßiger und unruhiger abläuft, als die Verbrennung von Benzin. Dies führt zu einem höheren Schadstoffausstoß von Dieselfahrzeugen relativ zu Benzinfahrzeugen.

Dies ist nur ein Beispiel für den unmittelbaren sachlichen Zusammenhang zwischen dem CO₂-Ausstoß und den physikalischen Eigenschaften der Kraftstoffe.

Im weiteren Verlauf der Ausarbeitung wurden dann die aktuellen Reichweiten und die Ladeinfrastruktur miteinander verglichen. Die Entwicklung dieser wurde analysiert und Trends wurden prognostiziert.

Anhand dieser Analysen wurden Handlungsempfehlungen zum Kauf einzelner verschieden angetriebener Fahrzeuge hinsichtlich der Reichweiten und Ladeinfrastruktur gegeben.

Im Hauptteil der Ausarbeitung wurden einzelne Kostenfaktoren und schließlich die Gesamtkosten verglichen und in einer anschließenden Analyse die Ursachen hervorgehoben. Es wurden Änderungen in den Gesamtkosten im Hinblick auf mögliche Kaufpreisänderungen thematisiert. Mit den untereinander verknüpften Excel-Tabellen wurde deutlich, dass die Änderung eines Kostenfaktors (beispielsweise des Kaufpreises) unmittelbar zur Änderung der Gesamtkosten führt.

Anhand dessen konnten Handlungstendenzen einzelner Nutzer analysiert und Handlungsempfehlungen für Arten von Nutzern gegeben werden. Allerdings lässt sich keine 100 - prozentige auf alle Nutzer zutreffende, ideale Empfehlung geben, sondern es muss zwischen den einzelnen Faktoren und den individuellen Präferenzen jedes Nutzers unterschieden werden.

Im Anschluss wurden die Probleme und Chancen jedes einzelnen Antriebs noch einmal zusammengefasst und dargelegt.