

Analyse alternativer Kraftstoffe im Straßenverkehr

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: Nerge

■■■■■■ ■■■■■■

Vorname: Dominik

■ ■■■■■■

Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 27. September 2018

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abkürzungsverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
1.1 Relevanz des Themas	1
1.2 Externe Einflüsse	3
1.3 Zielsetzung	4
2 Alternative Kraftstoffe	4
2.1 Biogas	4
2.1.1 Herstellung	4
2.1.2 Aktueller Stand	6
2.1.3 Potenzial	9
2.2 Biodiesel	10
2.2.1 Herstellung	10
2.2.2 Aktueller Stand	11
2.2.3 Potenzial	12
2.3 Elektrizität	12
2.3.1 Technologie	12
2.3.2 Aktueller Stand	15
2.3.3 Potenzial	19
2.4 Wasserstoff	21

2.4.1	Herstellung.....	21
2.4.2	Aktueller Stand.....	23
2.4.3	Potenzial	25
2.5	Synthetischer Diesel.....	27
2.5.1	Herstellung.....	27
2.5.2	Aktueller Stand.....	27
2.5.3	Potenzial	28
2.6	Ammoniak	29
2.6.1	Herstellung.....	29
2.6.2	Ammoniak als alternativer Kraftstoff	30
2.6.3	Potenzial	31
3	Vergleich	32
3.1	Emissionsvergleich.....	32
3.2	Kostenvergleich.....	35
3.3	Infrastrukturvergleich	36
4	Bewertung	37
4.1	Bewertung der Analyse	37
4.2	Bewertung des Potenzials	38
4.3	Zusammenfassung	41
5	Fazit.....	41
6	Literaturverzeichnis	43
7	Anhang.....	54

1. Einleitung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Notwendigkeit der erneuerbaren Kraftstoffe im Straßenverkehr und wie diese durch externe Einflüsse gefördert werden sollen, gefolgt von der Zielsetzung der Bachelorarbeit.

1.1 Relevanz des Themas

Mit Beginn der Industriellen Revolution, Anfang des 19. Jahrhunderts, stieg der Bedarf an fossilen Rohstoffen immer weiter an. Damit begann der Klimawandel und ist nun allgegenwärtiger als je zuvor. In den letzten Jahrzehnten wurden Änderungen festgestellt, die es nie zuvor gegeben hat. Seit 1850 war jedes der letzten drei Jahrzehnte wärmer als alle vorangehenden Jahrzehnte. Die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstieges seit Mitte des 19. Jahrhunderts ist größer als der durchschnittliche Anstieg der vergangenen zwei Jahrtausenden. Die Wissenschaftler sehen den Treiber der Klimaänderung beim stets positiven Strahlungsantrieb. Die immer größer werdende atmosphärische Kohlenstoffdioxid (CO₂) -Konzentration leistet den größten Beitrag zum Strahlungsantrieb.¹ Der Klimawandel hat nicht nur einen Einfluss auf die Umwelt sondern beeinflusst auch direkt die Wirtschaftsprozesse. Auf Grund vieler Unsicherheiten wurden dennoch mit Hilfe von Szenarienanalysen, empirischen Untersuchungen und sektorale Betrachtungen Einschätzungen in Bezug auf die gesamtwirtschaftlichen Kosten des Klimawandels getätigt. Aus den verschiedenen Studien wird deutlich, dass auch in Deutschland vor allem durch internationale Rückkopplungseffekte negative Auswirkungen des Klimawandels zu erwarten sind.² Unter der Annahme eines Szenarios künftiger Emissionen werden durch Computermodelle versucht das zukünftige Klima zu projizieren. Unterschiedliche Szenarien ergeben bis Ende des Jahrhunderts einen mittleren globalen Temperaturanstieg bis zu 4,4 Grad Celsius (°C). Die Folgen sind der weitere Anstieg des Meeresspiegels und der Rückgang des Meereises.³

Dabei entstehen diese Emissionen unter anderem bei der Energiegewinnung, bei Industrieprozessen und circa (ca.) ein Fünftel im Verkehr und Transport. Die folgende Grafik zeigt die jährliche Treibhausgas (THG) - Emission in Deutschland von 1990 bis 2016

¹ Vgl. Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (2014), S. viii.

² Vgl. Brasseur, Jacob, Schuck-Zöller (2017), S. 263.

³ Vgl. Brasseur, Jacob, Schuck-Zöller (2017), S. 15.

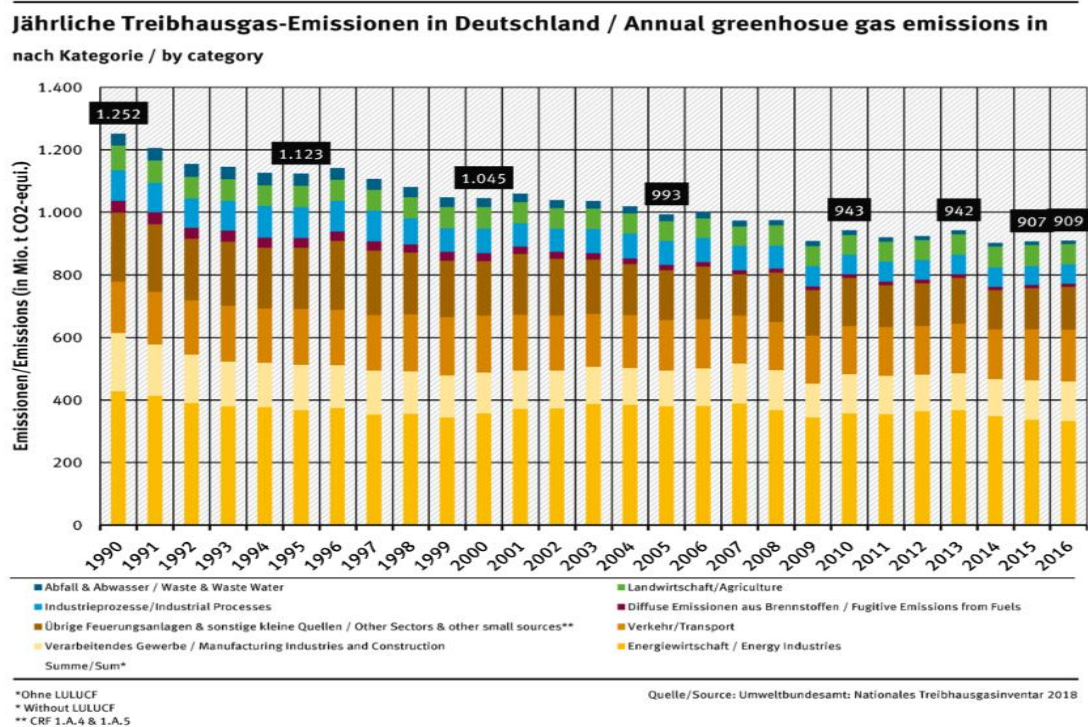


Abbildung 1: Nationales Treibhausgasinventar 2018⁴

Der Anteil der Treibhausgasemissionen, die durch den Verkehr und Transport verursacht wurden, blieb seit 1990 bei ca. 20 Prozent (%). Von 1990 bis 1999 stiegen die Werte trotz verbesserter Fahrzeugtechnik durch erhöhten Kraftstoffverbrauch leicht an. Bis 2013 änderte sich dies und es wurden bessere Ergebnisse erbracht. Das änderte sich aber aufgrund der steigenden Fahrleistung wieder, wodurch die Emissionen bis 2016 anstiegen.⁵ Hinzu kommt der stetige Anstieg der Kraftfahrzeuge. Betrachtet man nur den Bestand der Personenkraftwagen (Pkw) stieg dieser von 1960 bis 2018 von knapp 4,5 Millionen auf etwa 46,5 Millionen.⁶

Ein weiterer Punkt, der verdeutlicht, dass auf lange Sicht auf fossile Rohstoffe verzichtet werden muss, ist die begrenzte Verfügbarkeit der Ressourcen. In den vergangenen 30 Jahren stieg der Bedarf an fossilen Rohstoffen um 100%. Bis zum

⁴ Vgl. Umweltbundesamt (2018a).

⁵ Vgl. Umweltbundesamt (2016).

⁶ Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt (2018a).

Ende des Jahrhunderts steigt der Bedarf an Energie noch einmal um das Drei.- bis Sechsfache.⁷

Um diesen Trends entgegen zu wirken und die Emissionswerte und die CO₂-Konzentration zu verbessern sind erneuerbare Energien für die Zukunft unerlässlich.

1.2 Externe Einflüsse

Um den Aspekten in Abschnitt 1.1 entgegen zu wirken und den Fokus auf alternative Kraftstoffe zu legen, wird die Automobilindustrie mit Hilfe von Gesetzen und Vorschriften beeinflusst.

Die Verordnung EG Nr.715/2007 des Europäischen Parlaments vom 20. Juni 2007 legt die Emissionsgrenzwerte für leichte Personenkraftfahrzeuge und Nutzfahrzeuge fest. Die sogenannte Euro 6 – Abgasordnung. Durch diese Verordnung werden die CO₂-Emissionen von neuen Pkw stufenweise begrenzt.

Hinzu kommt die 39. Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2.8.2010. Um diese Verordnung einhalten zu können, hat das Bundesverwaltungsgericht dem Urteil zu Fahrverboten in Städten zugestimmt. Dadurch dürfen in bestimmten Regionen Dieselfahrzeuge, die die entsprechend einzuhaltenden Emissionsgrenzwerte überschreiten, nicht fahren.⁸ Der Automobilhersteller Porsche zieht als erster deutscher Autokonzern daraus Konsequenzen und bietet künftig keine Dieselfahrzeuge mehr an. Dies bestätigt der Vorstandschef Blume in einem Interview.⁹

Nachdem der Staat durch Gesetze, Verordnungen und Grenzwerte Einfluss auf die Automobilhersteller ausübt, wird auch versucht die Endverbraucher zum Kauf von umweltfreundlichen Automobilen zu überzeugen. Die Bundesregierung fördert durch Kaufprämien den Kauf von Elektroautos mit 4.000 Euro (€) beziehungsweise (bzw.) Plug-in-Hybride mit 3.000€. Zu den einmaligen Kaufprämien entfällt bei Elektroautos zehn Jahre lang die Kraftfahrzeugsteuer.¹⁰ Durch das Elektromobilitätsgesetz vom 5. Juni 2015 (BGBl. I S. 898) sind weitere Vorteile für die Halter der Elektrofahrzeuge möglich. Dadurch ist es den Städten erlaubt, Parkplätze nur für Elektroautos gebührenfrei anzubieten.

⁷ Vgl. Quaschnig (2013), S.19.

⁸ Vgl. Franzius (2018), S. 433-436.

⁹ Vgl. Süddeutsche Zeitung (2018).

¹⁰ Vgl. Bundesregierung (2016).

Mit Hilfe dieser externen Einflüsse sollen die Endverbraucher zum Kauf eines umweltfreundlichen Autos bewegt werden.

1.3 Zielsetzung

Das Thema dieser Bachelorarbeit ist die Analyse und Bewertung der alternativen Kraftstoffe. Diese Kraftstoffe sollen zunächst im Hinblick auf deren Herstellung, den aktuellen Stand und dem Entwicklungspotenzial untersucht werden. Nachdem der Zusammenstellung der einzelnen Faktoren sollen die analysierten Kraftstoffe an Hand verschiedener Kriterien verglichen und bewertet werden.

Mit Hilfe der Bewertung soll herausgefunden werden, wie die Energiegewinnung im Straßenverkehr kurz.- mittel.- bzw. langfristige geändert werden kann, um die Klimaziele zu erreichen. Zudem stellt sich die Frage, welches Potential die verschiedenen alternativen Kraftstoffe besitzen.

2 Alternative Kraftstoffe

In diesem Kapitel werden die alternativen Kraftstoffe vorgestellt.

2.1 Biogas

2.1.1 Herstellung

Biogas ist ein gasförmiges Gemisch welches aus dem Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid besteht. Dabei ist der Methangehalt mit ca. 50-65% die wichtigste Substanz.

Der Ursprung des Biogases liegt in der Versetzung organischer Stoffe wie z.B. Eiweißverbindungen, Kohlenhydraten und Lipiden. Diese werden unter dem Ausschluss von Sauerstoff in einer Biogasanlage durch Mikroorganismen in ihre Einzelbausteilen gespalten. Als nächstes werden kurzkettige organische Säuren gebildet, die wiederum unter Bildung von Wasserstoff zu Essigsäure abgebaut werden. Die Hauptkomponenten des Biogases Methan und Kohlendioxid sind das Spaltprodukt der Essigsäure.^{11 12}

Für diesen Prozess können unterschiedliche Einsatzstoffe verwendet werden. Besonders das Verwenden verschiedener Abfälle wie industrielle Abfälle (z.B. Algen bei Kraftwerken, Glycerin aus der Biodieselproduktion), kommunale Abfälle (z.B.

¹¹ Vgl. Braun (1982), S.11-17.

¹² Vgl. Hofmann, S. 2f.

die Entwicklung noch ganz am Anfang. Der Ammoniakkraftstoff hat aber entscheidende Vorteile gegenüber Wasserstoff und dem synthetischen Diesel, der sehr großes Potenzial besitzt. Anders als der e-fuel ist der Wasserstoffträger Stickstoff und kein CO₂ und verursacht somit keine CO₂-Emissionen beim Betrieb, wodurch die Luftqualität in Ballungsgebieten nicht schlechter wird. Zudem eignet sich der Stickstoff als sehr guter Träger für den Wasserstoff, wodurch die Nachteile des Wasserstoffkraftstoffes beseitigt werden und somit eine gute Infrastruktur aufgebaut werden kann. Wie bei dem e-fuel muss auch beim Ammoniak ein kostengünstiges klimaneutrales Herstellungsverfahren für die Massenproduktion entwickelt werden, damit der Kraftstoff der alternative Kraftstoff im Straßenverkehr werden kann.

4.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die zuvor verglichenen Analysen der verschiedenen Kraftstoffe bewertet. Dabei lassen sich die Kraftstoffe in die Biokraftstoffe und die strombasierten Kraftstoffe unterteilen. Die Bewertung zeigt deutlich, dass die Biokraftstoffe eine kurzfristige Lösung sein können. Auf Grund der, im Verhältnis zu den strombasierten Kraftstoffen schlechten WtW-Analyse sind die Biokraftstoffe keine langfristige Lösung. Die strombasierten Kraftstoffe werden auf Grund der Klimaneutralität die Kraftstoffe der Zukunft sein. Besonders die Elektrizität in Verbindung mit Elektrofahrzeugen wird mittel- bzw. langfristig den Personenkraftwagenmarkt dominieren. Aufgrund der geringen Energiedichte der Batterietechnologie wird langfristig der synthetische Kraftstoff im Flug- und Schiffsverkehr und vor allem beim Güter- und Fernverkehr im Straßenverkehr eine wichtige Rolle spielen. Da die Technologien erst in der Entwicklungsphase stehen, wären die Biokraftstoffe auf Grund ihrer bestehenden Infrastruktur eine sehr gute Übergangslösung.

5 Fazit

Die Folgen des Klimawandels werden durch Wetterextreme, Eisschmelze oder Hitzeperioden immer deutlicher. Genau diese Folgen des Klimawandels bewirkt ein Umdenken bei der Regierung, den Unternehmen und bei der Bevölkerung. Durch den Ausstoß von Treibhausgasemissionen hat der Verkehr und Transport mit etwa 20% einen nicht zu vernachlässigen großen Anteil an den Folgen des Klimawandels. Diese Bachelorarbeit versucht die Fragen zu beantworten, welche alternativen Kraftstoffe dabei helfen die Klimaziele zu erreichen und langfristig das Potenzial besitzen eine Alternative für die fossilen Kraftstoffe im Straßenverkehr zu sein. In Kapitel 2 werden zunächst verschiedene Kraftstoffe nach der Herstellung, dem

aktuellen Stand und deren Zukunftspotential analysiert. Diese Analyse stellt die Grundlage für den folgenden Vergleich und die darauf folgende Bewertung der alternativen Kraftstoffe.

Um die Klimaziele zu erreichen sind die Treibhausgas-Emissionen der entscheidende Punkt. Wie die well-to-wheel-Analyse verdeutlicht, ist dabei die komplette Wertschöpfungskette ausschlaggebend. Die Biokraftstoffe haben ein deutlich schlechteres Ergebnis als die strombasierten Kraftstoffe und sind aus diesem Grund langfristig keine Alternative. Strombasierte Kraftstoffe aus fossilen Energien erreichen kein besseres Ergebnis, weshalb die Gewinnung der Energie aus erneuerbaren Energien Voraussetzung für die gute Bilanz ist.

Um das Zukunftspotenzial der alternativen Kraftstoffe zu bestimmen, spielen viele weitere Faktoren, wie das Entwicklungspotential oder die Antriebstechnik, eine wichtige Rolle. Bei Bewertung der alternativen Kraftstoffe im Straßenverkehr kristallisieren sich zwei Kraftstoffe heraus. Zum einen die Elektrizität und zum anderen die synthetischen Kraftstoffe. Die Elektrizität befindet sich derzeit in der Markteinführung, benötigt aber auf Grund der schlechten Infrastruktur und den vielen Nachteilen der Technologie Zeit, um eine Alternative zu werden. Das Potenzial liegt vor allem bei den Personenkraftwagen. Die synthetischen Kraftstoffe e-fuel auf Blue Crude Basis und der Ammoniakkraftstoff befinden sich erst in der Entwicklungsphase. Besitzen aber das Potenzial durch Forschung und Entwicklung wettbewerbsfähig zu werden und somit zu einer Alternative der fossilen Kraftstoffe besonders im Schiff-, Güter- und Transportverkehr.

Die strombasierten Kraftstoffe, die langfristig die fossilen Kraftstoffe ersetzen, um somit die Klimaziele erreichen zu können, sind derzeit nicht marktfähig und brauchen entsprechend noch Zeit. Durch Investitionen der großen Automobilhersteller wie BMW oder Daimler, aber auch durch spezielle Förderungen der Bundesregierung, ist die nötige Entwicklung in der Technologie und in der Infrastruktur gesichert. Um die kurzfristigen Klimaziele zu erreichen, sind die Biokraftstoffe eine Alternative. Der Biogas- und Biodieselanteil kann in den nächsten Jahren weiter erhöht werden. Dafür ist nur eine Modifizierung an den Pkw-Motoren notwendig. Das komplette Infrastrukturnetz der fossilen Kraftstoffe lässt sich dafür verwenden.

Schlussendlich lässt sich sagen, dass die strombasierten Kraftstoffe die alternativen Kraftstoffe der Zukunft sein werden. Auf Grund der benötigten Zeit für die Entwicklung, wird der Ausstieg aus den fossilen Kraftstoffen nicht von heute auf morgen möglich sein. Als Übergangslösung stehen die Biokraftstoffe bereit und können somit kurzfristig die verursachten Emissionen verringern. Damit die

strombasierten Kraftstoffe mittel- bzw. langfristig dem Klimawandel entgegenwirken, ist es besonders wichtig die erneuerbaren Energien weiter auszubauen. Auch um dem Zuwachs an Energiebedarf nachzukommen. Die Analyse der alternativen Kraftstoffe im Straßenverkehr zeigte, dass nicht nur ein Kraftstoff die fossilen Kraftstoffe ersetzen wird, sondern eine Kombination aus Elektrizität und synthetischen Kraftstoffen den Markt langfristig dominieren werden.

6 Literaturverzeichnis

AG Energiebilanzen e.V. (Hg.) (2018): Strommix. Online verfügbar unter <https://www.ag-energiebilanzen.de/>, zuletzt geprüft am 23.08.2018.

Audi (Hg.) (2018a): Sprit der Zukunft - Forschungsanlage in Dresden produziert erste Menge Audi e-diesel. Online verfügbar unter <https://www.audi-mediacyber.com/de/synthetische-kraftstoffe-audi-e-fuels-243>, zuletzt geprüft am 11.09.2018.

Audi (Hg.) (2018b): Sprit der Zukunft. Online verfügbar unter <https://www.audi-mediacyber.com/de/synthetische-kraftstoffe-audi-e-fuels-243>, zuletzt geprüft am 11.09.2018.

BASF (Hg.) (2018): Düngemittel aus der Luft gegriffen. Online verfügbar unter <https://www.basf.com/de/company/news-and-media/science-around-us/fertilizer-out-of-thin-air.html>, zuletzt geprüft am 31.08.2018.

Bayrische Motoren Werke (Hg.) (2018): Zu-Hause-Aufladen. Online verfügbar unter <https://www.bmw.de/de/topics/faszination-bmw/elektromobilitaet/zu-hause-aufladen.html>, zuletzt geprüft am 27.08.2018.

Brasseur, G./ Jacob, D./ Schuck-Zoller, S. (2017): Klimawandel in Deutschland Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven, Springer Spektrum, Hamburg.

Braun, R. (1982): Biogas - Methangärung organischer Abfallstoffe : Grundlagen und Anwendungsbeispiele, Springer, Vienna.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2018a): Synthetische Kraftstoffe. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/synthetische-kraftstoffe-5040.html>, zuletzt geprüft am 11.09.2018.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2018b): Technologien für Nachhaltigkeit und Klimaschutz - Chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von