

# **Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs auf der Straße**

## **Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B. Sc.) im  
Studiengang Wirtschaftswissenschaft  
der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Weiß



Vorname: Jonas



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den 10.08.2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Grundlagen</b> .....	<b>2</b>
2.1 Schwerlastverkehr.....	2
2.2 Verbrennungsmotor .....	3
2.3 Brennstoffzelle.....	7
2.4 Elektromotor .....	10
2.5 Hybridantriebe .....	11
2.6 LNG-Antrieb.....	14
<b>3. Aktueller Stand der Entwicklung</b> .....	<b>16</b>
<b>4. Lebenszyklus in der Automobilindustrie</b> .....	<b>17</b>
<b>5. Pilotprojekte des Schwerlastverkehrs</b> .....	<b>20</b>
5.1 Siemens Hybridoberleitungs-LKW .....	20
5.2 Coop Brennstoffzellen LKW .....	22
5.3 Tesla Batterieelektrischer LKW .....	24
5.4 Iveco LNG betriebener LKW .....	26
<b>6. Potentialanalyse</b> .....	<b>28</b>
6.1 Hybridoberleitungs-LKW .....	28
6.1.1 Ökonomische Betrachtungsweise.....	28
6.1.2 Ökologische Betrachtungsweise .....	29
6.1.3 SWOT-Analyse HO-LKW.....	31
6.2 Brennstoffzellen LKW .....	32
6.2.1 Ökonomische Betrachtungsweise.....	32
6.2.2 Ökologische Betrachtungsweise .....	33
6.2.3 SWOT-Analyse BZ-LKW.....	34

6.3 Liquefied Natural Gas (LNG)-LKW .....	35
6.3.1 Ökonomische Betrachtungsweise.....	35
6.3.2 Ökologische Betrachtungsweise .....	36
6.3.3 SWOT-Analyse LNG-LKW.....	38
<b>7. Diskussion.....</b>	<b>39</b>
<b>8. Limitation.....</b>	<b>43</b>
<b>9. Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>44</b>
<b>10. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>46</b>
<b>11. Anhang .....</b>	<b>53</b>

# 1. Einleitung

Im Zuge der Globalisierung haben sich in den letzten Jahrzehnten die Auswirkungen des Klimawandels immer stärker abgezeichnet. Die Erderwärmung und die höher frequentierten Umweltkatastrophen sind nur zwei von vielen Indikatoren hierfür. Insbesondere den Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) in Folge der zunehmenden Industrialisierung kann man einen entscheidenden Einfluss nachweisen. Bezugnehmend auf den in dieser Arbeit behandelten Schwerlastverkehr auf der Straße dürfen insbesondere die vom Verbrennungsmotor entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht vernachlässigt werden. Weltweit werden diesbezüglich Regulierungen und Grenzwerte festgelegt, welche ein Limit des maximalen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von Fahrzeugen vorschreiben und damit versuchen die Entwicklung des Klimawandels positiv zu beeinflussen. Der Dieselvebrennungsmotor ist der Hauptverursacher der verkehrsbedingten Schadstoffemissionen. In Deutschland sind 95 Prozent der Nutzfahrzeuge mit einem Dieselmotor ausgestattet, weshalb in diesem Sektor besonders hohe Schadstoffemissionen gemessen werden (Shell, 2016, S.1).

Trotz der strengen Regulierungen sind die THG-Emissionen in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen. 1995 lagen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei 22.895 Millionen Tonnen weltweit und sind bis 2016, um mehr als 50 Prozent, auf 34.810 Millionen Tonnen gestiegen (Global Carbon Atlas, 2018).

Der Wachstum der Logistikindustrie trägt zusätzlich dazu bei, dass die THG-Emissionen bei den Nutzfahrzeugen steigen. Ein Wachstum der Industrie von bis zu 50 Prozent wird von 2016 bis zum Jahr 2040 prognostiziert (Shell, 2016, S.1).

Bisher wurde im Schwerlastverkehr überwiegend daran gearbeitet die Abgasgrenzwerte mit Hilfe von Effizienzverbesserungen und Abgasnachbehandlungen zu erreichen. Ein Umdenken wurde erst vor einigen Jahren angestrebt. Mit Hilfe alternativer Antriebstechnologien, unter Berücksichtigung der bereits auf dem PKW Markt etablierten Systeme, wird nun die Machbarkeit auf dem Markt des Schwerlastverkehrs getestet.

Ziel dieser Arbeit ist es unterschiedliche Antriebskonzepte in Bezug auf ihre ökonomischen sowie ökologischen Aspekte zu analysieren. Hierbei wurden der hybride Antrieb, der batterieelektrische Antrieb, der Brennstoffzellenantrieb und der Antrieb mittels des alternativen Kraftstoffs Liquefied Natural Gas (LNG) untersucht. Nach Betrachtung einiger Pilotprojekte und der Ausarbeitung ökonomischer und ökologischer Aspekte, wurde eine SWOT-Analyse durchgeführt.

In Anbetracht der Ergebnisse, wird schlussfolgernd nach jener Alternative gesucht, die das größte Potential hinsichtlich einer Dekarbonisierung für den Schwerlastverkehr besitzt.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es verschiedenen Antriebskonzepte des Schwerlastverkehrs auf der Straße in Bezug auf eine mögliche Dekarbonisierung zu analysieren.

Die Betrachtung der alternativen Antriebstechnologien hat Aufschluss über die verschiedenen Potentiale in Bezug auf die Dekarbonisierung gegeben. Auf Grund der speziellen Eigenschaften des Schwerlastverkehrs lassen sich nach heutigem Stand der Entwicklung Tendenzen in Richtung bestimmter Technologien ableiten.

Zu Beginn der Arbeit wurde der Bezugsrahmen geklärt und die betrachteten alternativen Antriebe sowie der herkömmliche Dieselmotor wurden erläutert. Als nächstes wurde der aktuelle Stand der Entwicklung geschildert. Der Lebenszyklus von Fahrzeugen sollte daraufhin die Bedeutung der einzelnen Stufen, von Rohstoffgewinnung bis hin zum späteren Recycling, in Bezug auf das Ziel der Dekarbonisierung hervorheben.

Um den aktuellen Stand der Entwicklung beispielhaft darzustellen, wurde eine Auswahl von vier Pilotprojekten getroffen. Die Betrachtung dieser Projekte hat bereits einige unterschiedliche Potentiale der Antriebe offengelegt. Als finaler Schritt, vor der SWOT-Analyse, wurden die verschiedenen Antriebe von einer ökologischen und ökonomischen Perspektive analysiert.

Ein entscheidender Parameter in Bezug auf die Dekarbonisierung ist der Energieträger. Hierbei kommt es insbesondere auf die Herstellung von Wasserstoff und LNG an. Für eine mittel- bis langfristige Dekarbonisierung ist es essentiell die Herstellung dieser Energieträger mittels erneuerbaren Energien durchzuführen und auf Importe zu verzichten. Unterschiede sind definitiv bei den Betrachtungsweisen WTW und TTW zu erkennen. Um nicht nur lokal emissionsfrei zu fahren, ist es wichtig die WTW Aspekte zu berücksichtigen. Angesichts der Tatsache, dass die Entwicklung der Stromproduktion in Richtung erneuerbarer Energien geht, sind auch PtG- und PtL-Anlagen in Zukunft relevanter Bestandteil, welcher zur Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs beitragen kann.

Der Wirkungsgrad spielt insbesondere bei ökonomischer Betrachtungsweise einen wichtigen Faktor. Die Ergebnisse der Arbeit erklären den batterieelektrischen Antrieb als den effizientesten, da hier der Strom innerhalb eines Akkumulators als Energieträger fungiert und direkt in mechanische Energie umgesetzt wird. Bei LNG und Wasserstoff als Energieträger sind in der Herstellung signifikante Wirkungsgrad Verluste einzubüßen. Die Methode der HO-LKW hat zwar im elektrischen Betrieb einen hohen Wirkungsgrad, jedoch unter Berücksichtigung der Infrastruktur und des Verbrennungsmotors deutliche Nachteile gegenüber den anderen Systemen.

Generell kann man sagen, dass der LNG Antrieb als aktuelle Übergangstechnologie Verwendung findet. Der größte Vorteil ist die simple Modifizierung von Verbrennungsmotoren

und somit die schnelle Implementierung. Langfristig muss versucht werden die Defizite eines batterieelektrischen Antriebs zu minimieren um somit Nutzen aus dem hohen Wirkungsgrad und den minimalen Emissionen zu ziehen. Die besonderen Eigenschaften des Schwerlastverkehrs, wie das hohe Gesamtgewicht sowie die großen Distanzen welche im Tagesgeschäft zurückgelegt werden, müssen hierbei beachtet werden. Die Brennstoffzelle könnte, bei Weiterentwicklung der Speichertechnik und Wasserstoff-herstellung, eine adäquate Alternative darstellen. Dies liegt vor allem an den technologie-spezifischen Vorteilen des BZ-Antriebs, wie z.B. der schnellen Betankung und der Option des Volatilitätsausgleichs bei der Stromproduktion erneuerbarer Energien.