



**LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER**  
WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT  
INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSINFORMATIK

# **Wasserstoff im Schwerlastverkehr: Schlüssel für eine klimafreundliche Zukunft?**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M.Sc.)“ im Studiengang  
Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität  
Hannover

vorgelegt von

**Celine Kohnert**



Prüfer:  
Prof. Dr. Michael H. Breitner

Betreuer:  
Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den 30. September 2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Glossar</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Relevanz des Themas . . . . .	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung . . . . .	1
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Definition und Begriffsabgrenzung . . . . .	3
2.1.1 Wasserstoff . . . . .	3
2.1.2 Schwerlastverkehr . . . . .	13
2.2 Antriebstechnologien im Überblick . . . . .	21
2.2.1 Verbrennungsmotor . . . . .	21
2.2.2 Elektromotor . . . . .	23
2.2.3 Weitere Antriebstechnologien . . . . .	26
2.3 Vergleich der Antriebstechnologien anhand einer SWOT- Analyse . . . . .	28
2.3.1 Strengths . . . . .	28
2.3.2 Weaknesses . . . . .	29
2.3.3 Opportunities . . . . .	30
2.3.4 Threats . . . . .	32
2.3.5 Ergebnisse der SWOT-Analyse . . . . .	33
<b>3 Beeinflussende Aspekte der Entwicklung von Wasserstoff im Schwerlastverkehr</b>	<b>34</b>
3.1 Klimaschutz in Deutschland . . . . .	34
3.1.1 Klimaschutzprogramm 2030 . . . . .	35
3.1.2 Nationale Wasserstoffstrategie . . . . .	36
3.2 Förderungslandschaft . . . . .	38
3.2.1 Richtlinien . . . . .	38
3.2.2 Internationale und Nationale Förderungen . . . . .	38
3.3 Energiewirtschaft . . . . .	40
3.3.1 Solarenergie . . . . .	41
3.3.2 Windenergie . . . . .	42
3.3.3 Erneuerbare-Energien-Gesetz . . . . .	43
3.4 Tankstellennetz . . . . .	44

---

<b>4</b>	<b>Forschungsmethodik</b>	<b>46</b>
4.1	Literaturrecherche . . . . .	46
4.1.1	Identifizierung relevanter Literatur . . . . .	47
4.1.2	Strukturierung der Literatur . . . . .	48
4.2	Quantitative und qualitative Expertenbefragung . . . . .	49
4.2.1	Leitfaden der Expertenbefragung . . . . .	49
4.2.2	Vorgehen quantitative Datenanalyse . . . . .	51
4.2.3	Vorgehen qualitative Inhaltsanalyse . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Daten- und Ergebnisanalyse der Expertenbefragung</b>	<b>52</b>
5.1	Quantitative Analyse der Daten . . . . .	52
5.2	Qualitative Analyse der Inhalte . . . . .	54
5.2.1	Wasserstoffbasierte Antriebstechnologien . . . . .	54
5.2.2	Schwerlastverkehr . . . . .	56
5.2.3	Zukünftige Entwicklung . . . . .	57
5.2.4	Projekte . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse der Befragung zur Bildung von Handlungsempfehlungen</b>	<b>63</b>
6.1	Diskussion . . . . .	63
6.2	Handlungsempfehlungen . . . . .	66
6.3	Limitationen . . . . .	67
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>68</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>70</b>
	<b>Anhang</b>	<b>79</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Relevanz des Themas

„Die Erde ist nicht nur unser gemeinsames Erbe, sie ist auch die Quelle des Lebens.“

-Dalai Lama

Der Schutz dieser Quelle sollte stets das oberste Ziel sein. Es braucht Alternativen zu den fossilen Energieträgern und eine erfolgreiche Energiewende um den Klimawandel aufzuhalten und die Erderwärmung langfristig auf 1,5 °C zu begrenzen. Damit dies gelingt hat sich Deutschland das Ziel gesetzt bis 2050 Treibhausgasneutralität zu erlangen. Im Jahr 2019 hat der Verkehrssektor rund 163 Millionen Tonnen Treibhausgase emittiert. Knapp ein Drittel dieser Emissionen stoßen Nutzfahrzeuge, wie Lastkraftwagen und Busse aus.<sup>1</sup>

Wasserstoff nimmt, aufgrund des vielfältigen Einsatzes als Energieträger, eine zentrale Rolle bei der langfristigen Weiterentwicklung und Vollendung der Energiewende ein. Wasserstoff als Energiespeicher ermöglicht die angebotsorientierte und flexible Speicherung von erneuerbaren Energien und ist ein wesentlicher Bestandteil der Sektorkopplung.<sup>2</sup>

Die Arbeit befasst sich daher mit dem Einsatz von wasserstoffbasierten Antriebstechnologien im schweren Nutzfahrzeugsegment. Dabei wird sowohl auf den Personen-, als auch auf den Lastenverkehr eingegangen. Betrachtet werden Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen im Nah- und Fernverkehr, sowie Omnibusse. Hierbei wird die Wertschöpfungskette von der Herstellung des Wasserstoffs, über die Speicherung und den Transport bis hin zur Verteilung betrachtet. Die Infrastruktur wird beleuchtet und die technologische Umsetzung am Fahrzeug beurteilt. Alles in allem werden die Möglichkeiten untersucht, den Wasserstoff im Schwerlastverkehr als Substitut zum Diesel-Verbrennungsmotor zu verwenden.

## 1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage:

*Wie wird sich der Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr in den nächsten 30 Jahren entwickeln?*

Zur Untermauerung dieser Fragestellung stützt sich die Beantwortung auf die Inhalte der folgenden vier Unterfragen:

- Welche Möglichkeiten gibt es Wasserstoff im Schwerlastverkehr einzusetzen?
- In welchem Stadium befindet sich die Entwicklung wasserstoffbasierter Antriebstechnologien?
- Welche Anforderungen werden an die Antriebstechnologien gestellt?
- Was kann getan werden, um wasserstoffbasierte Antriebstechnologien voranzubringen?

---

<sup>1</sup>Vgl. Welke und Beck (2020), S. 36.

<sup>2</sup>Vgl. BMWi (2020a), S. 2.

Die Untersuchung dieser Fragen stützt sich auf mehrere, ineinandergreifende wissenschaftliche Methoden. Zu Beginn der Arbeit werden mithilfe einer Literaturrecherche, angelehnt an das Verfahren von Webster und Watson in „Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review“, ein Überblick über die wichtigsten Aspekte der Thematik gegeben. Einen umfassenden Einstieg in die Thematik ermöglichen die Werke von . Auf Basis dieser Recherche wird ein Fragebogen erarbeitet, welcher in qualitativen Experteninterviews Anwendung findet. Diese Befragungen mit Personen aus der Industrie und der Forschung enthält, neben dem qualitativen Schwerpunkt, auch einen geringen quantitativen Anteil, um eine Vergleichbarkeit gewisser Ergebnisse zu bieten. Die Arbeit konzentriert sich auf den Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in fünf große Kapitel, nebst Einleitung und Fazit. Im ersten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Problemstellung näher erläutert. Dabei wird auf die Erzeugung, die Speicherung und den Transport von Wasserstoff eingegangen und der Schwerlastverkehr definiert. Im Anschluss an die Begriffsabgrenzungen wird ein Überblick über die, für den Schwerlastverkehr geeigneten, Antriebstechnologien gegeben, gefolgt von einem Vergleich dieser Technologien im Hinblick auf deren Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken mittels einer SWOT-Analyse. Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit dem Klimaschutz in Deutschland, der Förderungslandschaft im Hinblick auf den Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr, der Energiewirtschaft und dem bestehenden Tankstellennetz in Deutschland. Die Zusammenfassung dieser Unterkapitel erfolgt unter: Die beeinflussenden Faktoren für die Entwicklung des Wasserstoffs im Schwerlastverkehr. Das folgende, vierte Kapitel zeigt die verwendeten Methodiken dieser Arbeit, wie bereits im vorherigen Unterkapitel erwähnt, auf. Die Daten- und Ergebnisanalyse der durchgeführten Expertenbefragungen ist Hauptbestandteil des fünften Kapitels. Nachfolgend, in Kapitel sechs, die Ergebnisse dieser Diskussion zur Bildung von Handlungsempfehlungen. Das folgende Kapitel 2 gibt zunächst einen Überblick über die Theorie dieser Arbeit.

## 7 Fazit und Ausblick

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine Einschätzung abzugeben, wie sich der Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr in den nächsten 30 Jahren entwickeln wird. Die Grundlagen dieser Einschätzung wurden im Rahmen einer ausführlichen Literaturrecherche erarbeitet. Untermuert wird diese Recherche durch die Ergebnisse der durchgeführten Befragungen von Experten aus der Industrie und Forschung. Der Fragebogen thematisiert die wasserstoffbasierten Antriebstechnologien, den Schwerlastverkehr und die zukünftige Entwicklung. Eine quantitative und qualitative Auswertung der Ergebnisse in Kombination mit der Literaturrecherche ermöglicht die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage:

*Wie wird sich der Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr in den nächsten 30 Jahren entwickeln?*

Die Beantwortung dieser Frage hängt von mehreren Faktoren ab. Der erste Faktor ist die Entwicklung der Energiewirtschaft in den kommenden Jahren. So ist der großflächige Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland in den nächsten Jahren geplant. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass die Versorgung mit ausschließlich im Inland produzierten grünen Strom nicht ausreichen wird. Da nicht nur die Versorgung des Mobilitätssektors mit Strom aus erneuerbaren Energien vorgesehen ist, sondern auch die Abschaltung von Kernkraftwerken und der Abbau der Kohleverstromung kompensiert werden muss. So kann zwar ein Teil der Wasserstoffversorgung mithilfe inländischer Elektrolyse erfolgen, darüber hinaus ist der Import von grünem Wasserstoff aus Ländern notwendig, die zwei Kriterien erfüllen. Zum einen sollte genügend erneuerbare Energie zur Verfügung stehen, um den Eigenbedarf des Landes zu decken und zum anderen sollte der Wasserstoff vor Ort aus erneuerbaren Energiequellen bereitgestellt werden können. Ein weiterer Faktor ist Einigung darüber welcher Wasserstoff als grüner Wasserstoff deklariert wird und inwieweit in den nächsten Jahren Wasserstoff mit anderen politischen Farben eingesetzt werden darf und auch eingesetzt werden kann. Dieser Aspekt leitet über zum nächsten Faktor über, nämlich die Forschungsansätze und die Förderung dieser Ansätze. Es ist bekannt, dass Wasserstoff im Schwerlastverkehr nicht nur als Kraftstoff für eine Brennstoffzelle verwendet werden, sondern auch im Verbrennungsmotor genutzt werden kann. Diese Anwendung kommt beim heutigen Stand der Technik jedoch nicht ohne den Ausstoß von Emissionen aus, andererseits könnte auch weniger reiner Wasserstoff als Kraftstoff verwendet. Daher stellt sich für die zukünftige Verwendung von Wasserstoff im Schwerlastverkehr die Frage, ob der Wasserstoffmotor lediglich als eine Brückentechnologie dient, um den Markthochlauf von Wasserstoff und Brennstoffzellen zu fördern oder ist ein dauerhafter Einsatz des Wasserstoffmotors, besonders für Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über 40 t oder auch Spezialmaschinen denkbar.

Die Gedanken über die Wasserstoffbereitstellung und die Antriebstechnologie sind von großer Bedeutung, dennoch sollte das Hauptaugenmerk auf den Anwendern liegen. Diese sind Unternehmen für die das Nutzfahrzeug, unabhängig ob im Personen- oder Güterverkehr eingesetzt, ein Investitionsgut ist. Daher sind besonders die Kundenanforderungen zu berücksichtigen. Die

wichtigste Kundenanforderung ist die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugs. Dazu zählen neben der Zuverlässigkeit und den technischen Bedingungen vor allem die Total Cost of Ownership. Solange in diesem Aspekt keine Parität zum Dieselmotor hergestellt wird, ist die zukünftige Entwicklung des Wasserstoffs im Schwerlastverkehr abhängig von den Förderungen und Überzeugung für den Klimaschutz.

Unabhängig von dem aktuellen Entwicklungsstand ist der Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr die Zukunft und sollte daher auch weiter untersucht werden, um die Welt von morgen klimafreundlicher zu gestalten.