HOCHSCHULE RUHR WEST
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades eines
Bachelor of Science in Maschinenbau

Wem gehört die Zukunft: E-Fahrzeuge oder Wasserstoff-Fahrzeuge?

Eingereicht bei

Erstprüfer*in: Prof. Dr.-Ing. Katja A. Rösler
Zweitprüfer*in: Frau Jacqueline Veyry

von

Hiuar-Semyan Omar
10009471

Abgabedatum: 28.07.2022

Inhaltsübersicht

Inhaltsübersicht…….…….. I

Inhaltsverzeichnis……..…… II

Abbildungsverzeichnis IV

Tabellenverzeichnis V

Abkürzungsverzeichnis VI

Symbolverzeichnis VII

1 Einleitung 1

2 Aktueller Forschungsstand 2

3 Gegenüberstellung 19

4 Fazit 22

Literaturverzeichnis VIII

Erklärung XI

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsübersicht……..……..I

Inhaltsverzeichnis……..……II

Abbildungsverzeichnis IV

Tabellenverzeichnis V

Abkürzungsverzeichnis VI

Symbolverzeichnis VII

1 Einleitung 1

2 Aktueller Forschungsstand 2

2.1 Elektrisches Fahrzeug 2

2.1.1 Aufbau und Funktionsweise 2

2.1.1.1 Elektromotor 3

2.1.1.2 Leistungselektronik 6

2.1.1.3 Akkumulator 6

2.1.2 Schadstoffemissionen 8

2.1.2.1 In der Herstellung und Verwertung 8

2.1.2.2 In der Nutzung 9

2.1.3 Reichweite 11

2.1.4 Ladeinfrastruktur 12

2.1.5 Vor-/Nachteile 13

2.2 Wasserstoff-Fahrzeug 15

2.2.1 Aufbau und Funktionsweise 15

2.2.2 Schadstoffemissionen 15

2.2.3 Reichweite 17

2.2.4 Wasserstoffinfrastruktur 17

2.2.5 Vor-/Nachteile 17

3 Gegenüberstellung 19

3.1 Aufbau und Funktionsweise 19

3.2 Schadstoffemissionen 19

3.3 Reichweite 20

3.4 Wasserstoff-/Ladeinfrastruktur 20

3.5 Vor-/Nachteile 21

4 Fazit 22

Literaturverzeichnis VIII

Erklärung XI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Phantomgrafik smart electric drive mit den eingebauten Bauteilen ... 3
Abbildung 2: Prinzip eines Gleichstrommotors ... 4
Abbildung 3: Aufbau eines Synchronmotors ... 5
Abbildung 4: Aufbau eines Asynchronmotors ... 5
Abbildung 5: Funktionen der Leistungselektronik ... 6
Abbildung 6: Aufbau Energiespeichersystem in einem E-Fahrzeug. ... 7
Abbildung 7: CO_2-Emissionen Pkw der Kompaktklasse ... 9
Abbildung 8: Erneuerbare Energien: Anteile für Strom, Wärme und Verkehr ... 10
Abbildung 9: Energiedichten der Akkus in Wh/kg je Batteriezelle ... 11
Abbildung 10: Wasserstoffproduktion ... 16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ladepunkte nach Bundesländern 12

Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktiengesellschaft
CCS/U	Kohlendioxidabtrennung und Speicherung/Nutzung
CO_2	Kohlenstoffdioxid
E-Fahrzeug	Elektrisches Fahrzeug
E-Ladesäule	Elektrische Ladesäule
e.V.	eingetragener Verein
HV-Batterie	Hochvoltbatterie
Hz	Hertz
H_2	Wasserstoff
Li	Lithium
NO_2	Stickstoffoxid
NLP	Normalladepunkt
o.D.	ohne Datum
Pkw	Personenkraftwagen
SLP	Schnellladepunkt
Wh	Wattstunde

Symbolverzeichnis

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
f	Hz	Frequenz
n	min^{-1}	Drehzahl
W	Wh	Energie

1 Einleitung

Die Erderwärmung und die Ressourcenknappheit fossiler Energien bringen die Forschung immer mehr dazu neue alternative Lösungen zu finden bzw. zu entwickeln. Doch nicht jede alternative Lösung, ist eine, die für die Umwelt gut ist. Oft werden bei dem Versuch ein eine alternative zu finden das Gegenteil bewirkt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit wird der Unterschied zwischen den elektrisch angetriebenen Fahrzeugen und den mit Wasserstoff angetriebenen Fahrzeugen untersucht und erläutert. Die Kernfrage dieser Untersuchung ist, welches der beiden Fahrzeugtechnologien sich in der Zukunft besser durchsetzen kann. Diesbezüglich muss bei der Untersuchung auf einige Anhaltspunkte eingegangen werden. Diese sind:

- der Aufbau und die Funktionsweisen der jeweiligen Technologien
- die Schadstoffe sowohl bei der Herstellung als auch bei der Nutzung
- die möglichen Unterschiede in den Reichweiten
- die Anzahl der jeweiligen Wasserstofftankstellen und E-Ladesäulen
- Die Vorteile sowie die Nachteile

Für die Untersuchung wird im Vorfeld eine intensive Literaturrecherche durchgeführt, mit dessen Ergebnisse anschließend weitergearbeitet wird. Ziel dieser Recherche ist es, anhand mehrerer verschiedenen Werke, den aktuellen Stand der Technik herauszufinden und diesen für eine Gegenüberstellung der Technologien anzuwenden. Hierbei wird jeder Anhaltspunkt untersucht und erläutert. Anschließend findet die Gegenüberstellung der beiden Technologien hinsichtlich der einzelnen Anhaltspunkte statt. Mithilfe der gewonnenen Ergebnisse wird zum Schluss dieser Arbeit anhand der Untersuchungen und der Literaturrecherche erläutert, welche der beiden Technologien in der Zukunft besser durchsetzen kann und weshalb man zu diesem Entschluss gekommen ist.

2 Aktueller Forschungsstand

In diesem Kapitel wird anhand einer intensiven Literaturrecherche der aktuelle Forschungsstand eines elektrischen Fahrzeuges und das eines Brennstoffzellen-Fahrzeuges bzw. Wasserstoff-Fahrzeuges vorgestellt. Zu Beginn wird das E-Fahrzeug untersucht und anschließend das Wasserstoff-Fahrzeug. Für die Untersuchung wird sich an die gelegten Anhaltspunkte gehalten.

2.1 Elektrisches Fahrzeug

Ein elektrisches Fahrzeug ist ein Fahrzeug, welches elektrisch angetrieben wird und dementsprechend für den Antrieb keine Fossile Kraftstoffe benötigt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Hybrid-Fahrzeugen, welche sowohl mit Verbrennungsmotor angetrieben werden als auch mit einem elektrischen Motor und rein elektrischen Fahrzeugen. In dieser Arbeit wird ausschließlich das rein elektrische Fahrzeug untersucht. Hierbei wird gezielt auf den Aufbau und die Funktionsweise des E-Fahrzeuges eingegangen. Es werden Recherchen zu den Schadstoffemissionen sowohl in der Herstellung als auch in der Nutzung von E-Fahrzeugen durchgeführt. Des Weiteren wird untersucht, wie die Reichweite mit einem elektrischen Fahrzeug ist und wie die Ladeinfrastruktur aussieht.

2.1.1 Aufbau und Funktionsweise

Der Aufbau eines rein elektrischen Fahrzeuges unterscheidet sich zu einem herkömmlichen Fahrzeug mit einem Verbrennungsmotor im Wesentlichen nur auf einige veränderte bzw. zusätzliche Bauteile. So besitzt ein elektrisches Fahrzeug im Allgemeinen für den elektrischen Antrieb einen Elektromotor, eine Leistungselektronik und einen Akkumulator (Karle 2018, S.28).

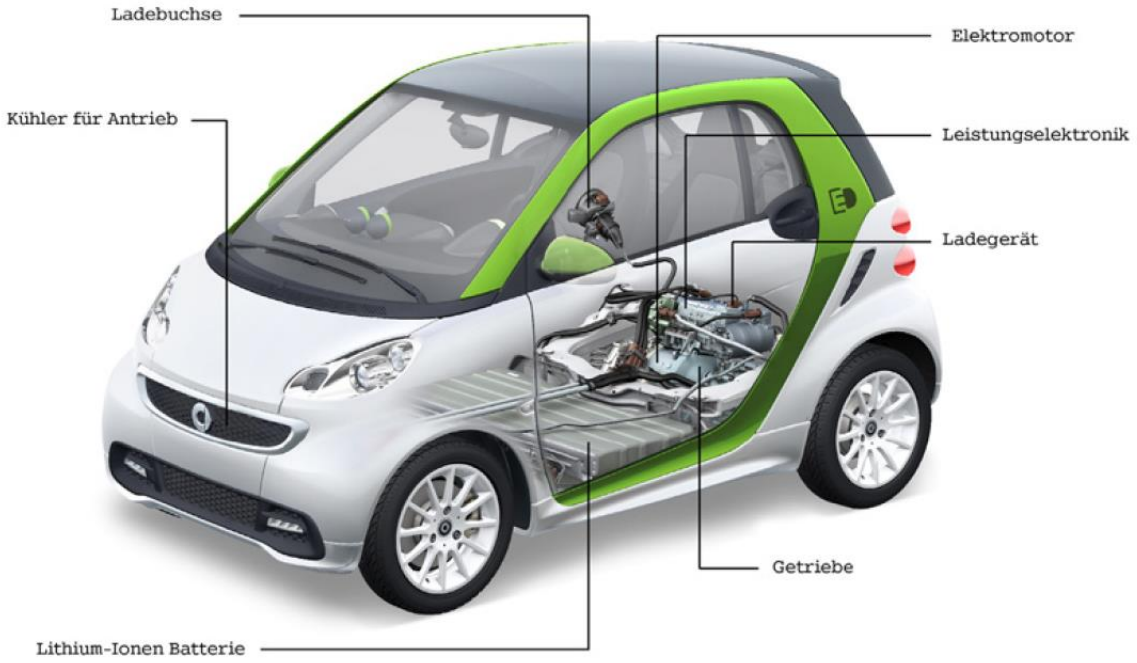

Abbildung 1: Phantomgrafik smart electric drive mit den eingebauten Bauteilen
Quelle: Daimler AG (zitiert nach Karle 2018, S.23)

In Abbildung 1 ist eine Beispielbauweise von einem E-Fahrzeug als Phantomgrafik der Firma Daimler AG zusehen, welches einen Smart electric drive mit den dazu eingebauten Bauteilen darstellt. Hier kann man noch einmal den Elektromotor erkennen, der in diesem Fall in der Fahrzeughinterachse eingebaut ist mit der dafür notwendigen Leistungselektronik und einem zusätzlichen Ladegerät. Des Weiteren ist noch das Getriebe, eine Ladebuchse und am Fahrzeugboden der Akkumulator, in diesem Fall, eine Lithium-Ionen-Batterie zu sehen. Im Folgenden werden die Bauteile Elektromotor, Leistungselektronik und Akkumulator, die für den elektrischen Antrieb besonders wichtig sind, noch einmal näher erklärt und dargestellt.

2.1.1.1 Elektromotor

Elektromotoren haben alle dasselbe Prinzip, elektrische Energie in mechanische Energie umzuwandeln (Kampker 2014, S.123). Bei einem Elektromotor unterscheidet man zwischen einem Gleichstrommotor und einem Drehstrommotor, dass sich wiederum in einen Synchronmotor und einen Asynchronmotor aufteilt. In der Fahrzeugindustrie haben sich Drehstrommotoren bewährt (Karle 2018, S.28).

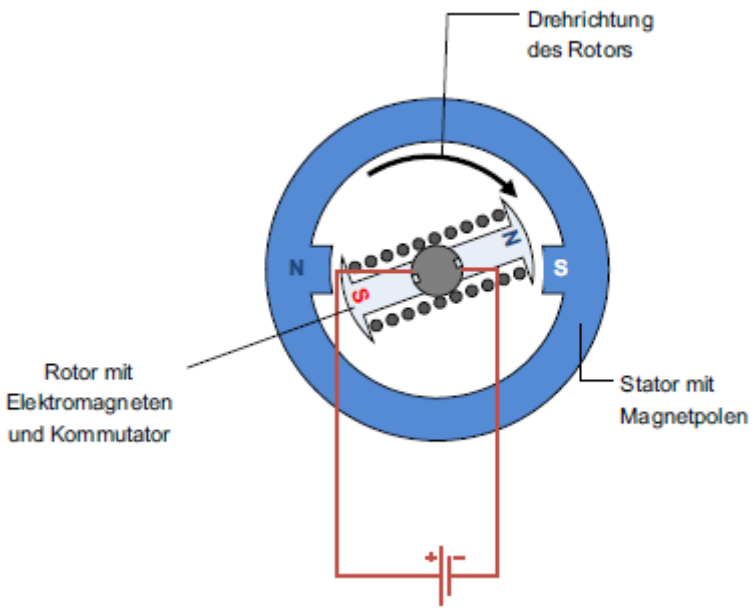

Abbildung 2: Prinzip eines Gleichstrommotors
Quelle: Karle 2018, S. 62

In Abbildung 2 ist der Prinzipielle Aufbau eines Gleichstrommotors zusehen. Dieser besteht aus einem Stator mit Magnetpolen und einem Rotor mit Elektromagneten und Kommutator. Der Gleichstrommotor funktioniert, indem der Rotor durch einen Stromfluss einen Elektromagneten erzeugt, welches sich mit der Südpol Seite vom Rotor zur Nordpol Seite des Stators dreht, da diese sich anziehen. Anschließen wird durch den Kommutator die Stromrichtung geändert, sodass sich die Pole des Rotors ändern und sich der Rotor durch das Abstoßen der gegenüberliegenden Pole weiter dreht. Dieser Vorgang wird wiederholt und sorgt dafür, dass sich die elektrische Energie in mechanische Energie umwandelt. Auch bei einem Drehstrommotor ist die Funktionsweise prinzipiell dasselbe. Es werden mithilfe von Anziehkräfte zweier Magnetfelder ein Drehmoment erzeugt (AAMPACT e.V. o.D., S.1). So gibt es jedoch sowohl in ihrem Aufbau als auch in ihrer Art und Weise gewisse Unterschiede. Grundsätzlich funktionieren Drehstrommotoren, sowohl Synchron als auch Asynchron, mit der Hilfe von einem elektrischen Drehfeld, welches in diesem Fall mit dreiphasigem Wechselstrom erzeugt wird (Hofmann 2010, S.174). Um ein magnetisches Drehfeld zu erzeugen, werden die Wicklungen im Stator mit den Strömen, welche zeitlich um 120° Phasenverschoben sind, gespeist (Hofmann 2010, S.174). Hierbei ist es auch wichtig, dass die Wicklungsstränge rotationssymmetrisch eingebaut sind (Hofmann 2010, S.174). Das erzeugte magnetische Drehfeld hat eine

Frequenz f, welchem der Rotor, durch die Anziehungskraft, folgt (Hofmann 2010, S.174).

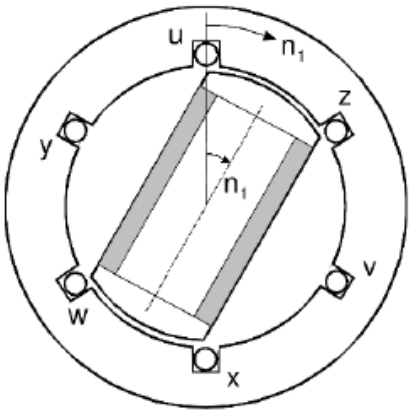

Abbildung 3: Aufbau eines Synchronmotors
Quelle: Gies 2008 (zitiert nach Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S.100)

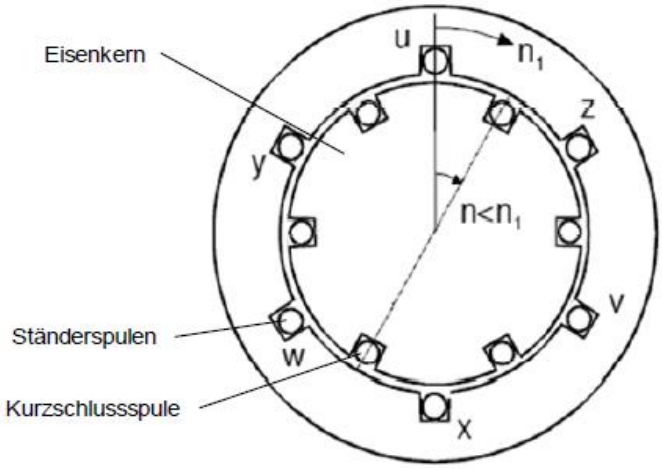

Abbildung 4: Aufbau eines Asynchronmotors
Quelle: Gies 2008 (zitiert nach Wallentowitz, Freialdenhoven 2011, S.97)

In den Abbildungen 3 und 4 kann man den Aufbau eines Synchronmotors und den eines Asynchronmotors sehen. Wie man erkennen kann, ändert sich bei dem Aufbau beider Drehstrommotoren lediglich der Rotor bzw. der Läufer. Dieser ist bei einem Synchronmotor entweder ein Permanentmagnet oder eine Stromleiterwicklung (Kampker 2014, S.127). Dadurch folgt der Rotor dem Drehfeld des Stators synchron und hat daher auch seinen Namen. Bei dem Asynchronmotor ist dies jedoch anders. Dieser hat als Rotor eine Kurzschlusswicklung (Hofmann 2010, S.175). Diesem werden, beim nicht einhalten der Stator Drehzahl n_1, Ströme induziert, die wiederum zu einem Drehmoment führen (Hofmann 2010, S.175). Der Stator hingegen ist bei beiden Motoren gleich aufgebaut.

2.1.1.2 Leistungselektronik

Damit der Elektromotor die elektrische Energie aus dem Akkumulator mit der gewünschten Frequenz, Form und Stärke erhalten kann, benötigt es eine Leistungselektronik, die dieses wie gefordert umwandelt und weiter überträgt (Stadtwerke Lübeck GmbH o.D.).

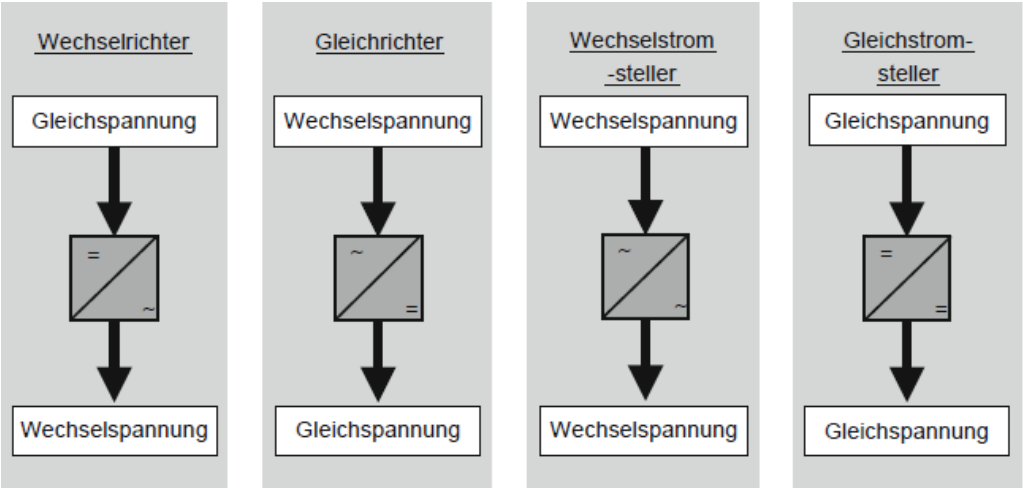

Abbildung 5: Funktionen der Leistungselektronik
Quelle: Kampker 2014, S.192

Wie man aus Abbildung 5 entnehmen kann, übernimmt die Leistungselektronik die Aufgaben Gleichspannung in Wechselspannung und Wechselspannung in Gleichspannung zu Umrichtern und agiert zusätzlich noch als Wechselstromsteller und Gleichstromsteller. Dieses wird benötigt, um das Spannungsniveau aus dem Akkumulator an das vom Elektromotor anzupassen (Kampker 2014, S.192). Jedoch wird die Leistungselektronik nicht nur für den Antrieb benötigt, sondern hat seinen Nutzen auch für andere elektrische Anlagen, wie unter anderem die elektrisch unterstützte Lenkung (Kampker et al. 2013, S.277). Die Leistungselektronik agiert an der Schnittstelle zwischen dem Akkumulator und dem Elektromotor (Karle 2018, S.89).

2.1.1.3 Akkumulator

Der Akkumulator ist, sowohl bei E-Fahrzeugen als auch bei Hybrid-Fahrzeugen, das schwerste, größte und am kostenintensivsten Bauteil im elektrischen Antriebsstrang (Schramm et al. 2017, S.237). Es ist eine wiederaufladbare Batterie, die elektrische

Energie elektrochemisch abspeichern und wiedergeben kann. Der Grundbaustein bei dem elektrischen Antrieb ist genau dieser. Denn ohne elektrische Energie kann das Fahrzeug nicht bedient bzw. gestartet werden sowie auch alle anderen elektrischen Bauteile im Fahrzeug. Es ist vergleichbar mit dem Kraftstoff in herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. In der Fahrzeugindustrie haben sich bei rein elektrischen Fahrzeugen Li-Ionen-Akkus durchgesetzt (Karle 2018, S.78). Diese haben sich mit einer akzeptablen Energiedichte nach Prüfung der Leistung und Lebensdauer bewährt (Kampker et al. 2013, S.296).

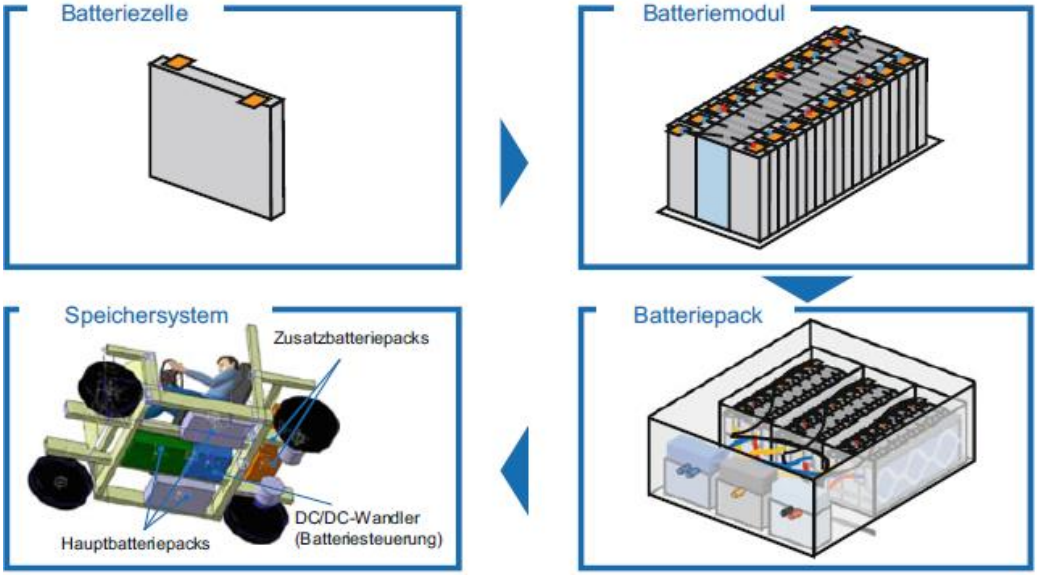

Abbildung 6: Aufbau Energiespeichersystem in einem E-Fahrzeug.
Quelle: StreetScooter GmbH (zitiert nach Kampker 2014, S.60)

Der fertige Akkumulator, wie es bei einem E-Fahrzeug zur Verwendung kommt, wird, wie in Abbildung 6 dargestellt, aus einzelnen Batteriezellen hergestellt. Diese werden anschließend, um die Leistung zu erhöhen, zu einem Batteriemodul zusammen gestellt welches mit anderen Modulen zu einem Batteriepack zusammengestellt wird. Ebenfalls in Abbildung 6 ist die Bauweise des Akkumulators in einem E-Fahrzeug dargestellt. Dieser ist im Boden des Fahrzeuges eingebaut und besteht aus Hauptbatteriepacks und Zusatzbatteriepacks.

2.1.2 Schadstoffemissionen

Durch den Anstieg umweltschädlicher Gase wie unter anderem CO_2 und NO_2, die im großen Mengen, bei der Verbrennung von Kraftstoff, von Fahrzeugen erzeugt werden, ist die Forschung gezwungen alternative Antriebe zu entwickeln, um so die Umwelt zu schonen. Elektrische Fahrzeuge sollen dank des Verzichts auf Kraftstoff wie Benzin und Diesel Emissionsfrei sein und große Zukunftschancen haben. Um herausfinden zu können, ob elektrische Fahrzeuge Emissionsfrei sind, muss man die Untersuchung bzw. die Recherche aufteilen in den Emissionen bei der Herstellung der E-Fahrzeuge, die bei der Nutzung und die bei der Verwertung bzw. beim Recycling. Bei der Herstellung und Verwertung bezieht sich die Untersuchung auf den Akkumulator, da dieser als Energiespeicher für den Antrieb gilt und mit dem Tank eines herkömmlichen Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor zu vergleichen ist. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die drei Aspekte untersucht und erläutert.

2.1.2.1 In der Herstellung und Verwertung

Wie in Kapitel 3.1.1.3 erwähnt, haben sich in der Fahrzeugindustrie Li-Ionen-Akkumulatoren bewährt. Deshalb werden speziell diese auf ihre Schadstoffemissionen untersucht. Bei der Herstellung von Li-Ionen-Akkus werden ca. 70% bis 130% mehr Schadstoffemissionen freigesetzt als bei herkömmlichen Fahrzeugen (Thielmann 2020, S.10). Dies liegt an den Rohstoffen, die dafür benötigt werden, wie unter anderem Lithium, Nickel und Kobalt (Thielmann 2020, S.12).

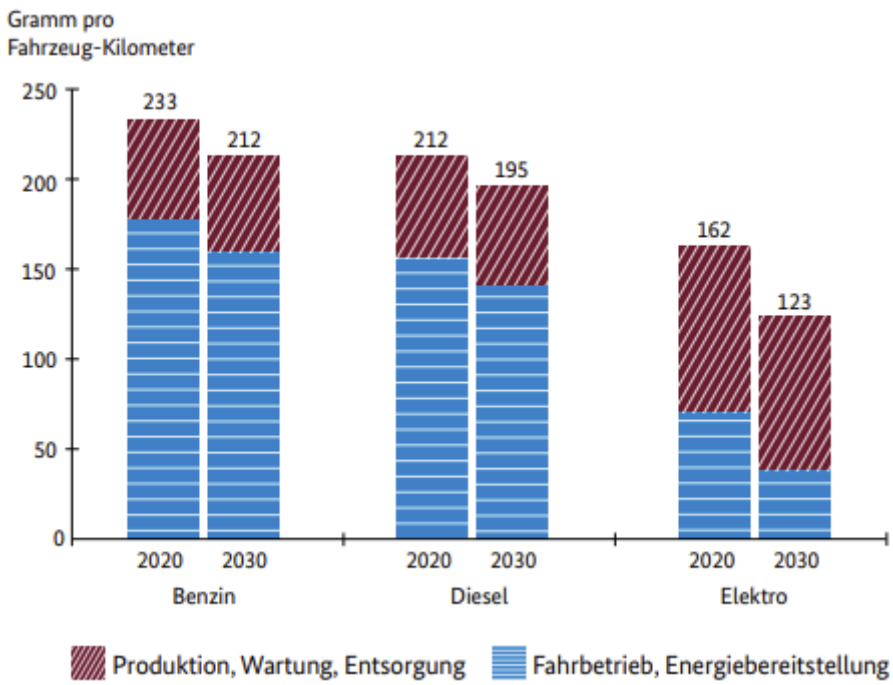

Abbildung 7: CO_2-Emissionen Pkw der Kompaktklasse
Quelle: BMU 2021, S.7

Abbildung 7 zeigt die CO_2-Emissionen eines E-Fahrzeuges der Kompaktklasse über den gesamten Lebenszyklus. Zusätzlich kann man auch die Werte für Fahrzeuge sehen, die mit Benzin und Diesel angetrieben werden. Die Werte werden in Gramm pro Fahrzeug-Kilometer angezeigt und werden sowohl für das Jahr 2020 dargestellt als auch für das Jahr 2030. Für diese Arbeit sind ausschließlich die Werte für das Jahr 2020 wichtig. Gemäß den Daten kann man erkennen, dass E-Fahrzeuge in ihrer Produktion, Wartung und Entsorgung deutlich mehr CO_2 erzeugen als herkömmliche Fahrzeuge. Die Gesamtbilanz ist jedoch geringer und stellt auch die Energiebereitstellung für den Antrieb dar. Diese könnte sogar weiter sinken, wenn der Strom aus regenerativen Quellen hergestellt wird.

2.1.2.2 In der Nutzung

E-Fahrzeuge sind durch den Einsatz von Elektrizität, für den Antrieb, lokal Emissionsfrei. Denn diese fahren ganz ohne fossile Kraftstoffe und erzeugen somit keine Schadstoffe, die in die Umwelt gelangen. Jedoch muss hierbei etwas berücksichtigt werden, und zwar aus welcher Quelle der Strom herkommt, mit dem die E-Fahrzeuge geladen werden. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder werden diese mit regenerativer Energie erzeugt oder werden mit Hilfe von fossiler Energie und

atomarer Energie erzeugt (Dörnhöfer 2019, S.24). Sollte der Strom überwiegend aus den letzteren beiden Quellen kommen, so werden bei der Erzeugung des Stromes enorm viele Schadstoffe freigesetzt und die Nutzung von E-Fahrzeuge wäre auch lokal nicht Emissionsfrei. Ist die Quelle für den Strom aus regenerativen Energien, wie z.B. Windenergie oder Solarenergie, so wäre das E-Fahrzeug in ihrer Nutzung komplett Emissionsfrei.

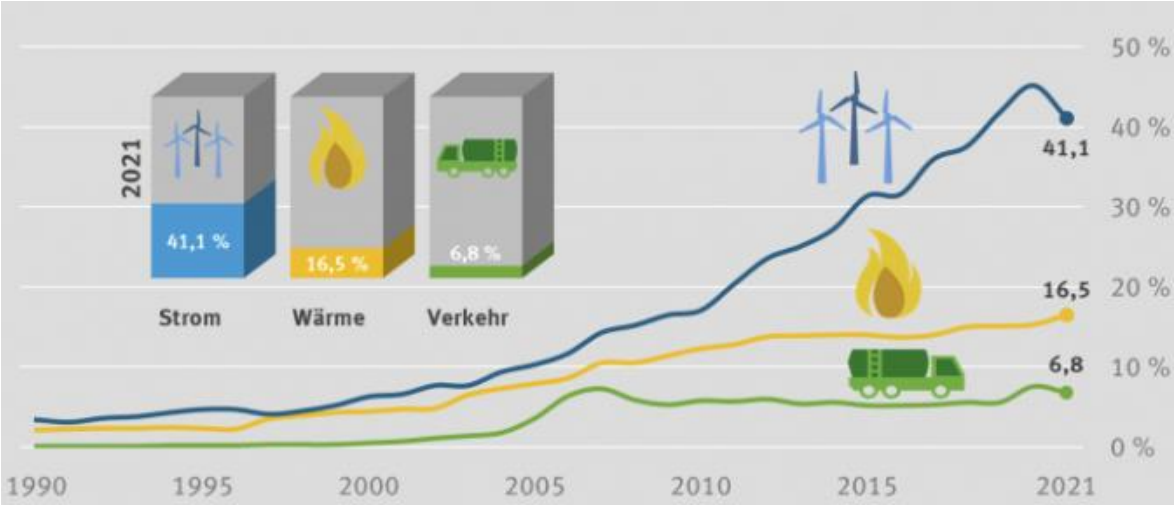

Abbildung 8: Erneuerbare Energien: Anteile für Strom, Wärme und Verkehr
Quelle: Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)
[zitiert nach Meunier et al. 2022]

Aus Abbildung 8 ist ausschließlich die blaue Kurve relevant für diese Arbeit. Wie man aus der Abbildung entnehmen kann, wurde bereits im vergangenen Jahr 2021 der Strom in Deutschland zu 41,1% aus erneuerbaren Quellen hergestellt. Zwar ist der prozentuale Anteil für das Jahr 2020 mit 45,2% höher, dies liegt jedoch an die ungünstigen Witterungen im Jahre 2021 (Meunier et al. 2022). Sieht man sich den Verlauf von 1990 an bis zum Jahre 2021, dann kann man erkennt, dass die Tendenz steigend ist und die Entwicklung und der Ausbau erneuerbarer Quellen zunimmt. Aufgrund der in Deutschland wachsenden Ausbaus erneuerbarer Energien, wird in der Zukunft, besonders in Deutschland, das Fahren von E-Fahrzeugen sehr Umweltschonend sein und hat deshalb sehr gute Zukunftschancen. Somit könnte, wenn der Ausbau weiter zunimmt, in naher Zukunft der elektrische Antrieb vollkommen Emissionsfrei sein.

2.1.3 Reichweite

Die Reichweite bei einem E-Fahrzeug hängt von dem Akkumulator ab, da dieser die gesamte Energie speichert, die das Fahrzeug benötigt, um angetrieben werden zu können. Dabei ist es wichtig, wie die Energie gespeichert wird, wie hoch die Energiedichte ist und wie groß die Kapazität des Akkumulators ist. Hierbei gibt es Unterschiede zwischen den verschiedenen Automobilhersteller. In dieser Arbeit wird, wie in Kapitel 3.1.1.3 erwähnt, als Beispiel, das Li-Ionen-Akku genommen, da diese in der Fahrzeugindustrie als HV-Batterie sehr beliebt ist aufgrund der hohen Energiedichte.

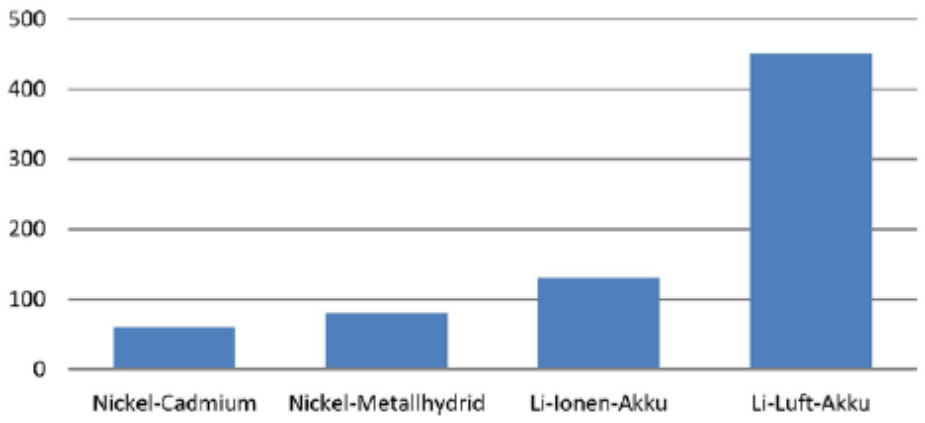

Abbildung 9: Energiedichten der Akkus in Wh/kg je Batteriezelle
Quelle: Karle 2018, S.84

In Abbildung 9 sind die Energiedichten von einer Nickel-Cadmium, einer Nickel-Metallhybrid, einer Li-Ionen und Li-Luft-Akkus zu sehen. Diese sind in Wh/kg pro Batteriezelle angegeben. Ein Li-Ionen-Akku hat eine Energiedichte von ca. 130Wh/kg pro Batteriezelle (Karle 2018, S.84). Mit seiner Energiedichte ist diese somit viel leistungsfähiger als ein Nickel-Cadmium-Akku und einem Nickel-Metallhybrid-Akku. Lediglich das Li-Luft-Akku übertrifft mit seiner Energiedichte von ca. 450Wh/kg das Li-Ionen-Akku um weiten. Dieser ist jedoch noch in der Entwicklungsphase und wird noch in keine E-Fahrzeuge verbaut (Karle 2018, S.83). Anhand des Wertes für das Li-Ionen-Akku ist nun ersichtlich, dass mehr Batteriezellen zu einer höheren Reichweite führen. Zum aktuellen Stand können E-Fahrzeuge mit der höchsten Reichweite können eine Distanz von ca. 500km bis über 600km zurück legen, ohne neu aufgeladen werden zu müssen (Wieler 2022). Was hierbei wichtig zu erwähnen ist,

sind die Faktoren, die bei der Reichweite eines E-Fahrzeuges eine wichtige Rolle spielen. So führen beispielsweise niedrige Umgebungstemperaturen, hohe Geschwindigkeiten oder das Benutzen diverser Nebenaggregate wie unter anderem die Klimaanlage oder aber auch die Heizung zu einem erhöhten verbrach der Energie und senken somit die Reichweite des Fahrzeuges.

2.1.4 Ladeinfrastruktur

Aufgrund der im Durchschnitt kurzen Reichweiten der E-Fahrzeuge, müssen diese oft geladen werden. Dabei muss auch beachtete werden, dass die Ladezeiten bei einem E-Fahrzeug viel höher sind und deswegen eine Ladesäule manchmal für längere Zeit nicht verwendet werden kann. Somit müssen es deutlich mehr Ladestationen als Tanksäulen geben, wenn man möchte, dass sich die Bevölkerung in Zukunft für ein E-Fahrzeug entscheidet.

Tabelle 1: Ladepunkte nach Bundesländern

	01-06-22			01-06-21	
Anzahl Ladepunkte	NLP*	SLP*	gesamt	gesamt	Änderung in %
Baden-Württemberg	9,408	1,484	10,892	7,903	38%
Bayern	10,604	1,695	12,299	9,777	26%
Berlin	1,693	219	1,912	1,776	8%
Brandenburg	1,041	263	1,304	970	34%
Bremen	377	52	429	395	9%
Hamburg	1,482	201	1,683	1,372	23%
Hessen	4,261	631	4,892	3,144	56%
Mecklenburg-Vorpommern	578	148	726	513	42%
Niedersachsen	5,557	1,160	6,717	5,182	30%
Nordrhein-Westfalen	9,502	1,468	10,970	8,484	29%
Rheinland-Pfalz	1,759	584	2,343	1,945	20%
Saarland	430	68	498	361	38%
Sachsen	2,079	438	2,517	1,829	38%
Sachsen-Anhalt	816	276	1,092	900	21%
Schleswig-Holstein	2,107	382	2,489	2,060	21%
Thüringen	911	326	1,237	1,046	18%
Summe	52,605	9,395	62,000	47,657	30%

Quelle: In Anlehnung an Wulff 2022

In Tabelle 1 sind alle öffentliche Ladepunkte aus den Jahren 2021 und 2022 nach Bundesländern aufgelistet. Dabei ist die Anzahl von NLP und SLP einzeln gegeben und einmal die Gesamtanzahl der Ladepunkte. Zusätzlich kann man die Änderung zwischen den Jahren 2021 und 2022 in Prozent sehen. Dies ist dafür wichtig, dass man einen Überblick hat, wie sich die Ladeinfrastruktur ändert bzw.

weiterentwickelt. Gemäß den Daten ist die Tendenz steigend und der Ausbau nimmt deutlich zu. Vor allem in den Bundesländer Hessen und Mecklenburg-Vorpommern hat sich der Ausbau gegenüber dem Vorjahr um ca. die Hälfte gesteigert. Weit weniger steigend sind die Ausbauten in den Bundesländer Berlin und Bremen. Diese haben sich nur um ca. 8-9% gegenüber dem Vorjahr gesteigert. Betrachtet man nun die Gesamtausbauten, dann erkennt man, dass sich die Anzahl der Ladepunkten in der gesamten Bundesrepublik um 30% gegenüber dem Vorjahr gestiegen hat. Somit stehen aktuell 62.000 Ladepunkte zur Verfügung. Davon sind jedoch nur 9.395 Schnellladepunkte und der Rest Normalladepunkte. Diese sind jedoch nur öffentlich Ladepunkte und beinhalten nicht die Anzahl der Ladepunkte, die Privat genutzt werden, wie zum Beispiel in einer Garage. Wie man erkennen kann, gibt es einen gewissen Fortschritt im Ausbauen der Ladeinfrastruktur. Um die Zukunftschancen von E-Fahrzeugen zu erhöhen, muss man jedoch mit dem Ausbau der Ladepunkte weiterfortsetzen.

2.1.5 Vor-/Nachteile

Ein E-Fahrzeug hat die Vorteile, dass es durch den Verzicht von einen Verbrennungsmotor ohne Lärm fährt. Somit hat es keine Störgeräusche, die bei einem herkömmlichen Fahrzeug, vor allem bei Sportfahrzeuge, durch den Verbrennungsmotor zustande kommen. Des Weiteren hat ein E-Fahrzeug, ebenfalls durch den Verzicht eines Verbrennungsmotors, die Möglichkeit vollständig Emissionsfrei genutzt zu werden. Vorausgesetzt der Strom für den Antrieb ist aus regenerativen Quellen und verursacht bei der Herstellung keine Schadstoffe. Ein weiterer Vorteil von E-Fahrzeugen ist, dass diese mit ihrer ca. 90% Wirkungsgrade enorm energieeffizient sind und elektrische Energie sehr effektiv in mechanische Energie umwandeln (Karle 2018, S.23).

Nachteile von E-Fahrzeugen sind, dass diese aktuell noch immer im Durchschnitt eine geringe Reichweite besitzen. Zusätzlich gibt es aktuell auch im Bereich des Ausbaus von Ladepunkten Luft nach oben. Besonders da E-Fahrzeuge lange Ladezeiten haben, ist der Ausbau von Ladepunkten sehr wichtig. Ein weiterer Nachteil

von E-Fahrzeugen ist der hohe Anschaffungspreis, der durch die Herstellung der Batterie zum größten Teil erfolgt (Karle 2018, S.26).

2.2 Wasserstoff-Fahrzeug

Ein Wasserstoff-Fahrzeug bzw. Brennstoffzellen-Fahrzeug kann auf zwei Weisen angetrieben werden (Eichlseder/Klell 2008, S.226). Die erste Weise wäre mit einem Verbrennungsmotor und die zweite Weise wäre im Grunde genommen wie ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug, welches jedoch geringe Unterschiede in der Antriebsbauweise aufweist (Eichlseder/Klell 2008, S.226). In dieser Arbeit wird ausschließlich das Brennstoffzellen-Fahrzeug und somit die Bauweise mit dem elektrischen Antrieb untersucht. Wie in Kapitel 3.1 wird auch hier auf die Anhaltspunkte eingegangen. Dabei wird ebenfalls auf den Aufbau und die Funktionsweise des Brennstoffzellen-Fahrzeuges eingegangen. Es werden Recherchen zu den Schadstoffemissionen sowohl in der Herstellung als auch in der Nutzung durchgeführt und es wird recherchiert, wie die Reichweiten mit einem Brennstoffzellen-Fahrzeug sind. Zusätzlich wird untersucht, wie die Tankinfrastruktur ist.

2.2.1 Aufbau und Funktionsweise

Ein Brennstoffzellen-Fahrzeug wird mit einem Elektromotor angetrieben. Dieser funktioniert, wie bei einem E-Fahrzeug, mit Hilfe zweier Magnetische Felder, durch denen ein Drehmoment erzeugt wird. Ebenfalls hat das Brennstoffzellen-Fahrzeug eine Leistungselektronik und einen Akku, welches hier deutlich kleiner ist als bei einem reinen E-Fahrzeug (Kuhlmann o.D.). Grund dafür ist, dass das Brennstoffzellen-Fahrzeug, wie der Name bereits erwähnt, seine elektrische Energie für den Antrieb des Fahrzeuges nicht von der Batterie nimmt, sondern sie von einer Brennstoffzelle mithilfe von Wasserstoff erzeugt wird und direkt dem Elektromotor gegeben wird (Karle 2018, S.38). Ebenfalls hat das Brennstoffzellen-Fahrzeug einen H_2-Tank, in dem der Wasserstoff gelagert wird (Kuhlmann o.D.).

2.2.2 Schadstoffemissionen

Eine weitere Technologie, um den Anstieg umweltschädlicher Gase zu senken ist die Wasserstoff-Technologie. Wasserstoff soll für den Antrieb genutzt werden und erzeugt keine Schadstoffe, die in die Umwelt gelangen. Jedoch ist auch hierbei

wichtig, wie das ganze zu betrachten ist. Um festlegen zu können, ob die Wasserstoff-Technologie bzw. Brennstoffzellen-Technologie wirklich Emissionsfrei ist, müssen die Emissionen bei der Herstellung von Wasserstoff untersucht werden. Damit der Wasserstoff als Emissionsfrei gilt, muss dieser eben aus erneuerbaren Quellen hergestellt werden. Grund dafür ist, dass nach der Verwendung des Wasserstoffes im Fahrzeug Wasserdampf entsteht, welcher durch den Auspuff ausgelassen wird. Das bedeutet, dass der eigentliche Schadstoff während der Herstellungsphase erzeugt wird. Derzeit wird jedoch das meiste Wasserstoff aus fossilen Energieträgern hergestellt (Bergk et al. 2016, S.39). Dies entspricht ungefähr 95% des gesamten Wasserstoffes (Töpler, Lehmann 2017, S.193).

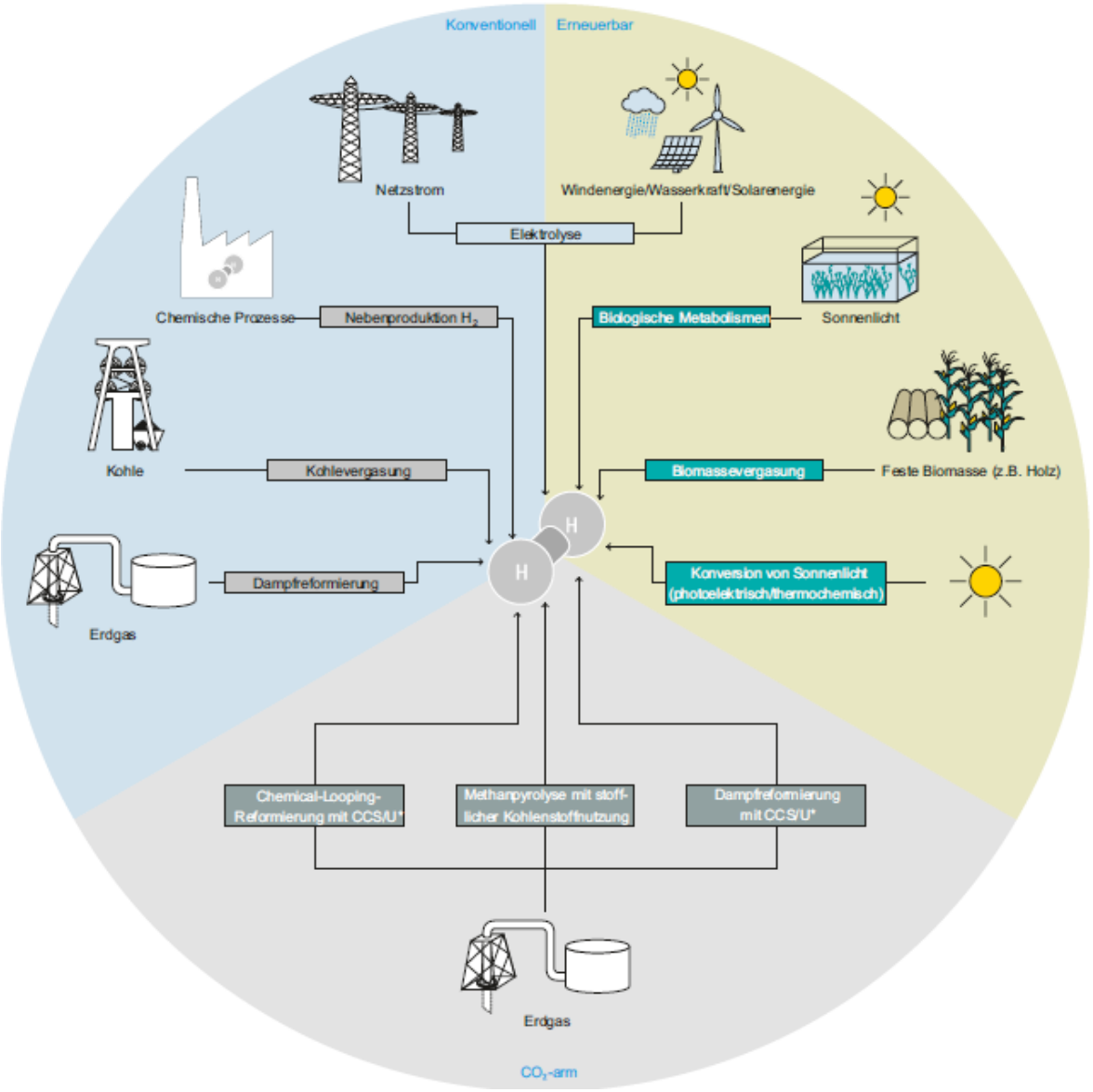

Abbildung 10: Wasserstoffproduktion
Quelle: Linde (zitiert nach Töpler, Lehmann 2017, S.193)

Zur Herstellung von Wasserstoff gibt es, wie in Abbildung 10 dargestellt, sowohl Produktionen mit erneuerbaren Quellen als auch CO_2-arme Methoden. In Zukunft sollen diese mehr zum Einsatz kommen und eine Umstellung geben (Töpler, Lehmann 2017, S.196).

2.2.3 Reichweite

Die Reichweite mit einem Brennstoffzellen-Fahrzeug hängt von der Größe des H_2-Tankes und die damit gebundene Menge an Wasserstoff und von dem Wirkungsgrad der Brennstoffzelle ab. Der Wirkungsgrad bei einem Brennstoffzellen-Antrieb liegt bei über 60% und ist somit sehr effizient, denn dieser ist höher als bei herkömmlichen Fahrzeugen (EnBW o.D.). Aktuelle Brennstoffzellen-Fahrzeuge sind bereits so weit entwickelt, diese mit einer Tankfüllung eine Strecke von ca. 700km zurücklegen können (EnBW o.D.).

2.2.4 Wasserstoffinfrastruktur

Wie bei anderen Fahrzeugtechnologien ist auch für die Wasserstoff-Technologie eine Wasserstoffinfrastruktur enorm wichtig. In der Bundesrepublik gibt es zum aktuellen Stand keine flächendeckende Wasserstoffinfrastruktur (Bundesnetzagentur 2020, S.18). Grund dafür könnte das fehlende Interesse der Bevölkerung sein und das Nutzen weniger Brennstoffzellen-Fahrzeuge.

2.2.5 Vor-/Nachteile

Die Vorteile von einem Brennstoffzellen-Fahrzeug sind, dass diese lokal ganz Emissionsfrei gefahren werden können, wenn der Wasserstoff durch regenerative Quellen hergestellt wurde und das es beim Fahren so gut wie keinen Lärm verursacht. Zudem hat das Brennstoffzellen-Fahrzeug durch den hohen Wirkungsgrad der Brennstoffzelle eine sehr große Reichweite und kann mit einer Tankfüllung eine Strecke von ca. 700km zurücklegen. Ein weiterer Vorteil von einem Brennstoffzellen-Fahrzeug ist die kurze Tankzeit. Dieser ist zu vergleichen mit der eines herkömmlichen Fahrzeuges.

Nachteile, die die Brennstoffzellen-Technologie mit sich bringt, sind die hohen Herstellkosten der Brennstoffzelle (Eichlseder, Klell 2008, S.139). Zudem sind auch die Anschaffungskosten für den Wasserstoff sehr hoch (Eichlseder, Klell 2008, S.139). Dies wirkt sich ebenfalls auf die Kosten für ein Fahrzeug aus und steigt enorm den Einkaufspreis. Ein weiterer Nachteil der Brennstoffzellen-Technologie ist die fehlende Wasserstoffinfrastruktur. Ohne eine ordentliche Wasserstoffinfrastruktur bleibt das Interesse an Brennstoffzellen-Fahrzeuge seitens der Bevölkerung klein.

3 Gegenüberstellung

In diesem Kapitel werden das E-Fahrzeug und das Brennstoffzellen-Fahrzeug gegenübergestellt und verglichen. Dabei werden die Ergebnisse aus der Literaturrecherche verwendet. Hierbei ist es ebenfalls wichtig, dass alle Anhaltspunkte erwähnt werden, um anschließend die Kernfrage der Arbeit beantworten zu können.

3.1 Aufbau und Funktionsweise

Sowohl der Aufbau als auch die Funktionsweise beider Technologien sind sich sehr ähnlich. Bezüglich des Aufbaus haben beide Fahrzeuge einen Elektromotor, eine Leistungselektronik und besitzen einen Akkumulator. Der wesentliche Unterscheid hier ist, dass bei einem Brennstoffzellen-Fahrzeug die Batterie deutlich kleiner ist als bei einem E-Fahrzeug. Grund dafür ist lediglich, dass bei einem Brennstoffzellen-Fahrzeug die nötige elektrische Energie nicht von dem Akkumulator bezogen wird sowie bei einem E-Fahrzeug. Der nötige Strom wird bei einem Brennstoffzellen-Fahrzeug direkt in der Brennstoffzelle hergestellt und an den Elektromotor weitergegeben. Zusätzlich zu der Brennstoffzelle hat ein Brennstoffzellen-Fahrzeug noch einen H_2-Tank, um den Wasserstoff lagern zu können. Vergleicht man beide Aufbauten, dann erscheint das E-Fahrzeug mit weniger Bauteilen weniger komplex in der Herstellung.

3.2 Schadstoffemissionen

Betrachtet man fürs erste nicht die Quelle für den Wasserstoff und für den Strom, dann sind beide Technologien lokal Emissionsfrei. Denn sowohl das E-Fahrzeug als auch das Brennstoffzellen-Fahrzeug erzeugen keine Schadstoffe mit ihren Elektromotoren. Lediglich wird bei dem Brennstoffzellen-Fahrzeug während der Stromerzeugung in der Brennstoffzelle Wasserdampf erzeugt, welches über der Auspuffanlage in die Umwelt gelangt. Dies ist jedoch kein Schadstoff und schadet der Umwelt keinerlei. Was nun das Problem bei beiden Technologien ist, sind die Quellen für das Wasserstoff und für den Strom. Wenn diese über fossile Energien

hergestellt werden, dann erzeugen diese bei der Herstellung viele Schadstoffe, die in die Umwelt gelangen. Bei der Stromerzeugung für das E-Fahrzeug werden zum aktuellen Stand ca. 41% regenerative Quellen verwendet mit der Tendenz steigen. Die Wasserstoffproduktion jedoch läuft aktuell bei ca. 95% über fossile Energien. Was bei dem E-Fahrzeug ebenfalls viele Schadstoffe erzeugt, ist die Li-Ionen-Akku Herstellung. Diese erzeugen bei der Herstellung 70% bis 130% mehr Schadstoffe als bei herkömmlichen Fahrzeugen.

3.3 Reichweite

Die Reichweite bei einem E-Fahrzeug hängt von der Kapazität und Energiedichte des Akkumulators ab. Diese verwenden aufgrund der hohen Energiedichte Li-Ionen-Akkumulatoren. Die leistungsstärksten E-Fahrzeuge können zum aktuellen Stand ca. 500km bis 600km fahren, ohne neu aufgeladen werden zu müssen. Die tatsächliche Reichweite hängt jedoch auch vom Fahrverhalten, Umgebungstemperatur und das Benutzen von Nebenaggregaten ab. Bei einem Brennstoffzellen-Fahrzeug liegt die Reichweite von der Größe des H_2-Tankes ab und die Menge an Wasserstoff. Zusätzlich liegt es auch an den Wirkungsgrad der Brennstoffzelle. Mit einem Wirkungsgrad von über 60% erreichen aktuelle Brennstoffzellen-Fahrzeuge mit einer Tankfüllung eine Reichweite von ca. 700km.

3.4 Wasserstoff-/Ladeinfrastruktur

Die Ladeinfrastruktur wird in der Bundesrepublik deutlich ausgebaut. Die erkennt man an den Werten in Tabelle 1. Es wird deutlich gezeigt, dass sich die Ausbauten Jährlich weiterentwickeln und steigen. Zum aktuellen Stand ist die Ladeinfrastruktur nicht besonders groß hat jedoch gute Zukunftschancen bezüglich des ständigen Wachstums. Anders sieht es bei der Wasserstoffinfrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge aus. In der Bundesrepublik gibt es zum aktuellen Stand kein Flächendeckende Infrastruktur für Wasserstoff.

3.5 Vor-/Nachteile

Vergleicht man die Vorteile der beiden Technologien, erkennt man, dass einige Gemeinsamkeiten vorliegen. Beide Technologien können, wenn die Herstellung von Wasserstoff und die Gewinnung von Strom aus regenerativen Quellen stammt, lokal Emissionsfrei fahren und würden keine Schadstoffe in die Umwelt geben. Zusätzlich verursachen beide Antriebe keinen Lärm und können inzwischen längere Reichweiten zurücklegen. Ein zusätzlicher Vorteil, denn man bei einem Brennstoffzellen-Fahrzeug hat, ist die kurze Tankzeit. Dies ist bei einem E-Fahrzeug nicht der Fall. Dieser benötigt lange Ladezeiten. Und aus diesem Grund ist ein weiterer Nachteil bei E-Fahrzeugen, die aktuell nicht sehr gute Ladeinfrastruktur trotz gute Zukunftschancen. Ein weiterer Nachteil, den sich beide Technologien teilen, sind die hohen Anschaffungspreise. Bei einem Brennstoffzellen-Fahrzeug kommt zusätzlich noch die hohen Wasserstoff Anschaffungskosten. Bei der Brennstoff-Technologie ist es ebenfalls ein großer Nachteil, dass diese keine Wasserstoffinfrastruktur haben.

4 Fazit

Diese Arbeit hat sich mit der Untersuchung und Gegenüberstellung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen und Brennstoffzellen angetriebene Fahrzeuge befasst. Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, welche der beiden Fahrzeugtechnologien sich in der Zukunft besser durchsetzen kann. Dabei wurden einige Anhaltspunkte festgelegt, anhand dieser ein Entschluss gefasst werden soll. Diese waren Aufbau und Funktionsweise der Technologien, Schadstoffemissionen, Reichweiten, Ladeinfrastruktur und Vor-/Nachteile.

Aus der Untersuchung und der Gegenüberstellung der beiden Technologien, kann man erkennen, dass beide Technologien sich in gewissen Punkten sehr ähnlich sind. Durch die Gegenüberstellung wurde jedoch gezeigt, dass das E-Fahrzeug bei dem Aufbau weniger Bauteile hat als das Brennstoffzellen-Fahrzeug. Daraus konnte der Entschluss gefasst werden, dass die Herstellung eines E-Fahrzeuges weniger komplex ist. Auch die Funktionsweise eines E-Fahrzeuges ist viel effizienter, da der Strom bereits hergestellt ist und lediglich in den Elektromotor eingespeist werden muss. Durch die Gegenüberstellung der Schadstoffemissionen, wurde ersichtlich, dass beide Technologien lokal Emissionsfrei fahren könnten, diese jedoch durch die Produktionsquellen für den Wasserstoff und den Strom nicht können. Hierbei ergibt sich ebenfalls bei dem E-Fahrzeug eine 70% bis 130% höhere Schadstoffemissionen als herkömmliche Fahrzeuge. Dies hat ein Brennstoffzellen-Fahrzeug nicht. Aus der Untersuchung ging weiter hervor, dass die Ladeinfrastruktur in Deutschland weiter ausgebaut wird, während es bei dem Wasserstoffinfrastruktur keine erkenntlichen Vorschritte gab. Die Gegenüberstellung der Vorteile und Nachteile ergab, dass sich das Brennstoffzellen-Fahrzeug aufgrund der kürzeren Tankzeit einen Vorteil gegenüber dem E-Fahrzeug geschaffen hat. Diese wird jedoch durch die Nachteile, dass das Brennstoffzellen-Fahrzeug keine Wasserstoffinfrastruktur besitzt, nichtig gemacht.

Aus den Ergebnissen der Untersuchung, konnte kein eindeutiger Entschluss gefasst werden, welche der beiden Technologien in der Zukunft bessere Chancen hat.

Hierfür gab es viele Punkte die sowohl für das E-Fahrzeug als auch für das Brennstoffzellen-Fahrzeug gesprochen haben.

Literaturverzeichnis

Karle, A. (2018): *Elektromobilität: Grundlagen und Praxis,* München: Carl Hanser Verlag.

Spring, E. (2009): *Elektrische Maschinen: Eine Einführung,* Berlin Heidelberg: Springer.

Kampker, A. (2014): *Elektromobilproduktion,* Berlin Heidelberg: Springer.

AAMPACT e.V. (o.D.): *Elektroantrieb* [online]. [abgerufen am 27.05.2022]. Verfügbar unter: https://www.mein-autolexikon.de/e-mobilitaet/elektroantrieb.pdf

Hofman, P. (2010): *Hybridfahrzeuge: Ein alternatives Antriebssystem für die Zukunft,* Wien: Springer.

Wallentowitz, H.; Freialdenhoven, A. (2011): *Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges: Technologien, Märkte und Implikationen,* Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

Stadtwerke Lübeck GmbH (o.D.): *Technische Grundlagen: Aufbau und Funktionsweise von Elektroautos* [online]. [abgerufen am 29.05.2022]. Verfügbar unter: https://emobil.swhl.de/aufbau-und-funktionsweise

Kampker, A.; Vallée, D.; Schnettler, A. (2013): *Elektromobilität: Grundlagen einer Zukunftstechnologie,* Berlin Heidelberg: Springer.

Dörnhöfer A. (2019): *Betriebsfestigkeitsanalyse elektrifizierter Fahrzeuge: Multilevel-Ansätze zur Absicherung von HV-Batterien und elektrischen Steckkontakten,* Berlin: Springer.

Schramm, D.; Hesse, B.; Maas, N.; Unterreiner, M. (2017): *Fahrzeugtechnik: Technische Grundlagen aktueller und zukünftiger Kraftfahrzeuge,* Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH

Meunier, C.; Stoll, J.; Schoen, L.; Jozwiak, A. (14.03.2022): *Erneuerbare Energien in Zahlen, Umwelt Bundesamt* [online]. [abgerufen am 05.06.2022]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#ueberblick

Wieler, J. (30.06.2022): *Elektroautos im Test: So hoch ist die Reichweite wirklich, ADAC* [online]. [abgerufen am 20.07.2022]. Verfügbar unter: https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/

Wulff, F. (22.06.2022): *Elektromobilität: Öffentliche Ladeinfrastruktur, Bundesnetzagentur* [online]. [abgerufen am 20.07.2022]. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html

Eichlseder, H.; Klell, M. (2008): *Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik: Erzeugung, Speicherung, Anwendung,* Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

Kuhlmann, A. (o.D.): *Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV), Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)* [online]. [abgerufen am 21.07.2022]. Verfügbar unter: https://www.alternativ-mobil.info/alternative-antriebe/brennstoffzellenfahrzeuge-fcev

Thielmann, A.; Wietschel, M.; Funke, S.; Grimm, A.; Hettesheimer, T.; Langkau, S.; Loibl, A.; Moll, C.; Neef, C.; Plötz, P.; Sievers, L.; Tercero Espinoza, L.; Edler, J. (Januar 2020): *Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung,* Karlsruhe: Stober GmbH Verfügbar unter: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (Januar 2021): *Wie umweltfreundlich sind Elektroautos: Eine ganzheitliche Bilanz,* Frankfurt am Main: Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG. Verfügbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/elektroautos_bf.pdf

Bergk, F.; Heidt, C.; Knörr, W.; (2016): *Erweiterung der Software TREMOD um zukünftige Fahrkonzepte, Antriebe und Kraftstoffe,* Bremen: Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH.

Töpler, J.; Lehmann, J. (2017): *Wasserstoff und Brennstoffzelle: Technologien und Marktperspektiven,* Berlin: Springer.

EnBW Energie Baden-Württemberg AG (o.D.): *Brennstoffzellenantrieb* [online]. [abgerufen am 22.07.2022]. Verfügbar unter: https://www.enbw.com/energie-entdecken/mobilitaet/brennstoffzellenantrieb/

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (Juli 2020): *Regulierung von Wasserstoffnetzen: Bestandsaufnahme* [online]. [abgerufen am 22.07.2022]. Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Wasserstoff/Wasserstoffpapier.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Erklärung

Ich versichere an Eides statt durch meine Unterschrift, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und an allen Stellen, die ich wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen habe, als solche kenntlich gemacht habe, mich auch keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient habe. Des Weiteren hat die Arbeit in dieser oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Duisburg, 28.07.2022__ _____

Ort, Datum Unterschrift