Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Straßengüterverkehr

Ein Vergleich in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin unter der Leitung von

Ass. Prof. Dipl.- Ing. Dr. techn. Bardo Hörl
E-280-05
Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von
Nadine Kelani, BSc
Matrikelnummer: 01326753

Wien, am 02.05.2023

Unterschrift Studierende

Kurzfassung

Die Auswirkungen des Klimawandels wie auch die Energie- und Rohstoffkrise führen dazu, dass der Straßengüterverkehr so rasch wie möglich von herkömmlichen Diesel-Lkw auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb umgestellt werden muss. Die vorliegende Diplomarbeit widmet sich dem Vergleich jener beiden Technologien, die derzeit bei der Transformation des Straßengüterverkehrs am vielversprechendsten sind: der Akku-Technologie sowie der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie. Die Gegenüberstellung dieser beiden Antriebsarten erfolgt einerseits in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit, andererseits in Bezug auf ihre Praktikabilität in der Anwendung. Jene Lkw der unterschiedlichen Fahrzeugklassen, die in Zukunft in der EU über die Straßen rollen werden, müssen nämlich nicht nur die Bemühungen der EU und deren Mitgliedstaaten in Bezug auf Maßnahmen zum Klimaschutz unterstützen, sondern auch die Akzeptanz jener finden, die sie künftig einsetzen werden: Unternehmen des Transport- und Güterbeförderungsgewerbes sowie andere Unternehmen mit eigenem Lkw-Fuhrpark.

Fest steht, dass derzeit die Akku-Technologie bei Lkw einen Vorsprung auf dem Markt hat und sich wegen ihres höheren Wirkungsgrades vor allem im Nah- und in großen Bereichen des Regionalverkehrs durchsetzen wird. Im Fernverkehr und bei Sonder-/Schwertransporten wird es zumindest aus heutiger Sicht auch der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bedürfen, damit die Transformation des Straßengüterverkehrs bis 2040 gelingen kann. Technologieoffenheit sollte daher nicht nur ein Schlagwort sein, sondern auch umgesetzt werden.

Besondere Herausforderungen stellen sich beim Ausbau der Infrastruktur, auf dem Rohstoffsektor und bei der Bereitstellung ausreichender Mengen an grüner Energie. Um die in den kommenden Jahren rasch steigende Anzahl von Lkw mit Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb mit grünem Strom und Wasserstoff versorgen zu können, muss einerseits die Tank-/Ladeinfrastruktur möglichst rasch auf- und ausgebaut werden. Andererseits muss dafür gesorgt werden, dass mit Hilfe erneuerbarer Energieträger in der EU ausreichend grüner Strom erzeugt wird, um neben dem Verkehrssektor auch Haushalte und Betriebe versorgen zu können. Bei grünem Wasserstoff werden aus heutiger Sicht Importe erforderlich sein. Strategische Partner müssen schon jetzt gesucht werden. Ähnliches gilt für den Rohstoffsektor. Derzeit wird daran geforscht, Akku-Typen zu entwickeln, die ohne kritische Rohstoffe auskommen.

Die Herausforderungen sind also groß, dennoch sind sich die Wissenschaft und die für diese Studie befragten Praktiker darin einig, dass sie bewältigt werden (müssen).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

The effects of climate change as well as the energy and raw materials crisis mean that road freight transport must be switched from conventional diesel trucks to vehicles with alternative drives as quickly as possible. This diploma thesis is dedicated to the comparison of the two technologies that are currently the most promising in the transformation of road transport: battery technology and hydrogen fuel cell technology. The comparison of these two types is based on the one hand on their environmental friendliness and on the other hand on their practicality in use. The trucks of the various vehicle classes that will be driving along the roads of the EU in the future not only have to support the efforts of the EU and its member states with regard to climate protection measures, but also find the acceptance of those who will use them in the future: companies in the transport and freight industry as well as other companies with their own truck fleets.

It is certain that battery technology currently has a lead on the market for trucks and, due to its higher efficiency, will prevail primarily in the local transport and in major fields of regional transport. In long-distance transport and in special/heavy transport, hydrogen fuel cell technology will also be required, at least from today's perspective, in order that the transformation of road freight transport can be succeed by 2040. Openness to technology should therefore not just be a phrase but should also be implemented.

Particular challenges arise in the expansion of infrastructure, in the raw materials sector and in the provision of sufficient quantities of green energy. In order to be able to supply the rapidly increasing number of trucks with battery or hydrogen fuel cell drives with green electricity and hydrogen in the coming years, the refueling and charging infrastructure must be set up and expanded as quickly as possible. On the other hand, it must be ensured that sufficient green electricity is generated in the EU with the help of renewable energy sources to be able to supply households and businesses in addition to the transport sector. From today's perspective, imports will be required for green hydrogen. Strategic partners must be sought now. The same applies to the raw materials sector. Research is currently being done to develop battery types that do not require critical raw materials.

All in all, the challenges are enormous, yet the scientific community and practicioners interviewed for this study agree that they (must) be overcome.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG 1

1.1. PROBLEMSTELLUNG 1
1.2. ZIELSETZUNG DER ARBEIT UND FORSCHUNGSFRAGEN 3
1.3. METHODIK 4
1.4. GANG UND AUFBAU DER ARBEIT 6
1.5. ABGRENZUNGEN DER ZU BEHANDELNDEN MATERIE 6
1.6. STAND DER FORSCHUNG 7

2. WESEN DES STRASSENGÜTERVERKEHRS 17

2.1. DEFINITION UND ABGRENZUNGEN 17
2.1.1. HÖCHSTZULÄSSIGES GESAMTGEWICHT 17
2.1.2. LASTKRAFTWAGEN 17
2.1.2.1. N1 - Kleinlaster mit bis zu 3,5t bzw. 4,25t höchstzulässigem Gesamtgewicht 18
2.1.2.2. N_2 - Kraftfahrzeuge für den Güterverkehr von 3,5t bis 12t 19
2.1.2.3. N_3 - Kraftfahrzeuge für den Güterverkehr über 12t 19
2.1.3. STRASSENGÜTERVERKEHR 19
2.1.4. UNTERSCHEIDUNG GEWERBLICHER VERKEHR UND WERKVERKEHR 20
2.1.5. UNTERSCHEIDUNG STRASSENGÜTERNAH- UND -FERNVERKEHR 21
2.1.6. KURIER-, EXPRESS- UND PAKETDIENSTE (KEP) 21
2.2. AUFKOMMEN IM ÖSTERREICHISCHEN STRASSENGÜTERVERKEHR 22
2.3. UNTERTEILUNG NACH FAHRZEUGARTEN UND EINSATZZWECKEN – ANFORDERUNGEN UND FAHRLEISTUNG 24
2.3.1. STRASSENGÜTERFERNVERKEHR 24
2.3.2. INNERSTÄDTISCHER UND REGIONALER LIEFER- UND HANDWERKERVERKEHR 27
2.3.3. GETRÄNKEFAHRZEUGE UND KÜHLFAHRZEUGE 28
2.3.4. TANKWAGEN UND SILOFAHRZEUGE 30
2.3.5. BAUFAHRZEUGE, BETONMISCHER UND SPEZIALTRANSPORTER 31
2.3.6. AGRAR- UND FORST-LKW 32
2.3.7. KOMMUNALFAHRZEUGE 33
2.4. ENERGIE- UND UMWELTASPEKTE 34
2.4.1. BETRIEBSPHASEN WELL-TO-TANK, TANK-TO-WHEEL UND WELL-TO-WHEEL 34
2.4.2. ÖKOLOGISCHER FUSSABDRUCK 37

3. NEUE ANTRIEBSTECHNOLOGIEN IM STRASSENGÜTERVERKEHR 39

3.1. UMWELTFREUNDLICHE ARTEN DER ANTRIEBSENERGIEN 40
3.1.1. NUTZUNG VON WASSERSTOFF 40
3.1.2. NUTZUNG VON STROM AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN 42
3.2. WIRKUNGS- UND FUNKTIONSWEISE DER UMWELTFREUNDLICHEN ANTRIEBSTECHNOLOGIEN 46
3.2.1. WASSERSTOFF-BRENNSTOFFZELLEN- UND -BRENNSTOFFZELLEN-PLUG-IN-HYBRID-TECHNOLOGIE (PHEV) 46
3.2.1.1. Niedrigtemperaturbrennstoffzellen 48
3.2.1.2. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Plug-in-Hybrid 53
3.2.2. AKKU-TECHNOLOGIE 54
3.3. RAHMENBEDINGUNGEN FÜR ANTRIEBSTECHNOLOGIEN IM ÖSTERREICHISCHEN STRAßENGÜTERVERKEHR 60
3.3.1. RECHTLICHE REGELUNGEN AUF EBENE DER EUROPÄISCHEN UNION 60
3.3.2. NATIONALE VORGABEN UND FÖRDERPROGRAMME 63
3.3.3. VERSORGUNG MIT LADEINFRASTRUKTUR UND WASSERSTOFFTANKSTELLEN 65

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.4. Ökonomische Aspekte 68
3.4.1. Mikroökonomische TCO-Analyse alternativer Antriebstechnologien des IFEU (Kosten auf betrieblicher Ebene) 68
3.4.2. Makroökonomische THG-Vermeidungskosten-Analyse alternativer Antriebstechnologien (Volkswirtschaftliche Kosten) 70
3.5. Aktuelle Limitationen der Technologien 71

4. ENERGIEEFFIZIENZ UND UMWELTASPEKTE DER NEUEN ANTRIEBSTECHNOLOGIEN 76

4.1. Bedeutung der Rohstoffknappheit für die beiden neuen Antriebstechnologien 76
4.1.1. Rohstoffproblematik in der Akku-Technologie 76
4.1.2. Rohstoffproblematik in der Wasserstofftechnologie 79
4.2. Vergleich der Technologien in Bezug auf deren Energieeffizienz und Umweltbelastung 80
4.2.1. Produktions- und Verwertungsphase der Fahrzeuge 81
4.2.2. Wirkungsgrad/Energieeffizienz der Akku-Technologie nach den Betriebsphasen 83
4.2.2.1. Energieverlust während der WTT-Phase 83
4.2.2.2. Energieverlust während der TTW-Phase 85
4.2.2.3. Energieverlust während der WTW-Phase 86
4.2.3. Wirkungsgrad/Energieeffizienz der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie nach den Betriebsphasen 86
4.2.3.1. Energieverlust während der WTT-Phase 87
4.2.3.2. Energieverlust während der TTW-Phase 91
4.2.3.3. Energieverlust während der WTW-Phase 91
4.2.4. Luftschadstoffemissionen über den Lebenszyklus 92
4.3. Beitrag zum Ausgleich von Schwankungen bei der Stromproduktion 95

5. UMWELTFREUNDLICHKEIT UND PRAXISTAUGLICHKEIT DER BEIDEN ANTRIEBSTECHNOLOGIEN AUS DER SICHT VON EXPERTEN (EXPERTEN-BEFRAGUNG) 99

5.1. Methodische Vorgehensweise 99
5.2. Gesprächspartner 99
5.3. Abgefragte Themenbereiche 100
5.4. Auswertung der Gespräche und Interpretationen 100
5.4.1. Ladeinfrastruktur – Auf-/Ausbau und Nutzungsverhalten 100
5.4.2. Vergleich der Technologien in Bezug auf Anschaffungs-, Betriebs- und Vollkosten 105
5.4.3. Förderungen für Infrastrukturausbau und Fahrzeugbeschaffung 108
5.4.4. Beitrag der beiden Technologien zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität 110
5.4.5. Energieversorgungssicherheit - Strategien zur Sicherstellung der Versorgung mit grünem Strom und Wasserstoff 113
5.4.6. Umweltaspekte 117
5.4.7. Technologische Aspekte – Praktikabilität der Technologien 118
5.4.8. Rahmenbedingungen von Seiten der EU und der Ö. Bundesregierung und Batterie-VO 123
5.4.9. Umstieg auf neue Technologie(n) 129
5.4.10. Sonstige Aspekte 144

6. ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN 148

6.1. Kritischer Vergleich der beiden Technologien auf Basis der empirischen Ergebnisse und der Literatur 148
6.1.1. Vergleich der neuen Antriebstechnologien in Bezug auf Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit 148

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.1.2. VERGLEICH DER NEUEN ANTRIEBSTECHNOLOGIEN IN BEZUG AUF FAHRZEUGARTEN UND EINSATZZWECKE .. 154
6.1.3. MÖGLICHE ZIELKONFLIKTE ZWISCHEN UMWELTFREUNDLICHKEIT UND WIRTSCHAFTLICHKEIT 156
6.2. BEANTWORTUNG DER FORSCHUNGSFRAGEN 158

7. FAZIT UND AUSBLICK IN DIE ZUKUNFT 163

NACHWORT – PANTA RHEI (ALLES FLIESST) 167

LITERATURVERZEICHNIS 168

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 209

TABELLENVERZEICHNIS 211

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 212

ANHANG 216

ABSCHNITT A: FLÄCHENDECKENDE MÖGLICHKEIT ZUM BETANKEN VON HFCV-FAHRZEUGEN 216
ABSCHNITT B: WICHTIGE ROHSTOFFLIEFERLÄNDER FÜR DIE MOBILITÄTSWENDE 216
ABSCHNITT C: ENERGIEBEDARF VON DER ELEKTROLYSE BIS ZUR BRENNSTOFFZELLE 217
ABSCHNITT D: WIRKUNGSGRADE ENTLANG DER ENERGIEKETTE – EINE BEISPIELSRECHNUNG 217
ABSCHNITT E: PARAMETER ZUR MIKROÖKONOMISCHEN TCO-ANALYSE ALTERNATIVER ANTRIEBSTECHNOLOGIEN (IFEU) 218
ABSCHNITT F: PARAMETER ZUR MAKROÖKONOMISCHEN VMK-ANALYSE DER NPM 218
ABSCHNITT E: FRAGEBÖGEN 222

Um eine bessere Lesbarkeit zu gewährleisten, wird in dieser Arbeit darauf verzichtet, zu gendern. Personenbezogene Bezeichnungen betreffen, wenn nicht ausdrücklich anderes ausgesagt wird, automatisch beide Geschlechter.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Die in den letzten Jahren immer häufiger auftretenden Naturkatastrophen wie Überflutungen, Hangrutschungen, Hitzewellen, Gewitter, Hagel, Dürreperioden, Wirbelstürme oder Waldbrände sowie die Veränderung der Ökosysteme, die sich unter anderem durch das verstärkt auftretende Abschmelzen der Gletscher und der Polkappen, das Auftauen der Permafrostböden und den Anstieg des Meeresspiegels äußern, zählen zu den größten Herausforderungen, vor denen die Menschheit steht. Bereits jetzt führt die Erderwärmung zu einem Verlust von Lebensräumen für Mensch und Tier. Ackerflächen und Weiden gehen verloren und die Anzahl jener, die aufgrund von Luftschadstoffen erkranken oder sogar sterben, steigt.

Auch wenn es sich bei dem Klimawandel prinzipiell um ein natürliches Phänomen handelt, das bereits seit der Entstehung der Erde existiert und unter anderem für das Auftreten der Eiszeiten verantwortlich war, ist der Effekt des anthropogenen CO_2-Ausstoßes, der vor allem auf die Land- und Forstwirtschaft sowie auf die Verbrennung fossiler Energieträger zurückzuführen ist, inzwischen ausreichend wissenschaftlich belegt (vgl. Climate Change Centre Austria 2019, S. 175). So ist die CO_2-Konzentration von 279 ppm in der vorindustriellen Zeit auf 408 ppm im Jahr 2018 angestiegen (vgl. Kasang o.J.).

Im Jahr 2019 entstanden 85% dieser CO_2-Emissionen durch die Nutzung von Erdgas, Erdöl und Kohle (vgl. Österreichischer Biomasse-Verband o.J.). Um den weiteren weltweiten Temperaturanstieg zu stoppen, die Luftqualität zu verbessern und damit eine noch massivere negative Beeinträchtigung des Lebensraumes Erde zu verhindern, ist es unumgänglich, den Verzicht der Nutzung fossiler Energieträger umzusetzen und damit innerhalb der nächsten Jahre eine umfassende Energiewende einzuleiten. Nur auf diese Weise lässt sich der Temperaturanstieg im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter gemäß dem Pariser Klimaabkommens der Vereinten Nationen (Europäische Kommission o.J.) auf weniger als 2 Grad Celsius beschränken.

Massive Veränderungen wird es vor allem für die Industrie, die Landwirtschaft, den Gebäudesektor und den Verkehr geben müssen. Besonders im Straßengüterverkehr würden steigende Transportleistungen ohne Gegenmaßnahmen für einen weiteren Anstieg der CO_2-Emissionen sorgen. 2019 waren 99% der Lkw über 3,5t höchstzulässiges Gesamtgewicht (hzG), die in einem EU-Mitgliedsstaat zugelassen waren, Diesel-Lkw. Die Emissionen des

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Straßengüterverkehrs lagen 44% über jenen des Luftverkehrs und 37% über jenen des Seeverkehrs (vgl. Europäische Kommission 2023).

Diesel-Verbrennungsmotoren verursachen aber nicht nur CO_2-Emissionen. Auch Stickoxid (NOx)-Emissionen, Kohlenstoffmonoxid(CO)-Emissionen und Feinstaubpartikel, die sowohl der menschlichen Gesundheit als auch der Umwelt und der Atmosphäre schaden können, sind zu einem großen Teil auf den Verkehr zurückzuführen (vgl. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2019, S. 8 & 13).

NOx und CO bilden troposphärisches Ozon, das sich in der Atmosphäre anreichert (vgl. föderaler öffentlicher Dienst (FÖD) Volksgesundheit, Sicherheit der Nahrungsmittelkette und Umwelt 2016). NOx trägt zudem zur Bildung von Ozon in Bodennähe, zur Bildung von Feinstaub und zur Versauerung der Böden bei. Auf den menschlichen Organismus wirkt NOx durch eine Reizung der Atemwege, die sogar zu einer Schädigung des Lungengewebes führen kann (vgl. Aslan Reşitoğlu 2018, S.2). Bei Feinstaubpartikel handelt es sich um Teilchen, die in der Luft schweben, weil sie kleiner als 10 µm (PM10), 2,5 µm (PM2,5) oder 0,1 µm (Ultrafeinstaub) sind. Im Großraum von Städten ist vor allem der Straßenverkehr für das Entstehen von Feinstaub verantwortlich. Dieselmotoren verursachen vor allem beim Kaltstart und während eines Beschleunigungsprozesses große Mengen an Feinstaub, da das Kraftstoff-Luft-Gemisch nicht vollständig verbrennt. Feinstaub kann in die Bronchien, in die Bronchiolen und in die Alveolen der Lunge eindringen und das Lungengewebe nachhaltig schädigen (vgl. Umweltbundesamt 2022a). CO entsteht bei Verbrennungsmotoren, wenn bei der Verbrennung von Treibstoff zu wenig Sauerstoff vorhanden ist (vgl. Paschotta 2023).

CO-Emissionen lassen sich bei Diesel-Lkw zwar reduzieren, indem die Verbrennung mit Luftüberschuss durchgeführt wird, zur Gänze verhindern lässt sich die Bildung von CO jedoch nicht (vgl. Schobl 2019, S. 9). Die Reduktion von NOx erfolgt durch SCR-Katalysatoren, die Stickoxide mit Hilfe einer Harnstofflösung in Stickstoff und Wasserstoff aufspalten (vgl. ADAC 2023). Die Technik ist allerdings unzuverlässig. Harnstoffpartikel neigen dazu, in der Einspritzdüse zu verstopfen, die Verdampfung der Harnstofftröpfchen kann gestört sein und im Endeffekt kann sich die Wirkung des Katalysators verringern (vgl. Wardana & Lim 2022, S.1). Der Ausstoß von Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2,5}$) lässt sich zu einem großen Teil mit Hilfe von Partikelfilter verhindern. Unklar ist allerdings, ob dies auch auf den besonders gefährlichen Ultrafeinstaub zutrifft, der besonders tief in den menschlichen Organismus eindringen kann (vgl. Bessagnet, Allemand, Putaud et al., 2022, S. 1).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Europäische Kommission schlägt deshalb vor, die CO_2-Emissionen für neuzugelassene schwere Nutzfahrzeuge bis 2030 um 45%, bis 2035 um 65% und bis 2040 um 90% zu reduzieren. Das Europäische Parlament dürfte aus heutiger Sicht diesen Plänen zustimmen (vgl. Europäische Kommission 2023). Gleichzeitig werden auch Forderungen laut, noch strengere Vorgaben für die Reduktion von NOx-, CO- und (Ultra)feinstaubpartikel-Emissionen zu erlassen, die von Lkw mit Diesel-Verbrennungsmotoren mit wirtschaftlich sinnvollen Mitteln nicht mehr erreicht werden können (vgl. Schaal 2022b).

Für den Güterverkehr in Österreich bedeutet dies konkret, dass einerseits vermehrt auf umweltfreundlichere bzw. klimaneutrale Verkehrsmittel wie Bahn und Lastenfahrräder (für die Last-Mile) umgestellt werden muss, dass aber vor allem neue Antriebstechnologien für Lastkraftwagen erforderlich sind. Absehbar ist, dass die Automobilhersteller in Zukunft vor allem auf zwei Technologien setzen werden: auf die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und auf die Akku-Technologie. Welche dieser beiden Technologien sich in Zukunft im Straßengüterverkehr durchsetzen wird, hängt dabei nicht nur von den gesetzlichen Vorgaben und dem Ausbau der Infrastruktur, sondern auch von deren Akzeptanz bei Fuhrparkleitern sowie bei Spediteuren und Frächtern ab.

1.2. Zielsetzung der Arbeit und Forschungsfragen

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit der Akku- und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie in Bezug auf deren Einsatz in leichten und schweren Nutzfahrzeugen des Straßengüterverkehrs miteinander zu vergleichen. Dabei soll herausgefunden werden, welche Technologie für welche Einsatzzwecke geeignet ist und ob zukünftig eine Fokussierung auf eine der beiden Technologien sinnvoll ist oder Technologieoffenheit der Weg sein sollte, der unter Umwelt-, Energie- und Wirtschaftlichkeitsaspekten zur Wende im Straßengüterverkehr führt.

Auf diese Weise soll die Arbeit einerseits Unternehmen mit eigenem Fuhrpark und Lkw-Fahrzeugproduzenten, andererseits Behörden und Organisationen, die in den Auf- und Ausbau der erforderlichen Infrastruktur involviert sind, bei ihrer Entscheidung zur Technologieoffenheit oder zur Favorisierung einer der beiden Technologien unterstützen.

Der Vergleich der beiden derzeit erfolgversprechendsten alternativen Antriebstechnologien für die Zukunft des Straßengüterverkehrs erfolgt anhand folgender Forschungsfragen:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Hauptforschungsfragen

- Wie schneiden Wasserstoff-Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr in Bezug auf ihre Umweltbelastung ab?
- Wie schneiden Wasserstoff-Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr in Bezug auf ihre Praxistauglichkeit ab?
- Für welche Einsatzzwecke im Straßengüterverkehr ist welche der beiden untersuchten Technologien besser geeignet?

Subforschungsfrage

Durch welche Maßnahmen kann die Akzeptanz der beiden Technologien verbessert und in der Folge die Anwendung in der Praxis beschleunigt werden?

1.3. Methodik

Die vorliegende Masterarbeit beinhaltet sowohl einen Literaturteil, der zur Sekundärforschung zählt, als auch einen empirischen Teil, der in Form einer schriftlichen Befragung von Expertinnen und Experten durchgeführt wird. Um die Wasserstoff-Brennstoffzellen- und die Akku-Technologie sowohl bezüglich ihrer Umweltfreundlichkeit als auch bezüglich der Praxistauglichkeit gegenüberstellen zu können, erscheint es sinnvoll, die Ergebnisse der am Beginn stehenden systematischen Literaturrecherche mit jenen aus der Befragung zusammenzuführen (siehe *Abbildung 1*).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

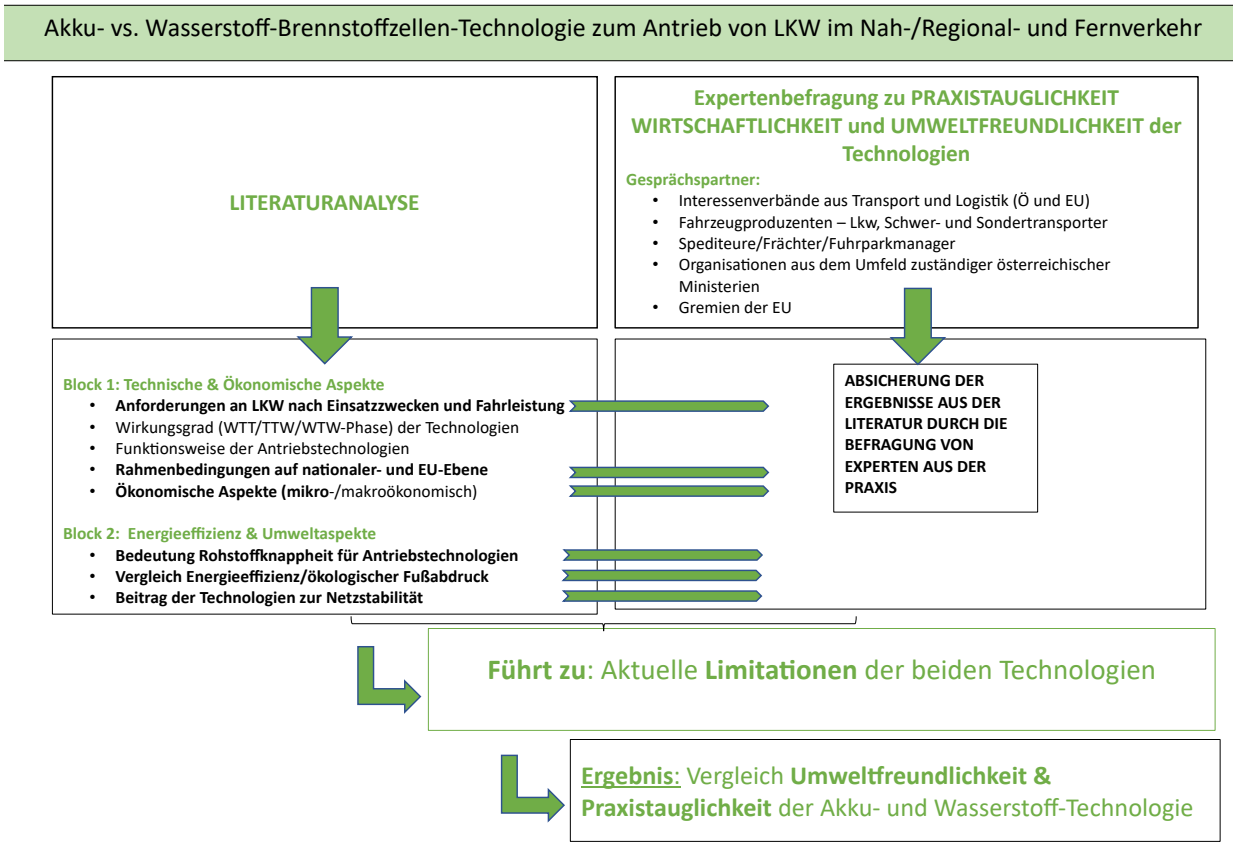


Abbildung 1: Darstellung der methodischen Vorgehensweise der Arbeit

Für die systematische Literatur- bzw. Medienrecherche wird in Datenbanken wie CatalogPlus der TU Wien, Google Scholar, PressReader, STATCube der Statistik Austria, WDS des WIFO Österreich, EBSCO, Emerald, sowie ScienceDirect und Scopus des Elsevier Verlags vor allem mit folgenden Schlüsselbegriffen nach deutsch- und englischsprachigen Fachbüchern und Journals gesucht: Straßengüterverkehr, Akkutechnologie, Elektroantrieb, elektronisch betriebene Fahrzeuge, Wasserstoff, Wasserstofftechnologie, Brennstoffzelle, Wasserstoff Lkw, KEP-Dienstleister, Elektrolyse, Infrastruktur Akku-/Wasserstoff, Betriebskosten/Vollkosten Lkw Akku-/Brennstoffzellentechnologie, EU alternative Antriebe Straßengüterverkehr, Netzstabilität Akku-/Brennstoffzellentechnologie, Reichweite Lkw Akku-/Brennstoffzellentechnologie, ökologischer Fußabdruck/CO_2 Lkw Akku-/Brennstoffzellentechnologie.

Für aktuelle Themen, die noch nicht in Form von Fachliteratur abgehandelt wurden, wird auf veröffentlichte Studienberichte, Artikeln in Fach- und Tageszeitungen sowie auf Webseiten von Institutionen der EU, österreichischen Ministerien, Interessenverbänden, Lkw-Fahrzeugproduzenten, nationale wie internationale Nichtregierungsorganisationen (NGOs) und ähnlichen Organisationen zurückgegriffen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Befragung, die zur qualitativen Methodik zählt, basiert auf Fragebögen, die an den Erfahrungsstand der jeweiligen Gruppe an Expertinnen und Experten angepasst sind. Die Befragten stammen aus Gremien der EU, aus österreichischen Ministerien, aus Interessenverbänden mit Bezug zum Straßengüterverkehr, von Lkw-Fahrzeugproduzenten und Spediteuren/Frächtern sowie von Unternehmen mit eigenem Fuhrpark. Fragen, die sich aus der Beantwortung ergeben, werden per Mail abgeklärt.

1.4. Gang und Aufbau der Arbeit

Um die essenziellen Themen für die Expertenbefragung herauszufinden, werden zunächst mit Hilfe der Literatur die Grundlagen geschaffen. **Kapitel 2** enthält wichtige Definitionen und Abgrenzungen und gibt einen Überblick über das Aufkommen im österreichischen Straßengüterverkehr sowie über die einzelnen Lkw-Kategorien, wobei die Kriterien Einsatzzweck und Fahrleistung im Mittelpunkt stehen. **Kapitel 3** stellt die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und die Akku-Technologie in Bezug auf Energieträger, Funktionsweise der Technologien, staatliche Förderprogramme, Ausbau der erforderlichen Lade-/Tankinfrastruktur und rechtliche Rahmenbedingungen gegenüber. Außerdem werden die ökonomischen Aspekte der Technologien auf mikro- und makroökonomischer Basis gegenübergestellt und mögliche Limitationen für die beiden Technologien aufgezeigt.

Ein eigenes Kapitel, nämlich **Kapitel 4**, beschäftigt sich mit der Energieeffizienz und den damit einhergehenden Auswirkungen auf die Umwelt. Dabei spielen auch der Rohstoffbedarf, der mit den beiden Technologien einher geht und der Beitrag der Technologien zur Stabilisierung der Stromnetze eine wichtige Rolle. Die Auswertung der Befragungen geht in **Kapitel 5** ein. In diesem Teil der Arbeit werden die Wasserstoff-Brennstoffzellen- und die Akku-Technologie daraufhin überprüft, inwieweit sie für den Einsatz im Straßengüterverkehr geeignet sind. Dabei werden die Erkenntnisse, die aus der Literatur gewonnen wurden, mit der Meinung und Expertise von Expertinnen und Experten aus der Praxis verglichen.

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen werden in **Kapitel 6** präsentiert. **Kapitel 7** beendet schließlich die Arbeit mit einem Fazit und einem Ausblick in die Zukunft.

1.5. Abgrenzungen der zu behandelnden Materie

Wasserstoff als Energieträger kann entweder in einer Brennstoffzelle oder als Kraftstoff in einem Verbrennungsmotor verwendet und in mechanische Energie verwandelt werden. Der Wasserstoff-Verbrennungsmotor ist ähnlich einem herkömmlichen Dieselmotor aufgebaut, wird

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

allerdings mit flüssigem Wasserstoff anstatt Diesel betrieben (vgl. Umweltbundesamt 2021). Bei der Brennstoffzelle handelt es sich um eine galvanische Zelle. Mit Hilfe der Oxydationsreaktion eines Brennstoffes wird chemische Energie in der Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt (vgl. Chemie.de o.J.a.). Als Brennstoff kann entweder reiner Wasserstoff (vgl. Wiesener, Garche & Schneider 1980, S. 238) oder ein Wasserstoff-CO_2 Gemisch (Methanol) bzw. ein Wasserstoff-Stickstoff Gemisch (Ammoniak) verwendet werden (vgl. TÜV Süd o.J.a; Landwehr 2019).

In der vorliegenden Arbeit wird die Wasserstoff-Technologie nur im Zusammenhang mit der Wasserstoff-Brennstoffzelle behandelt. Methanol, Ammoniak und andere Wasserstoff-Verbindungen, die für den Betrieb von Brennstoffzellen verwendet werden könnten, bleiben ebenfalls unerwähnt, da deren Herstellung energieintensiv ist.

Für die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und die Akku-Technologie existieren viele Einsatzfelder, im Verkehr, in der Industrie, in Unternehmen aber auch in Haushalten. Im Rahmen dieser Arbeit werden die beiden Technologien ausschließlich im Zusammenhang mit Nutzfahrzeugen/Lkw des Straßengüterverkehrs behandelt.

1.6. Stand der Forschung

Die Forschungstätigkeit im Bereich alternativer Antriebe von Fahrzeugen ist umfangreich, vor allem, was die vergangenen zehn Jahre betrifft. Auffällig ist jedoch der Umstand, dass in der wissenschaftlichen Literatur in Bezug auf alternative Antriebe **mehrheitlich Pkw behandelt** werden (vgl. *Kluschke, Uebel, Wietschel et al.*, 2019, S. 4) und **Aspekte der Akkutechnologie häufiger im Fokus** stehen als andere alternative Antriebstechnologien, wie die Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie. So erhält man auf Google Scholar 337.000 Ergebnisse, wenn man nach BEV (Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie) sucht, bei FCEV (Akku-Technologie) sind es nur 14.000. Eine Schlagwortsuche auf EBSCO führt zu einem ähnlichen Verhältnis.

Letzteres kann darin begründet sein, dass im Bereich der Forschung zur **Wasserstoff-Brennstoffzellen**-Technologie vielen Themen noch **keine ausreichende Aufmerksamkeit** gewidmet wurden. So sind die Auswirkungen **technologisch möglicher Kostensenkungen** durch die Optimierung eingesetzter Rohstoffe und Prozesse bei der Produktion von Brennstoffzellen, Brennstoffzellentanks und Infrastrukturmodulen sowie bei der Wasserstoffelektrolyse in der aktuellen Forschung (noch) nicht ausreichend abgebildet (vgl. *Plötz, Wietschel, Döscher et al.*, 2022 & *Schnabel, Haberzettl et al.,* 2021, S. 14). „*Zudem gilt es, Lösungen für wettbewerbsfähige*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Konzepte für die dezentrale Erzeugung, Speicherung, Transport und Verteilung von grünem Wasserstoff, auch aus alternativen Quellen wie z. B. Biomasse, zu erforschen. Forschungslücken bestehen darüber hinaus bei der Sicherheit und Qualität von Wasserstoff, der Zertifizierung von Komponenten, Schnellalterungstests und Erhöhung der Lebensdauer für alle Kernkomponenten sowie der Akzeptanzforschung." (*Schnabel, Haberzettl et al.*, 2021, S. 14).

De las Nieves Camacho, Jurburg und *Tanco* betonen, dass **praktische Anwendungen** sowie die Bewertung **theoretischer Anwendungen** der **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** in wissenschaftlichen Studien **unterrepräsentiert** sind. Bei dieser Technologie wird **vor allem** über die **Wasserstoff-Supply-Chain**, die **Auswirkungen** der Technologie **auf die Umwelt** und **den Antriebsstrang** geforscht. Die Autoren weisen zudem darauf hin, dass es diesbezüglich kaum Studien gibt, die von staatlichen Behörden gemeinsam mit Wirtschaftsverbänden durchgeführt werden. **Forschungslücken** im Bereich des Wasserstoffs sehen *de las Nieves Camacho, Jurburg* und *Tanco* in der **Verwendung** unterschiedlicher **nachhaltiger Energieträger** für die **Wasserstoffelektrolyse**, in der **kostenoptimalen Wasserstoffverteilung** und bei den **Möglichkeiten der Speicherung von Wasserstoff** (chemische, physikalische, unterirdische Speicherung). Hinsichtlich der einzelnen Komponenten des Wasserstoffantriebs sehen sie den Stand der Forschung divergierend. Während die Protonenaustauschmembran (PEM)-Brennstoffzellentechnologie ihrer Ansicht nach bereits eingehend analysiert wurde, sehen sie die Festelektrolyt (**SOFC**s) -Brennstoffzelle in der Forschung noch als unterrepräsentiert an. Von der Forschung ebenfalls noch unzureichend behandelt werden **Wasserstoffspeichertanks**, die wegen der erforderlichen Druckbeständigkeit eine sehr kostspielige Komponente von Brennstoffzellen-Lkw darstellen. **Vielversprechende Ansätze** gibt es im Bereich **neuer Materialkombinationen**. Diese sollten jedoch rasch weitergeführt werden. Dennoch sollte weiter an der Verbesserung der Technologie gearbeitet werden, um einen Technologiesprung zu ermöglichen und die Einsatzmöglichkeiten im Straßengüterverkehr auszuweiten (vgl. de las Nieves Camacho, Jurburg & Tanco 2022, S. 29519 - 29520).

Vor allem im **Schwerlaststraßengüterverkehr** sehen *de las Nieves Camacho, Jurburg* und *Tanco* die **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** wegen der **hohen spezifischen Energiedichte** von Wasserstoff, der **guten Energieeffizienz von Brennstoffzellen**, der **im Vergleich zu Akku-Lkw schnelleren Tankzeit** und der damit in Zusammenhang stehenden größeren Autonomie im Vorteil. Die **Herausforderung** sehen sie vor allem darin, eine sichere, kompakte, kostengünstige **Lösung für Wasserstoffspeicher** zu finden und einen **sicheren Tankvorgang** zu gewährleisten (vgl. de las Nieves Camacho, Jurburg & Tanco 2022, S. 29506-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

29507). Dazu muss jedoch angemerkt werden, dass die Studienautoren die Einführung der Akku-Technologie (FCEV) und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (BEV) in Uruguay untersucht haben und dieses Land eine Vorreiterrolle bei der Produktion von grünem Wasserstoff innehat (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2022; Deutsch-Uruguayische Industrie- und Handelskammer o.J.).

Peters, Breuer, Decker et al. heben als **Vorteil der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** den hohen Well-to-Wheel (**WTW)-Wirkungsgrad**, den **emissionsfreien Betrieb der Fahrzeuge** und die **Möglichkeit, das bisherige Erdgasleitungsnetz** für den Transport von Wasserstoff **zu verwenden**, hervor. Als **nachteilig** werden die im Vergleich zur Akku-Technologie **höheren Kosten für die Produktion der Brennstoffzellen** und die **Lagerung des Wasserstoffs**, die **niedrigere Energiedichte** und der **inhomogene Infrastrukturaufbau** innerhalb der EU genannt. Vor allem für den **Fernverkehr** sehen die Studienautoren die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Vergleich zur Akku-Technologie **im Vorteil**. Allerdings ist die **Marktreife** der Brennstoffzellen-Technologie **noch nicht** gegeben, es ist noch **nicht genügend Strom** aus erneuerbaren Quellen vorhanden und die **aktuelle Elektrolysekapazität** innerhalb der EU reicht (noch) nicht aus, um den Straßengüterfernverkehr in größerem Ausmaß auf diese Technologie umzustellen. Zudem ist der **Infrastrukturaufbau** bei Wasserstofftankstellen **teurer** als bei Schnellladesäulen (vgl. Peters, Breuer, Decker et al., 2021, S. 44-45).

Plötz, Wietschel, Döscher et al. sehen derzeit die Total Cost of Ownership (**TCO**) bei Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie höher** als bei Lkw mit Akku-Technologie. Sollten allerdings die **Preise für importierten Wasserstoff sinken**, könnten im **Schwerlastverkehr**, insbesondere bei Sondertransporten mit hohem Energiebedarf, im Bereich des Straßendienstes bzw. von Baustellen/Schottergruben oder bei Transporten in Gegenden ohne entsprechende Ladeinfrastruktur, **sinnvolle Einsatzfelder** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie liegen (vgl. Plötz, Wietschel, Döscher et al., 2022).

Mit eben diesen **sinkenden Preisen** rechnet die *International Renewable Energy Agency*, die grünen Wasserstoff deshalb in den kommenden Jahren als konkurrenzfähig mit anderen primären bzw. sekundären Energieträgern ansieht (vgl. de las Nieves Camacho, Jurburg & Tanco 2022, S. 29520). Der Kostenrückgang bei der Wasserstoffelektrolyse hängt damit zusammen, ob ausreichende Mengen an Strom aus erneuerbaren Energieträgern zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund schlagen *De las Nieves Camacho, Jurburg* und *Tanco* vor, **jene Länder** beim

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Aufbau von Wasserstoffelektrolyseanlagen zu **unterstützen,** die zwar gute Voraussetzungen für die **kostengünstige Produktion von grünem Wasserstoff** mitbringen, aber nicht über die notwendigen finanziellen Voraussetzungen verfügen (vgl. de las Nieves Camacho, Jurburg & Tanco 2022, S. 29519). Vor diesem Hintergrund könnten **Pilotprojekte** in Ländern gefördert werden, die zwar die Voraussetzungen zur Produktion von grünem Wasserstoff haben, sich diesen aber nicht leisten können. Diese Projekte könnten als Ausgangspunkts für Erfahrungen im Schwerlastsektor dienen und den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft fördern. Dies könnte zu Kosteneinsparungen bei dem Einsatz zukünftiger Schwerlast-Lkw mit Brennstoffzellenantrieb (HFCTs) führen (vgl. de las Nieves Camacho, Jurburg & Tanco 2022, S. 29519).

Einen ähnlichen Zugang zum Forschungsstand haben *Kluschke, Uebel, Wietschel et al.,* die ebenfalls die Verfügbarkeit des für die Verkehrswende erforderlichen Stroms/Wasserstoffs aus erneuerbaren Energieträgern in den Fokus der Verkehrswende rücken. Sie kritisieren vor allem, dass in den meisten Studien **nur einzelne Themenbereiche** angesprochen werden (vgl. Kluschke, Uebel, Wietschel et al., 2019, S. 4) und das nur **in den seltensten Fällen aus dem Blickwinkel von Praktikern** (Spediteure, Frächter und Fuhrparkmanager).

Bezüglich der **Umweltauswirkung der Akku-** und der **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** stellen *Kabongo-Booto, Aamodt-Espegren und Hancke* fest, dass es zwar diverse Life-Cycle-Assesment(**LCA)-Studien** zu den Auswirkungen des Pkw-Verkehrs gibt, dass die Studienlage **in Bezug auf schwere Nutzfahrzeuge** allerdings **unzureichend** ist. Wenn LCA-Studien zum Schwerverkehr zur Verfügung stehen, betrifft dies zudem primär Busse. Zudem handelt es sich bei den verglichenen Antriebsarten zumeist um Wasserstoff-, Diesel-und CNG-Lkw. Die Umweltauswirkung wird primär in Hinblick auf den zum Einsatz kommenden Kraftstoff ermittelt, wobei meist der WTW-Ansatz bevorzugt wird (vgl. Kabongo-Booto, Aamodt Espegren & Hancke 2021, S. 2.4). *Harris, Soban, Smyth et al.* zeigen die **Notwendigkeit** auf, **prozessorientierte LCA-Studien** für Schwerfahrzeuge durchzuführen, die die gesamte Wertschöpfungskette von Fahrzeug und Antriebskraftstoff umfasst. Als Herausforderung sehen *Harris, Soban, Smyth et al.* den Zugang zu branchenrelevanten Daten (vgl. Harris, Soban, Smyth et al., 2018, S. 570).

Helms, Kämper, Biemann et al. **kritisieren** die derzeitige **Studienlage zur Klimabilanz von Fahrzeugen mit Elektroantrieb**. So sind die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar, die Bewertung divergiert. Dafür verantwortlich machen die Autoren einerseits die unterschiedlichen Rahmenbedingungen, die der Studie zugrunde gelegt werden, andererseits die **Erwartungshaltung**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

der Öffentlichkeit. Als problematisch wird auch angesehen, dass Batteriehersteller kaum technische Details bekanntgeben und **viele Studien** daher **mit** denselben meist **veralteten Daten** arbeiten. Dies umso mehr als der **Stand der weltweiten Forschung** im Bereich der Akkutechnologie (andere Materialien, Verfahren) zurzeit sehr **unübersichtlich** ist und sich laufend verändert. Jedenfalls hängt die Klimabilanz laut *Helms, Kämper, Biemann et al.* vor allem von der Fahrleistung, der CO_2 -Bilanz der eingesetzten Energie und dem Energieverbrauch der Fahrzeuge ab. In diesen Bereichen werden Fortschritte erwartet. Während also die **Klimawirksamkeit der Batterieerzeugung** in den einzelnen Studien **stark divergiert**, ist jene der **Betriebsphase einheitlicher** (vgl. Helms, Kämper, Biemann et al., 2019, S. 57). Eine **Verbesserung der Klimabilanz der Akkus** kann jedenfalls durch neue Zellchemie, einen umweltfreundlicheren Strommix und energieärmere Fertigungsverfahren erreicht werden. Mittelfristig wird mit einer Halbierung der Klimawirksamkeit gerechnet. Einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Klimabilanz wird jedenfalls die Energiewende leisten. Sobald der Strom, der für die Produktion zum Einsatz kommt, überwiegend aus erneuerbaren Quellen stammt, wird die Klimabilanz von Fahrzeugen mit Elektroantrieb jedenfalls besser als von jenen mit Verbrennungsmotor sein (vgl. Helms, Kämper, Biemann et al., 2019, S. 58).

Wietschel, Link, Biemann et al. sehen den **ökologischen Fußabdruck** bei Fahrzeugen mit Akku-Technologie - insbesondere, wenn es um die CO_2 -Bilanz geht - vor allem von der Art des eingesetzten Stroms, der Speicherkapazität des Akkus, dem Gewicht der Zuladung und der Fahrleistung abhängig. Die meisten Studien sehen laut *Wietschel, Link, Biemann et al*. die Akku-Technologie bezüglich der Klimabilanz im Vorteil, allerdings nur, wenn es um den Vergleich mit Verbrennungsmotor geht. Dabei **kritisieren** die Autoren, dass es derzeit **wenige Studien** gibt, die sich mit der **Klimabilanz der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** beschäftigen (vgl. Wietschel, Link, Biemann et al., 2022, S.6). Gleichzeitig sehen sie aber die **Akku-Technologie** im **Vorteil,** wenn es um **Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz** und **Marktreife** geht. Allerdings wird die Marktdurchdringung ihrer Ansicht nach derzeit durch **fehlende Kapazitäten** bei dem **Aufbau der Ladeinfrastruktur**, der Entwicklung unterschiedlicher **Fahrzeugmodelle** für die diversen Einsatzzwecke und dem **Aufbau von Produktionsstätten** gebremst. Bis diese Hürden überwunden sind, könnte der Plug-in-Hybrid-Antrieb als Brückentechnologie genutzt werden. Die **Brennstoffzellen-Technologie** wird als **noch nicht ausgereift** angesehen, insbesondere was die Infrastruktur und die Elektrolyse von Wasserstoff betrifft (vgl. Wietschel, Link, Biemann et al., 2022, S.53).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Gemäß *Lipu, Al Mamun, Ansari et al.* haben **batterieelektrische Schwerfahrzeuge** die geringsten **Auswirkungen** auf den **Klimawandel**, allerdings nur dann, wenn für das Aufladen grüner Strom genutzt werden kann. In Bezug auf den massiven Verbrauch von Seltenerdmaterialien schneidet die Akku-Technologie allerdings genauso schlecht wie die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie ab. Schließlich werden für die Produktion von Batterien bzw. Brennstoffzellen für Lkw große Mengen an **seltenen Erden** verbraucht. In Zukunft könnte aber ein gut aufgebautes Recyclingsystem diesen Nachteil verringern (vgl. Lipu, Mamun, Ansari et al. 2022, S. 2-3 & 42).

Lipu, Al Mamun, Ansari et al. weisen darauf hin, dass ein fairer **Vergleich v**on Kraftstoffen und Technologien nur dann möglich ist, wenn neben den WTW-Emissionen **auch** jene Emissionen miteinbezogen werden, die im Zusammenhang mit der **Produktion, Wartung** und **Entsorgung** der Fahrzeuge anfallen. So hat die Produktion von großen Batterien für Akku-Lkw bzw. die Erzeugung von Brennstoffzellen von mit Wasserstoff betriebenen Schwerfahrzeugen massive Auswirkungen auf die Umwelt. Allerdings wird laut *Lipu, Al Mamun, Ansari et al.* bei der Betrachtung der Umweltwirkungskategorien derzeit meist ausschließlich auf den Klimawandel fokussiert. Stattdessen sollten in die **künftige Forschung** zumindest auch die **Erschöpfung von Bodenschätzen** und die **Auswirkung von Luftschadstoffen** auf den menschlichen Organismus miteinbezogen werden (vgl. Lipu, Mamun, Ansari et al. 2022, S. 45-47). *Hao, Geng, Tate et al.* regen in diesem Zusammenhang an, die Forschung in Bezug auf die Auswirkungen der Produktion von **Akkus für schwere Nutzfahrzeuge** auf die weltweiten Vorräte an **Lithium** zu intensivieren. Bisher haben die meisten Studien nur leichte Nutzfahrzeuge miteinbezogen. Dabei belasten gerade Akkus für schwere Lkw, für die große Mengen dieses Rohstoffes benötigt werden, die bis jetzt bekannten Lithiumlagerstätten (vgl. Hao, Geng, Tate et al., 2019, S. 1 & 4). Auch *Lipu., Mamun, Ansari et al.* heben hervor, dass die für die Herstellung von **Lithium-Ionen-Batterien** erforderlichen **Rohstoffe knapp** werden könnten, die **Brennstoffzellen-Technologie** andererseits in den vergangenen Jahren **erhebliche Fortschritte** gemacht hat (vgl. Lipu, Mamun, Ansari et al. 2022, S. 2).

Nach *Tol, Frateur, Verbeek et al.* ist es derzeit **unklar,** wie rasch die **Technologiewende** und damit die **Dekarbonisierung im Straßengüterverkehr** gelingen kann und in welchen Bereichen sich die Akku-Technologie bzw. die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie durchsetzen wird. Eine wichtige Rolle bei der Technologietransition spielen die Kosten. Ergebnisse der Total Cost of Ownership (TCO)-Analyse im Straßengüterverkehr von *Tol, Frateur, Verbeek et al.* im Auftrag des Think Tanks Agora Verkehrswende zeigen, dass Lkw mit Akku-Technologie

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ab 2030 in 99,6% aller Anwendungsfälle **niedrigere TCO** (Abschreibung, Energie, Wartung, Infrastruktur, Straßennutzung) als Diesel-Lkw verursachen. Der Akku-Lkw soll dabei auch für Langstrecken einsetzbar sein, da mit einer Ladung eine Reichweite von 400 bis 500 km möglich ist. Da der Fahrer laut *Tol, Frateur, Verbeek et al.* zudem pro Tag 45 Minuten Pause machen muss, kann diese als **Tankstopp** genutzt werden. Auf diese Weise sind 800 km am Tag möglich. Vorausgesetzt wird dabei allerdings, dass die dafür benötigte **Ladeinfrastruktur** zur Verfügung steht. Auch bei der Nutzlast und der Laufzeit ist die Akku-Technologie gegenüber dem Verbrennungsmotor nicht im Nachteil. Im Vergleich dazu liegen die TCO laut den Studienautoren bei **Brennstoffzellen-Lkw** über jenen des Diesel-Lkw. Daher werden sinnvolle Einsatzzwecke für die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Straßengüterverkehr nur dort gesehen, wo eine **hohe Reichweite** und/oder **Antriebsleistung** erforderlich ist (vgl. Tol, Frateur, Verbeek et al., 2022, S. 2-3; Agora Verkehrswende 2022, S. 2 & 21-22).

Liimatainen, van Vliet und *Aplyn* haben in ihrer Studie die **Einsatzmöglichkeiten** für Lkw mit Akku-Technologie in der **Schweiz und** in **Finnland** gegenübergestellt und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass 71% der Tonnenkilometer (tkm) in der Schweiz, aber nur 38% jener in Finnland von Lkw mit Akku-Technologie durchgeführt werden könnten. Dieser Unterschied ist gemäß den Studienautoren darauf zurückzuführen, dass in der Schweiz vor allem Lkw mit einem hzG von unter 26t eingesetzt werden und die tägliche Fahrleistung nur in den seltensten Fällen 400km überschreitet. Zudem setzt sich diese Fahrleistung in der Schweiz zumeist aus mehreren kürzeren Strecken zusammen.[1] In Finnland ist es hingegen üblich, dass Lkw 3 bis 4 Tage unterwegs sind und Lkw eine Länge von bis zu 30,5m und ein dementsprechend höheres hzG aufweisen. Allerdings setzt eine sinnvolle Einsatzmöglichkeit von Lkw mit Akku-Technologie auch in der Schweiz voraus, dass deren Reichweite tatsächlich mindestens 300 km beträgt, da innerhalb der erlaubten Fahrzeit von 4,5h üblicherweise 350 km gefahren werden können. Was die Umstellung eines Großteils des Straßengüterverkehrs auf die Akku-Technologie betrifft, sehen die Autoren der Studie das Problem weniger im zusätzlichen Strombedarf, der mit rund 1 bis 3% des gesamten Stromverbrauchs eines Landes angegeben wird, als in dem **Ausbau der Stromnetze**, der für die Errichtung der notwendigen Ladeinfrastruktur erforderlich ist (vgl. Liimatainen, van Vliet & Aplyn 2019, S. 804-806).

[1] In der Schweiz ist die Verlagerung des alpenquerenden Güterverkehrs auf die Schiene sogar in der Verfassung festgeschrieben. Deshalb ist für die Schweiz vor allem der Verteilerverkehr relevant.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen *Tanvir, Un-Noor, Boriboonsomsin et al.,* die ein **amerikanisches Transportunternehmen** dahingehend untersucht haben, inwiefern eine **komplette Umstellung der Flotte** möglich wäre. Im Untersuchungszeitraum hätten 11% der Touren die Reichweite des modellierten Lkw mit Akku-Technologie überschritten. Ohne Möglichkeit zum Zwischenladen wären nur 62% der Touren mit einem solchen Lkw mit alternativem Antrieb bewältigbar gewesen. Eine Möglichkeit zum Laden am eigenen Betriebshof zwischen den Fahrten könnte die bewältigbaren Touren auf 85% erhöhen, allerdings besteht die Gefahr der Überlastung des Netzes, wenn mehrere Lkw gleichzeitig aufgeladen werden müssen. Da die externe Lade-Infrastruktur in Südkalifornien vor allem in Bezug auf Schnelladesäulen derzeit noch unzureichend ausgebaut ist, müsste der Betreiber einige Diesel-Lkw im Betrieb behalten. Diese **Dualität in der Technologie** würde allerdings zu einer **Erhöhung der Betriebskosten** führen. Um eine komplette Umstellung zu ermöglichen, müsste deshalb zunächst die Ladeinfrastruktur massiv ausgebaut werden. Zudem müsste die Möglichkeit zum Schnellladen in die Routenoptimierung integriert werden und ein Echtzeit-Überwachungssystem der Lkw müsste die Lkw-Fahrer rechtzeitig zur nächstgelegenen Ladestation leiten (vgl. Tanvir, Un-Noor, Boriboonsomsin et al., 2021, S. 4).

Bisher nur **unzureichend untersucht** ist zudem die **Auswirkung anspruchsvoller Topografien** auf die erforderliche Kapazität von Akkus, die Dimensionierung der Antriebsstrangkomponente bzw. die Stärke des Elektromotors (vgl. *Ferrara, Jakubek & Hametner* 2023, S. 3). Neben der Topografie des Einsatzgebietes sollten in der künftigen Forschung laut *Cabeza, Frazzica, Chàfer et al.* vor allem die **thermischen Bedingungen**, unter denen ein Fahrzeug betrieben wird und die einen großen Einfluss auf die Reichweite und die Ladedauer der Batterie haben, berücksichtigt werden. Zudem wäre es sinnvoll, dem Wärmemanagement für Akkus in der Forschung einen höheren Stellenwert einzuräumen (vgl. Cabeza, Frazzica, Chàfer et al. 2020, S. 1).

Liu, Placke und *Chau,* beschäftigen sich in ihrer Studie mit dem Stand der Forschung im Bereich von Batterien und BMS. Dabei unterscheiden sie Technologien vor der Zeit der Lithium-Ionen-Akkus und jene nach dieser Ära (vgl. Liu, Placke & Chau 2022, S. 4061). Im Moment sehen *Zhang* und *Fan* die **Optimierung der Lithium-Batterie** und der State of Charge (**SOC)** im Zentrum der Batterieforschung (vgl. Zhang & Fan 2020, S.12). *Liu, Placke* und *Chau* sehen hingegen **Feststoffbatterien** als **vielversprechend** in Bezug auf Reichweite und Energiedichte ein. Diese Technologie bedarf bis zu ihrer Marktreife aber noch einer weitreichenden Forschungs- und Weiterentwicklungstätigkeit (vgl. Liu, Placke & Chau 2022, S. 4061).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

In der wissenschaftlichen Literatur derzeit noch **kaum ein Thema** sind die Auswirkungen der Energiekrise und der damit einhergehenden beschleunigten Transformation des Energiemarktes (weg von fossilen hin zu erneuerbaren Energieträgern) auf die Vorteilhaftigkeit der beiden Technologien. Eine **Forschungslücke** besteht in diesem Zusammenhang auch bei den mikro- und makroökonomischen **Kosten für** den erforderlichen **Auf- und Ausbau der europäischen Stromnetze,** um den dezentral und unregelmäßig produzierten Strom aus erneuerbaren Energieträgern tatsächlich von den Produzenten zu den Verbrauchern zu bringen und einen Zusammenbruch der Stromnetze zu vermeiden. Im Falle des **Wasserstofftransports** ist die Forschung bereits weiter. Verglichen werden unterschiedliche Arten des Transports (neugebaute Rohrleitung, Nutzung bereits bestehender Erdgasleitungen, Transport in unterschiedlichem chemischem Zustand mit dem Schiff). Bis zu einer Distanz von rund 6000km ist der Transport über bestehende Rohrleitungen am kostengünstigsten, über 6000km die Umwandlung in Ammoniak und der Transport mit dem Schiff (vgl. Staiß, Schmidt, Stephanos et al 2022).

Die Bedeutung der **Vehicle-to-Grid- (V2G) bzw. Grid-to-Vehicle (G2V)-Technologie** für die Netzstabilität heben *Ravi und Aziz* hervor. Einerseits stehen Netzbetreiber durch die Umstellung von Fahrzeugen auf Elektro-Antrieb einer großen Herausforderung gegenüber. Schließlich gilt es, vor allem in Spitzenzeiten einen hohen zusätzlichen Strombedarf zu bewerkstelligen, ohne dabei das **Stromnetz** zum Zusammenbruch zu bringen. Andererseits können Fahrzeuge mit Akkutechnologie einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes liefern. Dafür ist es allerdings essenziell, dass sogenannte gridable electric vehicles (GEVs) in einer ständigen Kommunikation miteinander und mit dem Stromnetz stehen. Ein der Weiterentwicklung dieser Vernetzung liegt ein wichtiger Aufgabenbereich zukünftiger Forschung (vgl. Ravi & Aziz 2022, S. 2-3).

Die Bedeutung **staatlicher Unterstützungsmaßnahmen** für den **Aufbau der notwendigen Infrastruktur** und die **Entwicklung** des erforderlichen **Fahrzeugmaterials** betonen *Osieczko, Zimon, Placzek et al.*. Dazu ist einerseits die Kooperation mit Fahrzeuglieferanten erforderlich, andererseits muss die Forschung im Bereich alternativer Antriebe gestärkt und die Zusammenarbeit mit anderen Ländern gesucht werden. Insbesondere gilt dies für die Produktion und den Transport von Wasserstoff, die Versorgung mit grünem Strom und den Ausbau der Infrastruktur. Die Europäische Kommission ist laut den Studienautoren zudem gefordert, Unternehmen mittels zusätzlicher Förderungen bei dem Umstieg auf Lkw mit Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie stärker zu unterstützen. Auch die derzeitige Anzahl der in der EU verfügbaren Ladestationen reicht nicht aus, um einen Anreiz für einen rascheren Umstieg der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Transportbranche zu setzen (vgl. Osieczko, Zimon, Placzek et al., 2021, S. 2 & 8). Dabei zeigen *Tsakalidis, Krause, Julea et al.* auf, dass es möglich wäre, mit einer ehrgeizigeren Strategie zur Elektrifizierung allein im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge die CO_2-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs um 3% zu senken (vgl. Tsakalidis, Krause, Julea et al. 2020, S. 17).

Aus all diesen Gründen plädieren *Plötz, Wietschel, Döscher et al.* dafür, vor allem zum jetzigen Zeitpunkt **technologieoffen** zu bleiben (vgl. Plötz, Wietschel, Döscher et al., 2022). Einen ähnlichen Standpunkt nehmen das *Helmholtz-Zentrum für Umweltforsch*ung und das *Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg* ein, wenn sie in ihrer Studie im Auftrag der Agora Verkehrswende festhalten: „*Umso wichtiger ist es daher, heutige politische Weichenstellungen so zu treffen, dass keine perspektivisch nutzbaren Technologien unnötigerweise administrativ ausgeschlossen werden*." (Agora Verkehrswende 2020, S.140).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2. Wesen des Straßengüterverkehrs

Prinzipiell läuft der Verkehr über Verkehrsträger, darunter wird die gesamte Infrastruktur verstanden, über die der Personen- und Güterverkehr abgewickelt wird. Die Verkehrsträger werden in den Landverkehr (Straße, Schiene), den Luftverkehr, den Wasserverkehr (Seewege und Binnenschifffahrtsstraßen) und den Rohrleitungsverkehr (Pipelines, Hyperloop) eingeteilt. Diese Arbeit fokussiert auf den Güterverkehr, der im Nah- oder Fernverkehr über die Straße abgewickelt wird (vgl. Stanger, o.J.; Schüning & Neu 2020, S. 178).

2.1. Definition und Abgrenzungen

2.1.1. Höchstzulässiges Gesamtgewicht

Gemäß § 2 Z 32 des österreichischen KFG (Kraftfahrgesetz) wird unter dem „Gesamtgewicht das Gewicht des fahrbereiten Fahrzeuges samt der Ladung, dem Lenker und allen gleichzeitig beförderten Personen“ verstanden. Das hzG spielt in Österreich nicht nur wegen der zum Betrieb des Fahrzeuges erforderlichen Führerscheinklasse, sondern auch wegen der zu bezahlenden Steuern (vgl. Bundesministerium für Finanzen o.J.) und Straßenbenützungsgebühren (vgl. ASFINAG o.J.) eine wesentliche Rolle.

2.1.2. Lastkraftwagen

Bei Lastkraftfahrzeugen handelt es sich um „nicht dauerhaft spurgeführte Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden“ (§ 2 (1) Fahrzeug-Zulassungsverordnung) und die „nach [ihrer] Bauart und Einrichtung nicht zur Beförderung von Personen, sondern zur Beförderung von Ladungen (Gütern) bestimmt [sind]“ (Krumme 2018). Das österreichische KFG unterscheidet des Weiteren Lastkraftwägen und Sattelzugfahrzeuge. Als „Lastkraftwagen [wird dabei] ein Kraftwagen [verstanden], der nach seiner Bauart und Ausrüstung ausschließlich oder vorwiegend zur Beförderung von Gütern oder zum Ziehen von Anhängern auf für den Fahrzeugverkehr bestimmten Landflächen bestimmt ist, auch wenn er in diesem Fall eine beschränkte Ladefläche aufweist.“ (§2 Z 8 KFG). Bei einem „Sattelzugfahrzeug handelt es sich um einen] Kraftwagen, der nach seiner Bauart und Ausrüstung dazu bestimmt ist, einen Sattelanhänger so zu ziehen, dass ihn dieser mit einem wesentlichen Teil seines Eigengewichtes oder, bei gleichmäßiger Verteilung der Ladung auf der Ladefläche, seines Gesamtgewichtes belastet“ (§2 Z 11 KFG).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Der Begriff des Lastkraftfahrzeuges ist damit sehr weit gefasst und enthält prinzipiell auch Transportmittel, die vorwiegend innerhalb des Betriebsgeländes eingesetzt werden, wie beispielsweise Gabelstapler, die in der Bilanz allerdings zu den technischen Anlagen und Maschinen gezählt werden (vgl. Eder Stapler o.J.).

Im Güterverkehr, der der außerbetrieblichen Beförderung dient, existieren zwei unterschiedliche Kategorisierungen, die beide am hzG anknüpfen. Die EG-Klassifizierung in N_1, N_2 und N_3 gilt für Kraftfahrzeuge, die für die Beförderungen von Gütern ausgelegt sind und zumindest vier Räder besitzen (Anhang II, A.2. *Kraftfahrzeuggenehmigungs-RL*). Im österreichischen KFG (Kraftfahrzeuggesetz) sind hingegen die vier Untergliederungen bis 3,5t, bis 12t, bis 18t und über 18t zu finden (KFG).

2.1.2.1. N1 - Kleinlaster mit bis zu 3,5t bzw. 4,25t höchstzulässigem Gesamtgewicht

Dabei handelt es sich um Fahrzeuge, die gemäß §6(1) der Fahrzeugeinstufungs-VO als sogenannte Fiskal-Lkw gelten und deshalb vor allem umsatzsteuerliche Vorteile (vgl. WKO 2021c) genießen, obwohl es sich dabei teilweise um Kraftwägen handelt, deren Plattform ident mit jener eines Pkw-Modells desselben Herstellers ist. In diese Kategorie fallen beispielsweise Kombinationskraftwägen, die statt einer zweiten Sitzreihe eine Ladefläche, eine fixe Abtrennung zu den vorderen Sitzen, einen seitlich verblechten Laderaum und eine Heckklappe aufweisen (vgl. §3(1) Fahrzeugeinstufungs-VO). Diese Umbauten müssen gemäß § 3(2) Fahrzeugeinstufungs-VO) jedenfalls werksseitig vorgenommen worden sein. Ein nachträglicher Umbau wird nicht anerkannt. Jedenfalls als Kleinlastkraftwagen anerkannt werden Pick-ups mit einer Ladefläche (vgl. § 4 Fahrzeugeinstufungs-VO) sowie Fahrzeuge mit einem kastenförmigen Aufbau, die sogenannten Kastenwägen.

All diesen Fahrzeugen gemeinsam ist, dass sie über eine Nutzlast von bis zu 1,4t verfügen (vgl. Fritzsche 2019) und mit einem Führerschein der Klasse B gelenkt werden dürfen. Für Kleinlaster mit Elektroantrieb gilt insofern eine Besonderheit, als sie bis zu 4,25 t hzG mit einem solchen Führerschein gefahren werden dürfen, wenn eine fünfstündige Zusatzausbildung absolviert wird (vgl. Oesterreich.gv.at 2020). Für sie gilt auf dem hochrangigen Straßennetz nur Vignettenpflicht und somit der günstigere Pauschaltarif von 92,5 € im Jahr 2021 (vgl. ASFINAG 2021a).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2.1.2.2. N_2 - Kraftfahrzeuge für den Güterverkehr von 3,5t bis 12t

Bei dieser Lkw-Klasse, die leichte Lkw mit bis zu 7,5t und einen Teil der mittelschweren Lkw mit bis zu 18t hzG laut KFG umfasst, handelt es sich bis auf einige wenige Ausnahmen um 2-Achser mit einer Nutzlast von 1,8t bis 3t (vgl. TruckScout24 2021). Fahrzeuge dieser Kategorie können entweder mit dem Führerschein der Kategorie C1 (bis 7,5t), C (über 7,5t ohne Anhänger) oder C1E bzw. CE (über 7,5t mit Anhänger) gelenkt werden (vgl. Oesterreich.gv.at 2020). Bezüglich der Maut fallen diese Lkw unter den Tarif 2, dessen Höhe mittels Go-Box ermittelt und abgerechnet wird (vgl. ASFINAG 2021b).

Zu beachten ist außerdem, dass ab 3,5t spezielle Lenk- und Ruhezeiten gelten, die zum Zweck der Verkehrssicherheit bzw. des Arbeitnehmerschutzes sowohl von unselbständigen als auch selbständigen Lenkern einzuhalten sind (vgl. Klemens, Schmeidl, o.J.).

Falls leichte Lkw mit einem Anhänger unterwegs sind, gilt bis auf wenige Ausnahmen das Wochenendfahrverbot (vgl. ASFINAG 2021c). Über 7,5t hzG gilt auf dem hochrangigen Straßennetz zudem ein generelles Fahrverbot auf der dritten und vierten Spur, ein Wochenendfahrverbot und ein Nachtfahrverbot (vgl. ASFINAG 2021c).

2.1.2.3. N_3 - Kraftfahrzeuge für den Güterverkehr über 12t

Unter diese Kategorie fallen die mittelschweren Lkw, falls sie über 7,5t hzG haben (siehe *Kapitel 2.1.2.2.*) sowie schwere Lkw, das sind jene über 18t hzG. Schwere Lkw haben entweder zwei oder drei Achsen (vgl. Truckscout 24 2021) und können mit einem Anhänger bzw. Auflieger unterwegs sein. Gemäß §4(7a) KFG dürfen Lkw mit Anhängern, die auf Österreichs Straßen fahren, ein maximales Gesamtgewicht von 40t, in einigen Ausnahmefällen von 44t, aufweisen. Die maximale Länge liegt für Lkw mit Anhänger bei 18,75m, bei Sattelkraftfahrzeugen bei 16,5m (§4(7a) KFG). Die auf einigen Strecken in Deutschland erlaubten Gigaliner mit einem hzG von 60t und einer Länge von maximal 25m sind in Österreich hingegen weiterhin verboten (vgl. VCD Verkehrsclub Deutschland).

2.1.3. Straßengüterverkehr

„*Der Begriff des Straßengüterverkehrs umfasst* [laut Dabidian und Langkau (2013, S. 137)] *sämtliche Transporte von Gütern, die mit Kraftfahrzeugen auf dem Verkehrsträger Straße erfolgen. Der Straßengüterverkehr ist gekennzeichnet durch eine flächendeckende Infrastruktur,*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

kurze Transportzeiten und einer zumeist direkten Verbindung zwischen Quelle (Versender) und Senke (Empfänger).“

Für die Durchführung der österreichischen Straßengüterverkehrserhebung der Statistik Austria werden hingegen nur Transporte mit jenen Güterkraftfahrzeugen berücksichtigt, die eine Nutzlast von mindestens 2t aufweisen (vgl. Karner, Schuster, Weninger et al., 2020, S. 12). Diese Einschränkung führt jedoch dazu, dass der Einsatz von Kleintransportern, die eine Nutzlast von unter 2t aufweisen, in der Erhebung nicht aufscheint.

Da auch Kastenwägen und andere Kleintransporter unter 2t Nutzlast für den Güterverkehr, vor allem im Bereich der City-Logistik, eine wichtige Rolle spielen, wird der Begriff Straßengüterverkehr im Rahmen dieser Arbeit abweichend von der Definition der Statistik Austria (vgl. Karner, Schuster, Weninger et al., 2020, S. 12) weiter definiert. Andererseits würden gemäß Dabidian und Langkau (2013, S. 137) auch Gütertransporte mit Kombis (Kombinationskraftwägen) zum Straßengüterverkehr gezählt werden, da keine Einschränkung der Kraftfahrzeuge erfolgt. Auch dieser Ansatz scheint für die vorliegende Arbeit nicht sinnvoll, da die technologischen Voraussetzungen für Kombis andere als für Lastkraftwägen sind.

Deshalb wird in der vorliegenden Masterarbeit unter Straßengüterverkehr generell jeder Transport von Gütern verstanden, der mit einem Lastkraftwagen ausgenommen Kombis durchgeführt wird.

2.1.4. Unterscheidung gewerblicher Verkehr und Werkverkehr

Unter dem gewerblichen Verkehr wird der Transport von Personen oder Gütern mit Ausnahme des Werkverkehrs verstanden. Der gewerbliche Verkehr unterliegt prinzipiell der Gewerbeordnung. Die Beförderung von Gütern außerhalb des Werkverkehrs unterliegt ebenfalls der Gewerbeordnung, wobei der Transport mit Fahrzeugen bis 3,5t hzG unter die Kategorie Kleintransportgewerbe fällt und daher gemäß § 5(2) GewO zu den freien Gewerben zählt, wohingegen die Güterbeförderung mit Fahrzeugen über 3,5 t hzG gemäß § 2 (1) GüterbefG (Güterbeförderungsgesetz) konzessionspflichtig ist.

Gemäß §32(1)Z13 GewO ist der Werkverkehr hingegen von der Konzessionspflicht ausgenommen. Unter Werkverkehr wird die Beförderung von Gütern aller Art ausschließlich für Zwecke des eigenen Unternehmens verstanden. Die dazu verwendeten Fahrzeuge müssen im wirtschaftlichen oder rechtlichen Eigentum der Firma stehen und von eigenem oder geleastem Personal gelenkt werden. Außerdem muss der Transport im Zusammenhang mit der Beschaffung, dem

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Vertrieb, der Lagerung oder der Produktion von Gütern stehen und muss eine untergeordnete Tätigkeit im Unternehmen darstellen (vgl. WKO 2021c).

Diese Arbeit bezieht sich auf den gesamten Güterverkehr, unabhängig von dem hzG der Fahrzeuge und davon, ob Güter gewerbsmäßig oder im Werkverkehr transportiert werden.

2.1.5. Unterscheidung Straßengüternah- und -fernverkehr

Die Abgrenzung zwischen dem Straßengüternah- und -fernverkehr erfolgt primär aufgrund der mit den Gütern zurückgelegten Strecke, ist allerdings nicht einheitlich. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die Definition des deutschen Bundesamtes für Güterverkehr (vgl. BAG 1998) zurückgegriffen. Danach beschränkt sich der Nahverkehr auf Strecken von maximal 50km, bis 150km wird von Regionalverkehr gesprochen, bei Transportstrecken von mehr als 150 km handelt es sich um Fernverkehr, zu dem auch der Transitverkehr zählt (vgl. BAG 1998, S. 5).

2.1.6. Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP)

Bei KEP-Dienstleistern handelt es sich um Transportunternehmer, die primär Sendungen bis zu einem Gewicht von rund 30kg, die nur ein geringes Volumen aufweisen, befördern und die durch ihre Standardisierbarkeit gekennzeichnet einen zumindest teilweise automatisierten Umschlag zu ermöglichen (vgl. Krieger 2018a).

KEP-Dienste unterteilen sich in Kurier-, Express- und Paketdienstleister. Während sich Kurierdienste auf die Zustellung von Klein- und Briefsendungen bis maximal 3kg spezialisieren, entfällt bei Expressdiensten sowohl eine Gewichts- als auch eine Maßbeschränkung (vgl. Kersten 2010). Von Paketdiensten werden Güter bis 31,5kg Gewicht und Maßen von 1*0,6*0,6 (in Metern) transportiert (vgl. Post AG o.J.). Prinzipiell kann der Transport über kürzere oder längere Strecken und auch multimodal erfolgen. Die Last Mile wird allerdings in allen Fällen über die Straße abgewickelt (vgl. Kersten 2010).

KEP-Dienstleister üben ihre Tätigkeit mit unterschiedlichen Fahrzeugen aus. Neben Kleinlastkraftwägen und Kombis kommen zunehmend Fahrräder bzw. Lastenfahrräder zum Einsatz. So stellten leichte Nutzfahrzeuge 2019 einen Anteil von rund 60% der Zustellfahrzeuge dar, schwere Lkw rund 1%. Der Rest entfiel auf Lasten(fahrräder) mit rund 17%, Mopeds mit rund 5% sowie Fahrzeugen mit Elektro- oder Hybridantrieb mit rund 16% (vgl. Faast, Dillinger, Schrampf et al., 2020, S.57). Die Österreichische Post beschafft schon seit 2022 nur noch E-Fahrzeuge für die Hauszustellung (siehe *Abbildung 2*). Die aktuelle Flotte umfasst 1400 E-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Transporter sowie 1100 Lasten(fahrräder), Mopeds und Trikes mit elektrischem Antrieb (vgl. Harttmann 2022).



Abbildung 2: Österreichische Post elektrifiziert die Lieferflotte (Quelle: Harttmann 2022)

In Pilotprojekten wird auch die Einbindung öffentlicher Verkehrsmittel wie Straßenbahnen in den Prozess der Paketverteilung getestet (vgl Reichel 2021a; Fraunhofer Austria 2021).

Wenn in dieser Arbeit von KEP-Dienstleistern gesprochen wird, bezieht sich dies ausschließlich auf die Zustellung im Rahmen der Last Mile.

2.2. Aufkommen im österreichischen Straßengüterverkehr

Da die Wirtschafts- und damit auch die Transportleistung im Jahr 2020 wegen der Covid-19 Pandemie einen vorübergehenden Einbruch erlitten hat (vgl. Schiman 2021) und somit die Aussagekraft dieser Zahlen nicht gegeben wäre, wird in diesem Kapitel auf die Jahre davor Bezug genommen.

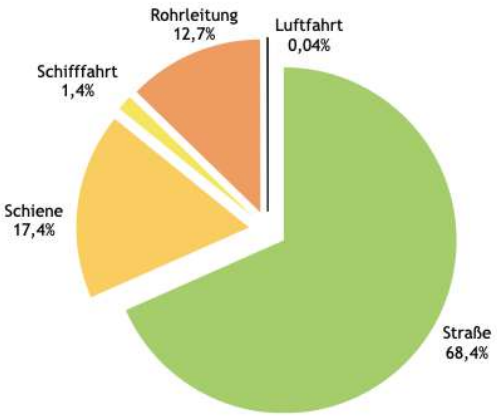


Abbildung 3: Anteil des Transportaufkommens in Tonnen 2019 (Quelle: WKO 2021a, S. 37)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Im Jahr 2019 betrug die gesamte Transportleistung österreichischer Unternehmen 59,9 Mrd. Tonnenkilometer, wobei rund 588,2 Mio. Tonnen transportiert wurden. Wie *Abbildung 3* zeigt, entfielen mehr als zwei Drittel des gesamten Transportaufkommens auf die Straße. Auf der Schiene wurden 17,4 Prozent befördert. Dahinter folgten mit 12,7 Prozent Transporte über Rohrleitungen und mit 1,4 Prozent solche unter Einsatz von Schiffen (vgl. WKO 2021a, S. 37).

Eine nähere Betrachtung des Straßengüterverkehrs zeigt, dass von den im Jahr 2019 von in Österreich registrierten Fahrzeugen auf der Straße transportierten 402,2 Mio. Tonnen rund 93,8 Prozent auf den Inlandsstraßengüterverkehr entfielen. Bei der Transportleistung waren es von gesamt 16,7 Mrd. Tonnenkilometern 88,3 Prozent. Dieser Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass die zurückgelegte Strecke bei Inlandsfahrten im Durchschnitt geringer als im grenzüberschreitenden Verkehr bzw. im Transitverkehr ist (vgl. WKO 2021a, S. 39). Tatsächlich betrug, wie *Abbildung 3* entnommen werden kann, die Streckenlänge im Jahr 2019 bei 83 Prozent der im Straßengüterverkehr durchgeführten Fahrten maximal 80 Kilometer, 9 Prozent wurden zwischen 81 und 150 Kilometer transportiert, bei 3 Prozent aller Fahrten lag die Transportstrecke zwischen 151 und 250 Kilometer. Auf längere Wege entfielen im Jahr 2019 nur 2 Prozent aller Transporte (vgl. WKO 2021a, S. 38).

Nach der Art der transportierten Güter dominierten im Jahr 2019 Baustoffe aller Art das gesamte Transportaufkommen. Ihr Anteil betrug rund 54 Prozent des Gesamtaufkommens von 402,2 Mio. Tonnen. Auf sonstige Waren, zu denen auch Maschinen und Fahrzeuge zählen, entfielen rund 20 Prozent (vgl. WKO 2021a, S. 40). Die Aufteilung der Transporte in Werkverkehr und gewerblichen Verkehr zeigt, dass 2019 beim Inlandsverkehr etwas mehr als die Hälfte des Transportaufkommens und knapp zwei Drittel der Transportleistung von gewerblichen Straßentransportunternehmen erbracht wurden. Im grenzüberschreitenden Verkehr und im Transitverkehr lag dieser Anteil noch höher. Allgemein lässt sich sagen, dass im Fuhrgewerbe im Durchschnitt längere Distanzen zurückgelegt werden als im Werkverkehr (vgl. WKO 2021a, S. 42).

Die Werte aus 2019 sind mit jenen des ersten Quartals 2021 vergleichbar, wobei das Transportaufkommen mit im Inland registrierten Fahrzeugen bei 87,9 Mio. Tonnen, die Transportleistung bei 6,7 Mrd. Tonnenkilometern lag. Im Vergleich zum selben Quartal des Jahres 2019 bedeutet dies eine Zunahme von 10,1 Prozent bei dem Aufkommen bzw. 7,4 Prozent bei der Leistung (vgl. Karner 2021).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Gestiegen ist in den vergangenen Jahren das auf KEP-Dienstleister entfallende Transportaufkommen. Wurden 2014 österreichweit erst 152 Mio. Pakete zugestellt, waren es 2019 bereits 248 Mio. und damit um rund 60 Prozent mehr. Die Zunahme der Pakete ist dabei ausschließlich auf den B2C Markt zurückzuführen, während der Onlinehandel im B2B-Segment stagniert (vgl. Faast, Dillinger, Schrampf et al., 2020, S.38-39). Für das Jahr 2022 wird mit dem erstmaligen Überschreiten der 300 Millionen-Grenze gerechnet (vgl. Statista 2021). Der Boom des Onlinehandels hat dazu geführt, dass im Jahr 2020 allein in Wien 2.288 Klein-Transportunternehmen mit der Zustellung von Paketen beschäftigt waren. In Niederösterreich verfügten zum selben Zeitpunkt rund 1.000 KEP-Dienstleister über eine aufrechte Gewerbeanmeldung (vgl. Faast, Dillinger, Schrampf et al., 2020, S.9). Die durchschnittliche Fahrleistung pro Tag und Fahrzeug liegt bei KEP-Dienstleistern bei 80km pro Tag, wobei innerstädtisch mit 50 bis 60km zu rechnen ist, außerhalb mit rund 100 bis 150km (vgl. Kienzler, Auf der Maur, Altenburg et al., 2019, S.19; Statistik Austria 2021b).

2.3. Unterteilung nach Fahrzeugarten und Einsatzzwecken – Anforderungen und Fahrleistung

Auf dem Fahrzeugmarkt für den Güterverkehr existieren unterschiedliche Modelle unterschiedlicher Hersteller, die an die Anforderungen der verschiedensten Einsatzzwecke angepasst sind. Während es für die Wahl des Fahrzeuges und die Fahrleistung von Bedeutung ist, was transportiert werden soll, ist es unerheblich, ob ein Einsatz im Werkverkehr oder im gewerblichen Verkehr geplant ist.

2.3.1. Straßengüterfernverkehr

Prinzipiell wird unter dem Straßengüterfernverkehr, der im Werkverkehr oder im gewerblichen Verkehr abgewickelt werden kann, jeder Lkw-Transport verstanden, der über Entfernungen von mehr als 150 Kilometer durchgeführt wird (vgl. Muschkiet & Ebel 2013, S.132). Dabei können die Fahrten im Rahmen des Binnenverkehrs (innerhalb der Grenzen eines Landes) oder grenzüberschreitend durchgeführt werden (vgl. Herry 2012, S. 114).

Wird der Transport vom Versand- zum Empfangsort dabei mit einem einzigen Transportmittel durchgeführt, wird von Direkttransporten gesprochen. Im Kombinierten Verkehr werden Transporteinheiten wie Container oder Wechselaufbauten hingegen unter Beiziehung von mindestens zwei Verkehrsmitteln, zwischen denen jeweils ein Umschlag erfolgt, transportiert. Kombiniert werden meist Straßen- und Schienentransport. Bei Überseetransporten handelt es sich meist um eine Verbindung zwischen Straßengüter- und Schiffverkehr bzw. Lkw, Eisenbahn und Schiff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Für Waren von hohem Wert, die rasch über große Distanzen hinweg transportiert werden müssen, kann auch die Miteinbeziehung des Flugzeuges in den Transportweg sinnvoll sein (vgl. Kamphausen 1992, S. 214).

Eine weitere Unterscheidung kann daran festgemacht werden, in welchen Intervallen einzelne Destinationen angefahren werden. Im Linienverkehr finden planmäßig Transporte zwischen zwei Orten statt, das heißt, der Lkw fährt - unabhängig von der Auslastung – regelmäßig und zu vorab festgelegten Zeiten bestimmte Orte an. Um Leerfahrten möglichst zu vermeiden hat sich der Linienverkehr in den vergangenen Jahren immer mehr zu einem Systemverkehr entwickelt. Dabei schließen sich mehrere Spediteure/Frächter aus unterschiedlichen Regionen zusammen und betreiben gemeinsam Güterverteilzentren. Im Nah- und Regionalverkehr werden die zu transportierenden Güter eingesammelt und zu den GVZ gebracht. Von dort aus findet im Anschluss der Linienverkehr statt. Hauptlauf und Umschlag der Güter werden zentral organisiert, die Einspeisung der Güter und die regionale Verteilung erfolgen dezentral durch die Partner. Der Vorteil dieses Systems liegt in der Reduktion von Leerfahrten und einer Senkung der Kosten (vgl. Leimann o.J.). Der rasche Transport vor allem von Komplettladungen erfolgt hingegen unabhängig von fixen Fahrplänen im sogenannten Charterverkehr. Der Vorteil für den Versender liegt in der höheren Flexibilität und in der Reduktion von erforderlichen Umschlägen.

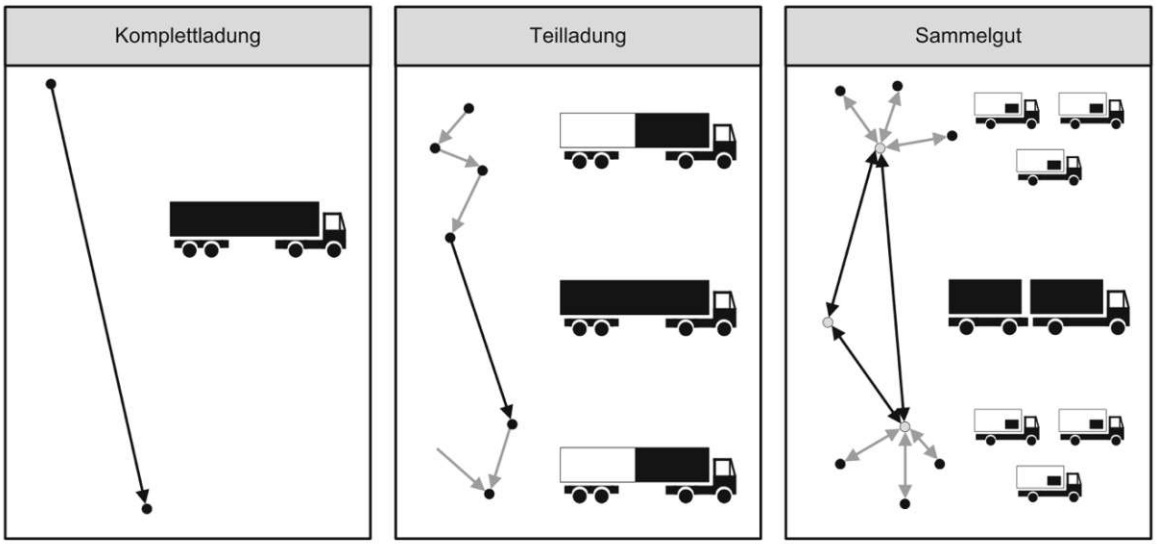


Abbildung 4: Transportformen im Straßengüterfernverkehr (Quelle: Dabidian & Langkau 2013, S. 146)

Die eben erwähnten Komplett- und Sammelladungen zählen zu den Transportformen im Straßengüterfernverkehr. Im Falle einer Komplettladung (FTL Full Truck Load) reicht die von einem Absender abgeholte Gütermenge aus, um die Ladefläche des Lkw voll auszulasten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Komplettladungen werden ohne Umschlag von Haus zu Haus transportiert (vgl. NTU & Transalex Network o.J.). Im Sammelverkehr wird hingegen Stückgüter aller Art, dabei handelt es sich um Güter, die verpackt oder unverpackt als Einheit transportiert werden können (vgl. Krieger 2018b), und in Ausnahmefällen auch Schüttgüter von Spediteuren oder KEP-Dienstleistern meist mit Lkw mit 3,5t hzG in einer Quellregion eingesammelt bzw. im Zielgebiet verteilt. Im Hauptlauf, der auch als Kombinierter Verkehr stattfinden kann, werden die eingesammelten und konsolidierten Güter jedoch meist mit einem Lkw mit Anhänger (Gliederzug) oder mit einem Sattelzug transportiert. Für einen solchen Transport ist aufgrund der Sammel-, Umschlags- und Verteilvorgänge mit einem höheren Zeitaufwand zu rechnen, dafür reduzieren sich für den Absender im Vergleich zu Komplettladungen die Kosten (vgl. Dabidian & Langkau 2013, S.146). Eine Mischform stellen Teilladungen (LTL Less Than Truck Load) dar. Hierbei handelt es sich meist um Einzelsendungen mit rund 1,5t (etwa 6-8 Europaletten), die den gesamten Frachtraum nicht ausfüllen würden. Genauso wie beim Sammelverkehr werden deshalb mehrere Sendungen gebündelt und gemeinsam transportiert, wobei allerdings genauso wie beim Komplettladungsverkehr zwischendurch kein Umschlag stattfindet, da der Lkw, der den Hauptlauf durchführt, auch für das Einsammeln und Verteilen zuständig ist (siehe *Abbildung 4*) (vgl. Dabidian & Langkau 2013, S.146).

Um eine Sonderform im Fernverkehr handelt es sich bei Transporten im Rundlauf. Hier stehen mehrere Transporte in einem direkten Zusammenhang, und zwar so, dass Anfangs- und Endpunkt zusammenfallen (vgl. Pietsch 2021).

Eine weitere Besonderheit im Fernverkehr stellt die Kabotage dar, die für EU- und EWR-Staaten gilt. Führen Straßenfrächter einen Transport in ein anderes Land durch, dürfen sie innerhalb von sieben Tagen maximal drei Aufträge entweder in diesem Land oder in einem Land, durch das durchgefahren wird (Transit-Kabotage), annehmen und ausführen. Auch damit sollen Leerfahrten reduziert werden (vgl. WKO 2020c).

Allgemein lässt sich sagen, dass im Fernverkehr vorwiegend schwere Lkw mit einem hzG von über 18t eingesetzt werden. Auch wenn im Fernverkehr die Personalkosten nur rund ein Viertel der Gesamtkosten ausmachen, weil die kilometerabhängigen Fahrzeugeinsatzkosten höher als im Nah- und Regionalverkehr sind, nutzen die meisten Speditionen für den Fernverkehr Sattel- oder Gliederzüge, die (vgl. Wittenbrink 2011, S.78) mit einem hzG an die 40 bis 44t (für den Transport von Containern und Sattelaufbauten). Lkw, die auch im Sammel- bzw.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Verteilverkehr in City-Innenstadtlagen zum Einsatz kommen, sind allerdings meist kleiner dimensioniert (vgl. Koether 2018, S. 314).

Die höchstzulässige (hz.) Lenkzeit beträgt auch im Fernverkehr 9 Stunden, wobei zweimal pro Woche 10 Stunden erlaubt sind. Nach 4,5 Stunden müssen mindestens 45 Minuten Pause eingelegt werden. Eine Aufteilung dieser Pause in zwei Teile ist möglich, aber im Fernverkehr eher unüblich (vgl. WKO 2020a).

2.3.2. Innerstädtischer und regionaler Liefer- und Handwerkerverkehr

Der regionale Liefer- und Handwerkerverkehr beinhaltet

- den Stückgutverkehr, dabei handelt es sich vor allem um die Zustellung von einzelnen Paketen und Waren von unterschiedlichen Absendern an verschiedene Empfänger durch KEP-Dienstleister im Sammelgutverkehr oder als Expresslieferung,
- den Teilladungsverkehr bzw. Ladungsverkehr, bei dem eine Ladung die Kapazität des Fahrzeuges nur teilweise oder zur Gänze auslastet, und bei dem die Ladung ohne Umschlag direkt vom Versender an einen oder mehrere Empfänger transportiert wird, darunter fällt die Beschaffungs-, Distributions- und Entsorgungslogistik, wie zum Beispiel die Belieferung von Filialen (vgl. Reder Transporte KG, o.J.),
- den kombinierten Verkehr im Sinne eines Haus-zu-Haus-Transportes unter Einsatz mehrerer Verkehrsträger, bei dem der Vor- und Nachlauf über die Straße abgewickelt wird
- und den Einsatz von Handwerkern im Reparaturdienst oder generell von Gewerbebetrieben bei der Zustellung von Erzeugnissen oder der Erbringung ihrer Leistung (vgl. Göckeler, Hacker, Mottschall et al., 2020, S.18-20).

Gemeinsam ist dieser Gruppe, dass Transporte über verhältnismäßig kurze Strecken im Nah- oder Regionalverkehr durchgeführt werden, wobei regelmäßig mehrere kurze Stopps anfallen, die bei KEP-Dienstleistern meist wenige Minuten, bei Handwerkern oder anderen Gewerbebetrieben von wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden dauern. Bei KEP-Dienstleistern und bei Handwerkern im Reparaturdient fallen pro Tour bzw. Tag rund 80km an, wobei die Touren im innerstädtischen Verkehr meist kürzer, im Regionalverkehr hingegen länger sind (vgl. Kienzler, Auf der Maur, Altenburg et al., 2019, S.19). Im Verteilverkehr liegt die Kilometerleistung pro Tag mit etwa 200km hingegen höher, da größere Mengen auf einmal zugestellt werden und deshalb meist zwei Touren gefahren werden und die Lieferung von Zentrallagern aus

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

durchgeführt wird. Zwischen den Touren steht der Lkw längere Zeit am Hof des Zentrallagers, um beladen zu werden. Gemäß einer Studie des Fraunhofer-Instituts SCS beträgt die Stehzeit für das Be- und Entladen pro Tag rund zwei Stunden (vgl. GENIOS 2008; Daimler Truck AG o.J.b; Harttmann 2021). Der kombinierte Verkehr, der fast ausschließlich B2B erfolgt, ist jedenfalls durch längere Standzeiten gekennzeichnet, die sich schon allein aus Staus vor den Bahnterminals oder Verspätungen der Bahn ergeben. Die Touren selbst sind eher kurz, da sie nur die First- bzw. Last-Mile umfassen.

Hinsichtlich der verwendeten Fahrzeuge bestehen wegen der unterschiedlichen Anforderungen in Bezug auf das Gewicht der Zuladung und die Anzahl der Empfangspunkte größere Unterschiede. KEP-Dienstleister nutzen vor allem Kleinlaster und Leicht-Lkw, da sie vor allem nichtsperrige Sendungen mit einem geringen Gewicht transportieren und viele Empfänger in kurzer Zeit anfahren müssen, wobei der Verkehrsträger Straße vor allem in Städten überlastet ist (vgl. Schrum & Aster 2020; Kersten 2010). Reparaturdienste sind meist mit Kleinlastern, oft auch in Form von Fiskal-Lkw unterwegs, da sie meist nur Werkzeug und Ersatzteile mitführen und darauf angewiesen sind, rasch vorwärtszukommen und einen Parkplatz zu finden. Handwerksbetriebe, die ihre Erzeugnisse oder zugekaufte Produkte zustellen und montieren, nutzen ebenfalls meist Kleinlaster oder Leicht-Lkw. Der Verteilverkehr wird hingegen zu einem großen Teil mit Zwei- und Dreiachsern durchgeführt, da zwar wenige Empfangspunkte angefahren werden, aber die jeweils entladenen Waren eine vergleichsweise höhere Masse aufweisen (vgl. Schweikl 2021). Im kombinierten Verkehr werden meist Wechselbrücken-Lkw (meist 3-Achser mit rund 18t bis 27t hzG) oder Lkw mit Anhänger verwendet. Für den Containertransport kommen meist Sattelzugmaschinen mit Containerchassis und mit oder ohne Ladekran zum Einsatz (vgl. Containerbasis o.J.).

2.3.3. Getränkefahrzeuge und Kühlfahrzeuge

Getränkeabfüller inklusive Brauereien und deren Frächter sowie Getränkegroßhändler nutzen Spezialfahrzeuge, um Getränke in Kisten und/oder Fässern an Abnehmer wie Zentrallager von Lebensmittelmärkten, den Einzelhandel, die Gastronomie, Kantinen oder Veranstalter zu liefern (vgl. Bauer Getränke o.J.). Langstreckentransporte von Getränken werden hingegen vermehrt auf die Schiene verlagert (vgl. DB Cargo o.J.).

Meist werden zwei bis drei Touren am Tag eingeplant, wobei davon ausgegangen werden kann, dass täglich insgesamt rund 100 bis 150 Kilometer zurückgelegt werden. Die Pausen zwischen den Touren sind vergleichsweise kurz und liegen bei einer halben Stunde bis zu einer Stunde.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Diese Zeit wird genutzt, um das Leergut aus- und volle Kisten bzw. Fässer einzuladen (vgl. Getränke Schmideder o.J.). Im Falle von Langstreckentransporten werden am Tag etwa 500 bis 700 km zurückgelegt. Die Länge und der Ort von Pausen lassen sich dabei aufgrund der Straßen- und Verkehrsverhältnisse nicht genau bestimmen. So müssen Fahrer gemäß Art. 7 der Lenk- und Ruhezeiten-VO der EU nach spätestens 4,5 h eine 45-Minuten-Pause einlegen, die allerdings auch in zwei Pausen von 15 Minuten bzw. 30 Minuten aufgeteilt werden kann.

Bei der Belieferung kommen Tiefbett- und Plateausattelanhänger in der Ausführung als Curtainsider (seitliche Plane) mit vier und mehr Achsen oder Lkw mit Getränkeaufbau mit einem hzG zwischen 12t und 26 t und mit zwei bis drei Achsen zum Einsatz. Während die Sattelanhänger vor allem für die Langstrecke genutzt werden, kommen für den Nah- und Regionalverkehr Lkw mit Getränkeaufbau zum Einsatz (vgl. Meusburger Fahrzeugaufbau o.J.)

Händler, die überwiegend Privatkunden beliefern, nutzen zudem auch Kombis oder Lkw bis zu 3,5t hzG, da sie Kleinmengen zustellen. Diese Fahrzeuge fallen allerdings nicht unter die Kategorie Getränkefahrzeuge und wurden bereits bei den KEP-Dienstleistern behandelt.

Ebenfalls zu den Sonderfahrzeugen zählen Lkw mit Kühlkoffer bzw. Kühlaufbauten, die für den temperaturgeführten Transport von Fleisch, Fisch, Obst, Bachwaren, Gemüse, Molkerei- und Tiefkühlprodukten, aber auch für Medikamente und andere Pharmaprodukte geeignet sind (vgl. Nilcargo, o.J.). Viele Kühlwaren werden dabei im Fernverkehr über Hunderte von Kilometern transportiert - man denke an Zitrusfrüchte aus Spanien oder Italien, Fisch aus der Nordsee oder Medikamente aus Großbritannien (vgl. Meyer Quick Service Logistics o.J.; Pharmig 2019, S.72). Im Verteilverkehr ist hingegen mit 100 bis 200 Kilometern pro Fahrzeug zu rechnen. Während bei Tiefkühlprodukten und Obst/Gemüse täglich meist zwei Touren gefahren werden und dazwischen zum Logistiklager zurückgekehrt werden muss, werden Medikamente mehrmals am Tag zugestellt. Von Seiten des Großhandels wird damit geworben, jede Apotheke innerhalb von 90 Minuten mit den gewünschten Medikamenten zu versorgen. Im Schnitt wird für jeweils 10 Medikamentenschachteln ein Transportkilometer zurückgelegt (vgl. Herba Chemosan Apotheker-AG o.J.).

Eine Unterbrechung der Kühlkette, die mit Hilfe von Temperatursensoren nachgewiesen werden kann (vgl. Nemec o.J.), kann dazu führen, dass Lebensmittel oder Medikamente verderben und gesundheitsschädlich werden können. Deshalb müssen die betroffenen Produkte meist entsorgt werden. Fehlerhaft durchgeführte (Tief)kühltransporte lösen daher regelmäßig

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Schadenersatzansprüche Versenders aus Verordnung des Bundesministers für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz über tiefgefrorene Lebensmittel (vgl. Tiefgefrorene LM-VO).

Gerade bei diesen Sondertransporten ist es daher erforderlich, ständig ausreichend Energie vorrätig zu haben, um neben dem Antrieb des Fahrzeuges auch die Kühlsysteme versorgen zu können (vgl. Burgert 2021). Derzeit kommen meist Lkw mit Kühl- Iso- und Frischdienstkoffer mit zwei bis drei Achsen und 12 t bis 26 t (bei Pharma Kiesling Fahrzeuge) hzG zum Einsatz, deren Kühlleistung mittels Dieselaggregat generiert wird.

Medikamente und andere Arzneimittel, die kühlpflichtig sind, werden allerdings nur im Fernverkehr mit Hilfe von Kühlfahrzeugen transportiert. Für die Belieferung von Spitälern und Apotheken werden sie in spezielle Kühltransportboxen verpackt und können dort bis zu vier Stunden lang verbleiben. Der Einsatz von Fahrzeugen mit Kühlaggregat ist somit nicht erforderlich (vgl. CHEManager 2013).

2.3.4. Tankwagen und Silofahrzeuge

Tankwägen werden für den Transport von Kraftstoffen und anderen Flüssigkeiten wie Milch, Flüssigeier (vgl. Schoeller Allibert o.J.), Speiseöle, Wein, Glukose, Fruchtsäfte, Kakao und Flüssigschokolade (vgl. Foodsped o.J.) aber auch für Chemikalien, Flüssigdünger oder Wasser verwendet (vgl. MAN Truck & Bus o.J.c), Silowägen für pulverförmige, fein- oder grobkörnige sowie temperaturempfindliche bzw. staubexplosionsgefährdete Stoffe, unter anderem für Mehl, Getreide, Zucker und andere rieselfähige Stoffe (vgl. MAN Truck & Bus o.J.c). Für das Entladen von Tank- und Silowägen werden Kompressoren, Gebläse sowie Vakuum- bzw. Ladepumpen benötigt (vgl. Ingersoll Rand o.J.). Zusätzlich ist für den Transport von verderblichen Waren oder verflüssigten Gasen eine dementsprechende Kühlung erforderlich (vgl. Linde Gas o.J.), die einen Energiebedarf von 4 bis 12 kWh aufweist (vgl. Greil o.J.).

In Österreich wird Benzin ausschließlich in der Raffinerie in Schwechat produziert. Von dort aus werden Benzin, Diesel und Heizöl entweder zu Tanklagern oder gleich zu den Tankstellen transportiert. Für diesen Transport werden neben Bahn und Schiff auch Tankwagen eingesetzt, die die Treibstoffe über die Straße transportieren. Der Transport ins Ausland erfolgt hingegen beinahe zur Gänze über Pipelines, Schiffe oder die Schiene. Andere Chemikalien werden hingegen vorwiegend auf der Straße transportiert, und zwar sowohl im Regional- als auch im Fernverkehr. Milch wiederum wird vorwiegend regional bei Bauern eingesammelt und zur Molkerei gebracht (vgl. OMV 2016; MAN 2022).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Das Befüllen und Entladen der Fahrzeuge nimmt längere Zeit in Anspruch. Darüber hinaus müssen die Fahrer von Tankfahrzeugen nach 4,5 Stunden Lenkzeit eine Pause von 45 Minuten und nach 6 Stunden laut Kollektivvertrag eine Ruhezeit von mindestens 1 Stunde einlegen. Aus diesen Gründen kommt es täglich zu mehreren routinemäßigen Stehzeiten (vgl. WKO 2021b).

Für den Transport werden vor allem Dreiachser mit 26,25 t hzG eingesetzt, wobei meist kein Unterschied gemacht wird, ob große Mengen zu Sammellagern gebracht werden oder einzelne Übernahmepunkt angefahren werden. Die Fahrzeuge legen daher pro Tag je nach Einsatzgebiet zwischen 100 und 200 km im Regionalverkehr oder 500 km und mehr im Fernverkehr zurück. Auch die Länge der Stopps hängt davon ab, in welchen Bereichen die Fahrzeuge zum Einsatz kommen (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2021, S.30).

2.3.5. Baufahrzeuge, Betonmischer und Spezialtransporter

Baufahrzeuge, Betonmischer und Schwerlast- bzw. Übermaßtransporter kommen vor allem im Hoch- und Tiefbau zum Einsatz. Baufahrzeuge werden verwendet, um beispielsweise Erde und anderes Aushubmaterial abzutransportieren, Holz, Ziegel, Fenster und anderes Baumaterial aber auch Gerüstteile oder Schalungen, Maschinen oder Kräne zur Baustelle zu bringen. Betonmischer liefern Frischbeton zur Baustelle und mit Hilfe von Spezialtransportern lassen sich auch große Bauteile bis hin zu Brückenkonstruktionen oder Turbinen für Kraftwerke transportieren (vgl. Uhrig-Gruppe o.J.; Kfz- Serviceportal o.J.).

Baufahrzeuge werden eingesetzt, um Transporte von und zu Hoch- oder Tiefbaubaustellen abzuwickeln. Pritschen stehen dabei meist mehrere Stunden auf der Baustelle, bis sie wieder benötigt werden, um Material zu holen oder die Arbeiter zu transportieren. Da es sich um typische Baustellenfahrzeuge handelt, werden sie meist im Nah- und Regionalverkehr eingesetzt. Kipper benötigen zum Be- und Entladen im Normalfall rund 10 Minuten und fahren die Baustelle an einem Tag auch mehrmals an, wenn es beispielsweise darum geht, Aushubmaterial abzutransportieren (vgl. Kunze, Göhring & Jacob, 2002, S.257). Baustellentransporte von Schüttgut werden zwar meist im Nah- oder Regionalverkehr durchgeführt, allerdings werden Schüttguttransporte auch im Fernverkehr durchgeführt (vgl. Johann Schirmbeck o.J.; EKB Containerlogistik o.J.). Schwerlast- bzw. Übermaßtransporte müssen teilweise auch über lange Strecken geführt werden. So werden beispielsweise die Teile von Windrädern meist in Drittstaaten produziert und über deutsche Häfen in die EU geliefert. Von dort werden sie mit Spezialtransportern nach Österreich gebracht (vgl. Atzlinger 2021; Ingenieur.de 2021; Felbermayr o.J). Während Baufahrzeuge regelmäßig längere Stehzeiten auf den Baustellen einplanen müssen, sind Pausen bei

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Schwertransportern kaum möglich, da aufgrund der Überlänge bzw. -breite meist keine Autobahnraststätten angefahren werden können (vgl. Eurotransport 2013).

Auf Baustellen kommen meist zwei-/dreiachsige Kipper von 7,5t bis zu 26t oder in Ausnahmefällen vierachsige mit 32 t hzG zum Einsatz (vgl. Weinzettl o.J.). Mit diesen Fahrzeugen wird von Asphalt über Schotter und Erde bis hin zu Abbruchmaterial vor allem Schüttgut transportiert. Der Transport von Ziegel, Fliesen, Beton-/Steinplatten und Zementsäcke, die meist auf Palletten geliefert werden, zum Einsatzort, erfolgt überwiegend mit zwei- oder dreiachsigen Kranwägen mit einem hzG von bis zu 26t (vgl. Truckscout24 2021). Zu den Baustellenfahrzeugen zählen außerdem drei- und vierachsige Betonmischer mit bis zu 32t hzG (vgl. Truckscout24 2021) und Pritschenwägen mit Sitzplätzen für die Arbeiter, die zudem für den Transport von Werkzeug, Kleinmaschinen und Stückgut verwendet werden können und als Zweiachser mit einem hzG von bis zu 7,5t üblich sind (vgl. HKL Baumaschinen o.J.).

Für Schwer- und Übermaßtransporte kommen Spezialfahrzeuge wie Kesselbrücken bis zu 600t Nutzlast, Semiauflieger für 40m Ladungslänge und bis zu 40t Nutzlast, Tiefbettauflieger mit einer Höhe der Ladekante von 0,37 m und einer Sattellast von 35t und SPMTs (Self-Propelled-Modular-Transporter) zum Einsatz (vgl. Felbermayr o.J.; Riebe GmbH o.J.; Goldhofer o.J.; Kahl Schwerlast GmbH o.J.). Deren Einsatz benötigt jedoch spezielle Genehmigungen, da das hzG und die Außenmaße für Straßen überstiegen wird (vgl. Mammoet o.J.).

2.3.6. Agrar- und Forst-Lkw

In der Landwirtschaft eingesetzte Lkw dienen beispielsweise dazu, Futtermittel wie Gras- und Maissilage zu den Tieren zu bringen, Gülle zu den Lagertanks zu führen oder geerntete Kartoffel, Mais und Getreide abzutransportieren. Dabei stehen die Lkw in direktem Kontakt zum Traktor, damit Unterbrechungen vermieden werden. Gerade während der Ernte stehen die landwirtschaftlichen Fahrzeuge unter Dauerbelastung, längere Pausen sind vor allem dann nicht möglich, wenn es die Witterung nicht zulässt (vgl. Fliegl Agrartechnik 2020; Österreicher 2019).

Da Agrar-Lkw auf die Felder oder Wiesen fahren und dabei oft auf unbefestigte Wege treffen, müssen sie neben einem Allradantrieb spezielle, breite Reifen haben, um möglichst wenig Druck auf den Boden auszuüben und Flurschäden zu verhindern. Die zum Einsatz kommenden Sattelzugmaschinen können Kipper, Güllefässer und Abschieber transportieren oder mittels Anhängerkupplung Anhänger ziehen (vgl. Schuhbauer 2019).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Für land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge gelten Ausnahmen bezüglich des hzG. So sind für den Transport von Holz oder Milch bis zum nächsten Verarbeitungsbetrieb oder Verladebahnhof 44 t hzG erlaubt (vgl. WKO o.J.). Zurückgelegt werden am und um den Bauernhof meist kurze Wege. Transporte zum Lagerhaus oder einer Verarbeitungsgenossenschaft können aber auch im Regionalverkehr erfolgen.

In der Forstwirtschaft werden Lkw eingesetzt, um Langholz und Hackschnitzel aus dem Wald zum Sägewerk, zu anderen holzverarbeitenden Unternehmen oder zum Biomassekraftwerk zu transportieren. Dazu müssen die Fahrzeuge auch auf unbefestigten Straßen und Forstwegen fahren und starke Steigungen bewältigen können. Neben dem Fahrwerk unterliegt auch das Bremssystem einer starken Belastung, wenn es darum geht, große Lasten über die Berge zu transportieren. Holz wird sowohl im Nah- und Regionalverkehr als auch im Fernverkehr transportiert (vgl. MAN o.J; Breitfuss Transport o.J.).

Die zum Einsatz kommenden Holztransporter verfügen über einen Kranaufbau, um die Hölzer auf die Ladefläche zu heben. Rungen schützen die Hölzer vor dem Verrutschen. Kurzholztransporte werden üblicherweise mit Dreiachsern durchgeführt, die ein hzG von 26t aufweisen. Für Langholztransporte kommen Sattelzugmaschinen zum Einsatz (vgl. Verkehrsrundschau 2009; MAN Truck & Bus o.J.b).

Als Besonderheit kann angesehen werden, dass Lkw, die auf Feldern oder Forstwegen unterwegs sind, dort in der Regel keinen unmittelbaren Zugang zu Ladesäulen haben.

2.3.7. Kommunalfahrzeuge

Bei Kommunalfahrzeugen handelt es sich um Lkw, die von Gemeinden direkt oder indirekt zur Besorgung von Aufgaben im Sinne eines ordentlichen Betriebs benötigt werden. Die Einsatzgebiete sind vielfältig. Neben der Schneeräumung und der Straßenreinigung werden die Fahrzeuge genutzt, um Grünanlagen zu mähen und zu bewässern, Müll abzutransportieren, den Kanal zu reinigen oder beispielsweise umgefallene Bäume zu beseitigen. Zu den Kommunalfahrzeugen können aber auch Feuerwehrautos bzw. Lösch- und Bergefahrzeuge zählen (vgl. MAN Truck & Bus 2021a; EMCEL GmbH 2020).

Kommunalfahrzeuge legen mit Ausnahme von Fahrzeugen der Müllabfuhr pro Tag meist nur wenige Kilometer zurück und haben längere Stehzeiten. Wichtig ist ihre universelle Einsatzfähigkeit, haben Gemeinden doch meist weder genügend Geld noch Platz, um Spezialfahrzeuge für unterschiedliche Einsatzzwecke zu beschaffen. Beliebt sind daher Modell wie der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

geländegängige Unimog von Mercedes-Benz, der als Schneepflug, zur Pflege von Böschungen und Grünstreifen entlang der Straße, zum Gießen mit Hilfe eines Gießarmes und eines Tankanhängers, zum Abtransport von Sperrmüll aber auch als Tanklöschfahrzeug verwendet werden kann (vgl. Pappas o.J.). Müllentsorgungsunternehmen haben meist Zweiachser mit 18t hzG oder Dreiachser mit 26t hzG in ihrem Fuhrpark. Abhängig von dem Gebiet, in dem die Fahrzeuge eingesetzt werden, sind sie pro Tag 100 km (in der Stadt) bis 150 km (am Land) unterwegs, um die Mülltonnen der Haushalte zu entleeren (vgl. Truckscout24 2021; Höfler 2008).

Rüst- und Löschfahrzeuge, die bei der Feuerwehr zum Einsatz kommen, haben ein hzG von bis zu 3,5t oder über 3,5 t und sind entweder als Zwei- oder Dreiachser ausgestattet. Die von den Feuerwehrfahrzeugen zurückgelegten Strecken sind üblicherweise kurz, dafür kommt es insbesondere im Bereich der Freiwilligen Feuerwehr regelmäßig zu Standzeiten von mehreren Tagen. Lange Anfahrtswege sind nur im Katastrophenhilfsdienst anzutreffen, in dem Feuerwehren auch bundesländerübergreifend tätig werden (vgl. MAN Truck & Bus o.J.a).

2.4. Energie- und Umweltaspekte

2.4.1. Betriebsphasen Well-to-Tank, Tank-to-Wheel und Well-to-Wheel

Die Betriebsphasen sind sowohl aus ökologischen (Ausstoß von Emissionen und Verbrauch von Energie) als auch aus ökonomischen (Energiekosten) Gründen ein wesentlicher Faktor für den Vergleich von Antriebstechnologien. Betrachtet wird die Phase von der Energieerzeugung bis zum Verbrauch der Energie für den Fahrzeugantrieb (Well-to-Wheel - WTW), die in die Abschnitte Energieerzeugung bis Tankvorgang (Well-to-Tank - WTT) sowie Tank bis Fahrzeugantrieb (Tank-to-Wheel – TTW) unterteilt werden (vgl. Wolfram & Lutsey 2016).

Mit Hilfe der Well-to-Wheel-Analyse wird einerseits der gesamte Energiebedarf, andererseits der Ausstoß an direkten und indirekten Emissionen, die im Zusammenhang mit einem bestimmten Treibstoff stehen, gemessen. Die WTW-Betriebsphase untergliedert sich dabei in jenen Abschnitt, der die Energiegewinnung, den Energietransport bis hin zum Betanken des Fahrzeuges umfasst und in den anschließenden Bereich, das heißt, den Betrieb des Fahrzeuges. Auf die Akku- und die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bezogen umfasst WTT die Emissionen und den Energieverbrauch, die im Zusammenhang mit der Produktion von Wasserstoff bzw. Strom und deren Abgabe an der Tankstelle bzw. Ladesäule stehen. TTW bezieht sich auf die Emissionen und den Energieverbrauch der Fahrzeuge, die einerseits vom Wirkungsgrad der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Antriebstechnologie, andererseits vom Vorhandensein grünen Stroms abhängen (vgl. Wolfram & Lutsey 2016).



Abbildung 5: Wasserstoff und E-Antrieb - Die Wirkungsgrade im Vergleich bei Nutzung von Öko-Strom (Quelle: Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Volkswagen 2019)

Für die Energieeffizienz der beiden Technologien ist es unzureichend, ausschließlich den Energieverbrauch während des direkten Betriebs der Fahrzeuge zu betrachten. Energieverluste bzw. zusätzlicher Energiebedarf treten auch während der Elektrolyse, dem Abkühl- und Komprimierungsvorgangs sowie im Zuge des Transports und der Speicherung des Wasserstoffs bei Tankstellen sowie dem Tankvorgang bzw. bei der Stromübertragung und dem Ladevorgang an Stromsäulen auf (siehe *Abbildung 5)*. Deshalb spielt der Wirkungsgrad (erzeugte nutzbare Energiemenge/insgesamt eigesetzte Energiemenge) bei Diskussionen hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit einer der beiden Technologien eine wichtige Rolle (vgl. Volkswagen 2019).

Für den Wirkungsgrad von Energieträgern ist sowohl die gravimetrische (Energiespeicherfähigkeit bezogen auf die Masse) als auch die volumetrische Dichte (Energiespeicherfähigkeit bezogen auf den Rauminhalt) wesentlich (vgl. Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien o.J.).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

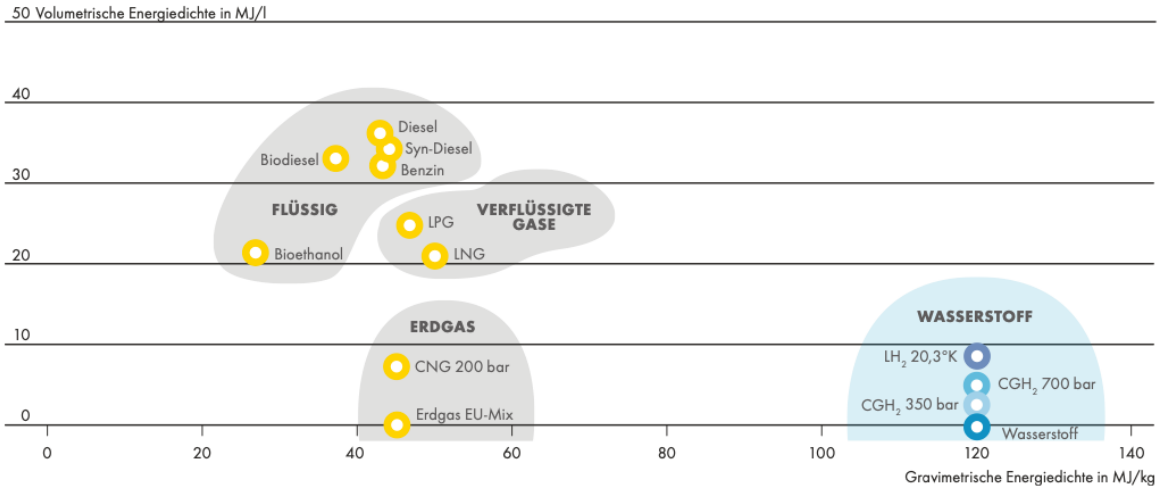


Abbildung 6: Energiedichten von Kraftstoffen (Quelle: Adolf, Balzer, Louis, et al., 2017, S.21)

Die gravimetrische Energiedichte von Diesel, dem herkömmlichen Treibstoff für Lkw, liegt bei 42,8 MJ/kg. (vgl. Linde Gas o.J.). Wie *Abbildung 6* entnommen werden kann, ist die gravimetrische Dichte von Wasserstoff mit rund 120 MJ/kg Diesel und allen anderen flüssigen, verflüssigten und gasförmigen Kraftstoffen überlegen, wohingegen die volumetrische Dichte mit unter 1 MJ/l bei Umgebungsbedingungen vergleichsweise niedrig ist. Um einen Einsatz als Kraftstoff effizient zu gestalten, muss Wasserstoff daher mit technologischen Mitteln verdichtet werden (vgl. Adolf, Balzer, Louis et al., 2017, S. 21), während Strom in unveränderter Form zum Antrieb eines Motors verwendet werden kann.

Tabelle 1: Energiedichten der beiden Akku-Technologie und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Vergleich (Eigene Darstellung in Anlehnung an Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2021, S.25 & Gebrüder Weiss 2022)

Energiedichte	**Akku-Technologie**	**Wasserstoff-Brennstoff-zellen-Technologie**
Verbrauch Lkw über 26t pro 100km	457,2 MJ (127kWh) Strom	7-7,5kg Wasserstoff

Im Bereich der Akku-Technologie konnten bei der volumetrischen und gravimetrischen Energiedichte dank eines massiven Mitteleinsatzes in den Bereichen Forschung und Entwicklung in den vergangenen zehn Jahren große Fortschritte erzielt werden. So hat sich die mittlere Energiedichte im Bereich der Lithium-Ionen-Technologie beinahe verdoppelt. Auf 100km verbraucht ein schwerer Elektro-Lkw mit über 26t- hzG rund 457,2 MJ (127 kWh) Strom, ein vergleichbarer Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie rund 7 bis 7,5kg

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Wasserstoff (siehe *Tabelle 1*) (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2021, S.25 & Gebrüder Weiss 2022).

Für die kommenden zehn Jahre sind vor allem bei der Akku-Technologie weitere Entwicklungssprünge zu erwarten, wobei die Entwicklung von Feststoffbatterien vielversprechend ist (vgl. Deutscher Bundestag, S.4 ff.). Das amerikanische Unternehmen Solid Power, an dem Ford und BMW beteiligt sind, hat bereits eine Pilotfertigungsanlage für die von ihnen entwickelte Schwefel-Feststoffbatterie mit einer gravimetrischen Energiedichte von 1,404 MJ (0,39 kWh)/kg und einer volumetrischen Energiedichte von 3,348 MJ (0,93 kWh)/l in Betrieb genommen (vgl. Neißendorfer 2022). Noch leistungsfähigere Akkus entwickelt derzeit das deutsche Startup Theion, dessen Schwefel-Kristallbatterie bis 2024 marktreif sein soll und über eine gravimetrische Energiedichte von mehr als 3,6 MJ (1 kWh)/kg und einer volumetrischen Energiedichte von 5,4 MJ (1,5 kWh)/l verfügt (vgl. Jendrischik 2022; Theion o.J.).

Bis vor kurzem wurde die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie nur noch auf niedrigem Niveau betrieben, weshalb in diesem Bereich keine bahnbrechenden Verbesserungen in Bezug auf Wirkungsgrad/Energiedichte erwartet wurden (vgl. IKB Deutsche Industriebank 2020, S.2). Der Grund dafür lag in dem vergleichsweise hohen Energieaufwand, der bei der Wasserstoffproduktion anfällt (siehe *Kapitel 4.2.3.1 Energieverlust während der WTT-Phase)*. Da in der Zwischenzeit davon ausgegangen wird, dass im Zuge der Energiewende hin zu erneuerbarer Energie und den sinkenden Kosten für Wasserstoff – so führt der Ausbau der unregelmäßig verfügbaren Photovoltaik (PV)- und Windkraftanlagen dazu, dass Wasserstoff als Speichermedium eine hohe Bedeutung zukommt (vgl. VCÖ 2020), gleichzeitig wird damit gerechnet, dass die Produktionskosten bis 2030 auf 1,5 USD/kg fallen werden (vgl. Welzel 2022) - die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für die Fahrzeugindustrie wieder interessanter wird, kann auch davon ausgegangen werden, dass diesbezügliche Forschungsaktivitäten wieder aufgenommen werden. Einer der Vorreiter ist das international tätige Technologieunternehmen Bosch, das allein in den kommenden zwei Jahren eine Mrd. USD in die Weiterentwicklung der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie investieren wird (vgl. Welzel 2022).

2.4.2. Ökologischer Fußabdruck

Der ökologische Fußabdruck gibt die Inanspruchnahme der Biokapazität der Erde durch Produktion, Dienstleistung und Konsum, also durch menschliche Aktivitäten, die zu Eingriffen in die Umwelt führen, an und stellt den diesbezüglichen Bedarf der Menschheit der Fähigkeit der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Erde gegenüber, diese Güter und Dienstleistungen bereitzustellen (vgl. Wackernagel, Zokai, Iha et al., 2015, S.4). Der ökologische Fußabdruck setzt sich hauptsächlich aus den Komponenten Rohstoffverbrauch, Energieverbrauch sowie CO2-Belastung zusammen, die sowohl die Nutzungs- als auch die Entsorgungsphase umfassen (vgl. Giljum, Hammer, Stocker et al., 2007, S. 3 & 40). Diese Aspekte werden in Kapitel 4.2 näher behandelt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3. Neue Antriebstechnologien im Straßengüterverkehr

Bereits 1991 wurden von der EU unter der Bezeichnung EWG/Euro I erste Abgasnormen für Pkw mit Verbrennungsmotoren beschlossen, Lkw mit einer Typengenehmigung ab 1.1.1992 folgten. Die Grenzwerte für Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NOx), Kohlenwasserstoff (HC) und Partikelmasse (PM) festgelegt, die Überprüfung erfolgte im Emission Testzyklus (ESC R-49). Seither wurden die Schadstoffgrenzwerte laufend abgesenkt und werden in der derzeit gültigen Euro VI-Norm im realitätsnäheren Worldwide Harmonized Testzyklus (WHTC) erhoben (Wiesinger 2021). 2019 wurden zusätzlich Flottenziele von minus 15 Prozent (im Vergleich zu 2019) für den CO_2-Ausstoß beschlossen, die ab 2025 von den Lkw-Fahrzeugproduzenten umgesetzt sein müssen, um Strafzahlungen zu entgehen (vgl. Statistisches Bundesamt o.J.).

Dennoch ist es der Europäischen Kommission nicht gelungen, den Schadstoffausstoß insgesamt zu reduzieren, da gleichzeitig die Zahl der zugelassenen Lkw gestiegen ist. Von den 2019 in der EU im Straßenverkehr ausgestoßenen 784 Mio. Tonnen an CO_2-Emissionen entfielen 38 Prozent auf Lkw, Busse und leichte Nutzfahrzeuge (siehe *Abbildung 7*). Gleichzeitig stieg der Anteil der Verbrennungsmotoren an dem gesamten CO_2-Ausstoß in der EU von 16 Prozent im Jahr 1990 auf 26 Prozent 2018. Bei den Nutzfahrzeugen bis 3,5t hzG nahm der CO_2-Ausstoß in diesem Zeitraum sogar um 58 Prozent zu (vgl. Statistisches Bundesamt o.J.). In diesem Bereich greifen auch die Bestimmungen der Euro-Normen nicht, da diese keinen Grenzwert für CO_2-Emissionen vorsehen (vgl. Umweltbundesamt 2020b). Zudem können die NOx- und die Feinstaubpartikel-Emissionen von Lkw mit den heute bekannten Technologien oder mit Tempolimits nicht mehr weiter reduziert werden (vgl. Verband der Automobilindustrie 2007, S, 3-4).



Abbildung 7: Kohlendioxidemissionen im Straßenverkehr (Quelle: Statistisches Bundesamt 2021)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Um den Schwerverkehr in Österreich bis 2040 de facto CO_2-neutral zu gestalten, müssen Lkw, die mit Diesel betrieben werden, daher so bald wie möglich durch Fahrzeuge mit anderen Antriebsarten ersetzt werden, die klimaneutral betrieben werden. Dazu müssen einerseits Lkw mit neuen Antriebstechnologien entwickelt werden, andererseits muss dafür gesorgt werden, dass grüne Energie aus erneuerbaren Energiequellen nicht nur in ausreichender Menge vorhanden, sondern auch überall verfügbar ist.

3.1. Umweltfreundliche Arten der Antriebsenergien

Umweltfreundliche, klimaneutrale Antriebsenergien stammen aus erneuerbaren Quellen wie Sonne, Wind oder Wasser. Auch aus Biomasse lässt sich grüne Energie erzeugen, allerdings wird dabei jenes CO_2 freigesetzt, welches teilweise über viele Jahre hinweg in Pflanzen und Bäumen gebunden wurde. Um umweltfreundlich zu sein, ist es daher sinnvoller, bioenergetische Abfallstoffe zu verwerten, als beispielsweise Wälder zu roden, auch wenn dies CO_2-neutral wäre. Außerdem muss verhindert werden, dass Anbauflächen für die Gewinnung von Rohstoffen zur Energieversorgung verwendet werden, anstatt zur Produktion von Lebensmitteln (vgl. Umweltbundesamt 2020a). Umstritten ist derzeit die Klassifizierung von Strom aus Atomkraftwerken. Während Umweltschutzorganisationen auf das hohe Gefahrenpotential verweisen, welches von Atomkraftwerken ausgeht, tendiert die Europäische Kommission auf Druck einiger Mitgliedsländer und auf Basis eines Gutachtens des JRC dazu, die beinahe CO_2-freie Produktion von Strom aus Uran und Plutonium als nachhaltig einzustufen (vgl. Simon 2021; Abousahl, Carbol, Farrar et al., 2021).

3.1.1. Nutzung von Wasserstoff

Wasserstoff lässt sich einerseits anhand des Aggregatzustandes in gasförmig und flüssig, andererseits auf Basis der im Produktionsprozess eingesetzten Energiequelle bzw. des Produktionsverfahrens in Weiß, Grün, Türkis, Blau und Grau unterteilen (vgl. EWE o.J.; Ruhwedel o.J.).

Gasförmiger Wasserstoff wird bei bis zu 700bar gespeichert und verfügt bei diesem Druck über eine Energiedichte von 40kg pro m^3, Diesel hingegen über 830 kg/m^3 (vgl. Paschotta o.J.b; TÜV Süd o.J.c, Chemie.de o.J.c). In Lkw wird Wasserstoff meist mit 350bar gespeichert, wodurch die Energiedichte geringer ist. Die zur Speicherung erforderlichen Drucktanks, die meist aus Polyethylen oder Aluminium bestehen und mit Glasfasern verstärkt sind, benötigen zudem viel Platz und reduzieren das mögliche Zuladegewicht. Mit rund 34 kg Wasserstoff ist abhängig vom Gewicht der Fahrzeuge eine Reichweite zwischen 400 und 500 Kilometer

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

möglich (vgl. Bennühr 2021; TÜV Süd o.J.c). Der Einsatz von flüssigem statt gasförmigem Wasserstoff ermöglicht aufgrund seiner höheren Energiedichte von 71kg pro m^3 bei einem Tankvolumen von 80kg flüssigem Wasserstoff eine Reichweite von über 1000km – und das bei gleichzeitig kleineren und leichteren Tanks (vgl. Daimler 2021; EMCEL GmbH 2019c). Verflüssigter Wasserstoff stellt jedoch höhere Anforderungen an die Speicherinfrastruktur, da Wasserstoff nur bei Temperaturen von -253°C flüssig ist. Aus technischer Sicht problematisch ist die geringe Dichte von Wasserstoff. Durch den großen Temperaturunterschied zur Luft und die Wärmeleitfähigkeit von H_2 kommt es rasch zu einer Erwärmung des Wasserstoffs, der in der Folge verdampft, wodurch trotz des Einsatzes von Kryotanks Energie verloren geht (vgl. Hydrogeit o.J.; TÜV Süd o.J.c). Außerdem führt der flüssige Wasserstoff während des Tankens zu Druckunterschieden und einer Vereisung der Zapfhähne, die Pausen zwischen den einzelnen Tankvorgängen erforderlich machen. Derzeit wird davon ausgegangen, dass selbst bei Pkw pro Zapfsäule nicht mehr als 6 Fahrzeuge pro Stunde abgefertigt werden können, bei Lkw sinkt dieser Wert weiter (vgl. Reitberger 2022).

Um die bisherigen Nachteile von Wasserstoff in gasförmigem und flüssigem Zustand zu umgehen, wird an neuen Speichermethoden geforscht. Eine Möglichkeit stellt die Nutzung von Feststoffspeichern dar (vgl. Danzberger, Hingerl, Zehetbauer et al., 2015, S.26). Eine weitere Möglichkeit zur Speicherung von Wasserstoff stellen Adsorptionsspeicher dar, die mit Hilfe von Mineralstoffen wie Magnesium Wasserstoff binden. Beide Technologien befinden sich derzeit allerdings noch im Stadium der Grundlagenforschung (vgl. TÜV Süd o.J.c).

Wasserstoff lässt sich zudem mittels verschiedener Verfahren und unter Einsatz unterschiedlicher Energiequellen gewinnen. Während grauer und blauer Wasserstoff mittels Dampfreformierung unter Einsatz von fossilen Brennstoffen produziert wird, wobei bei blauem Wasserstoff das entstehende CO_2 im Boden gespeichert wird, entsteht türkiser Wasserstoff mittels Methanpyrolyse, die bei Einsatz von grünem Strom CO_2 neutral ist und als Nebenprodukt festen Kohlenstoff erzeugt. Forciert wird derzeit jedoch die Produktion grünen Wasserstoffs mit Hilfe der Wasserelektrolyse, die CO_2 frei ist, wenn grüner Strom verwendet wird. An der Nutzung in der Natur vorkommenden Wasserstoffs, des sogenannten weißen Wasserstoffs, wird derzeit zwar geforscht, noch ist aber nicht bekannt, ob ausreichende Mengen gefördert werden könnten (vgl. DERA 2022b, S. 6-7).

Für die Produktion grünen Wasserstoffs stehen die Alkalische-Elektrolyse (AEL) (vgl. Regett, Pellinger & Eller 2014, S. 80), die Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse (PEMEL) sowie die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Festkörperoxid-Elektrolyse (SOEL) zur Verfügung. Die **AEL** mit einem Wirkungsgrad von 52% setzt auf Kalilauge als Elektrolyt, außerdem werden Nickel, Zirkonium und Edelstahl benötigt. Da diese Art der Produktion von Wasserstoff durch eine träge Laständerung und einen geringen Teillastbereich gekennzeichnet ist, ist sie für die Nutzung von grünem Strom suboptimal. Bei der **PEMEL**, deren Wirkungsgrad bei 50% liegt (vgl. Regett, Pellinger & Eller 2014, S. 80), wird ein Festelektrolyt aus Polymeren verwendet. Außerdem werden Titan, Platin, Gold, Iridium und Graphit benötigt (vgl. DERA 2022b, S. 13). Da dieses Verfahren nicht nur im Teillastbereich betrieben werden kann und Lastschwankungen verträgt, sondern kurzfristig sogar überlastet werden kann, ist sie besser dazu geeignet, eine Überproduktion von Strom aus erneuerbaren Energien auszugleichen und Spannungsspitzen auszugleichen (vgl. Stephan 2021). Solche Anlagen, die noch dazu wenig Platz benötigen, können beispielsweise auch mit Offshore-Windparks gekoppelt werden. Bei der **SOEL**, die bei hohen Temperaturen bis zu 850 °C abläuft, dient ein Feststoff, der Sauerstoff-Ionen leitet, als Elektrolyt. An Rohstoffen werden Chrom, Nickel, Zirkonium, Gadolinium, Scandium, Yttrium, Kobalt, Strontium und Lanthan benötigt. Diese Technologie, die sich derzeit noch in der Entwicklung befindet, verspricht mit bis zu 90% einen höheren Wirkungsgrad als die anderen Verfahren, muss aber mit Volllast betrieben werden (vgl. DERA 2022b, S. 13).

Hinsichtlich der Betriebskosten ist anzumerken, dass ein mit Wasserstoff betriebener 25t-Lkw auf Basis der aktuellen Technologie für 100 km rund 8kg Wasserstoff benötigt, wobei ein Kilogramm an der Tankstelle (vgl. Bennühr 2021) etwa 9,5 € kostet (Brandl 2021). Auf Basis dieser Annahmen verursachen 100km bei einem Wasserstoff-Lkw rund 76 €. Bei Lkw mit Akku-Technologie ist mit einem Verbrauch von etwa 144 kWh auf 100km zu rechnen. Bei einem Tarif für DC-Laden bis 150kW von 0,47€/kWh ergibt dies 67,68€ (vgl. EMC Elektro-Mobilitätsclub Österreich o.J.). Bei einem 25t-Diesel-Lkw liegen die Kosten bei 64,37 € (Verbrauch 35l bei einem Dieselpreis von 1,839€/l – Stand 23. Mai 2022) (WKO 2022b; Webfleet Solutions 2020).

3.1.2. Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien

Ob zur Produktion von Wasserstoff oder zu einem direkten Betrieb von Fahrzeugen – um den Schwerverkehr in Zukunft CO_2-neutral zu gestalten, werden große Mengen an Strom aus erneuerbaren Energien erforderlich sein. Der gesamte Bruttoinlandsverbrauch Österreichs lag im Jahr 2020 bei 1.347,8 Petajoule (374,388 Terawattstunden (TWh)) (vgl. BMK 2021, S.10). Wie *Abbildung 8* zeigt, entfiel 2020 rund ein Drittel der in Österreich verbrauchten Energie (34,1%) auf Erdöl, 22,7% auf Erdgas, 7,6% auf Kohle. Fossile Energieträger waren damit 2020 für

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

knapp zwei Drittel (64,4%) des heimischen Energiebedarfs verantwortlich. Das restliche Drittel setzte sich aus Biogener Energie (17,4%), Wasserkraft (11,2%), Umgebungswärme (1,9%), Wind (1,8%) und Solarenergie (0,5%) zusammen (vgl. BMK 2021, S.12).

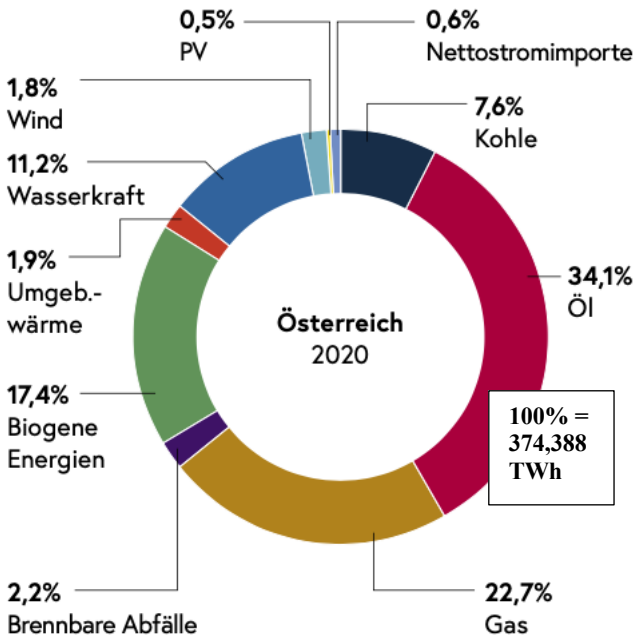


Abbildung 8: Anteile der Primärenergieträger am Bruttoinlandsverbrauch in Österreich 2020 (Quelle: Veränderte Darstellung in Anlehnung an BMK 2021, S.12)

Von dem Bruttoinlandsverbrauch des Jahres 2020 wurden 524,7 Petajoule (145,75 TWh), das entspricht rund 39 Prozent, als Primärenergie im Inland erzeugt. Ein großer Teil der in Österreich erzeugten Primärenergie, nämlich 123,6 TWh, entfiel auf erneuerbare Energieträger (siehe *Abbildung 9)*. Den größten Anteil an der erzeugten Primärenergie hatten 2020 biogene Energien mit 45,1%. 28,8% entfiel auf Wasserkraft, 4,8% auf Umgebungswärme, 4,7% auf Wind und 1,4% auf Photovoltaik. Die restliche in Österreich erzeugte Primärenergie wurde 2020 unter Einsatz fossiler Rohstoffe produziert (vgl. BMK 2021, S.14).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

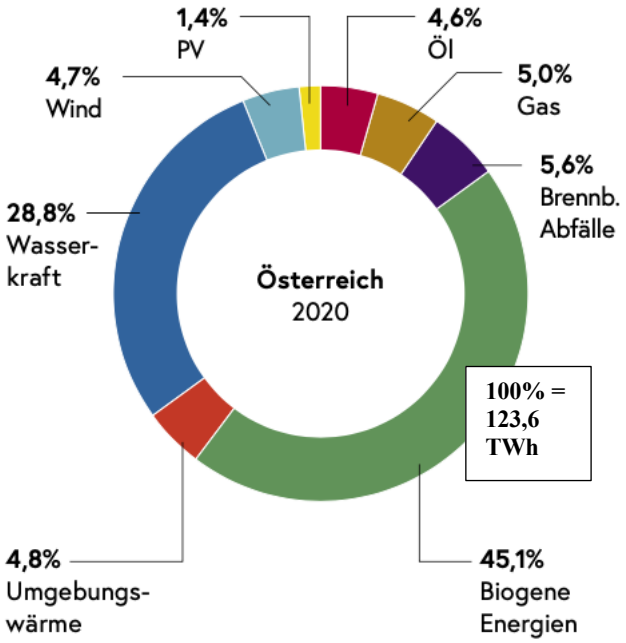


Abbildung 9: Anteile der Primärenergieerzeugung nach Energieträgern in Österreich 2020 (Quelle: Veränderte Darstellung in Anlehnung an BMK 2021, S.14)

Eine Umrechnung in TWh ergeben sich für das Jahr 2020 folgende Werte: 65,7 TWh aus biogenen Energien, 42 TWh aus Wasserkraft, 8,2 TWh aus brennbaren Abfällen, 7,3 TWh aus Gas, 7 TWh aus Umgebungswärme, 6,9 TWh aus Windkraft, 6,7 TWh aus Öl und 2 TWh aus PV (vgl. BMK 2021, S.14). Die Pläne auf Bundesebene sehen bis 2030 bei Strom einen Ausbau der Wasserkraft auf 46,1 TWh, bei Windkraft auf 17,3 TWh, bei PV auf 12,4 TWh und bei erneuerbarer Wärmekraft auf 5,9 TWh. Laut Vorgaben der Bundesregierung soll die Stromproduktion in Österreich mit erneuerbaren Energieträgern bis 2030 damit auf 81,7 TWh steigen (vgl. Baumann, Dolna- Gruber, Goritschnig et al., 2021, S. 5).

Eine Gegenüberstellung der Jahre 2020 und 2030 (siehe *Abbildung 10*) zeigt, dass von den erneuerbaren Energieträgern Wasserkraft, Windkraft und PV der größte absolute Zuwachs bei Windkraft (+10,4 TWh), der größte relative Zuwachs bei PV (+520%) zu verzeichnen ist (vgl. BMK 2021, S.14; Baumann, Dolna- Gruber, Goritschnig et al., 2021, S. 5).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

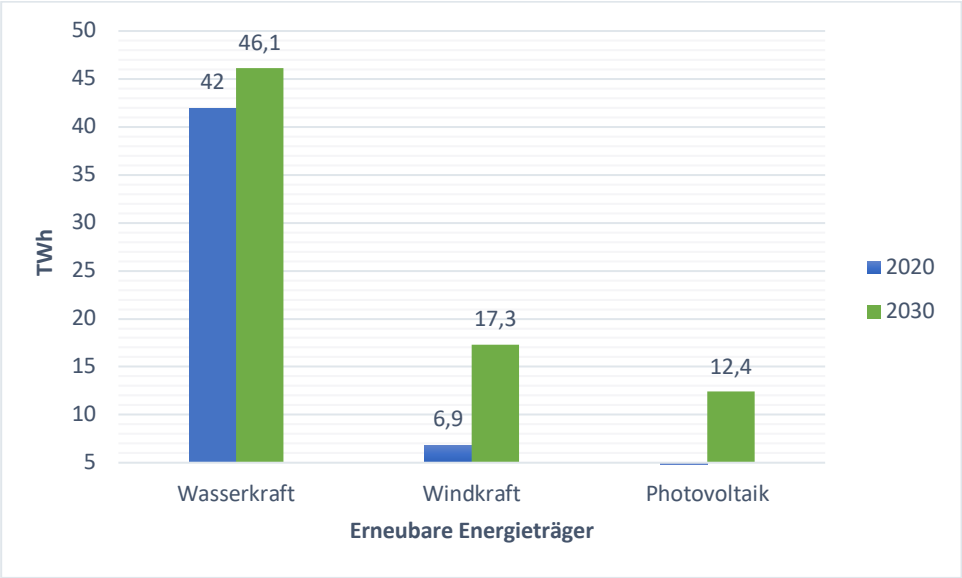


Abbildung 10: Entwicklung der Stromerzeugung durch erneuerbare Energieträger in Österreich in den Jahren 2020 und 2030 (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BMK 2021, S.14; Baumann, Dolna- Gruber, Goritschnig, et al., 2021, S. 5)

Bedenkt man aber, dass 2020 trotz des Corona-bedingten Wirtschaftseinbruchs nicht einmal der angestrebte Rückgang des energetischen Endverbrauchs auf 292 TWh erreicht wurde und der größte Teil des künftigen Energiebedarfs mit Strom abgedeckt werden muss, ist offensichtlich, dass massive Importe erforderlich wären, um neben der Industrie und den Haushalten auch den Verkehr CO_2-neutral zu gestalten (vgl. BMK 2021, S.29). Auch wenn bereits jetzt Projekte wie „H2EU+Store“ in Planung sind, um grünen Strom bzw. Wasserstoff künftig aus Ländern wie der Ukraine über bereits bestehende Gasleitungen nach Österreich zu transportieren und von dort aus auch in andere europäische Länder zu verteilen (vgl. Gas Connect Austria 2021), wird sich damit nicht der gesamte Energieverbrauch Europas auf aktuellem Niveau abdecken lassen.

Wenn noch dazu bis 2040 tatsächlich die Energieversorgung großer Teile der Haushalte, der Wirtschaft und des Verkehrs auf Strom umgestellt sein sollen, rechnen Experten für Österreich bis dahin mit einem jährlichen Bedarf an grünem Strom in einem Ausmaß von 140 TWh. Von den 70 Gigawatt (GW), die dafür an Leistung erforderlich sind, sind in Österreich derzeit jedoch erst rund ein Drittel (25 GW) verfügbar (vgl. Österreichs E-Wirtschaft o.J.). Im Bereich Wasserstoff wird der Bedarf innerhalb der EU 2050 bei voraussichtlich 2000 TWh liegen. Dem gegenüber steht eine geplante Elektrolyseleistung innerhalb der EU von 500 GW (vgl. Wien Energie 2022).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Umso wichtiger ist es, in allen Bereichen darauf zu achten, die jeweils energiesparendste Technologie zu nutzen. Im Falle des Schwerverkehrs stellt sich somit die Frage, ob die Akku- oder die Wasserstofftechnologie effizienter ist.

3.2. Wirkungs- und Funktionsweise der umweltfreundlichen Antriebstechnologien

Sowohl die Akku-Technologie als auch die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie, die aus heutiger Sicht mit großer Wahrscheinlichkeit die Zukunft der Fahrzeugindustrie prägen werden, basiert auf einem Elektromotor, der die Räder antreibt. Dieser Motor verfügt entweder über eine kleine Antriebsbatterie, die von einer Brennstoffzelle geladen wird (*Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie*) oder über Akkus, die mehrere hundert Kilogramm wiegen und mit Strom aus der Steckdose aufgeladen werden (*Akku-Technologie*).

3.2.1. Wasserstoff-Brennstoffzellen- und -Brennstoffzellen-Plug-in-Hybrid-Technologie (PHEV)

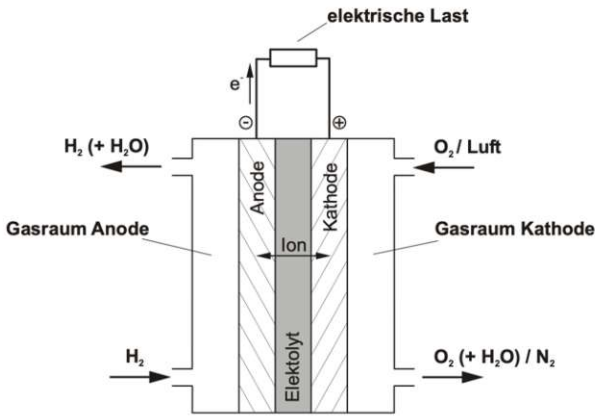


Abbildung 11: Schematische Darstellung einer Brennstoffzelle (Quelle: Ohl, Özdemir, Hartman et al., 2021, S.14)

Brennstoffzellen ermöglichen die Produktion elektrischen Stromes mit Hilfe einer elektrochemischen Reaktion von Sauerstoff und Wasserstoff (siehe *Abbildung 11*). Bei der Reaktion der beiden chemischen Elemente nimmt der Sauerstoff in einem Reduktionsprozess üblicherweise jene Elektronen auf, die der Wasserstoff durch Oxidation abgegeben hat. In der Brennstoffzelle wird diese Reaktion verhindert, indem der Reaktionsraum getrennt wird. Ein Elektrolyt ermöglicht nur die Übertragung der Ionen, während die Elektronen mit Hilfe der Zwischenschaltung eines Lastwiderstandes einen Stromfluss erzeugen (vgl. Ohl, Özdemir, Hartmann et al., 2021, S.14).

Abhängig von der für die Energieproduktion erforderlichen Betriebstemperatur werden Niedrig-, Mittel- und Hochtemperaturbrennstoffzellen unterschieden (siehe *Abbildung 12*). Bei den drei Technologien, die im Niedrig- und Mitteltemperaturbereich von 60°C bis 200 °C zum

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Einsatz kommen, handelt es sich um die *alkalische Brennstoffzelle (AFC)*, die *Polymer-Elektrolyt-Membranbrennstoffzelle (PEFC)* und die *Phosphorsäure-Brennstoffzellen (PAFC*) (siehe *Abbildung 12*). Im Hochtemperaturbereich, das heißt zwischen 600°C und 1000°C, wird bisher an der *Molten Carbonat-Brennstoffzelle (MCFC)* und der *Festelektrolyt-Brennstoffzelle (SOFC)* geforscht (siehe *Abbildung 12*).

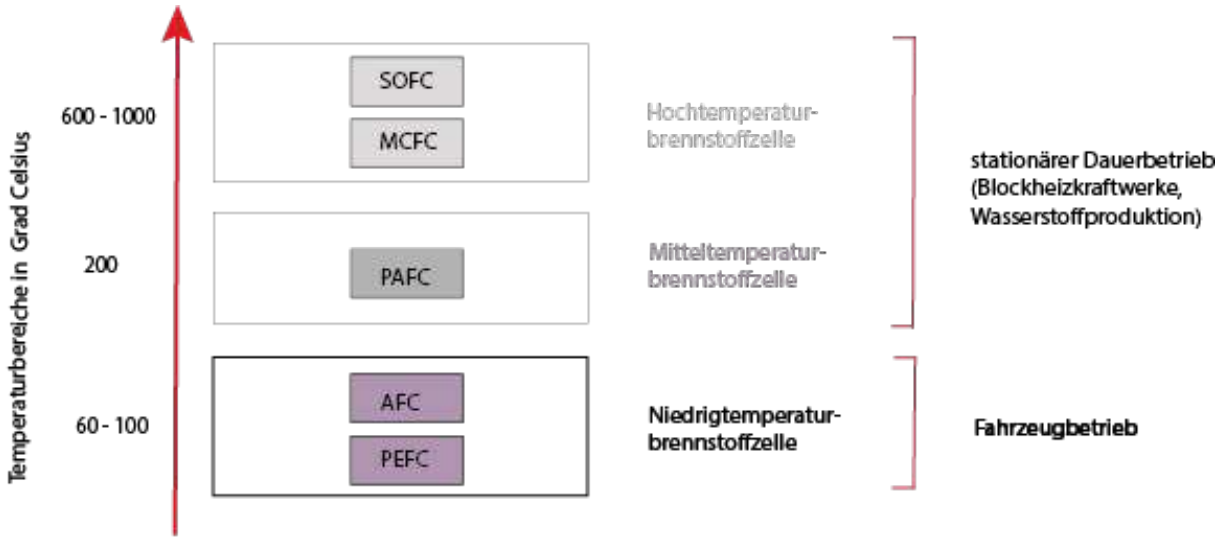


Abbildung 12: Brennstoffzellentypen und zugeordnete Temperaturbereiche (Eigene Darstellung in Anlehnung an Energie-Agentur.NRW o.J.)

Die Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC und MCFC) arbeiten bei Betriebstemperaturen von bis zu 1000°C. Sie benötigen daher längere Vorlaufzeiten, bis sie zur Energiegewinnung eingesetzt werden können und sind für den stationären Dauerbetrieb geeignet (vgl. Energie-Agentur.NRW o.J.). Ihr Einsatzbereich wird künftig vor allem im Kraftwerksbetrieb aber auch in der Herstellung von Wasserstoff liegen, für den Antrieb von Fahrzeugen ist diese Technologie hingegen nicht geeignet (vgl. Baustädter 2020). Ähnliches gilt für die Mitteltemperaturbrennstoffzelle (PAFC). Da bei dieser Technologie die Temperatur in der Brennstoffzelle konstant über 42°C liegen muss, die durchschnittliche Betriebstemperatur bei 200°C liegt und die Reaktion auf Schwankungen in der Leistung sehr träge erfolgt, ist diese Technologie vor allem für den Dauerbetrieb von Blockheizkraftwerken geeignet (vgl. TÜV Süd o.J.a; NORD/LB 2022, S. 4).

Für den Fahrzeugsektor kommen wegen der niedrigeren Betriebstemperatur weder die Hoch- noch die Mitteltemperaturbrennstoffzellen in Frage. Aus diesem Grund wird auf diese Technologien in der Arbeit nicht näher eingegangen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.2.1.1. Niedrigtemperaturbrennstoffzellen

Bei Niedrig- und Mitteltemperaturbrennstoffzellen liegt die Betriebstemperatur der Energieerzeugung zwischen 60°C und rund 200°C. Da die Temperatur vergleichsweise niedrig ist, werden die Elektroden als Katalysatoren verwendet, um die Reaktion effektiv gestalten zu können. Wegen der aggressiv alkalischen oder sauren Elektrolyte, die zum Einsatz kommen, müssen spezielle Legierungen verwendet werden, um die Elektroden zu schützen.

Bei der bei 80°C arbeitenden *AFC* wird Kalilauge (KOH) als Elektrolyt eingesetzt, als Oxidationsmittel eignet sich ausschließlich O_2. Da Kalilauge mit Kohlendioxid (CO_2) zu Karbonat reagieren würde, müssen die Brenngasse CO_2 frei sein, um zu verhindern, dass die Brennstoffzellen durch das unlösliche Karbonat zerstört werden. Als Betriebsstoff kommt Wasserstoff zum Einsatz, der an der Anode Elektronen abgibt und in Protonen aufgespalten wird. Die Elektronen nutzen den Leiter, um zur Kathode zu fließen, gespalten. Dort verbinden sie sich mit den Protonen. Als Ergebnis dieser chemischen Verbindung entsteht reines Wasser (vgl. Energie-Agentur.NRW o.J.).

Die *PEFC* hat eine Betriebstemperatur von 60 bis 100°C und ist damit prinzipiell auch für den Antrieb in Fahrzeugen geeignet. Als Brennstoff kann sowohl Wasserstoff als auch Methanol verwendet werden, als Oxidationsmittel eignen sich sowohl O_2 als auch reine Luft. Im Unterschied zur AFC wird kein flüssiger Elektrolyt, sondern eine Polymermembran verwendet, die zwar gasundurchlässig ist, aber durch die Säuren, die sich in der Membran befinden, in der Lage ist, Protonen zu leiten. Auch bei dieser Technologie diffundieren die Protonen in Richtung Kathode, um sich dort mit den elektrisch geladenen Atomen des Sauerstoffs zu Wasser zu verbinden. Um bei niedrigen Temperaturen zu einer ausreichenden Reaktionsgeschwindigkeit zu kommen, werden Edelmetallkatalysatoren verwendet (vgl. EnergieAgentur.NRW o.J.).

Eine Weiterentwicklung der Membranbrennstoffzellen stellt die *Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC)* dar, die ebenfalls eine Kunststoffmembran als Elektrolyt verwendet, als Katalysator jedoch auf die Edelmetalle Platin und Ruthen zurückgreift, die für die Methanoloxidation optimal sind. Genauso wie die PEFC arbeitet sie bei Betriebstemperaturen unter 100°C, was diese Technologie für den Fahrzeugantrieb interessant erscheinen lässt. Als Brennstoff kann flüssiges oder gasförmiges Methanol verwendet werden, das einerseits einfach gespeichert werden kann, andererseits einen einfachen Tankvorgang ermöglichen (vgl. Forschungszentrum Jülich 2014). Derzeit ist der Wirkungsgrad mit rund 40 % jedoch noch niedrig (vgl. Kösterke, Hasken 2005), die Stabilität der Katalysatoren ist noch nicht ausreichend und es muss

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

sichergestellt werden, dass Menschen nicht direkt mit dem für sie giftigen Methanol in Berührung kommen (vgl. Jörissen, Dohle, Stimming et al., o.J.). Dennoch arbeiten Forschungseinrichtungen wie das deutsche Jülich Forschungszentrum daran, die DMFC-Technologie zur Marktreife weiterzuentwickeln (vgl. Forschungszentrum Jülich 2014).

Ein Vergleich der für den Antrieb von Lkw relevanten Technologien (siehe *Tabelle 2*), bei dem die DMFC wegen mangelnder Marktreife ausgelassen wird, zeigt, dass die AFC mit 70% nicht nur den höchsten Wirkungsgrad der Zellen, sondern mit 8% auch den geringsten Wirkungsgradverlust im System aufweist (siehe *Tabelle 2*). Da sie allerdings sehr CO_2 empfindlich ist, forschen Fahrzeugentwickler wie IMMORTAL, ein Projekt, an dem die Unternehmen Bosch, AVL, Johnson Matthey und FPT Industrial beteiligt sind, nun verstärkt an der Membranbrennstoffzelle, deren Systemwirkungsgrad mit rund 30 bis 50% derzeit allerdings noch gering ist. Das Ziel besteht darin, Brennstoffzellen mit einer höheren Lebensdauer zu entwickeln, die dennoch einen Wirkungsgrad haben, der jenen der AFC erreicht (vgl. Schaal 2021c).

Tabelle 2: Brennstoffzellen-Typen mit Relevanz für den Lkw-Betrieb (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ohl, Özdemir, Hartmann et al., 2021, S.14)

Paramater	**AFC**	**PEFC**
Elektrolyt	wässrige KOH-Lösung	Protonenaustausch-membran (fest)
Betriebstemperatur	80 °	100 °
Brennstoff	Wasserstoff, Hydrazin	Wasserstoff, Methanol (reformiert)
Oxidationsmittel	O_2	O_2, Luft
Wirkungsgrad der Zelle	70%	50 – 68 %
Systemwirkungsgrad	62 %	30 – 50 %
Besondere Eigenschaften	CO_2- empfindlich	CO- empfindlich

Ein mit einer Wasserstoff-Brennstoffzelle ausgerüsteter Lkw unterscheidet sich im Aufbau sowohl von herkömmlichen Lkw mit Verbrennungsmotor als auch von Lkw mit reiner Akku-Technologie (siehe *Abbildung 13*). Der elektrische Antriebsstrang, der auch bei Lkw mit Akku-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Technologie zum Einsatz kommt und der hauptsächlich aus den Elektromotoren, dem Getriebe und dem Differenzial besteht (vgl. Pell, Schörghuber, Schubert et al., 2020, S. 43) ersetzt den Verbrennungsmotor. Wie *Abbildung 13* zeigt, verfügt der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw statt eines Dieseltanks über einen Wasserstofftank (Hydrogen Tank). Außerdem sind in den Fahrzeugen Wechselrichter (Inverter Charger) und Stromverteiler (Power Distributor) verbaut (vgl. Lof, MacKinnon, Martin et al., 2020, S. 8). Der gasförmige oder verflüssigte Wasserstoff wird in den Brennstoffzellen mit Hilfe von Sauerstoff in Energie umgewandelt, die einerseits in den Akku fließt und andererseits direkt für den Antrieb der Elektromotoren verwendet wird. Wird für Leistungsspitzen wie Beschleunigungsvorgänge zusätzliche Energie benötigt, kann diese aus dem Akku bezogen werden. Im Unterschied zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren wird der Akku aber auch mit Hilfe der Bremsenergierückgewinnung, der sogenannten Rekuperation, geladen (vgl. Leicht 2022; EnBW 2022 & Fliesser 2021).

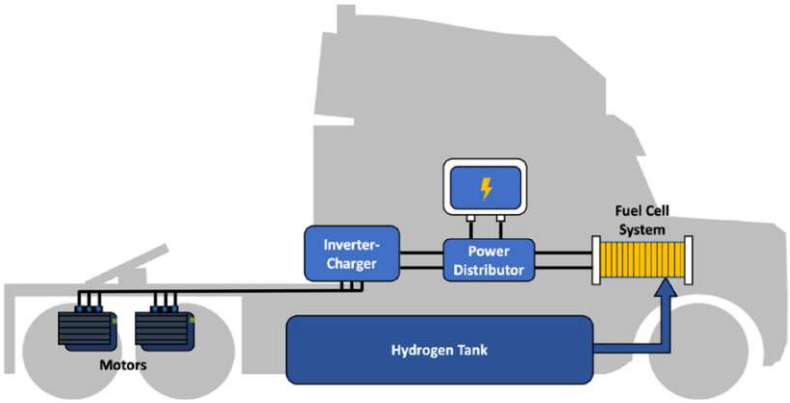


Abbildung 13:Technische Komponenten eines Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (Quelle: Lof, MacKinnon, Martin et al., 2020, S. 8)

Derzeit arbeiten bereits mehrere Lkw-Produzenten daran, in den kommenden Jahren Modelle mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Elektromotoren auf den Markt zu bringen, die mit Wasserstoff betrieben werden. So haben die Daimler und Volvo im März 2021 ein Joint Venture Unternehmen gegründet, das sich der Erforschung der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie widmet. Das Unternehmen will in Zukunft sowohl für Lkw der Marken Daimler und Volvo aber auch für andere Produzenten Brennstoffzellen produzieren (vgl. Daimler AG 2021).

Daimler entwickelt gerade den Prototypen des GenH_2 Trucks (siehe *Abbildung 14*), der mit einem Wasserstoff-Brennstoffzellen-Elektromotor angetrieben wird. Serienreif soll der mit Flüssigwasserstoff (LH_2) betriebene 40-Tonnen-Brennstoffzellen-Lkw, dessen Reichweite mit mindestens 1000 Kilometern angegeben wird, 2027 sein. Sein Zuladungsgewicht von 25t sowie

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die geplante Lebensdauer von 1,2 Millionen Kilometern und 25.000 Betriebsstunden sind mit jenen von Diesel-Lkw vergleichbar (vgl. Daimler AG 2021).



Abbildung 14: Prototyp GenH2 Truck (Quelle: Daimler Truck 2022)



Abbildung 15: Prototyp Xcient Fuel Cell (Quelle: Hyundai Motor o.J.)

Bereits 2019 entstand das Joint Venture Unternehmen Hyundai Hydrogen Mobility (HHM), dessen Eigentümer Hyundai und H2 Energy Schweiz die Schweiz als Modellregion nutzen, um den Aufbau eines Wasserstofftankstellennetzes und die Umstellung der nationalen Lkw-Flotte auf Wasserstoffantrieb voranzutreiben (vgl. Schatzmann 2021). HHM tritt nicht nur als Leasingpartner für Frächter auf, sondern engagiert sich auch beim Aufbau einer flächendeckenden Möglichkeit zum Betanken der Lkw (siehe *Anhang, Abschnitt A*). Dazu werden bestehende Tankstellen mit zusätzlichen Zapfsäulen ausgerüstet, an denen gasförmiger Wasserstoff getankt werden kann - derzeit mit 350bar-Systemen für die Betankung von Lkw, später sollen 700bar-Systeme dazukommen, die für Wasserstoff-Pkw geeignet sind. 2020 lieferte Hyundai die ersten Lkw aus, die mit gasförmigem Wasserstoff betrieben werden (Modell Xcient Fuel Cell) (siehe *Abbildung 15*). Bis 2025 sollen es 1.600 sein, die dann als Leasingfahrzeuge zur Verfügung stehen. Die Reichweite von derzeit 400km für 40-Tonner soll schon bald auf mindestens 1.000km pro Tankfüllung ausgeweitet werden. Parallel dazu wird begonnen, das Schweizer Modell auf andere europäische Länder zu übertragen und zu expandieren. Bis 2025 will HHM jährlich 110.000 Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge absetzen, bis 2030 sollen zudem jährlich 700.000 Wasserstoff-Brennstoffzellensysteme verkauft werden, die auch für Pkw, Schiffe, die Eisenbahn oder für Generatoren verwendet werden können (vgl. Hyundai Motor 2020).

Weitere Wasserstoff-Lkw werden derzeit beispielsweise von MAN (vgl. MAN Truck & Bus 2021b), Toyota/Hino Motors (vgl. Seibt, Conrad 2020) und Iveco /Nikola Tre (vgl. Conrad, Baumann & Harloff 2021) entwickelt. Von den meisten Modellen existieren derzeit aber erst

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Prototypen. Serienreife Fahrzeuge sollen aber in den kommenden Jahren folgen. Ein interessantes österreichisches Projekt wird derzeit von AVL List in Zusammenarbeit mit MAGNA, der OMV, der TU Wien, der Spedition Schenker und einigen anderen Partnern vorangetrieben. Unter dem Titel FC4HD wird bis 2023 ein selbstentwickelter 40-Tonnen-Sattelzug mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie getestet und im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und ökologischen Fußabdruck optimiert. Im Rahmen des Projektes wird auch an der Produktion grünen Wasserstoffs und der erforderlichen Infrastruktur für die Betankung geforscht (vgl. Klima- und Energiefonds o.J.).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3.2.1.2. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Plug-in-Hybrid

Bei der Plug-in-Hybrid-Technologie hat jedes Fahrzeug, zusätzlich zur Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie einen Akku eingebaut (*siehe Abbildung 16*). Dieser dient einerseits dazu, das Auto nach dem Starten auf die erforderliche Betriebstemperatur zu bringen, andererseits wird damit das Beschleunigen erleichtert, da die Leistungsänderung von Brennstoffzellen nur langsam erfolgt (vgl. Reitberger 2021).

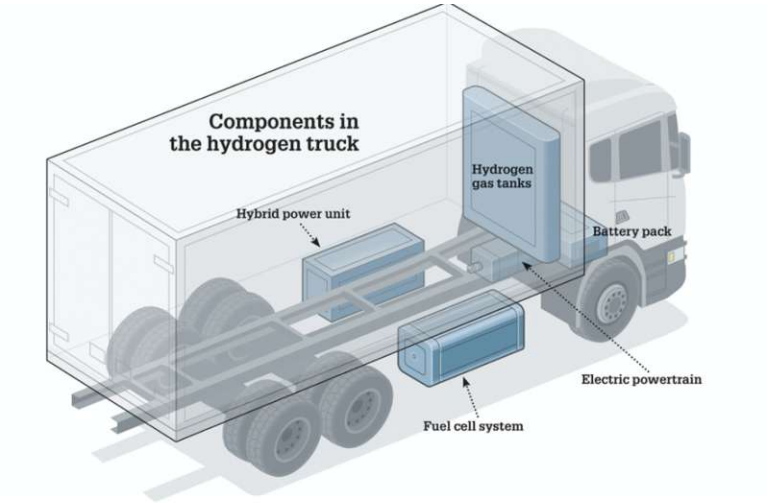


Abbildung 16: Technische Komponenten des Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw mit Hybrid-Technologie anhand einer Konzeptstudie von Scania (Quelle: Scania Deutschland o.J.)

Wird die Leistung des Akkus ausgeweitet, entsteht daraus die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Plug-in-Hybrid-Technologie, die eine Kombination aus Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb und Akku-Technologie darstellt. Derzeit befindet sich dieses Antriebssystem in Entwicklung, schon bald soll es aber serienmäßig für Fahrzeuge am Markt erhältlich sein. Fahrzeuge mit einem solchen Antriebssystem kombinieren wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen mit einem Akku, der den Strom entweder aus einer Steckdose oder unter Nutzung regenerativer Bremssysteme mit Hilfe der Rekuperation bezieht. Der Vorteil dieser Hybridtechnologie liegt darin, dass sich die Reichweite dieser Fahrzeuge jener herkömmlicher Diesel-Lkw annähert, der Tankvorgang für Wasserstoff rasch funktioniert, aber gleichzeitig ein geringerer Verbrauch von Wasserstoff erzielt werden kann. Zudem kann für die Zurücklegung kurzer Strecken ausschließlich auf Akkuantrieb umgestiegen werden. Die Energie aus der Brennstoffzelle lässt sich für längere Strecken dazu schalten (vgl. Reichel 2021b; Grundhoff 2021).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Fahrzeuge mit einer solchen Technologie sollen ab 2022 auf den Markt kommen. Stellantis, jener Konzern, der zu Beginn des Jahres 2021 aus der Fusion der französischen PSA, zu der unter anderem Peugeot, Opel und Citroen gehören, mit Fiat Chrysler Automobiles, entstanden ist, will bis dahin die Kleintransporter der Marken Opel (Vivaro), Peugeot (Expert) sowie Citroen (Jumpy) mit diesem dualen System ausrüsten. Die Reichweite dieser Fahrzeuge soll bei rund 500 Kilometern liegen (vgl. Grundhoff 2021).

Für etwas größere Lkw mit einem hzG von 12,5t plant der amerikanische Produzent von Brennstoffzellen, Plug Power, in Zusammenarbeit mit General Motors und dem amerikanischen Produzenten von Schwerfahrzeugen mit Elektroantrieb, Lightning eMotors, Fahrzeuge mit Wasserstoff-Brennstoffzellen- und Akku-Technologie spätestens 2022 zu vermarkten (vgl. Blanka, Assiotis, Fann et al., 2021). Angekündigt wird eine Reichweite von bis zu 640 km (vgl. IWR 2020).

3.2.2. Akku-Technologie

Im Unterschied zum Antriebsstrang für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren sind solche für Elektrofahrzeuge vergleichsweise einfach aufgebaut (siehe *Abbildung 17*). Neben einem Elektromotor, Hochvolt-Batterien und einer frequenz- und amplitudensteuernden Leistungselektronik, die einerseits für die Versorgung des Motors mit Strom, andererseits für die Aufladung der Akkus mit Hilfe der Rekuperation, bei der Energie aus dem Bremsvorgang gewonnen wird, zuständig ist, enthält das System einen On-Board-Charger, über den der Lkw geladen wird, der bei Bedarf Wechselstrom in Gleichstrom verwandelt und zudem das Batteriemanagement übernimmt (vgl. Hoti, Wyssmann, Loacker et al., 2019, S. 37; ITWissen.info o.J.). Während Verbrennungsmotoren inklusive Getriebe aus mehr als 1000 Teilen bestehen, sind des bei Elektromotoren weniger als ein Fünftel davon. Elektro-Lkw benötigen prinzipiell kein Getriebe, auch wenn manche Hersteller wie Volvo und Scania aus Leistungsgründen über ein automatisches Zweiganggetriebe verfügen (vgl. Held 2021; Volvo Trucks o.J.).

Auch Kupplung, Kardanwelle, Steuerkette/Stirnräder, Kühlergrill und Auspuffanlage fallen bei E-Fahrzeugen weg. Statt eines Kraftstofftanks sind in Lkw mehrere Akkus eingebaut (vgl. Ecomento.de 2016a).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

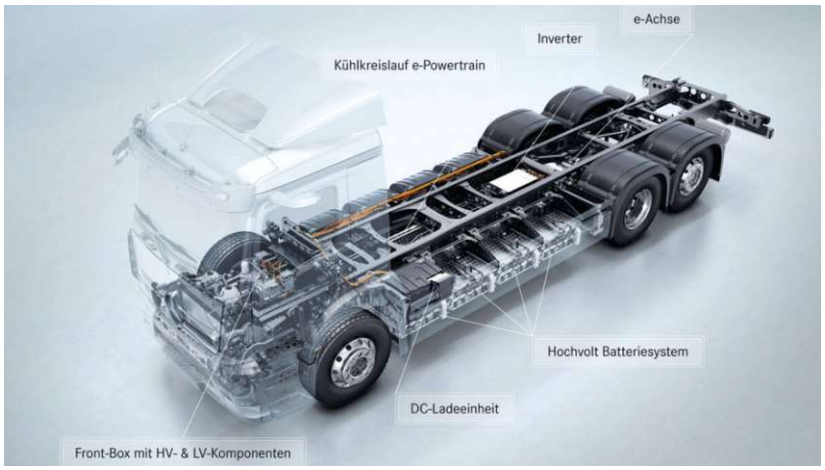


Abbildung 17: Technische Komponenten der Akku-Technologie anhand des Mercedes Trucks eActros (Quelle: Werwitzke 2021)

Auch wenn mit Asynchronmaschinen (ASM), Fremd- oder Stromerregten Synchronmaschinen (SSM) und Permanenterregten Synchronmaschinen (PSM) unterschiedliche Technologien für Elektromotoren existieren, setzen die meisten Hersteller von Schwerkraftfahrzeugen auf die letztere. Lkw-Produzenten wie Scania, Volvo und MAN schätzen die PSM-Technologie wegen ihrer hohen Leistungsdichte. Außerdem stellt sich bereits bei niedriger Leistung ein hoher Wirkungsgrad ein. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass sich diese Technologie durchsetzen wird (vgl. Scania Österreich o.J.; MAN Truck & Bus Deutschland 2020; Volvo Car Switzerland 2020).

Zur Erklärung der Funktionsweise der PSM-Technologie: Hierbei handelt es sich um einen Wechselstrommotor, der aus einem unbeweglichen Strator und einem beweglichen magnetischen Rotor besteht. Bei dem Strator handelt es sich um einen Permanentmagneten, der Rotor besteht aus einer Spule mit einem Eisenkern. Da es sich bei Haushaltsstrom prinzipiell um Wechselstrom handelt, Batterien aber Gleichstrom liefern, dient das wechselnde Magnetfeld, das aufgebaut wird, für eine Umwandlung der Drehbewegung des Rotors in Gleichstrom. Der Vorteil von PSM-Maschinen besteht darin, dass die Magnetfelder durch den Permanentmagneten im Rotor während des Betriebs dauerhaft synchron laufen. Problematisch bei dieser Technologie sind allerdings die Rohstoffe, die für die Produktion des Permanentmagneten benötigt werden. Es handelt sich dabei um seltene Erden, die teuer sind und zudem als nicht nachhaltig gelten (vgl. Binder 2012, S. 603).

Die derzeit verfügbaren Akkus schränken die Nutzung der Technologie für den Kraftfahrzeugbereich wegen ihrer vergleichsweise geringen Reichweite, der langen Aufladedauer sowie des hohen Eigengewichts noch ein. Um die Akzeptanz bei den Anwendern zu erhöhen, wird intensiv an der Entwicklung neuer Akku-Technologien gearbeitet (vgl. Lücke 2021; Butter 2021).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

So forscht beispielsweise die University of Adelaide an dem Einsatz der Quantentechnologie für Akkus und hat in einer Proof-of Concept Phase bereits gezeigt, dass die Ladegeschwindigkeit erhöht und die -dauer vor allem für große Lkw-Akkus auf wenige Sekunden gesenkt werden könnte und gleichzeitig eine Lösung für überlastete Stromnetze darstellen würde, da die Energie aus Solartechnologie stammen würde. Die Entwicklung eines Prototyps hat allerdings noch nicht begonnen (vgl. Savage 2022).

Prinzipiell handelt es sich bei Akkus um Stromspeicher, die aus chemischer Energie elektrische Energie erzeugen können. Akkus werden also mit Strom aufgeladen und geben auch wieder Strom ab. Technisch gesehen besteht ein Akku aus einer Anode und einer Kathode, einem festen oder flüssigen Elektrolyten und einem Separator. Die negative und die positive Elektrode, die sich im Elektrolyt befinden, werden von einer porösen Schicht, die für Ionen durchlässig ist, getrennt. Dadurch sammeln sich die Elektronen an der Anode, die Spannung ergibt sich daraus, dass sich nur wenige Elektronen an der Kathode befinden und liegt bei mehreren hundert Volt und damit einem Vielfachen der Netzspannung von 230 Volt, die in Europa üblich sind. Wird ein Energieverbraucher angeschlossen, bewegen sich die überschüssigen Elektronen in Richtung Kathode und Strom fließt (vgl. Huber 2022a).

Auch für die in Lkw verbauten Akkus gilt, dass sie überwiegend auf der **Lithium-Ionen-Technologie basieren**. Ihre Energiedichte ist mit rund 200 Wh/kg vergleichsweise hoch (vgl. Deutscher Bundestag 2020, S. 4). Dennoch wird intensiv an anderen Technologien geforscht. Zum einen handelt es sich bei dem Rohstoff Lithium um seltene Erden, die nur in wenigen Ländern gefördert und unter teilweise bedenklichen Umständen gefördert werden, zum anderen sind diese Akkus trotz der derzeit eher niedrigen Reichweite sehr schwer. So entspricht eine Leistung von 15 kWh rund 160 kg Gewicht allein für den Akku. In der Folge erhöht sich entweder das Gesamtgewicht des Fahrzeuges oder das Zuladungsgewicht fällt geringer aus (vgl. TÜV Nord 2020; Ecomento.de 2016b).

Bei den im Forschungs- bzw. Entwicklungsstadium befindlichen Technologien, die von Experten am vielversprechendsten angesehen werden, handelt es sich um Zink-Luft-Batterien, Aluminium-Luft-Batterien, strukturelle Batterien, Feststoffbatterien und SALD-Batterien.

Die Funktionsweise von **Zink-Luft-Batterien** ist vergleichsweise einfach und ressourcenschonend. Entlädt sich der Akku, reagieren Zink und Sauerstoff, der über durchlässige Elektroden zur Zelle vordringt. Da bei dieser Reaktion jedoch Zinkoxid entsteht, bilden sich mit der Zeit kristalline Strukturen, die Kurzschlüsse verursachen können. Zinc8, eine kanadische Firma,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

entwickelt derzeit ein Verfahren, mit dessen Hilfe diese Ablagerungen in Partikel umgewandelt werden, die sich wieder im Akku anlagern (vgl. Ingenieur.de 2020b). Wissenschaftler des MMET Batterieforschungszentrums in Münster arbeiten an einem Elektrolyten, der die Oxidation des Zinks umkehren könnte (vgl. Marx 2021). Sollte eine dieser Technologien funktionieren, stünde mit der Zink-Luft-Batterie ein Akku zur Verfügung, dessen Energiedichte mit 460 Wh/kg fast doppelt so hoch wie jene von Lithium-Ionen-Batterien wäre (vgl. Ingenieur.de 2020b; Elektromobilität NRW o.J.). Zudem ist der Rohstoff Zink leichter abbaubar und in größeren Mengen vorhanden. Auch das Recycling von Zink-Luft-Batterien ist einfacher und nachhaltiger, lassen sich doch rund 98% der eingesetzten Rohstoffe wiedergewinnen. Damit zusammenhängend ließen sich die Produktionskosten für Akkus senken (vgl. Ingenieur.de 2020).

Eine noch höhere Reichweite ließe sich mit **Aluminium-Luft-Brennstoffzellen** erzielen, deren Funktionsweise mit jener von Zink-Luft-Batterien vergleichbar ist. Wird Aluminium statt Zink verwendet, liegt die Energiedichte jedoch bei 8,1 kWh/kg, womit diese Technologie auch für den Einsatz im Lkw-Fernverkehr interessant wäre. Zudem sind die für die Produktion erforderlichen Rohstoffe vergleichsweise günstig und umweltfreundlich zu beziehen, das Batterierecycling wäre einfach. Bisher lag der größte Nachteil dieser Batterieart darin, dass sie sich rasch selbst entladen und ein Wiederaufladen unmöglich ist, da die Elektrode vom Elektrolyten zersetzt wird. Forscher versuchen nun mit Hilfe von Öl, den Zerstörungsprozess zu verhindern. Wird der Akku nicht benötigt, wird der Elektrolyt durch Öl ersetzt und umgekehrt. Dadurch lässt sich die Lebenszeit der Batterie zwar verlängern, von einer Alltagstauglichkeit ist diese Technologie aber weit entfernt. Eine andere Möglichkeit bestünde darin, die Aluminium-Luft-Brennstoffzelle nicht wieder aufzuladen, sondern sie auszutauschen – ein Vorgang, der etwa 90 Sekunden Zeit in Anspruch nehmen würde (vgl. Borderlands of Science o.J.).

Eine Erhöhung der Reichweite bei gleichzeitig niedrigerem Gewicht des Akkus, niedrigeren Kosten bei der Herstellung, einer kürzeren Ladedauer, nur halb so viel Volumen und einer geringeren Brandgefahr verspricht die Technologie, die hinter der Produktion von **Feststoffbatterien** steht. Diese Akkus verzichten auf flüssige Elektrolyte und nutzen stattdessen feste Stoffe, wie beispielsweise Lithium oder Silber-Carbon, um die Ionen von der positiven zur negativ geladenen Elektrode und wieder zurückzuleiten. Besonders interessant scheint derzeit die Technologie von Samsung zu sein, die als Anode eine Silber-Carbon-Schicht verwenden und damit die unerwünschte Bildung von Dendriten verhindern. Auf diese Weise sollen Reichweiten von 800km und eine Lebensdauer von 800.000 km erzielt werden können (vgl. Huber 2022b; Ingenieur.de 2020a). Eine ebenfalls interessante Technologie für die Produktion von

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Feststoffbatterien hat das deutsche Fraunhofer-Institut gemeinsam mit dem niederländischen Institut TNO entwickelt. Mit Hilfe einer speziellen, besonders dünnen Atombeschichtung, der sogenannten **SALD**, sollen auch Feststoffbatterien produziert werden können, die über 1000km Reichweite aufweisen und innerhalb weniger Minuten aufladbar wären. Da die Beschichtung bei Raumtemperaturen durchgeführt werden kann, vereinfacht dies den Produktionsvorgang. Für die Massenproduktion bereit soll diese Technologie bereits 2023 sein (vgl. Jeß 2020; Fraunhofer IPA 2021; SALD BV 2021). Auch wenn derzeit alle großen Lkw-Fahrzeugproduzenten an Unternehmen beteiligt sind, die im Bereich der Feststoffbatterie forschen oder diesbezügliche Kooperationsverträge abgeschlossen haben, wird die Marktreife nicht vor 2026 erwartet (vgl. Jeß 2020, Holdenried 2021).

Einen anderen Ansatz verfolgen derzeit Wissenschaftler der TH-Göteborg. Sie nützen bei der **strukturellen Batterie** den primär aus Kohlestofffasern bestehenden Akku, der gleichzeitig als Teil der Karosserie dient. Für den Akku dienen Kohlenstoffasern als negative, eine beschichtete Folie aus Aluminium als positive Elektrode. Glasfasern trennen die Elektroden, der Transport der Lithium Ionen erfolgt mit Hilfe eines Elektrolyten. Derzeit bietet der Akku nur 24 Wh/kg als Energiedichte, allerdings lässt sich das Gewicht von Fahrzeugen und in der Folge der Energiebedarf mit Hilfe dieser Technologie wesentlich reduzieren (vgl. Stahl 2021).

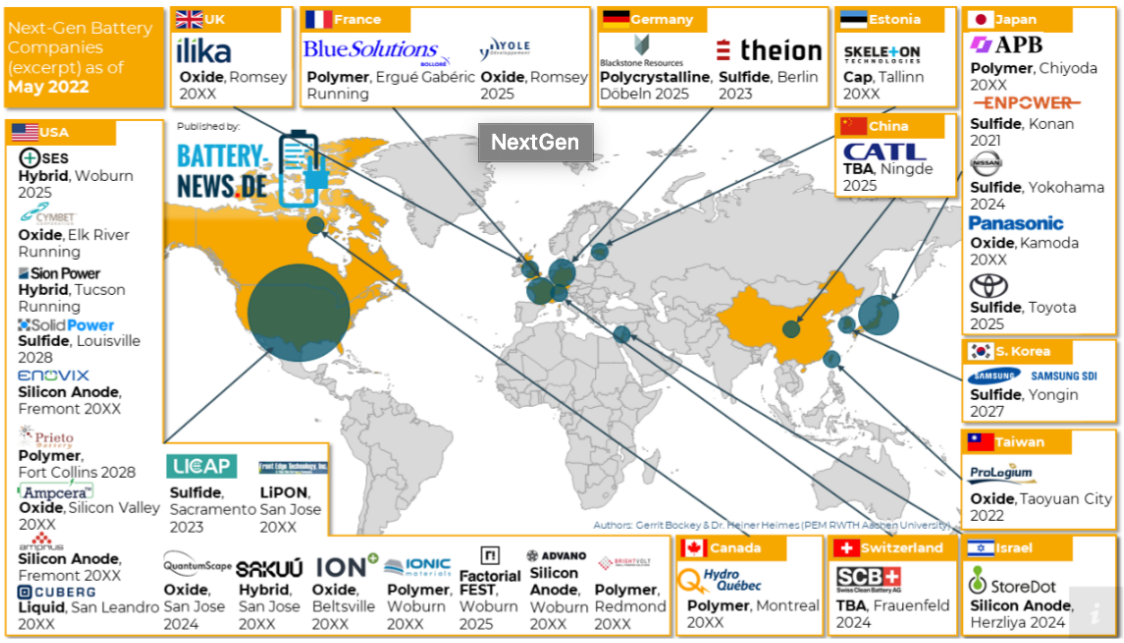


Abbildung 18: Hersteller von Zellen der nächsten Generation (Quelle: Bockey & Heimes 2022)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Aktuell arbeiten Unternehmen weltweit an der Entwicklung von Akkus einer neuen Generation (siehe *Abbildung 18*). Dennoch sind Feststoffbatterien, strukturelle Batterien sowie Aluminium- bzw. Zink-Luft-Batterien, die Reichweiten von 500 bis 1000km und darüber versprechen, noch nicht marktreif. Die Reichweite der derzeit am Markt befindlichen Fahrzeuge liegt bei etwa 200 bis 250km (vgl. Zimmermann o.J.). Dass viele Unternehmen aber auch damit das Auslangen finden können, zeigt eine Studie des Fraunhofer Instituts. Im Realeinsatz konnte gezeigt werden, dass sich Fahrzeuge mit Akku-Technologie vor allem für den Verteilverkehr in Städten eignen. So könnte etwa die Supermarktkette Rewe bereits jetzt sämtliche Touren im städtischen Bereich, die mit 12-Tonnern durchgeführt werden, mit Elektrofahrzeugen durchführen. Im Regionalverkehr wären immer noch rund 50% der Touren für E-Lkw geeignet (vgl. Link, Plötz, Griener et al., 2021). Allerdings muss beachtet werden, dass die Reichweite neben der Temperatur, dem Windwiderstand und der Beladung auch von der Fahrweise und vom Fahrzyklus und damit vom Einsatzzweck abhängt. Bleiben Fahrzeug häufig stehen und fahren wieder an, wie dies bei KEP-Dienstleistern und generell bei Zustellern im Stadtgebiet der Fall ist, erhöht dies einerseits den Verbrauch, andererseits kann die Energiegewinnung durch Rekuperation generell bei Lkw und sogar bei elektrifizierten Sattelanhängern sinnvoller eingesetzt werden (vgl. Volvo Trucks Deutschland o.J.; Kuther 2018). Weniger praktikabel sei derzeit allerdings der Einsatz dieser Technologie bei Lkw über 26t hzG sowie bei langen Tagestouren, bei denen keine längeren Pausen für das Ein-/Ausladen eingeplant sind, da das Aufladen der Akkus zu einer zeitlichen Verzögerung und damit zu höheren Kosten führen würde (vgl. Link, Plötz, Griener et al., 2021). Die Ladedauer, bis rund 80% der Ladekapazität erreicht sind, beträgt immerhin rund 1 Stunden, bei Schnelladen mit Gleichstrom bei 250k, bis 9 Stunden bei Wechselstrom mit 43 kW (vgl. Volvo Trucks Deutschland o.J.; MAN Österreich 2022).

Eine Möglichkeit, die Reichweite von Lkw zu erhöhen und diese gleichzeitig unabhängiger von dem Vorhandensein von Hochleistungsladesäulen entlang der Strecke zu machen, stellt die Kombination der Akku- mit der Photovoltaiktechnologie dar. Einer der Vorreiter ist die Firma Sono Motors, die an der Entwicklung eines Aufliegers arbeitet, der mit Hilfe der Sonne 80 kWh gewinnen können soll (vgl. Henßler 2021). Gemeinsam mit MAN Truck & Bus intensiviert Sono Motors die Forschung bzw. Entwicklung von Leicht-Lkw für die städtischen und den regionalen Lieferverkehr, die durch die Integration von Solarpanelen auf Dach, Motorhaube und Seitenwänden eine höhere tägliche Reichweite, eine unabhängige Versorgung von Kühlsystemen, Klimaanlagen und ähnlichem bzw. einen geringeren Ladebedarf am Logistik-Hub erzielen könnten (vgl. MAN Truck & Bus 2021c; Sono Motors o.J.). Auch wenn die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Technologie derzeit noch nicht ausgereift ist, lässt sie doch schon erkennen, wo der Weg der Akku-Technologie für Fahrzeuge hingeht.

Um das Gewicht der Akkus und damit der Fahrzeuge zu reduzieren und gleichzeitig die Nutzlast zu erhöhen, arbeiten die Ingenieure an der Erforschung leichterer Materialien, der Erhöhung des Wirkungsgrades der Akkus und an Technologien, die Akkus gleichzeitig als Teil der Karosserie verwenden (siehe strukturelle Batterien). Auf diese Weise soll es gelingen, die Nutzlast bei gleichbleibendem hzG nicht allzu stark zu reduzieren. Derzeit liegt beispielsweise das Eigengewicht der 680 kWh-Batterie des Futuricum Logistics 18E, der auf einem Volvo-Lkw basiert, bei 4,5 Tonnen (vgl. Ecomento.de 2021b). Bis zum Jahr 2030 soll sich laut Experten der Gewichtsunterschied zwischen E-Lkw und Diesel-Lkw in Richtung Null reduziert haben (vgl. Teslamag 2021b).

Bereits seit 2018 im Einsatz und damit einer der ersten Lkw mit der neuen Akku-Technologie auf öffentlichen Straßen, ist der 26-Tonner eTGM von MAN mit einer Reichweite von 190km (vgl. MAN Österreich 2022). In den nächsten Monaten neu auf den Markt kommt der Tesla SEMI-Truck, eine Sattelzugmaschine mit 40t hzG und einer Reichweite von maximal 800km. Aus Großbritannien stammt der 7,5t von TEVVA, der mit einer Mischung aus Wasserstoff-Brennstoffzellen- und Akkuantrieb eine Reichweite von 500km verspricht. Eine Reichweite von 250km und eine Ladezeit von 55 Minuten für 80% Kapazität im Schnellademodus, verspricht der neue E-Truck von Scania. Der E-Actros, der bisher nur als Testversion zur Verfügung stand, wird 2022 mit einer Reichweite von rund 400 km (mit vier Akkupacks) und einer Ladezeit von etwas mehr als einer Stunde (80% Kapazität bei Schnelladen) ausgeliefert (vgl. Daimler Truck o.J.a). Derzeit unklar ist allerdings, welche Auswirkungen der Ukraine Krieg auf die Weiterentwicklung und Produktion der Lkw hat. So musste MAN bereits Mitte März 2022 die Fließbänder komplett anhalten oder die Produktion massiv drosseln. Außerdem werden derzeit alle Kosten daraufhin überprüft, ob sie derzeit geschäftsrelevant sind (vgl. Manager Magazin 2022).

3.3. Rahmenbedingungen für Antriebstechnologien im österreichischen Straßengüterverkehr

3.3.1. Rechtliche Regelungen auf Ebene der Europäischen Union

Als Beginn der engagierten CO_2-Reduktionspläne der Europäischen Union und ihrer Mitgliedsstaaten kann das Pariser Abkommen, das Ende 2015 im Rahmen der UN-Klimakonferenz ausgearbeitet wurde, gelten. Das Ziel der Staaten, die seither das Abkommen unterzeichnet haben,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

besteht darin, den Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur im Vergleich zur vorindustriellen Zeit auf weniger als 2°C, wenn möglich auf 1,5°C, zu begrenzen und auch für die dafür erforderlichen finanziellen Mittel zu sorgen. Nachdem es von 55 Mitgliedsstaaten, darunter alle EU-Mitgliedstaaten, unterzeichnet wurde, trat das Abkommen schließlich am 4. November 2016 in Kraft. Seither sind beinahe alle relevanten CO_2-Verursacher beigetreten (vgl. Europäische Kommission o.J.).

Um die Ziele des Pariser Klimaabkommens zeitnahe umzusetzen und sich in der Klimapolitik als Vorreiter zu positionieren, beschloss die Europäische Kommission am 11. Dezember 2019 den Green Deal, mit dem sich die Mitgliedsstaaten dazu verpflichten, bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2019 55% der Treibhausgasemissionen einzusparen (vgl. Europäische Kommission 2021, S.2) Um die Vorgaben des Green Deals konkret umzusetzen, hat die Europäische Kommission am 14. Juli 2021 das Richtlinienpaket „Fit for 55“ präsentiert. Dabei handelt es sich um insgesamt 12 Punkte, die dafür sorgen sollen, dass die Produktion und der Verbrauch von Energie, die Nutzung freier Flächen, der Güter- und Personenverkehr sowie die Steuerpolitik in den einzelnen Mitgliedsstaaten dazu beitragen, die Ziele des Green Deals zu erreichen (vgl. Bundeskanzleramt Österreich 2021).

Für den Straßenverkehr bedeutet dies, dass die Wende zur Emissionsfreiheit bzw. Klimaneutralität bis 2050 gelingen muss (vgl. Europäische Kommission 2021). Neuzugelassene leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5t hzG wie Lieferwägen müssen laut der EU nach derzeitigem Stand bereits ab 2035 mit alternativen Antrieben ausgestattet sein, wobei dazu auch Verbrennungsmotoren zählen, die mit synthetischen Kraftstoffen CO_2-neutral betrieben werden (vgl. Teslamag 2021a). Darüberhinausgehende Verbote für Lkw mit Dieselantrieb, die Lkw über 3,5t hzG betreffen, stehen derzeit weder auf EU-Ebene noch in Österreich vor der Umsetzung, werden allerdings angedacht (vgl. Anfragebeantwortung Bundesministerium für Klimaschutz, 10937/AB vom 08.08.2022 zu 11390/J (XXVII. GP).

Derzeit spielen Schwerfahrzeuge mit alternativem Antrieb in der EU aber noch keine große Rolle. So wurden 2021 in ganz Europa erst 346 Lkw mit Akkutechnik mit einem hzG ab 16t zugelassen. Bis Wasserstoff-Lkw am Markt erhältlich sein werden, werden noch einige Jahre vergehen. Dennoch muss das Ziel darin bestehen, die Entwicklung und den Vertrieb emissionsloser Fahrzeuge massiv voranzutreiben (vgl. Volvo Trucks Österreich 2022a). Auch deshalb setzt die Europäische Union im Verkehrsbereich auf Technologieoffenheit, die den Umstieg auf CO_2-neutrale Antriebsarten beschleunigen soll. So sieht der derzeit zur Begutachtung durch

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die Mitgliedsstaaten vorliegende Vorschlag der Europäischen Kommission vor, entlang der Hauptverkehrsachsen (TEN-V-Kernnetz) bis 2025 bzw. 2030 die erforderliche Infrastruktur aufzubauen, um die derzeit vielversprechendsten Alternativen zu fossilen Treibstoffen zu unterstützen. Dabei sollen der Personen- und der Güterverkehr gleich prioritär behandelt werden. Konkret soll ein Ausbauverpflichtung für Wasserstoff-, Power-to-Liquid, LNG (Liquefied Natural Gas) sowie 150-, 300- bzw. 600kW-Schnelladestellen beschlossen werden, wobei laut einem aktuellen Beschluss des Europäischen Parlaments im TEN-T-Kernnetz für den Straßengüterverkehr bis 2026 alle 60km Schnellladestationen und bis 2028 alle 100km Wasserstoffzapfsäulen aufgebaut werden müssen (vgl. Europäische Kommission 2021. Auch für städtische Gebiete soll ein verpflichtender Ausbau dieser Infrastruktur beschlossen werden (vgl. Europäische Kommission 2021; Europäisches Parlament 2022b).

Verschärfte Vorschriften für die Produzenten von Fahrzeugen sollen, wenn es nach dem Willen des Europäischen Parlaments geht, für die Kennzeichnung, den Einbau und die Reparaturfähigkeit von Akkus gelten (vgl. Batterie-VO). Neben einer Kennzeichnungspflicht bezüglich des ökologischen Fußabdrucks und der Nachhaltigkeit der Batterien (Kapazität, Lebensdauer in Zyklen und Kalenderjahren), soll darauf Wert gelegt werden, dass der Rohstoff- und Energieeinsatz für die Erzeugung und das Recycling genauso wie negative Auswirkungen für die Umwelt und die Bevölkerung minimiert, die Effizienz der Akkus und die Rückgewinnung von Rohstoffen wie Lithium, Nickel und Kobalt maximiert wird. Wenn die Lebenszeit des Akkus kürzer als jene des Fahrzeuges ist, sollen die Produzenten dazu verpflichtet werden, während der voraussichtlichen Lebensdauer Tauschakkus anzubieten und die Akkus auf eine Weise zu verbauen, dass er einfach austauschbar ist, und zwar nicht nur von Vertragswerkstätten, sondern auch von dazu befugten freien Werkstätten. Dabei soll es nicht erforderlich sein, den Akku auszubauen, um ihn zu entladen. Auf diese Weise soll es auch möglich sein, einzelne Zellen oder Module anstatt des gesamten Akkus auszutauschen. Die diesbezüglichen Regelungen sollen, wenn die Mitgliedsstaaten zustimmen, in den kommenden Jahren schrittweise umgesetzt werden (vgl. Batterie-VO).

Eine bereits umgesetzte Maßnahme zur Erhöhung der Akzeptanz alternativer Antriebstechnologien ist die Anhebung des hzG um bis zu 1t, sofern sich dieses zusätzliche Gewicht aus dem Antriebsstrang inklusive Akku bzw. Brennstoffzelle ergibt (*hz. Abmessungen- und Gewichte-RL*). Darüber hinaus haben Mitgliedstaaten wie Österreich bereits nationale Maßnahmen gesetzt, um die Lenkberechtigung der Führerscheinklasse B auf Kleintransporter bis 4,25t hzG

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

auszudehnen, sofern dieses Zusatzgewicht durch das Antriebssystem entsteht (BMVIT 2017, S. 3).

3.3.2. Nationale Vorgaben und Förderprogramme

Die Aktivitäten der österreichischen Bundesregierung zielen darauf ab, „[…] Transportvorgänge auf jene Verkehrsträger [zu] verlagern, welche für die jeweilige Transportnotwendigkeit am effizientesten sind […]“ (Heinfellner, Ibesich, Lichtblau et al., 2019, S.6). Für den Güterverkehr bedeutet dies eine möglichst umfassende Verlagerung auf die Bahn bzw. das Schiff. In jenen Bereichen, in denen dies jedoch nicht möglich ist bzw. aus anderen Gründen nicht geschieht, werden Antriebstechnologien forciert, die eine Transformation des Schwerverkehrs zumindest in Richtung Klimaneutralität erlauben (vgl. Heinfellner, Ibesich, Lichtblau et al., 2019, S.7). Neben einer schrittweisen Verteuerung fossiler Treibstoffe sollen veränderte rechtliche Rahmenbedingungen sowie Förderprogramme dazu beitragen, dass Lkw in Zukunft nicht mehr mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren, sondern mit alternativen Antrieben ausgerüstet sind (vgl. Heinfellner, Ibesich, Lichtblau et al., 2019, S.8).

Im Unterschied zur EU strebt Österreich im Rahmen des Güterverkehrs bereits für das Jahr 2030 ein Verbot für die Neuzulassung von leichten Nutzfahrzeugen an, die mit fossilen Treibstoffen betankt werden müssen. Für schwere Lastkraftfahrzeuge wird ein späterer Zeitpunkt angedacht, da in diesem Bereich alternative Antriebstechnologien noch nicht ausreichend ausgereift seien. Außerdem ist die Technologieoffenheit derzeit beschränkt. Da Verbrennungsmotoren mit einem Wirkungsgrad von nur 45% als ineffizient angesehen werden und die Herstellung synthetischer Treibstoffe aus erneuerbaren Energien genauso wie jene von Wasserstoff eine vergleichsweise geringere Energieeffizienz aufweisen, wird für leichte Nutzfahrzeuge die Akku-Technologie forciert, deren Wirkungsgrad mit rund 95% markant besser sei. Wie *Abbildung 19* (vgl. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021, S. 15) entnommen werden kann, ist die österreichische Bundesregierung technologieoffen. Prinzipiell wird im Güterverkehr zwar Akku-Technologie forciert. Im Bereich des Fernverkehrs wird jedoch auch die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie als sinnvolle Möglichkeit angesehen, um den Fahrzeugbestand rasch auf fossilfreie Alternativen umzustellen. E-Fuels sollten ausschließlich im Flug- bzw. Schiffsverkehr Anwendung finden (vgl. Heinfellner, Ibesich, Lichtblau et al., 2019, S.17; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021, S. 41)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

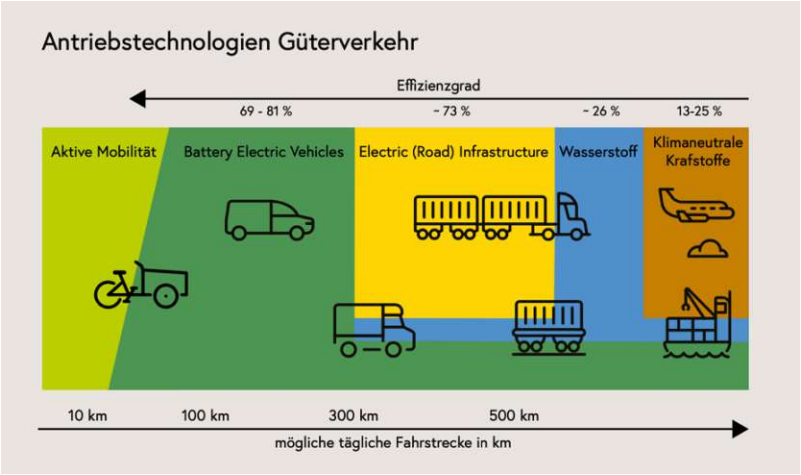


Abbildung 19: Rolle der unterschiedlichen Antriebstechnologien und deren Effizienz im Güterverkehr (Quelle: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021, S. 15)

Neben Verboten sollen auch diverse Förderungen bzw. Vorteile für klimaneutrale Fahrzeuge für einen Umstieg sorgen. Aktuell, mit Stand 12. Februar 2022, werden von Seiten des Bundes die Anschaffung von leichten E-Nutzfahrzeugen bis 3,5t hzG mit maximal €10.500,- gefördert, jene von schweren Nutzfahrzeugen mit €22.000,- (bis 12t hzG) bzw. €55.000,- (mehr als 12t hzG). Darüber hinaus stehen auch Fördermittel für die Ladeinfrastruktur zur Verfügung (siehe *Kapitel 3.3.3*). Neben dem Bund beteiligen sich die Importeure an dem Förderprogramm, allerdings nur mit bis zu €5.000,- pro Fahrzeug. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass sich die Voraussetzungen für und die Höhe der Förderungen laufend verändern. Dies betrifft auch jene Förderprogramme, die von einigen Bundesländern aufgelegt werden (vgl. Klima- und Energiefonds 2021, S. 4-5). Emissionsfreie Fahrzeuge unterliegen außerdem nicht der Normverbrauchsabgabe (§3. Abs.1 Z 1 NoVAG), die seit 1. Juli 2021 auch für leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5t hzG gilt und abhängig vom CO_2-Ausstoß bis zu 60% (im Jahr 2022) bzw. 80% (im Jahr 2024) betragen kann. Dabei werden die Grenzwerte, ab denen der Zuschlag gilt, bis 2024 jährlich heruntergesetzt (vgl. Gamillscheg 2021). Finanziell bevorzugt werden Fahrzeuge der Antriebsklasse E/H2, dabei handelt es sich um Lkw mit Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie, zudem bei der Autobahnmaut, die von den ASFINAG eingehoben wird. So werden beispielsweise für ein Schwerfahrzeug der Klasse E/H2 ab vier Achsen für Fahrten bei Tag 0,10577€ pro km verrechnet, für vergleichbare Lkw der Euroklasse VI (Fahrzeuge, die ab 2014 zugelassen wurden) und V (Erstzulassung 2008 bis 2013) liegt dieser Wert bei 0,42332€ bzw. 0,43966€ und für die Euroklasse III (Erstzulassung bis 2005) (vgl. WKO 2020b) ist mit 0,48366€ beinahe der fünffache Betrag zu bezahlen (vgl. Asfinag 2022). So fallen etwa für die Strecke Wien-Innsbruck bei angenommenen 500km (vgl. ÖAMTC o.J.) für einen Vierachser

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

der Kategorie E/H2 52,89 € an, für ein Fahrzeug der Euroklasse VI wären es 211,66€ und bei Lkw der Euroklasse III wären es sogar 241,83€. Bei monatlich zwanzig Fahrten hin und retour läge die Ersparnis bei monatlich 6.351€ für die Euroklasse VI bzw. 7.558€ für Lkw der Euroklasse III (vgl. Asfinag o.J.). Bedenkt man, dass in Zukunft für den Schwerverkehr eine flächendeckende Maut auf allen Straßen kommen könnte, wären die Ersparnisse sogar noch höher (vgl. Heinfellner, Ibesich, Lichtblau et al., 2019, S.59).

Als Anreiz für Unternehmen, auf Lkw mit Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umzusteigen, sollen auch Ausnahmen von Fahrverboten bzw. Vergünstigungen bei der Straßenmaut dienen. So hat beispielsweise das Land Tirol auf Basis des IG-L (vgl. Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L)) in seinen Verordnungen zum sektoralen Fahrverbot für bestimmte Gütergruppen (vgl. Sektorales Fahrverbot-Verordnung), zum Nachtfahrverbot und zum Fahrverbot für schadstoffreiche Schwerfahrzeuge (derzeit bis Euroklasse V), die jeweils auf einem Streckenabschnitt der A 12 gelten, Ausnahmen für schadstoffarme bzw. -freie Lkw verankert (vgl. Gesamte Rechtsvorschrift für A12 Inntalautobahn, Nachtfahrverbot für Schwerfahrzeuge).

Bei einer weiteren Möglichkeit, die Transportbranche bei der Anschaffung von Lkw zu unterstützen, kann derzeit das deutsche Bundesland NRW als Vorbild genommen werden. Die dortige Landeregierung unterstützt Beschaffungsinitiativen, die Unternehmen durch eine Bündelung von Bestellungen dabei helfen, Skaleneffekte zu generieren und Fahrzeuge mit alternativem Antrieb zu niedrigeren Kosten anschaffen zu können (vgl. Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen 2022, S.7).

3.3.3. Versorgung mit Ladeinfrastruktur und Wasserstofftankstellen

Um Lkw mit alternativem Antrieb zum Durchbruch zu verhelfen, ist es unumgänglich, bereits im Vorfeld die dafür erforderliche Infrastruktur zur Verfügung zu stellen. Das Netz an Wasserstofftankstellen ist derzeit aber noch sehr überschaubar. In Wien existiert derzeit eine einzige öffentliche Wasserstofftankstelle für Busse und Lkw. Sie wurde Anfang 2022 von den Wiener Linien in Zusammenarbeit mit Wien Energie und den Wiener Netzen in Betrieb genommen. Neben der am Areal der Busgarage Leopoldau, im 21. Wiener Gemeindebezirk befindlichen Wasserstofftankstelle, die bewusst auch Unternehmen anbietet, die Infrastruktur für ihre Lkw oder Busse zu nutzen, soll bis 2023 in Wien-Simmering eine weitere Tankstelle in Betrieb gehen (vgl. Wiener Linien 2022; Kotrba 2021). Im Rest von Österreich gibt es inzwischen vier weitere H_2-Tankstellen, nämlich in Wr. Neudorf, Asten bei Linz, Innsbruck und Graz (vgl.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

ÖAMTC 2017). Nicht viel besser ist derzeit die Lage im restlichen Europa (vgl. H2 Mobility Deutschland o.J.). Dies hängt wohl auch mit den hohen Investitionen von mehr als 1 Mio. € für eine Wasserstofftankstelle (mit einer Zapfsäule) zusammen (vgl. Oel 2020).

Ähnlich sieht es derzeit auch bei der Ladeinfrastruktur für E-Lkw aus. Es existieren zwar schon beinahe flächendeckend Ladestationen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, für schwere Lkw existieren in Europa Mitte 2021 zehn passenden Schnellladestellen, die öffentlich zugänglich sind (vgl. Murphy & Fasse 2021). Die für Pkw vorgesehene Infrastruktur kann in den wenigsten Fällen genutzt werden, da erstens die Zufahrts- und Haltemöglichkeiten nicht vorhanden sind und zweitens die Leistung herkömmlicher Ladesäulen nicht ausreicht, um einen Langstrecken-Lkw in zumutbarer Zeit zu beladen (vgl. Wilkens 2021). Allerdings muss für die Errichtung von sechs MW-Ladesäulen mit 34 Ladepunkten für das Laden über Nacht mit rund 8,5 Mio. Euro gerechnet werden (vgl. PwC Strategy& Austria 2022). Dass Schnellladestecker außerdem noch nicht genormt sind, erschwert den Aufbau eines passenden Netzes an Schnelladetankstellen für schwere Lkw weiter (vgl. Ecomento.de 2019). Derzeit nutzen die meisten Unternehmen, die bereits E-Lkw in Betrieb haben, eigene Betriebstankstellen. Das mag zwar im Nah- und Regionalverkehr ausreichend sein, sicherlich aber nicht im Fernverkehr (vgl. Schaal 2021b; Plank 2021; Tober, Bruckmüller & Fasthuber 2019).

Da sich die Produzenten von Schwerfahrzeugen mit alternativem Antrieb dieser Problematik bewusst sind, fordern sie von der EU und den Nationalstaaten ein rasches Handeln, um die ausreichende Versorgung mit Lade-/Tankinfrastruktur zumindest entlang der Hauptverkehrsrouten sicherzustellen (vgl. Murphy & Fasse 2021). Tatsächlich sieht die Richtlinie der Europäischen Kommission zur Umsetzung des Fit-for-55 Programms für den Verkehrssektor vor, die Mitgliedsstaaten zum Aufbau einer solchen Infrastruktur zu verpflichten (siehe *Kapitel 3.3.1*).

Um Lkw im Fernverkehr Schnelladen zu ermöglichen, wären Megawatt-Ladepunkte erforderlich. Derzeit forscht eine Gruppe, der neben dem Austrian Institute of Technology Unternehmen wie AVL List, Infineon Technologies, XelectriX Power und EnerCharge angehören, an der Konstruktion und Vernetzung einer Multimegawatt-Mittelspannungs-Schnellladestation/Infrastruktur. Das unter der Bezeichnung MEDUSA laufende Projekt soll einerseits das Schnellladen für Schwerfahrzeuge mit bis zu 3 MW, andererseits ein verteiltes Laden mehrerer Fahrzeuge mit einer niedrigeren Leistung ermöglichen (vgl. FFG o.J.b). Die in Österreich von Seiten des Bundes zur Verfügung stehenden Förderungen mit 30.000 € pro öffentlichem DC-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Schnelladepunkt ab 100 kW reichen allerdings nicht aus, um in absehbarer Zeit mit der Errichtung einer solchen Infrastruktur beginnen zu können (vgl. Klima- und Energiefonds 2021, S.14). Eine andere Möglichkeit des Aufladens prüft derzeit die BOKU mit einigen Partnern. Unter dem Projekttitel E-ASY Charge sollen Lkw mit Hilfe von Laderobotern auch an Orten aufgeladen werden können, an denen nur ein kurzer Halt geplant ist, wie dies beispielsweise bei der Belieferung von Filialen der Fall ist. Durch dieses laufende Nachladen soll die Infrastruktur der Logistikhubs vor einer Überlastung bewahrt werden (vgl. Klima- und Energiefonds o.J.).

Zusätzlich wären gemäß den Aussagen des europäischen Herstellerverbandes ACEA bis 2030 42.000 öffentliche (Schnell)ladepunkte und 1000 Wasserstofftankstellen für Lkw erforderlich, um die Vorgaben der EU hinsichtlich der Umstellung der Flotte auf Lkw mit alternativem Antrieb bewerkstelligen zu können (vgl. Plank 2021). Auch die Europäische Kommission, die laufend die Pläne der Mitgliedsstaaten zum Ausbau der Infrastruktur bewertet, bemängelt, dass *„der derzeitige Aufbau […] nicht zu einem flächendeckenden und vollständigen Netz einer leicht nutzbaren Infrastruktur [führt], das die gesamte Union abdeckt, da die Pläne der Mitgliedstaaten nach wie vor große Unterschiede aufweisen […]. Darüber hinaus werden mit dem Klimazielplan für 2030 noch ehrgeizigere Vorgaben gesetzt, indem das EU-Ziel für die Verringerung der Treibhausgasemissionen bis 2030 auf 55 % angehoben wird. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine deutlich stärkere Zunahme der Zahl emissionsfreier und emissionsarmer Fahrzeuge sowie ein angemessener Ausbau der Infrastruktur erforderlich.“* (Europäische Kommission 2021, S.2).

Derzeit existieren überwiegend Pläne der Lkw-Produzenten, ein Netz an Hochleistungsladesäulen aufzubauen. So planen etwa die Konkurrenten Volvo, Daimler und Traton, innerhalb der kommenden fünf Jahre gemeinsam eine halbe Milliarde Euro aufzubringen, um mit Hilfe einer eigenen Firma entlang der wichtigen Fernrouten 1700 Ladepunkte zu errichten (vgl. Murphy & Fasse 2021). Verglichen mit den rund 218.000 Sattelzugmaschinen, die allein in Deutschland zugelassen sind, wird dies allerdings nicht ausreichen, wenn bis 2030 auch nur ein Teil der Flotten auf Akkubetrieb umgestellt werden soll (vgl. Kords 2022).

Eine Alternative zu Schnellladesäulen stellen Batteriewechselsysteme dar, die derzeit in Erprobung sind. Statt leere Akkus aufzuladen, könnten sie mittels automatisierter Systeme gegen volle Batterien ausgetauscht werden. Der Vorteil besteht einerseits darin, dass ein Wechselvorgang nicht mehr Zeit als ein herkömmlicher Tankvorgang in Anspruch nimmt und andererseits

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die Akkus eine längere Lebensdauer haben, wenn auf Schnellladen verzichtet wird. Da die Modellvielfalt bei Lkw geringer als bei Pkw ist, ließen sich Batteriesysteme leichter normieren und somit eine Grundvoraussetzung für den Einsatz dieser Technologie schaffen (vgl. TU Berlin 2021; Werwitzke 2020). In China baut der zweitgrößte chinesische Automobilproduzent Geely derzeit bereits eine vollautomatische Tauschstation für Lkw-Akkus auf, welche es Zementmischern und Sattelschleppern erlauben sollen, in fünf Minuten mit einem aufgeladenen Akku weiterzufahren (vgl. Sciurti 2022). Ein ähnliches System wird für Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie angedacht. In diesem Fall sollen mit Wasserstoff befüllte Kapseln, die im Fahrzeug mitgeführt und unkompliziert angeschlossen werden können, für eine Erhöhung der Reichweite sorgen, falls keine Wasserstofftankstelle angefahren werden kann (vgl. Maahn 2022).

3.4. Ökonomische Aspekte

3.4.1. Mikroökonomische TCO-Analyse alternativer Antriebstechnologien des ifeu (Kosten auf betrieblicher Ebene)

Das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) kommt in seiner Potentialanalyse alternativer Antriebstechnologien zu dem Ergebnis, dass Lkw mit Akku-Technologie schon 2030 unter den Total Cost of Ownership (TCO) vergleichbarer Dieselfahrzeuge liegen werden (*zentrale Parameter siehe Anhang, Abschnitt E*). Zwar werden laut Ansicht der Studienautoren die Anschaffungskosten für Lkw mit Akku-Technologie trotz sinkender Produktionskosten auch 2030 noch über jenen vergleichbarer Dieselfahrzeugen liegen, jedoch sollten zu diesem Zeitpunkt die Vollkosten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Fahrzeugeinsatzprofile bereits bei 98% aller innerdeutscher Fahrten niedriger als jene von Dieselfahrzeugen sein (siehe *Abbildung 20*) (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2022, S.7).

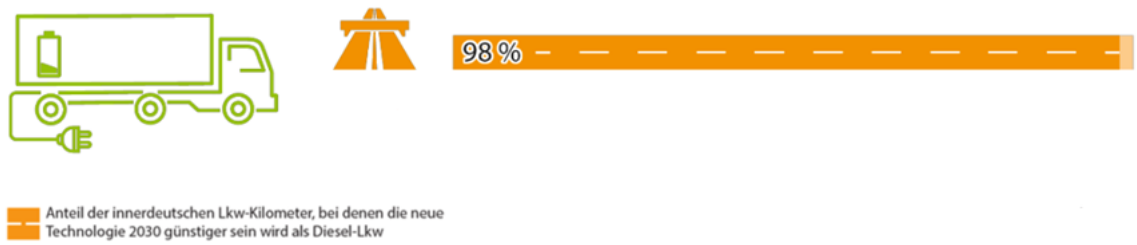


Abbildung 20: TCO-Vorteilhaftigkeit von Lkw mit Akku-Technologie bei Binnenfahrten im Jahr 2030 unter Berücksichtigung des Einsatzprofils (Quelle: Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Jöhrens, Allekotte, Heining, et al., 2022, S. 7)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Im Fernverkehr hängt der Kostenvorteil von Lkw mit Akku-Technologie primär von der notwendigen Batteriegröße ab, die wiederum davon beeinflusst wird, inwieweit es möglich ist, auf der Strecke nachzuladen (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2022, S.7).

Bei den TCO von Fahrzeugen mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie hängt deren Vorteilhaftigkeit gegenüber Lkw mit Dieselantrieb vor allem von den Kosten des eingesetzten Wasserstoffs ab. Generell gilt, dass Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie rund 30 bis 40% teurer als vergleichbare Lkw mit Akku-Technologie sind, falls der Wasserstoff in Deutschland erzeugt und um geschätzte 9,45 €/kg an den Tankstellen verkauft wird (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2022, S. 10 & 32). Unter dieser Annahme liegen die TCO eines Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bei allen Fahrzeugeinsatzprofilen über jenen von Diesel-Lkw. Können hingegen bis 2030 ausreichend große Mengen an Wasserstoff günstig aus dem Ausland importiert werden, wäre ein Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bei unterstellten 4,57 €/kg Import-Wasserstoff auf 31% der Inlandsfahrten kostengünstiger unterwegs als ein vergleichbares Fahrzeug mit Dieseltechnologie (siehe *Abbildung 21*) (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2022, S.8).

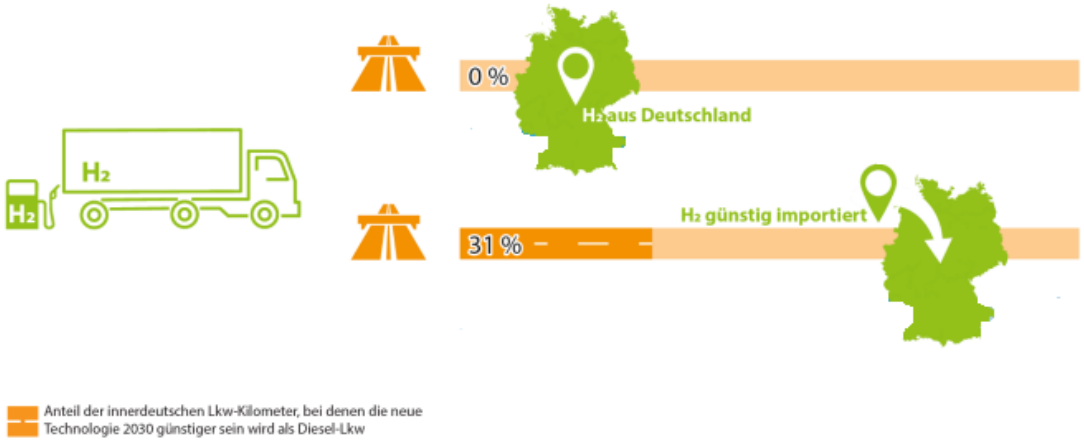


Abbildung 21: TCO-Vorteilhaftigkeit von Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bei Binnenfahrten im Jahr 2030 unter Berücksichtigung des Einsatzprofils und der Wasserstoffpreise (Quelle: Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Jöhrens, Allekotte, Heining, et al., 2022, S.8)

Wie hoch die tatsächlichen Vollkosten im Jahr 2030 sein werden, hängt aber nicht nur von der tatsächlichen Höhe der Strom- bzw. Wasserstoffkosten, den Rohstoffpreisen bzw. der Verfügbarkeit von Rohstoffen und dem Ausbau der Tank-/Ladeinfrastruktur ab, sondern auch vom Zeit- und Streckenmanagement, das dafür verantwortlich sein wird, inwieweit

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Zwischenladungen unterwegs ohne zusätzliche Pausen möglich sind (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2022, S.7).

3.4.2. Makroökonomische THG-Vermeidungskosten-Analyse alternativer Antriebstechnologien (Volkswirtschaftliche Kosten)

Unter volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten sind die höheren Kosten, die Lkw mit alternativen Antriebstechnologien im Vergleich zu solchen mit herkömmlichen Dieselmotoren aufweisen, die sogenannten Differenzkosten, jenen Treibhausgasemissionen gegenüberzustellen, die durch den Einsatz neuer Technologien vermieden werden können. Die Differenzkosten, die sich auf Deutschland beziehen, in Österreich aber wohl vergleichbar sind, beinhalten alle Kosten, sowohl jene von staatlicher Seite als auch jene von Seiten der Bereitsteller von Infrastruktur und von Seiten jener Unternehmen, die die Fahrzeuge nutzen (vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S. 20). Nähere Informationen zu den verwendeten Parametern sowie eine Tabelle mit den Anschaffungs- und Wartungskosten können dem Anhang (siehe *Anhang, Abschnitt F*) entnommen werden.

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse der Vermeidungskosten-Studie der NPM zeigen, dass derzeit „keine Fokussierung auf einen einzigen Technologiepfad empfohlen werden“ (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S. 4) könne, aber es langfristig sinnvoll sei, sich auf dem Sektor des Straßengüterverkehrs entweder für die Akku- oder die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie zu entscheiden, um die Investitionskosten für den Infrastrukturausbau gezielt bündeln zu können (vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.4). Wie *Abbildung 22* entnommen werden kann, liegen die Vermeidungskosten für eine Tonne CO_2-Ausstoß bei einem Lkw mit einem hzG ab 20t unter Verwendung der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bei 1.164 €/t eingespartem CO_2, bei vergleichbaren Fahrzeugen mit Akku-Antrieb hingegen nur bei 443 €/t eingespartem CO_2. Daraus ergibt sich, dass die Akku-Technologie bei der THG-Vermeidungskosten-Analyse im Vergleich zur Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie weitaus besser abschneidet (vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.20).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

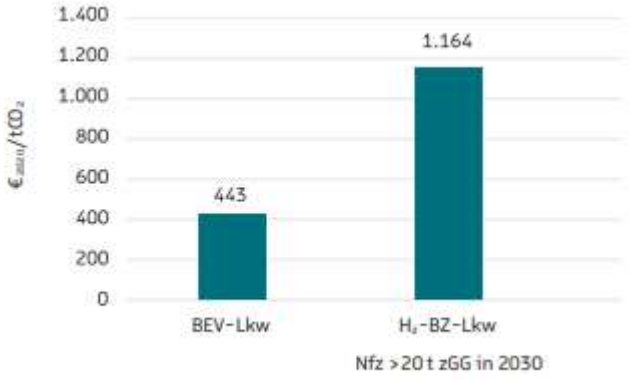


Abbildung 22: CO_2-Vermeidungskosten von NFZ >20t hzG mit Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Jahr 2030 in der WTW-Phase (Quelle: Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.20)

Laut der Studienautoren sei dies vor allem auf die derzeit sehr hohen Wasserstoffkosten bei Produktion im Inland, die höheren Kosten für die Errichtung der Tankinfrastruktur und die höheren Fahrzeuganschaffungskosten, die auch betriebswirtschaftlich relevant sind, zurückzuführen (vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.21). Bezieht man allerdings die Möglichkeit mit ein, Wasserstoff künftig in großen Mengen und zu niedrigeren Preisen mit Hilfe von überschüssigem grünem Strom im Inland herzustellen oder von Ländern außerhalb der EU zu importieren, unterstellt man gleichzeitig höhere Produktionszahlen und damit sinkende Stückkosten bei Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und staatliche Unterstützung bei der Errichtung der Infrastruktur, könnte eine Parität erreicht werden (vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S. 35 & 37). Bei der Prognose der Kosten für den Ausbau der erforderlichen Infrastruktur besteht zudem die Problematik, dass derzeit noch nicht absehbar ist, wie rasch und umfangreich betriebsinterne Ladeinfrastruktur aufgebaut wird. Im Sinne der Erreichung der Klimaziele sei es aus makroökonomischer Perspektive somit sinnvoll, kurz- und mittelfristig technologieoffen zu agieren, um einen möglichst raschen Umstieg auf alternative Antriebe zu ermöglichen (vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S. 35 & 37).

3.5. Aktuelle Limitationen der Technologien

Derzeit befindet sich die Gütertransportbranche erst am Beginn des technologischen Transformationsprozesses. So entfielen 2021 bei den in der EU zugelassenen leichten Nutzfahrzeugen gerade einmal 3 Prozent auf Fahrzeuge mit Akku-Technologie. Im Vergleich zum Jahr davor wurden mit 46.853 Akku-Leicht-Lkw sowie 25.496 Hybrid-Kleintransportern rund 63 bzw. 102 Prozent mehr Fahrzeuge mit alternativer Antriebstechnologie zugelassen. Werden diese Zahlen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

allerdings mit den rund 1,4 Millionen Kleintransportern mit Dieselantrieb, die 2021 in den EU-Mitgliedstaaten zugelassen wurden, verglichen, zeigt sich die derzeit noch geringe Akzeptanz der neuen Technologien (vgl. Ecomento.de 2022). Noch geringer sind derzeit die Zulassungszahlen von mittelschweren Lkw bis 16t hzG mit alternativem Antrieb, die vorwiegend im regionalen Verteilverkehr eingesetzt werden. Im Bereich des Fernverkehrs schließlich existiert noch kein entsprechendes Angebot von Seiten der Produzenten. So schließt beispielsweise Volvo zwar bereits Kaufverträge über E-Sattelzugmaschinen mit einem hzG von 44 t ab, die Produktion hat allerdings noch nicht einmal begonnen (vgl. Volvo Trucks Österreich 2022b). In allen Mitgliedstaaten der EU zusammen waren 2022 nur 346 Lkw mit Akku-Technologie und mehr als 16t hzG zugelassen (vgl. Leichsenring 2022). Noch geringer ist die Anzahl an wasserstoffbetriebenen Lkw mit Brennstoffzellen. Der Vorreiter Hyundai hat zwar bereits vereinzelte Fahrzeuge vor allem in die Schweiz ausgeliefert, dabei handelt es sich allerdings um einen Testmarkt (vgl. Hyundai Suisse o.J.). Mit einer Kapazität von maximal 500 Lkw pro Jahr, die seit 2021 in den Niederlanden produziert werden, zählt der US-Hersteller Hyzon derzeit zu den größten Anbietern in der EU, ausgeliefert wurden bisher allerdings auch erst einige wenige Stück (vgl. Schaal 2021a).

Worin liegen allerdings derzeit die Gründe dafür, dass im Güterverkehr immer noch überwiegend Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren verkauft werden? Neben dem fehlenden Angebot in manchen Fahrzeugkategorien spielt die mangelhafte Infrastruktur für die Zurückhaltung der Käufer bei Fahrzeugen mit alternativem Antrieb eine wesentliche Rolle (vgl. Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2021, S.15). Wie bereits im vorangegangenen Kapitel beschrieben, existiert aktuell innerhalb der EU weder ein ausreichend ausgebautes Netz an Wasserstofftankstellen noch an Schnellladesäulen für schwere Lkw und es ist noch nicht absehbar, wie lange der Aufbau dieser Infrastruktur dauern wird. Gleichzeitig wird zwar daran gearbeitet, die Reichweite von E-Fahrzeugen zu erhöhen und die Ladezeiten zu verkürzen, aber vor allem im Bereich des Fernverkehrs ist die Akku-Technologie noch nicht ausgereift. Dabei muss noch dazu berücksichtigt werden, dass sich die Reichweitenangabe der Hersteller auf die gesamte Akkukapazität bezieht. Um den Akku zu schonen, wird allerdings empfohlen, den Ladezustand nicht unter 20% und nicht über 80% zu halten. Noch dazu verlangsamt sich der Ladevorgang, wenn der Ladezustand des Akkus über 80% liegt. Tatsächlich können daher nur rund 60% der Akkukapazität im Betrieb genutzt werden (vgl. Wallner 2022).

Selbst die Hersteller verfügen noch über keine Erfahrungsberichte darüber, wie lange die Akkus im Echtbetrieb halten und beschränken sich auf Garantien von zwei bis drei Jahren (vgl. Volvo

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Trucks Deutschland o.J.) Ein Problem stellt auch das hohe Eigengewicht der Akkus dar, das dazu führt, dass entweder die Nutzlast geringer ausfällt oder das hzG steigen muss. Zudem verursacht das erhöhte Eigengewicht auch einen höheren Energieverbrauch (vgl. WKO 2022; Jancke 2021). Bei der Brennstofftechnologie wäre zwar die Reichweite vergleichbar mit jener herkömmlicher Fahrzeuge, dafür liegt die Haltbarkeit der Brennstoffzellen derzeit bei nur rund 5000 bis 10000 Betriebsstunden (vgl. UK Automative Council; Hausmann 2022; Verband der Automobilindustrie e. V. o.J.).

Trotz der Einschränkungen bei Reichweite, Nutzungsdauer und Nutzlast sind die Anschaffungskosten für Lkw mit Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie derzeit noch mehr als doppelt so hoch wie für vergleichbare Dieselfahrzeuge (vgl. Emoove.net o.J.). Staatliche Förderungen anlässlich des Erwerbs und des Betriebs von Güterfahrzeugen mit alternativem Antrieb wie auch die staatliche Unterstützung von Einkaufsgemeinschaften zur Realisierung von Skalenerträgen sollen allerdings dafür sorgen, dass sich die Gesamtkosten in Zukunft angleichen (vgl. Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen 2022, S. 7; FFG o.J.a). Ein weiterer Ansatz wäre die Umrüstung von Bestandsfahrzeugen mit Verbrennungsmotor auf Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie, die bereits von Unternehmen wie Quantron angeboten wird, deren Akzeptanz in der Transportbranche aber noch nicht absehbar ist (vgl. Quantron o.J.; Werwitzke 2022).

Ob die Produzenten in Zukunft in der Lage sein werden, eine ausreichende Anzahl an Lkw mit Akku-Technologie zu produzieren, wird auch davon abhängen, inwieweit es gelingt, die bisher im Produktionsprozess benötigten Seltenerdmetalle durch Rohstoffe zu ersetzen, die in größeren Mengen vorhanden sind (vgl. Vbw 2021, S. 4). Bei einer jährlichen Produktion von Batterien im Ausmaß von 2.410 Gigawattstunden (GWh) würden die derzeit bekannten Lithiumvorräte theoretisch die Produktion für 54 Jahre abdecken, bei Nickel wären es 41 Jahre, bei Kobalt sogar nur 11 Jahre (vgl. Vbw 2021, S. 42). Gleichzeitig steigt die Bedeutung eines professionellen Batterierecyclings, um einer Kreislaufwirtschaft nahezukommen und mit Rohstoffen möglichst nachhaltig umzugehen (vgl. Vbw 2021, S.4). Neben der Herstellung der Fahrzeuge wird die Transformation des Straßengüterverkehrs in Richtung Nachhaltigkeit auch davon abhängen, inwieweit es gelingt, grünen Strom und Wasserstoff in ausreichender Menge zu produzieren. Dazu müssten nicht nur die Stromerzeugung mittels alternativer Energiequellen massiv ausgebaut werden. Bis zum Jahr 2050 wird in Europa eine Elektrolysekapazität für Wasserstoff in einem Ausmaß von jährlich rund 500 GW prognostiziert (vgl. Vbw 2021, S. 47). Für die Wasserstoffelektrolyse werden neben Nickel auch Iridium und Platin benötigt – Rohstoffe,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die ebenfalls schon bald knapp werden könnten (vgl. Vbw 2021, S.4). So wird 2040 allein für die Wasserstoffelektrolyse fünfmal so viel Iridium benötigt, wie 2018 weltweit produziert wurde (vgl. Vbw 2021, S.55).

Eine wichtige Hürde auf dem Weg zur Umstellung des Güterverkehrs auf Akku- und Wasserstofftechnologie wird die zur Verfügung stehende Menge an Energie und deren Produktionskosten sein. Im Jahr 2020 lag Österreichs energetischer Bruttoninlandsverbrauch bei 374,388 TWh (vgl. BMK 2021, S.10). Auf den Verkehrssektor entfielen rund 93,6 TWh und damit knapp ein Viertel des gesamten Verbrauchs (Statistik Austria 2021a). Wenn Österreich tatsächlich bis 2040 auf fossile Energien verzichten will, müsste der Ausbau bei erneuerbaren Energieträgern rasch vonstatten gehen. 2020 stammten erst 123,6 TWh aus Quellen wie Wasserkraft, Wind, Biomasse und Photovoltaik (vgl. BMK 2021, S.14). Dieser Wert müsste bis 2040 verdreifacht werden, wenn ein gleichbleibender Gesamtenergieverbrauch bei wachsender Bevölkerung und steigender Industrieleistung unterstellt wird. Bis 2030 ist bei den erneuerbaren Energien allerdings nur eine Zunahme von 27 TWh geplant und dieser Wert wird als ambitioniert beschrieben (vgl. KPMG o.J.). Der restliche Energiebedarf müsste über Importe abgedeckt werden, die allerdings erst recht auf Atomenergie oder fossilen Brennstoffen basieren könnten. Während in Österreich der Anteil der erneuerbaren Energien zumindest schon bei rund 30% liegt, stammen EU-weit erst 15,3% aus alternativen Quellen (vgl. ORF 2022).

Vor Beginn des Kriegs in der Ukraine und den damit verbundenen irrationalen Preisbewegungen für Gas an den Rohstoffbörsen und im freien Handel unterschieden sich die Produktionskosten von Wasserstoff noch hinsichtlich der Quelle des eingesetzten Stroms. So lagen die Levelized Cost of Hydrogen (LCOH) vor Kriegsbeginn bei Verwendung von Solarstrom bei etwa 6 €/kg, im Falle von Windenergie bei rund 4 €/kg. Wurde Erdgas eingesetzt, kostete ein kg blauer Wasserstoff rund 2,20 €/kg, bei Kohle als Energiequelle 1,62 €/kg (vgl. Göbelbecker 2022). Die Kosten für Gas und Kohle und in deren Gefolge auch für Strom und Wasserstoff haben sind jedoch aufgrund der Unsicherheit auf den Märkten wegen der reduzierten Liefermenge an russischem Gas massiv verändert, die Großhandelspreise für Energie sind EU-weit stark gestiegen. So lag der österreichische Gaspreisindex (ÖGPI) im September 2022 fast 380% über jenem des Vergleichsmonats im Vorjahr (vgl. Österreichische Energieagentur 2022). Ähnlich verhalten sich wegen der Preisbildung auf Basis des Merit-Order-Modells, bei dem die Kosten des teuersten für die Stromproduktion zugeschalteten Kraftwerks den Preis bestimmen, (vgl. Genoese 2018) die Großhandelspreise für Strom. Der Strompreisindex für Oktober 2022

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

veränderte sich wegen der im Netz befindlichen Gaskraftwerke im selben Zeitraum um rund 320% nach oben (vgl. Österreichische Energieagentur 2022).

Eine weitere Herausforderung besteht darin, den aus erneuerbaren Energiequellen gewonnenen Strom speichern zu können. Vor allem bei Wind- und Sonnenenergie ist die Grundlastfähigkeit, das heißt die Fähigkeit eines Kraftwerks, ständig eine bestimmte Menge an Strom zur Abdeckung des Grundbedarfs zu produzieren, derzeit nicht gegeben, da die produzierte Strommenge starken Schwankungen unterworfen ist (vgl. Günther 2018). Als Folge steigt die Komplexität des Lastenmanagements von Stromnetzen (vgl. Allhutter, Bettin, Brunner et al., 2022, S. 15). Wird zu viel Strom produziert, müssen derzeit Windkraft- bzw. PV-Anlagen vom Netz genommen werden, um dieses zu entlasten und Energie geht verloren. Bei Windstille und fehlender Sonneneinstrahlung fehlt hingegen die Energie, die zur Aufrechterhaltung der Grundlast erforderlich ist und ein großflächiger Stromausfall droht (vgl. Allhutter, Bettin, Kleinferchner et al., 2022, S. 1). Soll die Energiewende erfolgreich verlaufen, ist es für die künftige Versorgungssicherheit erforderlich, Strom aus erneuerbaren Quellen in Pumpkraftwerken, Akkus und in großen Mengen mittels Elektrolyse in Form von Wasserstoff zu speichern (vgl. Newton 2022).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4. Energieeffizienz und Umweltaspekte der neuen Antriebstechnologien

Um einen Vergleich der beiden Technologien in Bezug auf deren Nachhaltigkeit durchführen zu können, ist einerseits ihr Wirkungsgrad, andererseits ihr ökologischer Fußabdruck – von der Produktion der Fahrzeuge über den Betrieb bis hin zur Entsorgung. Zur Nachhaltigkeit zählt neben der Energieeffizienz allerdings auch der Umgang mit Rohstoffen, der in die Betrachtung miteinbezogen werden sollte.

4.1. Bedeutung der Rohstoffknappheit für die beiden neuen Antriebstechnologien

Bereits jetzt kündigen namhafte Lkw-Produzenten wie VOLVO und Daimler Trucks Verzögerungen bei der Auslieferung ihrer Fahrzeuge an, weil Halbleiter und damit Chips fehlen (vgl. WirtschaftsWoche 2022). Zurückzuführen ist dies unter anderem auf den Rohstoffmangel bei Silizium und Gallium, der durch die Corona-Pandemie und die Ukraine Krise verschärft wurde (vgl. Behr 2021; Schoppen 2022).

Insgesamt spielen Rohstoffe bei der Technologietransformation im Straßengüterverkehr eine wesentliche Rolle, nämlich sowohl bei der Elektrolyse von Wasserstoff als auch für die Produktion von Akkus. Vor allem bei den für die Akku-Technologie wichtigen Rohstoffe Kobalt, Lithium und Graphit bzw. bei Platin, Nickel und Iridium, die für die Elektrolyse eingesetzt werden (vgl. Maisel, Marscheider-Weidemann, Langkau et al., 2021, S. 7-11 & 18-24), sind wegen des negativen ökologischen bzw. sozialen Fußabdrucks in Folge des Rohstoffabbaus (u.a. Abholzung von Wäldern, Absinken des Grundwasserspiegels, fehlende soziale Standards für Minenarbeiter – siehe *Kapitel 4.1.1*), wegen Liefereinschränkungen im Zuge des Ukraine-Krieges oder wegen stark eingeschränkter natürlicher Vorkommen in Zukunft Probleme bei der Beschaffung zu erwarten (vgl. Manager Magazin 2022).

4.1.1. Rohstoffproblematik in der Akku-Technologie

Wenn im Jahr 2050 tatsächlich der Großteil der weltweit vorhandenen Fahrzeuge auf Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umgestellt sein sollte, würden pro Jahr rund 1 bis 1,3 Mio. Tonnen Lithium benötigt werden. Die gesamten derzeit bekannten Reserven, das sind jene Vorkommen, die sich mit heute bekannten technologischen Verfahren wirtschaftlich darstellbar nutzen lassen, liegen bei rund 14 Mio. Tonnen (vgl. Thielmann, Wietschel, Funke et al., 2020, S.14). Selbst bei Außerachtlassung aller anderen Einsatzgebiete wie 3-D-Drucker, PV-Anlagen oder Windräder (vgl. Bobba, Carrara, Huisman et al., 2020, S. 10), würden diese

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Reserven nur für maximal 14 Jahre reichen. Bei Kobalt, dessen Anteil an Batterien allerdings durch Forschung weiter reduziert werden soll, werden 2050 rund 200.000 t Verbrauch bei Reserven von 6,3 Mio. Tonnen prognostiziert (vgl. Thielmann, Wietschel, Funke et al., 2020, S.14). Allerdings wird Kobalt auch für die Herstellung von Drohnen, Robotern und in der Informationstechnologie (IT) benötigt (vgl. Bobba, Carrara, Huisman et al., 2020, S. 17). Für Nickel wird der Bedarf für Akkus im Jahr 2050 auf 5 Mio. Tonnen geschätzt, die Reserven auf 89 Mio. Tonnen (vgl. Thielmann, Wietschel, Funke et al., 2020, S.14). Nickel wird aber auch in der Photovoltaik, für 3-D-Drucker und Roboter sowie in der IT benötigt (vgl. Bobba, Carrara, Huisman et al., 2020, S. 17). Zusätzlich muss der kumulierte Verbrauch bis 2050 berücksichtigt werden, der bei Lithium von mindestens 14 Mio. Tonnen, bei Kobalt von 6 Mio. Tonnen und bei Nickel von 70 Mio. Tonnen liegt (vgl. Thielmann, Wietschel, Funke et al., 2020, S.14).

Neben ihrer Knappheit spielen bei manchen Rohstoffen auch problematische Abbaubedingungen bzw. die Herkunft aus bedenklichen Ländern eine wichtige Rolle. So stammen derzeit ca. 60% des abgebauten Kobalts aus der DR Kongo, die wegen Kinderarbeit, Menschenrechtsverletzungen und fehlender Schutzmaßnahmen für die Minenarbeiter unter Kritik steht (vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2017, S. 2). In Chile sorgt der Lithiumabbau für ein Absinken des Grundwasserspiegels, wodurch die Existenz vieler Kleinbauern gefährdet ist (vgl. Jerez, Garcés & Torres 2021, S. 1-2). In Afrika werden Wälder abgeholzt, um für die Mobilitätswende essentielle Rohstoffe abbauen zu können (vgl. Mitchell 2022). Die Aufbereitung erfolgt hauptsächlich in China, das diesbezüglich über 70% der weltweiten Raffineriekapazitäten verfügt (vgl. Arnold 2021). Aus China stammt auch 93% des in der EU verarbeiteten Magnesiums (siehe *Anhang, Abschnitt B*) (vgl. Europäische Kommission o.J.). Damit macht sich Europa bei der Technologiewende stark von einem einzigen Land abhängig. Wie gefährlich eine solche Entwicklung sein kann, zeigt das Beispiel Russland, dessen Anteil an der weltweiten Nickelförderung bei rund 11 % liegt. Dies führt aufgrund der aktuellen Wirtschaftssanktionen im Zuge des Ukraine-Krieges zu einer zusätzlichen Preissteigerung bei diesem Rohstoff (im März 2022 +250% innerhalb von zwei Tagen) (vgl. Stahl 2022).

Aus diesen Gründen wird es in Zukunft immer wichtiger werden, die wertvollen Rohstoffe, die in den Akkus enthalten sind, vermehrt wiederzugewinnen und in einem Kreislauf zu belassen. Das Ziel der EU besteht darin, bis 2030 mindestens 85 % der nicht mehr funktionstüchtigen Akkus zu sammeln und professionell wiederzuverwerten (Europäisches Parlament 2022a). Recycling allein wird allerdings nicht ausreichen. Unter der Prämisse, dass die Lebensdauer von Akkus auf mehr als zehn Jahre verlängert werden soll und im Anschluss eine

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Weiterverwendung als Speicher beispielsweise für Photovoltaik (PV)-Anlagen geplant ist, würde es zu lange dauern, bis die Batterien in den Recylingprozess gelangen. Ob es sinnvoll ist, neue Vorkommen zu suchen bzw. neue Technologien zur Förderung bekannter Ressourcen zu entwickeln hängt davon ab, wie umwelt- und sozialverträglich dies wäre. Deshalb muss es gelingen, neue Technologien zu entwickeln, die diese und andere knappe Rohstoffe wie Mangan und Graphit (vgl. Doll & Vetter 2017) zu ersetzen oder zumindest zu reduzieren. Genau an diesen neuen Technologien arbeiten derzeit weltweit sowohl kommerzielle Unternehmen als auch Forschungseinrichtungen.

So gibt es bereits einen Durchbruch bei Natrium-Ionen-Batterien, die eine sehr interessante Alternative zu Lithium-haltigen Akkus darstellen, ist dieser Rohstoff doch in großen Mengen und zudem auch in Europa vorhanden (Seibt 2022). Außerdem ist der Leistungsabfall bei niedrigeren Temperaturen geringer (vgl. Janczura 2021). Produzenten wie **CATL**, Faradion und Blackstone Technology sind gerade mit dem Aufbau von Pilotanlagen beschäftigt. Während CATL wegen der vergleichsweise geringen Energiedichte allerdings noch auf eine Kombination aus Lithium- und Natrium-Ionen setzt (vgl. Janczura 2021), plant Blackstone Festkörperbatterien ausschließlich auf Natrium-Ionen-Basis aus dem 3-D-Druck zu produzieren, wodurch sich die Energiedichte erhöht. Die Akkus sollen vorerst in einem Bus getestet werden, wären aber auch für Lkw denkbar (vgl. Kellerhoff 2022). Von einer Energiedichte, die etwa 90% jener von Lithium-Eisenphosphat-Akkus entspricht, geht das ehemals britische High-Tech-Unternehmen Faradion aus (vgl. Faradion o.J.), das gemeinsam mit dem britischen Zellhersteller AMTE einen Natrium-Ionen-Akku produzieren will (Amte Power o.J.), der nicht nur kälteunempfindlich sein soll, sondern auch durch eine Ladezeit von 15 Minuten überzeugen will (vgl. Jendrischik 2021). Einen ressourcenschonenden Ansatz verfolgt **Altris,** ein Spin-Off der Universität Uppsala. Altris plant, das von ihnen entwickelte Material Fennac an Produzenten von Natrium-Ionen-Batterien zu verkaufen. Im Unterschied zu den obengenannten Herstellern, die zwar auf Lithium und Kobalt verzichten, aber Rohstoffe wie Titan, Mangan, Magnesium und Nickel verarbeiten, setzt Altris auf Ressourcen, die weder knapp sind noch aus bedenklichem Abbau stammen. Die Kathode besteht aus Kohlenstoff, Eisen, Stickstoff und Natrium, die Anode aus Kohlenstoff und Biomasse, der Seperator aus Zellulosefasern, der Binder ist biobasiert und das nicht brennbare Elektrolyt ist fluorfrei. Gemeinsam mit der Firma Lifesize, einem Batterieproduzenten, haben sie eine Natrium-Ionen-Batterie entwickelt, wollen allerdings das Know-How und Fennac an große Akkuproduzenten verkaufen (vgl. Akalazia 2021). An einem Lithium-Ionen-Akku, der als Kathodenmaterial ein Abfallprodukt der chemischen Industrie, nämlich Schwefel statt den teuren und bedenklichen Rohstoffen Nickel und Kobalt einsetzt und

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Kohlenstoff als umweltfreundliche Alternative zu Kupfer und Aluminium verwendet, arbeitet **Theion**, ein deutsches Start-up. Bei der Produktion wird zudem weniger Energie verbraucht, da maximal 112 C° erreicht werden müssen. Erwartet wird zudem eine höhere Energiedichte von bis zu 900 Wh pro kg bzw. 1.500 Wh pro l und eine längere Lebensdauer von rund 2.000 Ladezyklen im Unterschied zu herkömmlichen Lithium-Ionen-Akkus, die maximal 1.500 Ladezyklen ermöglichen. Mit diesen Akkus soll zudem ein Preis von 30 pro KWh erreicht werden (vgl. Schaal 2022a; Theion o.J.).

Geforscht wird derzeit unter anderem auch an der Entwicklung eines Akkus, der aus Zellstoff und Aluminiumfolie besteht (vgl. Dietze 2021) und an „Ungeordnete Steinsalze-Mangan-Akkus“, die ebenfalls auf unproblematischeren Rohstoffen basieren.

4.1.2. Rohstoffproblematik in der Wasserstofftechnologie

Knappe Rohstoffe stellen aber nicht nur die Produzenten von E-Lkw vor große Herausforderungen. Bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie stellt sich die Frage nach der Versorgung mit Rohstoffen bereits vor der Produktion der Fahrzeuge. Statt mit Strom werden Brennstoffzellen mit Wasserstoff betrieben, der durch Elektrolyse gewonnen wird. Für die bisher üblichen Technologien werden ebenfalls Materialien benötigt, die auf der Liste der knappen Rohstoffe stehen.

So benötigt beispielsweise die Elektrolyse mit Hilfe des PEMEL Verfahrens Iridium. Der Bedarf an diesem Rohstoff allein für die Wasserstoffelektrolyse wird bis 2040 auf eine fünfmal so große Menge geschätzt, wie 2018 raffiniert wurde (vgl. DERA 2022b, S. 13). Da das zur Platin-Gruppe zählende Iridium, das unter anderem bei der Produktion von Nickel als Nebenprodukt anfällt, seltener als Gold ist, aber in der Industrie in unterschiedlichen Bereichen, wie beispielsweise in der Photovoltaik, zum Einsatz kommt, werden bei diesem Rohstoff Engpässe erwartet. Auch wenn der Verbrauch entsprechend der Entwicklung der letzten Jahre weiterhin nur um 3,8% steigt, wären die Elemente der Platin-Gruppe in knapp 50 Jahren aufgebraucht (vgl. Chemie.de o.J.b; Die Umweltberatung o.J.). Auch bei Scandium und Nickel, die bei der SOEL- bzw. AEL-Methode zum Einsatz gelangen, sind Engpässe zu erwarten. 2040 wird der Bedarf an Scandium, das zu den seltenen Erden zählt und beinahe ausschließlich aus China bezogen wird, auf 270% der Produktion von 2018 geschätzt (vgl. DERA 2022b, S.13). Bei Nickel wird davon ausgegangen, dass allein der Bedarf für künftige Akkus dazu führen wird, dass die Reserven in rund 40 Jahren aufgebraucht sein werden (vgl. Vbw 2021, S. 42). Als kritisch wird

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

zudem gesehen, dass Europa derzeit knapp die Hälfte des benötigten Nickels aus Russland bezieht (vgl. DERA 2022a).

Auch bei der Produktion von Brennstoffzellen kommt Nickel zum Einsatz. Außerdem werden Platin, Wolfram, Ruthenium und Palladium benötigt, die ebenfalls zu den knappen Rohstoffen zählen (vgl. Enargus o.J.). Noch dazu stammen derzeit über 70% der globalen Produktion von Platin aus Südafrika. Bei Iridium liegt dieser Wert bei 92%, bei Ruthenium bei 93%. Wolfram stammt zu 69% aus China, bei Palladium ist die Abhängigkeit von Russland hoch, auf das 40% der Weltproduktion entfallen (vgl. Europäische Kommission o.J.).

4.2. Vergleich der Technologien in Bezug auf deren Energieeffizienz und Umweltbelastung

Um die Ziele des europäischen Green Deals zu erreichen, wird es erforderlich sein, in Zukunft im Bereich der Mobilität, insbesondere im energieintensiven Güterverkehr, Technologien zu forcieren, die möglichst energieeffizient sind und die die Umweltbelastung minimieren (vgl. Umweltbundesamt 2022b). Wie *Abbildung 23* zeigt, umfasst der ökologische Fußabdruck, der in dieser Arbeit in Bezug auf den Rohstoffverbrauch, den Energieverbrauch und die CO_2-Belastung betrachtet wird, den Zeitraum von der Fahrzeugproduktion über den Betrieb bis hin zur Verwertung. Ein wichtiger Teil dieses Kreislaufsystems entfällt auf die in *Kapitel 2.1.8* näher erläuterten Phasen WTW, WTT und TTW.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

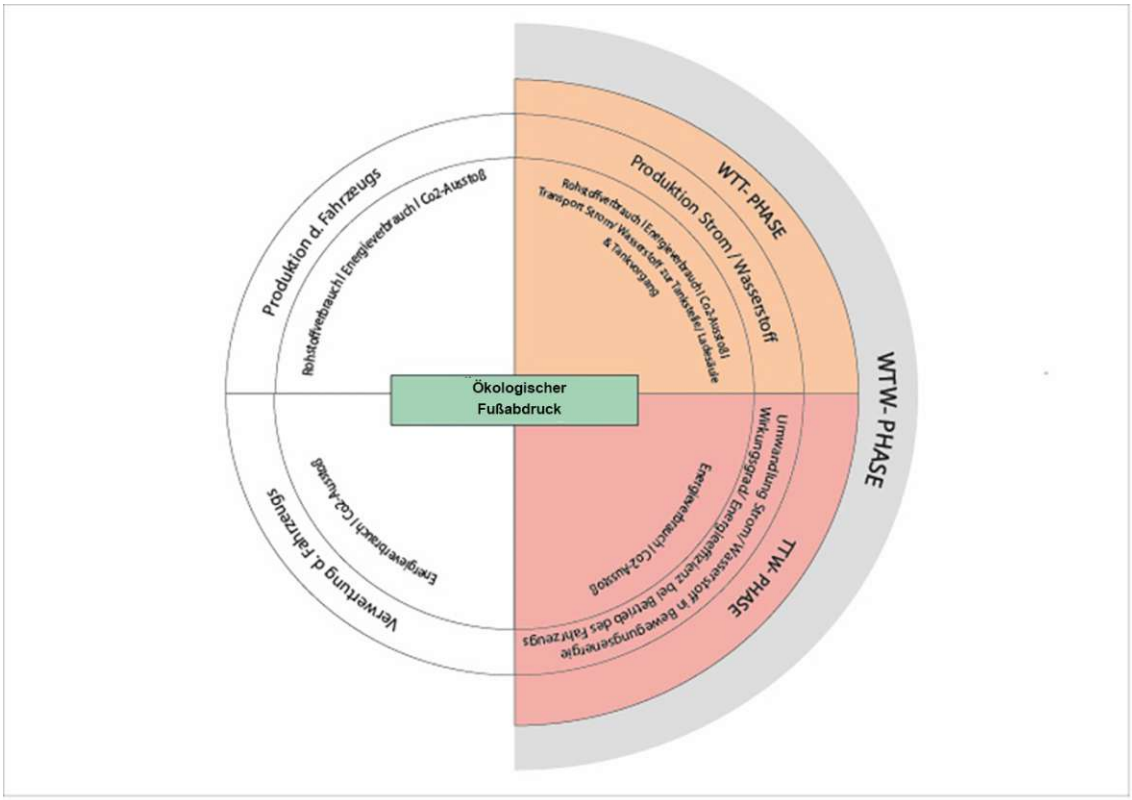


Abbildung 23: Ökologischer Fußabdruck von Fahrzeugen in den einzelnen Lebenszyklusphasen (Quelle: Eigene Darstellung)

Im Folgenden werden die Akku- und die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie in Bezug auf deren ökologischen Fußabdruck einander gegenübergestellt, um im Anschluss eine Bewertung hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit abgeben zu können.

4.2.1. Produktions- und Verwertungsphase der Fahrzeuge

Sowohl Fahrzeuge mit Wasserstoff-Brennstoffzellen- als auch solche mit Akku-Technologie sind in der Herstellung gegenüber Verbrennungsmotoren klimaschädlicher. Dies liegt vor allem an der energie- und rohstoffintensiven Produktion von Brennstoffzelle, Akku und Tanksystem. Im Vergleich zueinander ist der Unterschied jedoch relativ gering. Die Produktion eines kleinen Akkus mit 60 kWh verursacht ein CO_2-Äquivalent in Höhe von 17,4t, eine vergleichbare Brennstoffzelle liegt bei 17t. Daraus ergibt sich für die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie in der Produktion eine Ersparnis an CO_2-Äquivalenten von rund 2,27% (vgl. Umweltbundesamt 2021). Eine Hochrechnung dieses Wertes auf 900 kWh, die für einen 40t-Lkw im Fernverkehr erforderlich wäre, würde circa 261t CO_2-Äquivalente für die Akku-Technologie und etwa 255t CO_2-Äquivalente für die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie ergeben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Wie die Produktion erfordert auch das Recycling von Fahrzeugen am Ende der Nutzungsdauer einen hohen Energieeinsatz. Am schwierigsten ist wohl das Recycling der Akkus, da diese zuvor komplett entladen sein müssen. Die Zellen der Batterien werden im Anschluss thermisch aufgeschmolzen oder mechanisch geschreddert. Auch aus Brennstoffzellen sollen in Zukunft wertvolle Rohstoffe wiedergewonnen werden. Derzeit existieren aber erst einige Pilotanlagen, geeignete Verfahren werden gerade entwickelt. Wie umweltbelastend und energieaufwändig die Verwertung von Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen- oder Akku-Technologie tatsächlich ist, lässt sich derzeit noch nicht sagen (vgl. EnBW 2022; Fraunhofer IWKS 2020). Auch gibt es derzeit in Europa noch nicht genügend Alt-Akkus, die ein Hochfahren der Recycling-Kapazitäten rechtfertigen würden (vgl. Dietze 2022).

Um den ökologischen Fußabdruck möglichst gering zu halten, sollte jedoch das primäre Ziel darin bestehen, die Fahrzeuge bzw. die Akkus und Brennstoffzellen möglichst lang in Betrieb zu halten. Mit dem Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb kommen Lkw wie der GenH_2-Truck von Daimler derzeit auf eine Laufleistung von über 1,2 Mio. Kilometer. Dies entspricht mindestens 25.000 Betriebsstunden und bedeutet, dass die Haltbarkeit von Lkw und Antrieb in etwa übereinstimmen (vgl. Ecomento.de 2021a).

Die Laufleistung von Lkw mit Akku-Technologie ist geringer. Selbst mit den derzeit noch in Entwicklung befindlichen Feststoffbatterien sollen in Zukunft, wie in *Kapitel 2.4.1* erwähnt, nur rund 800.000 km erreicht werden, bis sie unter eine Kapazität von 70% fallen. Hohe Temperaturen während des Betriebs, eine Entladung unter 20%, ein ständiger Lastwechsel sowie eine Überladung können zu einer Reduktion dieses Wertes führen (vgl. Pell, Schörghuber, Schubert et al., 2020, S.44).

Sollte es den Lkw-Produzenten in Zukunft nicht gelingen, Tauschakkus zu wirtschaftlich konkurrenzfähigen Preisen zur Verfügung zu stellen, müssten reine E-Lkw bereits nach einer um rund ein Drittel kürzeren Nutzungsdauer als solche mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie verschrottet werden (vgl. Pell, Schörghuber, Schubert et al., 2020, S.44). Allerdings haben Akkus nach dem Einsatz in Fahrzeugen immer noch ein zweites Leben, beispielsweise als Teil eines stationären Speichers in Zusammenhang mit PV- oder Windkraftanlagen oder zur Stabilisierung der Stromnetze, wie in *Kapitel 4.4* näher ausgeführt wird. Die EU plant, mit Hilfe der Novellierung der derzeit gültigen Batterie-VO (vgl. Batterie-VO) in Zukunft genaue Vorgaben hinsichtlich einer Verpflichtung von Herstellern, den Austausch von Akkus und damit eine Ausweitung der Lebensdauer künftig genauso wie eine Umnutzung von Traktionsbatterien

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

sowie ein effizientes Recyclingsystem zu unterstützen. Mit Hilfe einer möglichst langen Nutzungsdauer, verpflichtenden Recyclingsystemen und dem Ausbau einer Kreislaufwirtschaft soll der ökologische Fußabdruck, der bei der Produktion von Akkus entsteht, reduziert werden (vgl. Batterie-VO). Es ist daher davon auszugehen, dass sich Lkw mit Akku-Technologie in Bezug auf jene Umweltbelastungen, die mit der Entsorgung in Zusammenhang stehen, jener von Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie annähern werden.

4.2.2. Wirkungsgrad/Energieeffizienz der Akku-Technologie nach den Betriebsphasen

Der Wirkungsgrad bzw. die Energieeffizienz der Antriebsarten (siehe *Abbildung 23*) hängt unter anderem auch von der jeweiligen Betriebsphase ab. Prinzipiell existieren drei unterschiedliche Phasen, nämlich Well-to-Tank (WTT), Tank-to-Wheel (TTW) und Well-to-Wheel (WTW), die bereits im Zuge der Definitionen und Abgrenzungen in *Kapitel 2.4.1* näher erläutert wurden.

4.2.2.1. Energieverlust während der WTT-Phase

Die WTT-Phase umfasst bei der Akku-Technologie den Zeitraum von der Produktion der (erneuerbaren) Energie bis zum Laden an der Ladesäule. Der Energieverlust, der während der WTT-Phase eintritt, ist für die Energieeffizienz der Antriebstechnologie hauptverantwortlich.

Transport und Zwischenspeicherung des erforderlichen Stroms

Während der Strom bei der Brennstoffzellen-Technologie für die Herstellung von Wasserstoff verwendet wird, wird er bei der Akku-Technologie direkt für den Antrieb verwendet. Dennoch treten auch bei dieser Technologie Energieverluste im Bereich der Stromnetze, der Durchleitung und der Transformation im Übergangsbereich der insgesamt vier Netzebenen (vgl. E-Control o.J.) auf, bevor der Strom an einer Ladesäule geladen werden kann. So beträgt beispielsweise bei einem Dreiphasensystem (Starkstrom) der Stromwärmeverlust, der durch den Widerstand in Übertragungsleitungen und Transformatoren auftritt inklusive den Ableitverlusten (Verluste aus der Isolierung) und den Koronaverlusten (spannungsabhängige Entladungsverluste) im Durchschnitt rund 6%. Mit zunehmender Entfernung steigen diese Verluste jedoch (vgl. Fricke, K.-G. 1994, S. 19-21).

Da die Produktion und der Verbrauch von Strom meist nicht synchron erfolgt, ist es zudem erforderlich, Strom zwischenzuspeichern. Üblicherweise erfolgt die Stromerzeugung in einem Großkraftwerk. Im Anschluss wird der Strom im Höchstspannungsnetz der Netzebene1 (§ 25

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

(5) ElektrizitätsWOG) zu einem Pumpspeicherkraftwerk weitertransportiert, wo die Energie verwendet wird, um Wasser bergauf in ein Speicherbecken zu pumpen und die elektrische Energie in Lageenergie umzuwandeln. Sobald zusätzlicher Strom benötigt wird, wird das Wasser abgelassen und treibt eine Turbine an, die aus der Wasserkraft wiederum elektrische Energie erzeugt (vgl. Verbund AG o.J.). Die Umwandlungsverluste im Pumpspeicherkraftwerk und die Zwischenspeicherung (ohne Verteilnetzwerke) betragen rund 12 bis 18%. Unter Berücksichtigung jener 6% Verluste, die in den Netzebenen entstehen, beträgt der Stromverlust daher etwa 18% bis 24% (vgl. Borsche, Ulbig, Andersson et al., 2016, S. 63-64) und summieren sich im österreichischen Stromnetz auf rund 3,1 TWh pro Jahr auf (vgl. Austrian Power Grid o.J.). Wird hingegen selbsterzeugter Strom, beispielsweise aus PV-Anlagen, direkt zur Aufladung der Fahrzeugbatterie verwendet, entfallen die Verluste durch den Transport und die Zwischenspeicherung (vgl. Borsche, Ulbig, Andersson et al., 2016, S. 63-64).

Die Energiewende, die vor allem auf der dezentralen Produktion von Strom in Solar-/Windkraftanlagen sowie Blockheizkraftwerke, die an das Nieder- und Mittelspannungsnetz angeschlossen sind, basiert (vgl. Bothor 2019, S.133) wird in Zukunft dazu führen, dass dieser unregelmäßig produzierte Strom über weitere Distanzen als bisher transportiert und in höherem Ausmaß als bisher zwischengespeichert werden muss, woraus sich noch höhere Energieverluste ergeben (vgl. TenneT o.J.).

Aufladung der Batterien

Gerade beim Schnellladen ist der Stromverlust hoch. Während des Ladevorgangs entsteht aufgrund des Widerstands ein Verlust an Strom, der in Wärme umgewandelt wird. Deshalb müssen die Ladekabel bei High Power Charger (HPC) gekühlt werden. Ein Wirkungsgrad von 95 % vom Trafo bis zum Ladekabel, führt dabei zu einem Verlust von 5 % des eingesetzten Stroms. Neben der Energie, die während der Transformation von Wechsel- in Gleichstrom (AC/DC), durch den Widerstand im Akku selbst sowie durch die Ladekabeln und -anschlüsse entweicht, führt auch die Leistungselektronik und damit der On Board Charger, der die Spannung regelt, mit der die Aufladung erfolgt und ein wesentlicher Teil des Batteriemanagementsystems ist, dazu, dass während des Ladevorgangs Energie verloren geht (vgl. Schmid 2019). Bei Tests des ADAC mit E-Pkw wurden modellabhängig Ladeverluste von bis zu 25% gemessen. Ungeklärt ist bisher, inwiefern sich die Daten auf Lkw mit Akku-Technologie übertragen lassen (vgl. Fleischmann 2020).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4.2.2.2. Energieverlust während der TTW-Phase

Der Akku eines E-Lkw benötigt nicht nur während der Fahrt Energie, auch während des Stillstandes geht Strom verloren, vor allem bei sehr hoher und sehr niedriger Umgebungstemperatur. Diese Selbstentladung, auch „Vampirverlust“ genannt, hängt mit chemischen Nebenreaktionen, die in den Zellen zwischen dem Lithium und dem Elektrolyten ablaufen, zusammen. Zudem kosten die in den Fahrzeugen befindlichen Batterieüberwachungssysteme ständig Energie, umso mehr, als die Restkapazität mit Hilfe einer App auch von außen abgelesen werden kann. Energie geht auch durch das Balancing zwischen Zellen verloren. Vor allem beim Schnellladen von Lithium-Ionen-Zellen oder beim Laden im Winter kommt es zu einer Einlagerung des Lithiums auf der Anode statt im Graphit. Dadurch verlieren die Zellen an Leistung. Da dieser Effekt nicht gleichmäßig auftritt, befinden sich in jedem Akku-Pack Zellen mit unterschiedlich hoher Leistung. Auch der Innenwiderstand variiert. Für die Ladung und Entladung ist die schwächste Zelle verantwortlich. Um eine kritische Tiefenentladung aber auch ein Überladen zu vermeiden, sorgt das BMS (Batteriemanagementsystem) dafür, einen gewissen SoC (State of Charge) nicht zu über- bzw. unterschreiten (vgl. Kuther 2018), Während des Fahrzeugbetriebs aber auch bei Stillstand misst ein integriertes CSE (Cell-Supervision-Electronics)-System ständig die Spannung der Zellen Das BMS gleicht Ladungsunterschiede selbständig aus, indem Zellen mit höherer Spannung automatisch entladen werden, bis ein Gleichstand erreicht wird (Balancing) (vgl. Zacher 2019).

Zu einer stetigen Entleerung der Akkus trägt auch die Übermittlung von Daten an die Batteriehersteller bei, die manche Hersteller automatisch durchführen. Bosch beispielsweise verwendet das „Battery in the Cloud“-System, bei dem die Batterie laufend Daten über den aktuellen Zustand der Zellen an eine Cloud übermittelt und das mit dem BMS vernetzt ist. Auf diese Weise werden Störungen frühzeitig erkannt und der Zustand der Batterie wird überwacht. Falls erforderlich kann mit Hilfe des BMS eingegriffen werden, oder wenn keine Verbesserungen möglich sind, auf den bevorstehenden Austausch des Akkus aufmerksam gemacht werden (vgl. Robert Bosch o.J.).

Der Grad der Selbstentladung hängt also nicht nur von der Art und dem Alter des Akkus ab, sondern auch von der Aktivität des Batteriemanagementsystems, einer möglichen Fernüberwachung der Batterie und der Umgebungstemperatur ab. Im Durchschnitt wird von einer Selbstentladung bei Stillstand von rund 8% pro Monat ausgegangen (vgl. Holzer 2020; Marx 2015, S.8).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4.2.2.3. Energieverlust während der WTW-Phase

Da die Energieverluste von der Stromproduktion bis zum Betrieb des Lkw von unzähligen Faktoren abhängen, ist eine allgemeingültige Angabe nicht möglich. Um auf den in *Abbildung 24* erwähnten Gesamtwirkungsgrad von 73 % (vgl. Göckeler, Hacker, Mottschall et al., 2020, S.44) zu kommen, müssten jene Verluste, die während der WTT-Phase bei der Zwischenspeicherung und der Energieumwandlung in Pumpspeicherkraftwerken auftreten, außer Acht gelassen werden. Ansonsten ergibt sich für die Akku-Technologie ein Wirkungsgrad von nur rund 60% (vgl. Holze 2019, S. 12-13).

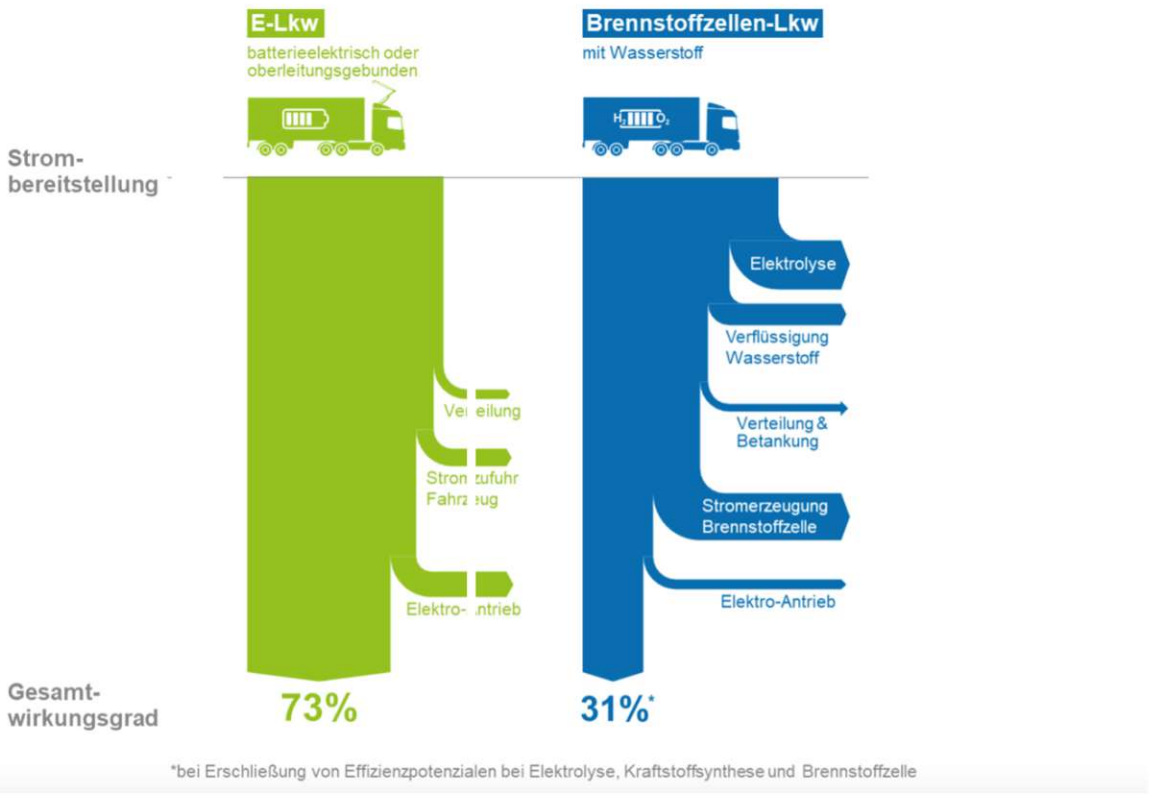


Abbildung 24: Wirkungsgradvergleich mit den Energieverlusten der beiden Antriebsoptionen Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (Quelle: Göckeler, Hacker, Mottschall et al., 2020, S. 44)

4.2.3. Wirkungsgrad/Energieeffizienz der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie nach den Betriebsphasen

Auch bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie treten in den einzelnen Phasen der Energiewirkkette (WTT, TTW, WTW) hohe Energieverluste auf, die den Wirkungsgrad reduzieren und damit Einfluss auf die Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit der Antriebstechnologie haben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4.2.3.1. Energieverlust während der WTT-Phase

Bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umfasst die WTT-Phase prinzipiell den Zeitraum von der Produktion des Stroms über die Wasserstoffelektrolyse bis hin zum Transport des Wasserstoffs, der Speicherung bei der Tankstelle und dem eigentlichen Tankvorgang.

Bisher wurde Wasserstoff, der selbst keine Quelle für Energie darstellt, sondern als Sekundärenergieträger gilt, vor allem aus Erdgas gewonnen. In Zukunft konkurriert die Erzeugung von Wasserstoff jedoch mit anderen Technologien um jene beschränkte Menge an Strom, die aus alternativen Energiequellen gewonnen wird (vgl. Bossel 2010, S.4). Bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie treten Energieverluste während der WTT-Phase vor allem bei der Wasserstoffelektrolyse und dem -transport auf (vgl. Bossel 2010, S. 5).

Transport und Zwischenspeicherung des erforderlichen Stroms

Die Phasen des Transports und der Zwischenspeicherung von Strom (siehe *Kapitel 4.2.2.2.1*) fallen bei der Wasserstoffelektrolyse meistens aus. Da die Elektrolyse große Mengen an Energie benötigt, werden die Großanlagen, die sich aktuell in Errichtung befinden, bewusst in unmittelbarer Nähe zu Stromerzeugern errichtet. So entsteht derzeit beispielsweise die mit einer Produktionskapazität von 40.000t Wasserstoff pro Jahr österreichweit größte Anlage im burgenländischen Nickelsdorf (vgl. Burgenlandenergie 2022). Gleichzeitig lässt der Betreiber der Anlage, die Burgenland Energie, im gesamten Land Windparks erweitern und PV-Anlage errichten, um mit diesem grünen Strom und mit Strom aus Wasserkraft der VERBUND AG auch die Elektrolyseanlage betreiben zu können. Damit können einerseits die entfernungsabhängigen Energieverluste, die während des Stromtransports auftreten, reduziert werden, andererseits entfällt die energieintensive Zwischenspeicherung beispielsweise in Pumpkraftwerken. Insgesamt muss daher in jenen Fällen, in denen die Stromerzeugung mittels PV- oder Windkraftanlagen in unmittelbarer Nähe zur Elektrolyseanlage erfolgt, mit einem Stromverlust von rund 6% gerechnet werden (vgl. Fricke, K.-G. 1994, S. 19-21; Kaiser 2022).

Produktionsphase des Wasserstoffs

Bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie muss zunächst aus Strom und Wasser Wasserstoff erzeugt werden. Unterhalb von -259 °C ist der Aggregatszustand von Wasserstoff fest, über -253°C ist er gasförmig, dazwischen flüssig. Für die Produktion eines Kilogramms Wasserstoff werden etwa 53 kWh Strom benötigt. Der Energiegehalt eines Kilos Wasserstoff liegt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

allerdings bei nur rund 33 KWh. Daraus ergibt sich während der Elektrolysephase ein Verlust von etwa 20 kWh, das entspricht rund 37,7% der Ausgangsenergiemenge (vgl. Gasag 2022).

Anlieferung des Wasserstoffs zur Wasserstofftankstelle

Der mittels Elektrolyse hergestellte Wasserstoff wird komprimiert oder verflüssigt, bevor er zur Tankstelle gebracht und dort gespeichert werden kann. Flüssiger Wasserstoff weist dabei mit 71 kg/m^3 eine höhere Energiedichte als gasförmiger mit 40 kg/m^3 auf (Fricke 2018). Dennoch wird auf kurzen Strecken Wasserstoff mit Tankwägen meist in gasförmigem Zustand transportiert, weil der für das Verflüssigen und Herunterkühlen erforderliche Energieaufwand, der bis zu einem Drittel der im Wasserstoff enthaltenen Energie beträgt, entfällt. Erfolgt der Transport hingegen über längere Strecken, wird wegen der höheren Energiedichte meist flüssiger Wasserstoff transportiert, der bei Erwärmung allerdings zum Abdampfen neigt (vgl. Stahl 2022; SFC Energy o.J.). In gasförmigem Zustand kann ein Wasserstoff-Trailer durchschnittlich 1.100kg Wasserstoff transportieren, in flüssigem Zustand liegt die Transportkapazität eines Tankwagens bei 4.000 kg (vgl. EMCEL GmbH 2019a).

Eine noch in Erprobung befindliche Technologie stellt die Kryokomprimierung dar, bei der der Wasserstoff einerseits gekühlt und verflüssigt, andererseits komprimiert wird und die Speicherung bei mindestens 300bar und bei rund -223°C erfolgt. Da eine Speicherdichte von knapp 80kg/m^3 erreicht wird, lässt sich die Transportmenge erhöhen und gleichzeitig der Boil-off-Verlust, der durch das Abdampfen in Folge von Erwärmung entsteht, verringert. Dennoch macht auch die Kryokomprimierung wegen des erforderlichen hohen Drucks bei gleichzeitig niedriger Temperatur nicht nur bei der Produktion, sondern auch beim Transport einen höheren Energieeinsatz als die beiden anderen Methoden erforderlich (vgl. Universität Augsburg o.J.; SAG o.J.).

Speicherung des Wasserstoffs bei der Wasserstofftankstelle

In der Folge kann der angelieferte gasförmige Wasserstoff bei Bedarf verflüssigt, oder flüssiger Wasserstoff in Gasform umgewandelt werden. Das ist deshalb notwendig, weil, abhängig vom eingesetzten System, entweder komprimierter, gasförmiger Wasserstoff in Druckbehältern bei 700 bar (für Pkw) bzw. 350 bar (für Lkw und Busse) oder gekühlter, flüssiger Wasserstoff bei -253°C in vakuumisolierten Kryotanks gespeichert wird (vgl. Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellen-Technologie 2013, S 2, 7 & 41; TÜV Süd o.J.b). In flüssiger Form neigt Wasserstoff dazu, nach einigen Tagen abzudampfen, wobei das entweichende Gas

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

zumindest teilweise aufgefangen und verwertet werden kann (vgl. Emcel 2019c & Weize 2006). Dafür ist die speicherbare Energiemenge bei flüssigem Wasserstoff wegen der höheren Energiedichte größer als bei gasförmigem (vgl. Wunderlich-Pfeiffer 2019). In beiden Fällen geht durch die Speicherung viel Energie verloren. Abhängig von der angewandten Technologie können die Verluste bis zu 10 Prozent betragen (vgl. Bossel 2010, S. 4).

Alternative: Elektrolyse direkt bei der Tankstelle

Alternativ kann Wasserstoff auch vor Ort mittels Elektrolyse produziert, oder in Einzelfällen mittels Pipeline angeliefert werden (vgl. Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellen-Technologie 2013, S. 7 & 30). Auf diese Weise entfällt nicht nur der Transport und das mehrmalige Umladen, sondern es können auch die Speicherverluste (Boil-Off) reduziert werden, da die Lagerbestände wegen der Möglichkeit, jederzeit nachproduzieren zu können, niedriger sind. Allgemeingültige Zahlen können allerdings nicht angegeben werden, da dies von der Art der Speicherung (Drück oder Verflüssigung), sowie Art und Länge des Transports (Lkw, Pipeline) abhängt. Ein durchgerechnetes Beispiel kann dem Anhang (siehe *Anhang, Abschnitt D*) entnommen werden.

Alternative: Elektrolyse vor Ort

Derzeit noch nicht serienreif, aber als Prototyp im Testbetrieb existieren Elektrolyseanlagen, die künftig unter anderem für die Nutzung im gewerblichen und industriellen Bereich zum Einsatz kommen sollen. Mit Hilfe von Strom, der aus der eigenen PV- oder Windkraftanlage gewonnen wird, kann vor Ort Wasserstoff hergestellt und für die Betankung des Fuhrparks verwendet werden. Mit einem solchen Verfahren, welches derzeit beispielsweise von GRZ Technologies, einem Spin Off der Technischen Hochschule Lausanne, gemeinsam mit Messer, dem weltweit tätigen Spezialisten für Industriegas, im Probebetrieb getestet wird, könnte der Wirkungsgrad von Wasserstoff weiter erhöht werden, da Energieverluste während des Transports und der Speicherung entfallen (vgl. GRZ Technologies o.J.; Messer Schweiz AG o.J.).

Tankvorgang

Sollte Wasserstoff in Kryotanks flüssig gelagert werden, muss er zunächst verdampft werden, bevor er getankt wird (vgl. Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellen-Technologie 2013, S. 38). Wird der Wasserstoff hingegen in gasförmigem Aggregatszustand in Vakuumtanks gespeichert (siehe *Abbildung 25*), wird er beim Tankvorgang stärker komprimiert und

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

in der Kühleinheit für das 350bar System (Lkw) auf 0°C gekühlt, um einerseits den Vorgang beim Tanken zu beschleunigen und andererseits den Temperaturanstieg, der durch den Druckanstieg im Tank erfolgt, zu kompensieren (vgl. Wallner 2021).



Abbildung 25: Komponenten einer Wasserstofftankstelle mit Vakuumtanks (Quelle: EMCEL GmbH 2022)

Gesamter Verlust während der WTT-Phase

Insgesamt kann implizit davon ausgegangen werden, dass ein Lkw mit 40t hzG, der auf 100km rund 7kg Wasserstoff verbraucht, dafür etwa 371 kWh Strom benötigt, wobei für den tatsächlichen Verbrauch allerding nur 231 kWh zur Verfügung stehen (vgl. Deutscher Wasserstoff und Brennstoffzellen-Verband o.J.). Der Wirkungsgrad liegt in dieser Phase daher bei etwa 62%. Im Falle des Transports von flüssigem Wasserstoff zu den Tankstellen sind die Verluste jedoch noch höher und können einen Wirkungsgrad von unter 50% bedingen (vgl. Bossel 2010, S. 5).

Die derzeit hohen Verluste führen allerdings dazu, dass neue Verfahren entwickelt wurden und werden, die in Zukunft eine höhere Effizienz ermöglichen sollen. Ein Beispiel dafür ist das LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier)-Verfahren, bei dem ein wiederverwendbares Industrieöl als chemisches Speichermedium für Wasserstoff zum Einsatz kommt. Da sich Wasserstoff bei diesem Verfahren unter Umgebungstemperatur und -druck transportieren lässt und zudem eine Selbstentladung verhindert wird, sind die Energieverluste während der WTT-Phase geringer. Zudem ließe sich grüner Wasserstoff auf diese Weise auch kostengünstig in anderen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Regionen der Welt produzieren und beispielsweise über die Donau anliefern (vgl. H2-INDUSTRIES o.J.; Hydrogenious Lohc Technologies o.J.).

4.2.3.2. Energieverlust während der TTW-Phase

Die TTW-Phase schließt an die WTT-Phase an und umfasst den Zeitraum vom Tanken bzw. Laden bis inklusive des Betriebes des Fahrzeuges.

Bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie wird zwar Wasserstoff getankt, im Fahrzeug selbst wird dieser Wasserstoff jedoch wieder in Strom zurückverwandelt. Diese Verstromung, die während des Betriebs des Autos stattfindet und den Antrieb des Elektromotors und damit der Räder erst ermöglicht, verbraucht rund 50% der getankten Energie (vgl. Bossel 2010, S.5). Energieverluste können jedoch auch aufgrund des Boil-Off-Effektes, der bei der Verwendung von flüssigem Wasserstoff auftritt, entstehen. Nach Ablauf der sogenannten Hold Time - dabei handelt es sich um jene meist fünf Tage, die zwischen dem Betanken des Fahrzeuges und dem Zeitpunkt, zu dem wegen der Erwärmung und Verdampfung des verflüssigten Wasserstoffs und der daraus resultierenden Ausdehnung ein Überdruck entsteht, vergeht – muss Gas abgelassen werden, um den Druck im Inneren des Tanks zu reduzieren (vgl. Pfennigbauer 2021, S.9). Dieses Gas wurde früher in die Umgebungsluft abgelassen. Aktuell existieren jedoch bereits Technologien, um den ausströmenden gasförmigen Wasserstoff rückzuverflüssigen oder ihn aufzufangen und in die Brennstoffzelle zu leiten (vgl. Demaco o.J.). Da die wenigsten Lkw eine Standzeit von fünf Tagen oder mehr haben, ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich größere Mengen an Boil-Off-Gases entwickeln, jedoch gering und kann bei der Ermittlung des Wirkungsgrades vernachlässigt werden.

4.2.3.3. Energieverlust während der WTW-Phase

Die WTW-Phase umfasst den gesamten Energiebedarf der Technologie, also jenen der WTT- und der TTW-Phase.

Bezogen auf die in *Kapitel 4.2.3.1* erwähnten 62%, die bei gasförmigem Wasserstoff von der produzierten Strommenge im Wasserstofftank des Fahrzeuges ankommen, bedeutet der Verlust von rund der Hälfte der Energie im Rahmen der Transformation von Wasserstoff in Strom (siehe *Kapitel 4.2.3.2*) einen Gesamtwirkungsgrad von 31%, der auch *Abbildung 24* entnommen werden kann. Andere Quellen, wie jene des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien (vgl. Bossel 2010, S. 5-6) kommen auf einen noch niedrigeren Gesamtwirkungsgrad von 25%

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

im Falle des Einsatzes von gasförmigem Wasserstoff bzw. 20% bei flüssigem Wasserstoff (siehe *Abbildung 26*).

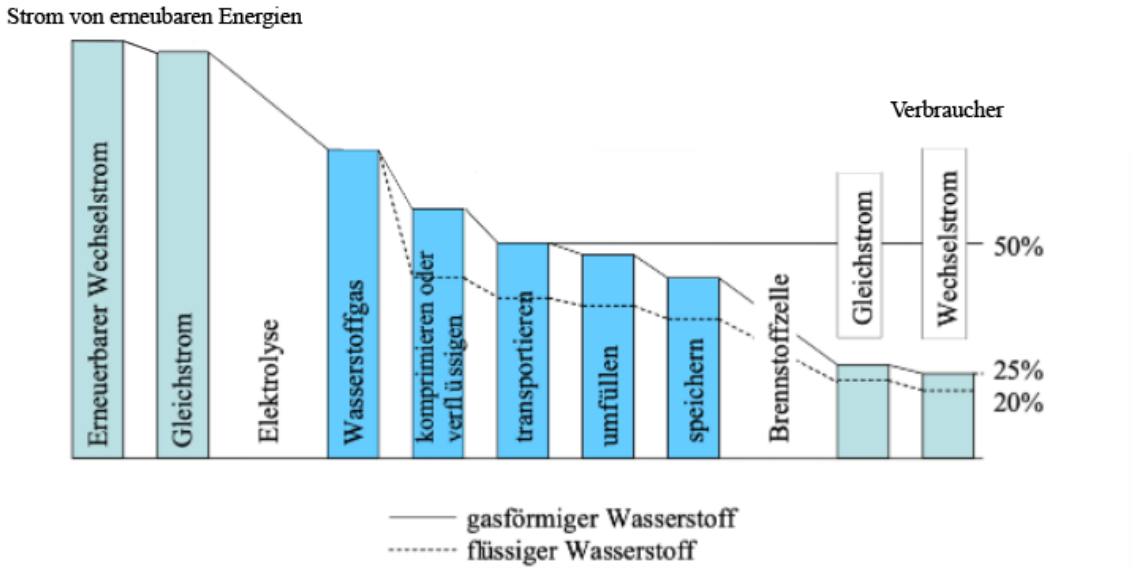


Abbildung 26: Die Verluste bei Wasserstoff von der Elektrolyse bis zur Anwendung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bossel 2010, S.5; nähere Informationen siehe Anhang, Abschnitt C)

4.2.4. Luftschadstoffemissionen über den Lebenszyklus

Als für Mensch und Umwelt besonders schädliche Luftschadstoffe gelten vor allem Feinstaub, Treibhausgasse, zu denen vor allem CO_2 (Kohlendioxid) und CH_4 (Methan) zählen sowie Stickoxide (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019, S. 1 & 6).

Fahrzeuge mit Akku-Technologie sind mit Ausnahme jener Feinstaubpartikel, die durch den Abrieb von Reifen und Bremsbelägen entstehen, schadstofffrei unterwegs. Allerdings werden vor allem im Zuge der Produktion der Fahrzeuge, insbesondere im Bereich der Metallproduktion und der Fertigung der Akkus Luftschadstoffe freigesetzt (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019, S. 1). Die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie setzt während des Betriebs mit Ausnahme des bereits erwähnten Abriebs von Reifen und Bremsbelägen weder Partikel noch Treibhausgase frei. Wenn es darum geht, die Luftschadstoffemissionen der beiden neuen Antriebstechnologien miteinander zu vergleichen, ist es allerdings wenig zielführend, nur die Betriebsphase der Fahrzeuge zu berücksichtigen, da auch

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Produktion, Wartung und Entsorgung der Fahrzeuge zu einer Belastung der Luft mit Feinstaub, Treibhausgasen und NO_x führen. Zudem hängt das Ausmaß der freigesetzten Luftschadstoffe auch vom verwendeten Strommix ab, der sich in den kommenden Jahren immer mehr in Richtung Ökostrom bewegen sollte (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019, S. 1 & 6).

Der folgende Vergleich von Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (HFCV) und solchen mit Akku-Technologie (BEV) im Hinblick auf deren CO_2-, NO_x- und Feinstaubemissionen basiert auf einer Nutzungsdauer von 8 Jahren und einer Jahreskilometerleistung von 100.000. Die Schadstoffmenge bezieht sich auf den gesamten Lebenszyklus eines Lkw mit mindestens 15t hzG (Heavy-duty truck) bei einer Fahrleistung von 800.000km, von der Fahrzeugproduktion über den Betrieb bis hin zum Recycling und bezieht auch die Energiegewinnung und -bereitstellung mit ein (vgl. Zhang, Lin, Crawford et al., 2022, S.7).

Hinsichtlich der CO_2-Emissionen, die über den gesamten Lebenszyklus betrachtet und miteinbezogen werden, (siehe *Abbildung 27*) zeigt sich unter der Annahme eines Anteils von 20,8% Strom aus kohlenstofffreien Energiequellen[2], dass ein Lkw mit Akku-Technologie knapp 1200t dieses Luftschadstoffes produziert, ein Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie hingegen rund 1300t und damit circa 8% mehr (vgl. Zhang, Lin, Crawford et al., 2022, S. 3 & 10). Der nur geringe Vorteil der Akku-Technologie ergibt sich aus dem Umstand, dass die Herstellung der Akkus nach aktuellem Stand der Technik einen höheren CO_2-Ausstoß verursacht als dies bei der Brennstoffzelle der Fall wäre. Dieser Nachteil wird durch den höheren Wirkungsgrad im Betrieb bei hoher Fahrleistung zwar überkompensiert, aber ist dennoch nicht unwesentlich (vgl. Bensmann, Benz, Brandt et al., 2022, S. 30).

[2] Anmerkung: Dies entspricht dem Energiekonsum-Mix Chinas aus dem Jahr 2017 und berücksichtigt den aktuellen technologischen Stand. Zu den kohlenstofffreien Energiequellen wird auch die Atomenergie gezählt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

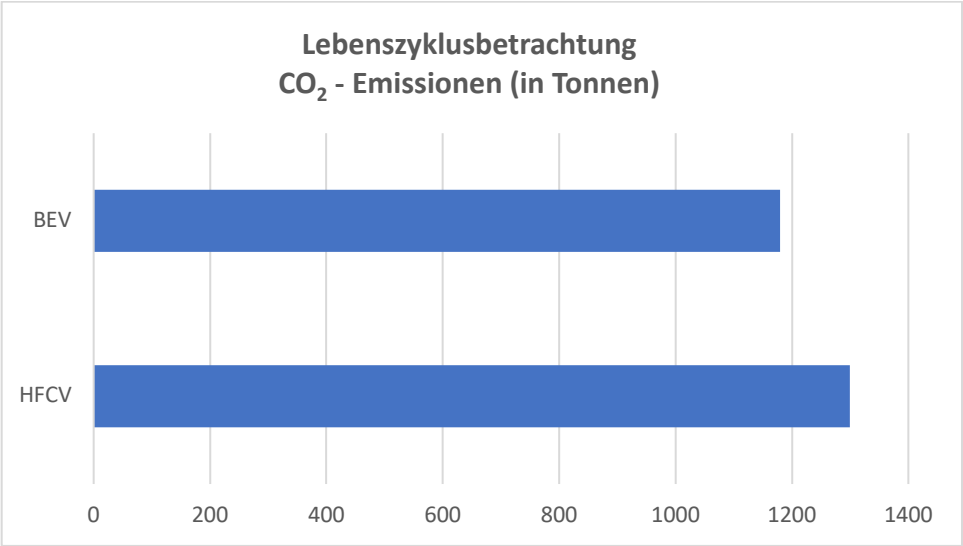


Abbildung 27: CO_2-Emissionen (in t) in der Lebenszyklusbetrachtung: Vergleich der Akku- und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für Lkw ab 15t hzG bei einer Nutzungsdauer von 8 Jahren und einer Jahreskilometerleistung von 100.000 km (Eigene Darstellung in Anlehnung an Zhang, Lin, Crawford et al., 2022, S. 10)

Bei den Stickstoffemissionen (siehe *Abbildung 28*) ist derzeit hingegen die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Vorteil. Während ein Lkw, der mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie ausgerüstet ist, während des gesamten Lebenszyklus etwa 0,5t NO_x produziert, ist dieser Wert bei Lkw mit Akku-Technologie beinahe doppelt so groß (vgl. Zhang, Lin & Crawford 2022, S. 11). Dieser Umstand lässt sich mit der Produktion der Akkus erklären, die sehr energieintensiv ist und derzeit in vielen Ländern noch mit einem relativ niedrigen Anteil an Strom aus kohlenstofffreien Energiequellen abläuft (vgl. Frischknecht 2014, S. 23; Leiva 2020).

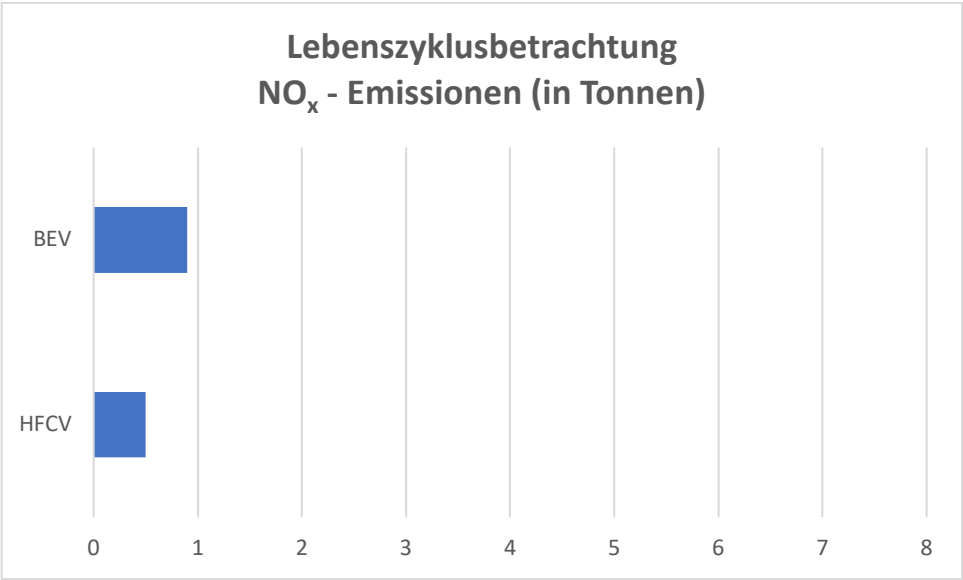


Abbildung 28: NO_x-Emissionen (in t) in der Lebenszyklusbetrachtung: Vergleich der Akku- und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für Lkw ab 15t hzG bei einer Nutzungsdauer von 8 Jahren und einer Jahreskilometerleistung von 100.000 km (Eigene Darstellung in Anlehnung an Zhang, Lin, Crawford, et al., 2022, S. 11)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ähnlich verhält es sich mit den Feinstaubpartikeln (siehe *Abbildung 29*). Gemäß Zhang, Lin und Crawford et al. (2022, S. 11) verursacht ein Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie über den gesamten Lebenszyklus circa 0,125t $PM_{2,5}$, ein Lkw mit Akku-Technologie etwa 0,21t und damit rund 60% mehr. Der Grund dafür liegt hauptsächlich in dem höheren Eigengewicht von BEV, welches vor allem den Akkus geschuldet ist. Durch das höhere Gewicht steigt die Feinstaubbelastung, die, wie bereits in der Einleitung erwähnt, primär durch den Reifenabrieb, den Verschleiß der Bremsbelege/Bremsscheiben (wenn auch durch Rekuperation gedämpft), den Abrieb des Straßenbelags und das Aufwirbeln von Partikeln, die auf der Straße liegen, entsteht (vgl. Köllner 2022; Timmers & Achten 2016, S.10).

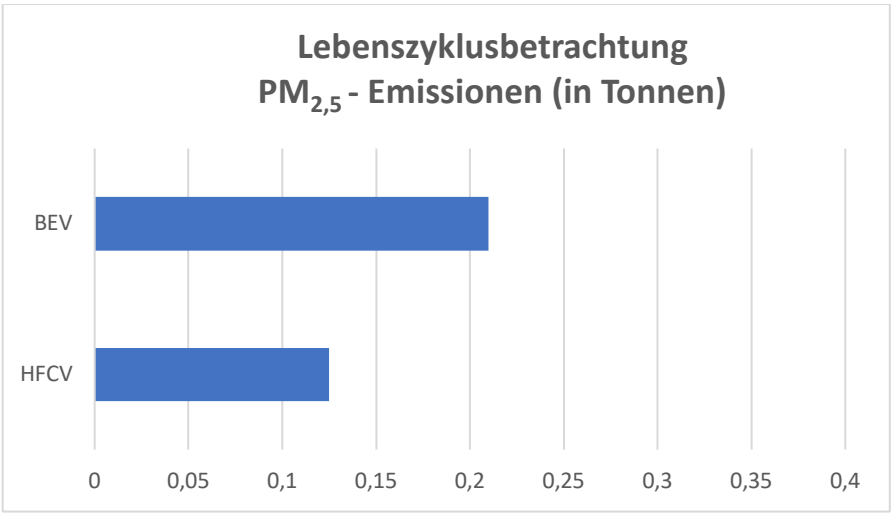


Abbildung 29: Feinstaubpartikel (in t) in der Lebenszyklusbetrachtung: Vergleich der Akku- und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für Lkw ab 15t hzG bei einer Nutzungsdauer von 8 Jahren und einer Jahreskilometerleistung von 100.000 km (Eigene Darstellung in Anlehnung an Zhang, Lin, Crawford et al. 2022, S. 11)

4.3. Beitrag zum Ausgleich von Schwankungen bei der Stromproduktion

Damit ein Stromnetz nicht zusammenbricht, müssen Produktion und Verbrauch weitgehend ausgeglichen sein. Derzeit wird das europäische Stromnetz von einigen wenigen großen Kraftwerken, die mit Atomenergie, Wasserkraft oder mit fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl oder Gas betrieben werden, aufrechterhalten. Da der Verbrauch von Strom sowohl während des Tages als auch jahreszeitlich bedingt stark schwankt, haben bisher Synchrongeneratoren, die sicherstellen, dass alle Generatoren in den Kraftwerken synchron laufen, dafür gesorgt, dass die Netzfrequenz stabil bei 50 Hz (+/- 0,1 Hz) bleibt. Im Rahmen der Primärregelung (PRL) muss die Netzfrequenz im Falle einer zu hohen Einspeisung durch ein Abbremsen der Generatoren in Sekundenschnelle gesenkt und umkehrt bei einer zu niedrigen Einspeisung erhöht werden. Reicht dies nicht aus, um ein Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

auszugleichen, kommt es zur Sekundärregelung, bei der die Leistung von Wasserspeicher- oder Gaskraftwerken erhöht oder gedrosselt werden kann (vgl. Paschotta o.J.a). Im Falle einer starken Unterfrequenz, die durch einen zu hohen Verbrauch bzw. eine zu geringe Produktion ausgelöst wird, können zur Stabilisierung des Stromnetzes einzelne Netzgebiete vom Netz genommen werden. Gleichzeitig kann es erforderlich sein, Kraftwerke abzuschalten, um Schäden an der Anlage, die durch eine Unterfrequenz entstehen können, zu verhindern. Durch die daraus resultierende Verschärfung der mangelnden Stromversorgung kann es im schlimmsten Fall zum Zusammenbruch des gesamten Verbundsystems und zu einem Blackout in großen Gebieten kommen (vgl. Paschotta o.J.a; Litzinger 1997).

Die Energiewende führt nun dazu, dass vermehrt PV-Anlagen, Windkrafträder und andere Kleinkraftwerke an das Stromnetz angeschlossen werden. Im Falle einer Überfrequenz müssen sie sich automatisch abschalten, bei einer Unterfrequenz können sie allerdings nichts zu einer Stabilisierung der Netze beitragen (vgl. Paschotta o.J.a), vielmehr können sie selbst für Anomalien bei Spannung und Frequenz und zu einer Überlastung der Leitungen sorgen, da gerade die Leistungsfähigkeit von PV und Windkraft von äußeren Umständen abhängt (vgl. Hive Power 2021).

Um trotz Energiewende ein stabiles Stromnetz zur Verfügung stellen zu können, erproben Energieversorger derzeit Smart-Grid-Applikationen, die mit Hilfe von Sensoren und Kommunikations- sowie Steuerungssysteme ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage herstellen sollen. Als ebenso wichtig werden jedoch Energiespeicher angesehen, die überschüssigen Strom aufnehmen und dann abgeben können, wenn er benötigt wird (vgl. Hive Power 2021). Solche Energiespeicher sollen einerseits mit Hilfe netzbildender Stromrichter mit integrierten Batterien für Photovoltaikanlagen und Windkrafträder zur Verfügung stehen (vgl. Kempkens 2021), andererseits sollen Fahrzeugakkus mit Hilfe der V2X(Vehicle-to-)-Technologie als ambulante Speicher zur Verfügung zu stellen (vgl. Virta International o.J.).

Bei V2X handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Smart Charging (V1G), einer Technologie, die es ermöglicht, die Ladeleistung an die verfügbare Strommenge anzupassen. Fahrzeuge, die für bidirektionales Laden ausgerüstet sind, können dann geladen werden, wenn überschüssiger Strom zu günstigeren Tarifen zur Verfügung steht. Im Anschluss kann den Strom, der in den Akkus gespeichert ist, entweder für den Stromverbrauch in Gebäuden (V2H Vehicle-to-Home, V2B Vehicle-to-Building) genutzt oder im Rahmen von V2G (Vehicle-to-Grid) dem Netz zum Ausgleich und damit zur Stabilisierung zur Verfügung gestellt werden (vgl. Virta

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

International o.J.; Klein 2018). Bidirektionales Laden ließe sich zudem auch per Induktion, beispielsweise über WLAN oder das 5G-Netz, durchführen. Sobald diese Technologie, die sich derzeit noch in der Entwicklung befindet, marktreif ist, ist der Stromaustausch unabhängig von einer Verbindung zum Stromnetz mittels Ladekabel und über größere Distanzen, allerdings nur in geparktem Zustand möglich, wodurch sich die Leistungsfähigkeit des bidirektionalen Ladens erhöhen würde (vgl. Ifak o.J.; Ecomento.de 2021c).

Aufgrund der hohen Kapazität von Lkw-Akkus, die derzeit bei rund 900 kWh liegt, sind Elektro-Güterfahrzeuge für die V2X-Technologie mit der Möglichkeit zu bidirektionalem Laden besonders gut geeignet (vgl. Henßler 2021). So können Transportunternehmen beispielsweise Standzeiten am Logistikhub bzw. am Parkplatz nutzen, um Lkw mit Strom aus der eigenen Photovoltaikanlage oder aus Überschusskapazitäten der Energieanbieter zu laden und im Anschluss für die eigenen Betriebsgebäude zu nutzen oder bei Netzengpässen im Zuge einer erhöhten Nachfrage gegen Entgelt dem allgemeinen Stromnetz zur Verfügung zu stellen. Daraus kann für Besitzer von Lkw ein neues Geschäftsmodell entstehen, für Energieunternehmen sinkt die Gefahr, dass das Netz bei einem Auseinanderdriften von Angebot und Nachfrage zusammenbricht (vgl. Klein 2018). Das bereits erwähnte Smart Charging sorgt dafür, dass der Akku immer einen Ladezustand von 70% bis 90% aufweist, wodurch einerseits der Akku geschont wird, andererseits sichergestellt wird, dass ausreichend Strom vorhanden ist, wenn die Fahrt angetreten wird (vgl. Virta International o.J.; Ifak o.J.).

Unternehmen wie The Mobility House kaufen gezielt ausrangierte Fahrzeugakkus mit einer Restkapazität unter 80% und nutzen diese weitere rund zehn Jahre als stationäre Batteriespeicher, um sie dem PRL-Markt zur Verfügung zu stellen und damit zu einer Stabilisierung des Stromnetzes beizutragen (vgl. The Mobility House 2020). Ein ähnliches Projekt läuft derzeit in der Schweiz. Dort hat das Schweizer Energieunternehmen Repower den 680 kWh Akku jenes Futuricum Lkws vorfinanziert, mit dem im Auftrag der Schweizer Post in der Nacht Briefe zum Verteilzentrum nach Zürich gebracht werden. Unter Tags nutzt Repower den Akku, um Stromspitzen im Netz auszugleichen. Sofern das Pilotprojekt erfolgreich verläuft, will Repower dieses Konzept ausweiten (vgl. Repower 2021).

Ebenso mit Strom aus Überkapazitäten sollen in Zukunft Batteriewechselsysteme wie jenes der Spedition Meyer & Meyer aus Osnabrück (D) funktionieren. Um langwieriges Aufladen im Betrieb zu vermeiden, läuft derzeit ein Pilotprojekt mit je 2 Tonnen schweren Batterieblöcken, die extern geladen werden und in 15 Minuten auf den Lkw montiert werden können. Die

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Spedition arbeitet dabei mit einem Energieversorgungsunternehmen zusammen und erhält Strom zu Zeiten, in denen ein Überschuss besteht bzw. stellt Strom zur Verfügung, wenn ein Stromengpass besteht. Ein intelligentes Ladesystem soll dafür sorgen, dass die Akkus aufgeladen sind, wenn ein Lkw einen Wechselakku benötigt. Für die Spedition bedeutet dies günstigere Ladetarife, für den Netzbetreiber eine erhöhte Netzstabilität (vgl. Werwitzke 2020).

Im Unterschied zur Akku-Technologie lassen sich die Brennstoffzellen selbst kaum zur Zwischenspeicherung von Strom verwenden. Überschüssiger Strom, der die Netzstabilität bedrohen könnte, kann jedoch innerhalb weniger Sekunden für Anlagen zur Elektrolyse von Wasserstoff bzw. zur Produktion von Strom aus Wasserstoff verwendet werden und so zur Sicherung der Netzstabilität beitragen (vgl. Draese 2020). „*Dabei können Elektrolyse-Anlagen überschüssige Erneuerbare Energien aufnehmen und der Unterdeckung der inländischen Stromerzeugung im Winter entgegenwirken. Elektrolyse- Anlagen haben demnach großes Lastverschiebungspotenzial*.“ (Holzleitner & Moser 2022, S. 3).

Außerdem können Kraftwerke, die bisher mit Erdgas betrieben wurden, auch mit Hilfe von Wasserstoff Strom erzeugen, der auch dazu genutzt werden kann, einen zusätzlichen Strombedarf auszugleichen (vgl. Wien Energie o.J.). Zu alldem bedarf es Wasserstoffs, allerdings nicht der Brennstoffzelle. Wasserstoff selbst kann längerfristig in Reinform in Tanks bzw. Kavernen oder unter Verwendung chemischer Stoffe (vgl. Plankenbühler, Kolb, Herkendell et al., 2021, S. 87-93) zwischengespeichert werden und ist daher nicht darauf angewiesen, sofort (von Fahrzeugen) verbraucht zu werden. Außerdem besteht schon derzeit Konkurrenz um diesen Energieträger, sind doch auch Industrie, Schifffahrt und der Flugverkehr in Zukunft auf ihn angewiesen – spätestens dann, wenn fossile Energieträger nicht mehr erlaubt sind (vgl. Umweltbundesamt 2022c).

Die Brennstoffzelle von Fahrzeugen ist zudem nicht dazu geeignet, Energie zwischenzuspeichern, da der während des Betriebs erzeugte Strom für den Antrieb der Räder verwendet und nur ein geringer Teil für das Aufladen jener kleinen Batterie verwendet wird, die nur als Reserve gedacht ist und bei zusätzlichem Energiebedarf wie Bergfahrten dazugeschaltet wird. Aktuell entwickelte Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie sind daher aus gutem Grund mit keinem Anschluss ausgerüstet, um Strom dem Stromnetz zur Verfügung zu stellen (vgl. Scania Deutschland o.J.; Robert Bosch o.J.).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5. Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit der beiden Antriebstechnologien aus der Sicht von Experten (Experten-Befragung)

Um die in Kapitel drei und vier dargestellte Analyse der Technologien in Bezug auf Umweltfreundlichkeit, Praxistauglichkeit und Einsatzmöglichkeiten nicht nur auf die relevante Literatur zu stützen, sondern die Ergebnisse mit Hilfe einer Befragung von Experten aus der Praxis abzusichern, erfolgt nun die Darstellung der relevanten Faktoren aus der Befragung.

5.1. Methodische Vorgehensweise

Die in der Literatur angesprochenen Themen und Fragestellungen wurden zusammengefasst, um daraus relevante Fragestellungen für die Expertenumfrage zu entwickeln. Dem Anhang (*siehe Abschnitt E: Fragebögen*) können die an die jeweilige Zielgruppe von Experten angepassten Fragenkataloge entnommen werden. Die Befragung basiert dabei

- einerseits auf Multiple-Choice Fragen, bei denen es darum geht, die prinzipielle Einstellung der Befragten zu bestimmten Themen zu erheben,
- andererseits auf offenen Fragestellungen, mit deren Hilfe die Gründe für diese Einstellungen analysiert werden können.

Die Fragebögen wurden den Gesprächspartnern nach einer persönlichen Kontaktaufnahme per Mail zugeschickt. War zu einzelnen Fragen keine Expertise vorhanden, wurden diese ausgelassen. Das Ausfüllen der Fragebögen erfolgte entweder direkt im Word-Dokument, oder der Fragebogen wurde ausgedruckt, handschriftlich ausgefüllt und eingescannt retourniert.

5.2. Gesprächspartner

Die insgesamt 18 Gesprächspartner, die den Fragebogen ausgefüllt und zurückgeschickt haben, stammen aus den folgenden Bereichen:[3]

- Organisationen aus dem Umfeld der zuständigen österreichischen Bundesministerien (2)
- nationale und internationale Interessenverbände aus den Bereichen Transport (Straßengüterverkehr) und Logistik (8)

[3] Anmerkung: In Klammer befindet sich die Anzahl der ausgefüllten Fragebögen pro Kategorie.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

- internationale Lkw-Fahrzeugproduzenten (3 – ein Spezialist für Akku-Technologie, zwei für beide Technologien)
- Gremien der EU (2)
- nationaler Spediteure, Frächter (2 – beide mit über 100 eigenen Lkw/Sattelzügen)
- Fuhrparkmanagement (1 – vermietet Lkw)

Diese Experten und Expertinnen bzw. Fachbereiche wurden ausgewählt, da sie die in der Diplomarbeit behandelten Themen abdecken.

5.3. Abgefragte Themenbereiche

Auf Basis der Literatur werden zunächst die essenziellen Themenbereiche herausgearbeitet, zu denen jeweils eine oder mehrere Fragen gestellt werden. Bei den Themen handelt es sich um

- Umweltaspekte (Luftschadstoffe, ökologischer Fußabdruck)
- technologische Aspekte (Vor-/Nachteile der Technologien, Praktikabilität, Sinnhaftigkeit)
- Rahmenbedingungen (EU und Bundesregierung)
- Ladeinfrastruktur (Auf- und Ausbau)
- Kosten (Betriebskosten, Vollkosten)
- Förderungen (von staatlicher Seite und von Seiten der EU)
- Netzstabilität (Beitrag der Technologien zur Absicherung der Netzstabilität)
- Energieversorgungssicherheit (Strategien zur Versorgung mit grünem Strom und Wasserstoff)
- Rohstoffknappheit (Akkus, Recycling)

Der Fragebogen wurde an die jeweilige Zielgruppe angepasst, um sicherzustellen, dass die Experten und Expertinnen zu jenen Themengebieten befragt werden, die in ihre Zuständigkeit fallen. Aus diesem Grund wurden insgesamt sieben unterschiedliche Fragebögen erstellt.

5.4. Auswertung der Gespräche und Interpretationen

5.4.1. Ladeinfrastruktur – Auf-/Ausbau und Nutzungsverhalten

Eine Frage, die allen Befragten gestellt wurde, ist die nach der **Verfügbarkeit einer ausreichenden Zahl von Ladesäulen für Akku-Lkw bzw. Wasserstofftankstellen** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie entlang der Routen. Ein Großteil der Befragten ist der Ansicht,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

dass die derzeit zur Verfügung stehende Lade-/Tankinfrastruktur eine große Hürde beim Umstieg auf Lkw mit Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie darstellt. Nur ein Befragter sieht kein Problem, nutzt allerdings Schwerlastfahrzeuge mit Akku-Technologie überwiegend auf der Kurzstrecke im urbanen Zustellverkehr und lädt auf dem eigenen Betriebsgelände.

Dennoch sind alle 18 Befragten der Ansicht, dass weder bei Schnelladesäulen noch bei Wasserstofftankstellen **bereits jetzt ein ausreichend dichtes Netz** vorhanden ist, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen. Gezweifelt wird vor allem daran, ob die Energieversorger in der Lage sein werden, ausreichende Mengen an grünem Strom zur Verfügung stellen zu können. Bis zum Jahr 2040 rechnet jedoch die Mehrheit der Befragten (13 bei Schnelladesäulen, 11 bei Wasserstofftankstellen) damit, dass das Netz an Schnellladesäulen und Wasserstofftankstellen ausreichend gut ausgebaut sein wird.

Insbesondere **Schnelladestationen für Lkw im Megawatt-Bereich** stellen ein großes Problem dar. Als Beispiel wird genannt, dass ein Autobahnparkplatz mit 50 Stellplätzen für Lkw mit Schnelladesäulen im MW-Bereich etwa so viel Strom benötigen, wie die gesamte Landeshauptstadt Bregenz.

Eine Aufschlüsselung der **Ladeinfrastruktur nach Regionen** ergibt, dass die **Ausstattung** mit Hochleistungsladestationen sowohl auf österreichischen Autobahnen/Schnellstraßen, österreichische Freilandstraßen und Städten und Dörfern in Österreich als auch in Deutschland, in den restlichen EU-Ländern und in Ländern außerhalb der EU generell als nicht gut ausgebaut angesehen wird.

Die Frage danach, ob sich der **Aufbau von Schnelladesäulen an Logistik Hubs** auszahlt, wurde von den Befragten aus den Bereichen Fuhrpark, Spediteure und Frächter sowie Interessenverbänden beantwortet. Acht der Befragten waren der Ansicht, dass sich ein solcher Aufbau auszahlt, drei nationale Interessenverbände waren anderer Ansicht. Dabei muss allerdings angemerkt werden, dass beide Frächter/Spediteure, die an der Befragung teilgenommen haben, mehr als 100 Lkw besitzen. Für kleine Frächter wird sich der Aufbau einer eigenen Lade-/Tankinfrastruktur nicht in jedem Fall auszahlen.

Die Gruppen Interessenverbände, Fuhrparkmanager sowie Frächter/Spediteure wurden zudem befragt, ob sie glauben, dass es sich in der Praxis leicht umsetzen lassen wird, dass der **Fahrer seine Pausen nutzen kann**, **um** währenddessen den **Akku des Lkw aufzuladen**. Eine leichte

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Mehrheit (sechs Befragte, davon ein Spediteur und ein Fuhrparkmanager) ist der Ansicht, dass dies nicht der Fall sein wird, die anderen fünf Befragten glauben, dass sich das Aufladen während der Lenkpausen durchsetzen wird. Als Gründe dafür, dass sich das Aufladen während der Lenkpausen nicht durchsetzen wird, wird das Fehlen von Schnellladestationen im MW-Bereich, deren Aufbau mangels leistungsfähiger Netze sowie der Umstand, dass die Pausen nach einer bestimmten Lenkzeit gemacht werden müssen und sichergestellt sein müsste, dass genau an diesem Ort eine freie Ladesäule vorhanden ist, genannt. Als möglich wird daher ein Aufladen während der Pause bei fixen Touren angesehen, im Sammel- und Verteilverkehr ist es nach Ansicht eines Befragten jedoch schwierig. Zudem ist es laut einigen Befragten üblich, dass Pausen in räumlicher Nähe zum Kunden oder auf allgemeinen öffentlichen Parkplätzen gehalten werden, an denen auch langfristig keine Schnellladesäulen zur Verfügung stehen werden. Angemerkt wird auch, dass eine Nutzung von E-Tankstellen als Pausenmöglichkeit unwahrscheinlich sein wird, da die Ladestationen für die Dauer der Pause, also bis zu 45 Minuten lang, blockiert werden würde, sobald der Tacho auf Pause eingestellt ist. Von Seiten eines Spediteurs/Frächters wird zudem angemerkt, dass beim Laden von Lkw die Gefahr einer Beschädigung der Ladesäule besteht und daher zusätzlich ein kostenintensives Überwachungssystem installiert werden müsste. Der befragte Fuhrparkmanager weist darauf hin, dass es mit einem Lkw schon heute unmöglich ist, Rastplätze störungsfrei zu befahren, da der Andrang auf manchen Rastplätzen groß ist. In Zukunft müssten Lkw zusätzliche Stopps einlegen und auch bei vollen Rastplätzen an die Ladestation kommen. Keine Sorgen um das Aufladen während einer Tour macht sich jener Frächter/Spediteur, der die Akku-Lkw im Nah- und Regionalverkehr einsetzt. Ein Lkw ist im Durschnitt 200km pro Tag unterwegs und kommt meist ohne Zwischenladen aus.

Das **Zwischenladen in den Lenkpausen** setzt allerdings voraus, dass auf den Rastplätzen Ladesäulen frei sind. Ein Großteil der Befragten glaubt nicht, dass die Infrastruktur ausreicht, um einen Akku-Lkw unterwegs ohne zusätzliche Pausen des Lenkers aufladen zu können. Gegenteiliger Ansicht sind der Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter, ein Vertreter eines Interessenverbandes und Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums.

Uneinigkeit herrscht bei der Frage nach einer **Änderung der EU-Lenk- und Ruhezeitregeln**, damit Fahrer die aufgeladenen Lkw sofort wegfahren können, auch wenn sie damit ihre 45minütige Ruhezeit unterbrechen. Eine solche Änderung halten einige Mitglieder des Europäischen Parlaments für notwendig, um zu verhindern, dass die Ladesäulen länger als

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

notwendig blockiert werden. Befragt wurden dazu die Experten und Expertinnen der Interessenverbände, des Fuhrparkmanagements, Vertreter der Gremien der EU und von Spediteuren und Frächtern. Von den 12 Antworten sind 6 für und 6 gegen eine Änderung. Dafür sind fünf der Vertreter der Interessenverbände und ein Spediteur, dagegen ein Vertreter der EU, ein Spediteur und ein Fuhrparkmanager.[4] Zurückführen lässt sich die Ablehnung einer Veränderung der Pausenregelung wahrscheinlich auf die Sorge, dass die Arbeitszeitregelungen überhaupt aufgeweicht werden könnten, wenn erst einmal damit begonnen wird. Deshalb lautet der Kommentar eines der Befragten: *„Es dürfte nur die Fahrt vom Ladepunkt zum Parkplatz erlaubt sein.*"[5]

Bezüglich der Frage, ob die bisherigen **Einigungen/Beschlüsse/Richtlinien der EU hinsichtlich des Infrastrukturausbaus** (bis 2026 im TEN-T-Kernnetz alle 60 km eine Schnellladesäule, alle 100 km eine Wasserstofftankstelle) für **ausreichend** erachtet werden, wenn man bedenkt, dass aufgrund der geringeren Reichweite bei Lkw mit Akku-Technologie mit häufigeren Tankstopps zu rechnen ist und der Ladevorgang selbst im Vergleich zu Verbrennern länger dauert, geben 15 der Befragten, darunter auch die zwei Vertreter der EU, an, dass sie dies als nicht ausreichend betrachten. An Argumenten kommt beispielsweise von einem Vertreter eines Interessenverbandes, dass an einer Schnelladesäule bei einer angenommenen Ladezeit von 30 Minuten maximal 48 Lkw pro Tag aufgeladen werden können. An einer herkömmlichen Zapfsäule einer Tankstelle sind es bei einer zehnminütigen Tankzeit 144 Lkw pro Tag. Zwei der drei Lkw-Produzenten, eine der beiden Organisationen aus dem Umfeld der zuständigen Ministerien und eine Interessensvertretung sind hingegen der Ansicht, dass die Ausbaupläne genügen. Einer der drei Befragten aus dem Bereich Lkw-Produktion sieht im Vergleich zu herkömmlichen Diesel-Lkw keine zusätzlichen Stopps für erforderlich an.

Damit in Zusammenhang stehend halten es 16 der Befragten, darunter auch die beiden Befragten von EU-Gremien) für unwahrscheinlich, dass die Mitgliedsstaaten den vom Europäischen Parlament vorgegebenen Zeitplan für den Infrastrukturausbau entlang der TEN-T-Kernnetze einhalten werden. Hingewiesen wird vor allem auf Schwierigkeiten, die Leistung der Stromnetze rechtzeitig adäquat auszubauen. Nur ein Vertreter eines Interessenverbandes und ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines der zuständigen nationalen Ministerien zweifelt am Zeitplan für den Ausbau nicht. Uneinigkeit herrscht hingegen bei der Frage nach möglichen

[4] Nicht beantwortet: ein Mitglied eines Gremiums der EU
[5] Kommentar eines Vertreters eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Sanktionen gegen Staaten, die beim Ausbau der Lade-/Tankinfrastruktur säumig werden. Für Österreich wird davon ausgegangen, dass das zur Verfügung stehende Budget ausreichen wird, um die Vorgaben der EU bezüglich des Infrastrukturausbaus bis 2030 umzusetzen.

Hinsichtlich einer **sinnvollen Dichte** werden vor allem für Schnellladesäulen Abstände von 20 bis 40km genannt, für Wasserstofftankstellen 50 bis 60km, da bei Letzteren eine höhere Reichweite auf eine vermutlich geringere Anzahl an Lkw trifft. Generell wird allerdings darauf hingewiesen, dass weniger der Abstand der Ladesäulen, sondern vielmehr die Anzahl an (freien) Ladepunkten bzw. die Gesamtleistung entscheidend ist. Gefordert wird beispielsweise von einem Vertreter eines Interessenverbandes, dass eine höhere Anzahl an Schnellladesäulen errichtet wird, als es bisher an Diesel-Zapfsäulen bei Tankstellen gegeben hat. Von Seiten eines Vertreters einer Organisation aus dem Umfeld eines Ministeriums kommt die Forderung, langfristig jeden Autobahnparkplatz mit Schnellladesäulen zu bestücken. Bei den Spediteuren/Frächtern stellt sich die Frage nach der Dichte der Ladeinfrastruktur dort nicht, wo nur Kurzstrecken gefahren und am eigenen Hof geladen wird. Von den drei an der Befragung teilnehmenden Spediteuren/Frächtern bzw. Fuhrparkleitern wollen zwei eigene Schnellladesäulen errichten, ein Unternehmen zusätzlich eine Wasserstofftankstelle und eines, das Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw vermietet, setzt nur auf unternehmensfremde Wasserstofftankstellen.

Die befragten Vertreter der Interessenverbände gehen davon aus, dass ihre Mitgliedsbetriebe dann in den **Aufbau einer eigenen Lade-/Tankinfrastruktur** investieren werden, wenn die staatlichen Förderungen als ausreichend angesehen werden. Die beiden befragten Spediteure/Frächter planen die Errichtung von Ladesäulen (bzw. haben bereits errichtet), einer der Spediteure/Frächter plant zusätzlich die Errichtung einer Wasserstofftankstelle. Der Fuhrparkmanager gibt an, keine eigene Infrastruktur errichten zu wollen.[6]

Bezüglich der voraussichtlich **in Anspruch genommenen Möglichkeiten zum Aufladen** bzw. Betanken der Lkw wurde nur die Gruppe der Spediteure/Frächter und der Fuhrparkmanager befragt. Alle Befragten wollen in Zukunft Ladesäulen/Wasserstofftankstellen bei Umschlags- und Verteilzentren sowie bei Verlade- und Abladestellen nutzen, um die Reichweite zu erhöhen.[7] Öffentlich zugängige Ladsäulen/Wasserstofftankstellen entlang der Route wollen zwei

[6] Anmerkung: Die Lkw werden hauptsächlich vermietet. Eine Tankkarte wird mitgegeben.
[7] Anmerkung: Das Zwischenladen ist die optimale Form des Ladens. Um den Akku zu schonen wird empfohlen, den Ladezustand zwischen 20% und 80% zu halten. Noch dazu verlangsamt sich der Ladevorgang, wenn der Ladezustand des Akkus über 80% liegt. Tatsächlich sollten nur rund 60% der Akkukapazität im Betrieb genutzt werden (vgl. Wallner 2022).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

der drei Befragten nutzen. Jener Spediteur, der angibt, diese Optionen nicht nutzen zu wollen, setzt Akku-Lkw überwiegend auf der Kurzstrecke ein und lädt die Fahrzeuge am Betriebsgelände auf. Mit Problemen, wenn die **Akkus aller Lkw frühmorgens zugleich geladen** werden müssen, rechnen ebenfalls zwei der drei Befragten.

Frächter, die überwiegend Kurzstrecke fahren, können die Ladestationen am eigenen Hof bzw. bei Verladestationen nutzen und sind nicht auf öffentliche Ladesäulen angewiesen. Auf der Kurzstrecke werden in den meisten Fällen nicht einmal Schnellladesäulen benötigt, da über Nacht geladen werden kann. Es reichen eine Ladeinfrastruktur mit einer Leistung von 180 kW, eventuell gekoppelt mit einer PV-Anlage am Dach der Betriebsstätte.

Bei der Frage des **Induktionsladens am Parkplatz** während der Liefertätigkeit bei Be- und Entladestellen gehen die Meinungen stark auseinander. Von den elf Befragten (Interessenverbände, Spediteur/Frächter und Fuhrparkmanager) haben zehn geantwortet.[8] Im Ergebnis sind fünf der Befragten für und die anderen fünf gegen Induktionsladen. Bei den Spediteuren/Frächtern und Fuhrparkmanagern ist ein Befragter für, zwei gegen diese Form des Ladens, bei den Vertretern der Interessenverbände sind vier dafür, drei dagegen. Bei jenen, die gegen Induktionsladen sind, steht die Frage der technischen Umsetzbarkeit im Vordergrund. Ein Befragter eines Interessenverbandes gibt an, Induktionsladen nur im Bereich des städtischen Zustellverkehrs und nur bei eigens dafür gewidmeten Ladezonen für sinnvoll zu erachten.

Als Argument gegen Induktionsladen werden die hohen Kosten für diese Technologie, die erforderlichen Zuleitungen und die zu erwartenden Stromverluste genannt. Auf Autobahnraststätten hätte diese Form des Aufladens allerdings den Vorteil, dass der Anhänger nicht extra abgekuppelt werden müsste.

5.4.2. Vergleich der Technologien in Bezug auf Anschaffungs-, Betriebs- und Vollkosten

Bei der Frage danach, wo sich die **Anschaffungskosten für Lkw** bis zum Jahr **2030** hinbewegen werden, rechnen sowohl bei der Akku- als auch bei der Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie jeweils 13 der Befragten mit fallenden (realen) Preisen. Von steigenden Preisen gehen vier Befragte aus (bei Lkw mit Brennstoffzelle ein Vertreter eines der Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines der zuständigen Ministerien und ein Vertreter eines Interessenverbandes; bei Lkw mit Akku-Technologie

[8] Nicht beantwortet: ein Vertreter eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

dieselben Befragten, nur statt des Spediteurs/Frächters der Befragte aus dem Fuhrparkmanagement).[9]

Die Frage danach, bei welchen **Technologien in Bezug auf verschiedene Aspekte niedrigere Kosten** erwartet werden, wurde nur an Vertreter der Interessenverbände und Spediteure/Frächter und den Fuhrparkmanager gerichtet (*siehe Tabelle 3*).

Tabelle 3: Gegenüberstellung Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie in Bezug auf Anschaffungs-, Wartungs- und Betriebskosten (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Akku-Technologie kostengünstiger	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie kostengünstiger**	**Beide Technologien gleich**
Anschaffungskosten[10]	**1** (ein Frächter/Spediteur)	**1** (Fuhrparkmanager)	**6** (Vertreter von Interessenverbänden)
Wartungskosten[11]	**5** (drei Vertreter von Interessenverbänden, zwei Frächter/ Spediteure)	**0**	**3** (Vertreter von Interessenverbänden)
Betriebskosten[12]	**4** (drei Vertreter von Interessenverbänden, Fuhrparkmanager)	**3** (zwei Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/ Frächter)	**3** (zwei Vertreter von Interessenverbänden, Fuhrparkmanager)
Gesamtkosten pro Tonne[13] [14]	**3** (drei Vertreter von Interessenverbänden)	**2** (Spediteure/Frächter)	**2** (Vertreter von Interessenverbänden)[15]

Eine reine Gegenüberstellung der beiden Technologien in Bezug auf **Anschaffungs-, Wartungs-, Betriebs- und Gesamtkosten** (*siehe Tabelle 3*) zeigt, dass bei den Wartungskosten Akku-Lkw als günstiger angesehen werden. Dieser Umstand hängt damit zusammen, dass der

[9] Nicht beantwortet: ein Mitglied eines Gremiums der EU
[10] Nicht beantwortet: zwei Vertreter von Interessenverbänden, ein Frächter/Spediteur
[11] Nicht beantwortet: zwei Vertreter von Interessenverbänden, ein Fuhrparkmanager
[12] Nicht beantwortet: ein Vertreter eines Interessenverbandes, ein Spediteur/Frächter
[13] Kommentar eines Vertreters eines Interessenverbandes: *Die Gesamtkosten pro Tonne sind immer noch höher als bei dem Verbrennungsmotor, da die Anschaffungskosten bei den alternativen Antrieben zu hoch sind.*
[14] Nicht beantwortet: drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Fuhrparkmanager
[15] Anmerkung: Der Frächter/Spediteur, der auf Wasserstoff setzt, führt vorwiegend Sonder-/ Schwertransporte durch.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Aufbau des Motors eines reinen Akku-Lkw einfach und wartungsarm ist und kein Getriebe erforderlich ist.

In Bezug auf die erwartete **Höhe der Betriebskosten pro tkm** sehen 13 der Befragten Lkw mit Akkutechnologie im Vergleich zu Lastfahrzeugen mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie als kostengünstiger an.[16] Ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten und ein Spediteur/Frächter sehen hingegen die Betriebskosten eines Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw im Vergleich zu Lkw mit Akku-Technologie als im Vorteil an. Ein weiterer Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzent sieht die Betriebskosten bei der Akku- und der Wasserstofftechnologie als gleich hoch an.[17]

In Bezug auf die **erwarteten Vollkosten (TCO) pro tkm** ist das Ergebnis ähnlich (*siehe Tabelle 4*). Zwölf der Befragten sehen die Akku-Technologie bei den Vollkosten im Vergleich zur Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Vorteil.[18] Vier der Befragten (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, und ein Spediteur/Frächter) sind der Ansicht, dass die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für Lkw in Bezug auf die TCO besser als die Akku-Technologie ist. Einer der Befragten (ein Fahrzeughersteller) sieht die beiden alternativen Technologien in Bezug auf die TCO gleich auf.[19]

Die Frage nach der exakten Höhe der erwarteten **Vollkosten pro tkm** in Euro im Jahr 2030 bzw. im Jahr 2040 wurde nur an die Frächter/Spediteure, die Vertreter der Interessenverbände und die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten gerichtet. Beantwortet wurde diese Frage allerdings nur von einem Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, einem Vertreter eines Interessenverbandes und einem Spediteur/Frächter. Als Grund dafür, diese Frage nicht zu beantworten, wurde beispielsweise von einem Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten angegeben, dass bei der derzeitigen Lage und den sich immer wieder ändernden Rahmenbedingungen eine

[16] Für neun Befragte sind Diesel-Lkw bei den Betriebskosten am besten.
[17] Nicht beantwortet: Fuhrparkmanager
Anmerkung: Zwei der drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten und einer der Frächter/Spediteure sieht Wasserstoff vorne oder zumindest nicht im Nachteil. Jener Frächter/Spediteur, der Akku-Lkw bereits auf der Kurzstrecke einsetzt, schätzt die Akku-Technologie besser ein, der Frächter/Spediteur mit Sonder-/Schwertransporten die Wasserstoff-Technologie.
[18] Für neun Befragte sind Diesel-Lkw bei den TCO allerdings am besten.
[19] Nicht beantwortet: Fuhrparkmanager, Vertreter einer Organisation im Umfeld eines Ministeriums

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

seriöse Schätzung nicht möglich sei. Von den drei Angaben, bezieht sich eine auf die Kosten pro km und auf die Realkosten (*siehe Fußnote 15*).

Zwei der Befragten (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten und ein Vertreter eines Interessenverbandes) sehen die Akku-Technologie bei den **Vollkosten pro tkm** bzw. km im Vorteil, der dritte Befragte (Spediteur/Frächter) die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (*siehe Tabelle 4*). Bis 2040 sehen zudem alle drei Befragten zumindest eine der beiden alternativen Antriebe in Bezug auf die Vollkosten pro tkm bzw. km gegenüber einem Diesel-Lkw im Vorteil oder zumindest nicht im Nachteil. Uneinigkeit herrscht darin, ob die Vollkosten pro tkm/km von 2030 auf 2040 steigen oder fallen werden. Einig sind sich die Befragten nur darin, dass Lkw mit alternativem Antrieb bis 2040 zumindest nicht teurer als Diesel-Lkw sein werden.

Tabelle 4: Erwartete Vollkosten in € pro tkm im Jahr 2030 und im Jahr 2040 (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Akku-Technologie		**Wasserstoff-Brennstoff-zellen-Technologie**		**Diesel-Motor**	
	2030	**2040**	**2030**	**2040**	**2030**	**2040**
Lkw-Fahrzeug-produzent[20]	1,00	0,80	1,30	1,10	1,20	1,20
Interessenver-band	1,05	1,10	2,50	2,75	1,05	2,25
Spediteur	3,00	3,50	2,50	3,00	2,00	3,00

5.4.3. Förderungen für Infrastrukturausbau und Fahrzeugbeschaffung

Die Frage danach, ob **EU-Förderungen für den Ausbau der Infrastruktur** in den Mitgliedstaaten angedacht sind, wurde nur den beiden Befragten der EU-Gremien sowie einer Organisationen im Umfeld der zuständigen nationalen Ministerien gestellt. Die Antwort wurde einhellig positiv beantwortet. In Bezug auf die **konkrete Höhe** und den **genauen Zeitpunkt der Auszahlung** antwortete nur ein Vertreter der EU-Gremien und gibt an, dass die Förderung für den Ausbau der Infrastruktur über das Förderinstrument Connecting-Europe-Facility (CEF) geregelt wird, und dreistellige Millionenbeträge zur Verfügung stehen können. Alternativ stehen

[20] Kommentar: *Achtung, Kilometer, nicht Tonnen-Kilometer; etwaige Nutzlast- und Ladezeitverluste sind aber bereits berücksichtigt. Der hohe Unterschied stammt aus den Energiekosten, die gerade auf der Langstrecke dominant sind und die effizientere Lösung bevorzugt. Die Zahlen beinhalten die vollen Kosten der Infrastruktur inkl. des dahinterliegenden Netzes – die Zahlen sind real, also ohne Inflation.*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

laut dem Vertreter der EU-Gremien Kohäsionsgelder[21] oder Gelder aus dem Aufbau- und Resilienzplan, der im Zuge der Covid19-Pandemie geschaffen wurde (RRF), zur Verfügung. Bei den CEF entscheidet die Europäische Kommission über Höhe und Zeitpunkt der Auszahlung, bei den RRF entscheiden die Mitgliedstaaten über die Verwendung.

Das deutsche Bundesland NRW unterstützt **Beschaffungsinitiativen**, bei welchen sich Firmen aus dem Transportgewerbe zusammenschließen und gemeinsam Rahmenverträge mit Lkw-Produzenten (Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie) abschließen, um durch ein höheres Bestellvolumen die Anschaffungskosten für das einzelne Unternehmen zu senken. Die Frage, ob solche Beschaffungsinitiativen auch für Österreich sinnvoll sein könnten, wurde der Gruppe der Interessenverbände, den Spediteure/Frächtern und Fuhrparkmanagern sowie einer Organisation im Umfeld eines zuständigen Ministeriums gestellt und wurde von allen beantwortet. Bis auf einen Vertreter eines Interessenverbandes und einem Spediteur/Frächter wurde diese Frage einheitlich positiv beantwortet. In diesem Sinne sind auch zehn von zwölf Befragten der Ansicht, dass solche Beschaffungsinitiativen auch in Österreich von staatlicher Seite unterstützt werden sollten. Jener Frächter/Spediteur, der vor allem Sonder- und Schwertransporte durchführt, unterstützt wahrscheinlich deshalb solche Beschaffungsinitiativen nicht, weil es einer größeren Anzahl an Unternehmen bedarf, die dieselben Modelle beschaffen wollen, um bei einem gemeinsamen Einkauf günstigere Konditionen zu erhalten. Sondertransporter werden jedoch von vergleichsweise wenigen Betrieben nachgefragt.

Auf die Frage, ob die aktuell für österreichische Frächter/Spediteure/Unternehmen sowie Land- und Forstwirte mit eigenem Fuhrpark zur Verfügung **stehenden staatlichen Förderungen für die Anschaffung von Lkw mit alternativem Antrieb** (Brennstoffzellen- und Akkutechnologie) ausreichend sind, antwortete der Vertreter einer Organisation, die im Umfeld eines zuständigen Ministeriums steht, zustimmend, der andere ablehnend.[22]

Die **Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG)** wickelt für die ö. Bundesregierung ein Fördermodell für emissionsfreie Nutzfahrzeuge inkl. dem Aufbau der Infrastruktur (ENIN) ab. Bis 2026 stehen 365 Mio. Euro bereit. Gefördert werden 80 % der Mehrkosten für die Fahrzeugbeschaffung und 40 % der Kosten für den Aufbau der Infrastruktur. Als

[21] Gelder zur Finanzierung von Projekten, durch die die Umwelt und die Integration der TEN-Netze gefördert werden sollen.
[22] Diese Frage wurde nur an die beiden Organisationen, die sich im Umfeld eines zuständigen österreichischen Ministeriums befinden, gestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ausreichend werden diese Förderungen von den beiden Spediteuren/Frächtern, vom Fuhrparkmanager, von zwei der drei befragten Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten und von zwei Interessenverbänden empfunden. Als zu niedrig sehen die sechs anderen Interessenverbände und ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten die Förderhöhen an. Interessanterweise sehen beide Frächter/Spediteure, der Fuhrparkmanager und sogar zwei der drei Produzenten die Förderungen als ausreichend an.

Bei jenen, die mit **den derzeitigen Förderungen nicht zufrieden** sind, besteht der Wunsch

- nach technologieneutraler Förderung (zB. auch für Biogasfahrzeuge) sowie nach einer reinen Projektförderung
- nach einem längeren Förderzeitraum
- nach einem Abbau regulatorischer Hürden
- nach einem Bürokratieabbau, da die Förderanträge insbesondere für KMU kompliziert sind
- nach einer rascheren Auszahlung
- nach einer höheren Dotierung des Fördertopfes
- nach einer Erhöhung der Infrastrukturförderung und der Förderung für die Umrüstung des Fuhrparks

Eine ähnliche Frage wurde an eine Organisation gestellt, die sich im Umfeld eines zuständigen österreichischen Ministeriums befindet. Auch für diesen Befragten sind die aktuell für österreichische Frächter/Spediteure/Unternehmen mit eigenem Fuhrpark zur Verfügung stehenden **staatlichen Förderungen für die Anschaffung von Lkw mit alternativem Antrieb** (Brennstoffzellen- und Akkutechnologie) ausreichend.

5.4.4. Beitrag der beiden Technologien zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität

In Bezug auf **Schwankungen bei der Stromproduktion** ist die Mehrheit der Befragten (Vertreter der Interessenverbände und Organisationen aus dem Umfeld von Ministerien) der Ansicht, dass sowohl die Elektrolyse von Wasserstoff bzw. die Produktion von Strom aus Wasserstoff als auch die Akku-Technologie das Potential haben, zur Netzstabilität beizutragen. Wie *Tabelle 5* zeigt, sind alle Befragten der Ansicht, dass die Verwendung von **überschüssigem Strom** für die Wasserstoffelektrolyse zur Netzstabilität beitragen kann. Etwas skeptischer sind die Befragten bezüglich der Verwendung von Lkw-Akkus als Pufferspeicher für überschüssigen Strom. Während sieben Befragte der Ansicht sind, dass sich auch Lkw mit Akku-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Technologie dafür eignen, Strom aus Überschussproduktion abzunehmen und damit die Stromnetze zu entlasten, sind zwei der Befragten gegenteiliger Ansicht.

Dass im Falle einer **Unterversorgung** die Einspeisung von Strom aus Lkw-Akkus zur Stabilisierung der Stromnetze beitragen kann, glauben nur vier von neun Experten. Dies liegt daran, dass Lkw während der Betriebszeiten üblicherweise im vollen Einsatz stehen und eine aufgeladene Batterie benötigen. Strom aus dem Akku könnte maximal in der Nacht oder an Sonn-/Feiertagen in das Netz eingespeist werden. Zu diesen Zeiten wird allerdings meist wenig Energie benötigt. Auch in diesem Bereich wird der Wasserstoff-Technologie ein größerer Einfluss auf die Stabilität von Stromnetzen zugetraut. Immerhin sieben von neun Experten sind der Ansicht, dass die Produktion von Strom aus Wasserstoff künftig dabei helfen kann, Phasen einer Spitzenlast abzudecken.

Tabelle 5: Beitrag der Technologien zur Netzstabilität (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Abnahme von Strom aus Überproduktion		**Produktion von Strom**	
	Für Wasserstoffelektrolyse	**Für das Laden von Lkw-Akkus**	**Aus Wasserstoff**	**Durch Einspeisung von Strom aus Akkus in das Netz**
Ja	**9** (acht Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)	**7** (sechs Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)	**7** (sechs Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)	**4** (Vertreter von Interessenverbänden)
Nein	**0**	**2** (zwei Vertreter von Interessenverbänden)	**2** (Vertreter von Interessenverbänden – dieselben)	**5** (vier Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Dass es möglich sein wird, mit Hilfe der V2G-Technogie und der Wasserstoffelektrolyse bzw. der Produktion von Strom aus Wasserstoff zur **Stabilität der Stromnetze in Europa** beizutragen wurde von drei der vier Befragten[23] (EU, Vertreter von Organisationen aus dem Umfeld eines Ministeriums) positiv beantwortet.

Von Seiten eines Mitglieds eines EU-Gremiums wird angemerkt, dass Stromnetze zwar zu einem gewissen Teil durch Batterien stabilisiert werden können, dass dabei aber Lkw-Akkus keine Rolle spielen, da diese fahren müssen und dazu den vollen Akku benötigen. Wasserstoff kann bei Gaskraftwerken beigemischt werden, um Strom zu erzeugen. Elektrolyseure seien aber viel zu teuer, um sie nur die paar Minuten oder Stunden am Tag in Betrieb zu haben, wenn gerade überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien am Markt ist. Um kosteneffizient zu arbeiten, müssten die Anlagen 24/7/12 laufen, jedenfalls aber 6000h im Jahr. Da herrscht Uneinigkeit mit der Literatur. Laut Literatur ist eine Elektrolyse aus Überschussstrom sehr wohl möglich (vgl. Stephan 2021).

Mit Hilfe der Technologie **V2G** (Vehicle to Grid) kann der Strom vom Akku des Lkw wie bereits erwähnt auch wieder ins Netz eingespeist werden (bidirektionales Laden). Da mit dem Ausbau von Wind- und PV-Anlagen die Netzauslastung stärken schwanken wird, werden Energieversorger in Zukunft vermutlich **zeit- bzw. lastvariable Stromtarife** anbieten. Die Akkus der Lkw könnten zur Zwischenspeicherung günstigeren Stroms verwendet werden. Somit könnten Betriebe ihren Strombedarf selbständig mit V2G-Ladestationen ausgleichen. Diese Frage wurde den Spediteuren/Frächtern, den Vertretern der Interessenverbände und den Vertretern der Lkw-Fahrzeugproduzenten gestellt. Die Mehrheit der Befragten (die beiden Spediteure/Frächter, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten und sieben Interessenverbände) hält diese Technologie für sinnvoll. Für nicht sinnvoll stimmen nur zwei der Befragten (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten und ein Vertreter eines Interessenverbandes).[24]

Die Hälfte der Befragten, die auf diese Frage geantwortet haben, gibt an **V2G entweder selbst zu nutzen** (ein Spediteur) **oder** davon auszugehen, dass die **Mitgliedsunternehmen** diese Technologie **nutzen** werden (zwei Interessenverbände)[25], die andere Hälfte (ein Spediteur, zwei Interessenverbände) werden die Technologie voraussichtlich nicht selbst nutzen, bzw.

[23] Nicht beantwortet: ein Mitglied eines Gremiums der EU
[24] Nicht beantwortet: Fuhrparkmanager
[25] Nicht beantwortet: Fuhrparkmanager, ein Spediteur/Frächter, fünf Vertreter von Interessenverbänden

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

glauben sie nicht, dass die Mitgliedsbetriebe V2G nutzen werden. Für die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten bestimmt die Nachfrage, ob V2G künftig (serienmäßig) angeboten wird.

Der Vertreter eines Interessenverbandes gibt an, die Technologie an sich zwar für sehr sinnvoll zu halten. Er befürchtet, dass sich der Zustand und die Lebensdauer der Batterie, der von der Anzahl der Ladezyklen abhängt, durch V2G verschlechtert. Somit kann der Wert des Fahrzeuges, der sich maßgeblich über die Qualität des Akkus definiert, wegen dieser Technologie fallen. Diese Sorge ist nachvollziehbar.

5.4.5. Energieversorgungssicherheit - Strategien zur Sicherstellung der Versorgung mit grünem Strom und Wasserstoff

Ein Großteil der Befragten[26] glaubt nicht, dass **Österreich** in der Lage sein wird, **bis** zum Jahr **2040** neben der Industrie und der Luft-/Schifffahrt auch **ausreichende Mengen an grünem Wasserstoff für den Straßengüterverkehr** zur Verfügung zu haben (*siehe Tabelle 6*). Das kann mit der Renewable Energy Directive (RED) der EU zusammenhängen. Die dort vorgesehenen strengeren Anforderungen an grünen Strom können den Ausbau der Wasserstoffproduktionskapazität hemmen.

Tabelle 6:Einsatz grünen Wasserstoffs im Straßengüterverkehr (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Ja	**Nein**
Es wird nicht genügend grünen Wasserstoff geben, um auch den Straßengüterverkehr versorgen zu können.[27]	**9** (vier Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/Frächter, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)	**6** (vier Vertreter von Interessenverbänden[28], Fuhrparkmanager, ein Mitglied der Gremien der EU)

[26] Diese Frage wurde den Mitgliedern der Gremien der EU, den Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, den Interessenverbänden, den Spediteuren/Frächtern, dem Fuhrparkmanager und den Lkw-Fahrzeugproduzenten gestellt.

[27] Nicht beantwortet: ein Mitglied eines Gremiums der EU und ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten

[28] Kommentar: *Wenn der Import von grünem H2 stärker in den Fokus kommt. Wasserstoff wird aktuell in Österreich politisch nicht für den Verkehrssektor gesehen. Wenn man sich globale Ressourcen an grünem Wasserstoff sichert. Kommt darauf an, wie man die Produktion gestaltet (siehe RED Art 27.3 und Delegated Act). Die hier verwendete Aufteilung entspricht einer Mangelwirtschaft. Das sollte nicht das Ziel Europas sein.* (Anmerkung: Die Spezifizierung der Kriterien in dem delegierten Rechtsakt dient dem Ziel, sicherzustellen, dass der Strom, der für die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff verwendet wird, vollständig erneuerbar ist. Die im Rahmen des Delegierten Rechtsaktes beschlossenen Anforderungen an den für die Elektrolyse von Wasserstoff verwendeten grünen Strom sind allerdings so hoch, dass Kritiker befürchten, dass sich dadurch der Ausbau der Kapazität in der Wasserstofferzeugung verlangsamt und die Versorgung mit Wasserstoff gefährdet sein könnte. Außerdem sollen die hohen Anforderungen auch für importierten Wasserstoff gelten.)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Dreizehn der Befragten (alle Interessenverbände und Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, Fuhrparkmanager, ein Spediteur/Frächter) wünschen sich in diesem Zusammenhang **von Seiten der österreichischen Bundesregierung/der EU Maßnahmen,** um in Österreich bis 2040 größere Mengen an **grünem Strom** bzw. **grünem Wasserstoff** zur Verfügung zu haben.[29]

Als **gewünschte Maßnahmen** wurden folgende genannt:

- Fördermittel für den Kapazitätsausbau der Wasserstoffelektrolyse, die Forschung im Bereich der Wasserstoffelektrolyse, den Netzausbau zu den künftigen Elektrolyseanlagen, den Ausbau von Produktionskapazitäten für grünen Strom, den Ausbau von Stromverteilnetzen, den Ausbau von Wasserstofftankstellen samt Leitungsinfrastruktur und die Forschung an modernen Atomreaktoren (Salzschmelzreaktoren, Hochtemperaturreaktoren…)
- Rechtssicherheit (Regulatorien für V2G)
- Sicherung von globalen Ressourcen an grünem Wasserstoff
- Innovationen und Investition in Forschung und Entwicklung alternativer (wirklich grüner) Stromerzeugung

Ebenfalls die Mehrheit der Befragten (ein Mitglied eines Gremiums der EU, sieben Interessenverbände, zwei Spediteure/Frächter, der Fuhrparkmanager, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten) ist der Ansicht, dass **grüner Wasserstoff bei der Versorgung mit grüner Energie im Vorteil** ist, da er im Unterschied zu grünem Strom **aus Regionen außerhalb der EU importiert** werden kann. Darin wird auch ein Vorteil für einen Umstieg auf Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie gesehen.[30]

Anderer Meinung sind nur vier der Befragten (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Interessenverbandes, ein Mitglied eines Gremiums der EU). Sie sehen wegen der reduzierten Effizienz keinen Vorteil in der Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie. Die importierte Menge an wertvollem Wasserstoff muss gemäß dem Vertreter einer Organisation aus dem

[29] Diese Frage wurde den Vertretern von Interessenverbänden, den Spediteuren/Frächtern, dem Fuhrparkmanager und den Lkw-Fahrzeugproduzenten gestellt**.** Es gibt nur eine Gegenstimme (ein Spediteur/Frächter).
[30] Diese Frage wurde den Vertretern der Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, den Vertretern von Interessenverbänden, den Spediteuren/Frächtern, dem Fuhrparkmanager, den Mitgliedern eines Gremiums der EU und den Lkw-Fahrzeugproduzenten gestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Umfeld eines zuständigen Ministeriums dort eingesetzt werden, wo es keine absehbaren Alternativen gebe: in der Industrie (insb. Hochöfen), im Schiffverkehr (in Österreich: Binnenschifffahrt) und später auch im Luftverkehr. Bei Straßenfahrzeugen sei es nur sinnvoll, Nischenflotten zu bedienen. Der Vertreter eines Interessenverbandes kritisiert, dass Importe nur dann sinnvoll seien, wenn es in Summe zu einer deutlichen Reduktion von CO2 komme. Dies sei bei Wasserstoff aber nicht der Fall, da Importe per Schiff von Australien oder Afrika nach Europa transportierten werden müssten, wodurch ein hoher CO_2-Fußabdruck bleibe. Der Vertreter eines Fahrzeugherstellers betont, dass Energiesysteme mittel- bis langfristig gekoppelt seien. Importierter Wasserstoff lasse sich effizienter nutzen, indem er außerhalb des Lkw in Strom umgewandelt werde. Damit profitiere auch der Strompreis von Importen, da mit Wasserstoff Spitzenverbrauch abgedeckt werden könne. Wegen der hohen Transportkosten spricht sich ein Mitglied eines Gremiums der EU gegen die Verwendung von Wasserstoff im Lkw-Bereich aus.

Die Frage danach einem Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, wie hoch der **Eigenversorgungsanteil Österreichs mit grünem Wasserstoff** für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher bis 2030/40 voraussichtlich sein wird, beantworten, wie *Tabelle 7* zeigt, nur zwei von vier Befragten.[31] Die beiden Antworten liegen mit 25% bis 2030 und 60% bis 2040 von bzw. 3% bis 2030 und 7% bis 2040 von einem Mitglied eines Gremiums der EU weit auseinander. Für die EU-weite Situation sehen die Einschätzungen ähnlich aus, nur geht der Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums bis 2030 sogar von einem 30%igen Eigenversorgungsanteil aus.

Tabelle 7: Eigenversorgungsanteil Österreichs und der EU mit grünem Wasserstoff (Quelle: Eigene Expertenbefragung))

Eigenversorgungsanteil mit grünem Wasserstoff	**bis 2030**		**bis 2040**	
EU-weit	30%[32]	3% [33]	60%	7%
In Österreich	25%	3%	60%	7%

[31] Diese Frage wurde den Vertretern der Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums und den Mitgliedern eines Gremiums der EU gestellt. Ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums hat diese Frage nicht beantwortet, weil der Verkehrssektor miteinbezogen wird und er es für äußerst unwahrscheinlich halte, dass grüner Wasserstoff in größeren Mengen für Straßenfahrzeuge verwendet werde. Ein Vertreter eines Gremiums der EU hat diese Frage ebenfalls nicht beantwortet.

[32] Jeweils erste Nennung: Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums

[33] Jeweils zweite Nennung: Mitglied eines Gremiums der EU

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

In der Frage danach, wie hoch in Österreich/EU-weit der **Anteil an Strom aus erneuerbarer Energie** für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher bis 2030/40 voraussichtlich sein wird, sind sich die beiden Vertreter von Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums einig (*siehe Tabelle 8*). Bis 2030 erwarten sie für Österreich einen Anteil von 90%, bis 2040 sogar von 100%.[34] Das Mitglied eines Gremiums der EU erwartet hingegen einen niedrigeren Anteil von 70% bis 2030 und 80% bis 2040. In Bezug auf die gesamte EU erwarten sowohl die beiden Vertreter von Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums als auch das Mitglied eines EU-Gremiums bis 2030 einen Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien von 30% (*siehe Tabelle 8*). Bis 2040 gehen die Ansichten wiederum auseinander. Die beiden Vertreter von Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums sind sich wieder darüber einig, dass sie einen 75%igen Anteil erwarten, das Mitglied eines EU-Gremiums erwartet hingegen nur 40%.

Tabelle 8: Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien	**bis 2030**	**bis 2040**
EU-weit	30%[35] (3 Nennungen)	75%[36] (2 Nennungen) 40%[37]
In Österreich	90%[38] (2 Nennungen) 70%[39]	100%[40] (2 Nennungen) 80%[41]

Die Experten gehen also davon aus, dass Österreich bis 2040 bei Strom einen höheren Anteil aus erneuerbaren Energiequellen haben wird als im EU-Durchschnitt, bei Wasserstoff hingegen einen etwa gleichhohen. Wie hoch der Eigenversorgungsanteil Österreichs bei grünem Strom jedoch tatsächlich sein wird, lässt sich aus heutiger Sicht allein schon deshalb nicht genau voraussagen, weil der künftige Strombedarf davon abhängt, inwieweit Energiesparmaßnahmen beispielsweise im Gebäudebereich umgesetzt werden. Bei grünem Wasserstoff wird der

[34] Diese Frage wurde den Vertretern der Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums und den Mitgliedern eines Gremiums der EU gestellt. Nicht beantwortet: Ein Mitglied eines Gremiums der EU
[35] Zwei Vertreter eine Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Mitglied eines Gremiums der EU
[36] Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums
[37] Ein Mitglied eines Gremiums der EU
[38] Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums
[39] Ein Mitglied eines Gremiums der EU
[40] Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums
[41] Ein Mitglied eines Gremiums der EU

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Eigenversorgungsanteil jedenfalls als weitaus niedriger eingeschätzt. Ohne Energieimporte (vor allem von grünem Wasserstoff) könnte allerdings der Beitrag, den der Verkehrssektor zur Klimawende leisten soll, gefährdet sein.

5.4.6. Umweltaspekte

Die Frage, welche der beiden Technologien über den gesamten Lebenszyklus voraussichtlich zu weniger Luftschadstoffen führt, wurde allen Befragten gestellt.[42] Eine Betrachtung der Ergebnisse aus *Tabelle 9* zeigt, dass ein großer Teil der Befragten die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie in Bezug auf die Verursachung von Luftschadstoffen entweder im Vorteil oder zumindest als gleichwertig ansieht.

Tabelle 9: Verursachung von Luftschadstoffen durch die beiden Technologien (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

Die Akku-Technologie verursacht weniger Luftschadstoffe	**Die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie verursacht weniger Luftschadstoffe**	**Beide Technologien sind in Bezug auf verursachte Luftschadstoffe gleichwertig**
2 (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzent, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)	**7** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Gremiums der EU, drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**6** (vier Vertreter von Interessenverbänden, Fuhrparkmanager, ein Spediteur/Frächter)

[42] Nicht beantwortet: ein Mitglied eines Gremiums der EU und ein Vertreter eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Auch bei der Frage danach, welche der beiden Technologien über die gesamte Lebensdauer den niedrigeren ökologischen Fußabdruck verursacht (*siehe Tabelle 10*), sehen die meisten Befragten die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie zumindest nicht im Nachteil.[43]

Tabelle 10: Ökologischer Fußabdruck der beiden Technologien (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

Die Akku-Technologie verursacht weniger Luftschadstoffe	**Die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie verursacht weniger Luftschadstoffe**	**Beide Technologien sind in Bezug auf verursachte Luftschadstoffe gleichwertig**
3 (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten[44], ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Interessenverbandes)	**10** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Gremiums der EU, drei Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/Frächter, Fuhrparkmanager, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**4** (vier Vertreter von Interessenverbänden)

5.4.7. Technologische Aspekte – Praktikabilität der Technologien

Die Frage, ob sich bei Lkw die **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie oder** die **Akku-Technologie** eher **durchsetzen wird**, wurde den beiden Vertretern von Organisationen im Umfeld zuständiger österreichischer Ministerien gestellt. Einer der Befragten sieht die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Vorteil, der andere die Akku-Technologie (*„Hier ist essenziell zu betonen, dass es nicht um ein „Ausspielen" zweier Technologien geht. Technologieoffenheit ist essenziell für Innovation und Fortschritt. Jedoch gibt es systematische Grundregeln, die nicht geändert werden können – und das ist der Gesamtwirkungsgrad von H_2-Trucks, den wir uns aufgrund der stark beschränkten Mengen an grünem Strom wohl nicht leisten können."*)

[43] Nicht beantwortet: ein Mitglied eines Gremiums der EU

[44] Kommentar: *Bei Lkw ist der Unterschied massiv – dank der intensiven Nutzung würden sich selbst die umweltschädlichsten Batterien auch bei Nutzung des aktuellen Strommix binnen kurzer Zeit amortisieren. Der Betrieb ist dominant und hier ist die höhere Effizienz der Akku-Technologie entscheidend.*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

In Bezug auf **die Sinnhaftigkeit** der beiden Technologien punkto **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** wird die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie, wie *Tabelle 11* zeigt, von den meisten Befragten gegenüber der Akku-Technologie als im Vorteil angesehen.[45]

Tabelle 11: Sinnhaftigkeit der beiden Technologien in Bezug auf Praxistauglichkeit und Umweltfreundlichkeit (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Praxistauglichkeit	**Umweltfreundlichkeit**
Akku-Technologie	**4** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**5** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten)
Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie	**14** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Mitglieder eines Gremiums der EU, sechs Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/Frächter, Fuhrparkmanager, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**12** (Fuhrparkmanager, vier Vertreter von Interessenverbänden, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, vier Vertreter eines Interessenverbandes, zwei Mitglieder eines Gremiums der EU)

Die Betrachtung der **Durchsetzbarkeit** der beiden Technologien in Bezug auf **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** ergibt ein ähnliches Bild. Auch in diesem Punkt wird die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie, wie *Tabelle 12* zeigt, von den meisten Befragten gegenüber der Akku-Technologie als im Vorteil angesehen.[46] Interessanterweise schätzen die Befragten also die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für Lkw im Straßengüterverkehr sowohl bei der Umweltfreundlichkeit als auch bei der Praxistauglichkeit besser als die Akku-

[45] Diese Frage wurde den Vertretern von Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, den Mitgliedern eines Gremiums der EU, den Vertretern von Interessenverbänden, den Vertretern von Lkw-Fahrzeugproduzenten, den Spediteuren/Frächtern und dem Fuhrparkmanager gestellt. Nicht beantwortet: ein Vertreter eines Interessenverbandes.

[46] Diese Frage wurde den Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, den Mitgliedern eines Gremiums der EU, den Vertretern von Interessenverbänden, den Vertretern von Lkw-Fahrzeugproduzenten, den Spediteuren/Frächtern und dem Fuhrparkmanager gestellt. Nicht beantwortet: ein Vertreter eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Technologie ein. Nur in Bezug auf den Wirkungsgrad liegt die Akku-Technologie bei den Experten vorne.

Tabelle 12: Durchsetzbarkeit der beiden Technologien in Bezug auf Praxistauglichkeit und Umweltfreundlichkeit (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Praxistauglichkeit	**Umweltfreundlichkeit**
Akku-Technologie	**3** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**4** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten)
Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie	**14** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Mitglieder eines Gremiums der EU, sechs Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/Frächter, Fuhrparkmanager, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**12** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, Fuhrparkmanager, vier Vertreter von Interessenverbänden, zwei Mitglieder eines Gremiums der EU, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, zwei Spediteure/Frächter)

Dass das **höhere Eigengewicht bei Lkw mit Akku-Technologie** zu einem niedrigeren Zuladungsgewicht führt, sehen zehn der Befragten (Fuhrparkmanager, ein Spediteur/Frächter, sechs Vertreter von Interessenverbänden, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten) als Problem an.[47] Erwähnt wird in diesem Zusammenhang die Reduktion der Produktivität im Fernverkehr, die einerseits von der langen Ladedauer, andererseits vom niedrigeren Zuladungsgewicht verursacht wird.[48] Drei der Befragten (ein Spediteur/Frächter, ein Vertreter eines Interessenverbandes, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten) sind der Ansicht, dass das Zuladungsgewicht bei Akku-Lkw kein Problem darstellen wird. Begründet wird dies von dem Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten damit, dass das Gewicht der Batterien bei rund 4t liegt, gleichzeitig aber zwei bis drei Tonnen an Diesel-Komponenten wegfallen und durch die Verordnung

[47] Diese Frage wurde den Vertretern von Interessenverbänden, den Vertretern von Lkw-Fahrzeugproduzenten, den Spediteuren/Frächtern und dem Fuhrparkmanager gestellt. Nicht beantwortet: drei Vertreter eines Interessenverbandes.
[48] Vertreter eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

der EU das hzG um 2t steigt. „*Mit sinnvollen Achsformeln ergibt sich damit bereits heute praktisch Nutzlastparität; auch der Mehrverbrauch durch das Mehrgewicht ist marginal.*“[49] Auf der anderen Seite meint ein Vertreter eines Interessenverbandes, dass die Gewichtsbilanz zwar bei einem Verteiler-Lkw stimmt, da es hier nur ein geringes Mehrgewichte gegenüber der Dieselvariante gibt, dass dies im Fernverkehr aber anders aussieht. *„Um Reichweiten von mehr als 600 km mit 40 t Gesamtgewicht zu befördern, benötigt man aktuell Lithium-Ionen-Batterien mit mehr als 6 t Gewicht.*“[50]

Von sieben der Befragten (zwei Vertreter von Fahrzeugproduzenten, vier Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums) als besonders schwierig angesehen wird der Umstieg vom Verbrennungsmotor dort, wo es um **besondere Anforderungen** an das Nutzfahrzeug (Schwertransporter und Sondertransporter wie Forst-Lkw, Kühl-Lkw, schwere Muldenkipper, Schneepflüge etc.) geht.[51]

Probleme in Bezug auf Nutzfahrzeuge, die besonderen Anforderungen entsprechen müssen, werden **bei der Akku-Technologie** insbesondere dort gesehen,

- wo eine 24/7-Verfügbarkeit bzw. rasche Reaktionszeiten gewährleistet werden müssen,[52]
- wo zusätzlicher Strombedarf vorhanden ist (zB. Kühl-Lkw),[53]
- wo Fahrzeuge mit großer Leistungsabnahme bei gleichzeitig langer Einsatzdauer unterwegs sein müssen, zB. Winterdienst-Lkw, Sondertransporter mit Ausnahmegenehmigung, große Traktoren für schwere Feldarbeit,[54]
- Anwendungen, die lange Nonstop-Zeiten mit Nichtverfügbarkeit von Infrastruktur vereinen, zB. Holztransporte in Sibirien oder Nordkanada, oder Roadtrains in Australien,[55]

[49] Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten
[50] Kommentar eines Vertreters eines Interessenverbandes: *Wenn man unterstellt, dass das hzG Gesamtgewicht um 2t steigt und weitere 2t an Diesel-Komponenten wegfallen, bedeuten 6 zusätzliche Tonnen an Gewicht eine Reduktion des Zuladegewichts um 2t.*
[51] Diese Frage wurde den Vertretern von Interessenverbänden, den Vertretern von Lkw-Fahrzeugproduzenten, den Spediteuren/Frächtern, dem Fuhrparkmanager und einem Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums gestellt. Nicht beantwortet: ein Vertreter eines Interessenverbandes
[52] Vertreter eines Interessenverbandes
[53] Vertreter eines Interessenverbandes
[54] Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten; Vertreter eines Interessenverbandes, Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums
[55] Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- wo nur eine geringe Nachfrage nach einer bestimmten Art von Sonderfahrzeug besteht und daher die Kosten für die Anschaffung besonders hoch sind,[56]
- wo Einsätze in abgelegene Regionen ohne adäquate Ladeinfrastruktur erfolgen,[57]
- im internationalen Fernverkehr da die Geschwindigkeit der Entwicklung der Infrastruktur hemmenden wirkt[58]

Keinerlei Bedenken in Bezug auf Lkw, die besondere Anforderungen erfüllen müssen, wurden hingegen bei dem Einsatz der **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** geäußert.

Die anderen sieben Befragten (ein Vertreter eines Fahrzeugproduzenten, drei Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/Frächter, ein Fuhrparkmanager) sehen auch im Falle besonderer Anforderungen an Nutzfahrzeuge prinzipiell **keine Probleme bei der Umstellung**, unabhängig davon, ob es sich um Lkw mit Akku- oder mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie handelt.

Massive technologische Fortschritte hinsichtlich **Reichweite** werden, wie *Tabelle 13* zeigt, bei beiden Technologien erwartet. In Bezug auf den Wirkungsgrad und den ökologischen Fußabdruck erwarten allerdings mehr Befragte bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für die kommenden Jahre massive technologische Fortschritte.[59]

[56] Vertreter eines Interessenverbandes
[57] Vertreter eines Interessenverbandes
[58] Vertreter eines Interessenverbandes
[59] Diese Frage wurde den Vertretern von Interessenverbänden, den Vertretern von Lkw-Fahrzeugproduzenten, den Spediteuren/Frächtern, dem Fuhrparkmanager und einem Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums gestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabelle 13: Erwartete technologische Fortschritte bei den beiden Technologien (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Reichweite	**12** (sieben Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, drei Vertreter von Fahrzeugproduzenten)	**11** (acht Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter, ein Fuhrparkmanager, ein Vertreter eines Fahrzeugproduzenten)
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	**8** (fünf Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**11** (sieben Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter, ein Fuhrparkmanager, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)
Ökologischer Fußabdruck - Verzicht auf seltene/kritische Rohstoffe	**6** (drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**12** (sechs Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/Frächter, ein Fuhrparkmanager, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)

5.4.8. Rahmenbedingungen von Seiten der EU und der Ö. Bundesregierung und Batterie-VO

Die derzeitige **Doppelstrategie der EU** – Investitionen sowohl in den **Ausbau** der **Wasserstoffinfrastruktur** als auch in **Schnellladesäulen** – hält die Mehrheit der Befragten[60] (die beiden Vertreter von Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, sieben Vertreter von Interessenverbänden[61], der Fuhrparkmanager und zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten) für den **Güterstraßenverkehr** für sinnvoll. Derzeit besteht aus Sicht einiger Befragten eine Ungleichbehandlung der beiden Technologien (*siehe Fußnote 60*).

[60] Diese Frage wurde den Vertretern von Interessenverbänden, den Spediteuren/Frächtern, den Vertretern von Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums und den Vertretern von Lkw-Fahrzeugproduzenten gestellt.

[61] Kommentar eines Vertreters eines Interessenverbandes: Die Investitionen in die *H2-Infrastruktur sind in der Regel zu 100% privatwirtschaftlicher Natur, jene in die Ladeinfrastruktur nicht. Die Kosten für den Netzausbau und die Stromproduktion an sich werden über Netzgebühren etc. „vergesellschaftlicht“.*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Beklagt wird von einem Vertreter eines Interessenverbandes, dass die Investitionen in die H2-Infrastruktur in der Regel zu 100% privatwirtschaftlicher Natur seien, jene in die Ladeinfrastruktur nicht. Die Kosten für den Netzausbau und die Stromproduktion an sich würden über Netzgebühren etc. „vergesellschaftlicht".

Vier der Befragten (ein Vertreter eines Interessenverbandes, die beiden Spediteure/Frächter, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten) sind hingegen der Ansicht, die EU-Staaten sollten sich auf eine der beiden Technologien konzentrieren.

Für eine Technologieoffenheit zum jetzigen Zeitpunkt **spricht** gemäß jener Befragten, die sich für eine Doppelstrategie aussprechen:

- Der Fern- und Schwerverkehr hat andere Anforderungen wie der Nahverkehr. Generell erfordern unterschiedliche Anforderungen unterschiedliche Technologien.[62]
- Beide Technologien stehen erst am Beginn ihrer technologischen Entwicklung und haben sowohl Vor- als auch Nachteile. Technologieoffenheit führt dazu, dass sich beide Technologien weiterentwickeln können. Bei der Akkutechnologie gilt es, Batterien ohne den Einsatz problematischer Stoffe, aber mit höherer Leistungsdichte zu entwickeln. Bei der Brennstoffzelle könnte die Forschung zu einer drastischen Erhöhung des Wirkungsgrades und einer Verlängerung der Lebensdauer führen.[63]
- Vor allem im Bereich von Speichermedien wird die technologische Entwicklung zu Aspekten führen, die heute noch gar nicht mitberücksichtigt werden können.[64]
- Die Schaffung von zwei voneinander unabhängigen Versorgungsnetzen (grüner Wasserstoff und grüner Strom) machen das Gesamtsystem weniger anfällig für Störungen.[65]
- Sobald die Produktion von Lkw mit alternativem Antrieb angelaufen ist, wird eher der Markt als die Politik und das Regulativ darüber entscheiden, was im Interesse des

[62] Vertreter eines Interessenverbandes
[63] Vertreter eines Interessenverbandes
[64] Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums
[65] Vertreter eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Gesamtsystems ist.[66] Es spricht daher nichts dagegen, Förderregime (siehe „ENIN“) weiterhin technologieoffen zu gestalten.[67]

Vertreter der Fahrzeugproduzenten, Vertreter der Interessenverbände, Spediteure/Frächter und Organisationen aus dem Umfeld der zuständigen österreichischen Bundesministerien wurden zudem danach gefragt, **auf welche Technologie sich Investitionen konzentrieren sollten**, wenn eine solche Konzentration erforderlich wäre.[68] Von jenen Befragten, die geantwortet haben, waren fünf (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, zwei Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure) für Investitionen in die Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie. Nur ein Befragter (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten) würde Investitionen in die Akku-Technologie bevorzugen. Dass Investitionen in die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bevorzugt werden, kann neben dem großen Interesse an H_2-Lkw auch damit zusammenhängen, dass die Wasserstoff-Technologie nicht nur für den Verkehr, sondern auch für Anwendungen in der Industrie essenziell sein wird. Zudem könnte die Hoffnung bestehen, dass neue Technologien zu fallenden Preise bei grünem Wasserstoff führen.

Derzeit setzt ein großer Teil der Befragten aber noch auf Verbrennungsmotoren. **Neuzulassungen bei leichten Nutzfahrzeugen** (bis 3,5t hzG) werden in der EU bereits **2035 verboten** sein. In Österreich ist angedacht, diese Vorgaben zu verschärfen und sogar für Diesel-Lkw bis 18t hzG eine Neuzulassung nur noch bis zum Jahr 2030 zu ermöglichen. Für schwere Lkw steht in Österreich das Jahr 2035 zur Diskussion.[69] Für **realistisch** halten diese Vorgabe allerdings nur vier der Befragten (drei Interessenverbände, der Fuhrparkmanager, einer der Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten). Als Grund wird genannt, dass bereits Fahrzeuge mit alternativen Technologien am Markt sind und durch die zeitlichen Vorgaben positiver politischer Druck auf

[66] Kommentar: *Noch sind zu wenige Fahrzeuge tatsächlich bestell- und lieferbar. Das wird sich innerhalb der nächsten Quartale stark ändern. So werden einige der größten OEM bereits 2024 alle Fahrzeugklassen als BEV-Trucks anbieten können – vom regionalen N2-Liefertruck bis hinauf zu großen 40t-Zugmaschinen. Ab diesem Zeitpunkt ist es nötig zu evaluieren, wie der Hochlauf der Zulassungen/Käufe läuft, ob die Fracht- und Logistikbranche tatsächlich schnell wechseln wird und welche Auswirkungen dies auf die Ankündigungen der OEM, auch H_2-Alternativen anzubieten (derzeit nicht vor 2026+) hat.*

[67] Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums

[68] Nicht beantwortet: zwei Vertreter von Organisationen aus dem Umfeld der zuständigen österreichischen Bundesministerien, sechs Vertreter von Interessenverbänden, der Fuhrparkmanager

[69] Die Frage, wie realistisch ein solcher vorgezogener Umstieg in Österreich ist, wurde den Vertretern der Interessenverbände, den Spediteuren/Frächtern, dem Fuhrparkmanager und den Vertretern der Lkw-Fahrzeugproduzenten gestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Original Equipment Manufacturer (OEM[70]) ausgeübt werde, rechtzeitig weitere Modelle auf den Markt zu bringen. Dazu wären allerdings passende Rahmenbedingungen erforderlich.[71]

Neun Experten (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, fünf Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/Frächter) halten diesen Zeitrahmen für **unrealistisch**. Als Gründe werden dabei die folgenden angegeben:

- Es wird bis 2035 insgesamt zu wenig Energie aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung stehen.[72] Der Grund dafür liegt darin, dass in den kommenden Jahren fossile Energieträger durch erneuerbare ersetzt werden müssen und damit die Nachfrage nach grünem Strom/Wasserstoff massiv steigen wird. Ab 2035 dürfen bei Pkw keine Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zugelassen werden[73], die Industrie (vgl. Bundeskanzleramt 2022) wird derzeit gerade mittels Förderungen bei der Umstellung ihrer Produktionsanlagen auf erneuerbare Prozessenergie unterstützt, Haushalte müssen bis 2035 (Öl) bzw. 2040 (Gas) ihre Heizungen auf erneuerbare Energieträger umgestellt haben (vgl. Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2022).
- Es wird bis dahin nicht gelingen, dass eine ausreichende Anzahl von Fahrzeugen mit diesen neuen Technologien für den Markt zur Verfügung steht.[74]
- Die technologische Entwicklung steht noch am Anfang. Es ist noch kein ausreichendes Angebot an Fahrzeugvarianten für alle Anwendungsfälle (wenn hohe Leistung und/oder hohe Reichweite erforderlich ist) vorhanden. Vor allem bei der Reichweite gibt es derzeit noch Probleme.[75]
- Akku-Lkw und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw sind derzeit in der Anschaffung noch zu teuer (staatliche Förderungen reichen nicht aus), die Wirtschaftlichkeit ist damit nicht gegeben.[76]
- Derzeit bestehen keine ausreichenden Kapazitäten für die Herstellung von grüner Energie.[77] Schließlich werden neben dem Verkehr auch die Industrie und die Haushalte auf grünen Strom/Wasserstoff umgestellt. Die Konkurrenz ist somit groß.

[70] Anmerkung: darunter werden in der Automobilindustrie Fahrzeughersteller verstanden.
[71] Vertreter von Interessenverbänden
[72] Vertreter eines Interessenverbandes
[73] Anmerkung: ausgenommen davon werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor sein, die ausschließlich mit E-Fuels betrieben werden.
[74] Vertreter eines Interessenverbandes
[75] Vertreter eines Interessenverbandes
[76] Spediteur/Frächter; Vertreter eines Interessenverbandes
[77] Vertreter eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Die für einen Umstieg erforderliche Infrastruktur in ganz Europa ist noch lange nicht ausreichend ausgebaut. Auch deswegen halten die Frächter am Diesel fest.[78]

Der Vertreter eines Fahrzeugproduzenten hat sich bei dieser Frage nicht auf eine Antwort festgelegt. Einerseits sieht er batteriebetriebene Lkw gerade bei schweren Lkw kostenseitig Diesel-Lkw weit überlegen. Bedingt durch die hohe Energiekostendominanz amortisieren sich selbst hohe Batterie- und Infrastrukturkosten rasch, woraus sich gerade im Fernverkehr, wo erheblicher Margendruck herrscht, ein Konkurrenzvorteil ergeben könnte. Andererseits hängt der Hochlauf der Produktion trotz des guten Business Cases vor allem von der Infrastruktur ab und diese liegt nicht in der Kontrolle eines einzigen Marktplayers. Nur wenn hinsichtlich des Ausbaus der Infrastruktur staatliche Garantien gegeben werden und ambitionierte Ausbaupfade vorliegen, ist 2035 für ein Verbot von Neuzulassungen bei schweren Diesel-Lkw realistisch.[79]

Der Vertreter eines Interessenverbandes befürchtet, dass ein Alleingang Österreichs bei der Regelung, bis wann schwere Diesel-Lkw neu zugelassen werden dürfen, zu einer Verschlechterung der Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Frächter führen könnte. Seiner Ansicht nach würden in diesem Fall verstärkt nicht in Österreich zugelassene Diesel-Lkw in Österreich fahren, wodurch Arbeitsplätze und Wertschöpfung in Österreich reduziert wird.[80]

Auch wenn ein Großteil der Befragten also der Ansicht ist, dass ein Verbot von Neuzulassungen von Diesel- Lkw in Österreich bis 2030 bzw. 2035 nicht realistisch ist, glauben doch immerhin sechs der Befragten[81] (Fuhrparkmanager, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten und vier Vertreter von Interessenverbänden), dass der **Großteil der Unternehmen** des Transport-/Güterbeförderungsgewerbes **bereits vor** dem Jahr **2035 freiwillig** beim Neukauf **auf Lkw mit Akku-/Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umstellen** wird. Als Grund dafür wird von dem Vertreter des Lkw-Fahrzeugproduzenten der Margendruck im Straßengüterverkehr genannt. In diesem Fall müssten jedoch die Betriebskosten eines Lkw mit Akku-Technologie niedriger als jene eines Diesel-Lkw sein. In diesem Punkt herrscht aber Uneinigkeit. Vier der Befragten sind der Ansicht, dass Diesel-Lkw höhere Betriebskosten als Lkw mit Akku-Technologie haben werden. Zehn der Befragten meinen hingegen, dass Diesel-Lkw niedrigere

[78] Vertreter eines Interessenverbandes
[79] Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten
[80] Vertreter eines Interessenverbandes
[81] Diese Frage wurde an die Vertreter der Interessenverbände, an Spediteure/Frächter, an den Fuhrparkmanager und an die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten gestellt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Betriebskosten als solche mit Akku-Technologie haben werden. Aber auch bei dieser Frage ist sich die Mehrheit der Experten (fünf Vertreter der Interessenverbände, zwei Spediteure, zwei Vertreter der Fahrzeugproduzenten) darüber einig, dass ein Umstieg bis 2035 nicht erfolgen wird.

Zu den **Rahmenbedingungen von Seiten der EU** zählt auch der Beschluss der Batterie-VO, deren exakter Text derzeit mit den Mitgliedstaaten verhandelt wird. Hinsichtlich der Verpflichtungen, welche die Batterie-VO bezüglich Akkus von E-Lkw (Lkw mit Akku-Technologie) enthalten soll, waren:[82]

- beide Befragte der Ansicht, dass Lkw-Produzenten dazu verpflichtet werden sollten, Akkus so zu verbauen, dass sie in einer Werkstatt (nicht nur in Vertragswerkstätten) relativ einfach ausgebaut werden können,
- ebenfalls beide Befragte der Meinung, dass Lkw-Produzenten den Einbau von Tausch-Akkus anderer Hersteller (im Nachbau) erlauben und auch ermöglichen müssen,
- einer der Befragten der Ansicht, dass Lkw-Produzenten dazu verpflichtet werden sollen, Tausch-Akkus für Lkw auch außerhalb eines Garantie-/Gewährleistungsfalles anzubieten, um die Nutzungsdauer des Fahrzeuges zu verlängern.[83]

Somit sind sich die befragten Mitglieder der EU-Gremien darin einig, dass die Lkw-Produzenten rechtlich dazu verpflichtet werden sollten, bereits bei der Konstruktion der Fahrzeuge darauf zu achten, dass ein rascher, kostengünstiger Austausch von Akkus möglich ist und dass Tauschakkus zu wirtschaftlich sinnvollen Preisen verfügbar sind.

Die Fragen, bis wann hinsichtlich der Batterie-VO mit einer Einigung mit den Mitgliedsstaaten zu rechnen ist und bis wann die Batterie-VO voraussichtlich in Kraft treten wird, wurde nicht beantwortet.

[82] Befragt wurden die Mitglieder eines Gremiums der EU und der Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, beantwortet wurden die Fragen zur Batterie-VO nur von den beiden Mitgliedern eines EU-Gremiums.
[83] Frage nicht beantwortet: 1 Vertreter der EU

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.4.9. Umstieg auf neue Technologie(n)

Die Frage nach den **Vor- und Nachteilen der beiden Technologien** (*siehe Tabelle 14)* lässt sich zusammenfassend so beantworten:[84] An der **Akku-Technologie** wird vor allem die bessere Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Infrastruktur, sowie die weitegehende Reduktion von Schadstoffen **geschätzt**. Als **Nachteil** wird vor allem die geringe Reichweite, die lange Ladedauer, das geringere Zuladegewicht und die problematische Situation bei der Produktion der Akkus (kritische Rohstoffe, hoher Energieverbrauch, Frage der Entsorgung) gesehen. Bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie wird vor allem die höhere Reichweite, der rasche Tankvorgang und die Eignung der Lkw für die Langstrecke als Vorteil gesehen. Nachteilig werden die derzeit noch schlecht ausgebaute Tankinfrastruktur, das geringe Angebot an Fahrzeugen und die Knappheit an grünem Wasserstoff, die sich durch die Konkurrenz mit Industrie und Luft-/Schifffahrt noch verschärfen wird, beschrieben.

[84] Befragt wurden die Mitglieder eines Gremiums der EU, die Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, die Spediteure/Frächter, der Fuhrparkmanager und die Vertreter der Interessenverbände. Nicht beantwortet hat diese Fragen ein Vertreter der EU, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, 1 Spediteur

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 14: Vor- und Nachteile der beiden Technologien (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Vorteile	- Etwas günstiger als H_2-Brennstoffzelle - Im Nahverkehr einsetzbar (Stadt/Umland) - Leise, emissionslos - Lange Erfahrung mit der Technologie[85] - Hohe(r) Energieeffizienz/Wirkungsgrad - Gut kombinierbar mit erneuerbaren Energien, direkte Energienutzung - Infrastruktur relativ gut ausgebaut - Einfache Speichermöglichkeit elektrischer Energie - Geringere Komplexität - Technologie bereits verfügbar, Fahrzeuge am Markt - Finanzierung des großflächigen Ausbaus der Ladeinfrastruktur entlang des europäischen Kernnetzes beschlossen - Energiekosten langfristig kalkulierbar - Geringe Wartungskosten durch Wegfall des Getriebes	- Potentiell rasche Betankung - Kein Mehrgewicht - Investitionen in die Infrastruktur erfolgt privat - Tankinfrastruktur leichter zu schaffen (kein Ausbau des Stromnetzes) - Für Schwer- und Fernverkehr - Saubere Energiequelle (kaum Emissionen), erneuerbar und leicht verfügbar, leistungsfähiger und energieeffizienter als fossile Brennstoffe, - Hoher Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen Energiequellen, - Höhere Reichweite - Keine Beeinträchtigung des Zuladungsgewichtes - Grüner Wasserstoff ist speicherbar, nachhaltig
Nachteile	- Lange Ladezeit, geringere Lademenge = Produktivitätseinbuße - Verfügbarkeit von Strom – Blackout-Szenario - Investitionskosten in die Infrastruktur hoch und von Staaten/EU abhängig - Ladeinfrastruktur unzureichend ausgebaut - Derzeit noch geringe Reichweiten - Produktion und Recycling der Akkus problematisch (kritische Rohstoffe, hoher Energieeinsatz) - Mehrgewicht - Ladevorgang belastet Stromnetz stark – Ausbau notwendig - teure Ladeinfrastruktur	- Anschaffungs- und Betriebskosten derzeit höher als bei batterieelektrisch (Wasserstoff teuer, geringe Stückzahl) - Hoher Energieverluste bei Produktion von Wasserstoff aus Strom, schlechte Energieeffizienz/Wirkungsgrad Brennstoffzelle - Hohe Investitionen für Infrastrukturaufbau, kein Ausbauplan EU - Derzeit mangelhafte Infrastruktur (Tankstellennetz) - Wasserstoff leicht entflammbar: Lagerung/Transport großer H_2-Mengen noch nicht gelöst - Starke Nachfrage nach H_2 durch Industrie/Flug/Schiffsverkehr - Geringe Verfügbarkeit von H_2-Fahrzeugen, wenig Möglichkeit zu testen und Erfahrungen zu sammeln

[85] Vertreter von Interessenverband

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Um analysieren zu können, welche Aspekte für die Festlegung auf eine zukünftige Leittechnologie im Straßengüterverkehr relevant sind, wurde die Vorteilhaftigkeit der Akku-Technologie und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie in Bezug auf die Kriterien Gewicht, Tankzeit, Reichweite, Anschaffungs-/Betriebskosten, Ausbau der Lade-/Tankinfrastruktur, Energieverbrauch/Wirkungsgrad sowie Verzicht auf seltene bzw. kritische Rohstoffe abgefragt.[86]

Die Auswertung der Antworten (siehe *Tabelle 15*) zeigt, dass mit Ausnahme der Anschaffungskosten und des Energieverbrauchs/Wirkungsgrades die Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie vom überwiegenden Teil der Befragten als vorteilhafter eingeschätzt wird. Der Vorteil der Akku-Technologie besteht also vorwiegend im niedrigeren Anschaffungspreis, der daraus resultiert, dass bereits größere Stückzahlen produziert werden und der Markteintritt bei vielen Produzenten schon erfolgt ist. Im Falle der H_2-Lkw kommen hingegen erst jetzt die ersten Modelle auf den Markt. Beim Gewicht und der Tankzeit sind 16 Befragte der Ansicht, dass die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie vorteilhafter ist, einer der Befragten[87] sieht die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bis 2030, die Akku-Technologie danach im Vorteil. Offenbar besteht bei diesem Experten die Überzeugung, dass bis dahin Akkus mit weniger Gewicht entwickelt werden und dass es gelingt, Akkus mit Hilfe neuer Technologien schneller zu laden.

In Bezug auf die Reichweite und den Verzicht auf seltene/kritische Rohstoffe sind die Ergebnisse ähnlich. 15 bzw. 14 Befragte sehen die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Vorteil, ein bzw. kein Befragter die Akku-Technologie. Wie bei der vorangegangenen Frage sieht ein Befragter[88] die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie zwar im Vorteil, aber nur bis 2030. Nach 2030 gehen die Befragten offenbar von Akkus aus, für deren Produktion keine kritischen Rohstoffe erforderlich sind und die gleichzeitig eine höhere Reichweite ermöglichen.

Bei den Betriebskosten ist das Verhältnis 8 (Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie) zu 3 (Akku-Technologie), beim Ausbau der Ladeinfrastruktur 12 (Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie) zu 5 (Akku-Technologie).

---

[86] Befragt wurden die Mitglieder eines Gremiums der EU und zwei Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, die Spediteure/Frächter, der Fuhrparkmanager und die Vertreter der Interessenverbände. Beantwortet wurde die Frage von den beiden Mitgliedern eines EU-Gremiums, einem Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, 2 Spediteure/Frächter und von einem Fuhrparkmanager

[87] Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten

[88] Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Beim Ausbau der Lade-/Tankinfrastruktur sehen 12 Befragte die Vorteilhaftigkeit auf Seiten der Wasserstoff-Brennstoff-Technologie, 5 auf Seiten der Akku-Technologie. Als Vorteil der Wasserstoff-brennstoffzellen-Technologie wird angegeben, dass es schneller und billiger ist, Wasserstofftankstellen entlang des hochrangigen Straßennetzes aufzubauen, als das für eine große Menge an Schnellladesäulen erforderliche Stromnetz.

Bei den Anschaffungskosten liegt hingegen die Akku-Technologie mit 12 Nennungen im Vorteil, die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie kommt hingegen auf nur 4 Nennungen. Einer der Befragten[89] weist jedoch darauf hin, dass sich die Situation rasch ändern kann, wenn die Stückzahl der verkauften H2-Lkw steigt. Enger beisammen liegt die Bewertung der Technologie in Bezug auf den Energieverbrauch bzw. den Wirkungsgrad (10 Nennungen Akku-Technologie, 9 Nennungen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie). Einer der Befragten[90] weist darauf hin, dass im Betrieb die Akku-Technologie besser abschneidet, wird jedoch die Herstellung der Lkw miteinbezogen, verändert sich die Reihung. Dazu ist anzumerken, dass einige der Befragten große Hoffnung darauf setzen, dass sich die Technologie und damit der Wirkungsgrad bei der Brennstoffzellen-Technologie stark verbessert.

[89] Vertreter eines Interessenverbandes
[90] Vertreter eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 15: Vergleich der Vorteilhaftigkeit der beiden Technologien nach relevanten Kriterien (Quelle: Eigene Expertenbefragung) – Teil 1

Kriterien	Vorteilhaftigkeit Akku-Technologie	Vorteilhaftigkeit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
Gewicht	**1** (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten[91])	**17** (drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Fuhrparkmanager, sieben Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/ Frächter, zwei Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Vertreter eines Gremiums der EU)
Tankzeit	**1** (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten[92])	**17** (drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Fuhrparkmanager, sieben Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/ Frächter, zwei Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Vertreter eines Gremiums der EU)
Reichweite	**2** (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten[93], ein Vertreter eines Interessenverbandes)	**16** (drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Fuhrparkmanager, sieben Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteure/ Frächter, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Vertreter eines Gremiums der EU)
Betriebskosten	**3** (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Gremiums der EU)	**8** (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Fuhrparkmanager, ein Vertreter eines Interessenverbandes, zwei Spediteure/ Frächter, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Gremiums der EU)
Anschaffungskosten	**12** (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, zwei Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Gremiums der EU, sechs Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/ Frächter, ein Fuhrparkmanager)	**4** (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Vertreter eines Interessenverbandes; ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Gremiums der EU)

[91] Kommentar: *Ab 2030 Akku, bis 2030 Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie*
[92] Kommentar: *Ab 2030 Akku, bis 2030 Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie*
[93] Kommentar: *Ab 2030 Akku, bis 2030 Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ausbau der Lade-/Tankinfrastruktur	5 (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten; zwei Vertreter von Interessenverbänden (*Kommentar: das Stromnetz existiert bereits, und muss weniger ertüchtigt werden als erwartet, da der Ladevorgang vor allem nachts und mittags erfolgen wird); ein Vertreter eines Gremiums der EU, eine Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums*)	**12** (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten; zwei Spediteure/Frächter, ein Fuhrparkmanager; fünf Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter eines Gremiums der EU, eine Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	**10** (ein Spediteur/ Frächter, fünf Vertreter von Interessenverbänden[94], ein Vertreter eines Gremiums der EU, zwei Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Fahrzeugproduzent (*Kommentar: hängt direkt mit den Betriebskosten zusammen*)	**9** (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten; ein Spediteur/Frächter, 1 Fuhrparkmanager, drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter eines Gremiums der EU, eine Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)
Verzicht auf seltene/kritische Rohstoffe	**1** (ein Fahrzeugproduzent[95])	14 (drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, zwei Spediteure/Frächter, ein Fuhrparkmanager, fünf Vertreter von Interessenverbänden, zwei Vertreter eines Gremiums der EU, eine Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)

Hinsichtlich der Einsatzgebiete der einzelnen Technologien herrscht ebenfalls weitgehende Einigkeit (*siehe Tabelle 16*). Im **Nahverkehr** wird die Akku-Technologie als zukunftsträchtiger angesehen (16 Nennungen Akku-Technologie, 2 Nennungen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie), im **Fernverkehr** die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (14 Nennungen

[94] Kommentar von einem Vertreter eines Interessenverbandes: *Akku-Technologie, wenn die Produktion des Lkw nicht miteinbezogen wird, Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie, wenn die Produktion miteinbezogen wird.*
[95] Kommentar: *Mit Recycling Akku-Technologie, ohne Recycling Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie, 2 Nennungen Akku-Technologie). Nicht so eindeutig ist die Situation im **Regionalverkehr**. Für dieses Einsatzgebiet halten 10 Befragte die Akku-Technologie für zukunftsträchtiger, 8 Befragte die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie.[96] Dieses Ergebnis der Umfrage passt mit den eigenen Erkenntnissen zusammen. Der Akku ist dort vorteilhaft, wo über Nacht am Hof geladen werden kann und maximal während der Pause des Fahrers kurz zwischengeladen werden muss – d.h. im Bereich von rund 250km Tagesleistung und in jenen Fällen, in denen eine hohe Leistungskraft erforderlich ist (Kühl-Lkw, große Höhenunterschiede zu bewältigen, Spezialfahrzeuge, Forst-Lkw, schwere Muldenkipper).

Tabelle 16: Zukunftsträchtigkeit der Technologien nach Einsatzgebieten (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

Einsatzgebiet	**Akku-Technologie**	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	**16** (drei Vertreter von Lkw- Fahrzeugproduzenten, sieben Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteur/ Frächter, ein Fuhrparkmanager, ein Vertreter eines Gremiums der EU, zwei Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)	**2** (ein Vertreter eines Interessenverbandes, ein Vertreter eines Gremiums der EU)
Regionalverkehr bis 150 km	**10** (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/ Frächter, ein Fuhrparkmanager, ein Vertreter eines Gremiums der EU, zwei Organisationen aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)	**8** (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, fünf Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/ Frächter, ein Vertreter eines Gremiums der EU, eine Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)
Fernverkehr über 150 km	**2** (ein Vertreter eines Interessenverbandes, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten (*Kommentar: Wir bieten beides an, allerdings mit einem Fokus auf der Akku-Technologie. Für uns beginnt der Fernverkehr bei etwa 500km; der Regionalverkehr bei etwa 200km*))	**14** (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, sechs Vertreter von Interessenverbänden, zwei Spediteur/ Frächter, ein Fuhrparkmanager, zwei Vertreter eines Gremiums der EU, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)

[96] Befragt wurden die Mitglieder eines Gremiums der EU, die Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, die Spediteure/Frächter, der Fuhrparkmanager, die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten und die Vertreter der Interessenverbände.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Frage danach, **ab wann** mit **Akku- bzw. H_2-Fahrzeugen am Markt** gerechnet wird, deren **Leistung** für den Einsatzzweck des eigenen Unternehmens bzw. der vertretenen Unternehmen **ausreichend** sein wird, wurde sehr uneinheitlich beantwortet (*siehe Tabelle 17*).[97] Ein Spediteur/Frächter ist der Ansicht, dass die Leistungsfähigkeit für bestimmte Einsatzzwecke[98] bereits jetzt gegeben ist, ein Vertreter eines Interessenverbandes rechnet mit 2025, einer mit 2030, einer mit 2035 und drei ab 2040. Zwei der Befragten (ein Spediteur/Frächter, Fuhrparkmanager) glauben, dass die Leistungsfähigkeit nie wirklich ausreichend und mit jener von Diesel-Lkw vergleichbar sein wird.

Tabelle 17: Zeithorizont für Akku- bzw, H_2-Fahrzeuge mit ausreichender Leistungsfähigkeit am Markt (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

bereits jetzt	**ab 2025**	**ab 2030**	**ab 2035**	**ab 2040**	**nie**
1 (ein Vertreter eines Interessenverbandes)	**1** (ein Vertreter eines Interessenverbandes)	**1** (ein Vertreter eines Interessenverbandes (*Kommentar: Akku kann nicht in jedem Bereich sinnvoll verwendet werden - Pistenraupe, Großformatbagger etc.)*	**1** (ein Vertreter eines Interessenverbandes)	**3** (drei Vertreter von Interessenverbänden)	**2** (ein Spediteur/ Frächter, Fuhrparkmanager)

Einer der befragten Spediteure/Frächter hat bereits einen Teil seiner Flotte auf Akku-Lkw umgestellt und plant, in den kommenden Jahren den Flottenaustausch fortzusetzen, wobei neben Akku-Lkw für den Nah- und Regionalverkehr H2-Lkw für den Fernverkehr beschafft werden sollen. Das Unternehmen, in dem der befragte Fuhrparkmanager beschäftigt ist, plant im kommenden Jahr damit zu beginnen, die Verbrenner-Lkw der Flotte gegen H_2-Lkw auszutauschen.

[97] Befragt wurden Spediteure/Frächter, der Fuhrparkmanager und die Vertreter der Interessenverbände. Nicht beantwortet: zwei Vertreter von Interessenverbänden.
[98] Kommentar: *im Nah-/Regionalverkehr*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Der zweite Spediteur/Frächter, der befragt wurde, plant keine Umstellung. Allerdings ist dieses Unternehmen auf Schwer- und Sondertransporte spezialisiert.

Bei der Frage, worauf der mit Großteil der Frächter/Spediteure/Unternehmen großem Fuhrpark voraussichtlich umsteigen wird, haben sechs der anderen Befragten[99] für die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und nur vier der Befragten für die Akku-Technologie gestimmt.

Von jenen Befragten, die keinem Unternehmen angehören, welches selbst einen Lkw-Fuhrpark hat,[100] sind vier (*siehe Tabelle 18*) der Ansicht, dass ein Großteil der österreichischen Frächter/Spediteure/Unternehmen mit großem Lkw-Fuhrpark planen, spätestens 2030 mit dem Umstieg auf Akku- bzw. H2-Lkw beginnen wird, ein Befragter geht von 2025 aus, drei Befragte glauben, dass diesbezüglich noch gar keine Umstiegspläne bestehen.

Tabelle 18: Zeithorizont für einen geplanten Umstieg auf Akku- bzw. H_2-Lkw (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

Bis 2025	**Bis 2030**	**Derzeit noch gar nicht geplant**
1 (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, *Kommentar: Beginn des Umstiegs*)	**4** (drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Fahrzeugproduzent)	**3** (drei Vertreter von Interessenverbänden)

Einen einheitlichen Trend zeigen, wie *Tabelle 19* entnommen werden kann, die Antworten auf die Frage, **ob sich Unternehmen**, die sich für **Lkw mit Akku-Technologie** entscheiden, eher **Lkw mit leistungsstärkerem Akku** anschaffen, deren **Anschaffungskosten** höher sind, die aber auch eine höhere Reichweite haben, oder Lkw mit geringerer Reichweite und niedrigeren Anschaffungskosten.[101] Im Nah- und Regionalverkehr halten die meisten Befragten den Einsatz von Akku-Lkw mit geringer Reichweite, die dafür niedrigere Anschaffungskosten haben, für wahrscheinlich, im Fernverkehr Lkw mit hoher Reichweite, auch wenn diese höhere Anschaffungskosten haben. Die Befragten vermuten offenbar, dass Frächter eher die hohen

[99] Befragt wurden die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten, die Vertreter der Interessenverbände und die Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums.
[100] Befragt wurden die Vertreter der Interessenverbände, die Mitglieder eines Gremiums der EU, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums und die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten. Nicht beantwortet: fünf Vertreter von Interessenverbänden und ein Mitglied eines Gremiums der EU
[101] Befragt wurden die Vertreter der Interessenverbände, die Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, die Spediteure/Frächter, der Fuhrparkmanager und ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums. Nicht beantwortet: 2 Vertreter von Interessenverbänden, 1 Spediteur, Fuhrparkmanager

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Anschaffungskosten als viele lange Ladepausen auf sich nehmen werden. Pausen, die extra für das Aufladen der Akkus gemacht werden müssen, verursachen hohe Kosten und sollen so weit wie möglich vermieden werden).

Tabelle 19: Vergleich Reichweite und Anschaffungskosten bei der Akku-Technologie nach Einsatzgebieten (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

Einsatzgebiet	**Höhere Reichweite/höhere Anschaffungskosten**	**Geringere Reichweite/niedrigere Anschaffungskosten**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	**1** (ein Vertreter eines Interessenverbandes)	**10** (fünf Vertreter von Interessenverbänden, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)
Regionalverkehr bis 150 km	**3** (drei Vertreter von Interessenverbänden)	**7** (drei Vertreter von Interessenverbänden, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)
Fernverkehr über 150 km	**8** (sechs Vertreter von Interessenverbänden, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**2** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten (*Kommentar: Einzelfallentscheidung, besonders angesichts des Ausbaus der Infrastruktur. Zunehmend optimiert. Gerade Schnelllader reduzieren Batteriegröße, -gewicht und -kosten erheblich*))

Im Fernverkehr wird anscheinend davon ausgegangen, dass die meisten Unternehmen auf Lkw mit hoher Reichweite/leistungsstarken Akkus umsteigen werden. Das bedeutet aber auch, dass für die Produktion der Akkus größere Mengen an Rohstoffen und Energie benötigt werden. Im Nah- und Regionalverkehr geht ein Großteil der befragten hingegen davon aus, dass mit kleineren Akkus das Auslangen gefunden wird. Diese Fahrzeuge werden im Produktionsprozess also umweltfreundlicher sein (weniger kritische Rohstoffe, weniger Energie).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Frage nach den **Rahmenbedingungen**, die von Seiten der österreichischen **Bundesregierung**, der **EU** und den **Vertretern der Lkw-Fahrzeugproduzenten** gegeben sein müssten, bevor **Unternehmen auf** Lkw mit **Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umsteigen**, wurde differenziert beantwortet (*siehe Tabelle 20*):[102]

Tabelle 20: Gewünschte Rahmenbedingungen von Seiten der österreichischen Bundesregierung, der EU und den Vertretern der Lkw-Fahrzeugproduzenten (Quelle: Eigene Expertenbefragung) – Teil 1

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Von Seiten der Bundesregierung	- Gesetzlicher **Zwang zum Umstieg** (inkl. Fahrverbote für Diesel-Lkw in sensiblen Zonen) - Attraktive **Fördermodelle** für **Anschaffung** Fahrzeuge (Förderung Mehrinvestitionen und Abwrackprämien), Errichtung Ladeinfrastruktur, Netzausbau (Verfügbarkeit von Fahrzeugen berücksichtigen) - **Förderung der Hersteller** für **Ausbau** Produktionskapazität, Unterstützung Technologiefortschritt (Erhöhung Reichweite) - **Staatliche Investitionen** in Infrastrukturausbau (Stromnetz) - **Energielandkarte**-in welchen Regionen werden zukünftig Schnelladesäulen ausgebaut (Planungssicherheit) - **Transparenter Fahrplan** zur Versorgung Österreichs mit grünem Strom - **Staat als Koordinator** für **Ausbau der Infrastruktur** (Vernetzung Stakeholder), Normen, Transparenz	- **Förderpaket** für den **Ausbau der Tankinfrastruktur** - **Förderung** leistungsfähiger Technologie/**Anschaffungskosten** (Förderung Mehrinvestitionen und Abwrackprämien), die die Verfügbarkeit von Fahrzeugen berücksichtigt - **Energielandkarte,** die transparent aufzeigt, in welchen Regionen mit H2-Lkw geplant werden soll, da es nicht überall die Netzte geben wird, die Batterieelektrische-NFZ benötigen - **Transparenter Fahrplan** zur Versorgung in Österreich mit grünem Wasserstoff - **Förderung der Hersteller für Ausbau** Produktionskapazität, -Unterstützung Technologiefortschritt - **Fahrverbote** für Diesel-Lkw in sensiblen Gebieten - **Förderung für die Erzeugung** grünen Wasserstoffs - **Förderung von Innovationen** bei Brennstoffzelle

[102] Befragt wurden die Vertreter der Interessenverbände, die Spediteure/Frächter, die Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums und die Mitglieder eines Gremiums der EU.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Von Seiten der EU	- **Zwang** zum **Umstieg** - **Förderungen** für **Infrastrukturprojekte, Konzepte zum Ausbau** - **Förderungen** zur **Senkung der Anschaffungskosten** - **Regelungen für Recycling** und Kreislaufwirtschaft - Stärkung **Verbraucherrechte** - **Unterstützung** bei **Koordination** und **Zusammenarbeit** - **klare Festsetzen** der bisherigen **CO2-Ziele** und Flottenziele - **Ausnahmegenehmigungen** zur **Überschreitung des Gesamtgewichts** - Energielandkarte - Transparenter **Fahrplan zur Versorgungssicherheit** mit erneuerbarer Energie - **Förderung** für **Ausbau Produktionskapazität**	- **Förderung Ausbau Tankinfrastruktur**, internationale Konzepte - **Fokus** auf **H_2** verstärken - **Förderungen** für **leistungsfähigere Technologie** - **Förderungen** Ausbau **Produktionskapazitäten** - H2-Beschaffungsstrategie - **Innovationsförderung/-anreize** für **Ankauf H2-Lkw** und **Infrastrukturaufbau**
Von Seiten der Lkw Produzenten	- **Reichweite** mindestens wie bei Diesel-Lkw - Leichtere **Akkus** - **Weiterentwicklung** der bisherigen **Technologie** - **Produktionskapazitäten** erhöhen - Attraktive **Preismodelle** - Senkung **Produktionskosten**	- **Reichweite** mindestens wie bei wie bei Diesel-Lkw -Senkung **Produktionskosten** - **Weiterentwicklung** der bisherigen **Technologie** -Entwicklung von **günstigeren Modellen** - Entwicklung zur **Serienreife** vorantreiben
Sonstiges:	- **Sicherheit** bei der **Kostenentwicklung** (Maut, Strom, etc.), damit Frächter langfristig kalkulieren können - **Einheitliche Rahmenbedingungen**, Rechtssicherheit, Kostenwahrheit (Umweltkosten berücksichtigen) - Positive Förderung (z.B. **erweiterte Fahrerlaubnisse**-Zustellung in der Nacht, Aufhebung von Lkw-Fahrverboten, Mautbefreiung) - **Bewusstseinsbildung** in der Gesellschaft - Ausbildung von **Fachkräften** - Weiterhin auf allen Ebenen notwendig: neutrale und faktenbasierte **Kommunikation, Information** über Fakten und Zahlen	- **Sicherheit** bei der **Kostenentwicklung** (Maut, Strom, etc. - **Einheitliche Rahmenbedingungen**, Rechtssicherheit, Kostenwahrheit (Umweltkosten berücksichtigen) - Positive Förderung (z.B. **erweiterte Fahrerlaubnisse**-Zustellung in der Nacht, Aufhebung von Lkw-Fahrverboten, Mautbefreiung) - **Bewusstseinsbildung** - Ausbildung von **Fachkräften**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Wie *Tabelle 20* zeigt, liegt der Fokus vor allem bei Förderungen für den Ausbau der Infrastruktur (aber auch bei der Übernahme einer koordinierenden Rolle durch Regierungsorganisationen (GO)), für die Anschaffung von Fahrzeugen aber auch Unterstützung der Fahrzeugproduzenten, um die Produktionskapazitäten rausch auszubauen. Außerdem werden Informationen über die Versorgung mit grünem Strom/Wasserstoff sowie Sicherheit bei der Kostenentwicklung erwartet, die für Planungssicherheit benötigt werden. Bei den Fahrzeugen selbst spielt vor allem eine hohe Reichweite, die vergleichbar mit jener von Diesel-Lkw sein sollte, im Vordergrund.

Als **Hemmschwelle für den Umstieg auf Lkw mit Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb** (*siehe Tabelle 21*) werden vor allem die vergleichsweisen hohen Anschaffungskosten, die geringere Reichweite, der längere Lade-Tankvorgang, die Zweifel, ob die Lade-Tankinfrastruktur rechtzeitig ausgebaut und grüner Wasserstoff/Strom in ausreichender Menge vorhanden sein wird und die Frage danach, welche Technologie sich durchsetzen wird, genannt Offenbar besteht die Angst, auf eine Technologie zu setzen, die sich im Nachhinein als Sackgasse herausstellt. Bisher ist von Seiten der EU und der österreichischen Regierung eher der Trend zur Akku-Technologie zu erkennen, auch wenn offiziell Technologieoffenheit propagiert wird.

Die Kosten für einen Akku-Tausch halten fünf der Befragten derzeit von einem Umstieg ab. Die Betriebskosten spielen hingegen eher keine Rolle, was auch damit zusammenhängt, dass diese von einer Mehrheit der Befragten (fünf zu vier) im Vergleich zu Diesel-Lkw als geringer angesehen werden. Die Förderungen werden von einem Großteil der Befragten als ausreichend bewertet.[103] Offenbar denken die Interviewpartner beim Umstieg vor allem an die Akku-Technologie, da die geringere Reichweite und die längere Ladedauer als Hemmfaktoren angesehen werden. Die Betriebskosten werden hingegen bei beiden Technologien sogar als geringer angesehen. Als zusätzlicher Hemmfaktor wird die derzeit mangelhafte Verfügbarkeit von Lkw mit alternativem Antrieb angegeben.[104]

[103] Befragt wurden die Vertreter der Interessenverbände, die Lkw-Fahrzeugproduzenten, die Spediteure/Frächter und der Fuhrparkmanager. Nicht beantwortet: 2 Vertreter von Interessenverbänden, Fuhrparkmanager, 1 Spediteur
[104] Ein Vertreter eines Interessenverbandes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 21: Mögliche Hemmschwellen für den Umstieg auf Lkw mit Akku-oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Ja	**Nein**
Anschaffungskosten	**8** (fünf Vertreter von Interessenverbänden, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**2** (ein Vertreter eines Interessenverbandes, ein Spediteur/Frächter)
Betriebskosten	**4** (zwei Vertreter von Interessenverbänden, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**6** (vier Vertreter von Interessenverbänden, ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter)
Reichweite	**10** (fünf Vertreter von Interessenverbänden, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)	**1** (ein Vertreter eines Interessenverbandes)
Lade-/Tankvorgang	**9** (sechs Vertreter von Interessenverbänden, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter)	**1** (ein Vertreter eines Lkw-Fahrzeugproduzenten)
Zweifel an der **Dichte** und **Leistungsfähigkeit des zukünftigen Netzes** an Strom- und Wasserstofftankstellen	**10** (sechs Vertreter von Interessenverbänden, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter)	**0**
Zu **geringe Förderungen**	**4** (drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter)	**6** (drei Vertreter von Interessenverbänden, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)
Unsicherheit, welche **Technologie** sich **durchsetzen wird**	**10** (sechs Vertreter von Interessenverbänden, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter)	**0**
Zweifel an der **ausreichenden Versorgung** mit **Strom/Wasserstoff**	**10** (sechs Vertreter von Interessenverbänden, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Spediteur/Frächter)	**0**
Kosten eines **Akkutauschs**	**5** (vier Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter)	**3** (zwei Vertreter von Interessenverbänden, drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Zur Unsicherheit bei den Akteuren darüber, welche Technologie sich durchsetzen wird, trägt auch die **Rolle der EU** bei. Obwohl die EU (Kommission und Parlament) offiziell für **Technologieoffenheit** plädiert, favorisiert sie nach dem Kenntnisstand eines der Befragten[105] bei der Umstellung des Straßengüterverkehrs auf emissionsfreie Technologien die Akku-Technologie. Es ist allerdings riskant, bei der Wende im Güterverkehr ausschließlich auf eine Technologie zu setzen. Besonders deshalb, weil die EU derzeit sowohl bei der Versorgung mit knappen Rohstoffen als auch bei grünem Wasserstoff auf Länder außerhalb der EU angewiesen ist, wäre Technologieoffenheit grundsätzlich sinnvoll. [106]

Eine Alternative zur Anschaffung neuer Lkw mit alternativem Antrieb ist die **Umrüstung herkömmlicher Lkw der Bestandsflotte auf Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** *(siehe Tabelle 22)***,** wie sie derzeit beispielsweise von dem deutschen Startup Quantron (Haller Nutzfahrzeuge) angeboten wird. Eine solche Umrüstung wird generell als sinnvoll erachtet. Bei der Frage danach, ob sie auch für das eigene Unternehmen denkbar ist, wird eher eine Umrüstung auf Akku-Technologie erwogen.[107]

[105] Befragt wurden die Mitglieder eines Gremiums der EU. Nicht beantwortet: 1 Vertreter der EU
[106] Anmerkung: Wenngleich die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie aufgrund des geringeren Gesamtwirkungsgrades im Fernverkehr und bei Sonder-/Spezialtransportern sinnvoller eingesetzt werden kann.
[107] Befragt wurden die Vertreter der Interessenverbände, die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten, die Spediteure/Frächter und der Fuhrparkmanager. Nicht beantwortet: 1 Fahrzeugproduzent, 1 Spediteur, 3 Interessenverbände

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 22: Umrüstung herkömmlicher Lkw der Bestandsflotte auf Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

	Umrüstung allgemein **sinnvoll**		**Umrüstung** für unser Unternehmen **denkbar**	
	Ja	**Nein**	**Ja**	**Nein**
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Akku-**Technologie	**3** (drei Vertreter von Interessenverbänden)	**0**	**4** (zwei Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter, ein Fuhrparkmanager)	**2** (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten)
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Wasserstoff-**Brennstoffzellen-Technologie	**4** (drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter[108])	**0**	**3** (ein Fuhrparkmanager, zwei Vertreter von Interessenverbänden)	**5** (zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, zwei Vertreter von Interessenverbänden, ein Fuhrparkmanager)

5.4.10. Sonstige Aspekte

Bei der Frage danach, ob der **Versorgungsengpass bei Rohstoffen** wie Kobalt und Lithium, die derzeit für die Produktion von Akkus benötigt werden, die Umstellung des Straßengüterverkehrs auf Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotoren gefährden kann, wird von den beiden Mitgliedern eines Gremiums mit „Ja“ beantwortet. Der dritte Befragte (Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums) hegt hingegen keine diesbezüglichen Bedenken.[109]

Die Vertreter der Fahrzeugindustrie wurden gefragt, wo sich die **Reichweite von Lkw im Fernverkehr** bis 2040 **hinbewegen** wird.[110] Die Antworten darauf sind allerdings uneinheitlich. Einer der Befragten rechnet mit 500 bis 700 km, einer mit 750 bis 1000 km und einer mit über 1000km. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass nicht alles, was technisch machbar ist, auch

[108] Anmerkung: Dieser Frächter/Spediteur hat im Nahverkehr bereits mit der Umstellung auf Lkw mit Akku-Technologie begonnen.
[109] Befragt wurden eine Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums und die Mitglieder eines Gremiums der EU
[110] Befragt wurden die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

wirtschaftlich einen Sinn macht. Sobald die Ladeinfrastruktur gut ausgebaut ist, können geringere Batteriereichweiten bei geringeren Anschaffungskosten der bessere Business Case sein.

Zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten sind der Ansicht, dass die Anschaffungskosten von Lkw mit alternativem Antrieb (Akku-Technologie/Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie) bis 2040 gleich hoch wie jene vergleichbarer Diesel-Lkw sein werden.[111] Wobei die **Preisparität** bei Fahrzeugen für den innerstädtischen Verteilerverkehr (vorwiegend Lkw der Klasse N1) zum Teil schon vor 2030 erreicht sein kann, wenn die TCO berücksichtigt werden. Höhere Anschaffungskosten sollen künftig niedrigeren Betriebskosten gegenüberstehen.

Von der **EU** bzw. der **österreichischen Bundesregierung** wünschen sich die europäischen Lkw-Produzenten eine **gemeinsame europäische Rohstoffstrategie** nach amerikanischem/chinesischem Vorbild inklusive der Ausverhandlung und Absicherung langfristiger Lieferverträge für die Beschaffung von Rohstoffen. Einer der Befragten drängt auf eine europäische Technologieoffenheit, die neben BEV und FCEV auch Biogas und E-Fuels berücksichtigt: *„Ausreichende Rohstoffe sind für eine 100%ige Substitution des Lkw-Bestandes nicht vorhanden (bezogen auf bewältigendes Transportgewicht und Km-Laufleistung). "*[112]

Hinsichtlich der **Zukunft des Straßengüterverkehrs** *(siehe Tabelle 23)* gehen die meisten Befragten (zwölf von fünfzehn) davon aus, dass mit höheren Kosten zu rechnen ist. Dennoch glauben nur vier von zehn, dass die Transportleistung auf der Straße abnehmen wird. Sehr wohl wird aber erwartet, dass die Schiene im Güterverkehr eine steigende Rolle spielen wird (neun von sechszehn der Befragten).[113] Gerechnet wird jedenfalls mit einem steigenden Güteraufkommen, das aber vermehrt auf die Schiene verlagert wird. Eine Abnahme der Transportleistung auf der Straße wird jedoch nicht erwartet, da die Reduktion des Straßengüterverkehrs durch die Verlagerung auf die Schiene durch das Wirtschaftswachstum und die damit in Zusammenhang stehende Zunahme des Gütervolumens zumindest kompensiert wird.

[111] Befragt wurden die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten
[112] Befragt wurden die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten
[113] Befragt wurden ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, die Mitglieder eines Gremiums der EU, die Vertreter der Lkw-Fahrzeugproduzenten, die Spediteure/Frächter, der Fuhrparkmanager und die Vertreter der Interessenverbände

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 23: Mögliche zukünftige Szenarien im Bereich des Straßen/-Güterverkehr (Quelle: Eigene Expertenbefragung)

Der Güterverkehr wird sich stärker auf die Schiene verlagern[114]	**Der Straßengüterverkehr wird abnehmen**[115]	**Im Straßengüterverkehr wird mit höheren Kosten zu rechnen sein**[116]
9 Ja (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, zwei Vertreter eines Gremiums der EU, zwei Spediteure/Frächter, vier Vertreter von Interessenverbänden) **7 Nein** (drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Fuhrparkmanager, drei Vertreter von Interessenverbänden (*Kommentar: Da die Schiene auf vielen Korridoren bereits eine sehr hohe Auslastung aufweist und der Güterverkehr (leider) immer Nachrang gegenüber dem Personenverkehr hat, ist mit keiner weiteren Verlagerung zu rechnen*))	**4 Ja** (drei Vertreter von Interessenverbänden, ein Spediteur/Frächter) **10 Nein (**drei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, ein Fuhrparkmanager, ein Spediteur/Frächter, zwei Vertreter von Interessenverbänden, zwei Vertreter eines Gremiums der EU, ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums)	**12 Ja** (ein Vertreter einer Organisation aus dem Umfeld eines zuständigen Ministeriums, ein Vertreter eines Gremiums der EU, zwei Vertreter von Lkw-Fahrzeugproduzenten, zwei Spediteure/Frächter, ein Fuhrparkmanager, fünf Vertreter von Interessenverbänden) **3 Nein** (ein Fahrzeugproduzent, ein Vertreter eines Interessenverbandes, ein Vertreter eines Gremiums der EU) (*Kommentar: Im Gegenteil, die Kosten werden sinken*)

Zum Schluss noch **eine kritische Anmerkung des Vertreters eines Interessenverbandes**: „*Es gibt weder grünen Wasserstoff noch ausreichend grünen Strom. 350 Petajoule Energie (Diesel/Benzin) müssen durch Strom/Wasserstoff ersetzt werden. Bis heute ist unklar, wie dies passieren soll. Neben den Produktionskapazitäten fehlen auch die Netz-Kapazitäten, die mehr als verdoppelt werden müssten, um die Verbraucher zu erreichen. Die Bundesregierung hat in ihrer Wasserstoff-Strategie die Industrie bevorzugt, d.h. Wasserstoff im Verkehr ist nicht erwünscht. Die Umstellung von 550.000 Lkws auf Strom- bzw. Wasserstoff-Antrieb bei derzeit 3 bis 5-fach höheren Anschaffungskosten plus der Aufbau einer Tankinfrastruktur für alternative*

[114] Nicht beantwortet: ein Vertreter eines Interessenverbandes
[115] Nicht beantwortet: drei Vertreter von Interessenverbänden
[116] Nicht beantwortet: zwei Vertreter von Interessenverbänden

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Antriebe kostet mehrere Milliarden Euro. Das ENIN-Förderprogramm, das seit 1 Jahr angekündigt worden ist und bis heute nicht umgesetzt wurde, ist ein Schritt in die richtige Richtung, allerdings finanziell unterdotiert".[117]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

[117] Anmerkung: nach dem Ende der Befragung wurde das Förderprogramm ENIN des BMK am 22.3.2023 für Fahrzeuge der Klasse N1 freigeschaltet, im Fördertopf liegen 35 Millionen Euro. Gefördert werden 80% der Mehrkosten für die Anschaffung der Fahrzeuge und 40% der Netto-Anschaffungskosten der Lade-/Tankinfrastruktur, allerdings sind die Förderkriterien sehr umfangreich. Rechnet man zudem, dass 2021 insgesamt 58806 Fahrzeuge der Klasse N1 erstmals zum Verkehr zugelassen wurden (vgl. Statista 2022; FFG o.J.a), wären in diesem Jahr im Durchschnitt rund 600 Euro auf ein Fahrzeug gekommen.

6. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Generell lässt sich sagen, dass die Entwicklungen, die aktuell sowohl im Bereich der Produktion erneuerbarer Energien (Stichwort grüner Strom/grüner Wasserstoff) als auch bei der Akku-Technologie und der Brennstoffzellen-Technologie beobachtet werden können, enorm sind. Die Klima- und die Energiekrise führen dazu, dass beinahe weltweit mit Hochdruck daran gearbeitet wird, die Energiewende weg von fossilen Energieträgern zu schaffen. Die Forscher im Bereich der Akku- und Brennstoffzellen-Technologie experimentieren mit den unterschiedlichsten Rohstoffen, die dafür sorgen sollen, dass Energiedichte und Speicherleistung zunehmen, dabei aber gleichzeitig aber die Produktionskosten sinken. Außerdem gilt es, auf seltene Rohstoffe so weit wie möglich zu verzichten, um die Energiewende auch im Verkehrssektor zu schaffen. Derzeit ist also so manches im Umbruch. Viele Technologien befinden sich noch im Versuchsstadium, manche Ansätze sind schon veraltet, bevor sie zu Ende geführt werden konnten. Aus diesem Grund war es bei dieser Arbeit sehr schwierig, den Stand der Literatur abzubilden.

Außerdem fällt auf, dass der neueste Stand der Technik bzw. der politischen Entscheidungen aus Publikationen von Forschungsinstituten oder Verbänden bzw. aus Online-Fachmagazinen stammt. Artikel in wissenschaftlichen Fachzeitschriften sind hingegen rar – vermutlich deshalb, weil die Realität derzeit die Wissenschaft in vielen Bereichen überholt.

6.1. Kritischer Vergleich der beiden Technologien auf Basis der empirischen Ergebnisse und der Literatur

6.1.1. Vergleich der neuen Antriebstechnologien in Bezug auf Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit

Welche der beiden Technologien sich in Zukunft durchsetzen wird, ist derzeit noch nicht absehbar, da die Rahmenbedingungen nicht feststehen. Zum einen ist unsicher, wie sich die **Rohstoffsituation** auf den Beschaffungsmärkten zukünftig darstellen wird, zum anderen ist noch unklar, wie sich die **Versorgung der EU-Länder mit grüner Energie,** dem wichtigsten Limitationsfaktor der neuen Technologien, bewerkstelligen lässt. Die **Umweltfreundlichkeit** der Systeme hängt zum Großteil davon ab, ob für Produktion und Betrieb grüne Energie zur Verfügung steht und welche Rohstoffe bei der Produktion eingesetzt werden. Generell wird die **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** von einem großen Teil der **Befragten** in Bezug auf ihre **Umweltfreundlichkeit besser eingeschätzt**. Gelingt es zudem, die Versorgung mit grünem Wasserstoff in ausreichender Menge und zu konkurrenzfähigen Preisen sicherzustellen,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

würden die meisten Befragten H_2-Lkw im Vorteil sehen. Gibt es hingegen nicht genügend grünen Wasserstoff und können im Gegenzug Akkus entwickelt werden, die ohne kritische/seltene Rohstoffe auskommen und kann gleichzeitig deren Lebensdauer erhöht werden, liegt die Akku-Technologie wegen ihres höheren Wirkungsgrades bei der Umweltfreundlichkeit voran.

Um eine **umweltfreundliche Versorgung mit grüner Energie** gewährleisten zu können, geht es neben dem Ausbau der Tank-/Ladeinfrastruktur, die derzeit noch am Anfang steht, um Grundlegenderes. Derzeit sind die **Energienetze** in Europa weder darauf eingestellt, ausschließlich **Strom aus erneuerbaren Energiequellen** zu transportieren, der von unzähligen Akteuren stammt und dessen Produktion wegen des steigenden Energiebedarfs laufend erhöht werden muss, noch ist geklärt, wo die großen Mengen an grünem Strom herkommen sollen, die auf Grund der Umstellung von Verkehr, Wirtschaft und Gebäudetechnik auf Elektrizität erforderlich sind. In Zukunft werden die **Produktion** und der **Verbrauch von Strom zeitlich** stärker **auseinanderdriften**. Strom aus Wind-, Wasser- und Sonnenergie fließt unregelmäßig und zwar abhängig von der Tages- und Jahreszeit sowie vom Wetter. Schon jetzt ist absehbar, dass es vermehrt Zeiten geben wird, in denen mit einer Überproduktion von Strom zu rechnen ist und Windkraftanlagen sowie PV-Anlagen vom Netz genommen werden müssen. Andererseits wird es Zeiten geben, in denen viel weniger Strom produziert als benötigt wird. Speicherkraftwerke und Batteriespeicher allein werden nicht ausreichen, um diese Differenzen abzudecken.

Da **Strom nicht** (in größeren Mengen) **gespeichert** werden kann und sich ohne beträchtliche Verluste auch **nicht über große Distanzen transportieren** lässt,[118] spielt **Wasserstoff** in mehreren Bereichen eine wichtige Rolle. Mit Hilfe von H_2 kann es gelingen, **Strom aus Überproduktion** zu speichern und diesen mittels Elektrolyse in Wasserstoff umzuwandeln. Vor allem die **PEMEL**, die zwar einen geringeren Wirkungsgrad hat, aber auch mit Teillast betrieben werden kann, eignet sich für die Stabilisierung von Stromnetzen, indem überschüssiger Strom zum Einsatz kommt. Gleichzeitig kann Wasserstoff zum **Betrieb von Kraftwerken** verwendet werden, um eine Spitzenlast auszugleichen.

[118] Anmerkung: Rein theoretisch lässt sich Strom zwar über große Distanzen transportieren aber mit zunehmender Entfernung geht immer mehr Energie verloren, sodass sich der Transport nicht mehr auszahlt. In Folge des ohmschen Widerstandes kommt es bei jeder Durchleitung von Strom zu Verlusten. Wird Wechselstrom über eine 380kV-Hochspannungsleitung transportiert, gehen bis zu 10% der Strommenge je 1000km verloren, bei Gleichstrom sind es 4%. Auf der anderen Seite fallen auch bei der Umwandlung von Wechsel- in Gleichstrom und der Rückwandlung Verluste an. Üblicherweise wird ab einer Entfernung von 750km umgewandelt und Gleichstrom transportiert (vgl. Siemens Stiftung 2017). Die Stromverluste gelten für Gleichstrom auch bei Seekabelverbindungen. Derzeit ist die längste Seekabelverbindung 580km lang (vgl. Europäische Investitionsbank 2007).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zurzeit ist allerdings auch die **flächendeckende Versorgung mit grünem Wasserstoff nicht** gewährleistet. Selbst wenn sich die Elektrolysekapazität laufend erhöht, ist es aus heutiger Sicht fraglich, ob in der EU bis 2035/2040 ausreichende Mengen an grünem Wasserstoff zur Verfügung stehen, um neben der Nachfrage von Seiten der Industrie und der Schiff-/Luftfahrt auch jene im Straßengüterverkehr abzudecken. Dennoch steht fest, dass Wasserstoff für die **Energiewende Europas** eine immense Rolle spielen wird. **Wasserstoff** hat zudem den großen Vorteil, **in sonnen-/windreichen Ländern** zu geringeren Kosten als in Europa **produziert** und in gasförmigem Zustand über bestehende Rohrleitungssysteme oder in flüssiger Form (z.B. Ammoniak) per Schiff nach Europa gebracht werden zu können. Der Aufbau einer diesbezüglichen Infrastruktur bietet außerdem vielen Ländern aus Afrika/(Vorder-)Asien (darunter auch die größten Ölproduzenten) neue wirtschaftliche und damit gesellschaftliche Perspektiven. Allerdings begibt sich Europa damit wieder in Abhängigkeiten und schafft es nicht, Eigenversorger zu werden.

Unklar ist derzeit auch, wohin sich die **Technologie auf dem Batteriesektor** entwickeln wird. Derzeit werden für die Produktion von Akkus vor allem **Rohstoffe** wie **Iridium, Nickel, Kobalt, Scandium und Lithium** benötigt, die nicht nur knapp sind, sondern teilweise auch unter fragwürdigen Umständen gewonnen werden. Zudem macht sich Europa damit von einigen wenigen Ländern abhängig, die Hauptexporteure dieser Rohstoffe sind und die diese Rohstoffe gerade selbst für die Energiewende benötigen. Bis wann es gelingen wird, **Feststoffbatterien** oder andere Akkus in großen Mengen auf den europäischen Markt zu bringen, die ohne diese seltenen Rohstoffe auskommen, dabei aber eine Reichweite erlauben, die vergleichbar mit jener des Diesel-Lkw ist und weder Anschaffungskosten noch Eigengewicht der Fahrzeuge in die Höhe zu treiben, ist aktuell noch nicht absehbar.

Gerade die **Batterien** sind es auch, die die **Umweltfreundlichkeit der Akku-Technologie** zumindest bei dem aktuellen Strommix, der noch immer Strom aus fossilen Energieträgern enthält, reduzieren. Insbesondere die Produktion der Zellen für die Akkus, die derzeit noch dazu eine im Vergleich zur Brennstoffzelle geringere Laufleistung haben (insbesondere im Falle großer Temperaturunterschiede und einem suboptimalem Batteriemanagement) und das Recycling der Batterien, sind sehr energieintensiv.

Um die negativen Auswirkungen des Straßengüterverkehrs auf die Umwelt zu reduzieren, steht auch die **Entsorgung** alter **Akkus** und **Brennstoffzellen** im Fokus. Geht es nach der EU, sollen **Akkus** am Ende von ihrer Lebensdauer **recycelt** werden, um damit die Kreislaufwirtschaft der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

EU anzutreiben. Derzeit fehlt es allerdings an Alt-Akkus, um die Kapazitäten von Recyclinganlagen hochfahren zu können. Die Batterien jener Lkw mit Akku-Technologie, die in den kommenden Jahren verkauft werden, werden erst Mitte des nächsten Jahrzehnts zu den Recyclinganlagen gebracht. Bis dahin können ausgemusterte Lkw-Akkus nämlich als Speichermedium für PV-Anlagen verwendet werden. Auch bei Brennstoffzellen steht die Technologie zur Aufbereitung alter Zellen bzw. die Wiedergewinnung von Rohstoffen erst am Anfang.

Neben der **Umweltfreundlichkeit** spielt auch die **Praktikabilität** der Technologien eine wichtige Rolle. Dazu zählt zunächst einmal die **Verfügbarkeit geeigneter Modelle**. Derzeit ist Wasserstoff noch sehr teuer und es gibt viel zu wenig grünen Wasserstoff. Gleichzeitig priorisieren die meisten Fahrzeugproduzenten die Akku-Technologie. Da derzeit noch kaum H_2-Lkw am Markt erhältlich sind und der Verkauf erst anläuft - in Österreich wurde am 1.3.2023 der erste Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie von der Firma MPreis in Betrieb genommen (vgl. Fliesser 2023) - besteht derzeit wenig Interesse, die Tankstelleninfrastruktur auszubauen, was wiederum Frächter davon abhält, auf Lkw mit dieser Technologie umzusteigen.

Für die **Praxistauglichkeit** spielt auch die **Wirtschaftlichkeit** der Technologien eine wesentliche Rolle. Einigkeit herrscht bei den Befragten darin, dass sowohl Lkw mit Akku-Technologie als auch solche mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bis 2040 zumindest nicht teurer als Diesel-Lkw sein werden. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass sich die Kosten für fossile Treibstoffe allein wegen der CO_2-Steuer jährlich erhöhen werden. Andererseits wird wegen der steigenden Produktionsmenge sowohl bei Lkw mit Akku- als auch mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie mit fallenden realen Anschaffungspreisen gerechnet. Von der öffentlichen Hand unterstützte Beschaffungsinitiativen könnten die Anschaffungskosten darüber hinaus weiter senken. In der Literatur wird hingegen ein Kostenvorteil von Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Vergleich zu Diesel-Lkw bezweifelt, weil nur dann von niedrigeren TCO ausgegangen werden könne, wenn es gelingt, grünen Wasserstoff in ausreichend großen Mengen billig aus Ländern außerhalb der EU zu importieren.

Weniger Uneinigkeit herrscht bei dem **Vergleich der beiden alternativen Antriebe** miteinander. Sowohl in der Literatur als auch in der Befragung wird mehrheitlich davon ausgegangen, dass die Akku-Technologie bei den **Betriebskosten** im Vergleich zur Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie vorteilhafter ist, weil reine Elektromotoren wartungsarm sind und kein Getriebe benötigt wird. Auch bei den **Anschaffungskosten** werden Lkw mit Akku-Technologie als vergleichsweise günstiger eingeschätzt, was auf den Entwicklungsvorsprung bei der Akku-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Technologie zurückzuführen ist. Bei der Befragung hat sich allerdings auch gezeigt, dass vor allem die hohen Kosten für einen Tausch des Akkus als Hemmnis für einen Umstieg auf Lkw mit Akku-Technologie angesehen werden.

Bezüglich der **Prognosen** hinsichtlich der **Vorteilhaftigkeit der Akku-Technologie** bei den **TCO** sollte jedoch berücksichtigt werden, dass einige kostenbeeinflussende Faktoren derzeit noch unklar sind: Wohin bewegt sich in Zukunft der Preis für importierten grünen Wasserstoff und welche Mengen werden in der EU für den Straßengüterverkehr verfügbar sein? Wie entwickeln sich die Rohstoffpreise? Wie rasch kann die Lade-/Tankinfrastruktur ausgebaut werden? Welche Rohstoffe werden künftig für die Produktion von Zellen bzw. für die Wasserstoffelektrolyse benötigt? Wie entwickeln sich die Produktions- und Absatzzahlen bei Lkw mit Akku-Technologie bzw. mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie?

Ein wesentlicher Kostenfaktor, der für die Wirtschaftlichkeit der Technologien eine wichtige Rolle spielt, ist die Arbeitszeit der Lenker. Konkret geht es um die Möglichkeit zum **Aufladen bzw. Betanken** der Lkw, ohne dabei zusätzlich Zeit zu verlieren. Gemäß der LenkzeitVO (vgl. WKO 2020a) ist es möglich, die Pause von 45 Minuten, die ein Fahrer nach 4,5 Stunden am Steuer einlegen muss, auf zwei kürzere **Pausen** (15 und 30 Minuten) aufzuteilen. Derzeit ist es im Nah- und Regionalverkehr durchaus üblich, dass Fahrer ihre Pausen während der Entlade- bzw. Beladevorgänge bei den Kunden abhalten. Um die **Akkus aufladen** zu können, wären somit zusätzliche Stopps erforderlich.

Im **Nahverkehr** und bei großen Teilen des **Regionalverkehrs** ist die Akku-Technologie daher dann im Vorteil, wenn es gelingt, mit einem **Aufladevorgang über Nacht** am Betriebsgelände[119] und mit eventuell kurzem Zwischenladen während der üblichen Pause des Fahrers durchzukommen.

Im **Fernverkehr** werden **Pausen** hingegen üblicherweise auf einmal genommen. Allerdings besteht die Herausforderung darin, während der Lenkpause eine freie Schnellladesäule mit voller Leistung zur Verfügung zu haben. Sobald nicht nur vereinzelt Akku-Lkw im Fernverkehr unterwegs sind, kann dies allerdings zu einer Herausforderung werden. Wenn die Vorgaben der EU in allen Mitgliedstaaten umgesetzt werden, wird es bis 2026 zwar entlang des Kernnetzes alle 60km Schnellladesäulen für Lkw geben, dennoch muss davon ausgegangen werden, dass

[119] Anmerkung: Optimalerweise unter Verwendung von kostengünstigem Strom aus der betriebseigenen PV-Anlage - wobei allerdings anzumerken ist, dass dies bei größeren Lkw-Flotten nicht möglich sein wird.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

es auf den **Rastplätzen** zu **Wartezeiten** kommen wird. Nimmt man nämlich an, dass sich mit herkömmlichen Diesel-Lkw oder mit H_2-Lkw eine Reichweite von rund 1000km erzielen lässt, mit Lkw auf Basis der Akku-Technologie hingegen etwa 300km[120] (vgl. Volvo Trucks Deutschland 2022), würden im Fernverkehr allein aus diesem Grund rund dreimal so viele Plätze an Schnellladesäulen wie Diesel-Zapfsäulen an der Tankstelle benötigt werden. Da Diesel-Lkw und H_2-Lkw in etwa zehn bis zwölf Minuten benötigen, um vollgetankt zu sein, ein Akku jedoch mindestens 45 Minuten lädt, bis er 80% der Kapazität erreicht hat, wird im Vergleich zu Zapfsäulen mindestens die neunfache Menge an Lkw-Schnellladesäulen benötigt.

Selbst wenn es in Zukunft gelingen sollte, die Autobahnraststätten so weit auszubauen, dass eine ausreichende **Anzahl an Schnellladesäulen** zur Verfügung steht, die es gewährleistet, dass Fahrer ihre gesetzlich vorgeschriebenen Lenkpausen zum Laden nützen, darf nicht vergessen werden, dass nicht alle Fahrten im Fernverkehr hauptsächlich über gut ausgebaute Autobahnen des TEN-Netzes abgewickelt werden. Es wird auch in Zukunft Regionen geben, die **infrastrukturmäßig** unterversorgt sind und keine Ladeinfrastruktur für Lkw bieten.

Was die **Kosten für den Ausbau der Infrastruktur** betrifft, wird in vielen Studien darauf hingewiesen, dass die Errichtung von Schnellladesäulen kostengünstiger als der Aufbau von Wasserstofftankstellen ist. Allerdings weisen einige Studienautoren und ein Teil der befragten Experten darauf hin, dass der Ausbau des Ladenetzes nicht ohne den Ausbau des Stromnetzes umsetzbar ist. Ein solcher Netzausbau ist allerdings nicht nur kostenintensiv, sondern wegen der erforderlichen Bewilligungen auch zeitaufwändig. Auf der anderen Seite können in Zukunft ohne größere Zusatzinvestitionen bereits vorhandene Gasleitungen für den Transport von Wasserstoff verwendet werden (vgl. Fraunhofer IIS 2021).

In jedem Fall liegt noch **viel Arbeit vor den Fahrzeugproduzenten und vor Forschungseinrichtungen**, wenn es darum geht, die **Umweltfreundlichkeit** und **Praktikabilität** der beiden Technologien zu **verbessern**. Bei Lkw mit Akku-Technologie sollte nicht nur eine höhere **Reichweite**, sondern auch eine längere **Lebensdauer** ermöglicht werden. Da der Verbrennungsmotor samt Getriebe wegfällt, sollte eine Lebensdauer möglich sein, die sogar über jener von Diesel-Lkw liegt. Dazu ist es allerdings erforderlich, den Tausch der Akkus möglichst kostengünstig und unkompliziert zu gestalten. An diesbezüglichen Vorschriften arbeiten derzeit

[120] Anmerkung: Meist wird die tatsächliche Reichweite darunter liegen, weil Akkus nur zwischen 20% und 80% geladen werden sollen – über 80% wird die Ladezeit höher, unter 20% schadet der Aufladevorgang der Lebensdauer des Akkus.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die zuständigen Gremien in der EU. Die Ergebnisse sollen in eine Novellierung der Batterie-VO einfließen.

Viel Arbeit liegt allerdings auch vor den Entwicklungsabteilungen von Unternehmen, die sich mit Wasserstoff und der Brennstoffzellen-Technologie beschäftigen sowie vor Forschungseinrichtungen. Bei der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie liegt der Fokus der Forschung darauf, den **Wirkungsgrad** von **Elektrolyse** und **Brennstoffzelle** zu erhöhen und darüber hinaus Transport und Speicherung von Wasserstoff sicherer und kostengünstiger zu gestalten. So wird derzeit beispielsweise das LOHC-Verfahren weiterentwickelt, bei dem Wasserstoff an wiederverwendbares Industrie-Öl gebunden wird. Investitionen in die H_2-Forschung von Seiten der Bundesregierung werden auch in der Befragung von Experten als wesentlich genannt, wenn es darum geht, die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Verkehrssektor voranzutreiben.

Ob sich die **Vorteilhaftigkeit der beiden Technologien** in Zukunft ändern wird, hängt also zusammenfassend gesehen einerseits von der Verschiebung des Energiemix in Richtung eines höheren Anteils an erneuerbarer Energie, andererseits von der Weiterentwicklung der Technologien ab.

6.1.2. Vergleich der neuen Antriebstechnologien in Bezug auf Fahrzeugarten und Einsatzzwecke

Als problematisch sehen einige Experten die **Umstellung von Sonder- und Schwertransportern** ein – und zwar nicht nur **im Fern- sondern auch im Regional- und Nahverkehr**. Wie bereits in *Kapitel 6.1.1.* erwähnt, sind Akku-Lkw dort eine umweltfreundliche und wirtschaftlich akzeptable Alternative zu Diesel-Lkw, wo Fahrzeuge über Nacht am Hof aufgeladen werden können und unter Tags kurze Pausen genutzt werden können, um nachladen zu können. Dies setzt aber voraus, dass die tägliche Fahrleistung und die Reichweite der Lkw annähernd übereinstimmen, wobei berücksichtigt werden muss, dass die von den Herstellern angegebenen **Reichweiten** von Lkw mit Akku-Technologie auf den „**Normalgebrauch**“ ausgelegt sind. Fahrten bei tiefen Temperaturen oder auf unbefestigten Straßen, lange Steigungen, die zu bewältigen sind oder eine hohe Leistung, die bei Spezialfahrzeugen wie Forst-Lkw, schwere Muldenkipper und Schneepflüge, aber auch bei Spezialschwertransportern erforderlich ist, führen zu einer Reduktion der Reichweite und damit zu einer geringeren Praktikabilität. Ähnlich verhält sich die Situation bei Lkw, die auf ihrer täglichen Route große Höhenunterschiede, vielleicht auch noch bei tiefen Temperaturen im Winter, überwinden müssen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Neben der geringeren Reichweite erfordern **manche Einsatzzwecke** eine **durchgehende Fahrleistung** über einen längeren Zeitraum, bei der Zwischenladen nicht möglich ist – man denke nur an einen Schneepflug, der bei starkem Schneefall die Straße räumen muss, an einen Forst-Lkw, der auf Forstwegen unterwegs ist und Baumstämme lädt, oder an Spezialtransporter, die für eine Strecke genau festgelegte Zeitslots genehmigt bekommen. In all diesen Fällen bieten Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw den Vorteil einer hohen Reichweite und einer hohen Leistungsfähigkeit, die mit jener von Diesel-Lkw vergleichbar sind und eines raschen Tankvorganges (beispielweise an der Wasserstofftankstelle auf dem Betriebsgelände eines Spediteurs oder auf dem Bauhof einer Gemeinde).

In Bezug auf **Kühlfahrzeuge** gibt es zwar bereits Lösungen für leichte Nutzfahrzeuge auf Basis von Trockeneis, um die Reichweite der Akkus nicht durch die zusätzlich erforderliche Leistung zu reduzieren. Für Langstreckentransporte existieren allerdings noch keine vergleichbaren Systeme (vgl. Air Liquide Austria o.J.). Anbieten würden sich Hybridfahrzeuge mit einem Brennstoffzellen-Antrieb, die jedoch für die Kühlung Strom aus Akkus verwenden.

Generell ist es **im Fernverkehr** derzeit noch schwieriger und zeitaufwändiger, Touren mit Akku-Lkw abzuwickeln. Das zeigt auch das Beispiel eines Schweizer Transportunternehmens, das für die 3000km lange Fahrt von der Schweiz nach Spanien und wieder retour einen ganzen Tag länger benötigt hat. Um 20t Orangen von Canals (Nähe Valencia, Spanien) nach Küsnacht (Zürichsee, Schweiz) zu bringen, waren 20 Akku-Aufladestopps notwendig, die wegen der teilweise viel zu geringen Ladeleistung der Ladesäulen jeweils bis zu drei Stunden dauerten. Außerdem waren nicht alle Regionen mit (speziellen Lkw-)Ladesäulen ausgerüstet, so dass teilweise Pkw-Ladesäulen genutzt werden mussten.[121] Die Fahrt darauf abzustimmen, dass die erforderlichen Fahrpausen zum Laden genutzt werden konnten bzw. überhaupt Ladesäulen entlang der Strecke vorhanden waren, war außerdem bereits im Planungsstadium der Fahrt eine Herausforderung (vgl. Graber 2023).

Auch ein großer Teil der Befragten sieht die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie vor allem wegen der hohen Reichweite und der damit einhergehenden größeren Unabhängigkeit von einer Lade-/Tankinfrastruktur im Fernverkehr im Vorteil.

[121] Anmerkung: Um Pkw-Ladesäulen verwenden zu können, müssen üblicherweise Sattelauflieger/Anhänger abgesattelt/-kuppelt werden, da die Haltefläche vor der Ladesäule nicht ausreicht.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die A**kku-Technologie** ist hingegen sowohl laut Literatur als auch laut dem Großteil der Befragten im **Nahverkehr und im Regionalverkehr** im Vorteil, wenn mit einmal Aufladen in der betriebslosen Zeit und kurzem Zwischenladen in den Lenkpausen das Auslangen gefunden wird – insbesondere, wenn es möglich ist, auf dem Betriebsgelände zu laden. Wenn es noch dazu gelingt, möglichst viel Strom aus einer PV-Anlage am Dach zu verwenden, ist die Akku-Technologie nicht nur aus Gründen des Umweltschutzes, sondern auch aus Wirtschaftlichkeitsgründen zu bevorzugen.

6.1.3. Mögliche Zielkonflikte zwischen Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit

Unbestritten ist sowohl in der Literatur als auch bei den Befragten, dass **sowohl** die **Akku-Technologie** als auch die **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** im Vergleich zu den derzeit mit Diesel betriebenen Verbrennungsmotoren in jenen Fällen **umweltfreundlicher** ist, in denen ausschließlich bzw. überwiegend grüner Strom bzw. grüner Wasserstoff als Antriebsenergie verwendet wird, vorausgesetzt, die benötigten Rohstoffe werden nachhaltig gewonnen werden. Umgekehrt ist die Umweltfreundlichkeit alternativer Antriebe dann nicht gegeben, wenn vorwiegend grauer Wasserstoff bzw. Strom aus konventionellen Energiequellen (Atomkraftwerke, Erdgas- und Kohlekraftwerke) verwendet werden muss, oder wenn für die Gewinnung der erforderlichen Rohstoffe wie Lithium oder Kobalt Wälder abgeholzt, Erdreich und Flüsse verunreinigt oder der Grundwasserspiegel abgesenkt wird.

Ein **Vergleich der alternativen Technologien** miteinander zeigt derzeit sowohl in der Literatur als auch bei den Befragten einen Vorteil der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bei der Umweltfreundlichkeit, zu der auch die Schonung von Ressourcen zählt. Dies hängt, wie in *Kapitel 4.1* und in der Auswertung der Befragung erwähnt, mit den erforderlichen Rohstoffen und der notwendigen Energie für die Produktion und die Entsorgung der Akkus zusammen.

Hinsichtlich der **Wirtschaftlichkeit** ist davon auszugehen, dass jedenfalls die Betriebskosten und die TCO von Lkw mit Akkuantrieb bis 2040 unter jenen von Diesel-Lkw liegen werden. Bei Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie werden die Betriebskosten bzw. die TCO nur dann unter jenen von Diesel-Lkw liegen, wenn es gelingt, die Kosten für die Produktion von grünem Wasserstoff zu senken und die Anschaffungskosten der Fahrzeuge durch eine Erhöhung der Produktionsmengen zu reduzieren. Davon, dass dies bis 2040 gelingen wird, ist die Mehrheit der Befragten überzeugt. In der Literatur herrscht darüber hingegen Uneinigkeit.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ein **Zielkonflikt zwischen Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit** lässt sich somit jedenfalls **vermeiden,** wenn die kommenden Jahre dazu genutzt werden, erneuerbare Energieträger in der EU massiv auszubauen und die Forschung zu intensivieren, um Alternativen für kritische Rohstoffe zu finden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

6.2. Beantwortung der Forschungsfragen

Die erste Forschungsfrage widmet sich dem Vergleich der Wasserstoff-Brennstoffzellen- und der Akku-Technologie im Straßengüterverkehr in Bezug auf ihre Umweltbelastung.

Im Bereich der **Produktion** sind **Akku-Lkw** jedenfalls **ressourcenintensiver**. So ist für die Produktion des Akkus eine größere Menge an kritischen Rohstoffen und an Energie erforderlich als für die Brennstoffzelle. Die **Laufleistung** und damit die tatsächliche Nutzungsdauer ist zumindest mit den heute üblichen Akkus bei Lkw auf Basis der Akku-Technologie geringer als bei solchen mit einer Brennstoffzelle. Ressourcenschonender wären Akku-Lkw dann, wenn es gelingt, die **Batterie-VO** der EU bei den Mitgliedsstaaten durchzusetzen. In diesem Fall könnte die Laufleistung von Lkw mit Akku-Technologie mit Hilfe von Tauschakkus massiv erhöht werden, außerdem wäre es möglich, einzelne Zellen von Akkus zu erneuern.

In Bezug auf die **Entsorgung** der Lkw werden sich beide Technologien annähern. So ist das Recycling von Akkus zwar energieintensiv, dafür haben Akkus, deren Leistung für den Einsatz in Lkw nicht mehr reicht, ein zweites Leben als Speichermedium, beispielsweise für Strom aus PV-Anlagen. Gerade weil die Batterien, die jetzt mit den Lkw verkauft werden, voraussichtlich erst ab 2035 in großen Mengen entsorgt werden, wird der Erfolg der Kreislaufwirtschaft bei dem Akku-Recycling aber davon abhängen, ob es gelingt, Mitte des nächsten Jahrzehntes rasch die erforderlichen Recycling-Kapazitäten hochzufahren.

Im **Betrieb** hängt die Umweltbelastung der Technologien davon ab, ob künftig **grüner Strom** bzw. **Wasserstoff** in ausreichender Menge zur Verfügung stehen wird. Sollte dies der Fall sein, sind beide Technologien umweltfreundlich. In der Literatur wird zwar darauf hingewiesen, dass der **Wirkungsgrad** der Brennstoffzelle unter jener der Akku-Technologie liegt, allerdings differieren die Angaben über den Wirkungsgrad in den einzelnen Quellen, da die Energieverluste unterschiedlich bewertet werden.[122] Außerdem genügt der Hinweis auf den höheren Wirkungsgrad der Akku-Technologie nicht, wenn man bedenkt, wie viele Bereiche zusätzlich (Heizung und Klimatisierung von Gebäuden, Produktionsanlagen in der Industrie, Pkw-/Bus- und Lkw-Verkehr) auf Strom umgestellt werden sollen. Bereits jetzt warnen Experten davor, dass es nicht sicher ist, ob Europa bis 2050 genügend grünen Strom produzieren wird, um von fossiler Energie und von Atomkraft wegzukommen. Grüner Wasserstoff ist daher eine wichtige Säule der

[122] Anmerkung: In manchen Studien bezieht sich der Wirkungsgrad nur auf die TTW-Phase, in anderen auf die umfassendere WTW-Phase.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Energiewende. Ließe sich klimaneutraler Wasserstoff künftig in großen Mengen aus Regionen mit geeigneten natürlichen Ressourcen (sonnen-/windreiche Gegenden) importieren, könnte auch für bestimmte Bereiche des Straßengüterverkehrs (Fernverkehr, Schwer-/Sondertransporte) ausreichend H_2 zu wettbewerbsfähigen Preisen vorhanden sein.[123] Allerdings müsste bis dahin das Netz an Wasserstofftankstellen ausgebaut werden. Bislang scheitert eine Verteilung des Wasserstoffes noch daran, dass kaum Tankstellen existieren, die Wasserstoff anbieten. In Österreich sind es Anfang 2023 fünf Standorte, je einer in Wien, Oberösterreich, Tirol und in der Steiermark. Dadurch ist der Transport von Wasserstoff zu den (wenigen) Tankstellen, die noch dazu weit entfernt voneinander liegen, nicht nur ökonomisch ein Verlustgeschäft, sondern führt auch zu Verlusten wegen Abdampfens.

Für die Umweltbelastung wesentlich sind die **Luftschadstoffe**, die mit der Produktion und dem Betrieb von Lkw in Verbindung stehen. Im **Betrieb** führen beide Technologien durch den Abrieb von Reifen und Bremsbelägen zum Entstehen von **Feinstaubpartikeln**. Wegen des höheren Eigengewichtes von Lkw mit Akku-Technologie verursachen diese allerdings mehr Partikel.

Im **Produktionsprozess** verursachen Lkw mit Akku-Technologie auf Basis des aktuellen Strom-Mix (nur 20,8% grüner Strom) mehr **CO_2-Emissionen** als H_2-Lkw. Dieser Umstand hängt damit zusammen, dass die Akku-Produktion, wie bereits erwähnt, sehr energieintensiv ist. Aus demselben Grund schneidet die Akku-Technologie derzeit auch bei den **NO_x–Emissionen** schlechter ab. Sobald für die Produktion ausschließlich Strom aus kohlenstofffreien Energiequellen zur Verfügung steht, fallen die Nachteile in Bezug auf CO_2- und NO_x-Emissionen jedoch weg.

Zur Aufrechterhaltung der **Netzstabilität** trägt vor allem die Wasserstoffelektrolyse bei. Vor allem die PEMEL ermöglicht es, Strom aus Überschusskapazität abzunehmen. Andererseits kann Wasserstoff verwendet werden, um in Spitzenzeiten zusätzliche Kraftwerke ans Netz zu nehmen, die mit H_2 betrieben werden. Akkus als Speichermedium sind in Bezug auf die Netzstabilität jedoch nur ein geringer Faktor. Ob es möglich ist, überschüssigen Strom zum Aufladen von Akkus zu verwenden, hängt vor allem davon ab, wann dieser anfällt. Da PV-Anlagen unter Tags Strom liefern, die Lkw aber vor allem über Nacht laden, fallen sie als flexible

[123] Anmerkung: Hilft die EU Ländern aus Afrika beim Aufbau von PV-/Windkraft-/Meeresströmungskraftwerken sowie von Elektrolysekapazitäten könnten Europas wirtschaftliche Interessen auch die Wirtschaft in Entwicklungsländern stützen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abnehmer weg. Dafür sind eher Pkw geeignet, die unter Tags parken. Umgekehrt speisen Lkw während der Betriebszeiten auch keinen Strom ins Netz, da die volle Leistung der Akkus benötigt wird.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die beiden folgenden Forschungsfragen beschäftigen sich mit dem Vergleich der Technologien in Bezug auf ihre Praxistauglichkeit und ihre Eignung für bestimmte Einsatzzwecke.

Für den **größten Teil des Nah- und Regionalverkehrs** ist die **Akku-Technologie** aufgrund des höheren Wirkungsgrades, der Möglichkeit, den Akku am eigenen Betriebsgelände über Nacht aufladen zu können (teilweise sogar mit Strom aus einer betriebseigenen PV-Anlage), der für diese Zwecke ausreichenden Reichweite[124] und den geringeren Kosten (Betriebskosten und TCO) wirtschaftlich sinnvoller und gleichzeitig praktikabel. Die **niedrigeren Betriebskosten** hängen vor allem damit zusammen, dass grüner Strom aus derzeitiger Sicht im Vergleich zu grünem Wasserstoff (wenn dieser in der EU produziert wird) billiger sein wird.[125] Bei den Wartungskosten, die im Vergleich zu den Energiekosten jedoch gering sind, wird davon ausgegangen, dass Akku-Lkw wegen des einfach aufgebauten Motors geringere Kosten verursachen. Die Anschaffungskosten, die für die **TCO** relevant sind, sind aktuell deshalb bei Akku-Lkw niedriger, weil bereits mehrere Modelle von unterschiedlichen Herstellern auf dem Markt sind und die verkauften Stückzahlen steigen. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass die Forschung im Bereich der Akku-Technologie bereits weiter ist und neben vielen politisch Verantwortlichen auch ein großer Teil der Fahrzeugindustrie den Umstieg auf Akku-Lkw präferiert.

Bei **Sonder- und Schwertransporten** sowie in großen Teilen des **Fernverkehrs** wird trotz des geringeren Gesamtwirkungsgrades sowohl in der Literatur als auch von einem großen Teil der Befragten **Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** der Vorzug gegeben. Dies hängt vor allem mit der derzeit im Vergleich zu Diesel-Lkw und H_2-Lkw noch geringen Reichweite, der teilweise unzulänglich ausgebauten Ladeinfrastruktur, dem damit zusammenhängenden größeren Aufwand bei der Planung der Routen und der erforderlichen Zeit für die Aufladung des Akkus[126] zusammen. In manchen Bereichen[127] reicht zudem die Leistung eines Lkw mit Akku-Technologie nicht aus bzw. ist das Nachladen aus zeitlichen[128] oder tatsächlichen

[124] Anmerkung: Meist reicht ein voll aufgeladener Akku für die Tagesleistung, wenn nicht, kann in der Pause des Fahrers kurz zwischengeladen werden.
[125] Anmerkung: Sollte es gelingen, in Zukunft grünen Wasserstoff in großen Mengen aus Ländern mit besseren Produktionsvoraussetzungen (Afrika, Asien) kostengünstig zu importieren, könnte der Vorteil der Akku-Technologie bei den Betriebskosten wegfallen.
[126] Anmerkung: Nicht immer kann der Fahrer seine Pause nutzen, um den Akku aufzuladen, weil entweder keine Schnellladesäule frei ist oder am Ort der Pause keine Ladeinfrastruktur vorhanden ist.
[127] Anmerkung: Schneepflüge, Forst-Lkw, Kühltransporter, Sondertransporter, schwere Muldenkipper etc.
[128] Anmerkung: So kann ein Schneepflug im Wintereinsatz zwischendurch keine zusätzlichen Pausen machen, um aufzuladen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Gründen[129] nicht möglich. Dasselbe gilt für spezielle Anforderungen an Fahrzeuge, die in der Kälte des Winters Straßen mit hoher Steigung bewältigen müssen oder die in Regionen ohne Ladeinfrastruktur unterwegs sind.

Die vierte und letzte Forschungsfrage widmet sich jenen Maßnahmen, mit deren Hilfe die Akzeptanz der beiden Technologien verbessert und in der Folge die Anwendung in der Praxis beschleunigt werden kann.

Der Schlüssel für eine höhere Akzeptanz liegt einerseits im **raschen Ausbau eines flächendeckenden Netzes** an leistungsstarken Lkw-Schnellladesäulen und Wasserstofftankstellen und in adäquaten **Förderungen** sowohl **für** den **Infrastrukturausbau** als auch für die **Anschaffung** der **Fahrzeuge**, andererseits in **klaren Richtlinien** von Seiten der EU und der österreichischen Bundesregierung, die bei den Betroffenen für Planungssicherheit sorgen. Wichtig ist allerdings zumindest zum jetzigen Zeitpunkt eine **Technologieoffenheit**, da für unterschiedliche Anforderungsprofile unterschiedliche Technologien erforderlich sind.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

[129] Anmerkung: Beispielsweise Forst-Lkw beim Einsatz im Wald

7. Fazit und Ausblick in die Zukunft

Bis 2030 werden Fahrzeuge mit Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie nach einer von PwC durchgeführten Studie rund 33 Prozent der Neuzulassungen im Lkw-Sektor ausmachen. Diese Prognose gilt für Europa, die USA und Kanada sowie für China. Bis 2035 wird sich dieser Wert in etwa verdoppeln. Zu diesem Anstieg tragen einerseits rechtliche Vorgaben, andererseits fallende TCO bei beiden Technologien bei. Einen erhöhten Transformationsdruck sieht PwC in Europa. Wegen des Krieges in der Ukraine und der damit einhergehenden Versorgungsschwierigkeit mit Erdöl bzw. wegen politisch unerwünschter Abhängigkeiten von einzelnen Ländern soll der Anteil von Lkw mit Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb noch früher als von der Politik ursprünglich geplant, steigen (vgl. PwC Strategy& Austria 2022).

Der **Klimawandel** und seine Folgen machen es jedoch erforderlich, bei der **Transformation des Straßengüterverkehrs** nicht primär auf wirtschaftliche und politische Aspekte, sondern auf die ökologischen Auswirkungen der Technologien zu achten. Dazu zählen neben der Rohstoff- und Energiefrage vor allem die Luftschadstoffe, die allerdings über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden müssen. Da derzeit von vielen unbekannten Faktoren ausgegangen werden muss, ist es nicht eindeutig, ob die Akku- oder die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie einen niedrigeren ökologischen Fußabdruck mit sich bringt.

Einer dieser unbekannten Faktoren ist die **Rohstoffproblematik**. Zurzeit ist nicht absehbar, wo die großen Mengen an Lithium, Kobalt und anderen Rohstoffen, die aufgrund des derzeitigen technologischen Standards für die Akku-Produktion (vor allem für Lkw mit großer Reichweite und einem leistungsstarken Akku) benötigt werden, herkommen sollen, wenn sich Europa nicht von China, Russland, der Demokratischen Republik Kongo und anderen Rohstoffexporteuren abhängig machen will. Verschärft wird die Situation dadurch, dass für die Erzeugung von Windrädern und Solar- bzw. PV-Anlagen, die die Basis für die Energiewende darstellen sollen, dieselben knappen Rohstoffe wie für die Akku-Technologie benötigt werden. Mit demselben Ziel des Umweltschutzes konkurrieren also derzeit unterschiedliche Sektoren um dieselben knappen Rohstoffe. Für die Wasserstoffelektrolyse und die Erzeugung der Brennstoffzellen sind zwar auch kritische Rohstoffe erforderlich, allerdings in geringeren Mengen. Die Situation kann sich aber ändern, wenn es gelingt, Batterien für den Massenmarkt zu entwickeln, die ohne seltene Erden auskommen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Einen **Engpass** wird es auch am **Energiesektor** geben, wenn bis 2040 alle Haushalte, der komplette Straßenverkehr und ein großer Teil der Wirtschaft auf grünen Strom umgestellt werden soll. Dabei darf nicht übersehen werden, dass neben dem Betrieb der Fahrzeuge vor allem die Produktion und das Recycling der Akkus enorme Mengen an Strom benötigen wird. Es ist absehbar, dass Energieimporte notwendig sein werden, wenn man nicht, will dass Strom aus Atomkraftwerken weiterhin als nachhaltig eingestuft wird (vgl. Europäische Kommission 2022). Da sich grüner Strom im Unterschied zu grünem Wasserstoff jedoch weder verlustfrei- über größere Strecken transportieren noch in größeren Mengen speichern lässt, wird H_2 zu einem Schlüsselfaktor für den Erfolg der Energiewende werden. Außerdem muss davon ausgegangen werden, dass die Stromnetze durch den steigenden Anteil an PV- und Windkraftanlagen stärkeren Schwankungen ausgesetzt sein werden, wodurch die Gefahr von Netzausfällen steigt. Wie umweltfreundlich Fahrzeuge in Zukunft sein werden, hängt also in einem hohen Maße davon ab, ob die zum Betrieb erforderliche Energie CO_2-neutral hergestellt werden kann und inwieweit die Technologien zur Stabilisierung der Stromnetze beitragen können.

Bezüglich der **Luftschadstoffe** wird der CO_2-Ausstoß mit dem zunehmenden Anteil an grüner Energie zurückgehen. Die große Herausforderung für die Zukunft wird allerdings bei beiden Technologien darin liegen, jene Partikel zu minimieren, die durch den Bremsvorgang und den Reifenabrieb entstehen.

Obwohl in Bezug auf die **Umweltfreundlichkeit** der Technologien vieles noch unklar ist, priorisiert auch das österreichische BMK die Akku-Technologie als Mittel zur Umrüstung des Straßengüterverkehrs auf emissionsfreie Antriebssysteme. So sieht der Masterplan Wasserstoff (vgl. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2023, S. 14 & 15) vor, diesen hochwertigen Sekundärenergieträger vorrangig für große Teile der Industrie, für die Schiff- und Luftfahrt sowie für den Spitzenlastausgleich im Kraftwerksektor zur Stabilisierung der Stromnetze einzusetzen. Argumentiert wird mit dem im Vergleich zur Akku-Technologie **niedrigerem Wirkungsgrad** des Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antriebs in Verbindung mit der geringen Menge an grünem Wasserstoff, die bis 2040 voraussichtlich in Österreich, aber auch in der EU erzeugt wird. Der Tenor des BMK geht deshalb in die Richtung, dass Wasserstoff nur dort eingesetzt werden soll, wo es keine Alternativen gibt, und das sei im Verkehrssektor nicht der Fall.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Im Zusammenhang mit dem Wirkungsgrad ist auch die Frage nach der **Höhe der Betriebskosten** und der **TCO** zu stellen. Wenn es nicht gelingt, bis 2040 der Kosten für grünen Wasserstoff zu senken, ist es wahrscheinlich, dass die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie aus Sicht dieser Kosten gegenüber der Akku-Technologie im Nachteil ist. Dennoch ist **Technologieoffenheit** zu empfehlen, wenn die Transformation im Straßengüterverkehr bis 2040 mit den vorhandenen Ressourcen (Rohstoffen und fossilfreie Energie) gelingen soll und die neuen Technologien Akzeptanz finden sollen. Die Transportbranche verlangt jedenfalls nach unterschiedlichen Technologien für unterschiedliche Einsatzzwecke. Während die Akku-Technologie im Nah- und Regionalverkehr größtenteils auf Zustimmung stößt, werden im Fernverkehr sowie bei Sonder- und Schwertransporten Anforderungen (vor allem in Bezug auf Reichweite und Leistungsfähigkeit) gestellt, die die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie erfüllen kann. Für eine **Wahlfreiheit bei der eingesetzten Technologie** ist aber ein rascher und massiver **Aus- und Aufbau der Tank-/Ladeinfrastruktur** erforderlich. Die Vorgaben von Seiten der EU an die Mitgliedsstaaten, dafür zu sorgen, dass entlang der TEN-Netze bis 2026 alle 60km eine Schnellladesäule und alle 100km eine Wasserstofftankstelle vorhanden ist, wird allerdings bei weitem nicht ausreichen, wenn eine rasche Umstellung der Flotten erfolgen soll.

Gerade bei dem **Ausbau der Infrastruktur** zeigt sich jedoch, dass die **Umsetzung der Technologieoffenheit**, für die von öffentlicher Seite plädiert wird, nicht in jedem Bereich gegeben ist. Während nämlich der Ausbau des Stromnetzes, der für die Errichtung von leistungsfähigen Schnellladesäulen in großem Ausmaß erforderlich ist, zum großen Teil über das Stromnetzentgelt – ein Bestandteil der Stromrechnung von Haushalten und Betrieben – finanziert wird, muss die Errichtung von Wasserstofftankstellen (abgesehen von Förderungen) anderweitig finanziert werden.

Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass es zumindest zum heutigen Zeitpunkt nicht zu empfehlen ist, bei der Wende im Straßengüterverkehr auf eine einzige Technologie zu setzen. Wenn es darum geht, Diesel-Lkw zu ersetzen, hat sowohl die Akku- als auch die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie ihre Berechtigung, wenn auch in unterschiedlichen Sektoren. Umso wichtiger wäre es, **Technologieoffenheit** nicht nur zu propagieren, sondern sie tatsächlich **umzusetzen.** Eine Chancengleichheit für Lkw mit Akku- und mit Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie sollte also zumindest im Fernverkehr und im Schwerverkehr bzw. bei Sondertransporten selbstverständlich sein. Dazu zählt allerdings auch, dass von Seiten der EU/der österreichischen Bundesregierung der Ausbau der Tankinfrastruktur für Wasserstoff genauso

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

vorangetrieben wird, wie jener der Ladeinfrastruktur und dass auch im Bereich der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw die Forschung von öffentlicher Seite unterstützt wird.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Nachwort – panta rhei (alles fließt)

Nun, da ich am Schluss meiner Diplomarbeit angekommen bin, schaue ich auf die vergangenen beiden Jahre mit einem weinenden und einem lachenden Auge zurück. Ich habe die Anfangsphase der Transformation im Straßengüterverkehr miterlebt – von mehrmaligen Verschiebungen der Markteinführung der ersten schweren Lkw mit Akku- und Brennstoffzellen-Technologie über technologische Fortschritte bei der Entwicklung leistungsstärkerer Akkus, bei Akkus, die ohne seltene Erden auskommen und bei dem Wirkungsgrad der Wasserstoff-Technologie bis hin zur Problematik überlasteter Stromnetze, zur Problematik von Rohstoffen, deren derzeit bekannte Vorkommen schon in den nächsten Jahrzehnten erschöpft sein werden und zu einer Lade-/Tankinfrastruktur für Lkw, die sich gerade erst im Aufbau befindet, die aber der Schlüsselfaktor der Technologietransformation im Straßengüterverkehr sein wird – und ich habe dabei Vieles über die Zukunft der Mobilität, des Güterverkehrs, ja der gesamten Menschheit erfahren.

Unvorhersehbare Ereignisse passierten zwischen Sommer 2021 und Frühjahr 2023 und damit während der Zeit, in der diese Arbeit entstand. Als Folge der Corona-Krise brachen Lieferketten ein, Halbleiter und Chips wurden knapp, Preise für Rohstoffe stiegen massiv an. Der Krieg in der Ukraine führte zu einer massiven Energiekrise und befeuert bis heute die Inflation. Dies alles hat dazu geführt, dass Kapitel mehrmals umgeschrieben werden mussten, weil sich die Gegebenheiten verändert hatten und vieles von dem, was bereits fertig zu sein schien, plötzlich überholt war. Und dieser Umstand ist auch der Grund für mein lachendes Auge. Schließlich bedeutet der letzte Satz meines Fazits auch, endlich einen Schlussstrich ziehen zu können und am Ende einer langen Reise angelangt zu sein.

Bedanken möchte ich mich allen voran bei meinem Sohn, der in wenigen Tagen das Licht der Welt erblicken wird und mir vor allem in der Endphase meiner Arbeit die Kraft gegeben hat, durchzuhalten. Dann natürlich bei meinem Mann, der mir den Rücken freigehalten hat und der wegen meiner Diplomarbeit auf so manche Freizeitaktivität mit mir verzichten musste. Mein Dank gilt selbstverständlich auch meinen Eltern und meinen Geschwistern, die immer für mich da waren und die die Grundsteine dafür gelegt haben, wer ich heute bin.

Vielen Dank meinem Betreuer, Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hörl, der mir durch sein konstruktives Feedback wertvolle Anregungen gegeben hat und der mich über die beiden Jahre des Entstehens meiner Arbeit begleitet hat. Und auch einen herzlichen Dank jenen Experten, die sich Zeit genommen haben, um meinen umfangreichen Fragebogen zu beantworten - ohne Sie alle hätte sich meine Arbeit nicht realisieren lassen!

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Literaturverzeichnis

A

Abousahl, S., Carbol, P., Farrar, B. et al. (2021). *Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation'*. Luxemburg: Publications Office of the European Union. Verfügbar unter doi.org/10.2760/665806

ADAC (2023). *Sauber durch AdBlue: So filtern SCR-Systeme giftige Autoabgase*. Verfügbar unter https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/benzin-und-diesel/funktion-scr-system-adblue/ [abgerufen am 03.04.2023]

Adolf, J., Balzer, C., Louis, J. et al. (2017). *Shell Wasserstoff Studie. Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H2*. Shell Deutschland (Hg.). Verfügbar unter https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6647/file/6647_Wasserstoff-Studie.pdf [abgerufen am 18.05.2022]

Agora Verkehrswende (2020). *Technologieneutralität im Kontext der Verkehrswende. Kritische Beleuchtung eines Postulats*. Verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2019/Technologieneutralitaet/33_Technologieneutralitaet_LANGFASSUNG_WEB_20-04-20.pdf [abgerufen am 24.02.2023]

Agora Verkehrswende (2022). *Elektro-Lkw schneller auf die Straße bringen*. Verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Veranstaltungen/2022/Elektrische-Lkw/Elektro-Lkw_Agora-Schlussfolgerungen_20221012.pdf [abgerufen am 18.05.2022]

Air Liquide Austria (o.J.). *Umweltfreundlich, leise, effektiv: Transportkühlung mit CRYOCITY. Das nachhaltige Transport-Kühlsystem für leichte Nutzfahrzeuge und Klein-LKW*. Verfügbar unter https://at.airliquide.com/ihre-anwendung/kuhlanlagen-fur-kleine-lieferlkw-cryocity [abgerufen am 11.04.2023]

Akalazia (2021, 17. Juni). *Sie fordern die Lithium-Ionen-Zelle mit "sehr billiger" (und umweltfreundlicher) Technologie heraus*. Verfügbar unter https://akalazia.com/sie-fordern-die-lithium-ionen-zelle-mit-sehr-billiger-und-umweltfreundlicher-technologie-heraus/ [abgerufen am 09.12.2021]

Allhutter, D., Bettin, B., Kleinferchner, J. et al. (2022). Sichere Strom-Versorgung in der Energiewende. *ITA-Dossier 2022*(64). S. 1-2. Verfügbar unter doi.org/10.13140/RG.2.2.25090.15040

Allhutter, D., Bettin, S., Brunner, H. et al. (2022). Sichere Stromversorgung und Blackout-Vorsorge in Österreich. Entwicklungen, Risiken und mögliche Schutzmaßnahmen. *ITA-AIT 2022*(17). S. 1-94. Verfügbar unter doi.org/10.1553/ITA-pb-AIT-17

Amte Power (o.J.). *The Road to the Future is Electric. In a rapidly changing world, AMTE provides battery innovation, commercialisation and scalable supply*. Verfügbar unter https://amtepower.com [abgerufen am 07.06.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Arnold, H. (2021, 23. Juni). Kongo liegt weit vorne. Die Top-Ten-Kobalt-Produzenten. *Elektroniknet*. Verfügbar unter https://www.elektroniknet.de/power/die-top-ten-kobalt-produzenten.187424.html [abgerufen am 10.05.2022]

ASFINAG (o.J.). *Mautkalkulator*. Verfügbar unter https://mautkalkulator.asfinag.at/mautkalkulator/ [abgerufen am 17.12.2021]

ASFINAG (2021a). *Die Vignette. Auf Österreichs Autobahnen und Schnellstraßen gilt seit 1997 die Vignettenpflicht*. Verfügbar unter https://www.asfinag.at/maut-vignette/vignette/ [abgerufen am 30.09.2021]

ASFINAG (2021b). *GO- Maut für Fahrzeuge über 3,5 Tonnen*. Verfügbar unter https://www.asfinag.at/maut-vignette/go-maut/ [abgerufen am 30.09.2021]

ASFINAG (2021c). *Lkw Fahr- und Überholverbote*. Verfügbar unter https://www.asfinag.at/verkehr-sicherheit/lkw-bus/lkw-fahrverbote [abgerufen am 01.10.2021]

ASFINAG (2022). *GO-Maut-Tarife 2022. Fahrleistungsabhängige Maut inklusive der Zuschläge für Luftverschmutzung und Lärmbelastung für Kraftfahrzeuge über 3,5 t höchsten zulässigen Gesamtgewichts*. Verfügbar unter https://www.asfinag.at/media/ijhdsmpn/go-maut-tarife-2022_de.pdf [abgerufen am 17.12.2021]

Aslan Reşitoğlu, İ. (2020). NOx Pollutants from Diesel Vehicles and Trends in the Control Technologies. *IntechOpen*. S. 1-13. Verfügbar unter doi.org/10.5772/intechopen.81112

Atzlinger, Y. (2021, 21. September). Der aufsehenerregende Weg des Windrades. *MeinBezirk.at*. Verfügbar unter https://www.meinbezirk.at/wels-wels-land/c-wirtschaft/der-aufsehenerregende-weg-des-windrades_a4789721egende Weg des Windrades - Wels & Wels Land (meinbezirk.at) [abgerufen am 11.11.2021]

Augsburg Universität (o.J.). *Kryo-komprimierter Wasserstoff - CcH2*. Verfügbar unter https://www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/wasserstoff-forschung-h2-unia/h2lab/h2-sp/physikalische-speicherung/cch2/ [abgerufen am 02.06.2022]

Automative Council UK (o.J.). *Brennstoffzellen. Fahrplan. Bericht*. Verfügbar unter https://www.apcuk.co.uk/app/uploads/2021/09/https___www.apcuk_.co_.uk_app_uploads_2021_06_Exec-summary-Technology-Roadmap-Fuel-Cells-v05_DE.pdf [abgerufen am 12.02.2023]

B

BAG (1998). *Marktbeobachtung Güterverkehr*. Bundesamt für Güterverkehr (BAG) (Hg.). Verfügbar unter https://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Marktbeobachtung/Jahresberichte/Marktb_1998-Jahresber.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [abgerufen am 20.12.2021]

Batterie-VO (Abänderungen des Europäischen Parlaments zu dem Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2019/1020 i. d. F. v. 10.03.2022. COM(2020)0798). Verfügbar unter https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0077_DE.pdf

Bauer Getränke (o.J.). *Über uns*. Verfügbar unter https://www.getraenke-bauer.at/ueber-uns [abgerufen am 05.11.2021]

Baumann, M., Dolna-Gruber, C., Goritschnig, W. et al. (2021). *Klima- und Energiestrategien der Länder. Energie, Treibhausgasemissionen und die Kongruenz von Länder- und Bundeszielen*. Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (Hg.). Verfügbar unter https://www.energyagency.at/fileadmin/1_energyagency/projekte/bundeslaenderstudie_klima-_und_energiestrategien/04_igw-bl_vergleich_endbericht_final.pdf [abgerufen am 25.11.2021]

Baustädter, B. (2020, 08. Dezember). Wasserstoff – der Stromspeicher der Zukunft?. *TU Graz*. Verfügbar unter https://www.tugraz.at/tu-graz/services/news-stories/tu-graz-news/einzelansicht/article/wasserstoff-der-stromspeicher-der-zukunft/ [abgerufen am 25.11.2021]

Behr, H. (2021, 06. Juni). *Rohstoffknappheit 2021 und 2022. Golden Gates Edelmetelle*. Verfügbar unter https://goldengates.de/de/ratgeber/rohstoffknappheit/ [abgerufen am 10.05.2022]

Bennühr, S. (2021). *Wasserstoff-Lkw sind auf dem Weg*. Verfügbar unter https://www.dvz.de/rubriken/test-technik/alternative-antriebe/detail/news/h2-lkw-sind-auf-dem-weg.html [abgerufen am 10.05.2022]

Bensmann, B., Benz, T., Brandt, T. et al. (2022). *Vergleich unterschiedlicher Technologiepfade für CO2-neutrale und -freie Antriebe. Klimafreundliche Nutzfahrzeuge*. Blaue Papiere Bd. 2. Düsseldorf: VDI Verlag. Verfügbar unter ISBN 978-3-931384-98

Bessagnet, B., Allemand, N., Putaud, J.-P. et al. (2022). Emissions of Carbonaceous Particulate Matter and Ultrafine Particles from Vehicles—A Scientific Review in a Cross-Cutting Context of Air Pollution and Climate Change. *Applied Sciences 12*(7), 3623. Verfügbar unter doi.org/10.3390/app12073623

Binder, A. (2012). *9 Permanentmagneterregte Synchronmaschinen*. Berlin, Heidelberg: Springer. Verfügbar unter doi.org/10.1007/978-3-540-71850-5_1

Blanka, M., Assiotis, A., Fann, B. et al. (2021). *Why GM Should Aquire Plug Power*. Focus Finance (Hg.). Verfügbar unter https://drive.google.com/file/d/1tb77TTH7nXjXKtCFwmJAOFQ5FHDVnnWc/view [abgerufen am 01.12.2021]

BMK (2021). *Energie in Österreich. Zahlen, Daten, Fakten*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hg.). Verfügbar unter https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:bbe5cd73-a161-46fc-8c80-2eb5fc500acb/Energie_in_OE2021_UA.pdf [abgerufen am 03.11.2021]

BMVIT (2017). *Factsheet Elektromobilität. Rechtliche Anpassungen und steuerliche Vorteile*. BMVIT (Hg.). Verfügbar unter https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:439c93ff-015d-41ed-a774-1f75e91df03f/factsheet.pdf [abgerufen am 13.03.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Borsche, T., Ulbig, A., Andersson, G. et al. (2016). *Die Rolle von dezentralen Speichern für die Bewältigung der Energiewende.* SATW Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (Hg.). Verfügbar unter https://www.satw.ch/fileadmin/user_upload/documents/02_Themen/05_Energie/SATW_Speicherstudie_Studie_DE.pdf [abgerufen am 11.08.2022]

Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J. et al. (2020). *Critical Raw Materials für Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study*. European Commission (Hg.). Verfügbar unter doi:10.2873/58081

Bockey, G., Heimes, H. (2022, 20. Mai). Hersteller von Zellen der nächsten Generation. *Battery-News*. Verfügbar unter https://battery-news.de/index.php/2022/05/20/weltkarte-hersteller-batterie-zelltechnologien-der-zukunft/ [abgerufen am 20.05.2022]

Borderlands of Science (o.J.). Ingenieur entwickelt Brennstoffzelle mit 2400 km Reichweite Umbau-Set für Benziner & Diesel soll 4000 Euro kosten!. *NET- Journal 25*(03/04). S. 25-27. Verfügbar unter http://www.borderlands.de/net_pdf/NET0320S25-27.pdf

Bossel, U. (2010). Wasserstoff löst keine Energieprobleme. *LIFIS ONLINE 2010*(12). S. 1-9. Verfügbar unter doi.org/10.14625/KXP:1786303604

Bothor, S. (2019). *Prognose von Netzverlusten. Forschungsbericht Bd. 138*. Stuttgart: Universitätsverlag Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Verfügbar unter doi.org/10.18419/opus-10549

Brandl, M. (2021, 19. Februar). Strom und Wasserstoff für Lkw: Regeln, Gesetze, Förderungen. *E-Move*. Verfügbar unter https://e-move.at/news/strom-und-wasserstoff-fuer-lkw-die-neuen-regeln/?cn-reloaded=1 [abgerufen am 10.05.2022]

Breitfuss Transport (o.J.). *Holztransporte*. Verfügbar unter https://www.breitfuss.at/news-transportunternehmen-breitfuss-kapfenberg-steiermark/holztransport-holztransport-fahrzeuge-holztransporte-steiermark/ [abgerufen am 12.11.2021]

Burgenlandenergie (2022, 20.Juli). *Großvolumige Elektrolyseanlage entsteht im Burgenland zur Produktion von grünem Wasserstoff aus Wind- und Sonnenenergie*. Verfügbar unter https://www.burgenlandenergie.at/de/mediathek/gruener-wasserstoff-aus-dem-burgenland/ [abgerufen am 30.07.2022]

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017). *Kobalt aus der DR Kongo – Potenziale, Risiken und Bedeutung für den Kobaltmarkt*. Verfügbar unter https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/53_kobalt-aus-der-dr-kongo.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [abgerufen am 15.06.2022]

Bundeskanzleramt Österreich (2021, 16. Juli). *"Fit for 55"-Paket – EU-Kommission geht Herausforderungen zum Klimaschutz an*. Verfügbar unter https://www.bundeskanzleramt.gv.at/themen/europa-aktuell/fit-for-55-paket-eu-kommission-geht-herausforderungen-zum-klimaschutz-an.html [abgerufen am 11.12.2021]

Bundeskanzleramt (2022, 10. Juli). *Umrüstung von Produktionsanlagen in Betrieben auf erneuerbare Energieträger wird gefördert*. Verfügbar unter

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

https://www.bundeskanzleramt.gv.at/eu-aufbauplan/aktuelles/umruestung-von-produktionsanlagen-in-betrieben-auf-erneuerbare-energietraeger-wird-gefoerdert.html [abgerufen am 03.04.2023]

Bundesministerium für Finanzen (o.J.). *Kraftfahrzeugsteuer*. Verfügbar unter https://www.bmf.gv.at/themen/steuern/kraftfahrzeuge/kraftfahrzeugsteuer.html [abgerufen am 30.09.2021]

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2021). *Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich. Der neue Klimaschutz-Rahmen für den Verkehrssektor Nachhaltigkeit – resilient – digital*. Verfügbar unter https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/mobilitaetsmasterplan/mmp2030.html [abgerufen am 08.10.2022]

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022). *Erneuerbaren-Wärme-Gesetz im Ministerrat beschlossen. Ministerrat beschließt Umstieg auf erneuerbare Heizungen bis 2040*. Verfügbar unter https://www.bmk.gv.at/service/presse/gewessler/20221103_ewg.html [abgerufen am 03.04.2023]

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2023). *Wasserstoffstrategie für Österreich*. Verfügbar unter https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:0eb2f307-1e4d-41b1-bfd8-22918816eb1b/BMK_Wasserstoffstrategie_DE_UA_final.pdf [abgerufen am 12.04.2023]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019). *Wie umweltfreundlich sind Elektroautos?*. Verfügbar unter https://www.swe-energie.de/site/energie/get/documents_E1645609076/energie/documents/Downloads/flyer-und-publikationen/strom/studie_umweltbilanz_emobilitaet_bmu_okt_19.pdf [abgerufen am 07.08.2022]

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022, 29. Juni). *Uruguay beschließt Wasserstoff-Fahrplan*. Verfügbar unter https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Meldungen/Marktnachrichten/2022/20220629-uruguay.html [abgerufen am 25.02.2023]

Burgert, T. (2021, 05. November). Frigoblock liefert Kühltechnik für EActros. *VerkehrsRundschau*. Verfügbar unter https://www.verkehrsrundschau.de/index.php/nachrichten/nfz-fuhrpark/frigoblock-liefert-kuehltechnik-fuer-eactros-2983753 [abgerufen am 09.11.2021]

C

Cabeza, L., Frazzica, A., Chàfer, M. et al. (2020). Research trends and perspectives of thermal management of electric batteries: Bibliometric analysis. *Journal of Energy Storage 32*. Art. Nr. 101976. S. 1-14. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.est.2020.101976

CHEManager (2013, 14. Jänner). *Verlässlicher Transport sensibler Waren*. Verfügbar unter https://www.chemanager-online.com/themen/logistik/verlaesslicher-transport-sensibler-waren [abgerufen am 09.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Chemie.de (o.J.a) *Brennstoffzelle*. Verfügbar unter https://www.chemie.de/lexikon/Brennstoffzelle.html [abgerufen am 17.02.2023]

Chemie.de (o.J.b). *Iridium*. Verfügbar unter https://www.chemie.de/lexikon/Iridium.html [abgerufen am 10.06.2022]

Chemie.de (o.J.c). *Kraftstoff*. Verfügbar unter https://www.chemie.de/lexikon/Kraftstoff.html [abgerufen am 09.05.2022]

Climate Change Centre Austria (2019). *Referenzplan als Grundlage für einen wissenschaftlich fundierten und mit den Pariser Klimazielen in Einklang stehenden Nationalen Energie- und Klimaplan für Österreich (Ref-NEKP)*. Verfügbar unter https://ccca.ac.at/fileadmin/00_DokumenteHauptmenue/03_Aktivitaeten/UniNEtZ_SDG13/RefNEKP/Ref-NEKP_Gesamtdokument_PublVers-9.9.2019.pdf [abgerufen am 25.02.2023]

Conrad, B., Baumann, U., & Harloff, T. (2021). Fertigung des Elektro-LKW startet noch 2021 in Ulm. *Autor Motor und Sport*. Verfügbar unter https://www.auto-motor-und-sport.de/elektroauto/nikola-iveco-cnh-industrial-joint-venture-elektro-lkw/ [abgerufen am 30.11.2021]

Containerbasis (o.J.). *Die Containertransporte im Überblick*. Verfügbar unter https://www.containerbasis.de/container-transport/ [abgerufen am 05.11.2021]

D

Dabidian, P., Langkau, S. (2013). Straßengüterverkehr. In: U., Clausen & C., Geiger (Hg.). *Verkehrs- und Transportlogistik*. 2. Aufl., S. 137-160. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. Verfügbar unter doi.org/10.1007/978-3-540-34299-1

Daimler (2021). *Brennstoffzellen-LKW. Teststart des neuen GenH2 Truck Prototypen*. Verfügbar unter https://www.daimler.com/innovation/antriebe/wasserstoff/teststart-genh2-truck-prototyp.html [abgerufen am 20.11.2021]

Daimler Truck AG (o.J.a). *Der neue eActros – Charged & Ready*. Verfügbar unter https://www.mercedes-benz-trucks.com/de_AT/emobility/world/our-offer/eactros-and-services.html [abgerufen am 09.12.2021]

Daimler Truck AG (o.J.b). *Mercedes- Benz präsentiert weltweit ersten vollelektrischen Lkw für schweren Verteilerverkehr*. Verfügbar unter https://roadstars.mercedes-benz-trucks.com/de_AT/magazine/2016/september/mercedes-benz-eactros.html [abgerufen am 04.11.2021]

Daimler Truck AG (2021). *Daimler Truck AG und Volvo Group gründen Brennstoffzellen-Joint Venture cellcentric*. Verfügbar unter https://www.daimler.com/investoren/berichte-news/finanznachrichten/20210301-brennstoffzellen-jv-cellcentric.html [abgerufen am 29.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Daimler Truck (2022). *GENH2 Truck*. Verfügbar unter https://media.daimlertruck.com/marsMediaSite/de/instance/ko.xhtml?oid=47469461&relId=1001&resultInfoTypeId=172#prevId=50000520 [abgerufen am 21.05.2022]

Danzberger, J., Hingerl, K., Zehetbauer, M. et al. (2015). *H2desorb. H2 Speicher aus Mikro- und Nanostrukturiertem Magnesium für optimale De- und Adsorption.* Klima- und Energiefonds (Hg.). Verfügbar unter https://energieforschung.at/wp-content/uploads/sites/11/2020/12/BGR0122015FS.pdf [abgerufen am 30.11.2021]

DB Cargo (o.J.). *Coca-Cola on Tracks: DB Cargo schafft ein Güternetzwerk in Deutschland*. Verfügbar unter https://www.dbcargo.com/rail-de-de/logistik-news/coca-cola-on-tracks-db-cargo-gueternetzwerk-in-deutschland-5889808 [abgerufen am 05.11.2021]

De las Nieves Camacho, M., Jurburg, D. & Tanco, M. (2022). Hydrogen fuel cell heavy-duty trucks: Review of main research topics. *International Journal of Hydrogen Energy 47*(68). S. 29505-29525. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.271

Demaco (o.J.). *Was tun mit dem Boil-off-Gas von Wasserstoff?* Verfügbar unter https://demaco-cryogenics.com/de/blog/was-tun-mit-dem-boil-off-gas-von-wasserstoff/ [abgerufen am 09.09.2022]

Deutscher Bundestag (2020). *Energiespeicher der Elektromobilität. Entwicklung der Energiedichten*. Verfügbar unter https://www.bundestag.de/resource/blob/819220/31128d3d32638f43627fa8a99bd3cb83/WD-8-090-20-pdf-data.pdf [abgerufen am 06.12.2021]

Deutscher Wasserstoff und Brennstoffzellen-Verband (o.J.). *Reichweite und Effizienz von Brennstoffzellen-Fahrzeugen*. Verfügbar unter https://www.dwv-info.de/reichweite-und-effizienz-von-brennstoffzellen-fahrzeugen/ [abgerufen am 07.08.2022]

DERA (2022a). *Chart des Monats, Februar 2022. Deutsche Metallimporte aus Russland*. Verfügbar unter https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%202022_cdm_02_Metallimporte%20aus%20Russland.pdf;jsessionid=117978DCF32273E31EDA25690022AE08.2_cid284?__blob=publicationFile&v=3 [abgerufen am 16.05.2022]

DERA (2022b). Mineralische Rohstoffe für die Wasserelektrolyse. *DERA Themenheft*. Verfügbar unter https://www.bgr.bund.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-22.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [abgerufen am 08.06.2022]

Deutsch-Uruguayische Industrie- und Handelskammer (o.J.). *Wasserstoff*. Verfügbar unter https://uruguay.ahk.de/de/berufsbildung/translate-to-deutsch-energia-medio-ambiente/translate-to-deutsch-hidrogeno [abgerufen am 24.02.2023]

Dietze, C. (2021, 23. Dezember). Batterie ohne Lithium und Kobalt: Wissenschaftler entwickeln neuen Rohstoff. *EFahrer.com*. Verfügbar unter https://efahrer.chip.de/news/batterie-ohne-lithium-und-kobalt-wissenschaftler-entwickeln-neuen-rohstoff_106642 [abgerufen am 08.06.2022]

Dietze, C. (2022, 13. September). Recycling von E-Auto-Akkus stockt: Wo es einen engen Flaschenhals gibt. *EFahrer.com*. Verfügbar unter

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

https://efahrer.chip.de/news/recycling-von-e-auto-akkus-stockt-wo-es-einen-engen-flaschenhals-gibt_109429 [abgerufen am 14.04.2023]

Die Umweltberatung (o.J.). *Ende mancher Rohstoffe in Sicht*. Verfügbar unter https://www.umweltberatung.at/ende-mancher-rohstoffe-in-sicht [abgerufen am 10.06.2022]

Doll, N., & Vetter, P. (2017, 28. November). Magnesium und Schwefel sollen das Batterieproblem lösen. *Die Welt*. Verfügbar unter https://www.welt.de/wirtschaft/article171020351/Magnesium-und-Schwefel-sollen-das-Batterieproblem-loesen.html [abgerufen am 09.05.2022]

Draese, N. (2020, 01. Juli). Teil des virtuellen Kraftwerks. Wasserstoffanlagen sollen für Balance im Stromnetz sorgen. *Ingenieur.de*. Verfügbar unter https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/wasserstoffanlagen-sorgen-fuer-balance-im-stromnetz/ [abgerufen am 10.08.2022]

E

E-Control (o.J.). *Welche Kriterien gibt es für Zuordnung zu einer Netzebene?*. Verfügbar unter https://www.e-control.at/industrie/service-beratung/haufige-fragen-antworten/-/asset_publisher/QvcnCoEtw8NG/content/welche-kriterien-gibt-es-fur-zuordnung-zu-einer-netzebene- [abgerufen am 18.08.2022]

Ecomento.de (2016a, 02. August). *Technik-Details zum Mercedes-Benz Elektro-Lkw Urban eTruck*. Verfügbar unter https://ecomento.de/2016/08/02/technik-details-zum-mercedes-benz-elektro-lkw-urban-etruck/ [abgerufen am 02.12.2021]

Ecomento.de (2016b, 27. September). *Elektroauto-Batterien noch zu schwer*. Verfügbar unter https://ecomento.de/2016/09/27/elektroauto-batterien-noch-zu-schwer/ [abgerufen am 06.12.2021]

Ecomento.de (2019, 14. Februar). *Branchenverband warnt: EU hat kaum Ladestationen für Elektro-Lkw*. Verfügbar unter https://ecomento.de/2019/02/14/acea-warnt-eu-hat-kaum-e-lkw-ladestationen [abgerufen am 20.12.2021]

Ecomento.de (2021a, 19. Mai). *Daimler Trucks startet Tests mit Wasserstoff-Lkw Mercedes-Benz GenH2 Truck*. Verfügbar unter https://ecomento.de/2021/05/19/mercedes-benz-genh2-truck-wasserstoff-lkw-tests-gestartet/ [abgerufen am 22.07.2022]

Ecomento.de (2021b, 01. April). *DPD Schweiz flottet Elektro-Lkw mit 760 Kilometer Reichweite ein*. Verfügbar unter https://ecomento.de/2021/04/01/dpd-schweiz-flottet-elektro-lkw-mit-760-kilometer-reichweite-ein/ [abgerufen am 10.12.2021]

Ecomente.de (2021c, 26. Mai). *Forscher: Kabelloses Elektroauto-Laden mit mehr als 90 Prozent Wirkungsgrad möglich*. Verfügbar unter https://ecomento.de/2021/05/26/forscher-erreichen-kabelloses-elektroauto-laden-mit-90-prozent-wirkungsgrad/ [abgerufen am 20.06.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Ecomento.de (2022, 10. März). *Aufladbare leichte Nutzfahrzeuge 2021 mit 3 Prozent Marktanteil*. Verfügbar unter https://ecomento.de/2022/03/10/aufladbare-leichte-nutzfahrzeuge-2021-mit-3-prozent-marktanteil/ [abgerufen am 11.03.2022]

Eder Stapler (o.J.). *EDER Mietservice: Gabelstapler mieten*. Verfügbar unter https://www.eder-stapler.de/vermietung/informationen/mietstapler-mietservice/ [abgerufen am 30.09.2021]

EKB Containerlogistik (o.J). *Dienstleistungen. Fernverkehr*. Verfügbar unter https://www.ekb-containerlogistik.com/de/dienstleistungen/containertransporte/fernverkehr/ [abgerufen am 07.02.2023]

ElektrizitätsWOG (Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010 i. d. F. v. 21.10.2022. BGBI Nr. 110/2010.). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007045

Elektromobilität NRW (o.J.). *Hocheffizienter Energiespeicher in Zink-Luft-Technologie für Elektroautos*. Verfügbar unter https://www.elektromobilitaet.nrw/forschung/aktuelle-forschung/projektdatenbank/projektseiten/hocheffizienter-energiespeicher-in-zink-luft-technologie-fuer-elektroautos/ [abgerufen am 07.02.2023]

EMC ElektroMobilitätsclub Österreich (o.J.). *EINE Ladekarte für alle Ladepunkte!*. Verfügbar unter https://www.emcaustria.at/elektromobilitaetsclub-mitgliedskarte/ [abgerufen am 20.05.2022]

EMCEL GmbH (2019a, 16. Juli). *Wann lohnt sich der Transport von Wasserstoff per Wasserstoffpipeline?*. Verfügbar unter https://emcel.com/de/wann-lohnt-sich-der-transport-von-wasserstoff-per-wasserstoffpipeline/ [abgerufen am 01.06.2022]

EMCEL GmbH (2019b, 16. Oktober). *Welche Bedeutung hat das Förderprogramm HyLand für die Brennstoffzellentechnologie?*. Verfügbar unter https://emcel.com/de/bedeutung-forderprogramm-hyland-brennstoffzellentechnologie/ [abgerufen am 25.11.2021]

EMCEL GmbH (2019c, 16. Dezember). *Welche Möglichkeiten der Wasserstoffspeicherung gibt es?*. Verfügbar unter https://emcel.com/de/wasserstoffspeicherung/ [abgerufen am 20.11.2021]

EMCEL GmbH (2020, 16. August). *Elektrische Kommunalfahrzeuge: Wie ist der aktuelle Stand?* Verfügbar unter https://emcel.com/de/elektrische-kommunalfahrzeuge/ [abgerufen am 12.11.2021]

EMCEL GmbH (2022). *Wie gehe ich bei der Planung einer Wasserstofftankstelle vor?*. Verfügbar unter https://emcel.com/de/planung-einer-wasserstofftankstelle/ [abgerufen am 30.06.2022]

Emoove.net (o.J.). *Elektro Lastwagen – Stand der Technik*. Verfügbar unter https://emoove.net/elektro-lastwagen-stand-der-technik/ [abgerufen am 10.03.2022]

EnBW (2022). *Wie lange hält ein E-Auto-Akku und was passiert danach*?. Verfügbar unter https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/wie-lange-haelt-ein-e-auto-akku-und-was-passiert-danach/ [abgerufen am 22.07.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

EnBW (2022). *Wie funktioniert der E-Antrieb?*. Verfügbar unter https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/fahren/wie-funktioniert-der-e-antrieb/ [abgerufen am 07.10.2022]

EnergieAgentur.NRW (o.J.). *Brennstoffzellentypen und ihr Entwicklungsstand*. Verfügbar unter https://www.energieagentur.nrw/brennstoffzelle/brennstoffzelle-wasserstoff-elektromobilitaet/brennstoffzellentypen#AFC [abgerufen am 25.11.2021]

Europäische Investitionsbank (2007, 22. November). *Die Europäische Investitionsbank beteiligt sich an der Finanzierung des NorNed-Seekabels zwischen den Niederlanden und Norwegen*. Verfügbar unter https://www.eib.org/de/press/all/2007-118-the-european-investment-bank-finances-norned--the-submarine-power-cable-linking-the-netherlands-and-norway- [abgerufen am 22.04.2023]

Europäische Kommission (o.J.). *Critical raw materials*. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_de [abgerufen am 16.05.2022]

Europäische Kommission (o.J.). *Übereinkommen von Paris*. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de [abgerufen am 30.09.2021]

Europäische Kommission (2021). *Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat über die Anwendung der Richtlinie 2014/94/EU über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe*. Europäische Kommission (Hg.). Verfügbar unter https://www.parlament.gv.at/PAKT/EU/XXVII/EU/05/31/EU_53123/imfname_11049421.pdf [abgerufen am 10.03.2021]

Europäische Kommission (2021, 14. Juli). *Fragen und Antworten: Nachhaltiger Verkehr, nachhaltige Infrastruktur und nachhaltige Kraftstoffe*. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_21_3525 [abgerufen am 12.12.2021]

Europäische Kommission (2022). *EU taxonomy: Complementary Climate Delegated Act to accelerate decarbonisation*. Verfügbar unter https://finance.ec.europa.eu/publications/eu-taxonomy-complementary-climate-delegated-act-accelerate-decarbonisation_en [abgerufen am 12.04.2023]

Europäische Kommission (2023, 14. Februar). *Kommissions-Vorschlag: Neue CO2–Standards für Lkw, emissionsfreie Stadtbusse ab 2030*. Verfügbar unter https://germany.representation.ec.europa.eu/news/kommissions-vorschlag-neue-co2-standards-fur-lkw-emissionsfreie-stadtbusse-ab-2030-2023-02-14_de [abgerufen am 16.02.2023]

Europäisches Parlament (2022a, 04. März). *Neue EU-Vorschriften für nachhaltigere und ethisch bedenkenlose Batterien*. Verfügbar unter https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20220228STO24218/neue-eu-vorschriften-fur-nachhaltigere-und-ethisch-bedenkenlose-batterien [abgerufen am 12.05.2022]

Europäisches Parlament (2022b, 19. Oktober). *Europaabgeordnete fordern Ladestationen für E-Autos alle 60 km.* Verfügbar unter https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20221014IPR43206/europaabgeordnete-fordern-ladestationen-fur-e-autos-alle-60-km [abgerufen am 12.12.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Eurotransport (2013, 06. Juli). *Parkplatznot. Extrawurst für Schwertransporte*? Verfügbar unter https://www.eurotransport.de/artikel/parkplatznot-extrawurst-fuer-schwertransporte-6499455.html [abgerufen am 07.02.2023]

EWE (o.J.). *Die Farben des Wasserstoffs*. Verfügbar unter https://www.ewe.com/de/zukunft-gestalten/wasserstoff/die-farben-des-wasserstoffs [abgerufen am 17.07.2022]

F

Faast, A., Dillinger, A., Schrampf, J. et al. (2020). *KEP-Branchen Report 2020*. WKO (Hg.). Verfügbar unter https://www.logistik2030.at/wp-content/uploads/2021/03/20210310_B_KEP-Branchenreport_SiS-web.pdf [abgerufen am 02.01.2022]

Fahrzeugeinstufungs-VO (Verordnung des BMF über die steuerliche Einstufung von Fahrzeugen als Kleinlastkraftwagen und Kleinbussen i. d. F. v. 14.10.2022. BGBl. II Nr. 193/2002). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001969

Faradion (o.J.). *Our new brand identity: Reinforcing the commitment to bring about a battery revolution*. Verfügbar unter https://faradion.co.uk [abgerufen am 07.06.2022]

Felbermayr (o.J.). *Verkehrsträger Straße*. Schwertransporte und Sondertransporte in ganz Europa. Verfügbar unter https://www.felbermayr.cc/transport-und-hebetechnik/strassentransporte [abgerufen am 11.11.2021]

Ferrara, A., Jakubek, S. & Hametner, C. (2023). Cost-optimal design and energy management of fuel cell electric trucks. *International Journal of Hydrogen Energy*. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.110

FFG (o.J.a). *ENIN - Emissionsfreie Nutzfahrzeuge und Infrastruktur. Förderprogramm zur Umstellung von Nutzfahrzeugflotten auf emissionsfreie Antriebe*. Verfügbar unter https://www.ffg.at/ENIN [abgerufen am 05.12.2022]

FFG (o.J.b). *MEDUSA-Phase 1. Multi-Megawatt Medium Voltage Megawatt Fast Charging – Phase 1*. Verfügbar unter https://projekte.ffg.at/projekt/4032453 [abgerufen am 20.12.2021]

Fleischmann, E. (2020, 21. Juli). Verbrauch laut Bordcomputer: Exakt bis voll daneben. *ADAC*. Verfügbar unter https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/autotest/bordcomputer-verbrauchswerte/ [abgerufen am 19.08.2022]

Fliegl Agrartechnik (2020). *Der Fliegl Abschiebewagen, einer für alles- Das Original*. Verfügbar unter https://fliegl-agrartechnik.de/produkte/abschiebewagen/abschiebewagen-asw/ [abgerufen am 11.11.2021]

Fliesser, L. (2021, 30. September). Gen-H2-Truck. Erstmals unterwegs im Wasserstoff-Lkw von Daimler. *Traktuell*. Verfügbar unter https://traktuell.at/artikel/erstmals-unterwegs-im-wasserstoff-lkw-von-daimler/ [abgerufen am 08.10.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Fliesser, L. (2023, 15. März). *Wasserstoff-Lkw. Ewald Perwög im Interview*. Traktuell. Verfügbar unter https://traktuell.at/news/wasserstoff-lkw/ [abgerufen am 14.04.2023]

Foodsped (o.J.). *Wir transportieren Flüssiglebensmittel*. Verfügbar unter https://www.foodsped.at [abgerufen am 07.05.2022]

Forschungszentrum Jülich (2014). *Direktmethanol-Brennstoffzellen: DMFC*. Verfügbar unter https://www.fz-juelich.de/portal/DE/Forschung/EnergieUmwelt/Brennstoffzellen/DMFC/_node.html [abgerufen am 27.11.2021]

Föderaler öffentlicher Dienst (FÖD) Volksgesundheit, Sicherheit der Nahrungsmittelkette und Umwelt (2016). *Woher stammt das troposphärische Ozon?*. Verfügbar unter https://www.health.belgium.be/de/woher-stammt-das-troposphaerische-ozon [abgerufen am 03.04.2023]

Fraunhofer Austria (2021). *KEP-Train*. Verfügbar unter https://www.fraunhofer.at/de/zusammenarbeit/laufende-studien.html [abgerufen am 10.10.2021]

Fraunhofer IIS (2021, 16. Dezember). *Gasleitungen für Wasserstoff?*. Verfügbar unter https://www.iis.fraunhofer.de/de/magazin/serie-wasserstoff/wasserstoff-gasleitungen.html [abgerufen am 07.04.2023]

Fraunhofer IPA (2021, 02. Dezember). *Produktionstechnik für Feststoffbatterien*. Verfügbar unter https://www.ipa.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/produktionstechnik-fuer-feststoffbatterien.html [abgerufen am 06.12.2021]

Fraunhofer IWKS (2020, 07. April). *Fraunhofer IWKS startet Projekt „BReCycle" für effizientes Recycling von Brennstoffzellen*. Verfügbar unter https://www.iwks.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/pressemeldungen-2020/neues-forschungsprojekt-brecycle.html [abgerufen am 22.07.2022]

Fricke, J. (2018). *Ammoniak – ein idealer Wasserstoff-Speicher. Eine interessante Alternative zum Elektroantrieb?*. Verfügbar unter https://www.bayern-innovativ.de/de/seite/ammoniak-wasserstoffspeicher [abgerufen am 01.06.2022]

Fricke, K.-G. (1994). Kabel und Freileitungen im Versorgungsnetz- Möglichkeiten und Grenzen. In: D. Speck (Hg.). *Energiekabel im EVU. Entwicklung, Technik, Anwendung, Prüfung und Betriebserfahrung der Energiekabel vom Niederspannungs- bis zum Höchstspannungsnetz*. S. 11-45. Verfügbar unter ISBN 3-8169-1064-5

Frischknecht, R. (2014). *Umweltaspekte von Elektroautos. Ein Argumentarium*. Bundesamt für Umwelt BAFU (Hg.). Verfügbar unter https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Mobility/frischknecht-2014-Argumentarium_Elektromobilitaet_v3.0.pdf [abgerufen am 11.08.2022]

Fritzsche, J. & P. (2019, 5. Februar): Wer lädt am meisten?. *DDS online*. Verfügbar unter https://www.dds-online.de/betrieb/marketing-betriebsfuehrung/wer-laedt-am-meisten/ [abgerufen am 30.09.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

G

Gamillscheg, H. (2021). N*oVA Erhöhung 2021 ab 1. Juli 2021 auch für Klein-LKW*. Verfügbar unter https://gamillscheg.at/nova-erhoehung-2021-ab-1-juli-2021-auch-fuer-klein-lkw/ [abgerufen am 15.12.2021]

Gas Connect Austria (2021, 08. Juli). *Projekt "H2EART" - klimaneutraler Wasserstoff für Österreich und Europa*. Verfügbar unter https://www.gasconnect.at/aktuelles/news-presse/positionen/news/detail/News/projekt-h2eart-klimaneutraler-wasserstoff-fuer-oesterreich-und-europa [abgerufen am 03.12.2021]

Gasag (2022). *Wie viel Strom ist für 1kg Wasserstoff nötig?* Verfügbar unter https://www.gasag.de/magazin/neudenken/wie-viel-strom-fuer-1kg-wasserstoff [abgerufen am 15.06.2022]

Gebrüder Weiss (2022, 11. März). *Hydrogen Truck proves its worth*. Verfügbar unter https://www.gw-world.com/news/press-releases/news/hydrogen-truck-proves-its-worth/ [abgerufen am 13.06.2022]

GENIOS (2008). *Das Be- und Entladen von LKW - Nadelöhr Rampe*. Verfügbar unter http://www.genios.de/wirtschaft/das_be__und_entladen_von_lkw_nadel_hr/c_produktion_20080701.html [abgerufen am 04.11.2021]

Genoese, M. (2018). Merit-Order Effekt. *Gabler Wirtschaftslexikon*. Verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/merit-order-effekt-53696) [abgerufen am 23.09.2022]

Getränke Schmideder (o.J.). *Unser Lieferservice*. Verfügbar unter https://schmideder-getraenke.de/lieferservice/ [abgerufen am 06.11.2021]

GewO (194. Kundmachung: Wiederverlautbarung der Gewerbeordnung 1973 i. d. F. v. 18.03.1994. BGBl. Nr. 194/1994). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1994_194_0/1994_194_0.pdf

Giljum, S., Hammer, M., Stocker, A. et al. (2007). *Wissenschaftliche Untersuchung und Bewertung des Indikators „Ökologischer Fußabdruck“*. Umweltbundesamt (Hg.). Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3486.pdf [abgerufen am 03.02.2023]

Göbelbecker, J. (2022, 19. April). Preisentwicklung des boomenden Energieträgers. Was kostet Wasserstoff jetzt und in Zukunft?. *CHEMIE TECHNIK*. Verfügbar unter https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/wasserstoff/was-kostet-wasserstoff-jetzt-und-in-zukunft-338.html [abgerufen am 23.09.2022]

Göckeler, K., Hacker, F., Mottschall, M. et al. (2020). *Status quo und Perspektiven alternativer Antriebstechnologien für den schweren Straßengüterverkehr*. StratEs (Hg.). Verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/StratES-Teilbericht1-Marktanalyse.pdf [abgerufen am 03.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Goldhofer (o.J.). *Die Allzweckwaffe für schwere Lasten*. Verfügbar unter https://www.goldhofer.com/sattelanhaenger/semi-arcus-p-pk [abgerufen am 11.11.2021]

Graber, J. (2023, 27. Jänner). Wieso LKW-Fahrer Balint bei seiner Ankunft weinte. *20 Minuten*. Verfügbar unter https://www.20min.ch/story/wieso-lkw-fahrer-balint-bei-seiner-ankunft-weinte-568939472877 [abgerufen am 11.04.2023]

Greil, F. (o.J.). Stromgekühlter Schlaf im Lkw. *AK Umwelt*. Verfügbar unter https://www.ak-umwelt.at/betrieb/?issue=2016-02 [abgerufen am 08.05.2022]

Grundhoff, S. (2021, 13. Oktober). Stellantis steigt wieder in die Brennstoffzelle ein. Der Wasserstoffantrieb ist nicht totzukriegen: Opel baut jetzt für Stellantis Transporter auf die Brennstoffzellentechnik um. Warum nur?. *Edison*. Verfügbar unter https://edison.media/verkehr/stellantis-steigt-wieder-in-die-brennstoffzelle-ein/25221038/ [abgerufen am 01.12.2021]

Gründler, M. & Kammel, A. (2021, 25. Mai). Gastbeitrag von Traton. Elektro-Lkw auch für den Fernverkehr. *Eurotransport*. Verfügbar unter https://www.eurotransport.de/artikel/gastbeitrag-von-traton-elektro-lkw-auch-fuer-den-fernverkehr-11184467.html [abgerufen am 02.06.2022]

Günther, E. (2018). Grundlastfähigkeit. Definition: Was ist "Grundlastfähigkeit“?. *Gabler Wirtschaftslexikon*. Verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/grundlastfaehigkeit-53731 [abgerufen am 07.10.2022]

GüterbefG (593. Kundmachung: Wiederverlautbarung des Güterbeförderungsgesetzes i. d. F. v. 20.03.2022. BGBl. Nr. 593/1995). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011384

GRZ Technologies (o.J.). *DASH Storage Modules. Solid-state hydrogen storage systems for the dense and safe storage of hydrogen*. Verfügbar unter https://grz-technologies.com/dash-storage [abgerufen am 16.09.2022]

H

Hao, H., Geng, Y., Tate, J. et al. (2019). Impact of transport electrification on critical metal sustainability with a focus on the heavy-duty segment. *Nature Communications 10.* Art. Nr. 5398. S. 1-7. Verfügbar unter doi.org/10.1038/s41467-019-13400-1

Harris, A., Soban, D., Smyth, B, et al., (2018). Assessing life cycle impacts and the risk and uncertainty of alternative bus technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 97*. S. 569-579. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.045

Harttmann, C. (2021, 21. Juni). MAN: eTGM elektrifiziert Verteiler-Touren der Spedition Metzger. *Transport - Die Zeitung für den Güterverkehr*. Verfügbar unter https://transport-online.de/news/man-etgm-elektrifiziert-verteiler-touren-der-spedition-metzger-49203.html [abgerufen am 04.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Harttmann, C. (2022, 18. März). Österreichische Post elektrifiziert Lieferflotte. *Logistra*. Verfügbar unter https://logistra.de/news/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik-oesterreichische-post-elektrifiziert-lieferflotte-137730.html [abgerufen am 06.05.2022]

Hausmann, F. (2022, 02. November). Volvo Trucks will 2025 mit Brennstoffzellen-Lkw durchstarten. *B_I MEDIEN*. Verfügbar unter https://bi-medien.de/fachzeitschriften/baumagazin/nutzfahrzeuge-am-bau/elektromobilitaet-volvo-trucks-will-2025-mit-brennstoffzellen-lkw-durchstarten-b15246 [abgerufen am 12.02.2023]

Heinfellner, H., Ibesich, N., Lichtblau, G. et al. (2019). *Sachstandsbericht Mobilität und mögliche Zielpfade zur Erreichung der Klimaziele 2050 mit dem Zwischenziel 2030*. Umweltbundesamt (Hg.). Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0688.pdf%20 [abgerufen am 14.12.2021]

Held, M. (2021). Elektromotor vs. Verbrennungsmotor. *E-Auto-Journal*. Verfügbar unter https://e-auto-journal.de/elektromotor-vs-verbrennungsmotor/ [abgerufen am 02.12.2021]

Helms, H., Kämper, C., Biemann, K. et al. (2019). *Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotential*. Agora Verkehrswende (Hg.). Verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf [abgerufen am 24.02.2023]

Henßler, S. (2021, 23. März). Designwerk: E-LKW mit Überlänge und 900 kWh-Akku. *Elektroauto-News*. Verfügbar unter https://www.elektroauto-news.net/2021/designwerk-elektrolkw-ueberlaenge-900-kwh-akku [abgerufen am 20.06.2022]

Henßler, S. (2021, 14. Jänner). Sono Motors stellt Solar-Auflieger für LKW vor. *Elektroauto-News*. Verfügbar unter https://www.elektroauto-news.net/2021/sono-motors-solar-auflieger-fuer-lkw [abgerufen am 24.03.2021]

Herba Chemosan Apotheker- AG (o.J). *Vollsortierter Arzneimittelgroßhandel*. Verfügbar unter https://www.herba-chemosan.at/hc-de/unternehmen/leistungsportfolio/arzneimittel-grosshandel [abgerufen am 08.11.2021]

Herry, M. (2012). *Österreich. Verkehr in Zahlen. Kapitel 7: Verkehrsaufkommen, -leistung und -belastung*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Abteilung II/Infra 5 (Hg.). Verfügbar unter https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:2a0bcf9b-e7b7-4aea-952e-5e716b7401bc/viz_2011_kap_7.pdf [abgerufen am 05.12.2021]

Hive Power (2021, 22. März). *Probleme mit der Netzstabilität bei erneuerbaren Energiequellen und wie sie gelöst werden können*. Verfügbar unter https://www.hivepower.tech/de/blog/probleme-der-netzstabilität-bei-erneuerbaren-energien,-wie-sie-gelöst-werden-können [abgerufen am 03.06.2022]

HKL Baumaschinen (o.J.). *Volkswagen Transporter T5 Pritschenwagen Doka mieten bei HKL*. Verfügbar unter https://www.hkl-baumaschinen.at/mieten-volkswagen-transporter-t5-pritschenwagen [abgerufen am 11.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Holdenried, E. (2021, 03. August). Hoffnungstechnologie Feststoffbatterie: Wann kommt die E-Auto-Revolution endlich in Serie? *Business Insider*. Verfügbar unter https://www.businessinsider.de/wirtschaft/mobility/hoffnungstechnologie-feststoffbatterie-wann-kommt-die-e-auto-revolution-endlich-in-serie-e/ [abgerufen am 06.12.2021]

Holze, R. (2019). *Elektrische Energie. Speichern und Wandeln*. Chemnitz: Springer Spektrum. Verfügbar unter doi.org/10.1007/978-3-658-26572-4

Holzer, H. (2020, 06. Februar). Selbstentladung. Wenn das Elektroauto seinen Strom verliert. *Handelsblatt*. Verfügbar unter https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/motor/selbstentladung-wenn-das-elektroauto-seinen-strom-verliert/25517934.html [abgerufen am 05.07.2022]

Hoti, D., Wyssmann, F., Loacker, F. et al. (2019). *Ökologisches und leises 26-Tonnen-Elektro-Wertstoff-Sammelfahrzeug (EWS)*. Bundesamt für Energie BFE (Hg.). Verfügbar unter https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=62797&Load=true [abgerufen am 02.12.2021]

Höfler, K. (2008, 07. September). Sommerjob bei Müllabfuhr: „Nichts für Weicheier“. *Die Presse*. Verfügbar unter https://www.diepresse.com/412262/sommerjob-bei-muellabfuhr-bdquonichts-fuer-weicheierldquo [abgerufen am 25.11.2021]

Holzleitner, M. & Moser, S. (2022). *Use Case „Elektrolyseur“*. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (Hg.). Verfügbar unter https://iktderzukunft.at/resources/pdf/datenkreis-energiewirtschaft-anhang-10-6-use-case-elektrolyseur.pdf [abgerufen am 26.03.2023]

Huber, A. (2022a). E-Auto-Batterien: So funktionieren sie, so weit ist die Forschung. *Autobild.* Verfügbar unter https://www.autobild.de/artikel/elektroauto-batterie-akku-tauschen-co2-abdruck-kosten-recycling-16202315.html [abgerufen am 05.02.2022]

Huber, A. (2022b, 03. Februar). BMW, Mercedes, VW: wer alles am Langstrecken-Akku arbeitet. *Autobild*. Verfügbar unter https://www.autobild.de/artikel/e-auto-feststoffakku-akkutechnologie-langstrecke-technik-elektroauto-16557999.html [abgerufen am 20.02.2022]

Hydrogeit (o.J.). *Wissen/ Wasserstoff. Eigenschaften von Wasserstoff- Steckbrief*. Verfügbar unter https://www.hydrogeit.de/eigenschaften.htm [abgerufen am 29.11.2021]

Hydrogenious Lohc Technologies (o.J.). *IPCEI Green Hydrogen @ Blue Danube*. Verfügbar unter https://www.hydrogenious.net/index.php/de/references-2/blue_danube/ [abgerufen am 07.10.2022]

Hyundai Motor (o.J.). *XCIENT Fuel Cell. Eco-friendly and still energy-efficient solution for transportation*. Verfügbar unter https://trucknbus.hyundai.com/global/en/products/truck/xcient-fuel-cell [abgerufen am 21.05.2022]

Hyundai Motor (2020, 8. Juli). *Erste Brennstoffzellen-Lkw Hyundai Xcient Fuel Cell kommen nach Europa*. Verfügbar unter https://www.hyundai.news/de/articles/press-releases/erste-brennstoffzellen-lkw-hyundai-xcient-fuel-cell-kommen-nach-europa.html [abgerufen am 29.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Hyundai Suisse (o.J.). *Wasserstoff-Elektromobilität in der Schweiz erfolgreich unterwegs Hyundai XCIENT Fuel Cell Trucks erreichen die Marke von einer Million Kilometer – ohne CO2-Emissionen*. Verfügbar unter https://aktuell.hyundai.ch/wasserstoff-elektromobilitaet-in-der-schweiz-erfolgreich-unterwegs-hyundai-xcient-fuel-cell-trucks-erreichen-die-marke-von-einer-million-kilometer-ohne-co2-emissionen/ [abgerufen am 10.03.2022]

Hz. Abmessungen- und Gewichte-RL (Richtlinie des Rates zur zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Straßenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr 2015 i. d. F. v. 29.04.2015. RL 96/53/EG). Verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0719&from=EN

H2-INDUSTRIES (o.J.). *LOHC-Technologie macht Wasserstoff zum sicheren Stromspeicher*. Verfügbar unter https://h2-industries.com/technologie/ [abgerufen am 07.10.2022]

H2 Mobility Deutschland (o.J.). *H2 tanken. Wasserstoffmobilität beginnt jetzt*. Verfügbar unter https://h2.live [abgerufen am 19.12.2021]

I

Ifak (o.J.). *Future Electric Energy Distribution by Aggregated Clusters and Cars with Automated Response*. Verfügbar unter https://www.ifak.eu/de/node/1607 [abgerufen am 20.06.2022]

IG-L (Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe i. d. F. v. 03.04.2022. BGBl. I Nr. 115/1997). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011027

IKB Deutsche Industriebank (2020). *Brennstoffzelle versus Batterie: Wem gehört die Zukunft?*. Verfügbar unter https://www.ikb-blog.de/wp-content/uploads/2020/01/200107_Wasserstoff_Hölting.pdf [abgerufen am 14.06.2022]

Ingenieur.de (2020a, 10. März). *Samsung stellt bahnbrechende Feststoffzelle vor*. Verfügbar unter https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/samsung-stellt-bahnbrechende-feststoffzelle-vor/ [abgerufen am 09.12.2021]

Ingenieur.de (2020b, 03. Juni). *Besser als Lithium-Ionen-Akkus: Sind Zink-Luft-Akkus die Zukunft der Batterien?*. Verfügbar unter https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/lithium-ionen-akkus-sind-zink-luft-akkus-die-zukunft-der-batterien/ [abgerufen am 06.12.2021]

Ingersoll Rand (o.J.). *Kompressoren und Pumpen für flüssige Massengüter*. Verfügbar unter https://www.gardnerdenver.com/de-de/transport/applications/liquid-transfer [abgerufen am 07.05.2022]

ITWissen.info (o.J.). *On-Board-Ladegerät*. Verfügbar unter https://www.itwissen.info/On-Board-Ladegeraet-on-board-charger-automotive-OBC.html [abgerufen am 02.12.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

ITWissen.info (2021). *Ladezustand*. Verfügbar unter https://www.itwissen.info/Ladezustand-state-of-charge-accu-SoC.html [abgerufen am 15.05.2022]

IWR (2020, 24. Februar). *Plug Power startet Kooperation für Brennstoffzellen Elektro-Lkw*. Verfügbar unter https://www.iwr.de/news/plug-power-startet-kooperation-fuer-brennstoffzellen-elektro-lkw-news36592 [abgerufen am 02.12.2021]

J

Jancke, C. (2021, 24. Dezember). Kosten und Aufwand enorm. Grünes Fantasialand oder bald Realität? Das bedeutet die Elektrifizierung des LKW-Verkehrs. *FOCUS online*. Verfügbar unter https://www.focus.de/auto/neuheiten/elektro-lkw_id_27728281.html [abgerufen am 12.02.2022]

Janczura, S. (2021, 06. August). Akku für Elektroautos. Natrium-Ionen-Batterie: CATL mixt Zell-Chemie und löst weltweites Problem. *Ingenieur.de*. Verfügbar unter https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/natrium-ionen-batterie-catl-mixt-neue-zell-chemie/ [abgerufen am 07.06.2022]

Jendrischik, M. (2021, 21. Juni). Faradion und CATL produzieren lithiumfreie E-Auto-Akkus. *Cleanthinking.de*. Verfügbar unter https://www.cleanthinking.de/faradion-und-catl-produzieren-lithiumfreie-e-auto-akkus/ [abgerufen am 28.06.2022]

Jendrischik, M. (2022, 21. August). Kristall-Batterie für dreifache Reichweite: Theion plant Massenproduktion bis 2025. *Cleanthinking.de*. Verfügbar unter https://www.cleanthinking.de/kristall-batterie-fuer-dreifache-reichweite-theion-plant-massenproduktion-bis-2025/ [abgerufen am 08.09.2022]

Jeß, C. (2020, 20. November). Mit neuem Super-Akku schon 2022 mehr als 1000 Kilometer weit kommen. *Autobild*. Verfügbar unter https://www.autobild.de/artikel/e-auto-batterie-neue-sald-technologie-18572069.html [abgerufen am 08.11.2021]

Jerez, B., Garcés, I. & Torres, R. (2021). Lithium extractivism and water injustices in the Salar de Atacama, Chile: The colonial shadow of green electromobility. *Political Geography 87.* Art. Nr. 102382. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102382

Johann Schirmbeck (o.J.). *Spedition*. Verfügbar unter https://www.schirmbeck.com/spedition/ [abgerufen am 07.02.2023]

Jöhrens, J., Allekotte, M., Heining, F. et al. (2021). *Potentialanalyse für Batterie-Lkw. Teilbericht im Rahmen des Vorhabens „Elektrifizierungspotenzial des Güter- und Busverkehrs - My eRoads“*. Ifeu (Hg.). Verfügbar unter https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/2021-07-29_-_My_eRoads_-_Potentialanalyse_Batterie-Nfz_-_final.pdf [abgerufen am 11.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Jöhrens, J., Allekotte, M., Heining, F. et al. (2022). *Vergleichende Analyse der Potentiale von Antriebstechnologien für LKW im Zeithorizont 2030. Teilbericht im Rahmen des Vorhabens. „Elektrifizierungspotential des Güter- und Busverkehrs - My eRoads“*. Ifeu (Hg.). Verfügbar unter https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/2022-02-04_-_My_eRoads_-_Potentiale_Lkw-Antriebstechnologien_-_final_01.pdf [abgerufen am 05.12.2022]

Jörissen, L., Dohle, H., Stimming, U. et al. (o.J.). *Stand der Zukunft der Direkt-Methanol-Brennstoffzelle*. Forschungsverband Sonnenenergie (Hg.). Verfügbar unter https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th1999/th1999_02_06.pdf [abgerufen am 27.11.2021]

K

Kabongo-Booto, G., Aamodt Espegren, K., & Hancke, R. (2021). Comparative life cycle assessment of heavy-duty drivetrains: A Norwegian study case. *Transportation Research Part D: Transport and Environment 95*(1). Art. Nr. 102836. S. 1-23. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.trd.2021.102836

Kahl Schwerlast GmbH (o.J.). *Kesselbrücken*. Verfügbar unter https://www.kahl-schwerlast.de/de/fuhrpark/kesselbruecken [abgerufen am 11.11.2021]

Kaiser, M. (2022, 15. Juni). Erweiterung von Nickelsdorfer Windpark: Sonnenstrom mit „Mascherl“. *BVZ Burgenländische Volkszeitung*. Verfügbar unter https://www.bvz.at/burgenland/wirtschaft/energiewende-erweiterung-von-nickelsdorfer-windpark-sonnenstrom-mit-mascherl-nickelsdorf-burgenland-energiewende-solarpark-print-burgenland-energie-energiequellen-sonnenenergie-buergerbeteiligungsmodell-landwirtschaftskammer-burgenland-325987097 [abgerufen am 30.07.2022]

Kamphausen, R. (1992). *Speditionsbetriebslehre. Mit Prüfungsaufgaben*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler. Verfügbar unter doi.org/10.1007/978-3-322-86242-6

Karner, T. (2021). *Transportaufkommen österreichischer Unternehmen im Straßengüterverkehr im 1.Quartal um 18,1% gestiegen*. Statistik Austria (Hg.). Verfügbar unter https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/125910.html [abgerufen am 12.10.2021]

Karner, T., Schuster, S., Weninger, B. et al. (2020). *Standard-Dokumentation Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zur Statistik des Straßengüterverkehrs*. Statistik Austria (Hg.). Verfügbar unter https://www.statistik.at/fileadmin/shared/QM/Standarddokumentationen/U/std_u_strassengueterverkehr_ab_2020.pdf [abgerufen am 15.11.2021]

Kasang, D. (o.J.). *Der anthropogene Treibhauseffekt. Anthropogene Treibhausgase*. Verfügbar unter https://www.klimanavigator.eu/dossier/artikel/011998/index.php [abgerufen am 16.02.2023]

Kellerhoff, P. (2022, 30. März). Batterietechnik. Festkörperbatterie auf Natrium-Basis im 3D-Druck. *VDI Nachrichten*. Verfügbar unter https://www.vdi-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

nachrichten.com/technik/forschung/festkoerperbatterie-auf-natrium-basis-im-3d-druck/ [abgerufen am 11.04.2022]

Kempkens, W. (2021, 21. Oktober). Windgeneratoren sollen das Netz stabilisieren. *Ingenieur.de*. Verfügbar unter https://www.ingenieur.de/fachmedien/bwk/netze/windgeneratoren-sollen-das-netz-stabilisieren/ [abgerufen am 20.06.2022]

Kersten, W. (2010). *KEP-Logistik*. Forschungs-Informations-System (Hg.). Verfügbar unter https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/290020/ [abgerufen am 08.10.2021]

KFG (Kraftfahrgesetz 1967 i. d. F. v. 20.03.2022. BGBl. 267/1967). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011384

Kfz- Serviceportal (o.J). *Baufahrzeuge – diese Fahrzeugarten gibt es auf Baustellen*. Verfügbar unter https://kfz-serviceportal.de/fahrzeugtypen/nutzfahrzeuge-nkw/baufahrzeug/ [abgerufen am 11.11.2021]

Kienzler, H., Auf der Maur, A., Altenburg, S. et al. (2019). *Marktanalyse urbaner Wirtschaftsverkehr in Deutschland*. Prognos AG (Hg.). Verfügbar unter https://www.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1584614432.pdf [abgerufen am 20.10.2021]

Klein, U. (2018, 25. August). Wenn das Elektroauto zum intelligenten Stromspeicher wird. Vehicle-to-Grid und Vehicle-to-Home: Strom aus dem E-Auto. *HomeandSmart GmbH*. Verfügbar unter https://www.homeandsmart.de/vehicle-to-grid-vehicle-to-home [abgerufen am 20.06.2022]

Klemens, P., Schmeidl, C. (o.J.). *Fahrerhandbuch Lenk- und Ruhezeiten Sozialvorschriften*. Fuhrpark-Service (Hg.). Verfügbar unter http://www.fuhrpark-service.at/Fahrerhandbuch%202007_Endfassung.pdf [abgerufen am 09.10.2021]

Klima- und Energiefonds (2021). *Leitfaden. E-Mobilität für Betriebe, Gebietskörperschaften und Vereine*. Verfügbar unter https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Leitfaden_E-Mobilitaet_Gewerbe_2021.pdf [abgerufen am 15.12.2021]

Kluschke, P., Uebel, M., Wietschel, M. et al. (2019). Alternative Antriebe im straßengebundenen Schwerlastverkehr: Eine quantitative Ermittlung der Nutzeranforderungen an schwere Lkw und deren Infrastruktur. *Working Paper Sustainability and Innovation 2019*(05). S. 1-27. Verfügbar unter doi.org/10.24406/publica-fhg-299715

Koether, R. (2018). *Taschenbuch der Logistik*. 5.Aufl., München: Carl Hanser Verlag. Verfügbar unter ISBN 3446457674

Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien (o.J.). *Energiedichte*. Verfügbar unter https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/energiedichte/ [abgerufen am 14.06.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kords, M. (2022). *Anzahl der Sattelzugmaschinen in Deutschland von 2012 bis 2022*. Statista (Hg.). Verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/155548/umfrage/anzahl-der-sattelzugmaschinen-in-deutschland/ [abgerufen am 08.03.2022]

Köllner, C. (2022, 22. Jänner). So lassen sich Brems- und Reifenabrieb reduzieren. *Springer-Professional*. Verfügbar unter https://www.springerprofessional.de/fahrwerk/partikel--feinstaub/so-lassen-sich-brems--und-reifenabrieb-reduzieren/18816284 [abgerufen am 15.08.2022]

Kösterke, T., Hasken, B. (2005). *Brennstoffzelle*. Universität Münster (Hg.). Verfügbar unter https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/physikalische_chemie/praktikum/brennstoffzellenarten___haskenbernd__koesterke_tim_.pdf [abgerufen am 27.11.2021]

Klima- und Energiefonds (o.J.). *E-ASY CHARGE*. Verfügbar unter https://www.klimafonds.gv.at/themen/mobilitaetswende/serviceseiten/zem/e-asy-charge/ [abgerufen am 02.01.2022]

Klima- und Energiefonds (o.J.). *FC4HD - Heavy-duty fuel cell road demonstrator*. Verfügbar unter https://www.klimafonds.gv.at/themen/mobilitaetswende/serviceseiten/zem/fc4hd-heavy-duty-fuel-cell-road-demonstrator/ [abgerufen am 30.11.2021]

Kotrba, D. (2021, 09. Dezember). Wien erhält neue Wasserstofftankstelle für Busse und LKW. *Future Zone*. Verfügbar unter https://futurezone.at/digital-life/wien-wasserstoff-tankstelle-bus-lkw-brennstoffzelle/401834926 [abgerufen am 18.12.2021]

KPMG (o.J). *Erneuerbaren Ausbau Gesetz 2020. Rahmenbedingungen für die Ökostromerzeugung werden weitgehend geändert*. Verfügbar unter https://www.kpmg-law.at/erneuerbaren-ausbau-gesetz-2020/ [abgerufen am 20.03.2022]

Kraftfahrzeuggenehmigungs-RL (Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge i. d. F. v. 05.09.2007. RL 2007/46/EG). Verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32007L0046

Krieger, W. (2018a). *KEP-Dienst. Gabler Wirtschaftslexikon*. Verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kep-dienst-41845 [abgerufen am 08.10.2021]

Krieger, W. (2018b). S*tückgut*. Gablers Wirtschaftslexikon (Hg.). Verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/stueckgut-45373/version-268667 [abgerufen am 28.10.2021]

Krumme, J. H. (2018). *Lastkraftwagen*. Gablers Wirtschaftslexikon (Hg.). Verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kraftfahrzeug-kfz-38005/version-261432 [abgerufen am 01.10.2021]

Kunze, G., Göhring, H. & Jacob, K. (2002). *Baumaschinen. Erdbau- und Tagebaumaschinen.* Wiesbaden: Vieweg & Teubner Verlag. Verfügbar unter doi.org/10.1007/978-3-663-09352-7

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kuther, T. (2018, 31. Jänner). Worauf es beim Battery Balancing von Lithium-Ionen-Akkus ankommt. *Elektronikpraxis*. Verfügbar unter https://www.elektronikpraxis.vogel.de/worauf-es-beim-battery-balancing-von-lithium-ionen-akkus-ankommt-a-682080/ [abgerufen am 15.05.2022]

L

Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellen-Technologie (2013). *Wasserstoff-Infrastruktur für eine nachhaltige Mobilität*. Verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Wirtschaft/Wasserstoff-Infrastruktur_nachhaltige_Mobilitaet.pdf [abgerufen am 15.06.2022]

Landwehr, S. (2019, 26. November). *Ammoniak hat großes Potenzial*. DVZ (Hg.). Verfügbar unter https://www.dvz.de/rubriken/see/detail/news/ammoniak-hat-grosses-potenzial.html [abgerufen am 18.02.2023]

Leichsenring, S. (2022, 24. Februar). Schwere Elektro-Laster: 2021 nur 346 Stück in Europa zugelassen. *InsideEVs*. Verfügbar unter https://insideevs.de/news/569718/elektrolaster-fahrzeugbestand2021-volvo-trucks/ [abgerufen am 10.03.2021]

Leicht, L. (2022, 08. Juni). Wasserstoff-Lkw mit 500 km Reichweite. *Auto Motor und Sport*. Verfügbar unter https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/wasserstoff-brennstoffzellen-lkw-500-km-reichweite/ [abgerufen am 07.10.2022]

Leimann, F. (o.J.). *Transportlogistik vom Mittelstand für den Mittelstand*. Leimann Transport und Logistik GmbH (Hg.). Verfügbar unter https://www.leimann.de/download/BME021210.PDF [abgerufen am 25.10.2021]

Leiva, L. (2020, 18. Juni). Wie stark belastet die Batterieherstellung die Ökobilanz von Elektroautos?. *Energieexperten*. Verfügbar unter https://www.energie-experten.ch/de/mobilitaet/detail/wie-stark-belastet-die-batterieherstellung-die-oekobilanz-von-elektroautos.html [abgerufen am 11.08.2022]

Lenk- und Ruhezeiten-VO (Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr i. d. F. v. 15.03.2022. Nr. 561/2006). Verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5cf5ebde-d494-40eb-86a7-2131294ccbd9.0003.02/DOC_1&format=PDF

Liimatainen, H., van Vliet, O. & Aplyn, D. (2019). The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. *Applied Energy 2019*(236). S. 804-814. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.017

Linde Gas (o.J.). *Lieferung im Tankwagen & Tanks. Tankwagen-Versorgung mit tiefkalt verflüssigten Gasen*. Verfügbar unter https://www.linde-gas.de/shop/de/de-ig/tankwagen-und-tanks [abgerufen am 08.05.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Linde Gas (o.J.). *Rechnen Sie mit Wasserstoff. Die Datentabelle*. Verfügbar unter https://www.linde-gas.at/de/images/1007_rechnen_sie_mit_wasserstoff_v110_tcm550-169419.pdf [abgerufen am 19.05.2022]

Link, S., Plötz, P., Griener, J. et al. (2021). *Lieferverkehr mit Batterie-Lkw: Machbarkeit 2021 – Fallbeispiel REWE Group - Region Nordost*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hg.). Verfügbar unter https://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-6427166.pdf [abgerufen am 08.12.2021]

Lipu, M., Mamun, A., Ansari, S. et al. (2022). Battery Management, Key Technologies, Methods, Issues, and Future Trends of Electric Vehicles: A Pathway toward Achieving Sustainable Development Goals. *Batteries 8*(9), 119. S. 1- 60. Verfügbar unter doi.org/10.3390/batteries8090119

Litzinger, A. (1997). *Systemintegration, Weiterentwicklung und Anwendung eines Trainingssimulators für die Betriebsführung elektrischer Netze*. University of Duisburg (Hg.). Verfügbar unter https://duepublico2.uni-due.de/servlets/MCRFileNodeServlet/duepublico_derivate_00005110/kap_6.htm [abgerufen am 10.07.2022]

Liu, W., Placke, T., Chau, K. T. (2022). Overview of batteries and battery management for electric vehicles. *Energy Reports 8*(1). S. 4058-4084. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.016

Lof, J., MacKinnon, C., Martin, G. et al. (2020). Survey of heavy-duty hydrogen fuel cell electric vehicles and their fit for service in Canada. *Transition Accelerator Reports 2*(1). S. 1-74. Verfügbar unter ISSN. 2562-6264

M

Maahn, P. (2022, 13. Mai). Wasserstoff aus der Kapsel – Dieses Auto setzt auf Wechsel-Tanks. *Handelsblatt*. Verfügbar unter https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/motor/namx-wasserstoff-aus-der-kapsel-dieses-auto-setzt-auf-wechsel-tanks/28336850.html?nlayer=Themen_11804704 [abgerufen am 22.05.2022]

Maisel, F., Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S. et al. (2021). *Ergebnisse der Studie: „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021“*. Fraunhofer ISI (Hg.). Verfügbar unter https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/vortrag-zukunftstechnologien-2021-Studie-Rohstoffe%20f%C3%BCr%20Zukunftstechnologien%202021.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [abgerufen am 17.07.2022]

Mammoet (o.J.). *Efficient Precision Transport. Mammoet Self Propelled Modular Transporters*. Verfügbar unter https://www.mammoet.com/siteassets/equipment/transport/self-propelled-modular-transporter/Mammoet_SPMT_brochure.pdf [abgerufen am 11.11.2021]

MAN (2022). *Der Almtruck kommt*. Verfügbar unter https://www.mantruckandbus.com/de/mobilitaet/der-almtruck-kommt.html [abgerufen am 10.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

MAN (o.J.). *MAN Agrar- und Forst-Lkw: Von Natur aus wirtschaftlich*. Verfügbar unter https://www.man.eu/at/de/lkw/lkw-fuer-branchen/agrar-und-forst-lkw/agrar-forst-lkw.htmlMAN AT [abgerufen am 12.11.2021]

MAN Österreich (2022). *Vollelektrisch, flüsterleise und hocheffizient: Der MAN eTGM*. Verfügbar unter https://www.man.eu/at/de/lkw/alle-modelle/der-man-etgm/etgm.html [abgerufen am 09.12.2021]

MAN Truck & Bus (o.J.a). *Der Feuerwehr MAN. Simply me truck*. Verfügbar unter https://www.man.eu/ntg_media/media/de/content_medien/doc/bw_master/truck_2/industry_1/man_lkw_branchen_feuerwehrfahrzeuge.pdf [abgerufen am 25.11.2021]

MAN Truck & Bus (o.J.b). *Kraftvoll. Robust. Zuverlässig. MAN-Fahrzeuge für die Forst- und Landwirtschaft*. Verfügbar unter https://www.truck.man.eu/man/media/de/content_medien/doc/business_website_truck_master_1/Brancheninfo_Holz_Agrar_D_Screen.pdf [abgerufen am 12.11.2021]

MAN Truck & Bus (o.J.c). *Tank- und Silofahrzeuge*. Effizienz an Bord. Verfügbar unter https://www.truck.man.eu/man/media/de/content_medien/doc/business_website_truck_master_1/einsatzgebiete/de_2/man-lkw-tg-fluessigkeiten-gase.pdf [abgerufen am 07.05.2022]

MAN Trucks & Bus Deutschland (2020). *Elektromobilität, die liefert: Der neue MAN ETGM*. Verfügbar unter https://www.man.eu/ntg_media/media/de/content_medien/doc/bw_master/truck_2/man_lkw_broschuere_etgm.pdf [abgerufen am 04.12.2021]

MAN Truck & Bus (2021a). *Ein MAN für Ihre Aufgaben. Simply me truck*. Verfügbar unter https://www.man.eu/ntg_media/media/de/content_medien/doc/bw_master/truck_2/industry_1/man_lkw_branchen_kommunal.pdf [abgerufen am 12.11.2021]

MAN Truck & Bus (2021b). *Wasserstoff Meets LKW- MAN baut erste Prototypen*. Verfügbar unter https://www.mantruckandbus.com/de/innovation/wasserstoff-meets-lkw-man-baut-erste-prototypen.html [abgerufen am 30.11.2021]

MAN Truck & Bus (2021c, 07. Mai). *Sono Motors and MAN Truck & Bus want to jointly analyze applications of solar technology in commercial vehicles*. Verfügbar unter https://press.mantruckandbus.com/corporate/download/1026655/210507-man-sono-motors-de-950.pdf [abgerufen am 24.03.2021]

Manager Magazin (2022, 30. März). *Ukraine-Krieg legt Produktion bei MAN lahm*. Verfügbar unter https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/man-ukraine-krieg-legt-produktion-der-traton-tochter-lahm-kurzarbeit-angesetzt-a-c5660516-8c39-488c-bc34-e52e4106cdd1 [abgerufen am 07.04.2022]

Manager Magazin (2022, 31. März). *Produktions- und Lieferengpässe. Ukraine-Krieg macht Elektroautos teurer*. Verfügbar unter https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/elektroautos-ukraine-krieg-macht-elektroautos-teurer-a-fd3c8d25-c67e-495d-9cda-785749ce2405 [abgerufen am 09.04.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Marx, K. (2021, 18. Juli). Günstiger, sicherer, leistungsstärker: Forschern gelingt Durchbruch im Akku-Bau. *EFAHRER.com*. Verfügbar unter https://efahrer.chip.de/news/guenstiger-sicherer-leistungsstaerker-forschern-gelingt-durchbruch-im-akku-bau_105412 [abgerufen am 06.12.2021]

Marx, V. (2015). Wirkungsgrad-Vergleich zwischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Fahrzeugen mit Elektromotor. *Der Elektro-Fachmann 15*(1-2/15). S. 5-10. Verfügbar unter http://www.mx-electronic.com/pdf-texte/link-e-mobility/Der-Elektrofachmann-Wirkungsgrad-Vergleich-zwischen-Fahrz.pdf

Messer Schweiz AG (o.J.). *Wasserstofftankstelle H24U. Die neue Unabhängigkeit beim Tanken – Die eigene Wasserstofftankstelle direkt vor der Haustüre*. Verfügbar unter https://www.messer.ch/wasserstofftankstelle [abgerufen am 16.09.2022]

Meusburger Fahrzeugaufbau (o.J.). *Getränke-Tiefbett-Sattelanhänger*. Verfügbar unter https://www.meusburger.ch/de/Getränke-Tiefbettsattel-Flügeltiefbett.html [abgerufen am 06.11.2021]

Meyer Quick Service Logistics (o.J.). *QSL baut Fernverkehr weiter aus. Frischelogistiker zieht nach einem Jahr positive Bilanz*. Verfügbar unter https://www.quick-service-logistics.de/qsl-baut-fernverkehr-weiter-aus [abgerufen am 08.11.2021]

Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (2022). *Handlungskonzept Schwerer Straßengüterverkehr. Nordrhein-Westfalen.* Verfügbar unter https://www.wirtschaft.nrw/system/files/media/document/file/mwike_br_schwerer_gueterverkehr_web.pdf [abgerufen am 05.12.2022]

Mitchell, J. (2022, 14. Oktober). Opinion: Energy transition could multiply mining in Africa and destroy the continent's forests and carbon sinks. *Investment Monitor*. Verfügbar unter https://www.investmentmonitor.ai/comment/opinion-energy-transition-mining-africa-destroy/ [abgerufen am 30.01.2023]

Mitchell, J. (2022, 14. Oktober). Opinion: Energy transition could multiply mining in Africa and destroy the continent's forests and carbon sinks. Investment Monitor. Verfügbar unter https://www.investmentmonitor.ai/comment/opinion-energy-transition-mining-africa-destroy/ [abgerufen am 30.01.2023]

Murphy, M., & Fasse, M. (2021, 05. Juli). Daimler, Traton und Volvo: Lkw-Hersteller bauen Netz von E-Tankstellen. *Handelsblatt*. Verfügbar unter https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/fahrzeugindustrie-daimler-traton-und-volvo-lkw-hersteller-bauen-netz-von-e-tankstellen/27391578.html?ticket=ST-15460501-oog2CaTtYe70BXaTTJN4-ap3 [abgerufen am 18.12.2021]

Muschkiet, M., Ebel, G. (2013). Begriffe und Systematik. In: U., Clausen & C., Geiger (Hg.). *Verkehrs- und Transportlogistik*. 2. Aufl., S.123-136. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. Verfügbar unter doi.org/10.1007/978-3-540-34299-1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

N

Nachtfahrverbots-VO (Verordnung des Landeshauptmannes vom 27. Oktober 2010, mit der auf der A 12 Inntal Autobahn ein Nachtfahrverbot für Schwerfahrzeuge erlassen wird, LGBI. Nr 64/210 i. d. F. v. LGBl. Nr. 141/2021). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrT&Gesetzesnummer=20000313

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2019). S*aubere Luft. Stickstoffoxide und Feinstaub in der Atemluft: Grundlagen und Empfehlungen*. Verfügbar unter https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/Leo_Stellungnahme_Saubere-Luft_2019_Web_03.pdf [abgerufen am 03.04.2023]

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2020). *Werkstattbericht Antriebswechsel Nutzfahrzeuge. Wege zur Dekarbonisierung schwerer Lkw mit Fokus der Elektrifizierung*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.). Verfügbar unter https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM_AG1_Werkstattbericht_Nfz.pdf [abgerufen am 05.11.2022]

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2021). *Ladeinfrastruktur für batterieelektrische LKW*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.). Verfügbar unter https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/04/NPM_AG5_Ladeinfrastruktur_ELkw.pdf [abgerufen am 04.04.2022]

Neißendorfer, M. (2022, 10. Juni). Solid Power fertigt erste Festkörperakkus für BMW und Ford. *Elektroauto-News*. Verfügbar unter https://www.elektroauto-news.net/2022/solid-power-fertigt-erste-festkoerperakkus-bmw-ford [abgerufen am 13.06.2022]

Nemec, D. (o.J.). *Kühlkette stromlos überwachen*. Fraunhofer Ipa (Hg.). Verfügbar unter https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Zusammenarbeit/Interaktiv_01_2016_Schritt%201_offen.pdf [abgerufen am 08.11.2021]

Newton, M. (2022). Ist die Speicherung von Wasserstoff die Zukunft der erneuerbaren Energie?. *RESET Digital for Good*. Verfügbar unter https://reset.org/ist-die-speicherung-von-wasserstoff-die-zukunft-der-erneuerbaren-energie/ [abgerufen am 07.10.2022]

Nilcargo (o.J.). *Temperaturgeführte Transporte*. Verfügbar unter https://www.nilcargo.at/service/lebensmitteltransport [abgerufen am 07.11.2021]

NORD/LB (2022). *Engineering & Industrials Special. Sector Strategy. Brennstoffzelle im Transportwesen – Technikrevival als Antriebsinnovation*. Verfügbar unter https://www.nordlb.de/meine-nordlb/download/research-dokument-10890?cHash=4f47042bf4c9755a7cc1c29ba0439ad2 [abgerufen am 16.09.2022]

NoVAG (Bundesgesetz, mit dem eine Abgabe für den Normverbrauch von Kraftfahrzeugen eingeführt wird (Normverbrauchsabgabegesetz – NoVAG 1991) i. d. F. v. 22.10.2022. BGBl. Nr. 695/1991). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10004698

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

NTU & Transalex (o.J.). *Komplettladung*. Verfügbar unter https://www.n-tu.de/logistik-lexikon/komplettladung/ [abgerufen am 27.10.2021]

O

Oel, S. (2020, 20. Februar). Dieses Jahr eröffnet die 100. Wasserstofftankstelle. *Autor Motor und Sport*. Verfügbar unter https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/130-wasserstoff-tankstellen-ausbau/ [abgerufen am 20.05.2022]

Oesterreich.gv.at (2020). *Führerscheinklasse (Klasse der Lenkberechtigung)*. Verfügbar unter https://www.oesterreich.gv.at/themen/dokumente_und_recht/fuehrerschein/6/Seite.040150.html [abgerufen am 08.10.2021]

Ohl, M., Özdemir, D., Hartmann, N. et al. (2021). *Elektrolyse und Brennstoffzelle.* Universität Stuttgart (Hg.). Verfügbar unter https://www.ier.uni-stuttgart.de/lehre/praktika/unterlagen/Skript-Brennstoffzelle.pdf [abgerufen am 22.11.2021]

OMV (2016, 16. März). *Woher kommt das? Der Weg des Öls*. Verfügbar unter https://www.omv.com/de/blog/woher-kommt-das-der-weg-des-oels [abgerufen am 10.11.2021]

ORF (2022, 02. Februar). Taxonomie. EU macht Atomkraft offiziell „grün". Orf.at. Verfügbar unter https://orf.at/stories/3245959/ [abgerufen am 08.04.2022]

Osieczko, K., Zimon, D., Placzek, E. et al. (2021). Factors that influence the expansion of electric delivery vehicles and trucks in EU countries. *Journal of Environmental Management 296*. Art. Nr. 113177. S. 1-10. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113177

Ö

ÖAMTC (2017). *Projekt H2Ö*. Verfügbar unter https://www.oeamtc.at/autotouring/auto/projekt-h2oe-21453690 [abgerufen am 20.05.2022]

ÖAMTC (o.J.). *Routenplaner*. Verfügbar unter https://www.oeamtc.at/routenplaner [abgerufen am 20.05.2022]

Österreicher, U. (2019, 02. Mai). Die Neuerungen durch die Novelle des Landarbeitsgesetzes. *Landwirtschaftskammer Österreich*. Verfügbar unter https://www.lko.at/die-neuerungen-durch-die-novelle-des-landarbeitsgesetzes+2400+2930261 [abgerufen am 11.11.2021]

Österreichischer Biomasse-Verband (o.J.). *Klimawandel*. Verfügbar unter https://www.biomasseverband.at/klimawandel/ [abgerufen am 16.02.2023]

Österreichische Energieagentur (2022). *Kein Ende bei Gaspreissteigerungen in Sicht*. Verfügbar unter https://www.energyagency.at/aktuelles/oegpi-september-2022 [abgerufen am 24.09.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Österreichische Energieagentur (2022). *Strom-Großhandelspreise klettern weiter*. Verfügbar unter https://www.energyagency.at/fakten/strompreisindex [abgerufen am 24.09.2022]

Österreichs E-Wirtschaft (o.J.). *Klimawende: Unsere Vision für 2040*. Verfügbar unter https://oesterreichsenergie.at/aktuelles/neuigkeiten/detailseite/klimawende-unsere-vision-fuer-2040 [abgerufen am 12.04.2023]

P

Pappas (o.J.). *Unimog U 319/323/423/427/430/527/530*. Verfügbar unter https://www.pappas.at/nutzfahrzeuge/unimog/u319-u423-u530 [abgerufen am 11.11.2021]

Paschotta, R. (o.J.a). *Frequenzregelung im Stromnetz*. RP-Energie-Lexikon (Hg.). Verfügbar unter https://www.energie-lexikon.info/frequenzregelung_im_stromnetz.html [abgerufen am 03.06.2022]

Paschotta, R. (o.J.b). *Wasserstoff*. RP-Energie-Lexikon (Hg.). Verfügbar unter https://www.energie-lexikon.info/wasserstoff.html [abgerufen am 29.11.2021]

Paschotta, R. (2023). *Kohlenmonoxid*. RP-Energie-Lexikon (Hg.). Verfügbar unter https://www.energie-lexikon.info/kohlenmonoxid.html [abgerufen am 03.04.2023]

Pell, J., Schörghuber, C., Schubert, T. et al. (2020). Energie- und Lebensdauermanagement für Brennstoffzellen-Lkw. *ATZ Heavy Duty 13*(4). S. 42-47. Verfügbar unter doi.org/10.1007/s35746-020-0111-x

Peters, R., Breuer, J. L., Decker, M. et al. (2021). Future Power Train Solutions for Long-Haul Trucks. *Sustainability 13*(4). Art. Nr. 2225. S. 2-57. Verfügbar unter doi.org/10.3390/su13042225

Pfennigbauer, A. (2021). Inside SAG. Our World of Alumnium. *Salzburger Aluminium AG 2021*(11). S. 1-9. Verfügbar unter https://www.sag.at/wp-content/uploads/2021/05/1_sag_inside_2021_einseitig.pdf

Pfennigbauer, A. (2021). Inside SAG. Our World of Alumnium. *Salzburger Aluminium AG 2021*(11). S. 1-9. Verfügbar unter https://www.sag.at/wp-content/uploads/2021/05/1_sag_inside_2021_einseitig.pdf

Pharmig (2019). Daten & Fakten 2019. *Arzneimittel und Gesundheitswesen in Österreich*. Pharmig (Hg.) Verfügbar unter https://www.pharmig.at/media/1999/duf_deutsch_2019_web.pdf [abgerufen am 08.11.2021]

Pietsch, A. (2021, 30. März). *Begegnung der logistischen Art*. DB Schenker. Verfügbar unter https://logistik-aktuell.com/2021/03/30/begegnung-der-logistischen-art/ [abgerufen am 27.10.2021]

Plank, W. (2021, 16. April). Lkw-Hersteller fordern mehr Ladepunkte und Wasserstoff-Tankstellen. *Elektroauto-News*. Verfügbar unter https://www.elektroauto-news.net/2021/lkw-hersteller-fordern-mehr-ladepunkte-wasserstoff-tankstellen [abgerufen am 19.12.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Plankenbühler, T., Kolb, S., Herkendell, K. et al. (2021). *Handbook. Screening. Wasserstoff Technik*. Energie Campus Nürnberg (Hg.). Verfügbar unter https://www.encn.de/fileadmin/user_upload/EnCN_Studie_Wasserstofftechnologie_2021.pdf [abgerufen am 03.02.2023]

Plötz, P., Wietschel, M., Döscher, H. et al. (2022). *Status Quo und Zukunft von Wasserstoff im Verkehrssektor*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hg.). Verfügbar unter https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/2022/status-quo-und-zukunft-h2-Verkehrssektor.html [abgerufen am 03.02.2023]

Post AG (o.J.). *Tarife Paket Österreich*. Verfügbar unter https://www.post.at/p/c/paket-tarife [abgerufen am 09.10.2021]

PwC Strategy& Austria (2022). *Lkw-Branche setzt auf Batterien – und Wasserstoff*. Verfügbar unter https://www.strategyand.pwc.com/at/de/presse/2022/electrified-trucking.html [abgerufen am 11.04.2023]

Q

Quantron (o.J.). *Empower the Future – Quantron-as-a-Service*. Verfügbar unter https://www.quantron.net/quantron-as-a-service/ [abgerufen am 05.12.2022]

R

Ravi, S. & Aziz, M. (2022). Utilization of Electric Vehicles for Vehicle-to-Grid Services: Progress and Perspectives. *Energies 15*(2). S. 1-27. Verfügbar unter doi.org/10.3390/en15020589

Reder Transporte (o.J.). *Teil- und Komplettladungsverkehr*. Verfügbar unter https://www.redertrans.at/leistung/ladungsverkehr [abgerufen am 03.11.2021]

Regett, A., Pellinger C. & Eller, S. (2014). Power2Gas – Hype oder Schlüssel zur Energiewende. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen 2014*(10). S. 79-84. Verfügbar unter https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2014/10/Artikel_et_10-2014.pdf

Reichel, J. (2021a, 15. März). UNO Whitepaper: Urbaner Kombiverkehr mit Tram und Cargobike. *Logistra*. Verfügbar unter https://logistra.de/news/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik-ono-whitepaper-urbaner-kombiverkehr-mit-tram-und-cargobike-65441.html [abgerufen am 10.10.2021]

Reichel, J. (2021b, 31. März). Stellantis lanciert Fuel-Cell-Antrieb für Vans als Plug-in-Hybrid. *Vision Mobility*. Verfügbar unter https://vision-mobility.de/news/stellantis-lanciert-fuel-cell-antrieb-fuer-vans-als-plug-in-hybrid-82814.html [abgerufen am 01.12.2021]

Reitberger, J. (2021, 11. September). Wasserstoffauto: Deshalb wird sich die Technologie so schnell nicht durchsetzen. *EFAHRER.com*. Verfügbar unter https://efahrer.chip.de/e-wissen/wasserstoffauto-deshalb-wird-sich-die-technologie-so-schnell-nicht-durchsetzen_101550 [abgerufen am 30.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Reitberger, J. (2022, 11. September). Wasserstoff im PKW wird abgehängt: Warum die Zeit der Akku-Alternative abläuft. *EFAHRER.com*. Verfügbar unter https://efahrer.chip.de/e-wissen/wasserstoff-im-pkw-wird-abgehaengt-warum-die-zeit-der-akku-alternative-ablaeuft_101550 [abgerufen am 10.05.2022]

Repower (2021). *Elektro-Lkw bringt Briefpost ins Engadin*. Verfügbar unter https://www.repower.com/gruppo/lkw [abgerufen am 13.07.2022]

Riebe GmbH (o.J.). *Tiefbett-Aufflieger*. Verfügbar unter https://riebe-gmbh.com/tiefbett-auflieger/ [abgerufen am 11.11.2021]

Robert Bosch (o.J.). *Battery in the Cloud. Mehr Leistung und längere Lebensdauer mit cloudbasierten Batterielösungen*. Verfügbar unter https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/loesungen/software-und-services/battery-in-the-cloud/battery-in-the-cloud/ [abgerufen am 05.07.2022]

Robert Bosch (o.J.). *Elektrifizierung. Wasserstoff-Lkw auf Tour. Brennstoffzellen-Antrieb im Alltagstest in China*. Verfügbar unter https://www.bosch.com/de/stories/wasserstoff-lkw/ [abgerufen am 10.08.2022]

Ruhwedel, S. (o.J.). Die Farben des Wasserstoffs. *H2 News*. Verfügbar unter https://h2-news.eu/energieversorgung/die-farben-des-wasserstoffs/ [abgerufen am 17.07.2022]

S

SAG (o.J.). *Wasserstoff. H2- Treibstoff der Zukunft*. Verfügbar unter https://www.sag.at/entwicklung/wasserstoff/ [abgerufen am 02.06.2022]

SALD BV (2021, 26. Jänner). S*ALD vermeldet Durchbruch bei Plasma-Atombeschichtung*. Verfügbar unter https://www.presseportal.de/pm/148814/4821675 [abgerufen am 06.12.2021]

Savage, C. (2022). *Superabsorption unlocks key to next generation quantum batteries*. The University of Adelaide (Hg.). Verfügbar unter https://www.adelaide.edu.au/newsroom/news/list/2022/01/17/superabsorption-unlocks-key-to-next-generation-quantum-batteries [abgerufen am 15.05.2022]

Scania Österreich (o.J). *Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug*. Verfügbar unter https://www.scania.com/at/de/home/products/trucks/battery-electric-truck.html?gclid=Cj0KCQiAraSPBhDuARIsAM3Js4rLFWVJeTwCmtDedAmHCHB-kob6DOyJlPf1dO30eAl2qLxynRvZRqO8aAn3AEALw_wcB [abgerufen am 04.12.2021]

Scania Deutschland (o.J.). *Wie funktioniert ein Lkw mit Brennstoffzellenantrieb?* Verfügbar unter https://www.scania.com/de/de/home/newsroom/news/2021/how-does-a-hydrogen-fuel-cell-electric-truck-work.html [abgerufen am 19.08.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Scania (2021). *Scania's commitment to battery electric vehicles*. Verfügbar unter https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2021/Scanias-commitment-to-battery-electric-vehicles.html [abgerufen am 02.06.2022]

Schaal, S. (2021a, 16. August). Hyzon liefert erste H2-Lkw in Europa aus. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2021/08/16/hyzon-liefert-erste-h2-lkw-in-europa-aus/ [abgerufen am 10.03.2022]

Schaal, S. (2021b, 08. Juni). Ikea Österreich beschafft 30 E-Lkw von Quantron. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2021/06/08/ikea-oesterreich-beschafft-30-e-lkw-von-quantron/ [abgerufen am 19.12.2021]

Schaal, S. (2021c, 19. April). IMMORTAL: Forschungsprojekt für langlebige Lkw-Brennstoffzellen. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2021/04/19/immortal-forschungsprojekt-fuer-langlebige-lkw-brennstoffzellen/ [abgerufen am 28.11.2021]

Schaal, S. (2022a, 29. März). Batterie-Startup Theion will Lithium-Schwefel-Zelle auf den Markt bringen. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2022/03/29/batterie-startup-theion-will-lithium-schwefel-zelle-auf-den-markt-bringen/ [abgerufen am 07.06.2022]

Schaal, S. (2022b, 14. Jänner). EU-Parlament fordert wohl strengere CO2-Vorgaben für Neuwagen. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2022/01/14/eu-parlament-fordert-wohl-strengere-co2-vorgaben-fuer-neuwagen/ [abgerufen am 03.04.2023]

Schaal, S. (2022c, 26. April). Tesla erwägt 800-Volt-System im Semi: Was bringen 800 Volt im E-Lkw?. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2022/04/26/tesla-erwaegt-800-volt-system-im-semi-was-bringen-800-volt-im-e-lkw/ [abgerufen am 15.05.2022]

Schatzmann, M. (2021, 04. November). Neuer CEO bei Hyundai Hydrogen Mobility. *TIR transNews*. Verfügbar unter https://www.tir-transnews.ch/branche/neuer-ceo-bei-hyundai-hydrogen-mobility/ [abgerufen am 29.11.2021]

Schiman, S. (2021). *Die Rezession 2020: Österreich im Ländervergleich*. WIFO (Hg.). Verfügbar unter https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=66933&mime_type=application/pdf [abgerufen am 11.10.2021]

Schmid, A. (2018, 28. August). Bosch: Elektrifizierte Achse für Lkw-Auflieger. *Logistra*. Verfügbar unter https://logistra.de/news/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik-bosch-elektrifizierte-achse-fuer-lkw-auflieger-15759.html [abgerufen am 20.05.2022]

Schmid, A. (2019, 13. Juni). Schnelles Laden wird mit Stromverlust bezahlt. *Edison Media*. Verfügbar unter https://edison.media/erklaeren/schnelles-laden-wird-mit-stromverlust-bezahlt/24453080.html [abgerufen am 19.08.2022]

Schnabel, F., Haberzettl, J., Klingler, A. et al. (2021). *Wasserstoff- und Brennstoffzellenstrategie für die Region Stuttgart. Eckpunkte und Maßnahmen*. Fraunhofer IAO (Hg.). Verfügbar unter https://elib.dlr.de/148235/1/ECE-2021-G1_Schnabel_etal_Wasserstoffstrategie%20Region%20Stuttgart%282021%29.pdf [abgerufen am 02.03.2023]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Schobl, B. (2019). *Nachrüstung von Diesel-Pkw Überprüfung manipulierter Lkw*. Umweltbundesamt (Hg.). Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0707.pdf [abgerufen am 03.04.2023]

Schoeller Allibert (o.J.). *Eierverarbeitungsindustrie – Combolife*. Verfügbar unter https://www.schoellerallibert.com/at/fallstudien/lebensmittelindustrie/eierverarbeitungsindustrie-combolife/ [abgerufen am 07.05.2022]

Schoppen, A. (2022, 05. Juli). Umfrage des ifo Instituts. Unternehmen erwarten Materialknappheit bis 2023. *KM Kunststoff Magazin*. Verfügbar unter https://www.kunststoff-magazin.de/news/unternehmen-erwarten-materialknappheit-bis-2023.htm [abgerufen am 10.08.2022]

Schrum, A., & Aster, E. (2020, 17. März). Transportaufkommen in Städten. Lieferstress auf der letzten Meil. *Deutschlandfunk Kultur*. Verfügbar unter https://www.deutschlandfunkkultur.de/transportaufkommen-in-staedten-lieferstress-auf-der-letzten-100.html [abgerufen am 05.11.2021]

Schubert, M., Kluth, T., Nebauer, G. et al. (2014). *Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Zusammenfassung der Ergebnisse*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.). Verfügbar unter https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/verkehrsverflechtungsprognose-2030-zusammenfassung-los-3.pdf?__blob=publicationFile [abgerufen am 10.11.2022]

Schuhbauer, S. (2019, 25. Dezember). Flexibel und effizient unterwegs mit dem MAN Agrar-Truck zwischen Hof und Feld. *Moderner Landwirt*. Verfügbar unter https://modernerlandwirt.de/flexibel-und-effizient-unterwegs-mit-dem-man-agrar-truck-zwischen-hof-und-feld/?web=1&wdLOR=c5D472843-FC70-2740-8FC3-3978FE198DDB [abgerufen am 12.11.2021]

Schüning, T., & Neu, W. (2020). Hyperloop – Technologiebetrachtung aus Sicht des Hochschulteams HyperPodX. In: H., Proff (Hg.). *Neue Dimensionen der Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*. S. 177-184. Verfügbar unter doi.org/10.1007/978-3-658-29746-6

Schweikl, T. (2021, 20. September). Verteilerverkehr: Renault erweitert Angebot an E-Lkw. *Logistra*. Verfügbar unter https://logistra.de/news/nfz-fuhrpark-lagerlogistik-intralogistik-verteilerverkehr-renault-erweitert-angebot-e-lkw-77804.html [abgerufen am 05.11.2021]

Sciurti, D. (2022, 22. März). Batteriewechsel im großen Maßstab: Geely führt Akku-Tausch-Technologie für Lkw ein. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2022/03/22/batteriewechsel-im-grossen-massstab-geely-fuehrt-akku-tausch-technologie-fuer-lkw-ein/ [abgerufen am 21.05.2022]

Seibt, T. (2022, 29. März). Neue E-Auto-Batterien aus dem 3D-Drucker. *Auto Motor und Sport*. Verfügbar unter https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/blackstone-resources-ag-natrium-ionen-batterie-3d-drucker/ [abgerufen am 06.06.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Seibt, T., & Conrad, B. (2020, 07. Oktober). Nutzfahrzeuge mit Brennstoffzelle. *Autor Motor und Sport*. Verfügbar unter https://www.auto-motor-und-sport.de/elektroauto/toyota-hino-fcv-truck-wasserstoff-antrieb-brennstoffzelle/ [abgerufen am 30.11.2021]

Sektorales Fahrverbot-VO (Verordnung des Landeshauptmannes vom 18. Mai 2016, mit der auf einem Abschnitt der A 12 Inntal Autobahn der Transport bestimmter Güter im Fernverkehr verboten wird i. d. F. v. 03.04.2022. LGBl. Nr. 44/2016, geändert durch die Verordnung LGBl. Nr. 178/2021). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrT&Gesetzesnummer=20000636&FassungVom=2022-04-03

SFC Energy (o.J.). *Wasserstoffspeicherung einfach erklärt*. Verfügbar unter https://www.sfc.com/glossar/wasserstoffspeicherung-einfach-erklaert/ [abgerufen am 01.06.2022]

Siemens Stiftung (2017). *Gleichstrom für die Fernübertragung*. Verfügbar unter https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/gleichstrom-fuer-die-fernuebertragung-hgue-100225 [abgerufen am 22.04.2022]

Simon, F. (2021, 29. März). EU-Fachleute sehen Atomkraft als „grüne Investition". *EURACTIV*. Verfügbar unter https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/eu-fachleute-sehen-atomkraft-als-gruene-investition/ [abgerufen am 29.11.2021]

Sono Motors (o.J.). *LKW & Auflieger*. Verfügbar unter https://sonomotors.com/site/assets/files/6479/sono-motors-trucks-and-trailer-solar-fact-sheets-de.pdf [abgerufen am 24.03.2021]

Stahl, T. (2021, 13. Mai). Schweden tüfteln am Super-Akku: Er soll 10 mal besser performen. *EFAHRER.com*. Verfügbar unter https://efahrer.chip.de/news/schweden-tuefteln-am-super-akku-er-soll-10-mal-besser-performen_104489 [abgerufen am 07.12.2021]

Stahl, T. (2022, 17. Mai). Wenn Wasserstoff entweicht: Studie offenbart kritische Eigenschaft des Gases. *EFAHRER.com*. Verfügbar unter https://efahrer.chip.de/news/wenn-wasserstoff-entweicht-studie-offenbart-kritische-eigenschaft-des-gases_107758 [abgerufen am 01.06.2022]

Stahl, T. (2022, 25. März). Akku-Experte warnt: E-Autos könnten wegen Ukraine-Krieg deutlich teurer werden. *EFAHRER.com*. Verfügbar unter https://efahrer.chip.de/news/akku-experte-warnt-e-autos-koennten-wegen-ukraine-krieg-deutlich-teurer-werden_107557 [abgerufen am 11.05.2022]

Staiß, F., Schmidt, M., Stephanos, C. et al. (2022). Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030. Materialband. *Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft*. S. 2-146. Verfügbar unter doi.org/10.48669/esys_2022-8

Stanger, S. (o.J.). *Der Verkehrsträger*. Logistikbranche. Verfügbar unter https://www.logistik-branche.net/verkehrstraeger.html [abgerufen am 30.09.2021]

Statista (2021). *Anzahl der Pakete in Österreich von 2014 bis 2020 und Prognose für 2021 und 2022 (in 1.000)*. Verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/300692/umfrage/sendungsmenge-pakete-in-oesterreich/ [abgerufen am 14.10.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Statista (2022). *Statistiken zu Nutzfahrzeugen in Österreich*. Verfügbar unter https://de.statista.com/themen/5099/nutzfahrzeuge-in-oesterreich/ [abgerufen am 07.04.2023]

Statistik Austria (2021a). *Energiebilanzen*. Verfügbar unter https://www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/energiebilanzen [abgerufen am 10.03.2022]

Statistik Austria (2021b). Straßengüterverkehr österreichischer Unternehmer. Verfügbar unter https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/gueterverkehr/index.html [abgerufen am 20.10.2021]

Statistisches Bundesamt (o.J.). *Straßenverkehr: EU-weite CO2-Emissionen seit 1990 um 24 % gestiegen. Pkw verursachen den größten Anteil*. Verfügbar unter https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Umwelt-Energie/CO2_Strassenverkehr.html [abgerufen am 09.05.2022]

Stephan, D. (2021, 02. Juli). Wasserstoff-Elektrolyse. Mit Spannung erwartet: Die Wasserstoff-Elektrolyse wird erwachsen. *Vogel Communications Group*. Verfügbar unter https://www.process.vogel.de/mit-spannung-erwartet-die-wasserstoff-elektrolyse-wird-erwachsen-a-277053a2bb60948d471ab1d0a03f47d9/ [abgerufen am 30.03.2023]

Steuerliche Einstufungs-VO (193. Verordnung: Steuerliche Einstufung von Fahrzeugen als Kleinlastkraftwagen und Kleinbusse i. d. F. v. 20.03.2022. BGBl. II Nr. 193/2002). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/2002_193_2/2002_193_2.pdf

T

Tanvir, S., Un-Noor, F., Boriboonsomsin, K. et al. (2021). Feasibility of Operating a Heavy-Duty Battery Electric Truck Fleet for Drayage Applications. *Transportation Research Record 2675*(1). S. 258-268. Verfügbar unter doi.org/10.1177/0361198120957325

TenneT (o.J.). *CO2 Fußabdruck / CO2 Bilanz*. Verfügbar unter https://netztransparenz.tennet.eu/de/company/csr-und-nachhaltigkeit/umwelt/ [abgerufen am 19.08.2022]

Teslamag (2021a, 15. Juli). *Klima-Paket: EU will emissionsfreie Autos ab 2035 – und mehr Wasserstoff-Tankstellen*. Verfügbar unter https://teslamag.de/news/klima-paket-eu-kommission-emissionsfreie-autos-2035-mehr-wasserstoff-tankstellen-39096 [abgerufen am 12.12.2021]

Teslamag (2021b, 31. August). *Studie: Elektro-Laster brauchen für 500 km Reichweite 900 kWh Akku, zukünftig weniger*. Verfügbar unter https://teslamag.de/news/studie-elektro-laster-500-km-reichweite-900-mwh-akku-zukuenftig-weniger-40617 [abgerufen am 10.12.2021]

The Mobility House (2020). *Das Stromnetz stabilisieren, die CO2-Bilanz verbessern, Gewinne erzielen: Was Fahrzeugbatterien in stationären Anwendungen alles leisten können*. Verfügbar unter https://www.mobilityhouse.com/de_de/magazin/e-mobility/was-fahrzeugbatterien-in-stationaeren-anwendungen-leisten-koennen.html [abgerufen am 13.07.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Theion (o.J.). *Theion's Crystal Battery: Co-created with mother nature. With superior performance and sustainability it's the near future's mobile battery: for smartphones and computers, for cars and airplanes*. Verfügbar unter https://www.theion.de/#focu [abgerufen am 08.06.2022]

Thielmann, A., Wietschel, M., Funke, S. et al. (2020). *Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hg.). Verfügbar unter https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf [abgerufen am 20.05.2022]

Tiefgefrorene LM-VO (Verordnung des Bundesministers für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz über tiefgefrorene Lebensmittel i. d. F. v. 20.03.2022. BGBl. Nr. 201/1994). Verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1994_201_0/1994_201_0.pdf

Timmers, V.R.J.H., Achten, P.A.J. (2016). Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment 134*. S. 10-17. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017

Tober, W., Bruckmüller, T., & Fasthuber, D. (2019). *Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge: Bedarf, Kosten und Auswirkungen auf die Energieversorgung in Österreich bis 2030*. ÖVK (Hg.). Verfügbar unter https://oevk.at/fileadmin/Media/Saison_2018_19/Ladeinfrastruktur_fuer_Elektrofahrzeuge.pdf [abgerufen am 20.12.2021]

Tol, D., Frateur, T., Verbeek, M. et al. (2022). *Techno-economic uptake potential of zero- emission trucks in Europe*. TNO (Hg.). Verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Veranstaltungen/2022/Elektrische-Lkw/TNO_2022_R11862_Techno-economic_uptake_potential_of_zero-emission_trucks_in_Europe.pdf [abgerufen am 24.02.2023]

Truckscout24 (2021). *Lastwagen gebraucht*. Verfügbar unter https://www.truckscout24.at/List?vehicleTypeId=1&substructureId=0&makeId=0&model=&priceTo=0&firstRegistrationYearFrom=0&productionYearFrom=0&countryId=A&axleId=1&currentCountryId=A [abgerufen am 01.10.2021]

Tsakalidis, A., Krause, J., Julea, A. et al. (2020). Electric light commercial vehicles: Are they the sleeping giant of electromobility?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment 86*. Art. Nr. 102421. S. 1-20. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.trd.2020.102421

TU Berlin (2021). *Lkw-Verkehr klimafreundlich gestalten. Neues Forschungsprojekt untersucht die Elektrifizierung des Güterfernverkehrs auf der Straße*. Verfügbar unter https://www.tu.berlin/ueber-die-tu-berlin/profil/pressemitteilungen-nachrichten/2021/maerz/lkw-verkehr-klimafreundlich-gestalten/ [abgerufen am 02.01.2022]

TÜV Nord (2020). *Die fünf Rohstoffe der digitalen Welt*. Verfügbar unter https://www.tuev-nord.de/explore/de/die-fuenf-rohstoffe-der-digitalen-welt/ [abgerufen am 06.12.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

TÜV Süd (o.J.a). *Die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle-DMFC*. Verfügbar unter https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/wasserstoff-brennstoffzellen-info/brennstoff-zellen/dmfc-brennstoffzelle [abgerufen am 18.02.2023]

TÜV Süd (o.J.b). *Die phosphorsaure Brennstoffzelle- PAFC*. Verfügbar unter https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/wasserstoff-brennstoffzellen-info/brennstoff-zellen/pafc-brennstoffzelle [abgerufen am 27.11.2021]

TÜV Süd (o.J.c). *Speicherung von Wasserstoff. Arten der Speicherung*. Verfügbar unter https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/wasserstoff-brennstoffzellen-info/wasser-stoff/speicherung-von-wasserstoff [abgerufen am 29.11.2021]

U

Uhrig-Gruppe (o.J.). *Baumaschinen. Spezielles Gerät für die Arbeiten auf Baustellen*. Verfügbar unter https://www.uhrig-bau.eu/lexikon/baumaschinen/ [abgerufen am 11.11.2021]

Umweltbundesamt (2020a). *Bioenergie*. Verfügbar unter https://www.umweltbundes-amt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#Biogas [abgerufen am 02.12.2021]

Umweltbundesamt (2020b). *Pkw und leichte Nutzfahrzeuge*. Verfügbar unter https://www.um-weltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/pkw-leichte-nutzfahr-zeuge#die-europaische-abgas-gesetzgebung [abgerufen am 20.04.2023]

Umweltbundesamt (2021). *Wasserstoff im Verkehr: Häufig gestellte Fragen (FAQs)*. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/kraftstoffe/wasser-stoff-im-verkehr-haeufig-gestellte-fragen#frage-1-wie-kann-wasserstoff-im-verkehr-eingesetzt-werden-und-welche-ziele-werden-damit-verfolgt [abgerufen am 22.07.2022]

Umweltbundesamt (2022a). *Feinstaub*. Verfügbar unter https://www.umweltbundes-amt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/feinstaub#undefined [abgerufen am 03.04.2023]

Umweltbundesamt (2022b). *Indikator: Endenergieverbrauch des Verkehrs*. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-endenergiever-brauch-des-verkehrs#die-wichtigsten-fakten [abgerufen am 13.07.2022]

Umweltbundesamt (2022c). *Wasserstoff – Schlüssel im künftigen Energiesystem*. Verfügbar un-ter https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepoli-tik-in-deutschland/wasserstoff-schluessel-im-kuenftigen-energiesystem#Rolle [abgeru-fen am 10.08.2022]

V

Vbw (2021). *Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft*. Vereinigung der bayerischen Wirt-schaft (Hg.). Verfügbar unter https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengli-che-Medien/Abteilungen-GS/Außenwirtschaft/2021/Downloads/211216-Rohstoffstu-die_IWC_211125_SOt-2.pdf [abgerufen am 10.03.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

VCÖ (2020). *VCÖ-Factsheet: Grünen Wasserstoff sinnvoll im Verkehr einsetzen*. Verfügbar unter https://vcoe.at/publikationen/vcoe-factsheets/detail/vcoe-factsheet-2020-02-gruenen-wasserstoff-sinnvoll-im-verkehr-einsetzen [abgerufen am 11.08.2022]

VCD Verkehrsclub Deutschland (o.J.). *Gigaliner. Zu groß, zu schwer, zu gefährlich*. Verfügbar unter https://www.vcd.org/themen/gueterverkehr/gigaliner/ [abgerufen am 01.10.2021]

Verband der Automobilindustrie (2007). *Fakten gegen ein generelles Tempolimit auf deutschen Autobahnen.* Verfügbar unter https://www.vda.de/dam/jcr:70d652ad-ca4a-4dce-8134-c62a23136470/1229511910_de_826152957.pdf [abgerufen am 21.04.2023]

Verband der Automobilindustrie e. V. (o.J.). *Wasserstoff statt Diesel*. Verfügbar unter https://www.iaa-transportation.com/de/newsroom/wasserstoff-statt-diesel [abgerufen am 03.04.2023]

Verbund AG (o.J.). *Pumpspeicherkraftwerke – grüne Batterien*. Verfügbar unter https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/kraftwerkstypen/pumpspeicherkraftwerk [abgerufen am 19.08.2022]

Verkehrsrundschau (2009). *Rundholz richtig sichern*. Verfügbar unter https://www.bgl-ev.de/images/downloads/initiativen/lasi_check_9_rundholz.pdf [abgerufen am 12.11.2021]

Virta International (o.J.). *Vehicle-to-Grid: Alles was sie wissen müssen*. Verfügbar unter https://www.virta.global/de/vehicle-to-grid-v2g [abgerufen am 20.06.2022]

Volkswagen (2019, 07. November). *Wasserstoff oder Batterie? Bis auf Weiteres ein klarer Fall.* Verfügbar unter https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/08/hydrogen-or-battery--that-is-the-question.html# [abgerufen am 13.06.2022]

Volvo Car Switzlerland (2020). *Von A bis Z Elektrisch*. Verfügbar unter https://www.volvo-cars-partner.ch/blog/2022/01/06/von-a-bis-z-elektrisch/ [abgerufen am 04.12.2021]

Volvo Trucks (o.J.). *Volvo FE Electric – Datenblatt*. Verfügbar unter https://brochures.volvotrucks.com/de/volvo-trucks/alternative-antriebe/volvo-fe-electric-datenblatt/ [abgerufen am 02.12.2021]

Volvo Trucks Deutschland (o.J.). *Häufig gestellte Fragen zu elektrisch angetriebenen Lkw*. Verfügbar unter https://www.volvotrucks.de/de-de/trucks/alternative-antriebe/elektro-lkw/faq.html [abgerufen am 09.12.2021]

Volvo Trucks Deutschland (2022). *Was Sie über die Reichweite eines Elektro-Lkw wissen müssen*. Verfügbar unter https://www.volvotrucks.de/de-de/news/insights/articles/2022/jul/optimierung-der-ladestrategie-bei-elektro-lkw1.html [abgerufen am 14.04.2023]

Volvo Trucks Österreich (2022a). *Volvo Trucks führt den Markt für Elektro-Lkw in Europa an*. Verfügbar unter https://www.volvotrucks.at/de-at/news/press-releases/2022/feb/volvo-trucks-leads-the-electric-truck-market-in-europe.html [abgerufen am 27.02.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Volvo Trucks Österreich (2022b). *Volvo Trucks schwere elektrische Lkw auf dem Prüfstand: Reichte und Energieeffizienz sind hervorragend*. Verfügbar unter https://www.volvotrucks.at/de-at/news/press-releases/2022/jan/Volvo-trucks-schwere-elektrische-Lkw-auf-dem-pruefstand-reichweite-und-energieeffizienz-sind-hervorragend.html [abgerufen am 10.03.2022]

W

Wackernagel, M. Zokai, G., Iha, K. et al. (2015). *The Footprint and Biocapacity. Accounting: Methodology Background for State of the States 2015*. Global Footprint Network (Hg.). Verfügbar unter https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/USATechnicalReport_Final.pdf [abgerufen am 22.07.2022]

Wallner, I. (2021, 16. September). Wasserstoff vs. Elektro: Welcher alternative Antrieb ist der Beste?. *Carwow*. Verfügbar unter https://www.carwow.de/ratgeber/elektroauto/wasserstoff-elektro-oder-synthetischer-kraftstoff-welcher-alternative-antrieb-ist-der-beste#gref [abgerufen am 15.06.2022]

Wallner, I. (2022, 13. Mai). *Elektroauto-Batterie Lebensdauer: Wie lange hält mein E-Auto?. Carwow*. Verfügbar unter https://www.carwow.de/ratgeber/elektroauto/elektroauto-akku-haltbarkeit-wie-lange-haelt-mein-e-auto#gref [abgerufen am 24.02.2023]

Wardana, M. K. A., & Lim, O. (2022). Review of Improving the NOx Conversion Efficiency in Various Diesel Engines fitted with SCR System Technology. *Catalysts 13*(1), 67. S. 1-40. Verfügbar unter doi.org/10.3390/catal13010067

Webfleet Solutions (2020, 28. Februar). *So viel Kraftstoff verbrauchen LKW*. Verfügbar unter https://www.webfleet.com/de_de/webfleet/blog/so-viel-kraftstoff-verbrauchen-lkw/ [abgerufen am 20.05.2022]

Weinzettl (o.J.). *Datenblatt LKW*. Verfügbar unter http://www.weinzettl-transporte.at/index_htm_files/Datenblatt_NK-992EO.pdf [abgerufen am 11.11.2021]

Weize, M. (2006, 16. August). Reversible Einlagerung von Wasserstoff in Feststoffen. *Neue Zürcher Zeitung* (Hg.). Verfügbar unter https://www.nzz.ch/articleEBGXC-ld.77112 [abgerufen am 15.08.2022]

Welzel, C. (2022, 03. September). *Wasserstoff: 3 gute News zur Nel-Aktie, Plug Power-Aktie, für Bosch und die BMW-Aktie*. The Motley-Fool. Verfügbar unter https://www.fool.de/2022/09/03/wasserstoff-3-gute-news-zur-nel-aktie-plug-power-aktie-fuer-bosch-und-die-bmw-aktie/ [abgerufen am 05.09.2022]

Werwitzke, C. (2020, 11. November). Logistik-Experiment: Batteriewechsel für Kolosse. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2020/11/11/logistik-experiment-batteriewechsel-fuer-kolosse/ [abgerufen am 02.01.2022]

Werwitzke, C. (2021, 30. Juni). Mercedes enthüllt Serien-eActros mit 400 km Reichweite. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2021/06/30/mercedes-enthuellt-serien-eactros-mit-400-km-reichweite/ [abgerufen am 02.05.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Werwitzke, C. (2022, 11. Oktober). Quantron gründet US-Tochter mit FCEV-Fokus. *Electrive.net*. Verfügbar unter https://www.electrive.net/2022/10/11/quantron-gruendet-us-tochter-mit-fcev-fokus/ [abgerufen am 05.12.2022]

Wien Energie (o.J.). *Weltweit erster Wasserstoff-Betriebsversuch in Wiener Gasturbine*. Verfügbar unter https://positionen.wienenergie.at/projekte/waerme-kalte/gruenes-kraftwerk-donaustadt/ [abgerufen am 10.08.2022]

Wien Energie (2022). *Erdgas und H2: Bedarf vs. Produktion in der EU*. Verfügbar unter https://positionen.wienenergie.at/grafiken/h2-erdgas-bedarf-eu/ [abgerufen am 12.04.2023]

Wiener Linien (2022). *Wasserstoff-Zukunft beginnt in Leopoldau*. Verfügbar unter https://www.wienerlinien.at/wasserstoff-zukunft-beginnt-in-leopoldau [abgerufen am 16.02.2022]

Wiesener, K., Garche, J., & Schneider, W (1980). *Elektrochemische Stromquellen*. Berlin, Boston: De Gruyter. Verfügbar unter doi.org/10.1515/9783112569368-027

Wiesinger, J. (2021). Abgaswerte, Abgasnormen (Euro Einstufungen). *Kfztech*. Verfügbar unter https://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/abgas/abgaswerte.htm [abgerufen am 08.05.2022]

Wietschel, M., Link, S., Biemann, K. et al. (2022). Research Report. Langfristige Umweltbilanz und Zukunftspotenzial alternativer Antriebstechnologien. *Studien zum deutschen Innovationssystem 2022*(9). S. 4-57. Verfügbar unter http://hdl.handle.net/10419/251363

Wilkens, A. (2021, 15. April). Elektro-Lkw: Hersteller fordern von der EU-Kommission spezielle Ladestationen. *Heise Medien*. Verfügbar unter https://www.heise.de/news/Elektro-Lkw-Hersteller-fordern-von-der-EU-Kommission-spezielle-Ladestationen-6016751.html [abgerufen am 19.12.2021]

WirtschaftsWoche (2022, 28. Jänner). Nutzfahrzeughersteller. Lieferprobleme machen Lkw-Bauer Volvo schwer zu schaffen. *Handelsblatt*. Verfügbar unter https://www.wiwo.de/unternehmen/industrie/nutzfahrzeughersteller-lieferprobleme-machen-lkw-bauer-volvo-schwer-zu-schaffen/28018362.html [abgerufen am 22.05.2022]

Wittenbrink, P. (2011). *Transportkostenmanagement im Straßengüterverkehr: Grundlagen - Optimierungspotenziale - Green Logistic*. Wiesbaden: Gabler Verlag. Verfügbar unter ISBN 978-3-8349-93-3

WKO (o.J.). *Auflistung der Vorschriften in Bezug auf Gewichte für Fahrzeuge*. Verfügbar unter https://www.wko.at/branchen/w/transport-verkehr/transporteure/Gewichtstabelle_2.pdf [abgerufen am 12.11.2021]

WKO (2020a). *Arbeitszeittabelle: Lenkzeiten. Infos zu den Definitionen (Bestimmungen aus der EU VO 561/2006 bzw. dem Kollektivvertrag für das Güterbeförderungsgewerbe)*. Verfügbar unter https://www.wko.at/branchen/transport-verkehr/gueterbefoerderungsgewerbe/arbeitszeittabelle_lenkzeiten.html [abgerufen am 04.11.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

WKO (2020b). *Feststellung der richtigen Euro-Abgasklasse. Arbeitsunterlage für Unternehmen*. Verfügbar unter https://www.wko.at/service/verkehr-betriebsstandort/Abgasklassenzuordnung.html [abgerufen am 16.12.2021]

WKO (2020c). *Kabotage-Regelung im Straßengüterverkehr in Österreich*. Verfügbar unter https://www.wko.at/service/verkehr-betriebsstandort/Kabotage-Regelung-im-Strassengueterverkehr-in-Oesterreich.html [abgerufen am 01.11.2021]

WKO (2021a). *Die österreichische Verkehrswirtschaft. Daten und Fakten 2020*. Verfügbar unter https://www.wko.at/branchen/transport-verkehr/die-oesterreichische-verkehrswirtschaft-2020.pdf [abgerufen am 12.10.2021]

WKO (2021b). *Handbuch für Tankwagenfahrer in Österreich*. Verfügbar unter https://www.wko.at/branchen/industrie/mineraloelindustrie/handbuch-tankwagenfahrer-lpg.pdf [abgerufen am 10.11.2021]

WKO (2021c). *Werkverkehr. Definition und Voraussetzungen für Werkverkehr*. Verfügbar unter https://www.wko.at/service/verkehr-betriebsstandort/Werkverkehr.html [abgerufen am 04.10.2021]

WKO (2022a). *e-Lkw über 3.500 bis 4.250 kg Probleme in verschiedenen Rechtsbereichen*. Verfügbar unter https://www.wko.at/branchen/ooe/handel/fahrzeughandel/e-Lkw-ueber-3500-bis-4250-kg-Probleme_1.pdf [abgerufen am 12.02.2022]

WKO (2022b). *Kraftstoffpreise zum 20. Juni 2022. Wöchentliche Erhebung des FVMI*. Verfügbar unter https://www.wko.at/branchen/industrie/mineraloelindustrie/kraftstoffpreise.html [abgerufen am 20.06.2022]

Wolfram, P., Lutsey, N. (2016). *Electric vehicles: Literature review of technology costs and carbon emissions*. ICC (Hg.). Verfügbar unter https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT_LitRvw_EV-tech-costs_201607.pdf [abgerufen am 21.05.2022]

Wunderlich-Pfeiffer, F. (2019, 19. Juni). Heiße Steine sind effizienter als Brennstoffzellen. *Golem.de*. Verfügbar unter https://www.golem.de/news/energiespeicher-heisse-steine-sind-effizienter-als-brennstoffzellen-1906-142012.html [abgerufen am 03.06.2022]

Y

Your Europe (o.J.). *Beschäftigte im Straßenverkehr*. Verfügbar unter https://europa.eu/youreurope/business/human-resources/transport-sector-workers/road-transportation-workers/index_de.htm [abgerufen am 05.11.2021]

Z

Zacher, M. (2019). *BMS und CSE: So funktioniert die Zellüberwachung*. Generation Strom (Hg.). Verfügbar unter https://generationstrom.com/2019/11/12/bms-und-cse-so-funktioniert-die-zellueberwachung/ [abgerufen am 05.07.2022]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Zhang, M., & Fan, X. (2020). Review on the State of Charge Estimation Methods for Electric Vehicle Battery. *World Electric Vehicle Journal 11*(1), 23. S. 1-17. Verfügbar unter doi.org/10.3390/wevj11010023

Zhang, X., Lin, Z., Crawford, C. et al. (2022). Techno-economic comparison of electrification for heavy-duty trucks in China by 2040. Transportation Research Part D: *Transport and Environment 27*(1). Art. Nr. 103152. S. 1-19. Verfügbar unter doi.org/10.1016/j.trd.2021.103152

Zimmermann, B. (o.J). *Elektromobilität im Schwerlastverkehr. Analyse und Kritik basierend auf Erfahrungen aus Forschung und Praxis*. Hochschule Fulda (Hg.). Verfügbar unter https://www.wirtschaftsverkehre-frm.de/wp-content/uploads/2019/05/07_HS-Fulda.pdf [abgerufen am 08.12.2021]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der methodischen Vorgehensweise der Arbeit 5
Abbildung 2: Österreichische Post elektrifiziert die Lieferflotte (Quelle: Harttmann 2022) 22
Abbildung 3: Anteil des Transportaufkommens in Tonnen 2019 (Quelle: WKO 2021a, S. 37) 22
Abbildung 4: Transportformen im Straßengüterfernverkehr (Quelle: Dabidian & Langkau 2013, S. 146) 25
Abbildung 5: Wasserstoff und E-Antrieb - Die Wirkungsgrade im Vergleich bei Nutzung von Öko-Strom (Quelle: Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Volkswagen 2019) 35
Abbildung 6: Energiedichten von Kraftstoffen (Quelle: Adolf, Balzer, Louis, et al., 2017, S.21) 36
Abbildung 7: Kohlendioxidemissionen im Straßenverkehr (Quelle: Statistisches Bundesamt 2021) 39
Abbildung 8: Anteile der Primärenergieträger am Bruttoinlandsverbrauch in Österreich 2020 (Quelle: Veränderte Darstellung in Anlehnung an BMK 2021, S.12) 43
Abbildung 9: Anteile der Primärenergieerzeugung nach Energieträgern in Österreich 2020 (Quelle: Veränderte Darstellung in Anlehnung an BMK 2021, S.14) 44
Abbildung 10: Entwicklung der Stromerzeugung durch erneuerbare Energieträger in Österreich in den Jahren 2020 und 2030 (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BMK 2021, S.14; Baumann, Dolna- Gruber, Goritschnig, et al., 2021, S. 5) 45
Abbildung 11: Schematische Darstellung einer Brennstoffzelle (Quelle: Ohl, Özdemir, Hartman et al., 2021, S.14) 46
Abbildung 12: Brennstoffzellentypen und zugeordnete Temperaturbereiche (Eigene Darstellung in Anlehnung an Energie-Agentur.NRW o.J.) 47
Abbildung 13:Technische Komponenten eines Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (Quelle: Lof, MacKinnon, Martin et al., 2020, S. 8) 50
Abbildung 14: Prototyp GenH2 Truck (Quelle: Daimler Truck 2022) 51
Abbildung 15: Prototyp Xcient Fuel Cell (Quelle: Hyundai Motor o.J.) 51
Abbildung 16: Technische Komponenten des Wasserstoff-Brennstoffzellen-Lkw mit Hybrid-Technologie anhand einer Konzeptstudie von Scania (Quelle: Scania Deutschland o.J.) 53
Abbildung 17: Technische Komponenten der Akku-Technologie anhand des Mercedes Trucks eActros (Quelle: Werwitzke 2021) 55
Abbildung 18: Hersteller von Zellen der nächsten Generation (Quelle: Bockey & Heimes 2022) 58
Abbildung 19: Rolle der unterschiedlichen Antriebstechnologien und deren Effizienz im Güterverkehr (Quelle: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie 2021, S. 15). 64
Abbildung 20: TCO-Vorteilhaftigkeit von Lkw mit Akku-Technologie bei Binnenfahrten im Jahr 2030 unter Berücksichtigung des Einsatzprofils (Quelle: Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Jöhrens, Allekotte, Heining, et al., 2022, S. 7) 68
Abbildung 21: TCO-Vorteilhaftigkeit von Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie bei Binnenfahrten im Jahr 2030 unter Berücksichtigung des Einsatzprofils und der Wasserstoffpreise (Quelle: Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Jöhrens, Allekotte, Heining, et al., 2022, S.8) 69
Abbildung 22: CO_2-Vermeidungskosten von NFZ >20t hzG mit Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Jahr 2030 in der WTW-Phase (Quelle: Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.20) 71
Abbildung 23: Ökologischer Fußabdruck von Fahrzeugen in den einzelnen Lebenszyklusphasen (Quelle: Eigene Darstellung) 81
Abbildung 24: Wirkungsgradvergleich mit den Energieverlusten der beiden Antriebsoptionen Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (Quelle: Göckeler, Hacker, Mottschall et al., 2020, S. 44) 86
Abbildung 25: Komponenten einer Wasserstofftankstelle mit Vakuumtanks (Quelle: EMCEL GmbH 2022) 90
Abbildung 26: Die Verluste bei Wasserstoff von der Elektrolyse bis zur Anwendung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bossel 2010, S.5; nähere Informationen siehe Anhang, Abschnitt C) 92
Abbildung 27: CO_2-Emissionen (in t) in der Lebenszyklusbetrachtung: Vergleich der Akku- und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für Lkw ab 15t hzG bei einer Nutzungsdauer von 8 Jahren und einer Jahreskilometerleistung von 100.000 km (Eigene Darstellung in Anlehnung an Zhang, Lin, Crawford et al., 2022, S. 10) 94
Abbildung 28: NO_x-Emissionen (in t) in der Lebenszyklusbetrachtung: Vergleich der Akku- und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für Lkw ab 15t hzG bei einer Nutzungsdauer von 8 Jahren und einer Jahreskilometerleistung von 100.000 km (Eigene Darstellung in Anlehnung an Zhang, Lin, Crawford, et al., 2022, S. 11) 94
Abbildung 29: Feinstaubpartikel (in t) in der Lebenszyklusbetrachtung: Vergleich der Akku- und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie für Lkw ab 15t hzG bei einer Nutzungsdauer von 8 Jahren und einer

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Jahreskilometerleistung von 100.000 km (Eigene Darstellung in Anlehnung an Zhang, Lin, Crawford et al. 2022, S. 11) 95
Abbildung 30: Darstellung einer flächendeckenden Möglichkeit zum Betanken der Lkw (Quelle: Hyundai 2020) .. 216
Abbildung 31: Wichtige Rohstofflieferländer für die Mobilitätswende (Quelle: Europäische Kommission o.J.) 216
Abbildung 32: Getroffene Annahmen für die makroökonomische Analyse (Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.21) 218
Abbildung 33: Getroffene Annahmen für die Ermittlung der TCO-Kosten für die makroökonomische Analyse (Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.22) 219
Abbildung 34: Wasserstoffpreise bei Produktion in Deutschland und bei Import (Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S. 43) 219
Abbildung 35: Strompreise für die Wasserstoffelektrolyse und die Nutzung von Fahrzeugen mit Akku-Technologie (Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.42) 220
Abbildung 36: Anschaffungswerte der Lkw unterteilt nach Nutzfahrzeug/Sattelzug und Antriebstechnologie (Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.41) 220
Abbildung 37:Wartungskosten für Nutzfahrzeuge über 20t hzG unterteilt nach Antriebsart (Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.41) 221
Abbildung 38: Kosten der Infrastruktur für Nutzfahrzeuge mit Akku- und Wasserstoffbrennstoffzellen-Technologie (Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.42)..... 221

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energiedichten der beiden Akku-Technologie und der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie im Vergleich (Eigene Darstellung in Anlehnung an Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2021, S.25 & Gebrüder Weiss 2022) 36
Tabelle 2: Brennstoffzellen-Typen mit Relevanz für den Lkw-Betrieb (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ohl, Özdemir, Hartmann et al., 2021, S.14) 49
Tabelle 3: Gegenüberstellung Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie in Bezug auf Anschaffungs-, Wartungs- und Betriebskosten (Quelle: Eigene Expertenbefragung) ... 106
Tabelle 4: Erwartete Vollkosten in € pro tkm im Jahr 2030 und im Jahr 2040 (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 108
Tabelle 5: Beitrag der Technologien zur Netzstabilität (Quelle: Eigene Expertenbefragung).... 111
Tabelle 6:Einsatz grünen Wasserstoffs im Straßengüterverkehr (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 113
Tabelle 7: Eigenversorgungsanteil Österreichs und der EU mit grünem Wasserstoff (Quelle: Eigene Expertenbefragung)) 115
Tabelle 8: Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher (Quelle: Eigene Expertenbefragung)..... 116
Tabelle 9: Verursachung von Luftschadstoffen durch die beiden Technologien (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 117
Tabelle 10: Ökologischer Fußabdruck der beiden Technologien (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 118
Tabelle 11: Sinnhaftigkeit der beiden Technologien in Bezug auf Praxistauglichkeit und Umweltfreundlichkeit (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 119
Tabelle 12: Durchsetzbarkeit der beiden Technologien in Bezug auf Praxistauglichkeit und Umweltfreundlichkeit (Quelle: Eigene Expertenbefragung)..... 120
Tabelle 13: Erwartete technologische Fortschritte bei den beiden Technologien (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 123
Tabelle 14: Vor- und Nachteile der beiden Technologien (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 130
Tabelle 15: Vergleich der Vorteilhaftigkeit der beiden Technologien nach relevanten Kriterien (Quelle: Eigene Expertenbefragung) – Teil 1 133
Tabelle 16: Zukunftsträchtigkeit der Technologien nach Einsatzgebieten (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 135
Tabelle 17: Zeithorizont für Akku- bzw, H_2-Fahrzeuge mit ausreichender Leistungsfähigkeit am Markt (Quelle: Eigene Expertenbefragung)..... 136
Tabelle 18: Zeithorizont für einen geplanten Umstieg auf Akku- bzw. H_2-Lkw (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 137
Tabelle 19: Vergleich Reichweite und Anschaffungskosten bei der Akku-Technologie nach Einsatzgebieten (Quelle: Eigene Expertenbefragung)..... 138
Tabelle 20: Gewünschte Rahmenbedingungen von Seiten der österreichischen Bundesregierung, der EU und den Vertretern der Lkw-Fahrzeugproduzenten (Quelle: Eigene Expertenbefragung) – Teil 1 139
Tabelle 21: Mögliche Hemmschwellen für den Umstieg auf Lkw mit Akku-oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 142
Tabelle 22: Umrüstung herkömmlicher Lkw der Bestandsflotte auf Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 144
Tabelle 23: Mögliche zukünftige Szenarien im Bereich des Straßen/-Güterverkehr (Quelle: Eigene Expertenbefragung) 146
Tabelle 24: Typischer Energiebedarf für Erzeugung, Kompression bzw. Verflüssigung, Transport und Nutzung von Wasserstoff (Quelle: Bossel 2010, S.5) 217
Tabelle 25: Wirkungsgrade entlang der Energiekette auf der Grundlage der Energieverluste aus Anhang C (selbsterstellte Tabelle)..... 217

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abkürzungsverzeichnis

AFC	alkalische Brennstoffzelle
ASM	Asynchronmaschinen
B2B	Business-to-Business
BEV	Akkutechnologie
BGBI	Bundesgesetzblatt
BMF	Bundesministerium für Finanzen
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BMS	Batteriemanagementsystem
CEF	Connecting-Europe-Facility
CNG	Compressed Natural Gas
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO2	Kohlenstoffdioxid
DMFC	Direkt-Methanol-Brennstoffzelle
ElektrizitätsWOG	Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz
et al.	und andere
EWR	Europäische Wirtschaftsraum
FTL	Full Truck Load
GEV	gridable electric vehicles
GewO	Gewerbeordnung
GO	Regierungsorganisation
GüterbefG	Güterbeförderungsgesetz
GVZ	Güterverteilsszentrum
G2V	Grid-to-Vehicle Technologie
GW	Gigawatt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

GWh	Gigawattstunde
HHM	Hyundai Hydrogen Mobility
HFCT	Schwerlast-Lkw mit Brennstoffzellenantrieb
HFCV	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
hz.	höchstzulässig
hzG	höchstzulässiges Gesamtgewicht (in Österreich verwendet)
H_2	Wasserstoff
i.d.F.v.	in der Fassung vom/von
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
IGL	Immissionsschutzgesetz
KEP	Kurier-, Express- und Paketdienste
KFG	Kraftfahrgesetz
KOH	Kaliumhydroxid
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
Lkw	Lastkraftwagen
LCA	Life-Cycle-Assesment
LH2	Flüssigwasserstoff
LNG	Liquefied Natural Gas
LTL	Less than Truck Load
MCFC	Molten Carbonat-Brennstoffzelle
MW	Megawatt
NGO	Nichtregierungsorganisation
NoVAG	Normverbrauchsabgabegesetz
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Nfz	Nutzfahrzeug
NOx	Stickoxid
o.J.	ohne Jahr
PAFC	Phosphor-Brennstoffzelle
PEFC	Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle
PEM	Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle
Pkw	Personenkraftwagen
$PM_{2,5}$	Particulate $Matter_{2,5}$ (50% d. Feinstaubpartikel mit 2,5µm Durchmesser)
PSM	Permanent erregte Synchronmaschinen
PV	Photovoltaik
PwC	PricewaterhouseCoopers
RED	Renewable Energy Directive
RRF	Österreichischer Aufbau- und Resilienzplan
SALD	Spatial Atom Layer Deposition
SOFC	Festelektrolyt-Brennstoffzelle
SOC	State of Charge
SSM	Stromerregte Synchronmaschinen
SZ	Sattelzug
TCO	Total Cost of Ownership
TEN-T	Transeuropäische Transportnetze
tkm	Tonnenkilometer
TTW	Tank-to-Wheel
TWh	Terawattstunde
u.a.	unter anderem
V	Volt
vgl.	vergleiche

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

VO	Verordnung
V2G	Vehicle-to-Grid-Technologie
WTT	Well-to-Tank
WTW	Well-to-Wheel
ZE	Zero Emission
zGG	höchstzulässiges Gesamtgewicht (in Deutschland verwendet)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Anhang

Abschnitt A: Flächendeckende Möglichkeit zum Betanken von HFCV-Fahrzeugen



Abbildung 30: Darstellung einer flächendeckenden Möglichkeit zum Betanken der Lkw (Quelle: Hyundai 2020)

Abschnitt B: Wichtige Rohstofflieferländer für die Mobilitätswende

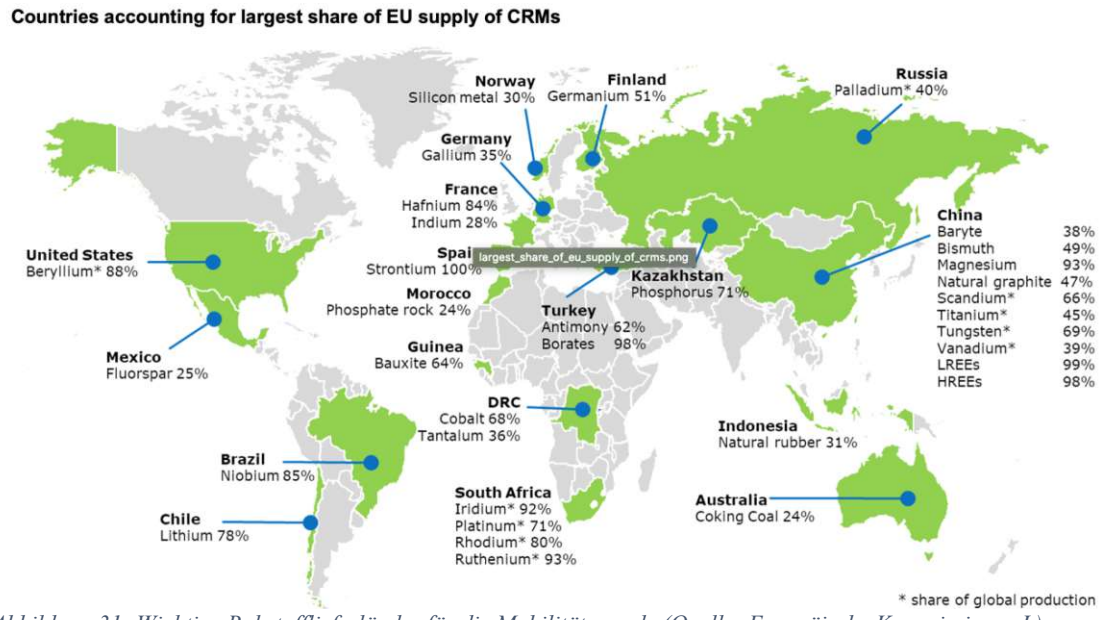


Abbildung 31: Wichtige Rohstofflieferländer für die Mobilitätswende (Quelle: Europäische Kommission o.J.)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abschnitt C: Energiebedarf von der Elektrolyse bis zur Brennstoffzelle

Tabelle 24: Typischer Energiebedarf für Erzeugung, Kompression bzw. Verflüssigung, Transport und Nutzung von Wasserstoff (Quelle: Bossel 2010, S.5)

Verfahrensschritte	**Technische Angaben**	**Energieverluste** (MJ/kg H2)	**Verluste** (% des Ho von H_2)
Elektrolyse	1,76 Volt, 1 atm	61	43 %
Kompression	1 bar – 200 bar	10	7 %
	1 bar – 400 bar	13	9 %
	1 bar – 800 bar	17	12 %
Verflüssigung	100 kg/h	65	46 %
	1.000 kg/h	45	32 %
	10.000 kg/h	35	28 %
Strassentransport	200 bar, 200 km	18	13 %
	200 bar, 400 km	36	25 %
	flüssig, 200 km	3	2 %
Pipeline	10 bar, 1.000 km	12	8 %
H_2-Elektrolyse an Tankstelle	entspricht 60.000 Liter Benzin pro Tag	80*	56 %
Betanken	100 bar – 400 bar	5	4 %
Brennstoffzelle	Verstromung	142**	50 %

* einschl. Wasseraufbereitung, Kompression, Gebäudeenergiebedarf usw.
** der Brennwert (Ho) von Wasserstoff beträgt 142 MJ/kg

Abschnitt D: Wirkungsgrade entlang der Energiekette – Eine Beispielsrechnung

Beispielsrechnung: zentrale Elektrolyse, Verflüssigung von 1.000kg/h, Transport über die Straße über eine Distanz von 400 km bei 200bar Druck vs. Elektrolyse direkt bei der Tankstelle Die Prozentsätze der Verluste beziehen sich auf die letzte Spalte von Tabelle 3 (siehe *Anhang, Abschnitt C*).

Tabelle 25: Wirkungsgrade entlang der Energiekette auf der Grundlage der Energieverluste aus Anhang C (selbsterstellte Tabelle)

Stufen der Energiekette	**Rest vom Ausgangswert an Energie (100%) nach Durchführung des jeweiligen Schrittes** *(Verluste siehe Tabelle 3, letzte Spalte)*
Elektrolyse zentral	100% - 43%= 57%
Verflüssigung 1.000kg/h	68% von 57% = 38,8%
Straßentransport 200bar, 400km	75% von 38,8%=**28,5%**
Vergleich Elektrolyse dezentral (Tankstelle)	100% - 56%= **44%**
Betanken bei zentraler Elektrolyse	96% von **28,5%** = 26,9%
Betanken bei dezentraler Elektrolyse	96% von **44%** = 42,2%
Verstromung in der Brennstoffzelle bei zentraler Elektrolyse	50% von 26,9% = **13,5%**
Verstromung in der Brennstoffzelle bei dezentraler Elektrolyse	50% von 42,2% = **21,1%**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abschnitt E: Parameter zur mikroökonomischen TCO-Analyse alternativer Antriebstechnologien (ifeu)

Bei dem Vergleich werden staatliche Förderungen wie Kaufprämien oder Begünstigungen bei der Maut genauso wenig miteinberechnet wie Kosten für die inner-/außerbetriebliche Tank- bzw. Ladeinfrastruktur (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2022, S.7). Bei den Fahrzeugeinsatzprofilen, die auf der Verflechtungsmatrix für 2030 des BVU beruhen (vgl. Schubert, Kluth, Nebauer et al., 2014, S. 8) wird sowohl die Unterscheidung zwischen Überland- und innerstädtischem Verkehr als auch zwischen Kurz- und Langstreckenfahrten vorgenommen (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2022, S. 9 & 22f.). Kalkuliert wird mit Strom aus erneuerbaren Quellen (Annahme: Kosten pro kWh 0,166 €). Bei den Kosten für Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge wird alternativ mit Wasserstoff, der in Deutschland produziert (Annahme: Kosten pro kg 9,45 €),) wurde und solchem, der kostengünstiger aus dem Ausland bezogen wird (Annahme: Kosten pro kg 4,57 €), gerechnet (vgl. Jöhrens, Allekotte, Heining et al., 2022, S.32).

Abschnitt F: Parameter zur makroökonomischen VMK-Analyse der NPM[130]

Die folgenden **Parameter** gelten als **Grundlage für** jene **Berechnungen**, die der Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Lkw mit Akku-Technologie bzw. mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie aus volkswirtschaftlicher Sicht zugrunde liegen.

Zentrale konstante Parameter der Berechnung

Jahresfahrleistung: Gliederzug: 100.000 km/a, Sattelzug (SZ): 114.000 km/a

Lebensdauer Fahrzeuge:

Gliederzug: 10 Jahre, Sattelzug: 6 Jahre

Lebensdauer Infrastruktur:

Ladestation: 20 Jahre, Oberleitung: 20 Jahre, Elektrolyseur: 10 Jahre, Tankstellen: 20 Jahre

Versicherungskosten: 1,5 % der Fahrzeugpreise

Anteil Bezug von öffentlichen Schnellladestrom bei BEV: Gliederzug: 20 %, Sattelzug: 30 %

Abbildung 32: Getroffene Annahmen für die makroökonomische Analyse (Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.21)

[130] Die Prognose der Preise stammt aus den Jahren 2019/2020. Der massive Anstieg der Energiepreise und damit des allgemeinen Preisniveaus in Folge der Ukraine Krise war zu diesem Zeitpunkt noch nicht absehbar.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

In den **Vollkosten** der makroökonomischen Analyse sind folgende **Kostenfaktoren** enthalten:

Parameter für die Ermittlung der Vollkosten im Rahmen der Vermeidungskosten

- Annuität Anschaffungspreis (Fahrzeugpreis mit Zuschuss und mit Sonder-Abschreibung (Sonder-Afa)[13])
- Versicherungskosten
- Kraftfahrzeug (Kfz)-Steuer
- Energiekosten (mit EEG-Umlage)
- Energiesteuer und Stromsteuer
- AdBlue® (für Diesel und anteilig für OH-Lkw)
- Wartungs- und Reparaturkosten
- Kosten für Ausfalltage
- Mautkosten

Abbildung 33: Getroffene Annahmen für die Ermittlung der TCO-Kosten für die makroökonomische Analyse (Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.22)

Bei den **Kosten von Wasserstoff** für das Jahr 2030 wird mit dem Referenzpreis ohne Stromsteuer (unter Annahme der Wasserstoffelektrolyse im Inland) bzw. mit dem Preis für importierten Wasserstoff (unter Annahme eines günstigeren Imports von Wasserstoff in ausreichend großen Mengen) kalkuliert.

WASSERSTOFFPREIS IN DER REFERENZ UND SENSITIVITÄT

€2020/kg H2	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Referenz inkl. Stromsteuer (TCO)	10,6	10,3	10,0	10,7	10,5	10,3	10,0	9,6	9,3	9,0	8,7
Referenz ohne Stromsteuer (VMK)	9,9	9,6	9,3	10,0	9,9	9,6	9,3	8,9	8,7	8,4	8,1
Import (TCO Sensitivität)	4,44	4,46	4,46	4,48	4,49	4,50	4,51	4,52	4,54	4,56	4,57

Abbildung 34: Wasserstoffpreise bei Produktion in Deutschland und bei Import (Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S. 43)

Basis für den **Strompreis** für die Wasserstoffelektrolyse und den Antrieb von Lkw mit Akku-Technologie ist der Strompreis ohne Umsatzsteuer.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

STROMPREISE FÜR DIREKTE STROMNUTZUNG UND ELEKTROLYSE IN DER REFERENZ – ENTNAHME HOCHSPANNUNG

€2020/kWh	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Beschaffung	4,0	4,1	4,2	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,2	5,4
Netzentgelt und Umlagen	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
EEG-Umlage	6,8	6,4	5,8	7,6	7,4	7,1	6,7	6,1	5,7	5,3	4,7
Stromsteuer	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
Strompreis (ohne Umsatzsteuer (USt.))	14,3	14,0	13,6	15,4	15,3	15,1	14,9	14,3	14,0	13,8	13,3
Aufschlag bei Nutzung Mittelspannung	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5

Abbildung 35: Strompreise für die Wasserstoffelektrolyse und die Nutzung von Fahrzeugen mit Akku-Technologie (Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.42)

Für die Ermittlung der **anschaffungswertbezogenen Kosten** (kalkulatorische Abschreibung) werden die Werte für das Jahr 2030 verwendet. Dabei werden nur Nutzfahrzeuge über 20t hzG berücksichtigt und diese nach der vorherrschenden Antriebstechnologie (Diesel, Akku-Technologie und Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie) unterteilt.

FAHRZEUGPREISE für die Vermeidungskosten in der Referenz

	€/ Fzg.	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Diesel	Nfz > 20t hzG	90.000	90.210	90.420	90.630	90.840	91.050	91.260	91.470	91.680	91.890	92.100
BEV-Lkw	Nfz > 20t hzG	540.000	450.000	360.000	270.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000
H2-BZ-Lkw	Nfz > 20t hzG	660.000	597.143	534.286	471.429	408.571	345.714	282.857	220.000	220.000	220.000	220.000

Abbildung 36: Anschaffungswerte der Lkw unterteilt nach Nutzfahrzeug/Sattelzug und Antriebstechnologie (Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.41)

Bei den Wartungskosten werden die Werte für das Jahr 2030 für Nutzfahrzeuge über 20t hzG für die Antriebsarten Dieselmotor, Elektro und Wasserstoff wie folgt herangezogen:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

WARTUNSKOSTEN FÜR DIE VERMEIDUNGSKOSTEN

	€/ Fzg.	2022	2030
Diesel-Lkw	Nfz > 20t hzG (< 40 t)	10.500	10.900
BEV-Lkw	Nfz > 20t hzG (< 40 t)	8.500	8.200
H2-BZ-Lkw	Nfz > 20t hzG (< 40 t)	8.700	8.300

Abbildung 37:Wartungskosten für Nutzfahrzeuge über 20t hzG unterteilt nach Antriebsart (Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.41)

Die Infrastrukturkosten setzen sich aus den Kosten für die Errichtung der für einen sinnvollen Betrieb der Fahrzeuge erforderlichen Ladestationen sowie für H2-Tankstellen zusammen und werden in folgender Höhe berücksichtigt:

INFRASTRUKTURKOSTEN FÜR DIE INVESTITIONEN DER VERMEIDUNGSKOSTEN

Infra-struktur	Typ	Einheit	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Lade-station	50 kW	€2020/Lade-säule	42.300	41.900	41.500	41.100	40.700	40.300	39.900	39.500	39.100	38.700	38.300
	150 kW	€2020/Lade-säule	80.000	79.100	78.200	77.300	76.400	75.400	74.500	73.600	72.700	71.800	70.800
	350 kW	€2020/Lade-säule	225.000	223.000	220.000	215.000	210.000	205.000	200.000	195.000	190.000	185.000	180.000
	750 kW	€2020/Lade-säule	420.000	408.000	396.000	384.000	372.000	360.000	348.000	336.000	324.000	312.000	300.000
H_2-Tank-stelle		Mio. €2020/ Tankstelle	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26

Abbildung 38: Kosten der Infrastruktur für Nutzfahrzeuge mit Akku- und Wasserstoffbrennstoffzellen-Technologie (Modifizierte Darstellung in Anlehnung an Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2020, S.42)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

1. Fragebogen: Organisationen aus dem Umfeld der zuständigen österreichischen Bundesministerien

Diplomarbeit an der Fakultät für Architektur und Raumplanung; Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

„Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr – Ein Vergleich in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit"

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu den Themenbereichen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und Akku-Technologie, die in Zukunft den Straßengüterverkehr bestimmen sollen, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Bitte beantworten Sie die Fragen, indem Sie bei Ankreuzbeispielen ein „X" neben den zutreffenden Kreis setzen. Für die Beantwortung offener Fragen ist jeweils im Anschluss an die Frage Platz. Sie können den Fragebogen entweder ausdrucken und händisch ausfüllen oder Sie beantworten die Fragen direkt in dieser Datei und mailen ihn anschließend zurück.
Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung.

LADEINFRASTRUKTUR – AUFBAU UND NUTZUNG

1) *Sehen Sie die (Nicht)**Verfügbarkeit** einer ausreichenden Zahl von Ladesäulen für Akku-Lkw bzw. **Wasserstofftankstellen** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie entlang der Routen als große **Hürde beim Umstieg** an?*

JA	NEIN
O	O

2) *Ist das **Budget**, das bis **2030** von **öffentlicher Seite** (inkl. jenem der ASFINAG) für den **Ausbau** der **Infrastruktur** (**Schnellladesäulen** und **Wasserstofftankstellen**) in Österreich entlang des **höherrangigen Straßennetzes** (Autobahnen, Schnellstraßen und Landesstraßen Kategorie B) zur Verfügung steht, Ihres Wissens nach **ausreichend**?*

JA	NEIN, sollte erhöht werden
O	O

3) *Ist **die Ladeinfrastruktur** in den folgenden Regionen Ihrer Ansicht nach bereits **gut ausgebaut**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie
Österreichische Autobahnen/Schnellstraßen	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Österreichische **Freilandstraßen**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O
Städte in Österreich	JA O NEIN O	JA O NEIN O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Deutschland	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Restliche **EU-Länder**	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Länder **außerhalb** der **EU**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O

4) Das **Zwischenladen** in den **Lenkpausen** setzt voraus, dass auf den **Rastplätzen** Ladesäulen frei sind. *Glauben Sie, dass die **Infrastruktur ausreicht,** oder denken Sie, dass der Fahrer zusätzliche Pausen machen müsste*?

	JA	**NEIN**
Ladeinfrastruktur reicht für Laden während Ruhepause	O	O
Fahrer müsste **zusätzliche Pausen** machen	O	O

5) *Erachten Sie die bisherigen **Einigungen**/Beschlüsse/Richtlinien der **EU** hinsichtlich des **Infrastrukturausbaus** (bis 2026 im **TEN-T-Kernnetz** alle 60 km eine **Schnellladesäule**, alle 100 km eine **Wasserstofftankstelle**) für **ausreichend***, wenn man bedenkt, dass aufgrund der geringeren Reichweite bei Lkw mit Akku-Technologie mit häufigeren Tankstopps zu rechnen ist und der Ladevorgang selbst im Vergleich zu Verbrennern länger dauert?

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „nein“:
*Welche **Dichte** an **Schnellladesäulen/Wasserstofftankstellen** wäre Ihrer Ansicht nach **sinnvoll**?*

Antwort:

6) *Ist es Ihrer Ansicht nach wahrscheinlich, dass die **Mitgliedsstaaten** den vom Europäischen Parlament vorgegebenen **Zeitplan** für den **Infrastrukturausbau** entlang der **TEN-T-Kernnetze einhalten** werden?*

JA	**NEIN**
O	O

7) *Soll es Ihrer Ansicht nach **Sanktionen** geben, falls ein **Mitgliedstaat** beim Ausbau der **Infrastruktur säumig** wird?*

JA	**NEIN**
O	O

8) ***Inwieweit** stimmen Sie den **folgenden Aussagen** zu?*

	JA	**NEIN**
Das **aktuell verfügbare Netz an Schnellladesäulen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut**, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Das **aktuell verfügbare Netz an Wasserstofftankstellen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut,** um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Schnellladesäulen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Wasserstofftankstellen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

ANSCHAFFUNGS- UND BETRIEBSKOSTEN

1) *Wo werden sich die **Anschaffungskosten** für **Lkw** bis zum Jahr **2030** hinbewegen? Rechnen Sie mit fallenden oder steigenden Preisen?*

	Steigende Preise	**Fallende Preise**
Lkw mit **Akku-Technologie**	O	O
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	O	O

2) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Betriebskosten pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Betriebskosten **2: mittlere** Betriebskosten **3:** die **niedrigsten** Betriebskosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

3) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Vollkosten (TCO) pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Vollkosten **2: mittlere** Vollkosten **3:** die **niedrigsten** Vollkosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

FÖRDERUNGEN

1) Das deutsche Bundesland NRW unterstützt **Beschaffungsinitiativen**, bei welchen sich Firmen aus dem Transportgewerbe zusammenschließen und gemeinsam **Rahmenverträge mit Lkw-Produzenten (Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie)** abschließen, um durch ein **höheres Bestellvolumen** die **Anschaffungskosten für das einzelne Unternehmen** zu **senken.** *Halten Sie solche Beschaffungsinitiativen für* ***sinnvoll?***

JA O	**NEIN** O

2) *Sollten solche Beschaffungsinitiativen Ihrer Ansicht nach* ***auch in Österreich*** *von* ***staatlicher Seite unterstützt*** *werden?*

JA O	**NEIN** O

3) *Sind Ihres Wissens nach von Seiten der* ***EU Förderungen*** *für den* ***Ausbau der Infrastruktur*** *in den Mitgliedstaaten angedacht?*

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „ja“:
Halten Sie diese für ***ausreichend?***

JA	**NEIN**
O	O

4) *Sind Ihres Wissens nach die aktuell für österreichische Frächter/Spediteure/Unternehmen mit eigenem Fuhrpark zur Verfügung stehenden* ***staatlichen Förderungen*** *für den* ***Aufbau*** *einer eigenen* ***Ladeinfrastruktur ausreichend****?*

JA	**NEIN**
O	O

5) *Sind Ihres Wissens nach die aktuell für österreichische Frächter/Spediteure/Unternehmen mit eigenem Fuhrpark zur Verfügung stehenden* ***staatlichen Förderungen*** *für die* ***Anschaffung*** *von* ***Lkw mit alternativem Antrieb*** *(Brennstoffzellen- und Akkutechnologie) ausreichend?*

JA	**NEIN**
O	O

Falls die Fördermittel erhöht werden sollen:
Ist eine ***solche Erhöhung*** *Ihres* ***Wissens geplant****?*

	JA	**NEIN**
Förderungen Aufbau eigener **Infrastruktur**	O	O
Förderung Anschaffungskosten	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

NETZSTABILITÄT

1) ***Liefern die*** *beiden* ***Technologien*** *Ihrer Ansicht nach einen Beitrag zum* ***Ausgleich von Schwankungen*** *bei der* ***Stromproduktion*** *und somit zur* ***Netzstabilität****?*

	Akku-Technologie **JA NEIN**	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** **JA NEIN**
Abnahme von **Strom aus Überproduktion** für **Wasserstoffelektrolyse/ Laden** von Lkw-**Akkus**	O O	O O
Produktion von **Strom aus Wasserstoff** bzw. **Einspeisung** von **Strom aus Akkus ins Netz** (bidirektionales Laden)	O O	O O

2) Sollte es in Zukunft in **Europa** kurzfristig zu einem **Strommangel** kommen, könnte Strom aus Wasserstoff produziert bzw. mit Hilfe von V2G in das Netz eingespeist werden. Im Falle einer Überproduktion von Strom, die zu einer Überlastung der Netze führen würde, könnte hingegen überschüssiger Strom automatisch für die Elektrolyse von Wasserstoff bzw. das Laden von Lkw-Akkus verwendet werden. *Sind die beiden* ***Technologien*** *Ihrer Ansicht nach dazu* ***geeignet****, einen* ***Beitrag zum Ausgleich von Schwankungen*** *bei der Stromproduktion und somit zur Stabilität der nationalen und europäischen Stromnetze* ***zu leisten****?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
JA O **NEIN** O	**JA** O **NEIN** O

ENERGIEVERSORGUNGSSICHERHEIT - STRATEGIEN ZUR SICHERSTELLUNG DER VERSORGUNG MIT GRÜNEM STROM UND WASSERSTOFF

1) *Inwieweit glauben Sie, dass Österreich in der Lage sein wird, bis zum Jahr 2040 neben der Industrie und der Luft-/Schifffahrt auch* ***ausreichende Mengen*** *an* ***grünem Wasserstoff*** *für den* ***Straßengüterverkehr*** *zur Verfügung zu haben?*

	JA	**NEIN**
Es wird **nicht genügend grünen Wasserstoff** geben, um auch den **Straßengüterverkehr versorgen zu können**	O	O

2) *Wie hoch wird der* ***Eigenversorgungsanteil*** *Österreichs/EU-weit mit* ***grünem Wasserstoff*** *für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher bis 2030/40 Ihrer Ansicht nach voraussichtlich sein?*

Eigenversorgungsanteil	Im Jahr **2030**	Im Jahr **2040**
EU-weit	%	%

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

In **Österreich**	%	%

3) *Wie hoch wird in Österreich/ EU-weit der **Anteil an Strom aus erneuerbarer Energie** für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher bis 2030/40 Ihrer Ansicht nach voraussichtlich sein?*

Anteil	Im Jahr **2030**	Im Jahr **2040**
EU-weit	%	%
In **Österreich**	%	%

4) **Grüner Wasserstoff** kann aus Regionen außerhalb der EU **importiert** werden, **grüner Strom** hingegen nicht. *Sehen Sie darin einen **Vorteil für** die **Versorgung mit Wasserstoff** und damit für einen Umstieg auf **LKW** mit **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**?*

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „nein“:
***Warum** sehen Sie **keinen Vorteil** in der **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie** für Lkw?*

Antwort:

UMWELTASPEKTE

1) ***Welche** der beiden **Technologien** führt Ihrer Ansicht nach über den gesamten **Lebenszyklus** zu **weniger Luftschadstoffen**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

2) ***Welche** der beiden **Technologien** hat Ihrer Ansicht nach über die **gesamte Lebensdauer** den **niedrigeren ökologischen Fußabdruck**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

TECHNOLOGISCHE ASPEKTE – PRAKTIKABILITÄT DER TECHNOLOGIEN

1) *Welche **Technologie** wird sich Ihrer Ansicht nach bei LKW eher **durchsetzen**? Die **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** oder die **Akku-Technologie**?*

Akku-Technologie	O
Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2) *Welche **Technologie** wäre Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** die **sinnvollere?***

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

3) *Welche der beiden **Technologien** wird sich Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit durchsetzen**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

RAHMENBEDINGUNGEN VON SEITEN DER EU UND DER Ö. BUNDESREGIERUNG

1) *Halten Sie die derzeitige **Doppelstrategie der EU** – Investitionen sowohl in den **Ausbau** der **Wasserstoffinfrastruktur** als auch in **Schnellladesäulen** – für den **Güterstraßenverkehr** für sinnvoll oder glauben Sie, die EU-Staaten sollten sich auf eine der beiden Technologien konzentrieren?*

Doppelstrategie sinnvoll	**Konzentration auf eine der beiden Technologien sinnvoll**
O	O

Wenn Doppelstrategie sinnvoll:
*Worin liegt Ihrer Ansicht nach der **Vorteil der Technologieoffenheit** (Akku/Wasserstoff) zu diesem Zeitpunkt?*

Antwort:

Wenn** Konzentration der Investitionen **auf eine Technologie:
***Welche** sollte das sein?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
O	O

2) *Was wird von Seiten des Bundeskanzleramtes **unternommen**, um den **Güterverkehr auf Fahrzeuge** mit **alternativem Antrieb umzustellen**?*

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

UMSTIEG AUF NEUE TECHNOLOGIE(N)

1) *Worin liegen Ihrer Ansicht nach die **Vor-** und **Nachteile** der **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** bzw. der **Akku-Technologie**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Vorteile		
Nachteile		

2) ***Bei welchen** der folgenden **Kriterien** sehen Sie **welche Technologie** zukünftig im Vorteil?*

	Lkw mit Akku-Technologie	**Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Gewicht	O	O
Tankzeit	O	O
Reichweite	O	O
Betriebskosten	O	O
Anschaffungskosten	O	O
Ausbau der Lade-/Tankinfrastruktur	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Verzicht auf seltene/kritische **Rohstoffe**	O	O

3) *Bei welcher **Technologie** erwarten Sie in den kommenden Jahren massive **technologische Fortschritte** hinsichtlich folgender Aspekte?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Reichweite	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Ökologischer Fußabdruck **Verzicht auf seltene/kritische Rohstoffe**	O	O O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4) ***Welche Technologie*** *erachten Sie bei welchem* ***Einsatzgebiet*** *für* ***zukunftsträchtiger?***

	Akku-Technologie	**Brennstoffzellen-Technologie**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

5) ***Ab wann werden Österreichs Frächter/Spediteure/Unternehmen mit großem Fuhrpark*** *Ihrer Ansicht nach* ***bei der Neuanschaffung*** *von Lkw auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb (Akku- bzw. Brennstoffzellen-Wasserstoff-Technologie)* ***umsteigen?***

Im kommenden Jahr	**Bis 2025**	**Bis 2030**	**Derzeit noch gar nicht geplant**
O	O	O	O

6) ***Worauf*** *wird der überwiegende Teil von Österreichs Frächtern/Spediteuren/ Unternehmen mit großem Fuhrpark Ihrer Ansicht nach voraussichtlich* ***umsteigen?***

Lkw mit Akku-Technologie	**Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**
O	O

7) *Werden sich Ihrer Ansicht nach eher Lkw* ***mit leistungsstärkerem Akku*** *und somit* ***größerer Reichweite****, aber* ***höheren Anschaffungskosten*** *oder Lkw mit* ***geringerer Reichweite*** *und* ***niedrigeren Anschaffungskosten durchsetzen****?*

	Höhere Reichweite/höhere Anschaffungskosten	**Geringere Reichweite/niedrigere Anschaffungskosten**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

8) *Welche* ***Voraussetzungen*** *müssen Ihrer Ansicht nach* ***vor einem Umstieg auf Lkw mit Akku-*** *bzw.* ***Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie*** *gegeben sein?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Von Seiten der Bundesregierung		
Von Seiten der EU		
Sonstiges:		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

BATTERIE-VO

1) Das **Europäische Parlament** hat am 10. März 2022 seine **Verhandlungsposition** zur **Batterie-VO**[131], die auch die **verpflichtende Möglichkeit des Austauschs von Akkus/Batterien vorsieht**, festgelegt und am 9. Dezember 2022 eine Einigung mit dem Europäischen Rat hinsichtlich einer Überarbeitung des VO-Textes erzielt. Derzeit wird der Text mit den Mitgliedstaaten verhandelt. *Welche der folgenden **Verpflichtungen soll die Batterie-VO** bezüglich Akkus von E-Lkw (Lkw mit Akku-Technologie) Ihrer nach Ansicht **enthalten:***

	JA	**NEIN**
Lkw-Produzenten müssen die **Akkus** so verbauen, dass sie **in einer Werkstatt** (nicht nur in Vertragswerkstätten) **relativ einfach ausgebaut werden können**	O	O
Lkw-Produzenten müssen **Tausch-Akkus** für Lkw **auch außerhalb eines Garantie-/Gewährleistungsfalles anbieten**, um die Nutzungsdauer des Fahrzeuges zu verlängern	O	O
Lkw-Produzenten müssen den **Einbau von Tausch-Akkus anderer Hersteller** (im Nachbau) **erlauben** und auch **ermöglichen**	O	O

SONSTIGE ASPEKTE

1) **Rohstoffe** wie **Kobalt** und **Lithium**, die derzeit für die Produktion von Akkus benötigt werden, werden knapp. *Kann dies Ihrer Ansicht nach die **Umstellung des Straßengüterverkehrs** auf **Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotoren** gefährden?*

JA	**NEIN**
O	O

2) *Inwieweit stimmen Sie folgenden **Aussagen für die Zukunft** zu?*

	JA	**NEIN**
Der **Güterverkehr** wird sich stärker **auf** die **Schiene** verlagern.	O	O
Der **Straßengüterverkehr** wird **abnehmen.**	O	O
Im **Straßengüterverkehr** wird mit **höheren Kosten** zu rechnen sein.	O	O

[131] *Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Diplomarbeit an der Fakultät für Architektur und Raumplanung; Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

*„**Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr – Ein Vergleich in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit**“*

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu den Themenbereichen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und Akku-Technologie, die in Zukunft den Straßengüterverkehr bestimmen sollen, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Bitte beantworten Sie die Fragen, indem Sie bei Ankreuzbeispielen ein „X“ neben den zutreffenden Kreis setzen. Für die Beantwortung offener Fragen ist jeweils im Anschluss an die Frage Platz. Sie können den Fragebogen entweder ausdrucken und händisch ausfüllen oder Sie beantworten die Fragen direkt in dieser Datei und mailen ihn anschließend zurück.
Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung.

Der Begriff „Lkw“ bezieht sich auf solche, die in der bzw. für die Land- und Forstwirtschaft eingesetzt werden.

LADEINFRASTRUKTUR – AUFBAU UND NUTZUNG

1) *Sehen Sie die (Nicht)**Verfügbarkeit** einer ausreichenden Zahl von Ladesäulen für Akku-Lkw bzw. **Wasserstofftankstellen** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie entlang der Routen als große **Hürde beim Umstieg** an?*

JA	**NEIN**
O	O

2) *Ist die **Ladeinfrastruktur** in den folgenden Regionen Ihrer Ansicht nach bereits **gut ausgebaut**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**
Österreichische Autobahnen/Schnellstraßen	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Österreichische **Freilandstraßen**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O
Städte in Österreich	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Dörfer in Österreich	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Deutschland	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Restliche **EU-Länder**	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Länder **außerhalb** der **EU**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3) *Erachten Sie die bisherigen **Einigungen**/Beschlüsse/Richtlinien der **EU** hinsichtlich des **Infrastrukturausbaus** (bis 2026 im **TEN-T-Kernnetz** alle 60 km eine **Schnellladesäule**, alle 100 km eine **Wasserstofftankstelle**) für **ausreichend***, wenn man bedenkt, dass aufgrund der geringeren Reichweite bei Lkw mit Akku-Technologie mit häufigeren Tankstopps zu rechnen ist und der Ladevorgang selbst im Vergleich zu Verbrennern länger dauert?

JA	NEIN
O	O

Wenn „nein“:
*Welche **Dichte** an **Schnellladesäulen/Wasserstofftankstellen** wäre Ihrer Ansicht nach **sinnvoll**?*

Antwort:

4) *Ist es Ihrer Ansicht nach wahrscheinlich, dass die **Mitgliedsstaaten** den vom Europäischen Parlament vorgegebenen **Zeitplan** für den **Infrastrukturausbau** entlang der **TEN-T-Kernnetze einhalten** werden?*

JA	NEIN
O	O

5) *Inwieweit stimmen Sie den **folgenden Aussagen zu**?*

	JA	NEIN
Das **aktuell verfügbare Netz an Schnellladesäulen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut**, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das **aktuell verfügbare Netz an Wasserstofftankstellen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut,** um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Schnellladesäulen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Wasserstofftankstellen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

ANSCHAFFUNGS- UND BETRIEBSKOSTEN

1) *Wo werden sich die **Anschaffungskosten** für **Lkw** bis zum Jahr **2030** hinbewegen? Rechnen Sie mit fallenden oder steigenden Preisen?*

	Steigende Preise	Fallende Preise
Lkw mit **Akku-Technologie**	O	O
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Betriebskosten pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Betriebskosten **2: mittlere** Betriebskosten **3:** die **niedrigsten** Betriebskosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

3) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Vollkosten (TCO) pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Vollkosten **2: mittlere** Vollkosten **3:** die **niedrigsten** Vollkosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

FÖRDERUNGEN

1) *Sind die aktuell für österreichische Land- und Forstwirte mit eigenem Fuhrpark zur Verfügung stehenden **staatlichen Förderungen** für die **Anschaffung von Lkw mit alternativem Antrieb** (Akku-Technologie oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie) bzw. für den **Aufbau einer eigenen Ladeinfrastruktur ausreichend**?*

JA	**NEIN**
O	O

Falls die Fördermittel erhöht werden sollen:
*Ist eine **solche Erhöhung** Ihres **Wissens geplant**?*

JA	**NEIN**
O	O

NETZSTABILITÄT

1) Sollte es in Zukunft in **Europa** kurzfristig zu einem **Strommangel** kommen, könnte Strom aus Wasserstoff produziert bzw. mit Hilfe von V2G in das Netz eingespeist werden. Im Falle einer Überproduktion von Strom, die zu einer Überlastung der Netze führen würde, könnte hingegen überschüssiger Strom automatisch für die Elektrolyse von Wasserstoff bzw. das Laden von Lkw-Akkus verwendet werden. *Sind die beiden **Technologien** Ihrer Ansicht nach dazu **geeignet**, einen **Beitrag zum Ausgleich von Schwankungen** bei der Stromproduktion und somit zur Stabilität des Stromnetzes **zu leisten**?*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
JA O **NEIN** O	**JA** O **NEIN** O

ENERGIEVERSORGUNGSSICHERHEIT - STRATEGIEN ZUM AUSBAU VON GRÜNEM STROM UND WASSERSTOFF

1) *Wie hoch wird der **Eigenversorgungsanteil** Österreichs/ EU-weit mit **grünem Wasserstoff** für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher bis 2030/40 Ihrer Ansicht nach voraussichtlich sein?*

Eigenversorgungsanteil	Im Jahr **2030**	Im Jahr **2040**
EU-weit	%	%
In **Österreich**	%	%

2) *Wie hoch wird in Österreich/ EU-weit der **Anteil an Strom aus erneuerbarer Energie** für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher bis 2030/40 Ihrer Ansicht nach voraussichtlich sein?*

Anteil	Im Jahr **2030**	Im Jahr **2040**
EU-weit	%	%
In **Österreich**	%	%

3) **Grüner Wasserstoff** kann aus Regionen außerhalb der EU **importiert** werden, **grüner Strom** hingegen nicht. *Sehen Sie darin einen **Vorteil für** die **Versorgung mit Wasserstoff** und damit für einen Umstieg auf **LKW** mit **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**?*

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „nein“:
***Warum** sehen Sie **keinen Vorteil** in der **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie** für Lkw?*

Antwort:

UMWELTASPEKTE

1) ***Welche** der beiden **Technologien** führt Ihrer Ansicht nach über den gesamten **Lebenszyklus** zu **weniger Luftschadstoffen**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2) ***Welch**e der beiden **Technologien** hat Ihrer Ansicht nach über die gesamte Lebensdauer den **niedrigeren ökologischen Fußabdruc**k?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

TECHNOLOGISCHE ASPEKTE – PRAKTIKABILITÄT DER TECHNOLOGIEN

1) *Welche **Technologie** wird sich Ihrer Ansicht nach bei LKW eher **durchsetzen**? Die **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** oder die **Akku-Technologie**?*

Akku-Technologie	O
Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie	O

2) ***Welche Technologie** wäre Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** die **sinnvollere?***

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

3) ***Welche** der beiden **Technologien** wird sich Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit durchsetzen**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

4) *Gibt es irgendeine **Art von Fahrzeug** (Agrar-/Forst-Lkw, Kühl-Lkw etc.), bei der die **Umstellung** auf Akku- bzw. Brennstofftechnologie **besonders schwierig** wäre?*

JA O	**NEIN** O

Wenn „ja“:
***Welche** und **warum**?*

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

RAHMENBEDINGUNGEN VON SEITEN DER EU UND DER Ö. BUNDESREGIERUNG

1) *Halten Sie die derzeitige **Doppelstrategie der EU** – Investitionen sowohl in den **Ausbau** der **Wasserstoffinfrastruktur** als auch in **Schnellladesäulen** – für den **Güterstraßenverkehr** für sinnvoll oder glauben Sie, die EU-Staaten sollten sich auf eine der beiden Technologien konzentrieren?*

Doppelstrategie sinnvoll	Konzentration auf eine der beiden Technologien sinnvoll
O	O

Wenn Doppelstrategie sinnvoll:
*Worin liegt Ihrer Ansicht nach der **Vorteil der Technologieoffenheit** (Akku/Wasserstoff) zu diesem Zeitpunkt?*

Antwort:

Wenn** Konzentration der Investitionen **auf eine Technologie:
***Welche** sollte das sein?*

Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
O	O

2) *Was wird von Seiten Ihres Ministeriums **unternommen**, um Betrie**be im Bereich der Land- und Forstwirtschaft zu ermutigen, auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb umzustellen** und sie auch dabei zu unterstützen?*

Antwort:

UMSTIEG AUF NEUE TECHNOLOGIE(N)

1) *Worin liegen Ihrer Ansicht nach die **Vor-** und **Nachteile** der **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** bzw. der **Akku-Technologie**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
Vorteile		
Nachteile		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2) ***Bei welchen*** *der folgenden* ***Kriterien*** *sehen Sie* ***welche Technologie*** *zukünftig im Vorteil?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Gewicht	O	O
Tankzeit	O	O
Reichweite	O	O
Betriebskosten	O	O
Anschaffungskosten	O	O
Ausbau der **Lade-/Tank**infrastruktur	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Verzicht auf seltene/kritische **Rohstoffe**	O	O

3) ***Welche Technologie*** *erachten Sie bei welchem* ***Einsatzgebiet*** *für* ***zukunftsträchtiger?***

	Akku-Technologie	**Brennstoffzellen-Technologie**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

4) *Welche* ***Voraussetzungen*** *müssen Ihrer Ansicht nach* ***vor einem Umstieg auf Lkw mit Akku-*** *bzw.* ***Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie*** *gegeben sein?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Von Seiten der Bundesregierung		
Von Seiten der EU		
Sonstiges:		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2. Fragebogen: nationale und internationale Interessenverbände aus den Bereichen Transport (Straßengüterverkehr) und Logistik

Diplomarbeit an der Fakultät für Architektur und Raumplanung; Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

*„**Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr – Ein Vergleich in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit**“*

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu den Themenbereichen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und Akku-Technologie, die in Zukunft den Straßengüterverkehr bestimmen sollen, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Bitte beantworten Sie die Fragen, indem Sie bei Ankreuzbeispielen ein „X“ neben den zutreffenden Kreis setzen. Für die Beantwortung offener Fragen ist jeweils im Anschluss an die Frage Platz. Sie können den Fragebogen entweder ausdrucken und händisch ausfüllen oder Sie beantworten die Fragen direkt in dieser Datei und mailen ihn anschließend zurück.
Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung.

LADEINFRASTRUKTUR – AUFBAU UND NUTZUNG

1) *Sehen Sie die (Nicht)**Verfügbarkeit** einer ausreichenden Zahl von Ladesäulen für Akku-Lkw bzw. **Wasserstofftankstellen** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie entlang der Routen als große **Hürde beim Umstieg** an?*

JA	NEIN
O	O

2) *Ist die **Ladeinfrastruktur** in den folgenden Regionen Ihrer Ansicht nach bereits **gut ausgebaut**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie
Österreichische Autobahnen/Schnellstraßen	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Österreichische **Freilandstraßen**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O
Städte in Österreich	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Deutschland	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Restliche **EU-Länder**	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Länder **außerhalb** der **EU**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3) ***Rechnet sich*** *Ihrer Ansicht nach für* ***Frächter/Spediteure/Firmen*** *mit eigenem Fuhrpark die* ***Installation eigener Schnellladesäulen****?*

JA	NEIN
O	O

4) Technisch gesehen wäre ein **Induktionsladen** möglich. *Erachten Sie das Laden des Akkus über Induktionsplatten am Parkplatz während der Liefertätigkeit bzw. während des Be-/Entladevorgangs als sinnvoll und praktikabel?*

JA	NEIN
O	O

5) Von verschiedener Seite wird darauf hingewiesen, dass der **Fahrer** seine **Pausen** nutzen kann, um währenddessen seinen **Akku-Lkw** aufzuladen. *Glauben Sie, dass sich das in der Praxis leicht umsetzen lässt?*

JA	NEIN
O	O

Wenn „nein“:
Was spricht ***dagegen?***

Antwort:

6) Das **Zwischenladen** in den **Lenkpausen** setzt voraus, dass auf den **Rastplätzen** Ladesäulen frei sind. *Glauben Sie, dass die* ***Infrastruktur ausreicht****, oder denken Sie, dass der Fahrer zusätzliche Pausen machen müsste*?

	JA	NEIN
Ladeinfrastruktur reicht für Laden während Ruhepause	O	O
Fahrer müsste **zusätzliche Pausen** machen	O	O

7) Einige Mitglieder des Europäischen Parlaments halten **eine Änderung der EU-Lenk- und Ruhezeitregeln** für notwendig, damit **Fahrer** die **aufgeladenen Lkw sofort wegfahren** können, auch wenn sie damit ihre 45minütige Ruhezeit unterbrechen. Damit soll **verhindert** werden, dass die **Ladesäulen** länger als notwendig blockiert werden. *Halten Sie ein solches Vorgehen für* ***sinnvoll****?*

JA	NEIN
O	O

8) *Erachten Sie die bisherigen* ***Einigungen****/Beschlüsse/Richtlinien der* ***EU*** *hinsichtlich des* ***Infrastrukturausbaus*** *(bis 2026 im* ***TEN-T-Kernnetz*** *alle 60 km eine* ***Schnellladesäule****, alle 100 km eine* ***Wasserstofftankstelle****) für* ***ausreichend***, wenn man bedenkt, dass aufgrund der geringeren Reichweite bei Lkw mit Akku-Technologie mit häufigeren Tankstopps zu rechnen ist und der Ladevorgang selbst im Vergleich zu Verbrennern länger dauert?

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

JA	NEIN
O	O

Wenn „nein“:
*Welche **Dichte** an **Schnellladesäulen/Wasserstofftankstellen** wäre Ihrer Ansicht nach **sinnvoll**?*

Antwort:

9) *Ist es Ihrer Ansicht nach wahrscheinlich, dass die **Mitgliedsstaaten** den vom Europäischen Parlament vorgegebenen **Zeitplan** für den **Infrastrukturausbau** entlang der **TEN-T-Kernnetze einhalten** werden?*

JA	NEIN
O	O

10) *Inwieweit stimmen Sie den **folgenden Aussagen zu**?*

	JA	NEIN
Das **aktuell verfügbare Netz an Schnellladesäulen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut**, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das **aktuell verfügbare Netz an Wasserstofftankstellen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut,** um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Schnellladesäulen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Wasserstofftankstellen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

11) *Wie viel **Prozent Ihrer Mitglieder** werden voraussichtlich **eine eigene Tank-/Ladeinfrastruktur aufbauen**?*

	Prozent
Ladesäule für Lkws **mit Akkutechnologie**	%
Wasserstofftankstelle	%

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

ANSCHAFFUNGS- UND BETRIEBSKOSTEN

1) *Wo werden sich die **Anschaffungskosten** für **Lkw** bis zum Jahr **2030** hinbewegen? Rechnen Sie mit fallenden oder steigenden Preisen?*

	Steigende Preise	**Fallende Preise**
Lkw mit **Akku-Technologie**	O	O
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	O	O

2) *Bei welcher Technologie erwarten Sie in Bezug auf folgende Aspekte **niedrigere Kosten**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Anschaffungskosten	O	O
Wartungskosten	O	O
Betriebskosten	O	O
Gesamtkosten pro Tonne	O	O

3) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Betriebskosten pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Betriebskosten **2: mittlere** Betriebskosten **3:** die **niedrigsten** Betriebskosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

4) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Vollkosten (TCO) pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Vollkosten **2: mittlere** Vollkosten **3:** die **niedrigsten** Vollkosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5) *Mit welchen **Vollkosten pro tkm** wird bei den folgenden Technologien Ihrer Ansicht nach im Jahr **2030/2040** zu rechnen sein?*

	Erwartete **Vollkosten** in € **pro tkm** im Jahr **2030**	Erwartete **Vollkosten** in € **pro tkm** im Jahr **2040**
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**€**	**€**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**€**	**€**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoff-zellen-Technologie**	**€**	**€**

FÖRDERUNGEN

1) Die **Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft** (**FFG**) wickelt für die ö. Bundesregierung ein **Fördermodell** für **emissionsfreie Nutzfahrzeuge** inkl. dem Aufbau der **Infrastruktur (ENIN)** ab. Bis **2026** stehen **365 Mio.** Euro bereit. Gefördert werden **80 % der Mehrkosten** für die **Fahrzeugbeschaffung** und **40 %** der **Kosten** für den Aufbau der **Infrastruktur**. *Empfinden Sie diese Förderung als **ausreichend**?*

JA	**NEIN**
O	O

2) ***Wenn „nein“:*** *welche **zusätzlichen Förderungen** wären von Seiten der österreichischen Bundesregierung und/ oder der EU wünschenswert*?

Antwort:

3) Das deutsche Bundesland NRW unterstützt **Beschaffungsinitiative**n, bei welchen sich Firmen aus dem Transportgewerbe zusammenschließen und gemeinsam **Rahmenverträge mit Lkw-Produzenten (Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie)** abschließen, um durch ein **höheres Bestellvolumen** die **Anschaffungskosten für das einzelne Unternehmen** zu **senken.** *Halten Sie solche Beschaffungsinitiativen für **sinnvoll?***

JA O	**NEIN** O

4) *Sollten solche Beschaffungsinitiativen **auch in Österreich** von **staatlicher Seite unterstützt** werden?*

JA O	**NEIN** O

NETZSTABILITÄT

1) Mit Hilfe der Technologie **V2G** (**Vehicle to Grid**) kann der Strom auch vom Akku des Lkw ins Netz eingespeist werden **(bidirektionales Laden**). Da mit dem Ausbau von Wind- und PV-Anlagen die **Netzauslastung stärken schwanken** wird, werden **Energieversorger** in Zukunft **zeit- bzw. lastvariable Stromtarife** anbieten. Die **Akkus der Lkw** könnten zur **Zwischenspeicherung günstigeren Stroms** verwendet werden. Somit könnten **Betriebe** ihren **Strombedarf selbständig** mit V2G-Ladestationen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ausgleichen. *Halten Sie V2G für eine **sinnvolle Technologie** bzw. werden Ihre Mitglieder **V2G voraussichtlich nutzen**?*

V2G ist eine **sinnvolle Technologie**	Unternehmen werden **V2G nutzen**
JA O **NEIN** O	**JA** O **NEIN** O

2) ***Liefern die** beiden **Technologien** Ihrer Ansicht nach einen Beitrag zum **Ausgleich von Schwankungen** bei der **Stromproduktion** und somit zur **Netzstabilität**?*

	Akku-Technologie **JA NEIN**	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** **JA NEIN**
Abnahme von **Strom aus Überproduktion** für **Wasserstoffelektrolyse/ Laden** von Lkw-**Akkus**	O O	O O
Produktion von **Strom aus Wasserstoff** bzw. **Einspeisung** von **Strom aus Akkus ins Netz** (bidirektionales Laden)	O O	O O

ENERGIEVERSORGUNGSSICHERHEIT - STRATEGIEN ZUR SICHERSTELLUNG DER VERSORGUNG MIT GRÜNEM STROM UND WASSERSTOFF

1) *Inwieweit glauben Sie, dass Österreich in der Lage sein wird, bis zum Jahr 2040 neben der Industrie und der Luft-/Schifffahrt auch **ausreichende Mengen** an **grünem Wasserstoff** für den **Straßengüterverkehr** zur Verfügung zu haben?*

	JA	**NEIN**
Es wird **nicht genügend grünen Wasserstoff** geben, um auch den **Straßengüterverkehr versorgen zu können**	O	O

2) *Wünschen Sie sich von Seiten der **österreichischen Bundesregierung/der EU** Maßnahmen, um in Österreich bis 2040 **größere Mengen an grünem Strom** bzw. grünem Wasserstoff zur Verfügung zu haben?*

JA	**NEIN**
O	O

Falls „ja“;
Welche Maßnahmen wünschen Sie sich?

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3) **Grüner Wasserstoff** kann aus Regionen außerhalb der EU **importiert** werden, **grüner Strom** hingegen nicht. *Sehen Sie darin einen **Vorteil für** die **Versorgung mit Wasserstoff** und damit einen Umstieg auf **LKW** mit **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**?*

JA	NEIN
O	O

Wenn „nein“:
***Warum** sehen Sie **keinen Vorteil** in der **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie** für Lkw?*

Antwort:

UMWELTASPEKTE

1) ***Welche** der beiden **Technologien** führt Ihrer Ansicht nach über den gesamten Lebenszyklus **zu weniger Luftschadstoffen**?*

Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie	Beide Technologien sind gleichwertig
O	O	O

2) ***Welche** der beiden **Technologien** hat Ihrer Ansicht nach über die **gesamte Lebensdauer** den niedrigeren **ökologischen Fußabdruck**?*

Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

TECHNOLOGISCHE ASPEKTE – PRAKTIKABILITÄT DER TECHNOLOGIEN

1) *Bei **welcher Technologie** erwarten Sie in den kommenden Jahren massive **technologische Fortschritte** hinsichtlich folgender Aspekte?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
Reichweite	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Ökologischer Fußabdruck/Verzicht auf seltene/kritische Rohstoffe	O	O O

2) *Wenn Sie alle Überlegungen miteinbeziehen, **welche Technologie** wäre Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** die **sinnvollere?***

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3) *Wenn Sie alle Überlegungen miteinbeziehen, **welche** der beiden **Technologien** wird sich Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit durchsetzen**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

4) *Stellt das **Zuladungsgewicht** bei Lkw mit Akku-Technologie wegen des höheren Eigengewichts Ihrer Ansicht nach ein Problem dar?*

JA	**NEIN**
O	O

5) *Gibt es irgendeine **Art von Fahrzeug** (Agrar-/Forst-Lkw, Kühl-Lkw etc.), bei der die **Umstellung** auf Akku- bzw. Brennstofftechnologie **besonders schwierig** wäre?*

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „ja“:
***Welche** und **warum**?*

Antwort:

RAHMENBEDINGUNGEN VON SEITEN DER EU UND DER Ö. BUNDESREGIERUNG

1) *Halten Sie die derzeitige **Doppelstrategie der EU** – Investitionen sowohl in den **Ausbau** der **Wasserstoffinfrastruktur** als auch in **Schnellladesäulen** – für den **Güterstraßenverkehr** für sinnvoll oder glauben Sie, die EU-Staaten sollten sich auf eine der beiden Technologien konzentrieren?*

Doppelstrategie sinnvoll	**Konzentration auf eine der beiden Technologien sinnvoll**
O	O

Wenn Doppelstrategie sinnvoll:
*Worin liegt Ihrer Ansicht nach der **Vorteil der Technologieoffenheit** (Akku/Wasserstoff) zu diesem Zeitpunkt?*

Antwort:

Wenn** Konzentration der Investitionen **auf eine Technologie:
***Welche** sollte das sein?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2) **Verbrennungsmotoren** werden in der **EU bei leichten Nutzfahrzeugen** bereits **2035** für Neuzulassungen verboten sein. In **Österreich** ist angedacht, **Diesel-Lkw bis 18t** nur noch bis zum Jahr **2030 neu zulassen** zu dürfen. Bei **schwereren Lkw** steht in **Österreich derzeit** das Jahr **2035** in Diskussion. *Halten Sie diese zeitlichen Vorgaben für **realistisch**?*

JA	**NEIN**
O	O
Weshalb realistisch:	**Weshalb nicht** realistisch:

3) *Glauben Sie, dass der **Großteil der** Unternehmen des Transport-/Güterbeförderungsgewerbes bereits **vor** dem Jahr **2035 freiwillig** beim **Neukauf auf** Lkw mit **Akku-/Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umstellen** wird?*

JA	**NEIN**
O	O

4) ***Welches Jahr** wäre Ihrer Ansicht nach für **die komplette Umstellung der Flotte realistisch?***

Antwort:

5) *Glauben Sie, dass **in Zukunft** Maßnahmen von staatlicher Seite, wie Fahrverbote für Diesel-Lkw, kommen werden?*

JA	**NEIN**
O	O

6) *Welche **Rahmenbedingungen** müssten Ihrer Ansicht nach von Seiten der **Bundesregierung** bzw. der **EU** verbessert werden, damit die **Unternehmen**, die Sie vertreten, auf Lkw mit Brennstoffzellen-Wasserstoff-Technologie **umstellen**?*

Antwort:

7) Für die **Produktion** von Lkw mit **Akku**-Technologie aber auch für die **Elektrolyse** von Wasserstoff werden derzeit **Rohstoffe** benötigt, die in den kommenden Jahren **knapp** werden könnten, weil die Vorkommen weniger werden oder weil aus politischen oder sonstigen Gründen die bisherigen Rohstoff-Bezugsquellen fortfallen könnten. *Bei **welchen Rohstoffen** sehen Sie bis zum Jahr 2030 **Versorgungsengpässe**?*

Antwort:

8) *Befürchten Sie, dass die **Transformation** des Straßengüterverkehrs daran **scheitern könnte**?*

JA	**NEIN**
O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

9) *Sehen Sie **Probleme bei der Fahrzeugproduktion** bzw. der **Sicherstellung der Lade-/Tankinfrastruktur** aufgrund von **Rohstoffknappheit?***

	JA	NEIN
Akku-Technologie	O	O
Wasserstoff-Brennstoffzel-len-Technologie	O	O

10) ***Was** sollte die **EU**/die **österreichische Bundesregierung unternehmen**, um europäi-sche Lkw-**Produzenten**/Bereitsteller der **Tank- und Ladeinfrastruktur** dabei zu unter-stützen, **Rohstoffe in ausreichender Menge** zur Verfügung zu haben?*

Antwort:

UMSTIEG AUF NEUE TECHNOLOGIE(N)

1) *Worin liegen Ihrer Ansicht nach die **Vor-** und **Nachteile** der **Wasserstoff-Brennstoff-zellen-Technologie** bzw. der **Akku-Technologie**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzel-len-Technologie
Vorteile		
Nachteile		

2) ***Bei welchen** der folgenden **Kriterien** sehen Sie **welche Technologie** zukünftig im Vor-teil?*

	Akku-Tech-nologie	Wasserstoff-Brennstoffzel-len-Technologie
Gewicht	O	O
Tankzeit	O	O
Reichweite	O	O
Betriebskosten	O	O
Anschaffungskosten	O	O
Ausbau der **Lade-/Tank**infrastruktur	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Verzicht auf seltene/kritische **Rohstoffe**	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3) ***Welche Technologie*** *erachten Sie bei welchem* ***Einsatzgebiet*** *für* ***zukunftsträchtiger?***

	Akku-Technologie	**Brennstoffzellen-Technologie**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

4) ***Ab wann*** *rechnen Sie mit* ***Akku-Fahrzeugen*** *am Markt, deren* ***Leistung für*** *die Einsatzzwecke jener Unternehmen, die Sie vertreten, ausreichend wären?*

Ab 2025	**Ab 2030**	**Ab 2035**	**Ab 2040**	**Nie**
O	O	O	O	O

5) ***Ab wann*** *wird ein Großteil der Unternehmen, die Sie vertreten, bei der Neuanschaffung von Lkw auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb (Akku- bzw. Brennstoffzellen-Wasserstoff-Technologie)* ***umsteigen?***

Im kommenden Jahr	**Bis 2025**	**Bis 2030**	**Derzeit noch gar nicht geplant**
O	O	O	O

6) *Auf* ***welche Technologie*** *wird der überwiegende Teil* ***Ihrer Mitgliedsunternehmen voraussichtlich umsteigen****?*

Lkw mit Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**
O	O

7) *Glauben Sie, dass Unternehmen, die sich für Lkw mit Akku-Technologie entscheiden,* ***eher Lkw mit leistungsstärkerem Akku*** *anschaffen,* ***deren Anschaffungskosten höher*** *sind, die aber auch eine höhere Reichweite haben, oder Lkw* ***mit geringerer Reichweite*** *und* ***niedrigeren Anschaffungskosten****?*

	Höhere Reichweite/höhere Anschaffungskosten	**Geringere Reichweite/niedrigere Anschaffungskosten**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

8) *Was* ***hält Unternehmen*** *Ihrer Ansicht nach* ***davon ab****, schon jetzt* ***bei der Neuanschaffung von Lkw auf solche mit alternativem Antrieb*** *(Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie)* ***umzusteigen?***

	JA	**NEIN**
Anschaffungskosten	O	O
Betriebskosten	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Reichweite	O	O
Lade-/Tankvorgang	O	O
Zweifel an der **Dichte** und **Leistungsfähigkeit** des zukünftigen **Netzes** an Strom- und Wasserstofftank-stellen	O	O
Zu **geringe Förderungen**	O	O
Unsicherheit, welche **Technologie** sich **durchset-zen** wird	O	O
Zweifel an der **ausreichenden Versorgung** mit **Strom/Wasserstoff**	O	O
Kosten eines **Akkutauschs**	O	O

9) *Welche **Rahmenbedingungen** müssten gegeben sein bzw. verbessert werden, um noch mehr **Unternehmen dazu zu bewegen, bereits jetzt** auf **Lkw mit Akku-** bzw. **Wasser-stoff-Brennstoffzellen-Technologie** umzusteigen?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Von Seiten der Bundesregierung		
Von Seiten der EU		
Von Seiten der Lkw Produzenten		
Sonstiges:		

10) *Halten Sie die **Umrüstung** herkömmlicher Diesel-Lkw auf **Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**, wie sie derzeit beispielsweise von dem deutschen Star-tup Quantron (Haller Nutzfahrzeuge) angeboten wird, für **sinnvoll**?*

	Umrüstung allgemein **sinnvoll** **JA**	**Umrüstung** für un-ser Unternehmen **denkbar** **NEIN**
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Akku**-Technologie	O	O
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Wasserstoff**-Brennstoffzellen-Technolo-gie	O	O

-

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

SONSTIGE ASPEKTE

1) *Inwieweit stimmen Sie folgenden **Aussagen für die Zukunft** zu?*

	JA	**NEIN**
Der **Güterverkehr** wird sich stärker **auf** die **Schiene** verlagern.	O	O
Der **Straßengüterverkehr** wird **abnehmen.**	O	O
Im **Straßengüterverkehr** wird mit **höheren Kosten** zu rechnen sein.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3. Fragebogen: internationale Lkw-Fahrzeugproduzenten

Diplomarbeit an der Fakultät für Architektur und Raumplanung; Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

*„**Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr – Ein Vergleich in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit**“*

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu den Themenbereichen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und Akku-Technologie, die in Zukunft den Straßengüterverkehr bestimmen sollen, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Bitte beantworten Sie die Fragen, indem Sie bei Ankreuzbeispielen ein „X“ neben den zutreffenden Kreis setzen. Für die Beantwortung offener Fragen ist jeweils im Anschluss an die Frage Platz. Sie können den Fragebogen entweder ausdrucken und händisch ausfüllen oder Sie beantworten die Fragen direkt in dieser Datei und mailen ihn anschließend zurück.
Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung.

STATISTISCHE DATEN

1) **Auf welche Technologie fokussiert sich Ihr Unternehmen bei der Produktion von Lkw?**

Akku-Technologie	O
Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie	O
Beide Technologien	O

LADEINFRASTRUKTUR – AUFBAU UND NUTZUNG

1) *Sehen Sie die (Nicht)**Verfügbarkeit** einer ausreichenden Zahl von **Ladesäulen** für Akku-Lkw bzw. **Wasserstofftankstellen** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie entlang der Routen als große **Hürde beim Umstieg** an?*

JA	NEIN
O	O

2) *Inwieweit stimmen Sie den **folgenden Aussagen zu**?*

	JA	NEIN
Das **aktuell verfügbare Netz an Schnellladesäulen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut**, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das **aktuell verfügbare Netz an Wasserstofftankstellen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut,** um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Das Netz an **Schnellladesäulen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Wasserstofftankstellen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

3) *Ist die **Ladeinfrastruktur** in den folgenden Regionen Ihrer Ansicht nach bereits **gut ausgebaut**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**
Österreichische Autobahnen	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Österreichische **Freilandstraßen**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O
Städte in Österreich	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Deutschland	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Restliche **EU-Länder**	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Länder **außerhalb** der **EU**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O

4) Das **Zwischenladen** in den **Lenkpausen** setzt voraus, dass auf den **Rastplätzen** Ladesäulen frei sind. *Glauben Sie, dass die **Infrastruktur ausreicht**, oder denken Sie, dass der Fahrer zusätzliche Pausen machen müsste*?

	JA	**NEIN**
Ladeinfrastruktur reicht für Laden während Ruhepause	O	O
Fahrer müsste **zusätzliche Pausen** machen	O	O

5) *Erachten Sie die bisherigen **Einigungen**/Beschlüsse/Richtlinien der **EU** hinsichtlich des **Infrastrukturausbaus** (bis 2026 im **TEN-T-Kernnetz** alle 60 km eine **Schnellladesäule**, alle 100 km eine **Wasserstofftankstelle**) für **ausreichend***, wenn man bedenkt, dass aufgrund der geringeren Reichweite bei Lkw mit Akku-Technologie mit häufigeren Tankstopps zu rechnen ist und der Ladevorgang selbst im Vergleich zu Verbrennern länger dauert?

JA	**NEIN**
O	O

6) ***Wenn „nein“:***

*Welche **Dichte** an **Schnellladesäulen/Wasserstofftankstellen** wäre Ihrer Ansicht nach **sinnvoll**?*

Antwort:

7) *Ist es Ihrer Ansicht nach wahrscheinlich, dass die **Mitgliedsstaaten** den vom Europäischen Parlament vorgegebenen **Zeitplan** für den **Infrastrukturausbau** entlang der **TEN-T-Kernnetze einhalten** werden?*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

JA	NEIN
O	O

ANSCHAFFUNGS- UND BETRIEBSKOSTEN

1) *Wo werden sich die **Anschaffungskosten** für **Lkw** bis zum Jahr **2030** hinbewegen? Rechnen Sie mit fallenden oder steigenden Preisen?*

	Steigende Preise	Fallende Preise
Lkw mit **Akku-Technologie**	O	O
Lkw mit **Wasserstoff-Brenn-stoffzellen-Technologie**	O	O

2) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Betriebskosten pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Betriebskosten **2: mittlere** Betriebskosten **3:** die **niedrigsten** Betriebskosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Vollkosten (TCO) pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Vollkosten **2: mittlere** Vollkosten **3:** die **niedrigsten** Vollkosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

4) *Mit welchen **Vollkosten pro tkm** wird bei den folgenden Technologien Ihrer Ansicht nach im Jahr **2030/2040** zu rechnen sein?*

	Erwartete **Vollkosten** in € **pro tkm** im Jahr **2030**	Erwartete **Vollkosten** in € **pro tkm** im Jahr **2040**
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**€**	**€**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**€**	**€**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoff-zellen-Technologie**	**€**	**€**

FÖRDERUNGEN

1) Die **Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft** (**FFG**) wickelt für die ö. Bundesregierung ein **Fördermodell** für **emissionsfreie Nutzfahrzeuge** inkl. dem Aufbau der **Infrastruktur (ENIN)** ab. Bis **2026** stehen **365 Mio.** Euro bereit. Gefördert werden **80 % der Mehrkosten** für die **Fahrzeugbeschaffung** und **40 %** der **Kosten** für den Aufbau der **Infrastruktur**. *Empfinden Sie diese Förderung als **ausreichend**?*

JA	**NEIN**
O	O

2) ***Wenn „nein“:*** *welche **zusätzlichen Förderungen** wünschen Sie sich von Seiten der österreichischen Bundesregierung und/ oder der EU*?

Antwort:

NETZSTABILITÄT

1) Mit Hilfe der Technologie **V2G** (**Vehicle to Grid**) kann der Strom auch vom Akku des Lkw ins Netz eingespeist werden **(bidirektionales Laden**). Da mit dem Ausbau von Wind- und PV-Anlagen die **Netzauslastung stärken schwanken** wird, werden **Energieversorger** in Zukunft **zeit- bzw. lastvariable Stromtarife** anbieten. Die **Akkus der Lkw** könnten zur **Zwischenspeicherung günstigeren Stroms** verwendet werden. Somit könnten **Betriebe** ihren **Strombedarf selbständig** mit V2G-Ladestationen **ausgleichen**. *Halten Sie V2G für eine **sinnvolle Technologie** bzw. wird Ihr Unternehmen **V2G nutzen**?*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

V2G ist eine **sinnvolle Technologie**	Mein Unternehmen wird **V2G nutzen**
JA O **NEIN** O	**JA** O **NEIN** O

ENERGIEVERSORGUNGSSICHERHEIT - STRATEGIEN ZUM AUSBAU VON GRÜNEM STROM UND WASSERSTOFF

1) *Inwieweit glauben Sie, dass Österreich in der Lage sein wird, bis zum Jahr 2040 neben der Industrie und der Luft-/Schifffahrt auch **ausreichende Mengen** an **grünem Wasserstoff** für den **Straßengüterverkehr** zur Verfügung zu haben?*

	JA	**NEIN**
Es wird **nicht genügend grünen Wasserstoff** geben, um auch den **Straßengüterverkehr versorgen zu können**	O	O

2) *Wünschen Sie sich von Seiten der **österreichischen Bundesregierung/der EU** Maßnahmen, um in Österreich bis 2040 **größere Mengen an grünem Strom** bzw. grünem Wasserstoff zur Verfügung zu haben?*

JA	**NEIN**
O	O

Falls „ja“:
welche Maßnahmen wünschen Sie sich?

Antwort:

3) **Grüner Wasserstoff** kann aus Regionen außerhalb der EU **importiert** werden, **grüner Strom** hingegen nicht. *Sehen Sie darin einen **Vorteil für** die **Versorgung mit Wasserstoff** und damit für einen Umstieg auf **LKW** mit **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**?*

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „nein“:
***Warum** liegt Ihrer Ansicht nach **kein Vorteil** in der **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie** für Lkw?*

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

UMWELTASPEKTE

1) ***Welche** der beiden **Technologien** führt Ihrer Ansicht nach über den gesamten **Lebenszyklus** zu **weniger Luftschadstoffen**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

2) ***Welche** der beiden **Technologien** hat Ihrer Ansicht nach über die **gesamte Lebensdauer** den niedrigeren **ökologischen Fußabdruck**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

TECHNOLOGISCHE ASPEKTE – PRAKTIKABILITÄT DER TECHNOLOGIEN

1) *Bei **welcher Technologie** erwarten Sie in den kommenden Jahren massive **technologische Fortschritte** hinsichtlich folgender Aspekte?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Reichweite	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Ökologischer Fußabdruck/Verzicht auf seltene/kritische Rohstoffe	O	O O

2) *Wenn Sie alle Überlegungen miteinbeziehen, **welche Technologie** wäre Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** die **sinnvollere?***

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

3) *Wenn Sie alle Überlegungen miteinbeziehen, **welche** der beiden **Technologien** wird sich Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit durchsetzen**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4) *Stellt das **Zuladungsgewicht** bei Lkw mit Akku-Technologie wegen des höheren Eigengewichts Ihrer Ansicht nach ein Problem dar?*

JA	NEIN
O	O

5) *Gibt es irgendeine **Art von Fahrzeug** (Agrar-/Forst-Lkw, Kühl-Lkw etc.), bei der die **Umstellung** auf Akku- bzw. Brennstofftechnologie **besonders schwierig** wäre?*

JA	NEIN
O	O

Wenn „ja“:
***Welche** und **warum**?*

Antwort:

RAHMENBEDINGUNGEN VON SEITEN DER EU UND DER Ö. BUNDESREGIERUNG

1) *Halten Sie die derzeitige **Doppelstrategie der EU** – Investitionen sowohl in den **Ausbau** der **Wasserstoffinfrastruktur** als auch in **Schnellladesäulen** – für den **Güterstraßenverkehr** für sinnvoll oder glauben Sie, die EU-Staaten sollten sich auf eine der beiden Technologien konzentrieren?*

Doppelstrategie sinnvoll	Konzentration auf eine der beiden Technologien sinnvoll
O	O

Wenn Doppelstrategie sinnvoll:
*Worin liegt Ihrer Ansicht nach der **Vorteil der Technologieoffenheit** (Akku/Wasserstoff) zu diesem Zeitpunkt?*

Antwort:

Wenn** Konzentration der Investitionen **auf eine Technologie:
***Welche** sollte das sein?*

Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2) *Welche **Rahmenbedingungen** müssten gegeben sein bzw. verbessert werden, um noch mehr **Unternehmen dazu zu bewegen, bereits jetzt** auf **Lkw mit Akku-** bzw. **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** umzusteigen?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Von Seiten der Bundesregierung		
Von Seiten der EU		
Von Seiten der Lkw Produzenten		
Sonstiges:		

3) **Verbrennungsmotoren** werden in der **EU bei leichten Nutzfahrzeugen** bereits **2035** für Neuzulassungen verboten sein. In **Österreich** ist angedacht, **Diesel-Lkw bis 18t** nur noch bis zum Jahr **2030 neu zulassen** zu dürfen. Bei **schwereren Lkw** steht in **Österreich derzeit** das Jahr **2035** in Diskussion. *Halten Sie diese zeitlichen Vorgaben für **realistisch**?*

JA	**NEIN**
O	O
Weshalb realistisch:	**Weshalb nicht** realistisch:

4) *Glauben Sie, dass der **Großteil der** Unternehmen des Transport-/Güterbeförderungsgewerbes bereits **vor** dem Jahr **2035 freiwillig** beim **Neukauf auf** Lkw mit **Akku-/Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umstellen** wird?*

JA	**NEIN**
O	O

5) ***Welches Jahr** wäre Ihrer Ansicht nach für **die komplette Umstellung der Lkw-Flotte in Österreich realistisch?***

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

6) *Glauben Sie, dass **in Zukunft** Maßnahmen von staatlicher Seite, wie **Fahrverbote** für Diesel-Lkw, kommen werden?*

JA	NEIN
O	O

7) Für die **Produktion** von Lkw mit **Akku**-Technologie aber auch für die **Elektrolyse** von Wasserstoff werden derzeit **Rohstoffe** benötigt, die in den kommenden Jahren **knapp** werden könnten, weil die Vorkommen weniger werden oder weil aus politischen oder sonstigen Gründen die bisherigen Rohstoff-Bezugsquellen fortfallen könnten. *Bei **welchen Rohstoffen** sehen Sie bis zum Jahr 2030 **Versorgungsengpässe**?*

Antwort:

8) *Befürchten Sie, dass die **Transformation** des Straßengüterverkehrs daran **scheitern könnte**?*

JA	NEIN
O	O

9) *Sehen Sie **Probleme bei der Fahrzeugproduktion** bzw. der **Sicherstellung der Lade-/Tankinfrastruktur** aufgrund von **Rohstoffknappheit?***

	JA	NEIN
Akku-Technologie	O	O
Wasserstoff-Brennstoffzel-len-Technologie	O	O

UMSTIEG AUF NEUE TECHNOLOGIE(N)

*1) Worin liegen Ihrer Ansicht nach die **Vor-** und **Nachteile** der **Wasserstoff-Brennstoffzel-len-Technologie** bzw. der **Akku-Technologie**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzel-len-Technologie
Vorteile		
Nachteile		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2) ***Bei welchen*** *der folgenden* ***Kriterien*** *sehen Sie* ***welche Technologie*** *zukünftig im Vorteil?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Gewicht	O	O
Tankzeit	O	O
Reichweite	O	O
Betriebskosten	O	O
Anschaffungskosten	O	O
Ausbau der **Lade-/Tank**infrastruktur	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Verzicht auf seltene/kritische **Rohstoffe**	O	O

3) **Falls Ihr Unternehmen sowohl** Lkw mit **Akku-Technologie als auch** mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-**Technologie anbietet, welche **Technologie** erachten Sie bei welchem **Einsatzgebiet** für **zukunftsträchtiger?**

	Akku-Technologie	**Brennstoffzellen-Technologie**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

4) ***Ab wann*** *wird ein* ***Großteil der Frächter/Spediteure/Unternehmen mit großem Fuhrpark*** *Ihrer Ansicht nach bei der* ***Neuanschaffung*** *von Lkw auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb (Akku- bzw. Brennstoffzellen-Wasserstoff-Technologie)* ***umsteigen?***

Im kommenden Jahr	**Bis 2025**	**Bis 2030**	**Derzeit noch gar nicht geplant**
O	O	O	O

5) ***Worauf*** *wird der Großteil der* ***Frächter/Spediteure/Unternehmen mit großem Fuhrpark*** *Ihrer Ansicht nach voraussichtlich* ***umsteigen?***

Lkw mit Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**
O	O

6) *Glauben Sie, dass Unternehmen, die sich für Lkw mit Akku-Technologie entscheiden,* ***eher Lkw mit leistungsstärkerem Akku*** *anschaffen,* ***deren Anschaffungskosten höher*** *sind, die aber auch eine höhere Reichweite haben, oder Lkw* ***mit geringerer Reichweite*** *und* ***niedrigeren Anschaffungskosten****?*

	Höhere Reichweite/höhere Anschaffungskosten	**Geringere Reichweite/niedrigere Anschaffungskosten**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Fernverkehr über 150 km	O	O

7) *Was **hält Unternehmen** Ihrer Ansicht nach **davon ab**, schon jetzt **bei der Neuanschaffung von Lkw auf solche mit alternativem Antrieb** (Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie) **umzusteigen?***

	JA	**NEIN**
Anschaffungskosten	O	O
Betriebskosten	O	O
Reichweite	O	O
Lade-/Tankvorgang	O	O
Zweifel an der **Dichte** und **Leistungsfähigkeit** des zukünftigen **Netzes** an Strom- und Wasserstofftank-stellen	O	O
Zu **geringe Förderungen**	O	O
Unsicherheit, welche **Technologie** sich **durchset-zen** wird	O	O
Zweifel an der **ausreichenden Versorgung** mit **Strom/Wasserstoff**	O	O
Kosten eines **Akkutauschs**	O	O

8) *Halten Sie die **Umrüstung** herkömmlicher Diesel-Lkw auf **Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**, wie sie derzeit beispielsweise von dem deutschen Startup Quantron (Haller Nutzfahrzeuge) angeboten wird, für **sinnvoll**?*

	Umrüstung allgemein **sinnvoll** **JA**	**Umrüstung** für un-ser Unternehmen **denkbar** **NEIN**
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Akku-**Technologie	O	O
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Wasserstoff**-Brennstoffzellen-Technolo-gie	O	O

SONSTIGE ASPEKTE

1) *Inwieweit stimmen Sie folgenden **Aussagen für die Zukunft** zu?*

	JA	**NEIN**
Der **Güterverkehr** wird sich stärker **auf** die **Schiene** verlagern.	O	O
Der **Straßengüterverkehr** wird **ab-nehmen.**	O	O
Im **Straßengüterverkehr** wird mit **hö-heren Kosten** zu rechnen sein.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2) Derzeit wird die **Reichweite von Lkw mit Akku-Technologie** für den Einsatz im Fernverkehr teilweise noch **skeptisch** gesehen. Wo wird sich die **Reichweite** von Lkw im Fernverkehr bis 2040 **hinbewegen?**

500-750 km	O
750 - 1000 km	O
Über 1000 km	O

3) **Bis wann** werden die Anschaffungskosten für neue Diesel-Lkw und Lkw mit alternativem Antrieb (Akku-Technologie/Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie) gleich hoch sein?

Bis 2030	**Bis 2040**	**Später**	**Nie**
O	O	O	O

4) Was könnte die **EU**/die **österreichische Bundesregierung** unternehmen, um europäische **Lkw-Produzenten**/Bereitsteller der Tank- und Ladeinfrastruktur dabei zu **unterstützen**, **Rohstoffe** in ausreichender Menge **zur Verfügung** zu haben?

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4. Fragebogen: Gremien der EU

Diplomarbeit an der Fakultät für Architektur und Raumplanung; Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

*„**Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr – Ein Vergleich in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit**“*

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu den Themenbereichen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und Akku-Technologie, die in Zukunft den Straßengüterverkehr bestimmen sollen, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Bitte beantworten Sie die Fragen, indem Sie bei Ankreuzbeispielen ein „X“ neben den zutreffenden Kreis setzen. Für die Beantwortung offener Fragen ist jeweils im Anschluss an die Frage Platz. Sie können den Fragebogen entweder ausdrucken und händisch ausfüllen oder Sie beantworten die Fragen direkt in dieser Datei und mailen ihn anschließend zurück.
Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung.

LADEINFRASTRUKTUR – AUFBAU UND NUTZUNG

1) *Sehen Sie die (Nicht)**Verfügbarkeit** einer ausreichenden Zahl von Ladesäulen für Akku-Lkw bzw. **Wasserstofftankstellen** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie entlang der Routen als große **Hürde beim Umstieg** an?*

JA	NEIN
O	O

2) *Ist **die Ladeinfrastruktur** in den folgenden Regionen Ihrer Ansicht nach bereits **gut ausgebaut**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie
Österreichische Autobahnen/Schnellstraßen	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Österreichische **Freilandstraßen**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O
Städte in Österreich	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Deutschland	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Restliche **EU-Länder**	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Länder **außerhalb** der **EU**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3) Das **Zwischenladen** in den **Lenkpausen** setzt voraus, dass auf den **Rastplätzen** Ladesäulen frei sind. *Glauben Sie, dass die **Infrastruktur ausreicht**, oder denken Sie, dass der Fahrer zusätzliche Pausen machen müsste*?

	JA	**NEIN**
Ladeinfrastruktur reicht für Laden während Ruhepause	O	O
Fahrer müsste **zusätzliche Pausen** machen	O	O

4) Einige Mitglieder des Europäischen Parlaments halten **eine Änderung der EU-Lenk- und Ruhezeitregeln** für notwendig, damit **Fahrer** die **aufgeladenen Lkw sofort wegfahren** können, auch wenn sie damit ihre 45minütige Ruhezeit unterbrechen. Damit soll **verhindert** werden, dass die **Ladesäulen** länger als notwendig blockiert werden. *Sind Sie auch für eine diesbezügliche Änderung der EU-Lenk- und Ruhezeiten VO*[132]*?*

JA	**NEIN**
O	O

5) *Erachten Sie die bisherigen **Einigungen**/Beschlüsse/Richtlinien der **EU** hinsichtlich des **Infrastrukturausbaus** (bis 2026 im **TEN-T-Kernnetz** alle 60 km eine **Schnellladesäule**, alle 100 km eine **Wasserstofftankstelle**) für **ausreichend***, wenn man bedenkt, dass aufgrund der geringeren Reichweite bei Lkw mit Akku-Technologie mit häufigeren Tankstopps zu rechnen ist und der Ladevorgang selbst im Vergleich zu Verbrennern länger dauert?

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „nein“:
*Welche **Dichte** an **Schnellladesäulen/Wasserstofftankstellen** wäre Ihrer Ansicht nach **sinnvoll**?*

Antwort:

6) *Ist es Ihrer Ansicht nach wahrscheinlich, dass die **Mitgliedsstaaten** den vom Europäischen Parlament vorgegebenen **Zeitplan** für den **Infrastrukturausbau** entlang der **TEN-T-Kernnetze einhalten** werden?*

JA	**NEIN**
O	O

7) *Soll es Ihrer Ansicht nach **Sanktionen** geben, falls ein **Mitgliedstaat** beim Ausbau der **Infrastruktur säumig** wird?*

JA	**NEIN**
O	O

[132] Verordnung (EG) Nr. 561/2006 über Lenkzeiten, Fahrtunterbrechungen und Ruhezeiten

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

8) ***Inwieweit** stimmen Sie den **folgenden Aussagen** zu?*

	JA	NEIN
Das **aktuell verfügbare Netz an Schnellladesäulen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut**, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das **aktuell verfügbare Netz an Wasserstofftankstellen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut,** um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Schnellladesäulen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Wasserstofftankstellen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

ANSCHAFFUNGS- UND BETRIEBSKOSTEN

1) *Wo werden sich die **Anschaffungskosten** für **Lkw** bis zum Jahr **2030** hinbewegen? Rechnen Sie mit fallenden oder steigenden Preisen?*

	Steigende Preise	Fallende Preise
Lkw mit **Akku-Technologie**	O	O
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	O	O

2) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Betriebskosten pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Betriebskosten **2: mittlere** Betriebskosten **3:** die **niedrigsten** Betriebskosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

3) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Vollkosten (TCO) pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Vollkosten **2: mittlere** Vollkosten **3:** die **niedrigsten** Vollkosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

FÖRDERUNGEN

1) *Sind Ihres Wissens nach von Seiten der **EU Förderungen** für den **Ausbau der Infrastruktur** in den Mitgliedstaaten angedacht?*

JA	NEIN
O	O

Wenn „ja“:
*In welcher **Höhe** und **bis wann?***

Antwort:

NETZSTABILITÄT

1) Sollte es in Zukunft in **Europa** kurzfristig zu einem **Strommangel** kommen, könnte Strom aus Wasserstoff produziert bzw. mit Hilfe von V2G in das Netz eingespeist werden. Im Falle einer Überproduktion von Strom, die zu einer Überlastung der Netze führen würde, könnte hingegen überschüssiger Strom automatisch für die Elektrolyse von Wasserstoff bzw. das Laden von Lkw-Akkus verwendet werden. *Sind die beiden **Technologien** Ihrer Ansicht nach dazu **geeignet**, einen **Beitrag zum Ausgleich von Schwankungen** bei der Stromproduktion und somit zur Stabilität der nationalen und europäischen Stromnetze **zu leisten**?*

Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
JA O **NEIN** O	**JA** O **NEIN** O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

ENERGIEVERSORGUNGSSICHERHEIT - STRATEGIEN ZUR SICHERSTELLUNG DER VERSORGUNG MIT GRÜNEM STROM UND WASSERSTOFF

1) *Inwieweit glauben Sie, dass Österreich in der Lage sein wird, bis zum Jahr 2040 neben der Industrie und der Luft-/Schifffahrt auch **ausreichende Mengen** an **grünem Wasserstoff** für den **Straßengüterverkehr** zur Verfügung zu haben?*

	JA	**NEIN**
Es wird **nicht genügend grünen Wasserstoff** geben, um auch den **Straßengüterverkehr versorgen zu können**	O	O

2) *Wie hoch wird der **Eigenversorgungsanteil** Österreichs/ EU-weit mit **grünem Wasserstoff** für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher bis 2030/40 Ihrer Ansicht nach voraussichtlich sein?*

Eigenversorgungsanteil	Im Jahr **2030**	Im Jahr **2040**
EU-weit	%	%
In **Österreich**	%	%

3) *Wie hoch wird in Österreich/ EU-weit der **Anteil an Strom aus erneuerbarer Energie** für Industrie, Verkehr und sonstige Verbraucher bis 2030/40 Ihrer Ansicht nach voraussichtlich sein?*

Anteil	Im Jahr **2030**	Im Jahr **2040**
EU-weit	%	%
In **Österreich**	%	%

4) **Grüner Wasserstoff** kann aus Regionen außerhalb der EU **importiert** werden, **grüner Strom** hingegen nicht. *Sehen Sie darin einen **Vorteil für** die **Versorgung mit Wasserstoff** und damit für einen Umstieg auf **LKW** mit **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**?*

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „nein“:
***Warum** sehen Sie **keinen Vorteil** in der **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie** für Lkw?*

Antwort:

UMWELTASPEKTE

1) ***Welche** der beiden **Technologien** führt Ihrer Ansicht nach über den gesamten **Lebenszyklus** zu **weniger Luftschadstoffen**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2) *Welche der beiden **Technologien** hat Ihrer Ansicht nach über die **gesamte Lebensdauer** den **niedrigeren ökologischen Fußabdruck**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

TECHNOLOGISCHE ASPEKTE – PRAKTIKABILITÄT DER TECHNOLOGIEN

1) *Welche der beiden **Technologien** wird sich Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit durchsetzen**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

2) *Welche **Technologie** wäre Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** die **sinnvollere?***

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

UMSTIEG AUF NEUE TECHNOLOGIE(N)

1) *Worin liegen Ihrer Ansicht nach die **Vor-** und **Nachteile** der folgenden Technologien?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Vorteile		
Nachteile		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

2) ***Bei welchen*** *der folgenden* ***Kriterien*** *sehen Sie* ***welche Technologie*** *zukünftig im Vorteil?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Gewicht	O	O
Tankzeit	O	O
Reichweite	O	O
Betriebskosten	O	O
Anschaffungskosten	O	O
Ausbau der **Lade-/Tank**infrastruktur	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Verzicht auf seltene/kritische **Rohstoffe**	O	O

3) ***Welche Technologie*** *erachten Sie bei welchem* ***Einsatzgebiet*** *für* ***zukunftsträchtiger?***

	Akku-Technologie	**Brennstoffzellen-Technologie**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

4) **Favorisiert** die EU (**Kommission** und **Parlament)** bei der Umstellung des Straßengüterverkehrs auf emissionsfreie Technologien **eine Technologie oder** werden die Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und die Akku-Technologie zum jetzigen Zeitpunkt als gleichbedeutend und gleichwertig angesehen?

Akku-Technologie favorisiert	**Akku-** und **Wasserstoff-Brennstoffzellen-**Technologie **gleichwertig**
O	O

5) ***Ab wann werden Österreichs Frächter/Spediteure/Unternehmen mit großem Fuhrpark*** *Ihrer Ansicht nach* ***bei der Neuanschaffung*** *von Lkw auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb (Akku- bzw. Brennstoffzellen-Wasserstoff-Technologie)* ***umsteigen?***

Im kommenden Jahr	**Bis 2025**	**Bis 2030**	**Derzeit noch gar nicht geplant**
O	O	O	O

6) *Werden sich Ihrer Ansicht nach eher Lkw* ***mit leistungsstärkerem Akku*** *und somit* ***größerer Reichweite****, aber* ***höheren Anschaffungskosten*** *oder Lkw mit* ***geringerer Reichweite*** *und* ***niedrigeren Anschaffungskosten durchsetzen****?*

	Höhere Reichweite/höhere Anschaffungskosten	**Geringere Reichweite/niedrigere Anschaffungskosten**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

7) *Welche **Voraussetzungen** müssen Ihrer Ansicht nach **vor einem Umstieg auf Lkw mit Akku**- bzw. **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** gegeben sein?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Von Seiten der Bundesregierung		
Von Seiten der EU		
Sonstiges;		

BATTERIE-VO

1) Das **Europäische Parlament** hat am 10. März 2022 seine **Verhandlungsposition** zur **Batterie-VO**[133], die auch die **verpflichtende Möglichkeit des Austauschs von Akkus/Batterien vorsieht**, festgelegt und am 9. Dezember 2022 eine Einigung mit dem Europäischen Rat hinsichtlich einer Überarbeitung des VO-Textes erzielt. Derzeit wird der Text mit den Mitgliedstaaten verhandelt. *Welche der folgenden **Verpflichtungen soll die Batterie-VO** bezüglich Akkus von E-Lkw (Lkw mit Akku-Technologie) Ihrer nach Ansicht **enthalten:***

	JA	**NEIN**
Lkw-Produzenten müssen die **Akkus** so verbauen, dass sie **in einer Werkstatt** (nicht nur in Vertragswerkstätten) **relativ einfach ausgebaut werden können**	O	O
Lkw-Produzenten müssen **Tausch-Akkus** für Lkw **auch außerhalb eines Garantie-/Gewährleistungsfalles anbieten**, um die Nutzungsdauer des Fahrzeuges zu verlängern	O	O
Lkw-Produzenten müssen den **Einbau von Tausch-Akkus anderer Hersteller**	O	O

[133] *Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

(im Nachbau) **erlauben** und auch **ermöglichen**		

2) ***Bis wann*** *ist hinsichtlich der Batterie-VO mit* ***einer Einigung mit den Mitgliedsstaaten zu rechnen****?*

Antwort:

3) ***Bis wann*** *wird die Batterie-VO* ***voraussichtlich in Kraft getreten*** *sein?*

Antwort:

SONSTIGE ASPEKTE

1) **Rohstoffe** wie **Kobalt** und **Lithium**, die derzeit für die Produktion von Akkus benötigt werden, werden knapp. *Kann dies Ihrer Ansicht nach die* ***Umstellung des Straßengüterverkehrs*** *auf* ***Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotoren*** *gefährden?*

JA	NEIN
O	O

2) *Inwieweit stimmen Sie folgenden* ***Aussagen für die Zukunft*** *zu?*

	JA	NEIN
Der **Güterverkehr** wird sich stärker **auf** die **Schiene** verlagern.	O	O
Der **Straßengüterverkehr** wird **abnehmen.**	O	O
Im **Straßengüterverkehr** wird mit **höheren Kosten** zu rechnen sein.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5. Fragebogen: nationale Spediteure, Frächter

Diplomarbeit an der Fakultät für Architektur und Raumplanung; Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

„Wasserstoff-Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr – Ein Vergleich in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit“

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu den Themenbereichen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und Akku-Technologie, die in Zukunft den Straßengüterverkehr bestimmen sollen, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Bitte beantworten Sie die Fragen, indem Sie bei Ankreuzbeispielen ein „X“ neben den zutreffenden Kreis setzen. Für die Beantwortung offener Fragen ist jeweils im Anschluss an die Frage Platz. Sie können den Fragebogen entweder ausdrucken und händisch ausfüllen oder Sie beantworten die Fragen direkt in dieser Datei und mailen ihn anschließend zurück.
Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung.

LADEINFRASTRUKTUR – AUFBAU UND NUTZUNG

1) *Sehen Sie die (Nicht)**Verfügbarkeit** einer ausreichenden Zahl von Ladesäulen für Akku-Lkw bzw. **Wasserstofftankstellen** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie entlang der Routen als große **Hürde beim Umstieg** an?*

JA	NEIN
O	O

2) *Ist die **Ladeinfrastruktur** in den folgenden Regionen Ihrer Ansicht nach bereits **gut ausgebaut**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie
Österreichische Autobahnen	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Österreichische **Freilandstraßen**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O
Städte in Österreich	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Deutschland	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Restliche **EU-Länder**	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Länder **außerhalb** der **EU**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O

3) ***Rechnen sich Schnellladesäulen an Logistik-Hubs?***

JA	NEIN
O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4) *Planen Sie, eine **eigene Ladeinfrastruktur** am Hof zu errichten?*

	JA	NEIN
Ladesäule für Lkws mit Akkutechnologie	O	O
Wasserstofftankstelle	O	O

5) *Rechnen Sie **mit Problemen,** wenn **die Akkus** aller **LKW frühmorgens zugleich geladen** werden müssen?*

JA	NEIN
O	O

6) ***Welche Lade-/Tankinfrastruktur wird Ihr Unternehmen voraussichtlich in Anspruch nehmen**?*

Öffentlich zugängige Ladesäulen/Wasserstofftankstellen **entlang der Route**	O
Ladesäulen/Wasserstofftankstellen **bei Umschlags- und Verteilzentren**	O
Ladesäulen/Wasserstofftankstellen **bei Verlade- und Abladestellen**	O
Anderswo: Wo genau?	O

7) Technisch gesehen wäre ein **Induktionsladen** bei den Be- und Entladestellen bei den Kunden möglich. *Erachten Sie das Laden des Akkus über Induktionsplatten am Parkplatz während der Liefertätigkeit als sinnvoll und praktikabel?*

JA	NEIN
O	O

8) Von verschiedener Seite wird darauf hingewiesen, dass der **Fahrer** seine **Pausen** nutzen kann, um währenddessen seinen **Akku-Lkw** aufzuladen. *Glauben Sie, dass sich das in der Praxis leicht umsetzen lässt?*

JA	NEIN
O	O

<u>Wenn „nein“:</u> Was spricht dagegen?

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9) Das **Zwischenladen** in den **Lenkpausen** setzt voraus, dass auf den **Rastplätzen** Ladesäulen frei sind. *Glauben Sie, dass die **Infrastruktur ausreicht**, oder denken Sie, dass der Fahrer zusätzliche Pausen machen müsste*?

	JA	**NEIN**
Ladeinfrastruktur reicht für Laden während Ruhepause	O	O
Fahrer müsste **zusätzliche Pausen** machen	O	O

10) Einige Mitglieder des Europäischen Parlaments halten **eine Änderung der EU-Lenk- und Ruhezeitregeln** für notwendig, damit **Fahrer** die **aufgeladenen Lkw sofort wegfahren** können, auch wenn sie damit ihre 45minütige Ruhezeit unterbrechen. Damit soll **verhindert** werden, dass die **Ladesäulen** länger als notwendig blockiert werden. *Halten Sie ein solches Vorgehen für **sinnvoll**?*

JA	**NEIN**
O	O

11) *Erachten Sie die bisherigen **Einigungen**/Beschlüsse/Richtlinien der **EU** hinsichtlich des **Infrastrukturausbaus** (bis 2026 im **TEN-T-Kernnetz** alle 60 km eine **Schnellladesäule**, alle 100 km eine **Wasserstofftankstelle**) für **ausreichend***, wenn man bedenkt, dass aufgrund der geringeren Reichweite bei Lkw mit Akku-Technologie mit häufigeren Tankstopps zu rechnen ist und der Ladevorgang selbst im Vergleich zu Verbrennern länger dauert?

JA	**NEIN**
O	O

12) ***Wenn „nein“:***
*Welche **Dichte** an **Schnellladesäulen/Wasserstofftankstellen** wäre Ihrer Ansicht nach **sinnvoll**?*

Antwort:

13) *Ist es Ihrer Ansicht nach wahrscheinlich, dass die **Mitgliedsstaaten** den vom Europäischen Parlament vorgegebenen **Zeitplan** für den **Infrastrukturausbau** entlang der **TEN-T-Kernnetze einhalten** werden?*

JA	**NEIN**
O	O

14) *Inwieweit stimmen Sie den **folgenden Aussagen zu**?*

	JA	**NEIN**
Das **aktuell verfügbare Netz an Schnellladesäulen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut**, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Das **aktuell verfügbare Netz an Wasserstofftankstellen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut,** um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Schnellladesäulen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Wasserstofftankstellen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

ANSCHAFFUNGS- UND BETRIEBSKOSTEN

1) *Wo werden sich die **Anschaffungskosten** für **Lkw** bis zum Jahr **2030** hinbewegen? Rechnen Sie mit fallenden oder steigenden Preisen?*

	Steigende Preise	**Fallende Preise**
Lkw mit **Akku-Technologie**	O	O
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	O	O

2) *Bei welcher Technologie erwarten Sie in Bezug auf folgende Aspekte **niedrigere Kosten**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Anschaffungskosten	O	O
Wartungskosten	O	O
Betriebskosten	O	O
Gesamtkosten pro Tonne	O	O

3) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Betriebskosten pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Betriebskosten **2: mittlere** Betriebskosten **3:** die **niedrigsten** Betriebskosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

4) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Vollkosten (TCO) pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Vollkosten **2: mittlere** Vollkosten **3:** die **niedrigsten** Vollkosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

5) *Mit welchen **Vollkosten pro tkm** wird bei den folgenden Technologien Ihrer Ansicht nach im Jahr **2030/2040** zu rechnen sein?*

	Erwartete **Vollkosten** in € **pro tkm** im Jahr **2030**	Erwartete **Vollkosten** in € **pro tkm** im Jahr **2040**
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**€**	**€**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**€**	**€**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoff-zellen-Technologie**	**€**	**€**

FÖRDERUNGEN

1) Die **Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft** (**FFG**) wickelt für die ö. Bundesregierung ein **Fördermodell** für **emissionsfreie Nutzfahrzeuge** inkl. dem Aufbau der **Infrastruktur (ENIN)** ab. Bis **2026** stehen **365 Mio.** Euro bereit. Gefördert werden **80 % der Mehrkosten** für die **Fahrzeugbeschaffung** und **40 %** der **Kosten** für den Aufbau der **Infrastruktur**. *Empfinden Sie diese Förderung als **ausreichend**?*

JA	**NEIN**
O	O

2) ***Wenn „nein“:*** *welche **zusätzlichen Förderungen** wünschen Sie sich von Seiten der österreichischen Bundesregierung und/ oder der EU*?

Antwort:

3) Das deutsche Bundesland NRW unterstützt **Beschaffungsinitiative**n, bei welchen sich Firmen aus dem Transportgewerbe zusammenschließen und gemeinsam **Rahmenverträge mit Lkw-Produzenten (Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie)** abschließen, um durch ein **höheres Bestellvolumen** die **Anschaffungskosten für das einzelne Unternehmen** zu **senken.** *Halten Sie solche Beschaffungsinitiativen für **sinnvoll?***

JA O	**NEIN** O

4) *Sollten solche Beschaffungsinitiativen **auch in Österreich** von **staatlicher Seite unterstützt** werden?*

JA O	**NEIN** O

NETZSTABILITÄT

1) Mit Hilfe der Technologie **V2G** (**Vehicle to Grid**) kann der Strom auch vom Akku des Lkw ins Netz eingespeist werden **(bidirektionales Laden**). Da mit dem Ausbau von Wind- und PV-Anlagen die **Netzauslastung stärken schwanken** wird, werden

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Energieversorger in Zukunft **zeit- bzw. lastvariable Stromtarife** anbieten. Die **Akkus der Lkw** könnten zur **Zwischenspeicherung günstigeren Stroms** verwendet werden. Somit könnten **Betriebe** ihren **Strombedarf selbständig** mit V2G-Ladestationen **ausgleichen**. *Halten Sie V2G für eine **sinnvolle Technologie** bzw. wird Ihr Unternehmen **V2G nutzen**?*

V2G ist eine **sinnvolle Technologie**	Mein Unternehmen wird **V2G nutzen**
JA O **NEIN** O	**JA** O **NEIN** O

ENERGIEVERSORGUNGSSICHERHEIT - STRATEGIEN ZUM AUSBAU VON GRÜNEM STROM UND WASSERSTOFF

1) *Inwieweit glauben Sie, dass Österreich in der Lage sein wird, bis zum Jahr 2040 neben der Industrie und der Luft-/Schifffahrt auch **ausreichende Mengen** an **grünem Wasserstoff** für den **Straßengüterverkehr** zur Verfügung zu haben?*

	JA	**NEIN**
Es wird **nicht genügend grünen Wasserstoff** geben, um auch den **Straßengüterverkehr versorgen zu können**	O	O

2) *Wünschen Sie sich von Seiten der **österreichischen Bundesregierung/der EU** Maßnahmen, um in Österreich bis 2040 **größere Mengen an grünem Strom** bzw. grünem Wasserstoff zur Verfügung zu haben?*

JA	**NEIN**
O	O

Falls „ja“:
Welche Maßnahmen wünschen Sie sich?

Antwort:

3) **Grüner Wasserstoff** kann aus Regionen außerhalb der EU **importiert** werden, **grüner Strom** hingegen nicht. *Sehen Sie darin einen **Vorteil für** die **Versorgung mit Wasserstoff** und damit für einen Umstieg auf **LKW** mit **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**?*

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „nein“:
***Warum** sehen Sie **keinen Vorteil** in der **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie** für Lkw?*

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

UMWELTASPEKTE

1) ***Welche** der beiden **Technologien** führt Ihrer Ansicht nach über den gesamten **Lebenszyklus** zu **weniger Luftschadstoffen**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

2) ***Welche** der beiden **Technologien** hat Ihrer Ansicht nach über die **gesamte Lebensdauer** den niedrigeren **ökologischen Fußabdruck**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

TECHNOLOGISCHE ASPEKTE – PRAKTIKABILITÄT DER TECHNOLOGIEN

1) *Bei **welcher Technologie** erwarten Sie in den kommenden Jahren massive **technologische Fortschritte** hinsichtlich folgender Aspekte?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Reichweite	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Ökologischer Fußabdruck/Verzicht auf seltene/kritische Rohstoffe	O	O O

2) *Wenn Sie alle Überlegungen miteinbeziehen, **welche Technologie** wäre Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** die **sinnvollere?***

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

3) *Wenn Sie alle Überlegungen miteinbeziehen, **welche** der beiden **Technologien** wird sich Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit durchsetzen**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4) *Stellt das **Zuladungsgewicht** bei Lkw mit Akku-Technologie wegen des höheren Eigengewichts Ihrer Ansicht nach ein Problem dar?*

JA	NEIN
O	O

5) *Gibt es irgendeine **Art von Fahrzeug** (Agrar-/Forst-Lkw, Kühl-Lkw etc.), bei der die **Umstellung** auf Akku- bzw. Brennstofftechnologie **besonders schwierig** wäre?*

JA	NEIN
O	O

Wenn „ja“:
***Welche** und **warum**?*

Antwort:

RAHMENBEDINGUNGEN VON SEITEN DER EU UND DER Ö. BUNDESREGIERUNG

1) *Halten Sie die derzeitige **Doppelstrategie der EU** – Investitionen sowohl in den **Ausbau** der **Wasserstoffinfrastruktur** als auch in **Schnellladesäulen** – für den **Güterstraßenverkehr** für sinnvoll oder glauben Sie, die EU-Staaten sollten sich auf eine der beiden Technologien konzentrieren?*

Doppelstrategie sinnvoll	Konzentration auf eine der beiden Technologien sinnvoll
O	O

Wenn Doppelstrategie sinnvoll:
*Worin liegt Ihrer Ansicht nach der **Vorteil der Technologieoffenheit** (Akku/Wasserstoff) zu diesem Zeitpunkt?*

Antwort:

Wenn** Konzentration der Investitionen **auf eine Technologie:
***Welche** sollte das sein?*

Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
O	O

2) **Verbrennungsmotoren** werden in der **EU bei leichten Nutzfahrzeugen** bereits **2035** für Neuzulassungen verboten sein. In **Österreich** ist angedacht, **Diesel-Lkw bis 18t** nur noch bis zum Jahr **2030 neu zulassen** zu dürfen. Bei **schwereren Lkw** steht in **Österreich derzeit** das Jahr **2035** in Diskussion. *Halten Sie diese zeitlichen Vorgaben für **realistisch**?*

JA	NEIN
O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Weshalb realistisch:	**Weshalb nicht** realistisch:

3) *Befürchten Sie **in Zukunft** Maßnahmen von staatlicher Seite, wie Fahrverbote für Diesel-Lkw?*

JA	NEIN
O	O

UMSTIEG AUF NEUE TECHNOLOGIE(N)

1) *Worin liegen Ihrer Ansicht nach die **Vor-** und **Nachteile** der **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** bzw. der **Akku-Technologie**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
Vorteile		
Nachteile		

2) ***Bei welchen** der folgenden **Kriterien** sehen Sie **welche Technologie** zukünftig im Vorteil?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
Gewicht	O	O
Tankzeit	O	O
Reichweite	O	O
Betriebskosten	O	O
Anschaffungskosten	O	O
Ausbau der **Lade-/Tank**infrastruktur	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Verzicht auf seltene/kritische **Rohstoffe**	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

3) ***Welche Technologie*** *erachten Sie bei welchem* ***Einsatzgebiet*** *für* ***zukunftsträchtiger?***

	Akku-Technologie	**Brennstoffzellen-Technologie**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

4) ***Ab wann*** *rechnen Sie mit* ***Akku-Fahrzeugen*** *am Markt, deren* ***Leistung für*** *den* ***Einsatzzweck*** *Ihres Unternehmens ausreichend wäre?*

Ab 2025	**Ab 2030**	**Ab 2035**	**Ab 2040**	**Nie**
O	O	O	O	O

5) ***Ab wann*** *plant Ihr Unternehmen, bei der Neuanschaffung von Lkw auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb (Akku- bzw. Brennstoffzellen-Wasserstoff-Technologie)* ***umzusteigen?***

Im kommenden Jahr	**Bis 2025**	**Bis 2030**	**Derzeit noch gar nicht geplant**
O	O	O	O

6) ***Wenn Umstieg bereits geplant:***
Worauf *wird Ihr Unternehmen voraussichtlich* ***umsteigen?***

Lkw mit Akku-Technologie	**Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**
O	O

7) **Falls Lkw mit Akku-Technologie geplant**:
Plant Ihr Unternehmen, ***eher Lkw*** *mit* ***leistungsstärkerem Akku*** *anzuschaffen, deren* ***Anschaffungskosten höher*** *sind, die aber auch eine* ***höhere Reichweite*** *haben,* ***oder*** *setzt Ihr Unternehmen auf Lkw mit* ***geringerer Reichweite*** *und* ***niedrigeren Anschaffungskosten****?*

	Höhere Reichweite/höhere Anschaffungskosten	**Geringere Reichweite/niedrigere Anschaffungskosten**
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

8) ***Wenn Umstieg noch nicht geplant:***
Was ***hält Ihr Unternehmen davon ab****, schon jetzt* ***bei der Neuanschaffung von Lkw auf solche mit alternativem Antrieb*** *(Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie)* ***umzusteigen?***

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

	JA	NEIN
Anschaffungskosten	O	O
Betriebskosten	O	O
Reichweite	O	O
Lade-/Tankvorgang	O	O
Zweifel an der **Dichte** und **Leistungsfähigkeit** des zukünftigen **Netzes** an Strom- und Wasserstofftank-stellen	O	O
Zu **geringe Förderungen**	O	O
Unsicherheit, welche **Technologie** sich **durchset-zen** wird	O	O
Zweifel an der **ausreichenden Versorgung** mit **Strom/Wasserstoff**	O	O
Kosten eines **Akkutauschs**	O	O

9) Wenn Umstieg noch nicht geplant:

*Welche **Rahmenbedingungen** müssten gegeben sein bzw. verbessert werden, bevor **Ihr Unter-nehmen** auf **Lkw mit Akku**- bzw. **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** umsteigt?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Von Seiten der Bundesregierung		
Von Seiten der EU		
Von Seiten der Lkw Produzenten		
Sonstiges:		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

*10) Halten Sie die **Umrüstung** herkömmlicher Diesel-Lkw auf **Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**, wie sie derzeit beispielsweise von dem deutschen Startup Quantron (Haller Nutzfahrzeuge) angeboten wird, für **sinnvoll** bzw. wäre eine **Adaption** der Diesel-Lkw **in Ihrem Unternehmen** für Sie **denkbar**?*

	Umrüstung allgemein **sinnvoll**	**Umrüstung** für unser Unternehmen **denkbar**
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Akku**-Technologie	O	O
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Wasserstoff**-Brennstoffzellen-Technologie	O	O

*11) Glauben Sie, dass der **Großteil der** Unternehmen des Transport-/Güterbeförderungsgewerbes bereits **vor** dem Jahr **2035 freiwillig** beim **Neukauf auf** Lkw mit **Akku-/Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umstellen** wird?*

JA	**NEIN**
O	O

*12) **Welches Jahr** wäre Ihrer Ansicht nach für **die komplette Umstellung der Flotte realistisch?***

	Jahr der Umstellung
In Ihrem Unternehmen	
Allgemein im Transport-/Güterbeförderungsgewerbe in Österreich	

SONSTIGE ASPEKTE

1) *Inwieweit stimmen Sie folgenden **Aussagen für die Zukunft** zu?*

	JA	**NEIN**
Der **Güterverkehr** wird sich stärker **auf** die **Schiene** verlagern.	O	O
Der **Straßengüterverkehr** wird **abnehmen.**	O	O
Im **Straßengüterverkehr** wird mit **höheren Kosten** zu rechnen sein.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

6. Fragebogen: Fuhrparkmanagement

Diplomarbeit an der Fakultät für Architektur und Raumplanung; Forschungsbereich Verkehrssystemplanung

„Wasserstoff-Brennstoffzellen- und Akku-Technologie im Straßengüterverkehr – Ein Vergleich in Bezug auf deren Umweltfreundlichkeit und Praxistauglichkeit“

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu den Themenbereichen Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie und Akku-Technologie, die in Zukunft den Straßengüterverkehr bestimmen sollen, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Bitte beantworten Sie die Fragen, indem Sie bei Ankreuzbeispielen ein „X“ neben den zutreffenden Kreis setzen. Für die Beantwortung offener Fragen ist jeweils im Anschluss an die Frage Platz. Sie können den Fragebogen entweder ausdrucken und händisch ausfüllen oder Sie beantworten die Fragen direkt in dieser Datei und mailen ihn anschließend zurück.
Herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit und Unterstützung.

LADEINFRASTRUKTUR – AUFBAU UND NUTZUNG

1) *Sehen Sie die (Nicht)**Verfügbarkeit** einer ausreichenden Zahl von Ladesäulen für Akku-Lkw bzw. **Wasserstofftankstellen** für Lkw mit Brennstoffzellen-Technologie entlang der Routen als große **Hürde beim Umstieg** an?*

JA	NEIN
O	O

2) *Ist die **Ladeinfrastruktur** in den folgenden Regionen Ihrer Ansicht nach bereits **gut ausgebaut**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie
Österreichische Autobahnen	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Österreichische **Freilandstraßen**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O
Städte in Österreich	JA O NEIN O	JA O NEIN O
Deutschland	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Restliche **EU-Länder**	JA O NEIN. O	JA O NEIN O
Länder **außerhalb** der **EU**	JA O NEIN O	JA O NEIN. O

3) ***Rechnen sich Schnellladesäulen an Logistik-Hubs?***

JA	NEIN
O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

4) *Planen Sie, eine **eigene Ladeinfrastruktur** am Hof zu errichten?*

	JA	NEIN
Ladesäule für Lkws mit Akkutechnologie	O	O
Wasserstofftankstelle	O	O

5) *Rechnen Sie **mit Problemen,** wenn **die Akkus** aller **LKW frühmorgens zugleich geladen** werden müssen?*

JA	NEIN
O	O

6) ***Welche Lade-/Tankinfrastruktur wird Ihr Unternehmen voraussichtlich in Anspruch nehmen**?*

Öffentlich zugängige Ladesäulen/Wasserstofftankstellen **entlang der Route**	O
Ladesäulen/Wasserstofftankstellen **bei Umschlags- und Verteilzentren**	O
Ladesäulen/Wasserstofftankstellen **bei Verlade- und Abladestellen**	O
Anderswo: Wo genau?	O

7) Technisch gesehen wäre ein **Induktionsladen** bei den eigenen Filialen, die beliefert werden, möglich. *Erachten Sie das Laden des Akkus über Induktionsplatten am Parkplatz während der Liefertätigkeit als sinnvoll und praktikabel?*

JA	NEIN
O	O

8) Von verschiedener Seite wird darauf hingewiesen, dass der **Fahrer** seine **Pausen** nutzen kann, um währenddessen seinen **Akku-Lkw** aufzuladen. *Glauben Sie, dass sich das in der Praxis leicht umsetzen lässt?*

JA	NEIN
O	O

Wenn „nein“: Was spricht dagegen?

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

9) Das **Zwischenladen** in den **Lenkpausen** setzt voraus, dass auf den **Rastplätzen** Ladesäulen frei sind. *Glauben Sie, dass die **Infrastruktur ausreicht**, oder denken Sie, dass der Fahrer zusätzliche Pausen machen müsste*?

	JA	**NEIN**
Ladeinfrastruktur reicht für Laden während Ruhepause	O	O
Fahrer müsste **zusätzliche Pausen** machen	O	O

10) Einige Mitglieder des Europäischen Parlaments halten **eine Änderung der EU-Lenk- und Ruhezeitregeln** für notwendig, damit **Fahrer** die **aufgeladenen Lkw sofort wegfahren** können, auch wenn sie damit ihre 45minütige Ruhezeit unterbrechen. Damit soll **verhindert** werden, dass die **Ladesäulen** länger als notwendig blockiert werden. *Halten Sie ein solches Vorgehen für **sinnvoll**?*

JA	**NEIN**
O	O

11) *Erachten Sie die bisherigen **Einigungen**/Beschlüsse/Richtlinien der **EU** hinsichtlich des **Infrastrukturausbaus** (bis 2026 im **TEN-T-Kernnetz** alle 60 km eine **Schnellladesäule**, alle 100 km eine **Wasserstofftankstelle**) für **ausreichend***, wenn man bedenkt, dass aufgrund der geringeren Reichweite bei Lkw mit Akku-Technologie mit häufigeren Tankstopps zu rechnen ist und der Ladevorgang selbst im Vergleich zu Verbrennern länger dauert?

JA	**NEIN**
O	O

12) ***Wenn „nein“:***
*Welche **Dichte** an **Schnellladesäulen/Wasserstofftankstellen** wäre Ihrer Ansicht nach **sinnvoll**?*

Antwort:

13) *Ist es Ihrer Ansicht nach wahrscheinlich, dass die **Mitgliedsstaaten** den vom Europäischen Parlament vorgegebenen **Zeitplan** für den **Infrastrukturausbau** entlang der **TEN-T-Kernnetze einhalten** werden?*

JA	**NEIN**
O	O

14) *Inwieweit stimmen Sie den **folgenden Aussagen zu**?*

	JA	**NEIN**
Das **aktuell verfügbare Netz an Schnellladesäulen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut**, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Das **aktuell verfügbare Netz an Wasserstofftankstellen** für Lkw ist ausreichend **gut ausgebaut,** um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Schnellladesäulen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O
Das Netz an **Wasserstofftankstellen** für Lkw wird **bis 2040** ausreichend **gut ausgebaut** sein, um einen praktikablen Betrieb zu ermöglichen.	O	O

ANSCHAFFUNGS- UND BETRIEBSKOSTEN

1) *Wo werden sich die **Anschaffungskosten** für **Lkw** bis zum Jahr **2030** hinbewegen? Rechnen Sie mit fallenden oder steigenden Preisen?*

	Steigende Preise	**Fallende Preise**
Lkw mit **Akku-Technologie**	O	O
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	O	O

2) *Bei welcher Technologie erwarten Sie in Bezug auf folgende Aspekte **niedrigere Kosten**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Anschaffungskosten	O	O
Wartungskosten	O	O
Betriebskosten	O	O
Gesamtkosten pro Tonne	O	O

3) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Betriebskosten pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Betriebskosten **2: mittlere** Betriebskosten **3:** die **niedrigsten** Betriebskosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

4) *Bitte **ordnen** Sie die folgenden drei Technologien nach der von Ihnen erwarteten Höhe der **Vollkosten (TCO) pro tkm**:*

	1: die **höchsten** Vollkosten **2: mittlere** Vollkosten **3:** die **niedrigsten** Vollkosten
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**Nr.:**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**Nr.:**

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Nr.:**

5) *Mit welchen **Vollkosten pro tkm** wird bei den folgenden Technologien Ihrer Ansicht nach im Jahr **2030/2040** zu rechnen sein?*

	Erwartete **Vollkosten** in € **pro tkm** im Jahr **2030**	Erwartete **Vollkosten** in € **pro tkm** im Jahr **2040**
Lkw mit **Verbrennungsmotoren**	**€**	**€**
Lkw mit **Akku-Technologie**	**€**	**€**
Lkw mit **Wasserstoff-Brennstoff-zellen-Technologie**	**€**	**€**

FÖRDERUNGEN

1) Die **Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft** (**FFG**) wickelt für die ö. Bundesregierung ein **Fördermodell** für **emissionsfreie Nutzfahrzeuge** inkl. dem Aufbau der **Infrastruktur (ENIN)** ab. Bis **2026** stehen **365 Mio.** Euro bereit. Gefördert werden **80 % der Mehrkosten** für die **Fahrzeugbeschaffung** und **40 %** der **Kosten** für den Aufbau der **Infrastruktur**. *Empfinden Sie diese Förderung als **ausreichend**?*

JA	**NEIN**
O	O

2) ***Wenn „nein“:*** *welche **zusätzlichen Förderungen** wünschen Sie sich von Seiten der österreichischen Bundesregierung und/ oder der EU*?

Antwort:

3) Das deutsche Bundesland NRW unterstützt **Beschaffungsinitiativen**, bei welchen sich Firmen aus dem Transportgewerbe zusammenschließen und gemeinsam **Rahmenverträge mit Lkw-Produzenten (Akku- und Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie)** abschließen, um durch ein **höheres Bestellvolumen** die **Anschaffungskosten für das einzelne Unternehmen** zu **senken.** *Halten Sie solche Beschaffungsinitiativen für **sinnvoll?***

JA O	**NEIN** O

4) *Sollten solche Beschaffungsinitiativen **auch in Österreich** von **staatlicher Seite unterstützt** werden?*

JA O	**NEIN** O

NETZSTABILITÄT

1) Mit Hilfe der Technologie **V2G** (**Vehicle to Grid**) kann der Strom auch vom Akku des Lkw ins Netz eingespeist werden **(bidirektionales Laden**). Da mit dem Ausbau von Wind- und PV-Anlagen die **Netzauslastung stärken schwanken** wird, werden

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Energieversorger in Zukunft **zeit- bzw. lastvariable Stromtarife** anbieten. Die **Akkus der Lkw** könnten zur **Zwischenspeicherung günstigeren Stroms** verwendet werden. Somit könnten **Betriebe** ihren **Strombedarf selbständig** mit V2G-Ladestationen **ausgleichen**. *Halten Sie V2G für eine **sinnvolle Technologie** bzw. wird Ihr Unternehmen **V2G nutzen**?*

V2G ist eine **sinnvolle Technologie**	Mein Unternehmen wird **V2G nutzen**
JA O **NEIN** O	**JA** O **NEIN** O

ENERGIEVERSORGUNGSSICHERHEIT - STRATEGIEN ZUM AUSBAU VON GRÜNEM STROM UND WASSERSTOFF

1) *Inwieweit glauben Sie, dass Österreich in der Lage sein wird, bis zum Jahr 2040 neben der Industrie und der Luft-/Schifffahrt auch **ausreichende Mengen** an **grünem Wasserstoff** für den **Straßengüterverkehr** zur Verfügung zu haben?*

	JA	**NEIN**
Es wird **nicht genügend grünen Wasserstoff** geben, um auch den **Straßengüterverkehr versorgen zu können**	O	O

2) *Wünschen Sie sich von Seiten der **österreichischen Bundesregierung/der EU** Maßnahmen, um in Österreich bis 2040 **größere Mengen an grünem Strom** bzw. grünem Wasserstoff zur Verfügung zu haben?*

JA	**NEIN**
O	O

Falls „ja“:
Welche Maßnahmen wünschen Sie sich?

Antwort:

3) **Grüner Wasserstoff** kann aus Regionen außerhalb der EU **importiert** werden, **grüner Strom** hingegen nicht. *Sehen Sie darin einen **Vorteil für** die **Versorgung mit Wasserstoff** und damit für einen Umstieg auf **LKW** mit **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie**?*

JA	**NEIN**
O	O

Wenn „nein“:
***Warum** sehen Sie **keinen Vorteil** in der **Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie** für Lkw?*

Antwort:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

UMWELTASPEKTE

1) ***Welche** der beiden **Technologien** führt Ihrer Ansicht nach über den gesamten **Lebenszyklus** zu **weniger Luftschadstoffen**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

2) ***Welche** der beiden **Technologien** hat Ihrer Ansicht nach über die **gesamte Lebensdauer** den niedrigeren **ökologischen Fußabdruck**?*

Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**	**Beide** Technologien sind **gleichwertig**
O	O	O

TECHNOLOGISCHE ASPEKTE – PRAKTIKABILITÄT DER TECHNOLOGIEN

1) *Bei **welcher Technologie** erwarten Sie in den kommenden Jahren massive **technologische Fortschritte** hinsichtlich folgender Aspekte?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Reichweite	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Ökologischer Fußabdruck/Verzicht auf seltene/kritische Rohstoffe	O	O O

2) *Wenn Sie alle Überlegungen miteinbeziehen, **welche Technologie** wäre Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit** die **sinnvollere?***

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

3) *Wenn Sie alle Überlegungen miteinbeziehen, **welche** der beiden **Technologien** wird sich Ihrer Ansicht nach in Bezug auf deren **Praxistauglichkeit** und **Umweltfreundlichkeit durchsetzen**?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Praxistauglichkeit	O	O
Umweltfreundlichkeit	O	O

4) *Stellt das **Zuladungsgewicht** bei Lkw mit Akku-Technologie wegen des höheren Eigengewichts Ihrer Ansicht nach ein Problem dar?*

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

JA	NEIN
O	O

5) *Gibt es irgendeine **Art von Fahrzeug** (Agrar-/Forst-Lkw, Kühl-Lkw etc.), bei der die **Umstellung** auf Akku- bzw. Brennstofftechnologie **besonders schwierig** wäre?*

JA	NEIN
O	O

Wenn „ja“:
***Welche** und **warum**?*

Antwort:

RAHMENBEDINGUNGEN VON SEITEN DER EU UND DER Ö. BUNDESREGIERUNG

1) *Halten Sie die derzeitige **Doppelstrategie der EU** – Investitionen sowohl in den **Ausbau** der **Wasserstoffinfrastruktur** als auch in **Schnellladesäulen** – für den **Güterstraßenverkehr** für sinnvoll oder glauben Sie, die EU-Staaten sollten sich auf eine der beiden Technologien konzentrieren?*

Doppelstrategie sinnvoll	Konzentration auf eine der beiden Technologien sinnvoll
O	O

Wenn Doppelstrategie sinnvoll:
*Worin liegt Ihrer Ansicht nach der **Vorteil der Technologieoffenheit** (Akku/Wasserstoff) zu diesem Zeitpunkt?*

Antwort:

Wenn** Konzentration der Investitionen **auf eine Technologie:
***Welche** sollte das sein?*

Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
O	O

2) **Verbrennungsmotoren** werden in der **EU bei leichten Nutzfahrzeugen** bereits **2035** für Neuzulassungen verboten sein. In **Österreich** ist angedacht, **Diesel-Lkw bis 18t** nur noch bis zum Jahr **2030 neu zulassen** zu dürfen. Bei **schwereren Lkw** steht in **Österreich derzeit** das Jahr **2035** in Diskussion. *Halten Sie diese zeitlichen Vorgaben für **realistisch**?*

JA	NEIN
O	O
Weshalb realistisch:	**Weshalb nicht** realistisch:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3) *Befürchten Sie **in Zukunft** Maßnahmen von staatlicher Seite, wie Fahrverbote für Diesel-Lkw?*

JA	NEIN
O	O

UMSTIEG AUF NEUE TECHNOLOGIE(N)

1) *Worin liegen Ihrer Ansicht nach die **Vor-** und **Nachteile** der **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** bzw. der **Akku-Technologie**?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
Vorteile		
Nachteile		

2) ***Bei welchen** der folgenden **Kriterien** sehen Sie **welche Technologie** zukünftig im Vorteil?*

	Akku-Technologie	Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie
Gewicht	O	O
Tankzeit	O	O
Reichweite	O	O
Betriebskosten	O	O
Anschaffungskosten	O	O
Ausbau der **Lade-/Tank**infrastruktur	O	O
Energieverbrauch/Wirkungsgrad	O	O
Verzicht auf seltene/kritische **Rohstoffe**	O	O

3) ***Welche Technologie** erachten Sie bei welchem **Einsatzgebiet** für **zukunftsträchtiger?***

	Akku-Technologie	Brennstoffzellen-Technologie
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4) ***Ab wann** rechnen Sie mit **Akku-Fahrzeugen** am Markt, deren **Leistung für** den **Einsatzzweck** Ihres Unternehmens ausreichend wäre?*

Ab 2025	Ab 2030	Ab 2035	Ab 2040	Nie
O	O	O	O	O

5) ***Ab wann** plant Ihr Unternehmen, bei der Neuanschaffung von Lkw auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb (Akku- bzw. Brennstoffzellen-Wasserstoff-Technologie) **umzusteigen?***

Im kommenden Jahr	Bis 2025	Bis 2030	Derzeit noch gar nicht geplant
O	O	O	O

6) ***Wenn Umstieg bereits geplant:***
Worauf** wird Ihr Unternehmen voraussichtlich **umsteigen?

Lkw mit Akku-Technologie	Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie
O	O

7) **Falls Lkw mit Akku-Technologie geplant**:
*Plant Ihr Unternehmen, **eher Lkw** mit **leistungsstärkerem Akku** anzuschaffen, deren **Anschaffungskosten höher** sind, die aber auch eine **höhere Reichweite** haben, **oder** setzt Ihr Unternehmen auf Lkw mit **geringerer Reichweite** und **niedrigeren Anschaffungskosten**?*

	Höhere Reichweite/höhere Anschaffungskosten	Geringere Reichweite/niedrigere Anschaffungskosten
Nahverkehr (innerstädtisch) bis 50 km	O	O
Regionalverkehr bis 150 km	O	O
Fernverkehr über 150 km	O	O

8) ***Wenn Umstieg noch nicht geplant:***
*Was **hält Ihr Unternehmen davon ab**, schon jetzt **bei der Neuanschaffung von Lkw auf solche mit alternativem Antrieb** (Akku- oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie) **umzusteigen?***

	JA	NEIN
Anschaffungskosten	O	O
Betriebskosten	O	O
Reichweite	O	O
Lade-/Tankvorgang	O	O
Zweifel an der **Dichte** und **Leistungsfähigkeit** des zukünftigen **Netzes** an Strom- und Wasserstofftankstellen	O	O
Zu **geringe Förderungen**	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Unsicherheit, welche **Technologie** sich **durchsetzen** wird	O	O
Zweifel an der **ausreichenden Versorgung** mit **Strom/Wasserstoff**	O	O
Kosten eines **Akkutauschs**	O	O

9) ***Wenn Umstieg noch nicht geplant:***

*Welche **Rahmenbedingungen** müssten gegeben sein bzw. verbessert werden, bevor **Ihr Unternehmen** auf **Lkw mit Akku**- bzw. **Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie** umsteigt?*

	Akku-Technologie	**Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**
Von Seiten der Bundesregierung		
Von Seiten der EU		
Von Seiten der Lkw Produzenten		
Sonstiges:		

10) *Halten Sie die **Umrüstung** herkömmlicher Diesel-Lkw auf **Akku- bzw. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie**, wie sie derzeit beispielsweise von dem deutschen Startup Quantron (Haller Nutzfahrzeuge) angeboten wird, für **sinnvoll** bzw. wäre eine **Adaption** der Diesel-Lkw **in Ihrem Unternehmen** für Sie **denkbar**?*

	Umrüstung allgemein **sinnvoll**	**Umrüstung** für unser Unternehmen **denkbar**
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Akku**-Technologie	O	O
Umrüstung Diesel-Lkw **in Lkw** mit **Wasserstoff**-Brennstoffzellen-Technologie	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

11) *Glauben Sie, dass der **Großteil der** Unternehmen des Transport-/Güterbeförderungsgewerbes bereits **vor** dem Jahr **2035 freiwillig** beim **Neukauf auf** Lkw mit **Akku-/Wasserstoff-Brennstoffzellen-Technologie umstellen** wird?*

JA	NEIN
O	O

12) ***Welches Jahr** wäre Ihrer Ansicht nach für **die komplette Umstellung der Flotte realistisch?***

	Jahr der Umstellung
In Ihrem Unternehmen	
Allgemein im Transport-/Güterbeförderungsgewerbe in Österreich	

SONSTIGE ASPEKTE

1) *Inwieweit stimmen Sie folgenden **Aussagen für die Zukunft** zu?*

	JA	NEIN
Der **Güterverkehr** wird sich stärker **auf** die **Schiene** verlagern.	O	O
Der **Straßengüterverkehr** wird **abnehmen.**	O	O
Im **Straßengüterverkehr** wird mit **höheren Kosten** zu rechnen sein.	O	O

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.