

Working Paper Sustainability and Innovation
No. S 05/2019



Philipp Kluschke
Maren Uebel
Martin Wietschel

Alternative Antriebe im straÙengebundenen
Schwerlastverkehr: eine quantitative Ermitt-
lung der Nutzeranforderungen an schwere
Lkw und deren Infrastruktur

Fördervermerk

Diese Studie entstand innerhalb des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Kopernikus-Projekt „Systemintegration“: Energiewende-Navigationssystem (ENavi) (Förderkennzeichen 03SFK4N0) sowie im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Projekts eWayBW (Förderkennzeichen 16EM3167-1).

Kurzfassung

Angesichts des Klimawandels werden Maßnahmen zur CO₂-Reduktion dringend benötigt und viel diskutiert. Der Verkehrssektor spielt dabei mit einem Anteil von etwa 20 % an den Gesamt-CO₂-Emissionen in Deutschland eine zentrale Rolle. Neben Pkw sind vor allem schwere Lkw im Güterfernverkehr durch hohe Fahrleistungen und hohen Energieverbrauch die Hauptverursacher der CO₂-Emissionen. Eine Umstellung der Antriebsstruktur hin zu CO₂-neutralen Technologien in diesem Sektor kann somit einen hohen Beitrag zur Emissionsreduktion und damit zur Umwelt- und Klimaentlastung leisten.

Eine solche Umstellung kann nur erfolgreich sein, wenn sie im Sinne der täglichen Nutzer stattfindet. Um alternative Antriebstechnologien gemäß den Anforderungen von Nutzern im schweren Güterfernverkehr gestalten zu können, werden in dieser Studie Nutzeranforderungen an Fahrzeuge und die Infrastruktur ermittelt und quantifiziert.

Dazu wird aufbauend auf einer qualitativen Untersuchung, in der ökonomische, ökologische und technische Nutzeranforderungen identifiziert wurden, eine quantitative Forschungsmethode angewendet. Hierbei wird in einem ersten Schritt ein webbasierter Fragebogen entworfen und die Datenerhebung durchgeführt. Die erhobenen Daten werden daraufhin deskriptiv und korrelativ analysiert. Insgesamt konnten 70 Teilnehmer bzw. Unternehmen für die Studie gewonnen werden.

Die Analysen zeigen eine hohe Relevanz der ökonomischen Anforderungen, insbesondere die der Gesamtkosten und Zuverlässigkeit. In der Speditions- und Logistikbranche gibt es durch hohen Wettbewerb und Kostendruck kaum finanziellen Spielraum, insbesondere für die Umsetzung umweltfreundlicher Maßnahmen. Bei den ökologischen Nutzeranforderungen gehen die Meinungen der Nutzer stark auseinander. Die Befragung zu Infrastrukturanforderungen ergibt, dass viele Nutzer durchaus bereit sind längere Tank- oder Ladezeiten (zwischen 10 und 30 Minuten) bzw. Umwege (bis zu 20 km) in Kauf zu nehmen.

Insgesamt zeigen sich die Nutzer überwiegend offen und können sich vorstellen auf alternative Antriebe umzusteigen. Regressionsanalysen zeigen, dass Nutzer eher bereit sind auf alternative Antriebe umzusteigen, wenn sie die gesamten Nutzungskosten über die Fahrzeuglebensdauer priorisieren, weil hier alternative Antriebe oft Vorteile durch geringere Energiekosten aufweisen. Die Umsteigebereitschaft sinkt hingegen, wenn sie Investitionen stärker gewichten - alternative

Antriebe sind häufig durch einen höheren Anschaffungspreis charakterisiert. Korrelationsanalysen zeigen zusätzlich, dass größere Unternehmen und Nutzer mit Kenntnissen bezüglich alternativer Antriebe eher umsteigebereit sind.

Inhaltsangabe

1	Einführung.....	2
2	Literaturüberblick	4
3	Methodik und Daten.....	6
3.1	Methodik	6
3.2	Daten	8
4	Ergebnisse.....	9
4.1	Deskriptive Analyse.....	9
4.2	Korrelative Analyse	16
5	Kritische Würdigung.....	20
5.1	Diskussion.....	20
5.2	Limitierungen	23
6	Fazit und Ausblick	25
7	Literaturverzeichnis.....	28

1 Einführung

Beschlüsse bezüglich CO₂-Grenzwerte für Lkw und Busse in nahezu allen Industrienationen sind Zeichen dafür, dass die Bedeutung schwerer Nutzfahrzeuge im Klimaschutz immer mehr in den Fokus rückt. Der durchschnittliche CO₂-Ausstoß schwerer Nutzfahrzeuge muss laut EU-Kommission bis 2030 um 30 % sinken (Europäische Kommission 2019). Besonders der zu 99 % durch Diesel angetriebene schwere Güterfernverkehr ist Verursacher erheblicher Mengen an CO₂-Emissionen (Shell Deutschland Oil GmbH 2016, S. 27). Eine Umstellung auf CO₂-neutrale Alternativen ist zukünftig die einzige Lösung, um trotz ansteigenden Güterverkehrsaufkommens und wirtschaftlichen Wachstums Emissionen zu reduzieren und die gesetzten Grenzwerte einzuhalten.

Die Möglichkeiten für den Einsatz alternativer Antriebe und Kraftstoffe generell und besonders im Segment schwerer Nutzfahrzeuge sind jedoch bis heute umstritten. Neben technischen Gegebenheiten unterscheiden sich vor allem die Anforderungen der Nutzer n Fahrzeug und Infrastruktur von jenen im Segment leichter Nutzfahrzeuge und Pkw. Um im schweren Güterverkehr eine erfolgreiche Umstellung auf alternative Antriebe zu erreichen, bedarf es eines besseren Verständnisses ebendieser Nutzeranforderungen. Um diesbezüglich Transparenz zu schaffen, ist eine nähere Betrachtung der Nutzeranforderungen erforderlich. Die Forschungsfrage dieser Studie lautet demnach:

Welche Nutzeranforderungen im straßengebundenen Schwerlastverkehr Deutschlands gibt es derzeit im Hinblick auf Fahrzeuge und Infrastruktur und wie sind diese Anforderungen ausgeprägt?

Die Arbeit quantifiziert und priorisiert in einem ersten Schritt die Anforderungen der Nutzer schwerer Lkw in der Speditions- und Logistikbranche. Sie basiert dabei auf in Experteninterviews identifizierten Anforderungen, welche sich in technische, ökonomische und ökologische Bereiche einteilen lassen. Besonders Anforderungen bezüglich des Fahrzeuges und der Infrastruktur gilt es besser zu verstehen, um adäquate alternative Antriebstechnologien zu identifizieren und das dazugehörige System in einem zweiten Schritt geeignet entwerfen und modellieren zu können.

Das Arbeitspapier lässt sich in sechs Kapitel unterteilen. Nach der Einordnung in die bestehende Literatur werden das methodische Vorgehen und der Datenerhebungsprozess erläutert. Die deskriptive und korrelative Datenanalyse und deren

Ergebnisse werden in Kapitel vier vorgestellt. Diese werden in Kapitel fñnf diskutiert. Zusätzlich werden dabei die Limitierungen der Arbeit aufgezeigt. AbschlieÙend erfolgt in Kapitel sechs das Fazit und ein Ausblick iber zukünftigen Forschungsbedarf.

2 Literaturüberblick

Das folgende Kapitel ordnet das Arbeitspapier in die bestehende Literatur ein. Es existieren zahlreiche Studien zum Thema Nutzeranforderungen an alternative Antriebe, die meisten Arbeiten unterscheiden sich jedoch in einem der drei Aspekte: Transport- bzw. Fahrzeugsegment, Art der Technologie oder methodische Herangehensweise.

Die Mehrheit der Forschungsarbeiten untersucht Anforderungen und Adoptionsverhalten im Pkw-Segment. Nur wenige Studien thematisieren Nutzeranforderungen speziell im schweren Nutzfahrzeug-Segment. Hackbarth und Madlener (2013) untersuchen die Präferenzen von Kunden bei der Auswahlentscheidung für alternative Antriebe in Privat- Pkw in Deutschland. Die wichtigsten Auswahlkriterien sind demnach hohe Kraftstoffeffizienz, Emissionsreduktion und die Fahrzeugreichweiten. Eine Studie, die das Segment der Nutzfahrzeuge untersucht, wurde von Golob et al. (1997) durchgeführt. Sie analysieren Präferenzen für alternative Antriebstechnologien in großen Automobilflotten inklusive leichter Nutzfahrzeuge. Sie kommen zum Ergebnis, dass Nutzer in verschiedenen Märkten verschiedene Präferenzen haben. Demnach sind Kapitalkosten öffentlichen Flottenbetreibern wichtiger, während private Flotten vermehrt operative und praktische Aspekte priorisieren. Beide Nutzergruppen gewichten Fahrzeugreichweite und Tankstellenverfügbarkeit stark.

Bezüglich der Art der Technologie wurden nur wenige Studien zu Anforderungen und Präferenzen bezüglich alternativer Antriebe *allgemein* im schweren Nutzfahrzeug-Segment durchgeführt. Die meisten Forschungsarbeiten untersuchen einzelne alternative Antriebe, oftmals Brennstoffzellen- oder batterieelektrische Fahrzeuge. Eine Forschungsarbeit, die Kundenpräferenzen für Brennstoffzellentechnologie in Nutzfahrzeugen untersucht, stammt von Walter et al. (2012). Die Studie identifiziert Präferenzen von Entscheidungsträgern für Straßenkehrmaschinen und kommt zum Ergebnis, dass neuartige Anforderungen wie geräuschfreier und emissionsarmer Betrieb bei Brennstoffzellen-Nutzfahrzeugen in dieser Marktnische eine wichtige Rolle spielen. Eine Studie, die alternative Antriebe *allgemein* untersucht, wurde von Zhang et al. (2019) durchgeführt. Sie analysieren Faktoren, die die Auswahl alternativ angetriebener Nutzfahrzeuge beeinflussen. Die Studie identifiziert positive Zusammenhänge zwischen der Relevanz von Wartungskosten und Imageverbesserungen einerseits und Auswahlbereitschaft andererseits. Negative Zusammenhänge bestehen zwischen Wartungsmöglichkeiten und der Auswahlbereitschaft.

Bezüglich des methodischen Vorgehens kann entweder eine qualitative oder quantitative Forschungsmethode angewendet werden. Oft werden beide Methoden miteinander kombiniert, wobei zuerst eine qualitative Untersuchung erfolgt, auf welcher die quantitative Analyse basiert. Die qualitative Studie, auf die das hiesige Arbeitspapier aufbaut, untersucht in einem ersten Schritt mittels Experteninterviews mit Geschäftsführern oder Fuhrparkleitern von Speditions- und Logistikunternehmen die Nutzeranforderungen im straßengebundenen Schwerlastverkehr. Die darin identifizierten Nutzeranforderungen sollen in einem weiteren Schritt priorisiert und quantifiziert werden. Folgende Nutzeranforderungen wurden im Rahmen der qualitativen Interviews genannt:

1. Ökonomisch
 - Gesamtkosten (TCO)
 - Investition
 - Zuverlässigkeit
 - Verbrauch

2. Technisch
 - Reichweite
 - Infrastruktur
 - Beladungskapazität
 - Kabinenausstattung
 - Leistung
 - Tankdauer
 - Fahrerassistenzsysteme

3. Ökologisch
 - Mauteinstufung
 - Umweltschonung
 - Vermeidung von Fahrverboten
 - Image/Marketing
 - Druck durch Auftraggeber

Besonders technische Aspekte bezüglich Infrastruktur und Fahrzeugeigenschaften werden im Rahmen der quantitativen Methodik des hiesigen Arbeitspapiers fokussiert, um Nutzeranforderungen noch genauer zu erfassen.

3 Methodik und Daten

3.1 Methodik

Aufbauend auf qualitativen Experteninterviews, in denen ökonomische, ökologische und technische Nutzeranforderungen identifiziert wurden, wird im Rahmen dieses Arbeitspapiers eine quantitative Online-Befragung durchgeführt.

Der Fragebogen für die webbasierte Befragung besteht aus fünf Abschnitten und wurde im Hinblick auf die spätere Analyse verfasst, mithilfe derer die Zusammenhänge zwischen den Fahrzeug-Nutzeranforderungen, den Infrastruktur-Nutzeranforderungen und der Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen näher untersucht werden sollen.

Der erste Abschnitt des Fragebogens fragt Unternehmens- und Fuhrparkcharakteristiken sowie den Kenntnisstand bezüglich alternativer Antriebe ab. Dabei sind Einfachauswahlfragen bezüglich der Struktur des Fuhrparks und des Betriebs gestellt. Konkret wird die Anzahl an Fahrzeugen insgesamt und sortiert nach Gewichtsklasse abgefragt. Auch die Art der Beschaffung und die minimale, durchschnittliche und maximale tägliche Fahrleistung werden erfragt. Letztere soll dahingehend Informationen liefern, über wieviel Reichweite ein Fahrzeug mit alternativen Antrieben mindestens verfügen sollte und in welchem Abstand Tankstellen einer entsprechenden Antriebsform verteilt sein sollten. Diesbezüglich liefert auch eine Frage zur Art der ausgeführten Transportaufgabe und der Standzeit der Fahrzeuge Informationen. Abschnitt zwei stellt den Hauptteil des Fragebogens dar und widmet sich der Priorisierung der verschiedenen technischen, ökologischen und ökonomischen Nutzeranforderungen durch zwei Matrixfragen. Die Befragten sollen durch die erste Matrixfrage auf einer 5-Punkte-Skala pro Aspekt angeben, wie wichtig dieser ihnen ist. Es wird unterschieden in wichtig, eher wichtig, teils/teils, weniger wichtig und unwichtig. Die Wahl einer ungeraden Skala begründet sich darin, dass Probanden die Möglichkeit gegeben werden soll, auch eine neutrale Meinung anzugeben. Mit der zweiten Matrixfrage sollen die Befragten noch einmal die fünf Aspekte angeben, welche Ihnen am wichtigsten sind. Dies soll eine klare Angabe erzwingen, welchen Aspekten wirklich hohe Bedeutung zugesprochen wird, da in der ersten Matrixfrage die Möglichkeit besteht, einfach allen Fragen eine hohe Wichtigkeit beizumessen. Abschnitt drei ist sinngemäß Teil zwei zuzuordnen: hier wird erneut abgefragt, wie wichtig Nutzern ökologische, ökonomische und technische Anforderungen im Hinblick auf alternative Antriebe sind und im Unterschied zu Teil zwei soll dabei sieben Aussagen auf

einer 5-Punkte-Skala zugestimmt oder nicht zugestimmt werden. Einige Aussagen stammen von Seitz (2015) und Globisch (2017), andere wurden selbstständig formuliert. In Abschnitt vier des Fragebogens werden Infrastruktur-Anforderungen mittels vier offener Fragen und das Tankverhalten der Nutzer mittels einer Matrixfrage näher untersucht. Dieser Teil ist besonders im Hinblick auf eine spätere Systemmodellierung von großer Bedeutung, da konkrete quantifizierbare Aspekte bezüglich der Infrastruktur abgefragt werden. Der letzte Abschnitt erfasst abschließend unternehmensbezogene Daten, welche teilweise sensibel sind. Aus diesem Grund werden sie am Ende des Fragebogens abgefragt (Schnell et al. 2011, S. 337). Dazu gehört vor allem die Anzahl an Mitarbeitern des Unternehmens und die persönliche Stellenbeschreibung. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Abschnitte des Fragebogens.

Tabelle 1: Überblick über die Fragebogenabschnitte

Abschnitt	Ziel	Fragenanzahl	Skalenniveau
I: Vorselektion / Unternehmensdaten	Zielgruppe identifizieren und grundlegende Infos über Unternehmen erhalten	12 (10 Einfachauswahl, 2 Matrix)	Nominal und ordinal / metrisch
II: Priorisierung der Nutzeranforderungen	Präferenzstruktur der Nutzeranforderungen bestimmen	2 (Matrix)	Ordinal / metrisch
III: Einstellung bezüglich alternativer Antriebe	Einstellung der Nutzer abfragen	1 (Matrix)	Ordinal / metrisch
IV: Ausprägung der technischen Nutzeranforderungen und der Infrastruktur	Ausprägungen technischer Nutzeranforderungen ermitteln	2 (Einfachauswahl, Matrix)	Ordinal / metrisch
V: (Sensible) Unternehmensdaten	Organisationale Infos erhalten	4 (Einfachauswahl)	Nominal und metrisch

3.2 Daten

Nach der Fragebogenerstellung und -implementierung wurde der Fragebogen im Zuge eines Pretests empirisch getestet und entsprechend überarbeitet. Die eigentliche Feldphase des überarbeiteten Fragebogens betrug ca. sechs Wochen und wurde über mehrere Kanäle verteilt. Die Kanäle zur Teilnehmerrekrutierung waren vielseitig. Zum einen wurden die 16 Speditions- und Logistikverbände in ganz Deutschland kontaktiert und gebeten, den Link zur Umfrage an ihre Mitglieder zu versenden oder in ihrem Newsletter zu veröffentlichen. Auch Zeitschriften in der Speditions- und Logistikbranche wurden angeschrieben und um eine Veröffentlichung gebeten. Darüber hinaus wurden einige im Unternehmen bestehende Kontakte direkt angeschrieben, unter anderem die Probanden, die vorab schon an den Experteninterviews teilgenommen hatten. Schlussendlich wurde eine unvollständige Anzahl von Speditionen und Logistikunternehmen in ganz Deutschland per Mail angeschrieben. Nach ein bis zwei Wochen wurde an alle Kontakte eine Erinnerungsmail geschickt.

Bezüglich der Teilnehmerübersicht ist nicht nachvollziehbar, wieviel potenzielle Teilnehmer der Zielgruppe letztlich über die Befragung informiert wurden. Der durch das Online-Tools bereitgestellte Überblick beinhaltet lediglich Informationen darüber, wie oft der Link angeklickt wurde, wieviel Befragungen begonnenen und wieviel letztendlich tatsächlich beendet wurden: Von den 115 potentiellen Teilnehmern in Deutschland, welche dem Hyperlink auf den Fragebogen gefolgt sind, haben 99 Teilnehmer den Fragebogen tatsächlich gestartet. Von diesen 99 Teilnehmern haben schließlich 70 den Fragebogen vollständig beendet. Sieben Teilnehmer, welche den Fragebogen gestartet haben, waren nicht Teil der Zielgruppe (z.B. keine schweren Lkw in eigener Flotte). Folglich basiert die Analyse auf einer Stichprobe von 63 Teilnehmern aus Deutschland. Diese Teilnehmer bestehen zum Großteil aus Geschäftsführern. Des Weiteren nahmen Lkw-Fahrer, Tourendisponenten und Flottenmanager an der Befragung teil.

4 Ergebnisse

Das folgende Kapitel beinhaltet die Analyse und die Ergebnisse der Studie. Die Analyse ist in einen deskriptiven und einen korrelativen Analyseabschnitt aufgeteilt, welche beide unterteilt nach Fragebogenabschnitten erfolgen. In einem ersten Schritt erfolgt die deskriptive Auswertung. Nach einem Überblick zu den wichtigsten Unternehmens- und Fuhrparkcharakteristiken (Abschnitt I und V) werden die Statistiken zu den Fahrzeug-Nutzeranforderungen (Abschnitt II und III) und zu den Infrastruktur-Nutzeranforderungen und Tankverhalten (Abschnitt IV) vorgestellt. Daraufhin wird die korrelative Analyse der Daten beschrieben. Korrelations- und Regressionsanalysen dienen dabei der Ermittlung von Zusammenhängen. Die korrelativen Analyseergebnisse sind erneut in Flotten- und Unternehmenscharakteristiken, Fahrzeug-Nutzeranforderungen und Infrastruktur-Nutzeranforderungen und Tankverhalten untergliedert.

4.1 Deskriptive Analyse

Unternehmens- und Fuhrparkcharakteristiken

Die Stichprobe wurde anhand verschiedener Unternehmenscharakteristiken wie Unternehmensgröße, Art der transportierten Güter, Beschaffungsart und ausgeführte Transportaufgabe untersucht. Bezüglich der Unternehmensgröße bestätigen die Verteilungen den mittelständischen Charakter der Branche: jeweils ein Viertel der teilnehmenden Unternehmen zählen 11 bis 50 Mitarbeiter, ein weiteres Viertel 51 bis 100 und weitere 25 % 101 bis 200 Mitarbeiter. Größere Unternehmen mit 201 bis 3000 Mitarbeiter machen etwa 17 % aus, während nur ein kleiner Teil unter 10 Mitarbeiter zählt und ein noch kleinerer Teil über mehr als 3000 Mitarbeiter verfügt. Bei der Beschaffungsart von schweren Nutzfahrzeugen zeigt sich eine leichte Präferenz für die Finanzierung. Ebenso nutzen viele Organisationen Barzahlung und Leasing. Gemietet werden Fahrzeuge nur in den seltensten Fällen. Mehr als die Hälfte der Unternehmen transportiert vorrangig palettiertes Gut. Auch unverpackte Massengüter sind häufig angegebene Güterarten. In den zusätzlichen Angaben in Form von offenen Antworten sind neben Umzugsgut und Containern oftmals Maschinen erwähnt, welche allesamt streng genommen auch zu nicht palettierten Gütern gezählt werden können. Die Unternehmen führen überwiegend eine Mischung aus verschiedenen Arten von Transportaufgaben aus (Abbildung 1). Diese Mischformen konnten in Form von offenen Angaben näher spezifiziert werden. Die meisten Unternehmen sind demnach

im Güternahverkehr tätig in Kombination mit einer oder mehreren anderen Transportaufgaben. Trampverkehr ist als alleinige Transportaufgabe eines Unternehmens am häufigsten vertreten, ist aber auch häufig als Teil einer Mischform genannt. Das Transportgebiet ist dabei bei über 75 % der Unternehmen national, die restlichen 25 % teilen sich gleichmäßig zwischen regionalem und internationalem Transportgebiet auf.

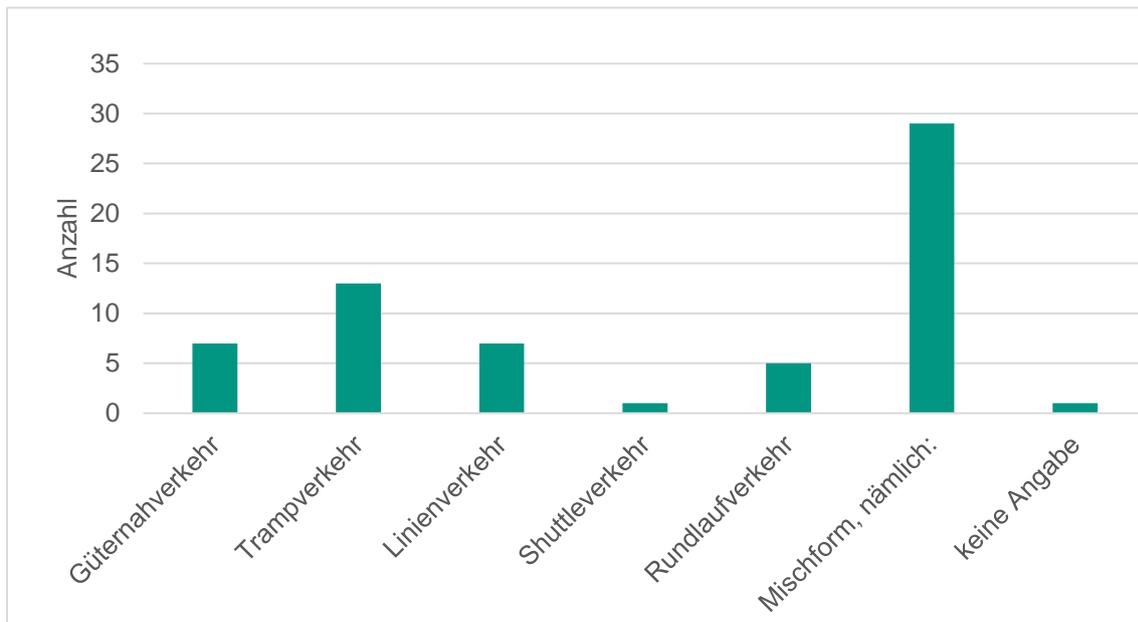


Abbildung 1: Hauptsächliche Transportaufgabe

Die Flotten der teilnehmenden Unternehmen umfassen zu über 50 % weniger als 100 Lkw. Die durchschnittliche Nutzungsdauer der schweren Nutzfahrzeuge beträgt bei 67 % der teilnehmenden Unternehmen zwischen drei und fünf Jahre, etwas weniger nutzen ihr Fahrzeug mehr als fünf Jahre (33 %) und kein Unternehmen nutzt sein Fahrzeug weniger als drei Jahre. Die tägliche Fahrleistung beträgt bei den meisten Nutzern durchschnittlich zwischen 400 und 800 km (Abbildung 2). Ungefähr ein Drittel der Nutzer fahren durchschnittlich 100 bis 400 km. Die wenigsten Teilnehmer fahren mehr als 800 km oder weniger als 100 km. Die Arbeit erfolgt lediglich bei 31 % der Unternehmen im Zweischichtbetrieb, bei den meisten Unternehmen wird nicht im Schichtbetrieb gearbeitet. Das heißt auch, dass die meisten Fahrzeuge über längere Zeiträume stehen. Genauer gesagt beträgt die Standzeit bei 18 % zwischen null und vier Stunden, bei 20 % der teilnehmenden Unternehmen beträgt sie zwischen vier und acht Stunden und bei 62 % zwischen acht und zwölf Stunden.

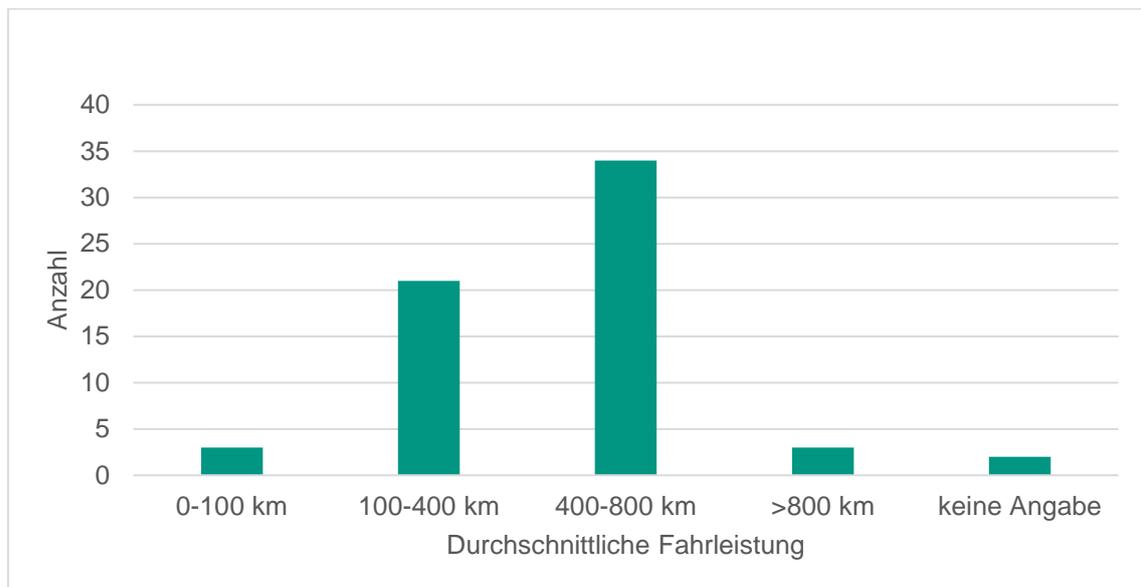


Abbildung 2: Durchschnittliche Fahrleistung

Unterscheidet man den Kenntnisstand bezüglich verschiedener alternativer Antriebsarten ist zu erkennen, dass den meisten Probanden Gas-Lkw am geläufigsten sind. 68 % geben an über diese Antriebsart einiges/viel zu wissen. Auch über Oberleitungs-Hybrid-Lkw besitzen 47 % einige Kenntnisse, über Batterie-Lkw wissen 46 % einiges. Wenig ist bezüglich Brennstoffzellen-Lkw bekannt und fast 40 % haben noch nie etwas von Power-to-Gas-Lkw gehört. Bezüglich des Interesses bzw. des Beschaffungsvorhabens von alternativen Antrieben sieht es dementsprechend ähnlich aus. Hier wurden allerdings nur Probanden durch eine Filterfunktion befragt, wenn sie bei der vorherigen Frage bezüglich des Kenntnisstandes entweder „ja, schon gehört und weiß einiges/viel darüber“ oder „ja, schon gehört, weiß aber nichts/kaum etwas darüber“ angegeben haben. Lediglich Batterie- und Gas-Lkw sind aktuell schon in Besitz einiger Unternehmen, das Interesse an diesen beiden Antrieben fällt dementsprechend hoch aus. Auch an Brennstoffzellen-Lkw sind viele Probanden interessiert, während Oberleitungs-Lkw noch wenig Nutzer interessieren (Abbildung 3).

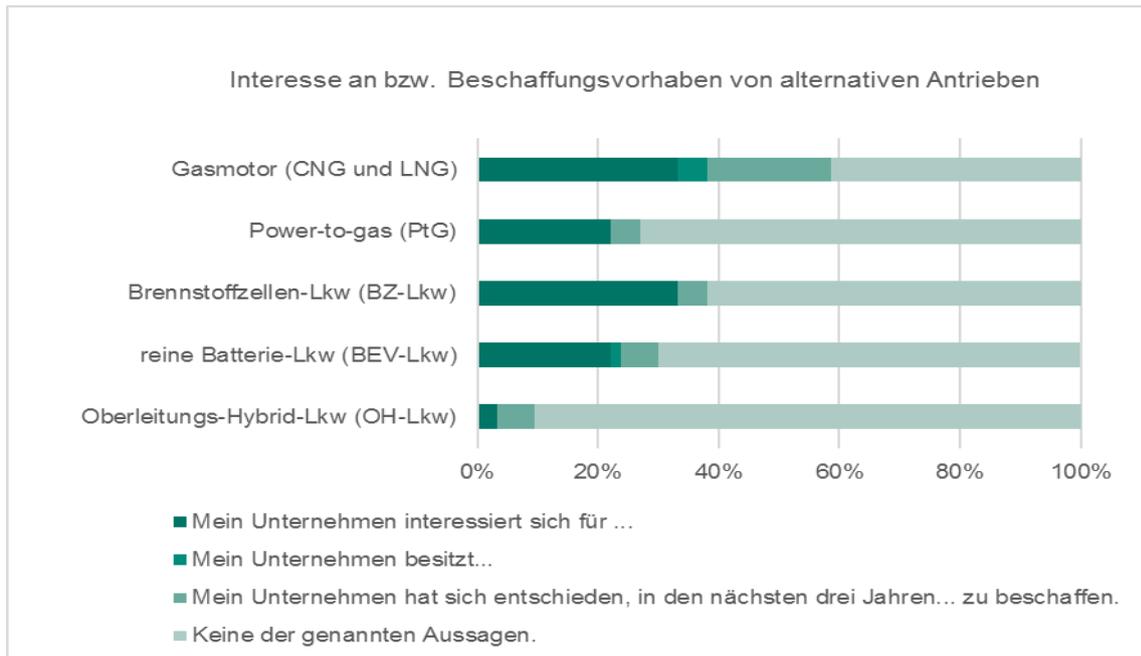


Abbildung 3: Interesse an bzw. Beschaffungsvorhaben von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben

Fahrzeug-Nutzeranforderungen

Der zentrale Teil des Fragebogens identifiziert und quantifiziert die wichtigsten Nutzeranforderungen bezüglich alternativer Antriebstechnologien und des dazugehörigen Systems. Die Probanden können dabei auf einer Skala von wichtig (1) bis unwichtig (5) angeben, wie wichtig ihnen verschiedene Anforderungen sind. Um einen Überblick über die Ergebnisse zu erhalten, sind in Abbildung 4 und 5 das arithmetische Mittel und die Standardabweichung für die Variablen der 16 Nutzeranforderungen dargestellt. Ein niedriger Mittelwert entspricht also einer hohen Bedeutsamkeit der jeweiligen Variable bzw. Anforderung. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Abweichung vom Mittelwert. Eine hohe Standardabweichung spricht also für sehr unterschiedliche Bewertungen (Raab-Steiner und Benesch 2018, S. 108).

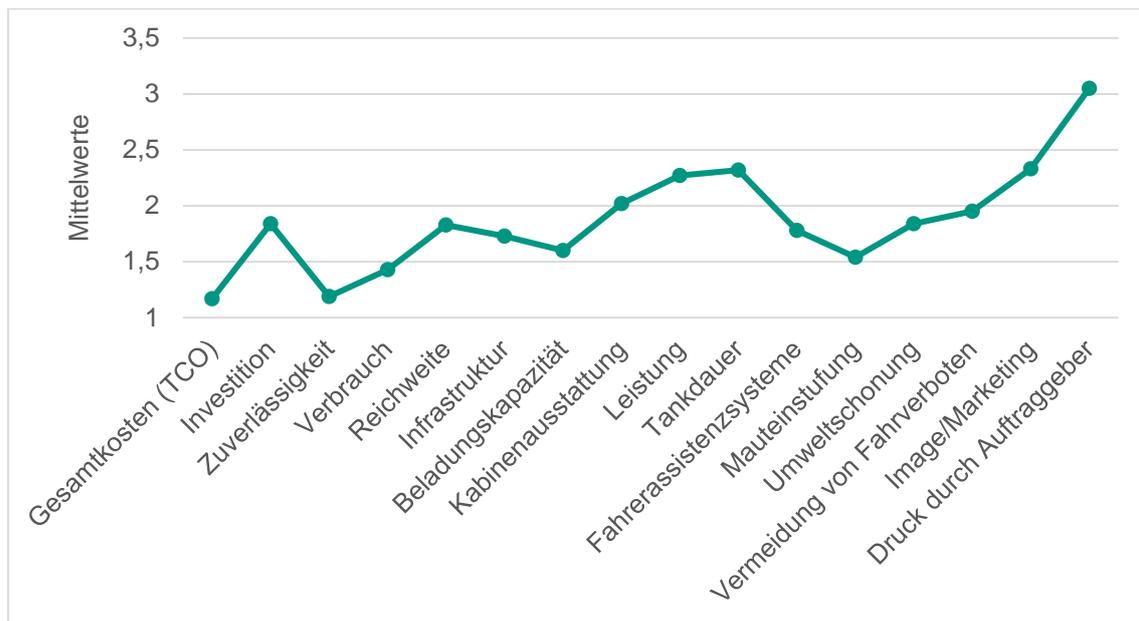


Abbildung 4: Mittelwerte der Relevanz der Nutzeranforderungen

Der geringste Mittelwert ist bei der Nutzeranforderung Gesamtkosten (TCO) zu finden. Auch die drei anderen ökonomischen Anforderungen Verbrauch, Zuverlässigkeit und Investition weisen einen Mittelwert von kleiner als zwei auf. Die Standardabweichungen für die vier ökonomischen Anforderungen fallen im Vergleich zu den anderen zwei Kategorien sehr niedrig aus. Dies spricht dafür, dass sich die Probanden hinsichtlich der Bedeutung der ökonomischen Anforderungen einig sind. Bei der Betrachtung der technischen Anforderungen zeigt sich ein differenzierteres Bild. Reichweite, Infrastruktur und Ladekapazität weisen die geringsten Mittelwerte auf, während Tankdauer und Leistung Mittelwerte über zwei aufweisen. Auch die höheren Standardabweichungen sprechen für eine differenzierte Meinung bezüglich der technischen Anforderungen. Die höchsten Standardabweichungen sind jedoch bei ökologischen Aspekten zu finden. Bezüglich der Mittelwerte sind sehr niedrige Werte bei Mauteinstufung, Umweltschonung und Vermeidung von Fahrverboten zu erkennen. Image/Marketing und Druck durch den Auftraggeber weisen die höchsten Mittelwerte überhaupt auf. Bei der Berechnung der Mittelwerte pro Kategorie ergibt sich für die ökonomischen Anforderungen 1,4, die technischen Anforderungen weisen einen Mittelwert von 1,9 auf und die ökologischen Anforderungen 2,1. Unter Miteinbeziehung der Standardabweichungen ist zusätzlich zu erkennen, dass die Meinung in letzterer Kategorie stark auseinandergehen.

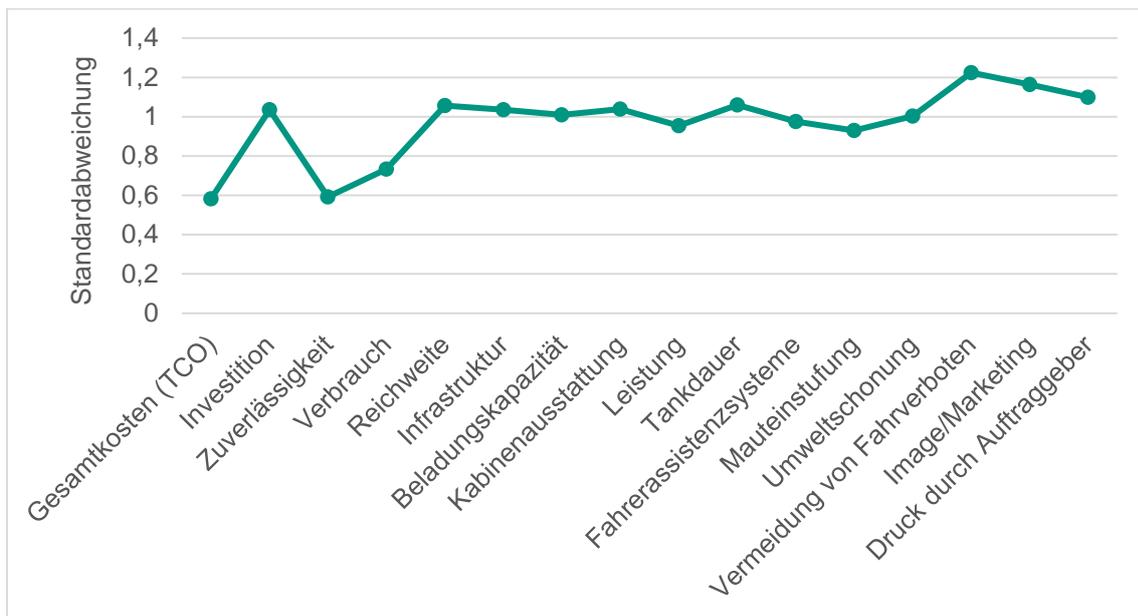


Abbildung 5: Standardabweichung der Relevanz der Nutzeranforderungen

Bei der Untersuchung der Einstellung der Probanden bezuglich alternativer Antriebe anhand von Aussagen ergibt sich ein differenziertes Bild: Die Unternehmen scheinen mit einem Mittelwert von 2,52 tendenziell bereit zu sein, auf alternative Antriebe umzusteigen. 50 % der Befragten stimmen dieser Aussage (eher) zu, während 27 % noch unentschlossen sind. Verbrauchswerte werden mit einem Mittelwert von 1,75 dabei als besonders wichtig angesehen. Die Aussage zur Störungsanfälligkeit eines alternativen Antriebes weist eine hohe Standardabweichung auf, die Probanden bewerten diese Aussage sehr unterschiedlich, aber stimmen tendenziell eher nicht zu. Der Aussage, dass alternative Antriebe aus Klimaschutzgründen von besonderem Interesse für die Unternehmen sind, stimmen hingegen über 50 % zu. Auch der Imagegewinn durch alternative Antriebe wird von über 50 % bestätigt, wobei auch 17 % der Meinung sind, die Nutzung alternativer Antriebe habe keine Wirkung aufs Image (Angabe: weder noch). Dass die aktuelle Infrastruktur und Lade- bzw. Tankdauern alternativer Antriebe nachteilig für die Unternehmen sind, wird beides mal von einer deutlichen Mehrheit bestätigt.

Infrastruktur-Nutzeranforderungen

Ein weiterer wichtiger Teil der Befragung zielt darauf ab, Informationen für die Gestaltung der zukünftigen Infrastruktur alternativer Antriebe zu erhalten. Die Bereitschaft Umwege zu machen, Mindestleistung eines Lkw, Maximaldauer eines Tankvorganges und Mindestreichweite eines Lkw werden anhand offener Fragen

abgefragt. Der Median der Umwege-Bereitschaft liegt bei 20 km. 50 % der Befragten geben einen Wert zwischen 10 und 30 km an. Extremwerte liegen bei 100 km, wobei die Umwegbereitschaft bei einigen Probanden auch bei 0 km liegt (Abbildung 6). Auch der Aspekt der Tank- bzw. Ladedauer ist bei der Systemgestaltung alternativer Antriebe ein wichtiges Kriterium. Der Median der Angaben zur maximalen Länge eines Tankvorgangs liegt in der Stichprobe bei ca. 15 Minuten. Die maximale angegebene Tankdauer beträgt 60 Minuten von einer Person und immerhin fünf Personen würden eine Tankdauer von 45 Minuten akzeptieren. 50 % der Angaben liegen zwischen 10 und 30 Minuten (Abbildung 7). Der Median der Angaben zur minimalen Reichweite eines Lkw liegt bei ca. 800 km. Im Hinblick darauf, dass die meisten Befragten bei der Frage bezüglich der täglichen Fahrleistung 400-800 km angeben, ist dieser Wert nicht überraschend. 50 % der Angaben liegen zwischen 600 und 1000 km, wobei nach oben und unten einige Ausreißer zu finden sind. Die obere Grenze bilden minimale Reichweiten von 2000 km und die untere Grenze liegt bei 300 km.

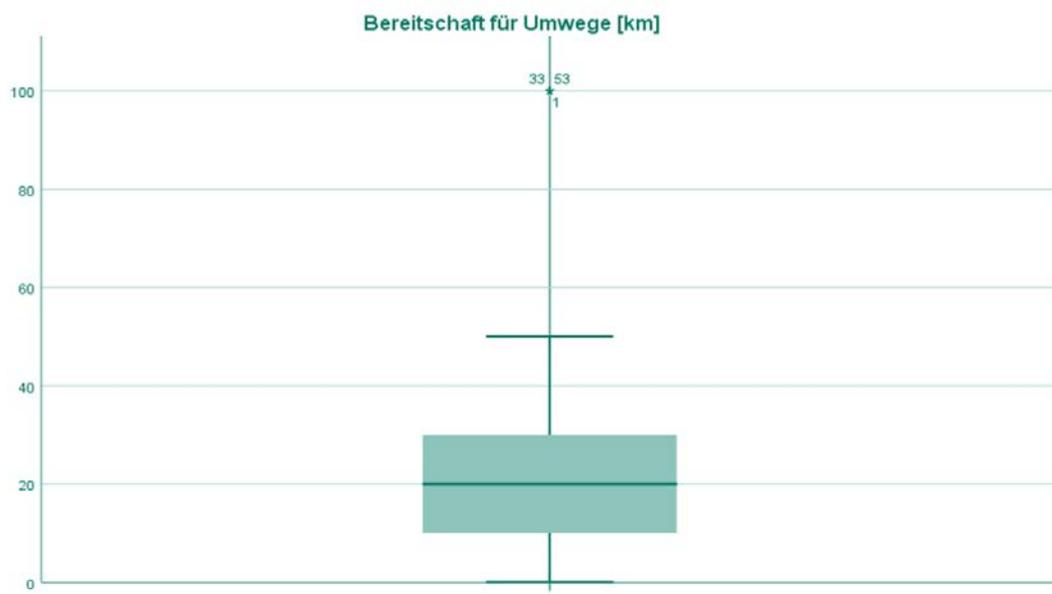


Abbildung 6: Umwege-Bereitschaft in Kilometern

Bezüglich des Tankverhaltens ist zu erkennen, dass eher weniger an öffentlichen Tankstellen getankt wird, sondern vermehrt am Start- oder Zielpunkt einer Fahrt. Dabei wurde nahezu einheitlich die betriebseigene Tankstelle als hauptsächlich genutzte Tankstellenart genannt. Spontane Tankaktionen scheinen eher die Ausnahme zu sein, die Tankstellen sind in den meisten Fällen zumindest bekannt und fast immer wird der Tankvorgang geplant. Getankt wird vor allem je nach Konditionen der genutzten Tankkarte. Außerdem werden häufig die Standzeiten

zwischen den Schichten zum Tanken genutzt und weniger die Pausenzeiten. Die Zahl der vorhandenen Zapfanlagen scheint eine eher kleine Rolle zu spielen. Bezüglich der Länge von Lieferungsfahrten bestätigen sich die Angaben in Abschnitt II zur durchschnittlichen Fahrleistung: die Lieferungsfahrten sind bei den meisten Probanden kürzer als die Reichweite ihrer aktuellen schweren Lkw. Genauer gesagt liegt sie häufig bei unter 600 km. Dabei stoßen die Lkw tendenziell eher aufgrund des limitierten Volumens als aufgrund des Gewichts an ihre Belastungsgrenzen.

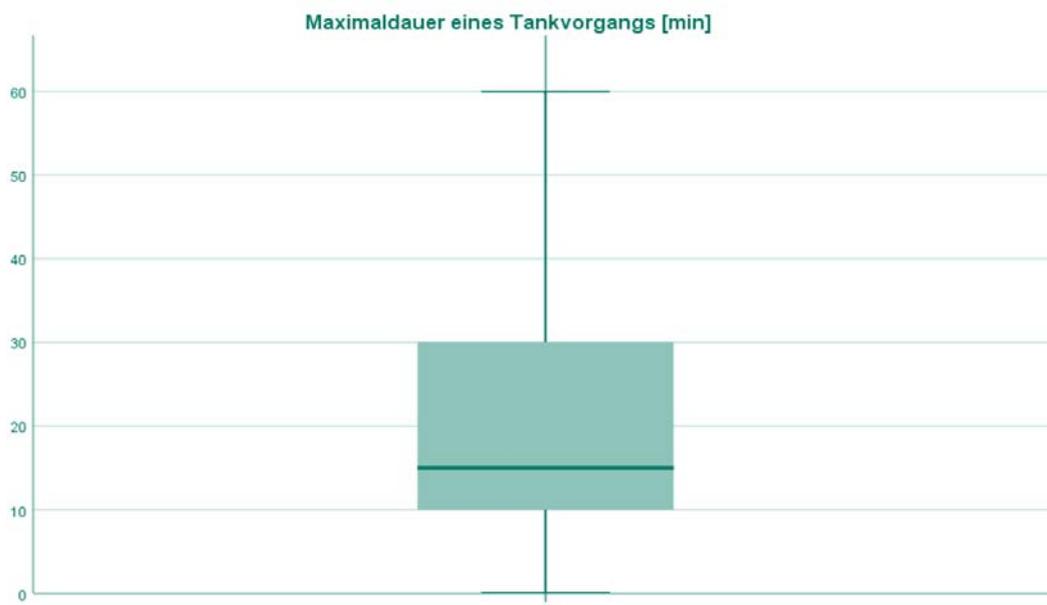


Abbildung 7: Maximaldauer eines Tankvorgangs in Minuten

4.2 Korrelative Analyse

Um die Daten auf Zusammenhänge zu untersuchen, werden Korrelations- und Regressionsanalysen durchgeführt. Besonders Einflüsse auf die Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen sollen dabei genauer analysiert werden. Dieser Einfluss und andere Zusammenhänge werden wiederum unterteilt in die drei Abschnitte Unternehmens- und Fuhrparkcharakteristiken, Nutzeranforderungen und Infrastrukturanforderungen und Tankverhalten vorgestellt.

Bei der Durchführung der korrelativen Analysen ergeben sich einige Zusammenhänge zwischen Unternehmens- und Fuhrparkcharakteristiken und der Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen. Die drei eindeutigsten Zusammenhänge werden im Folgenden vorgestellt.

Unternehmens- und Fuhrparkcharakteristiken

Die Größe der Unternehmen und die Umsteigebereitschaft korrelieren positiv: Größere Unternehmen scheinen eher bereit zu sein auf alternative Antriebe umzusteigen. Dies entspricht einem negativen Korrelationskoeffizienten, da die Skala der Unternehmensgröße von klein (1) bis groß (6) erfolgt und die Umsteigebereitschaft in Richtung 1 bis 6 sinkt. Die Stärke des Zusammenhangs ist mit einem auf dem Niveau von 0,01 signifikanten Korrelationskoeffizienten von -0,4 deutlich. Der zweite durch die Korrelationsanalysen ermittelte Zusammenhang besteht zwischen der durchschnittlichen Fahrleistung und der Umsteigebereitschaft: Nutzer mit höheren Fahrleistungen scheinen eher bereit zu sein auf alternative Antriebe umzusteigen. Der Korrelationskoeffizient beträgt -0,292 und ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant. Der dritte Zusammenhang, welcher sich bei der korrelativen Untersuchung der Daten ergibt, besteht zwischen dem Kenntnisstand der Nutzer bezüglich alternativer Antriebe und der Umsteigebereitschaft: Nutzer mit höherem Kenntnisstand scheinen eher bereit zu sein auf alternative Antriebe umzusteigen. Die Stärke des Zusammenhangs schwankt je nach Antriebstyp, tendenziell besteht dieser jedoch bei allen Antriebstypen.

Betrachtet man die verschiedenen Fahrzeug-Nutzeranforderungen und die Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen, ist die stärkste Korrelation zwischen den ökonomischen Anforderungen und der Umsteigebereitschaft zu erkennen. Mit einem auf dem Niveau von 0,01 signifikanten Korrelationskoeffizienten von 0,42 scheinen die Gesamtkosten sehr stark mit der Umsteigebereitschaft zusammenzuhängen, gefolgt von Zuverlässigkeit mit einem auf dem Niveau von 0,05 signifikanten Koeffizienten von 0,26. Die technischen Anforderungen scheinen keinen großen Zusammenhang mit der Umsteigebereitschaft zu haben. Außer bei Kabinenausstattung ist kein signifikanter Zusammenhang zu erkennen, und auch dieser Zusammenhang ist eher schwach. Unter den ökologischen Anforderungen scheint Mauteinstufung mit einem auf dem Niveau von 0,05 signifikanten Korrelationskoeffizienten von 0,313 mit der Umsteigebereitschaft zusammenzuhängen.

Der Einfluss der verschiedenen Fahrzeug-Nutzeranforderungen auf die Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen wird zusätzlich mittels einer multiplen

linearen Regression näher untersucht. Dabei geht die Variable „Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen“ als abhängige (endogene) Variable ins Modell ein, die verschiedenen Fahrzeug-Nutzeranforderungen aus werden als unabhängige Variablen gehandhabt. Von Interesse ist dabei, welche Art von Nutzeranforderung den größten Einfluss auf die Umsteigebereitschaft hat. Bei etwaigen starken Zusammenhängen sind ebendiese Anforderungen bei einer späteren Modellierung eines Systems besonders zu beachten.

Bei der Durchführung der schrittweisen Regression bezüglich des Einflusses der verschiedenen Nutzeranforderungen auf die Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen in SPSS werden alle exogenen Variablen außer den Gesamtkosten und der Investition ausgeschlossen.

Die Überprüfung des Modells auf Heteroskedastizität fällt negativ aus. Dies wurde anhand einer visuellen Inspektion der Residuen geprüft, indem man diese gegen die prognostizierten (geschätzten) Werte von Y plottet. Dabei wurden die standardisierten Residuen in einem Streudiagramm auf Abhängigkeiten untersucht. Da keine offensichtlichen Strukturen zu erkennen sind, kann die Homoskedastie als gegeben betrachtet werden (Stoetzer 2017, S. 142).

Eine Prüfung auf Autokorrelation der Residuen macht nur bei Zeitreihenuntersuchungen Sinn. Da die Studie den Querschnittuntersuchungen zuzuordnen ist und somit keine natürliche Reihenfolge der Beobachtungen vorliegt, kann auf eine Untersuchung auf Autokorrelation verzichtet werden (Stoetzer 2017, S. 147). Auch Multikollinearität liegt nicht vor. Dies wurde zum einen anhand der Korrelationsmatrix überprüft: die Korrelationskoeffizienten zwischen den Variablen sind alle weit vom Betrag 1 entfernt. Zum anderen wurde auch eine Kollinearitätsdiagnose durchgeführt: Die Konditionszahl, welche ein Maß für die Nähe der Matrix der Beobachtungswerte zum Grenzfall perfekter Multikollinearität ist, liefert Werte weit unter den Schwellenwerten von 20 bzw. 30 (Stoetzer 2017, S. 166). Auch die VIF-Werte (Variance Inflation Factor) liefern mit Werten weit unter dem Schwellenwert von 5 keine Hinweise auf Kollinearität. Bezüglich der Normalverteilung zeigt das Histogramm der unstandardisierten Residuen lediglich eine begrenzte Abweichung der unstandardisierten Residuen von der Normalverteilung. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass mit einer steigenden Bedeutung der Investition die Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen sinkt, was an einem standardisierten Koeffizienten von $-0,263$ zu erkennen ist. Währenddessen steigt mit steigender Bedeutung der Gesamtkosten die Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen. Der standardisierte Regressionskoeffizient beträgt $0,544$. Die Regression erklärt mit einem korrigierten Bestimmtheitsmaß von $0,21$

21 % der Varianz, der F-Wert ist 9,326 und weist ein Signifikanzniveau von nahe null vor, genauso wie das Signifikanzniveau der t-Werte für die Variablen Gesamtkosten (TCO) und Investition (t-Wert=4,315 bzw. -2,088).

Mit einer zweiten linearen Regressionsanalyse soll untersucht werden, wie die Umsteigebereitschaft von der Einstellung gegenüber alternativen Antrieben abhängt. Dabei geht die Variable „Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen“ als abhängige Variable ins Modell ein, die verschiedenen Angaben zur Einstellung aus Fragebogenabschnitt III werden als unabhängige Variablen gehandhabt. Bei der Durchführung der schrittweisen Regression in SPSS bezüglich des Einflusses der Einstellung gegenüber alternativen auf die Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen werden folgende exogenen Variablen in das Modell aufgenommen: die Variable bezüglich der Verbrauchswerte, bezüglich des Klimaschutzes und die Variable bezüglich des Image des Unternehmens. Die Überprüfung des Modells auf Heteroskedastizität fällt wiederum negativ aus. Auch Multikollinearität liegt nicht vor: die Korrelationskoeffizienten zwischen den Variablen sind alle weit vom Betrag 1 entfernt. Auch bei der Kollinearitätsdiagnose liefert die Konditionszahl wiederum Werte weit unter den Schwellenwerten von 20 bzw. 30 (Stoetzer 2017, S. 166). Auch die VIF-Werte (Variance Inflation Factor) liefern mit Werten weit unter dem Schwellenwert von 5 keine Hinweise auf Kollinearität. Bezüglich der Normalverteilung zeigt das Histogramm der unstandardisierten Residuen eine begrenzte Abweichung der unstandardisierten Residuen von der Normalverteilung.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Einstellung bezüglich der Verbrauchswerte, bezüglich des Klimaschutzes und bezüglich des Images des Unternehmens positiv mit der Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen zusammenhängt. Den stärksten Einfluss hat dabei der Vorteil für das Image des Unternehmens durch alternative Antriebe mit einem standardisierten Regressionskoeffizienten von 0,403. Die Verbrauchswerte haben einen Regressionskoeffizienten von 0,272 und Klimaschutz von 0,256. Der F-Wert liegt bei 18,253 und weist ein Signifikanzniveau von nahe null auf, genauso wie das Signifikanzniveau der t-Werte (alle t-Werte liegen zwischen 2,27 und 3,61). Das korrigierte Bestimmtheitsmaß liegt bei 0,45 und erklärt damit 45 % der Varianz.

5 Kritische Würdigung

5.1 Diskussion

Die Ergebnisse der Befragung liefern mehrere Erkenntnisse bezüglich der Anforderungen und Umsteigebereitschaft heutiger Nutzer im schweren Güterfernverkehr. Einige Anforderungen sind gut mit alternativen Antrieben zu vereinbaren, während andere Aspekte noch in hohem Maß von heutigen Dieselstandards geprägt sind. Von welchen Aspekten die Umsteigebereitschaft abhängt und welche Anforderungen Nutzer haben und priorisieren ist im Folgenden zusammengefasst und diskutiert.

Umsteigebereitschaft

Die Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen hängt unter anderem mit der Unternehmensgröße zusammen. Vor allem größere Unternehmen scheinen eher umsteigebereit zu sein. Im Gegensatz zu mittelständischen Unternehmen verfügen sie eher über finanzielle Mittel für höhere Investitionen. Diese werden für die zurzeit hohen Investitionen in alternative Antriebe benötigt. Größere Organisationen führen zudem laut Seitz (2015, S. 94) eher Unternehmensleitlinien ein, in denen unternehmerische Sozialverantwortung und Umweltschutz verankert sind.

Zusätzlich korreliert die Umsteigebereitschaft mit Kenntnissen bezüglich alternativer Antriebe. Nutzer, die schon über solche Kenntnisse verfügen, können deren Chancen und Risiken besser beurteilen. Dass 15 % der Nutzer vorhaben, einen Gas-Lkw zu beschaffen, während der Kenntnisstand bezüglich dieses alternativen Antriebstyps am größten ist, bestätigt diesen Zusammenhang. Demonstrations- und Aufklärungsprojekte können Nutzern dabei helfen, praktische Erfahrungen und Kenntnisse zu sammeln.

Darüber hinaus sind vermehrt diejenigen Nutzer offen gegenüber alternativen Antrieben, die hohe durchschnittliche Fahrleistung angeben. Betriebskosten fallen vor allem bei hohen Fahrleistungen ins Gewicht, durch niedrigere Betriebskosten als bei Diesel kann durch alternative Antriebe auf lange Sicht auch Geld gespart werden (Seitz 2015, S. 211). Grundsätzlich zeigt sich die Mehrheit der Nutzer umsteigebereit.

Fahrzeug-Nutzeranforderungen

Einerseits zeigt die Studie, dass Nutzern bezüglich der Fahrzeug-Anforderungen ökonomische Aspekte, vor allem Gesamtkosten (TCO) und Zuverlässigkeit, am wichtigsten sind. Zuverlässigkeit und Gesamtkosten sind dabei stark voneinander abhängig, da Fahrzeugausfälle wegen etwaigen Stillständen der Fahrzeuge oder durch Reparaturkosten hohe Verluste verursachen können. Dies zeigt, dass Transparenz und Vertrauen unter den Nutzern geschaffen werden sollten, so dass alternative Antriebe als eine zuverlässige und praktikable Alternative zu konventionellen Antrieben wahrgenommen werden. Die Regressionen zeigen zusätzlich, dass neben Gesamtkosten auch die Investition einen signifikanten Einfluss auf die Umsteigebereitschaft hat. Dabei übt die Investition einen negativen Einfluss auf die Umsteigebereitschaft aus, während die Gesamtkosten einen positiven Einfluss ausüben. Obwohl die Investition mit den Gesamtkosten unter anderem über die Abschreibung zusammenhängt, übt die Höhe der Investition separat einen wissenschaftlich belegten Einfluss aus (Sechtin 2012, S. 115). In diesem Fall sind Nutzer, welchen die Investition sehr wichtig ist, aufgrund aktuell noch hoher Investitionen bei Fahrzeugen mit alternativen Antrieben (eher) nicht umsteigebereit. Da sich durch geringere Betriebskosten bei alternativen Antriebe auf lange Sicht jedoch zunehmend auch Kosten einsparen lassen, zeigen Nutzer, die Gesamtkosten eine hohe Relevanz zusprechen, eine höhere Umsteigebereitschaft (Seitz 2015).

Andererseits sind vielen Nutzern auch ökologische Anforderungen wichtig. Vor allem Umweltschonung und Mauteinstufung sind für einige Nutzer sehr relevant. Die Meinungen in dieser Kategorie sind insbesondere sehr uneinheitlich, was auf einen Wandel der Anforderungen hindeutet. Schon in vergangenen Studien wurde ersichtlich, dass Umweltaspekte lediglich für „Innovatoren“ und „frühe Adopter“ von Relevanz sind, während der Massenmarkt hauptsächlich kostenorientiert entscheidet (Seitz 2015, S. 110). Ob diese Einteilung auch in dieser Stichprobe zutrifft, kann durch Clusteranalysen zukünftig untersucht werden.

Infrastruktur-Nutzeranforderungen

Die durchschnittliche Fahrleistung von 400 bis 800 km und die von den meisten Nutzern geforderte Mindestreichweite von 800 km sind mit heutigen alternativen Antrieben nur begrenzt vereinbar. Die aktuellen Reichweiten liegen bei batterieelektrischen Lkw bei ca. 175 km und bei Brennstoffzellen-Lkw bei 400 km, unter der Annahme, dass die Lkw die gleiche Größe wie Diesel-Lkw aufweisen und keine Gewichts- oder Volumenreduktion vorgenommen wird (Gnann et al. 2017,

S. 904). Das Problem der Reichweite fällt bei Gas-Lkw nicht so sehr ins Gewicht. Bei OH-Lkw ist das Reichweitenproblem differenziert zu betrachten, da die Länge der Strecken ohne Oberleitungsstrom stark vom Ausbau der Oberleitungsinfrastruktur und von der Transportaufgabe des Nutzers abhängt.

Auch die Umwege-Bereitschaft, welche bei den meisten befragten Nutzern bei 20 km liegt, ist im Hinblick auf die aktuelle Tankstelleninfrastruktur der meisten alternativen Antriebstypen kritisch zu betrachten. Die EU-Richtlinie 2014/94 über den Aufbau der Infrastruktur alternativer Kraftstoffe sieht einen stetigen Infrastrukturhochlauf vor. Die Richtlinie bezieht sich jedoch vorrangig auf Tankstellen für Pkw. Lediglich für das LNG-Tankstellennetz sind schwere Nutzfahrzeuge explizit erwähnt. Demnach sollen bis 2025 LNG-Tankstellen durchschnittlich alle 400 km entlang des Trans-Europäischen-Verkehrsnetzes (TEN-V) entstehen (Richtlinie 2014/94, Europäische Union). Die Wasserstoffinfrastruktur soll in Form eines Netzes mit maximaler Tankstellenentfernung von je 300 km ausgebaut werden (Seitz 2015, S. 115). Bis Ende 2017 waren in Deutschland 43 öffentliche Wasserstofftankstellen in Betrieb, darunter jedoch keine, die über eine ausreichende Kraftstoffkapazität für die Versorgung vieler Fern-Lkw verfügt (Kühnel et al. 2018, S. 85). Auch CNG-Tankstellen sind zurzeit für Lkw noch nicht flächendeckend verteilt. Der zukünftige Durchschnittsabstand zwischen CNG-Tankstellen soll laut Richtlinie der Europäischen Union bis 2025 entlang des TEN-V ungefähr 150 km betragen. Die Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Lkw ist ebenso noch weit von der Vereinbarkeit mit einer 20km-Umwege-Bereitschaft entfernt. Pkw-Ladesäulen gibt es zwar im Vergleich schon viele, jedoch keine die über eine Ladeleistung verfügen, welche den hohen Energiebedarf von schweren Nutzfahrzeugen decken können (Kühnel et al. 2018, S. 88).

Etwa 70 % der Nutzer tanken zudem nicht überwiegend an Tankstellen an der Autobahn, sondern an der betriebseigenen Tankstelle. Diese deutliche Mehrheit hängt mit hoher Wahrscheinlichkeit mit der überdurchschnittlich hohen Anzahl an großen Unternehmen in der Stichprobe zusammen (siehe Abschnitt 5.2). Da vorrangig kleine Unternehmen auf Tankstellen an der Autobahn angewiesen sind und seltener über betriebseigene Tankstellen verfügen, ist in der Grundgesamtheit eine andere Verteilung zu erwarten. Nichtsdestotrotz sollten beim Aufbau der Tankstelleninfrastruktur alternativer Antriebe neben Förderungen des öffentlichen Tankstellenbaus auch betriebseigene Tankstellen gefördert werden. In der Förderrichtlinie Elektromobilität des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur vom 09.06.2015 ist eine solche Förderung für batterieelektrische Lkw vorgesehen. Die Ladeinfrastruktur kann demnach in vollem Umfang als för-

derfähig anerkannt werden, ohne die generelle Anforderung an öffentliche Zugänglichkeit zu erfüllen (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2016).

5.2 Limitierungen

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit unterliegen gewissen Einschränkungen, welche im Folgenden erläutert werden. Die Stichprobe der Studie wurde in keiner anderen Weise kontrolliert, als dass auf eine breite Auswahl der angeschriebenen Personen bzw. Unternehmen geachtet wurde. Da keine vollständige Liste über die Grundgesamtheit der Nutzer schwerer Lkw existiert, konnte keine Zufallsauswahl stattfinden. Damit sind Aussagen bezüglich der Repräsentativität der Studie schwer möglich und inferenzstatistische Techniken kaum anwendbar. Die Verteilung der Studie über das Internet kann zu Verzerrungen führen, indem überwiegend Teilnehmer ausgewählt werden, die offen gegenüber Online-Medien und -Fragebögen sind. Ebenso ist eine Tendenz zu Befragungsteilnehmern, die ohnehin an der Thematik interessiert sind und somit Ergebnisse in eine Richtung beeinflussen, nicht auszuschließen.

Im Folgenden wird untersucht, ob die Stichprobe bezüglich bestimmter Merkmale der Grundgesamtheit entspricht. Untersucht werden dabei die beiden Merkmale Unternehmensgröße und Fuhrparkgröße.

Vergleicht man die Stichprobe und Grundgesamtheit anhand der Betriebsgröße, ist zu erkennen, dass in der Stichprobe (rechts) größere Unternehmen leicht überrepräsentiert und kleine Unternehmen leicht unterrepräsentiert sind (Abbildung 8).

Vergleicht man die Stichprobe und Grundgesamtheit anhand der Fuhrparkgrößen, sind erhebliche Unterschiede zu erkennen. Während in der Grundgesamtheit (links) erheblich mehr Unternehmen vertreten sind, welche über einen Fuhrpark von ein bis drei Lkw verfügen, sind in der Stichprobe (rechts) Unternehmen, welche zwischen 11 und 50 Lkw besitzen, stark überrepräsentiert (Abbildung 9).

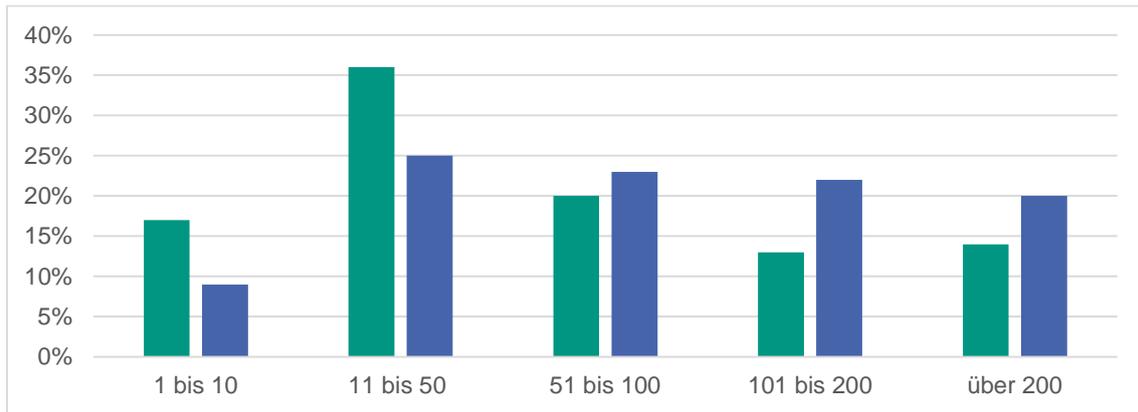


Abbildung 8: Vergleich der Unternehmensgrößen (nach Mitarbeiterzahl) in Grundgesamtheit (in grün) und Stichprobe (in blau)

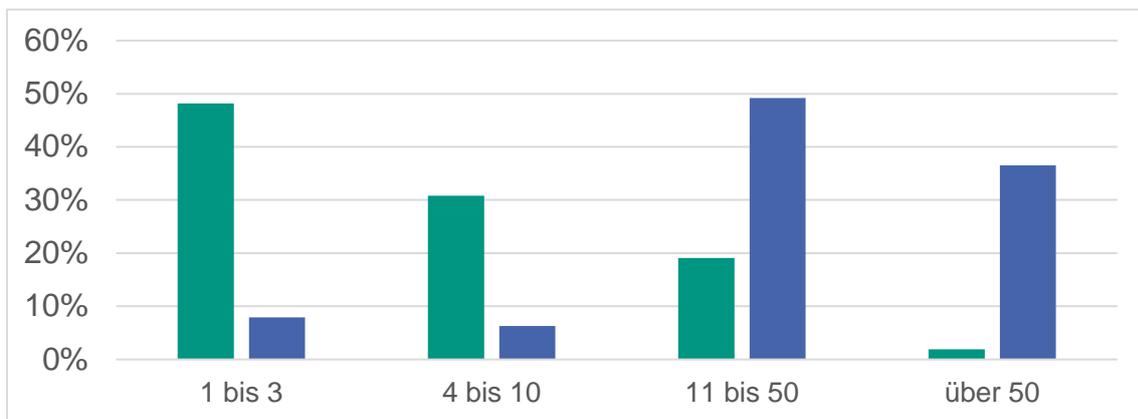


Abbildung 9: Vergleich der Fuhrparkgrößen (nach Anzahl an Lkw) in Grundgesamtheit (in grün) und Stichprobe (in blau)

Um einen genauen Überblick über die Verteilung der Lkw auf die Fuhrparks zu erhalten, wird die Gesamtzahl der Fahrzeuge im Folgenden näherungsweise auf die Fuhrparks verteilt. Die Annahmen basieren dabei auf Angaben in „Struktur der Unternehmen des gewerblichen Güterkraftverkehrs und des Werkverkehrs“ (Bundesamt für Güterverkehr 2015). Demnach gab es am Stichtag Ende Oktober 2015 in Deutschland 45.051 Unternehmen im gewerblichen Güterkraftverkehr, die insgesamt 379.582 Kraftfahrzeuge (LKW + Sattelzugmaschinen, +3,5 %) im Einsatz hatten (Bundesamt für Güterverkehr 2015, S.7). Unter der Annahme, dass sich die Fuhrparkgröße in durchschnittlich 2, 6, 28 und 150 Fahrzeuge einteilen lässt (wie in der Stichprobe), ergibt sich folgende Verteilung (Abbildung 10): über 80 % der Unternehmen umfassen lediglich 25 % der Fahrzeuge. Die Mehrzahl der Lkw ist also in wenigen Unternehmen mit großen Fuhrparks vertreten.

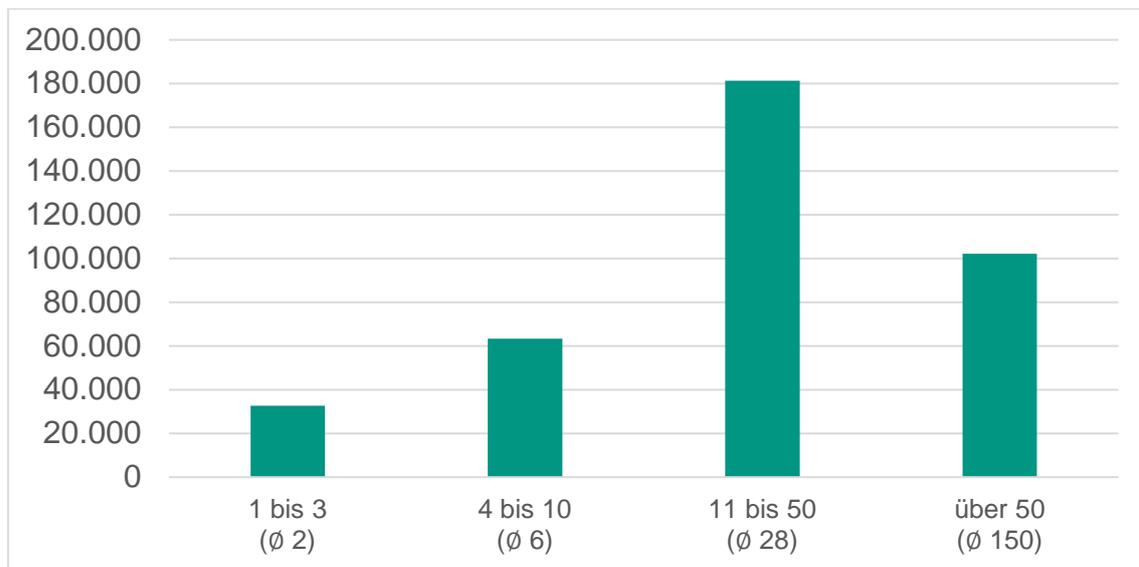


Abbildung 10: Verteilung aller deutschen Lkw (basierend auf durchschnittlicher Lkw-Anzahl je Fuhrpark); eigene Abschätzung

Des Weiteren ist die Arbeit auf Nutzer schwerer Lkw in Deutschland begrenzt. Eine Studie mit internationaler Stichprobe kann ein umfassenderes Bild bezüglich der Nutzeranforderungen an schwere Lkw ohne den Einfluss von nationalen Gegebenheiten liefern. Darüber hinaus besteht die hiesige Stichprobe ausschließlich aus Mitgliedern von Speditions- und Logistikunternehmen, da diese bei der Teilnehmerrekrutierung am besten zu erreichen waren. Die Nutzer schwerer Lkw sind darüber hinaus auch in anderen Organisationen vertreten. Schlussendlich ist die Größe der Stichprobe zwar ausreichend für die Zwecke der Forschungsarbeit, für weiterführende statistische Untersuchungen wären umfassendere Stichproben dennoch vorteilhaft.

6 Fazit und Ausblick

Im Hinblick auf die Forschungsfrage der Studie „Welche Nutzeranforderungen gibt es derzeit im straßengebundenen Schwerlastverkehr Deutschlands im Hinblick auf Fahrzeuge und Infrastruktur und wie sind diese Anforderungen ausgeprägt?“ sind folgende zentrale Erkenntnisse festzuhalten.

Zum einen zeigt die hohe Relevanz der ökonomischen Anforderungen, insbesondere die der Gesamtkosten und Zuverlässigkeit, dass bei Nutzern aktuell noch Kostenüberlegungen dominieren. In der Speditions- und Logistikbranche gibt es durch hohen Wettbewerb und Kostendruck kaum finanziellen Spielraum, insbe-

sondere für die Umsetzung umweltfreundlicher Maßnahmen. Dabei sind Investitionen und Gesamtkosten differenziert zu betrachten: Die Regressionen zeigen, dass Nutzer eher bereit sind auf alternative Antriebe umzusteigen, wenn sie Gesamtkosten priorisieren. Die Umsteigebereitschaft sinkt hingegen, wenn sie Investitionen stärker gewichten. Korrelationsanalysen zeigen zusätzlich, dass Unternehmensgröße, tägliche Fahrleistungen und Kenntnisse über alternative Antriebe positiv mit der Umsteigebereitschaft zusammenhängen.

Zum anderen zeigt die Studie, dass auch ökologische Anforderungen wie Umweltschonung von vielen Nutzern als relevant angesehen werden. In dieser Kategorie sind die Meinungen sehr verschieden, einige Nutzer sind sich der fortschreitenden Bedeutung ökologischer Aspekte bewusst. Die grundsätzliche Bereitschaft auf alternative Antriebe umzusteigen ist bei der knappen Mehrheit vorhanden.

Anforderungen im Hinblick auf die Infrastruktur zeigen einerseits, dass Nutzer bereit sind Umwege aufgrund nicht ausgebauter Tankstellen- bzw. Ladeinfrastruktur zu machen. Auch längere Tank- bzw. Ladevorgänge als bei Verbrennern werden akzeptiert. Andererseits ist die durchschnittlich geforderte Reichweite nur begrenzt mit aktuellen Reichweiten alternativ angetriebener schwerer Lkw zu vereinbaren. Die Angaben zur täglichen Fahrleistung zeigen jedoch, dass im alltäglichen Betrieb die geforderten Reichweiten selten benötigt werden.

Die zukünftige Umstellung des schweren Straßengüterverkehrs auf alternative Antriebe und damit die Erreichung von Klimazielen kann nur gelingen, wenn die Akzeptanz der täglichen Nutzer gewonnen wird. Die Ergebnisse der Studie weisen darauf hin, dass dafür die Zuverlässigkeit alternativer Antriebe und ihr Beitrag zur Reduktion der Gesamtkosten im Betrieb demonstriert und durch Förderprogramme und politische Maßnahmen sichergestellt werden sollten. Auch eine Reduktion der Investitionen kann einen entscheidenden Beitrag zur Verbreitung alternativer Antriebe leisten. Diese kann direkt über staatliche Zuschüsse oder indirekt über die Förderung der Entwicklung und Produktion alternativer Antriebe in der Industrie erfolgen. Beim Infrastrukturaufbau hingegen scheinen direkte staatliche Eingriffe unverzichtbar zu sein. Vor allem die anfänglichen Kosten eines Infrastrukturaufbaus können nicht durch Nutzer allein getragen werden, langfristig kann die Infrastruktur voraussichtlich ohne staatliche Zuschüsse finanziert werden. In der Branche selbst können Auftraggeber durch Einführung ökologischer Richtlinien die Verbreitung alternativer Antriebe entscheidend unterstützen. Des Weiteren sollten Kenntnisse und das Wissen bezüglich alternativer Antriebe erhöht werden. Durch Demonstrations- und Aufklärungsprojekte können Nutzer

praktische Erfahrungen im Umgang mit alternativen Antrieben sammeln. Dabei sollten nicht nur Anforderungen von Nutzern in Speditionen und Logistikbetrieben berücksichtigt werden, sondern alle beteiligten Akteure wie Anwohner, Kraftstoff- und Fahrzeugproduzenten miteinbezogen werden.

Wie bereits in Rahmen der Limitierungen angedeutet besteht weiterer Forschungsbedarf. Um die Nutzer genauer zu untersuchen und in Gruppen zu unterteilen, können zusätzlich zu Regressions- und Korrelationsanalysen Clusteranalysen durchgeführt werden. Auch Conjoint-Analysen können weitere Erkenntnisse bezüglich der Präferenzen und Anforderungen liefern. Bei der Generierung der Stichprobe sollte neben einem größeren Umfang auf eine Zufallsauswahl geachtet werden, um umfassende statistische Verfahren zu ermöglichen. Dadurch oder durch Anwendung einer Quotenauswahl kann zudem die Repräsentativität der Erhebung gewährleistet werden.

7 Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016): Nationaler Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. BMVI.

Europäische Kommission (2019): Alternative fuels for sustainable mobility in Europe. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cpt_de.

Europäische Union (22.10.2014): Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. Richtlinie 2014/94/EU. Online verfügbar unter <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d414289b-5e6b-11e4-9cbe-01aa75ed71a1/language-de>.

Globisch, Joachim (2017): Elektrofahrzeuge in gewerblichen Fuhrparks. Was beeinflusst die Adoption durch Organisationen? Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, zuletzt geprüft am 11.02.2019.

Gnann, Till; Kühn, André; Plötz, Patrick; Wietschel, Martin (2017): How to decarbonize heavy road transport?, zuletzt geprüft am 05.03.2019.

Golob, Thomas F.; Brownstone, David; Bunch, David S. (1997): Commercial fleet demand for alternative-fuel vehicles in California. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 31 (3), S. 219–233.

Hackbarth, André; Madlener, Reinhard (2013): Consumer preferences for alternative fuel vehicles. A discrete choice analysis. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 25, S. 5–17. DOI: 10.1016/j.trd.2013.07.002.

Kühnel, Sven; Hacker, Florian; Görz, Wolf (2018): Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr. Ein Technologie- und Wirtschaftlichkeitsvergleich. 1. Teilbericht des Forschungsvorhabens StratON. Öko-Institut. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/presse/archiv-presse-meldungen/2018/oberleitungs-lkw-im-klima-und-kosten-check/>.

Raab-Steiner, Elisabeth; Benesch, Michael (2018): Der Fragebogen. Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung. 5., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Wien: facultas (UTB, Schlüsselkompetenzen). Online verfügbar unter <https://www.utb-studi-e-book.de/9783838587271>.

Schnell, Rainer; Hill, Paul B.; Esser, Elke (2011): Methoden der empirischen Sozialforschung. 9., aktualisierte Aufl. München: Oldenbourg.

Sechtin, Robert (2012): Emotionale Differenzierung zur Beeinflussung von Kaufentscheidungen in Industriegütermärkten. Universität Stuttgart, Stuttgart. Online verfügbar unter <https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/5573>.

Seitz, Claudio (2015): Diffusion innovativer Antriebstechnologien zur CO₂-Reduktion von Nutzfahrzeugen. Empirische Untersuchung des organisationalen Adoptionsverhaltens und systemdynamische Prognose für den deutschen Automobilmarkt. Karlsruher Institut für Technologie, zuletzt geprüft am 06.12.2018.

Shell Deutschland Oil GmbH (2016): Shell Nutzfahrzeug-Studie: Diesel oder alternative Antriebe - womit fahren LKW und Bus morgen? Fakten, Trends und Perspektiven bis 2040. Online verfügbar unter <https://www.shell.de/medien/shell-publikationen/shell-nutzfahrzeug-studie.html>.

Stoetzer, Matthias-Wolfgang (2017): Regressionsanalyse in der empirischen Wirtschafts- und Sozialforschung. Berlin: Springer Gabler (Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/>.

Walter, Stephan; Ulli-Ber, Silvia; Wokaun, Alexander (2012): Assessing customer preferences for hydrogen-powered street sweepers. A choice experiment. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 37 (16), S. 12003–12014. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991201169X>.

Zhang, Yong; Jiang, Yunjian; Rui, Weina; Thompson, Russell G. (2019): Analyzing truck fleets' acceptance of alternative fuel freight vehicles in China. In: *Renewable Energy* 134, S. 1148–1155. DOI: 10.1016/j.renene.2018.09.016.



Autoren

Philipp Kluschke, Maren Uebel, Martin Wietschel
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Competence Center Energietechnologien und Energiesysteme

Kontakt: Philipp Kluschke
Competence Center Energietechnologien und Energiesysteme
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48 | 76139 Karlsruhe | Deutschland
E-Mail: philipp.kluschke@isi.fraunhofer.de
Telefon: 0721 / 6809-235
www.isi.fraunhofer.de

Karlsruhe, Juni 2019