



BAIUDBw

Robert Geiß

Aufstiegsbeamter

Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und
Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUDBw)

Fachartikel

Alternative Antriebe für Löschgruppen-
fahrzeuge auf Serienfahrgestellen

Facharbeit gemäß § 20 Abs. 1 VAP2.2-Feu NRW

Münster, den 10.12.2023

Aufgabenstellung

Geben Sie einen Überblick des aktuellen Sachstandes und einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.
Bewerten Sie die Bestrebungen auch hinsichtlich wirtschaftlicher Aspekte.

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
BEV	battery electric vehicle
CNG	compressed natural gas
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
E-Fuel	electrofuel
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
Fa.	Firma
FCEV	fuel cell electric vehicle
gGmbH	gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HLF	Hilfeleistungs-Löschgruppenfahrzeug
ICCT	International Council on Clean Transportation Europe
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
km	Kilometer
KSG	Klimaschutzgesetz
kW	Kilowatt
LF	Löschgruppenfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
LNG	liquefied natural gas
LPG	liquefied petroleum gas
Mio.	Millionen
Pkw	Personenkraftwagen
t	Tonnen

VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Anteil der Treibhausgasemissionen nach Sektoren in Deutschland.....	2
Abbildung 2 Neuzulassungen von Lastkraftwagen in Deutschland	3
Abbildung 3 Benötigte emissionsfreie Lkw, Ladestationen und Wasserstofftankstellen	6

Inhalt

Teil I: Fachartikel	1
Kurzzusammenfassung	1
1 Einleitung	2
2 Darstellung der Problemstellung	3
3 Herangehensweise	4
4 Ergebnisse	5
5 Diskussion	7
6 Fazit.....	8
Teil II: Methoden-, Literatur- und Quellendokumentation	9
1 Beschreibung der Methodik	9
2 Begründung	9
3 Literatur- und Quellendokumentation	10
3.1 Beschreibung der Literatur- und Quellensuche und der Datenbanken	10
3.2 Übersicht über die Ergebnisse der Literatur- und Quellendokumentation.....	10
3.3 Kriterien der Literatur- und Quellenauswahl	11
3.4 Zusammenfassende Beschreibung der ausgewählten Literatur und Quellen.....	11
Literaturverzeichnis	12
A. Anhänge.....	14
B. Eigenständigkeitserklärung.....	19

Teil I: Fachartikel

Kurzzusammenfassung

Löschgruppenfahrzeuge der deutschen Feuerwehren werden überwiegend auf Lkw-Serienfahrgeräten aufgebaut. Als Antriebstechnologie kommt dabei nahezu ausschließlich der Diesel-Verbrennungsmotor zum Einsatz. Die Verwendung von alternativen Antrieben ist auf eine sehr geringe Zahl von Einzelvorhaben begrenzt. Der Markt für schwere Nutzfahrzeuge wird durch den Bereich des Gütertransports geprägt. Löschgruppenfahrzeuge und Feuerwehrfahrzeuge allgemein haben aufgrund des geringen Anteils keinen maßgebenden Einfluss auf die zukünftige Marktentwicklung. Insofern besteht eine unmittelbare Abhängigkeit, welche durch politischen Rahmenvorgaben und Regulierungen zur Erreichung der Klimaschutzziele sowie von ökonomischen Überlegungen der Transportunternehmen bestimmt wird. Die Prognosen sehen elektrische Antriebe mittels Batterie oder Brennstoffzellen als die Technologien an, welche sich durchsetzen könnten. Die Lade- und Tankstelleninfrastruktur stellt dabei die größte, noch zu lösende Aufgabe dar.

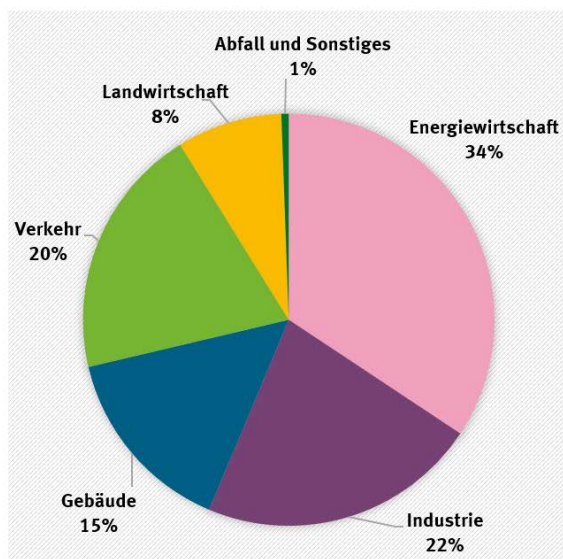
Die Hersteller von Löschgruppenfahrzeugen sowie die Feuerwehren als Kunden müssen sich bei der Verwendung von alternativen Antrieben diesen Entwicklungen und Gegebenheiten anpassen. Vor allem zusätzliches Gewicht, veränderte Platzverhältnisse, die Anpassung der Infrastruktur auf den Feuerwachen und daraus resultierende Veränderungen der bislang gewohnten Handhabung, Fahrzeugkonfiguration und Leistungsfähigkeit stellen die einhergehenden Herausforderungen dar.

Die aktuellsten Prozesse zukünftiger Vorgaben der EU stellen den Feuerwehren und vergleichbaren Organisationen allerdings auch den Gebrauch von Ausnahmeregelungen aufgrund ihres besonderen Auftrages in Aussicht. Daraus kann sich ein längerfristiger Verbleib des Verbrennungsmotors bei den Feuerwehren ergeben, für den jedoch bei abnehmenden Produktionszahlen von einer Preissteigerung auszugehen ist.

1 Einleitung

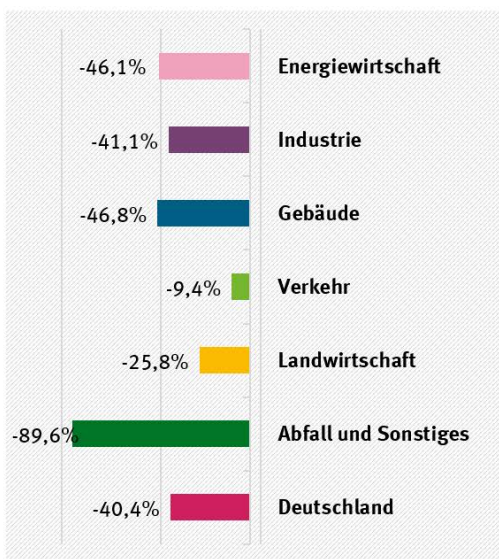
Im Rahmen der Weltklimakonferenz wurde am 12. Dezember 2015 das „Übereinkommen von Paris“ durch 195 Staaten beschlossen. Diese verpflichten sich darin, den Klimawandel einzudämmen und die Weltwirtschaft klimafreundlich umzugestalten (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2023). Das in Artikel 2 des Übereinkommens genannte Ziel, den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2 °C zu halten sowie Anstrengungen für eine Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau zu unternehmen, ist maßgeblich von den zukünftigen Treibhausgasemissionen abhängig. Die Vertragsparteien verpflichten sich zu ehrgeizigen Anstrengungen durch national festgelegte Beiträge. Dabei sollen - neben zahlreichen weiteren Festlegungen - entsprechend Artikel 4 Abs. 19 langfristige Strategien hinsichtlich einer Treibhausgas emissionsarmen Entwicklung ausgearbeitet werden (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016). Die Bundesrepublik Deutschland setzt diese Forderung in Form des Klimaschutzgesetzes, zuletzt mit der am 31. August 2021 in Kraft getretenen Gesetzesnovelle um. Dabei sind die Minderungsziele der Treibhausgasemissionen auf mehrere Handlungsfelder, auch Sektoren genannt, aufgeteilt (Bundesregierung, 2022). Auf den Sektor Verkehr entfallen dabei 20 % für das Jahr 2022. In einer rückblickenden Betrachtung auf die Entwicklung der Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2022 zeigt der Verkehrssektor mit einer Reduktion um 9,4 % eine vergleichsweise geringe Verminderung auf, siehe Abbildung 1. Weiterhin wird laut aktuellem Projektionsbericht der Bundesregierung der Verkehrssektor das Ziel einer Reduktion auf 84 Mio. t CO₂-Äquivalent im Jahr 2030 um mehr als 40 Mio. t verfehlen (Umweltbundesamt, 2023). Somit stellt die Transformation des Verkehrs einen wesentlichen Baustein zur Erreichung der Klimaschutzziele dar und es sind große Anstrengungen und Veränderungen in diesem Bereich zu erwarten.

Anteil der Treibhausgasemissionen nach Sektoren des Klimaschutzgesetzes (KSG) im Jahr 2022



Anmerkung: ohne internationalen Verkehr, vorläufige Daten

Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren des KSG 1990-2022



Anmerkung: ohne internationalen Verkehr, vorläufige Daten

Abbildung 1 Anteil der Treibhausgasemissionen nach Sektoren in Deutschland (Umweltbundesamt, 2023)

Das Umweltbundesamt ordnet die notwendigen Maßnahmen acht zentralen Bausteinen zu, welche ordnungsrechtliche, ökonomische sowie infrastrukturelle Instrumente enthalten. Dabei behandelt der Baustein 2 die Effizienz und Elektrifizierung für schwere Nutzfahrzeuge, da diese mehr als 25% der deutschen Treibhausgase im Verkehr emittieren (Umweltbundesamt, 2023). Wenngleich der Anteil an Löschgruppenfahrzeugen innerhalb der Gruppe schwerer Nutzfahrzeuge zahlenmäßig als verschwindend gering eingestuft werden kann und somit kaum einen Anteil an den absoluten Emissionswerten beiträgt, haben die bevorstehenden Veränderungen im Bereich der Antriebsarten einen erheblichen Einfluss auf den zukünftigen Lkw-Markt. Davon werden auch die auf Serienfahrgestellen aufgebauten Löschgruppenfahrzeuge, insbesondere vor dem Hintergrund von wirtschaftlichen Aspekten, unmittelbar betroffen sein. Dies soll im Rahmen dieses Fachartikels näher beleuchtet werden.

2 Darstellung der Problemstellung

Zum heutigen Zeitpunkt werden die Löschgruppenfahrzeuge der deutschen Feuerwehren nahezu vollständig durch konventionelle Verbrennungsmotoren angetrieben. Dabei wird sich seitens der Hersteller an den verschiedenen marktverfügbaren Serienfahrgestellen für Lkw als Basis bedient und nur auf den feuerwehrtechnischen Aufbau konzentriert, sodass sie auch regelmäßig als Aufbauhersteller bezeichnet werden. Dies ist vorrangig wirtschaftlichen Gesichtspunkten geschuldet, da die Entwicklung und Produktion eigener Fahrgestelle und insbesondere deren Antriebstechnologien für viele Hersteller auf dem relativ kleinen Markt der Feuerwehrfahrzeuge eine kaum zu bewältigende Aufgabe wäre. Diese Abhängigkeit zugrunde gelegt, wird also auch zukünftig die Art des Antriebs von Löschgruppenfahrzeugen entscheidend von den Entwicklungen auf dem freien Markt bestimmt werden.

Wie einleitend ausgeführt steht der Verkehrssektor vor großen Veränderungen. Für den Bereich der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge sind die Leitplanken durch Beschluss auf EU-Ebene bereits gesetzt. Demnach dürfen durch Begrenzung der Flottenwerte ab 2035 keine Neufahrzeuge mehr zugelassen werden, die CO₂ ausstoßen. Die Automobilkonzerne haben ihre langfristigen Strategien daher mittlerweile größtenteils auf die Transformation zu batterieelektrischen Fahrzeugen ausgelegt, da dies die effizienteste Methode für die Individualmobilität darstellt. Die Nutzung von synthetischen Kraftstoffen (E-Fuels) ist nach der Beschlusslage zwar möglich, ihr wird jedoch seitens der meisten Hersteller eine untergeordnete Rolle, z.B. für den Übergang der Bestandsflotten beigemessen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2023). Die Marktentwicklung für schwere Nutzfahrzeuge befindet sich hingegen noch vergleichsweise am Anfang, nimmt aber aktuell stark zunehmend Geschwindigkeit auf. Kürzlich wurde hierfür das Verfahren zur Begrenzung der Flottenwerte begonnen (Europäisches Parlament, 2023). Die Hersteller passen ihre Strategien bereits an, spürbare Auswirkungen auf den Absatz schwerer Nutzfahrzeuge sind jedoch aufgrund der Aktualität der Entscheidungsprozesse noch nicht entstanden. Bei den Neuzulassungen von Lkw in Deutschland im Zeitraum 2021 bis einschließlich Oktober 2023 stellen die Zulassungen mit alternativem Antrieb nach wie vor eine geringe Teilmenge dar, wenngleich ihr Anteil stetig steigt (Kraftfahrt-Bundesamt, 2021 - 2023).

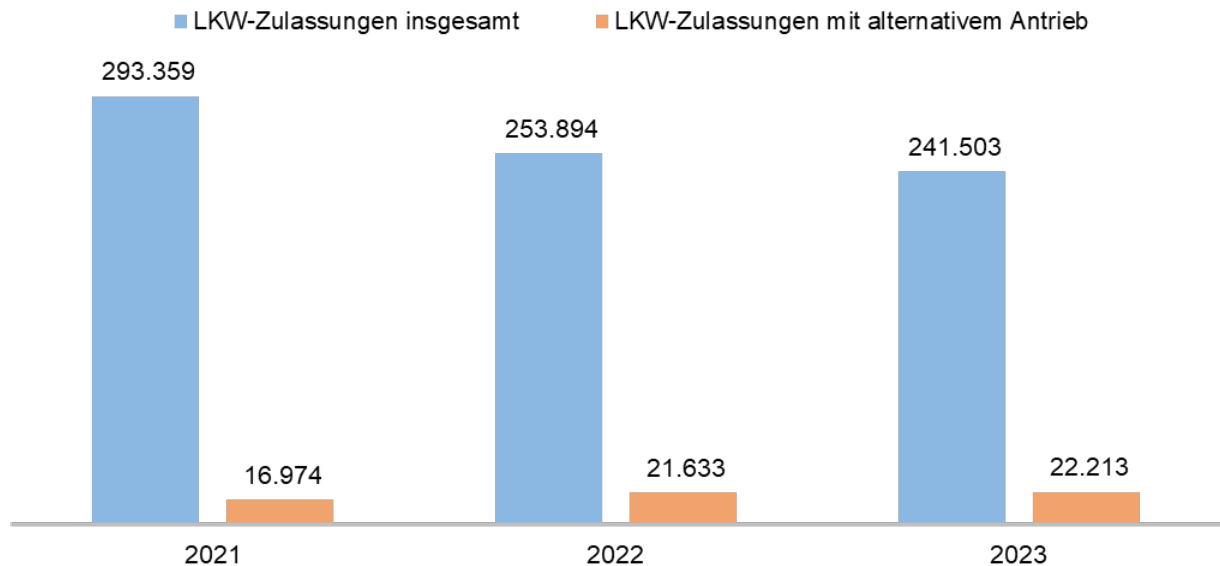


Abbildung 2 Neuzulassungen von Lastkraftwagen in Deutschland (eigene Darstellung, 2023)

Grundsätzlich bestehen folgende Möglichkeiten alternativer Antriebe für schwere Nutzfahrzeuge:

1. Elektroantriebe
 - a. Batterieelektrisch
 - b. Brennstoffzelle (Wasserstoff)
 - c. Plug-in-Hybrid
2. Hybrid (ohne Plug-in-Hybrid)
3. Gasbetriebene Fahrzeuge (CNG, LNG, LPG)
4. Wasserstoffverbrennungsmotor

Eine grafische Darstellung der Verteilung dieser Technologien bei Neuzulassungen von Lkw in Deutschland der vergangenen drei Jahre findet sich in Anhang 1. Dabei lässt sich feststellen, dass die batterieelektrischen Antriebe deutlich mit ca. 85 % überwiegen, gefolgt von gasbetriebenen Fahrzeugen mit ca. 10 % und Hybrid-Antrieben mit ca. 5 %. Die Brennstoffzelle, der Plug-in-Hybrid und der Wasserstoffverbrennungsmotor sind in dieser Statistik hingegen verschwindend gering. Hinsichtlich der mit Gas-Treibstoffen betriebenen Verbrennungsmotoren ist zudem zu beachten, dass sie im Hinblick auf die langfristigen CO₂-Grenzwerte mit den dieselbetriebenen Fahrzeugen gleichgesetzt werden können (Transport & Environment, 2021). Insofern kann bezweifelt werden, ob dies noch eine echte alternative Antriebsform im Sinne der Klimaschutzziele darstellt. Die zukünftige Ausgestaltung des schweren Nutzlastverkehrs stellt eine große Herausforderung dar. Sie ist wesentlich vom Güterverkehr und dessen Bedarfen in Bezug auf Reichweite und Effizienz abhängig. Welche Technologie sich durchsetzen wird bzw. ob sich eine Diversifizierung auf verschiedene alternative Antriebe ergibt, ist daher auch die zentrale Frage in Bezug auf die in der breiten Masse zur Verfügung stehenden Serienfahrgestelle zum Aufbau von Löschgruppenfahrzeugen. Mögliche Entwicklungen können dafür jedoch bereits heute anhand verschiedener Studien abgeleitet werden.

Bei den Feuerwehren ist das mit Dieselmotor betriebene Löschgruppenfahrzeug aufgrund von jahrzehntelanger Anwendung erprobt und gewohnt. In der Folge sind Handhabung, Sicherheitsaspekte, Infrastruktur sowie einsatztaktische Überlegungen auf diese Technik und dessen Leistungsfähigkeit abgestimmt. Der Feuerwehr wird jedoch auch eine besondere Rolle zugewiesen. Einerseits ist sie als meist öffentliche Institution bzw. Teil der öffentlichen Verwaltung angehalten die klimapolitischen Ziele vorrangig mit zu unterstützen und hat eine gewisse Vorbildfunktion. Insbesondere auch im Hinblick auf den mit zum Aufgabengebiet gehörenden (abwehrenden) Umweltschutz. Andererseits kann der Sonderstatus auch argumentativ vor dem Hintergrund der Pflichterfüllung der Gefahrenabwehr genutzt werden, um von Regelungen befreit zu werden.

Neben den wirtschaftlich und politisch begründeten Aspekten besteht schlichtweg durch die gültige Normung die Anforderung ein Serienfahrgestell zu verwenden. Sowohl für die Löschgruppenfahrzeuge, als auch für die Hilfeleistungs-Löschgruppenfahrzeuge findet sich in den entsprechenden Teilen der DIN 14530 die wortgleiche Formulierung: „Es muss ein handelsübliches Fahrgestell verwendet werden“ (Deutsches Institut für Normung, 2019). Die Begrifflichkeiten handelsüblich - im Sinne wie es auf dem Marktsegment üblicherweise erhältlich ist - und Serienfahrgestell können in diesem Zusammenhang als gleichbedeutend gewertet werden. Auch hier stellt sich demnach eine Abhängigkeit vom allgemeinen Markt der schweren Nutzfahrzeuge dar. Reagiert wurde hingegen bereits in der europäischen Normung über die allgemeinen Anforderungen an Feuerwehrfahrzeuge. Die Änderungen der als Entwurf vorliegenden DIN EN 1846-2 bereiten die regulatorischen Voraussetzungen im entsprechenden Anwendungsbereich zur Nutzung alternativer Antriebe vor. So wurden z.B. die Begriffe „Kraftstofftank und Reichweite“ umbenannt in „Energiespeicher und Reichweite“ (Deutsches Institut für Normung, 2022).

3 Herangehensweise

Um einen Überblick des aktuellen Sachstandes von Löschgruppenfahrzeugen mit alternativem Antrieb zu erhalten und Tendenzen der zukünftigen Entwicklungen abzuleiten, wird im Rahmen dieses Fachartikels auf die zwei - aus Sicht des Autors - maßgebenden Bereiche näher eingegangen:

1. Entwicklungen des allgemeinen Marktes für schwere Nutzfahrzeuge
2. Sachstand und Tendenzen der Hersteller von Feuerwehrfahrzeugen

Wie zuvor beschrieben lässt sich zum heutigen Zeitpunkt noch kein abschließendes Urteil fällen, welche Antriebstechnologien zukünftig für schwere Nutzfahrzeuge zur Anwendung kommen werden. Das Geschehen befindet sich in einem dynamischen Zustand und wird durch klimapolitische Vorgaben sowie der Reaktionen der Hersteller bestimmt, welche den marktbasierten Mechanismen unterliegen. Der Güterverkehr in Deutschland (in- und ausländische Lkw) wird mit ca. 80 % überwiegend auf der Straße befördert (Statistisches Bundesamt, 2023). Dies nimmt folglich eine große ökonomische und somit auch gesellschaftliche Rolle in Europa ein. Studien versuchen anhand verschiedener Eingangsparameter die möglichen, zukünftigen Entwicklungen zu prognostizieren. Zur näheren Betrachtung der geschilderten Fragestellung wurden insgesamt drei Studien sowie eine Hintergrundinformation im Rahmen einer

aktuellen Abstimmung des EU-Parlaments herangezogen und die wesentlichen Aussagen daraus entnommen und zusammengeführt.

Für eine spezifizierte Betrachtung der alternativen Antriebsformen von Löschgruppenfahrzeugen kommen grundsätzlich die Feuerwehren als Kunden und die Hersteller der Fahrzeuge als Ansprechpartner in Frage. Die Sichtweise der Feuerwehren ist dabei durch einen hohen Detaillierungsgrad geprägt, welcher die weitergehenden Zusammenhänge eines Wechsels der Antriebsform - z.B. auf Infrastruktur oder Anpassungen der Maßnahmen wegen geänderter Leistungsfähigkeit - berücksichtigt. Gleichzeitig ist der Blickwinkel der jeweiligen Feuerwehr aber auch immer von örtlichen Randbedingungen geprägt und stellt somit ein Einzelbild dar. Daher wird als Grundlage eine Herstellerbefragung herangezogen. Die Anzahl von Unternehmen, welche Löschgruppenfahrzeuge herstellen, ist überschaubar und somit lässt sich ein weit abdeckender Überblick des aktuellen Sachstands und Ausblick auf zukünftige Entwicklungen erzielen. Der auf die Problemstellung abzielende Katalog von insgesamt 13 Fragen wurde an die acht Unternehmen übersendet, welche beim Fachverband Feuerwehrtechnik des VDMA als Hersteller für Löschgruppenfahrzeuge gelistet sind (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, 2022).

Die beiden zuvor aufgeführten Betrachtungspunkte zielen auf einen großflächigen Blick auf die Problemstellung ab und versuchen somit die abzusehenden Entwicklungen und Auswirkungen insgesamt darzustellen. Dennoch lohnt es sich auch Einzelprojekte zu beleuchten. In quantitativer Hinsicht fallen diese zwar nicht ins Gewicht, können jedoch Machbarkeiten nachweisen und demonstrieren, welche bei weitergehenden Überlegungen relevant werden.

4 Ergebnisse

In Bezug auf die möglichen Ausgestaltungen des Marktes für schwere Nutzfahrzeuge lassen sich die folgenden Aussagen anhand verschiedener Untersuchungen festhalten. Allen ist dabei gemein, dass die zukünftigen Technologien maßgeblich durch Elektroantriebe realisiert werden. Dabei werden jedoch in Abhängigkeit des Energieträgers bzw. der Energiebereitstellung Vor- und Nachteile für verschiedene Fahrprofile in Bezug auf die Reichweite sowie Art und Dauer zum Auffüllen des Energiespeichers hervorgehoben. Die betrachteten Techniken beziehen dabei ihre elektrische Energie direkt aus Batterien (BEV), aus einer Brennstoffzelle mit Wasserstoff als Energieträger (FCEV) oder mittels einer Oberleitungstechnik auf Fernstraßen und einer Hilfsbatterie für Strecken abseits des Oberleitungsnetzes. Letzteres lässt sich aufgrund des Anforderungsprofils für Löschgruppenfahrzeuge komplett ausschließen.

Die Vergleichende Analyse der Potentiale von Antriebstechnologien für Lkw im Zeithorizont 2030 legt den Fokus auf die Vollkosten, zusammengesetzt aus Anschaffungs-, Energie- und Betriebskosten, von verschiedenen Antriebstechnologien für unterschiedliche Einsatzprofile. Sie kommt dabei zum Ergebnis, dass Batterie-Lkw Kostenvorteile für fast alle Einsatzprofile aufweisen. Am wirtschaftlichsten sei ein Mix aus Batterie-Lkw und Oberleitungs-Lkw, vorausgesetzt die nötige Infrastruktur wird dafür geschaffen. Brennstoffzellen würden sich hingegen nur bei sehr günstig importiertem Wasserstoff und voraussichtlich nur im Falle fortdauernder staatlicher Eingriffe rechnen (Jöhrens, et al., 2022).

Eine weitere Studie zum europäischen Lkw-Markt betrachtet die Kosteneffektivität zur Senkung der CO₂-Emissionen im schweren Nutzlastverkehr für unterschiedliche Reduzierungsziele und stellt dabei den notwendigen Anteil von emissionsfreien Lkw am Gesamtbestand für die Zeitpunkte 2030, 2035 und 2040 dar. Diese Anteile werden zudem anhand des Reichweitenprofils aufgeschlüsselt. Löschgruppenfahrzeuge können darin mit ihrem typischen Profil und der normativen Anforderung von 300 km Reichweite zwischen den Kategorien „urban & regional“ und „long-haul <500 km“ zugeordnet werden. Auffällig ist dabei, dass die Studie hier bereits für 2030 nur noch 14 % im niedrigen Langstreckenbereich und ab 2035 gar keine dieselbetriebenen Fahrzeuge mehr für diese Nutzungsarten vorsieht. Hinsichtlich der Kosten werden klare Vorteile bei den Batterie-Lkw gesehen, insbesondere bei Reichweiten bis 500 km (Basma & Rodríguez, 2023).

Die Studie von VDI und VDE zu klimafreundlichen Nutzfahrzeugen betrachtet neben Batterie-, Brennstoffzellen- und Oberleitungs-Lkw auch die Nutzung emissionsfreier synthetischer Kraftstoffe. Zu letzteren wird jedoch auch die geringe Effizienz angeführt. Insgesamt wird sich weniger auf konkrete Prognosen festgelegt. Vielmehr wird die Bandbreite der unterschiedlichen Technologien mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen beleuchtet. Dem Batterieantrieb wird dabei die hohe Effizienz, der Brennstoffzelle die große Reichweite zugeschrieben. Auch bei Kostenbetrachtungen werden diesen beiden

Techniken die größeren Vorteile zugesprochen (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik & Verein Deutscher Ingenieure, 2022).

In einer Hintergrundinformation für die Abstimmung über die Vorgaben von CO₂-Flottenwerten für schwere Nutzfahrzeuge im europäischen Parlament werden konkrete Zahlen von benötigten emissionsfreien Fahrzeugen sowie Elektroladepunkte und Wasserstofftankstellen für eine Reduktion von 30, 40 und 50% angegeben (European Parliamentary Research Service, 2023).

CO ₂ - Ziele		-30 %	- 40%	-50 %
Benötigte emissionsfreie Lkw in der EU		280.000	390.000	465.000
	Batterie-elektrisch	230.000	320.000	380.000
	Brennstoffzelle	50.000	70.000	85.000
Infrastruktur				
Elektrische Ladestationen	Insgesamt	34.000 - 42.000	48.000 - 59.000	53.000 - 65.000
	davon > 800 kW	20.000 - 25.000	28.000 - 35.000	31.000 - 39.000
Wasserstoff-tankstellen	6 t/Tag	500	650	700
	oder 2 t/Tag	1.500	2.000	2.200

Abbildung 3 Benötigte emissionsfreie Lkw, Ladestationen und Wasserstofftankstellen (eigene Darstellung, 2023)

An der Befragung der Hersteller von Löschgruppenfahrzeugen haben vier der insgesamt acht angefragten Unternehmen teilgenommen. Die Antworten sind in Anhang 2 zusammengefasst aufgeführt.

Die Fragestellung, ob bereits Löschgruppenfahrzeuge mit alternativen Antrieben angeboten werden, verneinen zwei Hersteller. Ein Unternehmen hat erste Fahrzeuge angeboten, weist jedoch auf eine sehr geringe Nachfrage hin und ein Unternehmen bietet Löschgruppenfahrzeuge auf eigenem Fahrgestell an. Nur eines der vier Unternehmen hat bislang Löschgruppenfahrzeuge mit alternativem Antrieb ausgeliefert und kann zunehmende Aufträge verzeichnen. Diese machen etwa 2 bis 3 % des Fahrzeugumsatzes aus. Die Kunden setzen sich dabei international zusammen und erstrecken sich auf Berufs-, Werks- und freiwillige Feuerwehren.

Die Hersteller beabsichtigen Löschgruppenfahrzeuge zukünftig mit alternativen Antrieben anzubieten. Die angegebenen Zeitspannen reichen dabei von konkreten Rollout-Vorhaben in 2024 bis zu nicht näher definierten Zeitpunkten (in Abhängigkeit wann die Fahrzeuge normgerecht auf Serienfahrgestellen darstellbar sind bzw. nicht in naher Zukunft). Bei der Technologie werden Batterieantriebe und Brennstoffzellen genannt bzw. die Abhängigkeit von der Lkw-Industrie betont. Ein Hersteller spricht sich eindeutig für die batterieelektrische Alternative aus.

Für die kommenden fünf bis zehn Jahre erwarten die Hersteller grundsätzlich eine Zunahme der Anzahl von Löschgruppenfahrzeugen mit alternativen Antrieben, jedoch in unterschiedlicher Ausprägung und bestimmt von weiteren Randbedingungen. Einen Einfluss haben demnach auch die wirtschaftliche Situation der Kommunen, Einbindung der Infrastruktur sowie das Produktangebot im Bereich der Serienfahrgestelle und die Strategie der Fahrgestellhersteller im Umgang mit dem Verbrennungsmotor.

Hinsichtlich der Verwendung von Serienfahrgestellen sehen die befragten Hersteller diese als wesentliche Voraussetzung oder gar einzig darstellbare Möglichkeit. Ein Hersteller sieht Sonderanfertigungen durch Aufbauhersteller für einen Produktlebenszyklus von 20 Jahren und mehr ausdrücklich kritisch. Hingegen führt das Unternehmen, welches bereits Löschgruppenfahrzeuge auf eigenem Fahrgestell anbietet, auch die Vorteile dieses Ansatzes an. Dazu gehören eine vollständige Integration der Elektromobilität, Verbesserungen in Ergonomie, Abmessungen und Kabinenkonzepten sowie die Bewältigung von Einschränkungen im Hinblick auf Gewicht und Volumen. Es werden allerdings auch die Preis- und Servicevorteile der Serienfahrgestelle betont, sodass beide Varianten verfolgt würden.

Als Herausforderungen bei der Umstellung auf alternative Antriebe sehen die Hersteller vorrangig Gewichts- und Platzprobleme im Zusammenhang mit der Erfüllung der Normvorgaben. Dabei werden mögliche Einschränkungen in der bislang gewohnten Leistungsfähigkeit für die Kunden angeführt. Diese beziehen sich auf Veränderungen der aufnehmbaren Beladung oder Besatzung, Einsatzverfügbarkeit und

die Notwendigkeit zusätzlicher Backup-Systeme bis hin zu nicht darstellbaren, aber bislang bekannten Anforderungen wie Allradantriebe. Weiterhin werden die erforderlichen Anpassungen in der Infrastruktur angeführt.

Zum Verhältnis der aktuellen Kosten von Löschgruppenfahrzeugen mit alternativen Antrieb im Vergleich zu einem konventionellen Antrieb (bei ansonsten gleichen Fahrzeuganforderungen) konnten keine dezidierten Aussagen gewonnen werden. Es werden pauschale Mehrkosten von 75 % angegeben bzw. eine Faktor von zwei bis drei, bezogen auf batterieelektrische Serien-Lkw. Bei der zukünftigen Preisentwicklung wird insgesamt von einem höheren Niveau im Vergleich zu den bisherigen Kosten für Löschgruppenfahrzeuge mit Verbrennungsmotor ausgegangen. Dennoch wird auch eine Reduktion durch zunehmende Serienfertigung zu den derzeitigen Kosten im Bereich der alternativen Antriebe angenommen.

Informativ wurden die Hersteller auch nach ihrem Angebot von weiteren Fahrzeugen mit alternativen Antrieben befragt. Dabei stellt sich ein durchaus größeres Angebot dar, auch bei den Unternehmen, welche bislang Löschgruppenfahrzeuge nicht mit alternativen Antrieben anbieten. Vorrangig sind hier Kleinfahrzeuge und Logistikfahrzeuge zu nennen. Als Technologie kommen auch hier batterieelektrische sowie Antriebe mittels Brennstoffzelle zur Anwendung.

5 Diskussion

Die anfangs vorgestellten, vielfältigen Möglichkeiten von alternativen Antrieben lassen sich aufgrund der geschilderten Ergebnisse auf die elektrischen Antriebe mittels Batterie oder Brennstoffzelle reduzieren. Sowohl die Hersteller von Löschgruppenfahrzeugen als auch die Prognosen zum zukünftigen Markt der schweren Nutzfahrzeuge stützen diese These. Anderweitige Technologien werden - wenn überhaupt - eine untergeordnete Rolle spielen. Dies gilt insbesondere für die Nutzung von Serienfahrzeugen aufgrund deren Produktionsmengen vor dem Hintergrund wirtschaftlicher Aspekte. Die Batterie stellt dabei die energie-effizientere Variante dar, findet ihre Grenzen jedoch in den sinnvoll erreichbaren Reichweiten. Um hierbei hohe Werte zu erzielen, müssten Einbußen aufgrund des Eigengewichts bei der möglichen Zuladung in Kauf genommen werden. Brennstoffzellen-Lkw bieten wegen der höheren Energiedichte des Wasserstoffs Vorteile bei Langstrecken-Fahrprofilen. Löschgruppenfahrzeuge sind jedoch typischerweise durch Fahrprofile mit kürzeren Distanzen gekennzeichnet. Dennoch sind im Hinblick auf die Leistungs- und Durchhaltefähigkeit besondere Anforderungen an Einsatzfahrzeuge zu stellen. Eine technische Lösung kann durch den Einbau von sogenannten range extendern, bestehend aus einer Kombination von Verbrennungsmotor und Generator, erfolgen. Mit einem solchen Sicherungssystem könnten auch die batterieelektrisch angetriebenen Löschgruppenfahrzeuge langandauernde Einsatzlagen bewältigen. Aufgrund der geringen Häufigkeit dieser Szenarien kann auch die Umweltbelastung dieser Systeme als nachrangig gewertet werden bzw. mit klimaneutral hergestellten synthetischen Kraftstoffen zu höheren Kosten ebenfalls CO₂-neutral gestaltet werden. Zudem würde sich die Versorgungslogistik mit Treibstoff zu den heutigen Maßnahmen nicht ändern. Die Versorgung einer Einsatzstelle mit Wasserstoff wäre hingegen eine erhebliche Umstellung.

Die abseits der Kostenfrage von den Herstellern angeführten Herausforderungen von bisher gewohnten und praktizierten Anforderungen der Kunden sowie der Normung hinsichtlich Gewicht und Platzangebot in die Fahrzeuge zu integrieren, ist eine nicht von der Hand zu weisende und größtenteils noch zu lösende Aufgabe. Dabei ist die Diskussion um eine Überschreitung der normativen Gesamtmasse aber auch schon in der Vergangenheit, vor allem bei Hilfeleistung-Löschgruppenfahrzeugen geführt worden. Die Lösung dazu kann allerdings nicht eine pauschale Aufweichung der Gewichtsbeschränkungen sein, denn die bestehenden Flächen für die Feuerwehr sind mit ihrer definierten Mindesttragfähigkeit schlichtweg vorhanden. Mögliche Stellschrauben sind die mitgeführten Einsatzmittel oder die aufnehmbare Besatzung in den Fahrzeugen. Veränderungen an diesen Punkten wirken sich in der Folge aber direkt auf die bisherige Leistungsfähigkeit aus und müssen somit einer genauen Betrachtung unterzogen werden. Dennoch sollte darüber ein offener, objektiver und ebenso selbstkritischer Diskurs geführt werden. Letztlich gilt es dabei nicht nur eine technische Lösung des Problems und regulatorische Umsetzung zu erreichen. Zum Weg dorthin gehört es auch, dass die Betroffenen solcher Veränderungen mitgenommen und aktiv eingebunden werden, um eine nachhaltige Akzeptanz zu erzielen.

Einen gänzlich anderen Umgang mit der Fragestellung alternativer Antriebe für Löschgruppenfahrzeuge auf Serienfahrzeugen würde die Weiternutzung der bisherigen Dieselschifftechnologie darstellen. Dies kann

auch stichhaltig mit der besonderen Stellung der Feuerwehr zur Sicherstellung der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr begründet werden. In dem - kürzlich vom europäischen Parlament zugestimmten - Vorschlag der europäischen Kommission zur Änderung der entsprechenden EU-Verordnung mit Verschärfung der CO₂-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge ist die Ausnahme der Zielvorgaben für Fahrzeuge des Katastrophenschutzes und der Feuerwehr enthalten (Europäische Kommission, 2023). Somit ist rechtlich die Möglichkeit für einen solchen Sonderweg, der ebenfalls auch andere Bereiche wie Rettungsdienst, Polizei oder Streitkräfte betrifft, gegeben. Wegen der niedriger zu erwartenden Stückzahlen von Lkw mit Verbrennungsmotoren ist dabei allerdings von einer deutlichen Preissteigerung auszugehen.

Dieser Fachartikel begrenzt sich im Wesentlichen auf die Betrachtung von alternativen Antrieben für Löschgruppenfahrzeuge auf Serienfahrgestellen. Es soll dennoch erwähnt werden, dass sich die Umstellungen auf alternative Antriebstechnologien auf den gesamten Fuhrpark von Feuerwehren auswirken sowie in Einzelfällen Erprobungs- und Anwendungsmaßnahmen von Löschgruppenfahrzeugen durchgeführt werden, welche nicht der Kategorie Serienfahrgestell zuzuordnen sind. Das bekannteste Beispiel in Deutschland stellt das Projekt „eLHF“ der Berliner Feuerwehr dar. Nach einer Erprobung im Rahmen einer vergleichenden Analyse wurde die Fragestellung, ob das Rosenbauer-eHLF unter dem Maßstab des einsatztaktischen Wertes eines HLF 20 als Standardfahrzeug der meisten Berufsfeuerwehren weiterentwickelt werden kann, mit ja beantwortet (Weigmann, 2021). In den vergangenen Jahren ist vermehrt zu beobachten, dass Feuerwehren zunächst im Pkw-Bereich mit der Umstellung auf alternative Antriebe beginnen. Dort ist eine Veränderung vergleichsweise einfach zu realisieren. Für Dienstfahrzeuge, aber auch Einsatzfahrzeuge wie z.B. einen Kommandowagen, bestehen zumeist keine besonderen Anforderungen, welche nicht durch die bereits verfügbaren Modelle abgedeckt werden können. Die erforderlichen Anpassungen an die Infrastruktur sind beispielsweise durch Wallboxen mit geringem Aufwand zu realisieren oder es kann sich einer bestehenden Tankstelleninfrastruktur für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge in einer Stadt bedient werden. Die zunehmende Verbreitung, insbesondere von elektrisch angetriebenen Pkw, ermöglicht eine wirtschaftliche Beschaffung. Zudem sind geringere Nutzungsdauern bei Pkw im Vergleich zu Lkw regelmäßig gegeben, weshalb eine Entscheidung trotz eventueller Vorbehalte leichter fallen kann. Letztlich spielt auch die Wahrnehmung der Feuerwehr als kommunale Einrichtung in der Öffentlichkeit eine große Rolle, sodass an diesem schnell und vergleichsweise einfach umsetzbaren Punkt entweder konkrete Forderungen zu einem vereinzelt bzw. flächigen Austausch der Pkw-Flotte gestellt werden, oder auch besondere Förderungen bereitgestellt werden.

6 Fazit

Alternative Antriebe für Löschgruppenfahrzeuge auf Serienfahrgestellen sind zum heutigen Zeitpunkt bei deutschen Feuerwehren praktisch nicht vorhanden. Die Aufbauhersteller betonen die Abhängigkeit vom zukünftigen Lkw-Markt. Für diesen zeichnet sich eine eindeutige Entwicklung zu elektrischen Antrieben mit Batterien oder Brennstoffzellen ab, wobei für das Fahrprofil von Löschgruppenfahrzeugen der batterieelektrische Antrieb deutlich priorisiert ist. Die Anschaffungskosten werden mit der zunehmenden Verbreitung sinken, können in den kommenden Jahren allerdings immer noch über dem Preisniveau für heutige Verbrennungsmotoren liegen. Die spezifischen Herausforderungen liegen bei Gewicht, Platzverhältnissen, Einsatzverfügbarkeit und der Infrastruktur. Neben den technischen Lösungen ist auch eine kritische Auseinandersetzung der Feuerwehren, insbesondere zu einer eventuell geänderten Leistungsfähigkeit und damit einhergehenden Anpassungen, erforderlich. Möglicherweise kommt es bei der Umstellung auf alternative Antriebe zu einem Verzögerungseffekt bis hin zu vollständigem Verbleib bei Verbrennungsmotoren unter der Berufung auf Ausnahmeregelungen. Dies hängt nicht zuletzt von den ganzheitlichen - auch politischen - Betrachtungen der Entscheidungsträger kommunaler Feuerwehren im jeweiligen Einzelfall ab.

Teil II: Methoden-, Literatur- und Quellendokumentation

1 Beschreibung der Methodik

Für die Erstellung der Facharbeit wurden folgende Methoden verwendet:

a) Literaturrecherche (unsystematisch und systematisch)

Mit der unsystematischen Literaturrecherche nach dem Schneeballsystem kann eine Einarbeitung in das Thema und die Fragestellung erfolgen. Dazu werden themenrelevante Ausgangsquellen nach Literaturangaben durchsucht. Auch die so gefundenen Quellen werden wiederum nach weiterer Literatur durchsucht. Mit der systematischen Literaturrecherche werden die für die Fragestellung relevanten Veröffentlichungen herausgefiltert. Dazu werden zunächst Suchbegriffe bestimmt, anhand derer die Literatursuche durchgeführt wird. Die Suchergebnisse werden anschließend überflogen, indem die Zusammenfassung, Gliederung, Einleitung oder das Fazit betrachtet wird. Passt dies zur Fragestellung, erfolgt eine genauere Auseinandersetzung mit dem Text (Solis, 2023).

Die Beschreibung zur Literaturrecherche ist unter Nummer 3.1 dieses Teils der Facharbeit aufgeführt.

b) Sekundäranalyse

Bei der Sekundäranalyse erfolgt eine Wiederverwendung von bereits erhobenen Daten aus einer Primäranalyse. Sie dient dazu, die Daten mit einem anderen Blickwinkel neu zu betrachten, ergänzende Fragestellungen zu beantworten oder die ursprüngliche Primäranalyse zu validieren bzw. zu widerlegen (Genau, 2023).

Die vorhandenen Daten aus Erhebungen des Kraftfahrt-Bundesamtes sowie des statistischen Bundesamtes wurden gefiltert und themenbezogen aufbereitet. Weiterhin sind Ergebnisse und Daten der ausgewählten Studien zu zukünftigen Entwicklungen des Lkw-Marktes kontextualisiert dargestellt.

c) Umfrage

Eine Umfrage kann genutzt werden, um theoretische Themen praxisnah zu betrachten. Sie kann in qualitativer oder quantitativer Hinsicht erfolgen bzw. auch in Form einer Kombination daraus. Es wird ein Fragebogen zum betrachteten Thema erstellt und es muss eine Auswahl passender Teilnehmer getroffen werden. Quantitative Umfragen werden statistisch ausgewertet, qualitative Umfragen bedürfen einer Interpretation (Pfeiffer, 2022).

Es ist eine Umfrage in Form einer Herstellerbefragung durchgeführt worden. Der Fragebogen aus insgesamt 13 Fragen wurde gezielt auf die Aufgabenstellung hin entworfen und behandelt die Themenblöcke: Überblick des aktuellen Sachstandes, Ausblick auf zukünftige Entwicklungen sowie Bewertung von wirtschaftlichen Aspekten. Mit den frei zu formulierenden Antworten wurde ein qualitativer Ansatz gewählt. Die Auswahl der Teilnehmer erfolgte anhand der Mitgliederliste vom Fachverband Feuerwehrtechnik im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, welche darin als Hersteller von Feuerwehrfahrzeugen aufgeführt sind. Die Ergebnisse wurden zusammengefasst und wo erforderlich gegenübergestellt. Auf eine Zuordnung der Antworten zu den befragten Unternehmen wurde bewusst und mit vorheriger Absprache verzichtet.

2 Begründung

Das Thema des Fachartikels „Alternative Antriebe für Löschgruppenfahrzeuge auf Serienfahrgestellen“ mit der Aufgabenstellung, einen Überblick des aktuellen Sachstandes und einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen zu geben sowie die Bestrebungen auch hinsichtlich wirtschaftlicher Aspekte zu bewerten, ist durch nachfolgende Sachverhalte geprägt.

Zunächst ist die Betrachtung von Löschgruppenfahrzeugen auf Serienfahrgestellen inhaltlich stark eingegrenzt und sehr spezifisch. Deshalb wurde die Herstellerbefragung im qualitativen Ansatz als zielführende Methode ausgewählt, da der überschaubare Teilnehmerkreis nahezu den gesamten Absatz auf dem Markt für Feuerwehrfahrzeuge abdeckt und angenommen werden kann, dass sich mit der Thematik von alternativen Antrieben aus unternehmerischen Gründen bereits tiefgehend auseinandergesetzt wird. Bei einer großflächigen Befragung der Feuerwehren kann von einer solchen Auseinandersetzung nicht zwangsläufig ausgegangen werden. Eine Befragung von Einzelpersonen bei Feuerwehren wurde nicht für sinnvoll erachtet, da die ermittelten Äußerungen ein sehr stark durch die

persönliche Meinung geprägtes Bild wären. Insgesamt zielt der Fachartikel innerhalb der genannten Eingrenzung auf eine übergreifende Darstellung ab. Aus diesem Grund wurde auch auf eine umfangreiche Darstellung von bestehenden Einzelprojekten verzichtet, da diese zwar thematisch viel liefern, jedoch keine Aussagekraft vor dem Hintergrund der Mengenverhältnisse am tatsächlichen Fahrzeugbestand haben.

Überdies wurde frühzeitig die unmittelbare Abhängigkeit des Punktes „auf Serienfahrzeug“ vom Lkw-Markt angenommen, die sich im Zuge der Herstellerbefragung auch erhärtet hat. Alternative Antriebe sind ein äußerst aktuelles, politisches sowie gesellschaftliches Thema. Insbesondere die während der Erstellung des Fachartikels erfolgte Abstimmung im europäischen Parlament zu CO₂-Flottengrenzwerten für schwere Nutzfahrzeuge zeigt dies deutlich auf. Daher wurde im ersten Ansatz mit der unsystematischen Literaturrecherche ein möglichst aktuelles Bild der Thematik eingeholt. Daraus konnten die Verweise auf die aktuellen Veröffentlichungen staatlicher Institutionen sowie der Studien erlangt werden, die eine Entwicklung des Lkw-Marktes prognostizieren.

Zur Darstellung des aktuellen Sachstandes wurden unabhängig der Ergebnisse der Herstellerbefragung (mit Bezug auf Feuerwehrfahrzeuge) die statistischen Werte des Kraftfahrt-Bundesamtes über die Neuzulassungen für schwere Nutzfahrzeuge herangezogen. In Verbindung mit den Daten der vorausschauenden Studien werden damit die Größenverhältnisse der bevorstehenden Veränderungen deutlich gemacht.

3 Literatur- und Quelldokumentation

3.1 Beschreibung der Literatur- und Quellensuche und der Datenbanken

Zunächst wurde durch eine Internetrecherche ein allgemeiner Zugang zur Thematik gesucht. Über diverse Berichterstattungen in üblichen Medienportalen, aber auch durch Artikel branchenspezifischer Webseiten konnten Hinweise auf die zugrunde gelegten Quellen erhalten werden. Diese setzen sich zum einen aus Veröffentlichungen staatlicher Institutionen auf europäischer und Bundesebene zusammen, zum anderen handelt es sich um Studien mit geeignetem Bezug zur entwickelten Fragestellung. Die Studien konnten über allgemeine Suchmaschinen oder gezielt in Datenbanken (z.B. Google Scholar) gefunden und dabei eine weitere Sichtung der Suchergebnisse vorgenommen werden. Eine Suche in den Datenbanken zur exakten Themenstellung alternativer Antriebe für Löschgruppenfahrzeuge - auch mit abgewandelten Suchbegriffen - lieferte keine verwertbaren Ergebnisse. Die fachspezifische Normung wurde durch das dienstlich bereitgestellte Zugangportal unmittelbar bezogen. Die Arbeit zum einzigen erwähnten Einzelprojekt (Vergleichende Analyse zum eHLF der Fa. Rosenbauer) konnte direkt vom Autor bezogen werden.

3.2 Übersicht über die Ergebnisse der Literatur- und Quelldokumentation

(Schlüsselbegriffe, Anzahl der Treffer etc.)

Suchergebnisse über Google:

Alternative Antriebe Lkw - 204.000 Ergebnisse

Alternative Antriebe schwere Nutzfahrzeuge - 112.000 Ergebnisse

alternative Antriebe schwere Nutzfahrzeuge Marktentwicklung - 541.000 Ergebnisse

Verkehrswende schwere Nutzfahrzeuge - 27.500 Ergebnisse

Flottengrenzwerte schwere Nutzfahrzeuge - 2.920 Ergebnisse

Flottengrenzwerte Lkw europäisches Parlament - 41.600 Ergebnisse

Vergleichende Analyse der Potentiale von Antriebstechnologien für Lkw - 3.400 Ergebnisse

Vergleich unterschiedlicher Technologiepfade für CO₂-neutrale Antriebe - 7.330 Ergebnisse

Statistik Güterverkehr Deutschland - 439.000 Ergebnisse

Anzahl alternative Antriebe Lkw Deutschland - 1.110.000 Ergebnisse

Statistik alternative Antriebe Lkw Deutschland - 455.000 Ergebnisse

Hersteller Feuerwehrfahrzeuge Deutschland - 772.000 Ergebnisse

Hersteller Feuerwehrfahrzeuge Deutschland Verband - 112.000 Ergebnisse

Hersteller Feuerwehrfahrzeuge Deutschland Fachverband - 32.200 Ergebnisse

Suchergebnisse über Google Scholar (mit Zeiteinschränkung seit 2022):

European heavy-duty vehicles market - 10.600 Ergebnisse

Alternative Antriebe Löschgruppenfahrzeuge - 0 Ergebnisse

Alternative Antriebe Löschfahrzeuge - 10 Ergebnisse

Alternative Antriebe Feuerwehr - 309 Ergebnisse

Suchergebnisse über BASE:

Alternative Antriebe Löschgruppenfahrzeuge - 0 Ergebnisse

Alternative Antriebe Löschfahrzeuge - 0 Ergebnisse

Alternative Antriebe Feuerwehr - 1 Ergebnis

3.3 Kriterien der Literatur- und Quellenauswahl

Für die Quellen der Zielvorgaben im Bereich des Klimaschutzes und im speziellen auf den im Fachartikel betrachteten Verkehrssektor, welche die Leitplanken für die zukünftige Entwicklung des Lkw-Marktes vorgeben, wurden die offiziellen Veröffentlichungen der zuständigen staatlichen Institutionen ausgewählt. Diese sind mit der Bundesregierung, dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie dem Umweltbundesamt auf nationaler Ebene sowie dem europäischen Parlament und der europäischen Kommission auf EU-Ebene als vertrauenswürdig und aussagekräftig einzustufen. Dieses Kriterium gilt auch für die statistischen Daten des Kraftfahrt-Bundesamtes sowie des statistischen Bundesamtes.

Für die herangezogenen Studien, welche die zukünftigen Entwicklungen von Antriebsarten für schwere Nutzfahrzeuge betrachten, wurde als Hauptkriterium die Aktualität der jeweiligen Quelle festgelegt. Bei der Sichtung verschiedener Werke hat sich schnell herausgestellt, dass dies aufgrund der dynamischen Entwicklungen im Themenbereich ein wesentlicher Faktor für die Aussagekraft ist. Es wurden daher nur Studien aus den Jahren 2022 und 2023 beachtet. Weiterhin erfolgte eine Überprüfung hinsichtlich der Vertrauenswürdigkeit der veröffentlichenden Organisationen. Bei dem Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) sowie dem International Council on Clean Transportation Europe (ICCT) handelt es sich jeweils gemeinnützige Gesellschaften mit beschränkter Haftung (gGmbH) als Rechtsform, welche durch das Umweltbundesamt gefördert werden. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) sind bedeutende Akteure für die Erstellung und Herausgabe von anerkannten Regeln der Technik.

3.4 Zusammenfassende Beschreibung der ausgewählten Literatur und Quellen

Zur Erstellung des Fachartikels konnten keine wissenschaftlichen Studien, Forschungsberichte oder vergleichbares gefunden werden, welche genau die Themen- und Aufgabenstellung abbilden. Daher wurde zum einen eine Herstellerbefragung durchgeführt und zum anderen die Annahme der Abhängigkeit von den Entwicklungen des allgemeinen Marktes für schwere Nutzfahrzeuge getroffen. Die Literatur- und Quellenauswahl erfolgte somit in Bezug auf diesen Beobachtungskontext. Die verwendeten Quellen setzen sich aus Veröffentlichungen, welche die staatlichen Regulierungen darstellen, sowie Studien und Berichte, die einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen zulassen, zusammen.

Literaturverzeichnis

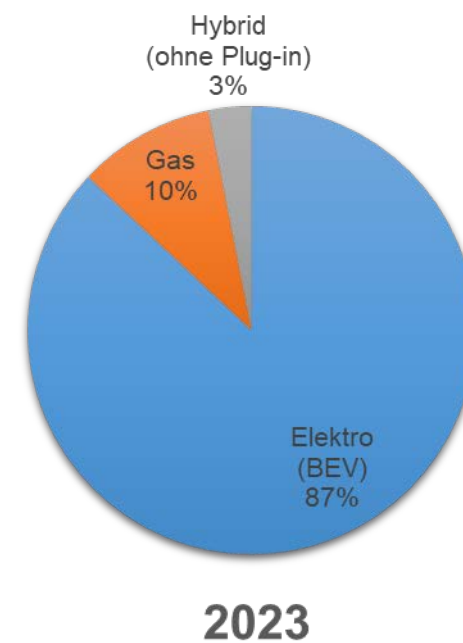
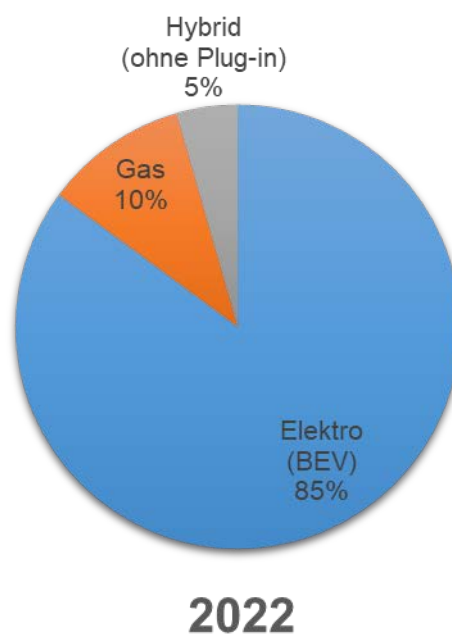
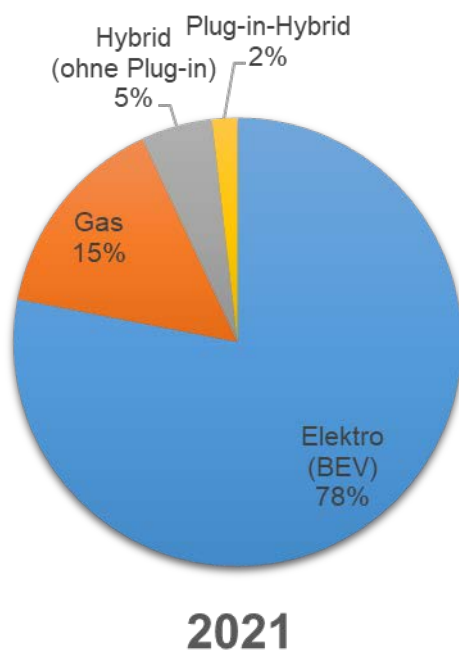
- Basma, H., & Rodríguez, F. (Januar 2023). *The european heavy-duty vehicle market until 2040: Analysis of decarbonization pathways*. International Council on Clean Transportation Europe.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (21. April 2016). *Übereinkommen von Paris | Gesetze und Verordnungen*. Von <https://www.bmuv.de/gesetz/uebereinkommen-von-paris> am 11. November 2023 abgerufen
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (8. März 2023). *FAQ CO2-Flottengrenzwerte | Download*. Von <https://www.bmuv.de/download/faq-co2-flottengrenzwerte> am 25. November 2023 abgerufen
- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. (2023). *Lexikon der Entwicklungspolitik | Klimaabkommen von Paris*. Von <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602> am 11. November 2023 abgerufen
- Bundesregierung. (7. November 2022). *Klimaschutzgesetz: Klimaneutralität bis 2045*. Von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> am 12. November 2023 abgerufen
- Deutsches Institut für Normung. (November 2019). DIN 14530-11:2019-11. *Löschfahrzeuge - Teil 11: Löschgruppenfahrzeug LF 20*. Beuth Verlag.
- Deutsches Institut für Normung. (November 2019). DIN 14530-26:2019-11. *Löschfahrzeuge - Teil 26: Hilfeleistungs-Löschgruppenfahrzeug HLF 10*. Beuth Verlag.
- Deutsches Institut für Normung. (November 2019). DIN 14530-27:2019-11. *Löschfahrzeuge - Teil 27: Hilfeleistungs-Löschgruppenfahrzeug HLF 20*. Beuth Verlag.
- Deutsches Institut für Normung. (November 2019). DIN 14530-5:2019-11. *Löschfahrzeuge - Teil 5: Löschgruppenfahrzeug LF 10*. Beuth Verlag.
- Deutsches Institut für Normung. (April 2022). DIN EN 1846-2. *Feuerwehrfahrzeuge - Teil 2: Allgemeine Anforderungen - Sicherheit und Leistung; Deutsche und Englische Fassung prEN 1846-2:2022*. Beuth Verlag.
- Europäische Kommission. (14. Februar 2023). *Vorschlag für eine Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1242 im Hinblick auf die Verschärfung der CO2-Emissionsnormen für neue schwere Nutzfahrzeuge und die Einbeziehung von Meldepflichten*. Von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=COM:2023:88:FIN> am 09. Dezember 2023 abgerufen
- Europäisches Parlament. (21. November 2023). *Parliament backs new rules to reduce air pollution from trucks and buses*. Von <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20231117IPR12204/parliament-backs-new-rules-to-reduce-air-pollution-from-trucks-and-buses> am 26. November 2023 abgerufen
- European Parliamentary Research Service. (November 2023). *Briefing - EU Legislation in Progress - CO₂ emission performance standards and reporting obligations for new heavy-duty vehicles*.
- Genau, L. (20. November 2023). *So führst du eine Sekundäranalyse durch + Beispiele*. Von <https://www.scribbr.de/methodik/sekundaeranalyse/> am 09. Dezember 2023 abgerufen
- Jöhrens, J., Allekotte, M., Heining, F., Helms, H., Räder, D., Köllermeier, N., & Waßmuth, V. (Januar 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.
- Kraftfahrt-Bundesamt. (2021 - 2023). *Datenquelle: Kraftfahrt-Bundesamt, FZ 28.1 Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Fahrzeugklassen sowie nach ausgewählten Kraftstoffarten bzw. Energiequellen, 25.11.2023; Datenlizenz by-2-0*.

- Pfeiffer, F. (17. Januar 2022). *Umfrage als wissenschaftliche Methode durchführen*. Von <https://www.scribbr.de/methodik/umfrage-wissenschaftliche-methode/> am 09. Dezember 2023 abgerufen
- Solis, T. (20. November 2023). *Empfehlungen für die systematische Literaturrecherche*. Von <https://www.scribbr.de/aufbau-und-gliederung/literaturrecherche/> am 09. Dezember 2023 abgerufen
- Statistisches Bundesamt. (25. Oktober 2023). *Beförderungsmenge und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern*. Von <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/gueterbefoerderung-lr.html> am 29.11.2023 abgerufen
- Transport & Environment. (27. September 2021). *LNG Trucks: a dead end bridge. Emissions testing of a diesel- and a gas-powered long-haul truck*. Von <https://www.transportenvironment.org/discover/lng-trucks-a-dead-end-bridge/> am 25. November 2023 abgerufen
- Umweltbundesamt. (15. März 2023). *Klimaschutz im Verkehr*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr> am 12. November 2023 abgerufen
- Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik & Verein Deutscher Ingenieure. (Januar 2022). *Klimafreundliche Nutzfahrzeuge - Vergleich unterschiedlicher Technologiepfade für CO₂-neutrale und -freie Antriebe*.
- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau. (12. Januar 2022). *Feuerwehrtechnik - Produktportfolio Mitglieder*. Von <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/1188559> am 28.06.2023 abgerufen
- Weigmann, A. (15. Dezember 2021). *Vergleichende Analyse zum eHLF der Fa. Rosenbauer*. München.

A. Anhänge

Anhang 1 - Verteilung der Arten alternativer Antriebe bei Lkw-Neuzulassungen in Deutschland 2021 bis 2023

Datenquelle: Kraftfahrt-Bundesamt, FZ 28.1 Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen 2021 - 2023 nach Fahrzeugklassen sowie nach ausgewählten Kraftstoffarten bzw. Energiequellen, 25.11.2023; Datenlizenz by-2-0; eigene Darstellung



Anhang 2 - Fragenkatalog Hersteller Löschgruppenfahrzeuge

1. Bieten Sie Löschgruppenfahrzeuge (LF/HLF) mit alternativen Antrieben derzeit an?

- a) „Nein“
- b) „Nein“
- c) „Erste Fahrzeuge sind angeboten, die Nachfrage ist aber sehr gering.“
- d) „Ja, wir bieten derzeit Löschgruppenfahrzeuge (LF/HLF) auf unserem eigenen Fahrgestell an, und wir planen in der Zukunft, Modelle auf verfügbaren Serienfahrgestellen anzubieten. Unser Portfolio umfasst bereits alternative Antriebsmöglichkeiten für Feuerwehrfahrzeuge.“

2. Falls nicht, ist dies zukünftig beabsichtigt und mit welchem Zeithorizont?

- a) „Wir beabsichtigen sehr wohl Löschfahrzeuge mit alternativen Antrieben anzubieten. Dies wird dann passieren, wenn die LKW Hersteller Serienfahrgestelle mit alternativen Antrieben anbieten auf denen LF/HLF in der jetzigen Norm darstellbar sind bzw. die Norm entsprechend adaptiert wurde.“
- b) „Nicht in naher Zukunft.“
- c) -
- d) „Der Rollout des AT electric (LF/HLF) auf Serienfahrgestellen ist für das Jahr 2024 geplant. In den kommenden Jahren werden wir unser Angebot kontinuierlich erweitern, um den Bedürfnissen der Feuerwehren gerecht zu werden.“

3. Welcher Art sind diese alternativen Antriebsformen?

- a) „Das wird von der LKW Industrie abhängen.“
- b) „E-Antrieb mit Batterien und Brennstoffzelle, allerdings nicht für Löschgruppenfahrzeuge.“
- c) -
- d) „Unsere bevorzugte Antriebsart für alternative Feuerwehrfahrzeuge ist batterieelektrisch. Wir sind von der Energieeffizienz und der Skalierbarkeit dieses Ansatzes überzeugt, da er die individuellen Energielogistikanforderungen der verschiedenen Feuerwehren berücksichtigt.“

4. Haben Sie bereits LF/HLF mit alternativen Antrieben an Feuerwehren ausgeliefert bzw. liegen dazu Aufträge vor?

- a) „Nein“
- b) „Nein“
- c) „Nein“
- d) „Wir haben bereits Kunden in verschiedenen Ländern, darunter Österreich, Deutschland, Schweiz, USA, Kanada, Australien und Singapur. Wir dürfen uns auch an zunehmenden Aufträgen erfreuen.“

5. Welchen Umfang haben die Auslieferungen/Aufträge und handelt es sich um Berufs-/ Freiwillige- oder Werkfeuerwehren, nationale oder auch ggf. internationale Kunden?

- a) „Keine“
- b) -
- c) „Keine Angabe“
- d) „Wir haben sowohl Berufs-, Freiwillige- und Werkfeuerwehren als Kunden und Interessenten für die diversen Fahrzeuglösungen.“

6. In welchem Mengenverhältnis stehen die Aufträge für LF/HLF mit alternativen Antrieben zu herkömmlichen Antriebsformen und was erwarten Sie diesbezüglich für Änderungen in den nächsten 5-10 Jahren.

- a) „Zur Zeit 100% konventionelle Antriebe; Die Tendenz geht zu alternativen Antrieben, jedoch müssen die Normen adaptiert werden. Die wirtschaftliche Situation der Kommunen wird aus heutiger Sicht den Shift zu alternativen Antrieben nur bedingt beflügeln, es sein denn die öffentliche Hand stellt enorme Fördergelder zur Verfügung.“
- b) „Die Anzahl der E-Fahrzeuge wird zunehmen.“
- c) „Derzeit keine Stückzahlen. Eine Änderung zu hohen Stückzahlen wird aus unserer Sicht am Markt derzeit noch sehr kritisch gesehen, da das Thema Infrastruktur immer noch mit eingebunden werden muss.“
- d) „Derzeit machen Aufträge für LF/HLF mit alternativen Antrieben etwa 2-3% unseres Fahrzeugumsatzes aus, aber wir erwarten, dass dieser Anteil bis 2030 speziell in Europa und Nordamerika massiv gesteigert werden kann. Eine wesentlicher Beschleuniger wird das Produktangebot im Bereich der Serienfahrgestelle und deren Strategie mit dem Verbrennungsmotor (Stichwort: Auslauf, verringertes Angebot) sein.“

7. Handelt es sich bei den alternativen Antrieben um LKW-Serienfahrgestelle oder eine „Sonderanfertigung/-entwicklung“?

- a) „Sonderentwicklungen durch Aufbauhersteller oder Start-Ups sind für einen Produktlebenszyklus von 20 Jahren und mehr nur als bedingt nachhaltig anzusehen. Wir sehen die LKW-Industrie hier in der führenden Rolle“
- b) „Serie“
- c) „LKW Serienfahrgestelle“
- d) „Wir bieten sowohl eigene Fahrgestelle als auch Feuerwehrfahrzeuge auf LKW-Serienfahrgestellen an. Beide Ansätze haben ihre Vorteile. Unsere eigenen Fahrgestelle ermöglichen eine vollständige Integration der Elektromobilität, einschließlich Verbesserungen in Ergonomie, Abmessungen und Kabinenkonzepten. Andererseits bieten LKW-Serienfahrgestelle Preis- und Servicevorteile.“

8. Wie bewerten Sie die aktuellen und auch abzusehenden Marktentwicklungen in Bezug auf die zumeist übliche Nutzung von LKW-Serienfahrgestellen für Löschgruppenfahrzeuge, auch im Hinblick auf die normative Forderung zur Verwendung eines „handelsüblichen“ Fahrgestells?

- a) „Langfristig wird sich ein Serienfahrgestelle mit alternativen Antrieb und entsprechende adaptierter Norm durchsetzen“
- b) „Es werden Serienfahrzeuge verwendet werden (wie bisher auch)“
- c) „Keine Angabe“

- d) „Alternative Antriebe bringen spezifische Herausforderungen mit sich, insbesondere im Hinblick auf Gewichtsbeschränkungen und Volumen. Sonderfahrgestelle können diese Einschränkungen besser bewältigen. Unsere Strategie ist es, beide Technologien anzubieten, um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden.“

9. Welche Herausforderungen sehen Sie einerseits aus Sicht des Herstellers für die Entwicklung und andererseits in Bezug auf die Kundenanforderungen vor dem Hintergrund der Nutzung bei alternativen Antriebsformen für LF/HLF auf Serienfahrgeräten?

- a) „Gewicht, Bauraum, Zugänglichkeit, Back-Up Power unter einen Hut zu bringen ist die größte Herausforderung“
- b) „Gewicht zu hoch (<16t) und Platzprobleme (wegen den Batterien). Ich denke, dass die Multifunktionsfahrzeuge (wie ein HLF aussterben werden (oder die Gruppenbesatzung!!))“
- c) „Die Herausforderungen liegen bei den Themen Infrastruktur, Gewicht, Platzverhältnisse, Unterhaltskosten (Batteriewechsel), Einsatzverfügbarkeit und Anschaffungskosten.“
- d) „Herausforderungen bei alternativen Antrieben können die Normerfüllung durch Mehrgewicht, verschlechterte Ergonomie und die Notwendigkeit zusätzlicher Infrastruktur oder Backup-Systeme im Fahrzeugbau umfassen. Speziell in den ersten Jahren der Transformation von Verbrennungsmotor zu alternativen Antrieben wird Fahrgestellvarianz nicht das Bekannte abbilden (Allrad, geringere Leistungsfähigkeit für die Feuerwehranwendung). Dies stellt sowohl für Hersteller als auch Kunden eine Herausforderung dar.“

10. Bieten Sie weitere Fahrzeuge (außer LF/HLF) - insbesondere auf LKW-Fahrgestellen - für die Feuerwehr mit alternativen Antriebsformen an bzw. ist dies zukünftig beabsichtigt?

- a) „Grundsätzlich bieten wir die gesamte Produktpalette für Feuerwehrfahrzeuge ab dem MLF bis zum Sonderlöschfahrzeug an, jedoch ohne Drehleitern, Hubrettungsgeräte und Flugfeldlöschfahrzeuge. Bisher jedoch nur auf konventionellen Antrieben“
- b) „Ja. Z.B. GW-Hygiene, GW-L, KLAFF, ELW 1, Flugfeldlöschfahrzeuge“
- c) „Ja Logistik Fahrzeuge und Hubrettungsgeräte.“
- d) „Neben LF/HLF bieten wir auch alternative Antriebsformen für andere Feuerwehrfahrzeuge an, wie Kleinfahrzeuge, Logistik- und Rüstfahrzeuge. Diese Fahrzeuge weisen eine geringere Energieabnahme auf und eignen sich daher besonders gut für alternative Antriebe.“

11. Welcher Art sind diese alternativen Antriebsformen und für welche Fahrzeuge?

- a) -
- b) „Im Moment nur E-Fahrzeuge mit Batterien und Wasserstoff-Brennstoffzelle“
- c) „Elektro und Wasserstoff.“
- d) „Unsere bevorzugten alternativen Antriebsformen sind batterieelektrisch und batterieelektrisch mit einem Backup-System, das derzeit oft in Form eines Dieselmotors realisiert wird. Diese Technologien gelten aus heutiger Sicht als die effizientesten. Speziell für Großschadensereignisse halten wir diese Technologien als Beste Alternative zum reinen Verbrennungsmotor.“

12. In welchem Verhältnis stehen aktuell die Kosten für LF/HLF oder andere Feuerwehr-Fahrzeuge mit alternativen Antrieben im Vergleich zu herkömmlichen Antriebsformen (bei ansonsten vergleichbaren Fahrzeuganforderungen)?

- a) „Können hierzu leider keine Angaben machen“
- b) „E- Fahrzeug mit Batterie: 200-250T€+ MwSt. E- Fahrzeug mit Brennstoffzelle: 650-700T€+ MwSt. (Bei LkW-Fahrgestellen)“
- c) „Circa 75% teurer.“
- d) „Aktuell sind batterieelektrische Serien-LKW in der Regel etwa 2-3 Mal teurer als Modelle mit herkömmlichen Antrieben, wenn die Fahrzeuganforderungen vergleichbar sind.“

13. Wie bewerten Sie die zukünftige Preisentwicklung für LF/HLF oder andere Feuerwehr-Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, insbesondere unter der Annahme einer zunehmenden Verbreitung im LKW-Sektor und dementsprechender Serienfertigung?

- a) “Wenn als Vergleichsbasis das HLF / LF mit Verbrennungsmotor gilt, wird das HLF / LF bei gleichen Leistungsparametern exorbitant teurer in der Anschaffung und im Betrieb werden.“
- b) “Die Fahrzeuge werden extrem viel teurer werden bei relativ geringen Auswirkungen auf die Umwelt durch die geringen Fahrstrecken (das lokale Emissionsverhalten wird besser, aber wenn der Strom aus Kohlekraftwerken kommt und das Lithium unter fragwürdigen Bedingungen gewonnen wird!!??)“
- c) „Kostenreduktion.“
- d) „Wir gehen davon aus, dass die Preise für Feuerwehrfahrzeuge mit alternativen Antrieben in den nächsten Jahren aufgrund der zunehmenden Elektrifizierung und Serienfertigung allmählich sinken werden. Einen merklichen Preissprung erwarten wir jedoch erst in etwa 5 Jahren, wenn die Technologie weiter verbreitet ist und die Produktionskosten sinken. Gleichzeitig wird der Preis im Segment Verbrennungsmotor aufgrund der niedrigeren Stückzahlen und geringeren Skalierung und möglicher Taxierungen weiter steigen. Beide Effekte können insgesamt zu einem höheren Preisniveau führen.“



Ausbildung für das zweite Einstiegsamt der Laufbahngruppe 2 des feuerwehrtechnischen Dienstes

Eidesstattliche Eigenständigkeitserklärung

Datum: 10.12.2023

Name: Robert Geiß

Thema der Facharbeit:

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit explizit benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form ganz oder teilweise noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Unterschrift 