

Potenzialanalyse Elektromobilität für die Fahrzeuge des kommunalen Fuhrparks



**Erstellt im Auftrag der Gemeinde Walluf
durch die EcoLibro GmbH**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Erstellung dieser Studie wurde im Rahmen der „Förderrichtlinie Elektromobilität“ durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gefördert. Fördermittel dieser Maßnahme werden auch im Rahmen des Deutschen Aufbau- und Resilienzplans (DARP) über die europäischen Aufbau- und Resilienzfazilitäten (ARF) im Programm NextGenerationEU bereitgestellt. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

I. Impressum

Titel: „Erstellung einer Potenzialanalyse Elektromobilität für die Fahrzeuge des kommunalen Fuhrparks“

Auftraggeberin: Gemeinde Walluf
Mühlstraße 40
65396 Walluf

Auftragnehmerin: EcoLibro GmbH
Lindlaustraße 2c
53842 Troisdorf
Tel.: 02241 26599 0
E-Mail: volker.gillessen@ecolibro.de

II. Inhaltsverzeichnis

1	MANAGEMENT SUMMARY	6
2	AUSGANGSSITUATION	11
3	POTENZIALANALYSE FUHRPARK	12
3.1	Fuhrparkstruktur (Pkw) und Kraftstoffanalyse (Nfz)	12
3.2	Analyse Umsetzungspotenziale auf Alternative Antriebsarten	20
4	LADEINFRASTRUKTURKONZEPT	60
4.1	Ladebedarfsanalyse Fuhrpark	60
4.2	Ladestandortanalyse	62
4.3	Technische Aspekte beim Aufbau der Fahrzeugbeschaffung und Ladeinfrastruktur	65
4.4	Investitionsplan	68
	LITERATUR- & QUELLENVERZEICHNIS	70

III. Abkürzungsverzeichnis

AC	.....	Alternating Current (Wechselstrom)
BEV	.....	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug)
CO ₂	.....	Kohlenstoffdioxid
CVD	.....	Clean Vehicle Directive
DC	.....	Direct Current (Gleichstrom)
FCEV	.....	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)
g/km	.....	Gramm pro Kilometer
ICCT	.....	International Council on Clean Transportation
ICE	.....	Internal Combustion Engine
Kfz	.....	Kraftfahrzeug
Km	.....	Kilometer
kW	.....	Kilowatt
kWh	.....	Kilowattstunde
LIS	.....	Ladeinfrastruktur
Lkw	.....	Lastkraftwagen
Mw	.....	Megawatt
N1	.....	Leichtes Nutzfahrzeug
N2	.....	Mittelschweres Nutzfahrzeug
N3	.....	Schweres Nutzfahrzeug
Nfz	.....	Nutzfahrzeug
PHEV	.....	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Plug-In-Hybridfahrzeug)
Pkw	.....	Personenkraftwagen
t	.....	Tonne
TCO	.....	Total Cost of Ownership
THG	.....	Treibhausgas

IV. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Nutzfahrzeug-Fuhrparkstruktur der Gemeinde Walluf nach Fahrzeugklassen	13
Abbildung 3-2: Altersstruktur des Fuhrparks Gemeinde Walluf nach Baujahr / Jahr der Erstzulassung.....	14
Abbildung 3-3: Altersstruktur der Fahrzeugklassen Pkw (oben links), Andere (oben rechts), N1 (unten links), und N2 (unten rechts) nach Baujahr / Jahr der Erstzulassung	15
Abbildung 3-4: Jährliche Laufleistung nach Fahrzeugklassen	16
Abbildung 3-5: Jährlicher Diesel-, Benzin- und Stromverbrauch nach Fahrzeugklassen	17
Abbildung 3-6: Jährliche CO ₂ -Emissionen nach Fahrzeugklasse	18
Abbildung 3-7: Zusammenhang Well-to-Tank-, Tank-to-Wheel-, Well-to-Wheel-Ansatz	25
Abbildung 3-8: Primärenergiebedarf aus Erneuerbaren Energien zur Bereitstellung von Strom zum Betrieb eines BEV.....	25
Abbildung 3-9: Primärenergiebedarf aus Erneuerbaren Energien zur Bereitstellung von Wasserstoff zum Betrieb eines FCEV.....	26
Abbildung 3-10: Ergebnisdiagramm Szenario 1 – CVD („Pflicht“) – Fahrzeuersatz nach Nutzungsdauer	30
Abbildung 3-11: Ergebnisdiagramm Szenario 2 – KSG („Just-in-time“) – Fahrzeuersatz nach Nutzungsdauer... ..	32
Abbildung 3-12: Ergebnisdiagramm Szenario 3 – IPCC (A) – Fahrzeuersatz nach Nutzungsdauer	34
Abbildung 3-13: Ergebnisdiagramm Szenario 3 – IPCC (B) – Fahrzeuersatz nach Prioritäts-Index	36
Abbildung 3-14: Tages-Energiebedarf (Strom), Szenarien 1 – 3 nach Perioden.....	39
Abbildung 3-15: Hybrid-Antriebssystem des Schäffer 24e.....	46
Abbildung 3-16: TCO-Kostenbetrachtung - Diesel und Elektroauto im Vergleich.....	50
Abbildung 3-17 Lastenrad Stadtbetrieb Aachen (Modell Sotimo Pro Cargo).....	57
Abbildung 3-18: Lasters recyclehero	57
Abbildung 3-19: Lastenräder TRASHH Hamburg	59
Abbildung 4-1: Standort 1 Rathaus / Bauamt	60
Abbildung 4-2: Beispielhafter Gebäudelastgang.....	63
Abbildung 4-3: Lastganganalyse Nutzfahrzeuge	64

V. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Zuordnung von Nutzfahrzeugen zu den Fahrzeugklassen N1, N2 und N3 nach SaubFahr-zeugBeschG	12
Tabelle 3-2: Beschaffungsquoten gemäß §§5, 6 Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz.....	27
Tabelle 3-3: Fahrzeugklassenstruktur neu zu beschaffender Nutzfahrzeuge bis 2035	28
Tabelle 3-4: Neu zu beschaffende Nutzfahrzeuge mit alternativem Antrieb bis 2035.....	28
Tabelle 3-5: Ersatzfahrzeugliste für den Nutzfahrzeug-Fuhrpark der Gemeinde Walluf.....	41
Tabelle 3-6: Vergleich der täglichen Fahrleistung vom FUSO Canter Pritschenfahrzeug (N1) der Gemeinde Walluf mit Herstellerangaben des FUSO eCanter	43
Tabelle 3-7: Vergleich der täglichen Fahrleistung des IVECO Daily Kippers (N2) der Gemeinde Walluf mit Herstellerangaben des Iveco eDaily	44
Tabelle 3-8: Auflistung der Aufsitzmäher (Andere) und des Alternativfahrzeugs EGO Z6 Zero-Turn.....	44
Tabelle 3-9: Auflistung des Radladers (Andere) und des Alternativfahrzeugs Schäffer 24e (Hybrid).....	45
Tabelle 4-1: Leistungsberechnung Betriebshof Gelände.....	61
Tabelle 4-2: Basiskosten Installation Ladeinfrastruktur.....	68
Tabelle 4-3: Gesamtkosten Installation Ladeinfrastruktur.....	69

1 Management Summary

Mit dem vorliegenden Mobilitätskonzept legt die Gemeinde Walluf die Grundlage zur Umstellung der Nutzfahrzeugflotte auf elektrische Antriebe vor.

Methodik:

Zu Beginn wurde der IST-Zustand bei den Nutzfahrzeugen aufgenommen. Hierbei wurden im Wesentlichen die Struktur und die Kraftstoffverbräuche des Nutzfahrzeugfuhrparks analysiert. In einem nächsten Schritt bilden die Kraftstoffverbräuche die Grundlage zur Ermittlung des aktuellen CO₂-Ausstoßes.

Aufbauend auf den zuvor durchgeführten Analysen wurde als Weiteres ein Ladeinfrastrukturkonzept erstellt, welches den Ladeinfrastrukturbedarf des Fuhrparks am Arbeitsort betrachtet.

Wesentliche Ergebnisse:

Fuhrpark

Insgesamt wurden vier Pkw (31 % des Fahrzeugbestands) und vier Nutzfahrzeuge in den Fahrzeugklassen N1 und N2 betrachtet. Die Klasse N1 umfasst drei Fahrzeuge (23 % des Fahrzeugbestands), darunter ein Pritschenfahrzeug und zwei bereits elektrifizierte kleine Kippfahrzeuge. Zu der Klasse N2 (1 Stück, 8 % der Fuhrparkfahrzeuge) zählt ein Kippfahrzeug. Die Klasse *Andere* bildet mit fünf Fahrzeugen bzw. 38 % aller Fahrzeuge die größte Gruppe innerhalb des Fuhrparks. Hierunter fallen beispielsweise Aufsitzmäher, Radlader und Ackerschlepper.

Alle Fahrzeuge befinden sich am Standort in der Mühlstraße 40, 65396 Walluf, zum Teil in der Fahrzeughalle, auf dem Bauhof und auf dem Parkplatz des Rathauses.

Von den 13 Fahrzeugen der Gemeinde Walluf sind sieben Fahrzeuge (54 % des Fuhrparks) jünger und sechs Fahrzeuge (46 % des Fuhrparks) älter als zehn Jahre. Das älteste Nutzfahrzeug ist ein Kramer 120 aus dem Jahr 2000 (*Andere*); das neueste Fahrzeug mit Baujahr 2022 ist ein Goupil G4 (N1-Fahrzeug).

Mit großem Abstand werden die PKW mit rund 41.000 km/a (73 %) am meisten gefahren. Die N1-Fahrzeuge legen jährlich ca. 7000 km (12 %) zurück, während mit den N2-Fahrzeugen ungefähr die Hälfte davon gefahren wird. Die Fahrzeuge der Klasse „Andere“ haben eine jährliche Fahrleistung von fast 5000 km (9 %).

Mit Blick auf das Umsetzungspotential konnten insgesamt über 300 Nutzfahrzeuge der Fahrzeugklassen N1, N2, N3 mit unterschiedlichen Chassis und Aufbauten recherchiert werden.

Der Markt wächst auch in der Breite kontinuierlich. Bei N1- und N2-Fahrzeugen haben sich die BEV-Alternativen durchgesetzt; es gibt nur einige wenige FCEV-Fahrzeuge in diesem Segment. Auch die Hersteller von N3-Fahrzeugen setzen überwiegend auf Batterietechnik, mit Ausnahme der Sattelzugmaschinen zum Gütertransport und der Abfallsammelfahrzeuge. Die Angebotspalette der BEV reicht bereits von klassischen Nutzfahrzeugen wie Pritschen- oder Kastenwagen bis hin zu Abfallsammelfahrzeugen, Betonmischern, Kühlfahrzeugen, Hubarbeitsbühnen oder Saug-/ Spülfahrzeugen. Grundsätzlich ist anzumerken, dass die vorgeschlagenen Ersatzfahrzeuge batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) sind. Hintergrund ist, dass sich insbesondere in den Fahrzeugklassen N1 und N2 bereits die BEV-Fahrzeuge gegenüber den FCEV-Fahrzeugen durchgesetzt haben und dementsprechend am Markt nur vereinzelt wasserstoffbasierte Antriebe vertreten sind.

Insgesamt ist festzuhalten, dass das Alternativangebot bei „Standard“-Nutzfahrzeugen wie Kastenwagen, Pritschenfahrzeugen, LKW mit Koffer- oder Kipper-Aufbau im N1- und N2-Bereich mit Ausnahme der Fahrzeuge zwischen 7,5 t und 12 t bereits sehr gut ist. Im N3-Sektor gibt es Alternativen sowohl für die Müllpressfahrzeuge als auch für die Abroll- / Absetzkipper. Es ist möglich, dass nicht alle aufgeführten Alternativfahrzeuge mit dem jeweils benötigten Aufbau verfügbar sind; die Basismodelle sind aber überwiegend bereits am Markt. Hier ist im Einzelfall zu prüfen und ggfs. Kontakt mit dem Hersteller oder Fahrzeugausrüster aufzunehmen.

CO₂-Reduzierung

Die Gesamt-CO₂-Emissionen des Fuhrparks der Gemeinde Walluf betragen rund 16 Tonnen pro Jahr. Die CO₂-Emissionen aus der Bereitstellung der Energieträger Strom und Wasserstoff werden, der Methodik der Klimaschutzgesetzgebung folgend, in der hier angewendeten Systematik nicht berücksichtigt. Die fahrzeugklassenspezifischen CO₂-Emissionen je gefahrenem Kilometer betragen 97 g_{CO2}/km für die Pkw der Gemeinde Walluf, 360 g_{CO2}/km für die N1-Fahrzeuge, für die N2-Fahrzeuge 770 g_{CO2}/km und für Fahrzeuge der Klasse *Andere* 1.420 g_{CO2}/km. Für die Flotte der Gemeinde Walluf ergibt sich ein durchschnittlicher CO₂-Emissionswert über alle Fahrzeugklassen von 285 Gramm Kohlenstoffdioxid je gefahrenen Kilometer.

Die CO₂-Emissionsminderung für das Szenario 1 – CVD beträgt Mitte 2032 (Zeitpunkt der Beschaffung des letzten Fahrzeuges) rund 32 % bzw. etwa 5 t. Zwar wird der erste Zielwert des Klimaschutzgesetzes, 25% CO₂-Einsparung bis 2025, nominell erreicht, jedoch erst etwa Anfang 2030. Die anderen Zielwerte des KSG werden nicht erreicht, da zu wenige Fahrzeuge mit alternativem Antrieb angeschafft werden würden. Insgesamt ist festzuhalten, dass die

strikte Einhaltung der Forderungen des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes in Verbindung mit der nutzungsdauerbasierten Erneuerung des gesamten Fuhrparks bis 2032 nicht zur Erfüllung von Klimaschutzzielen auf Bundes- bzw. kommunaler Ebene ausreicht.

Im Falle des Szenarios 2 können die Zielvorgaben des KSG für 2025, 2030 und 2035 innerhalb des betrachteten Zeitraums wie beabsichtigt zum Ende resp. innerhalb der Perioden (vorzeitig) erreicht werden. Die Zielerreichung KSG 2035 wird schon in der Periode 2026 bis 2030 erreicht, da ansonsten das CO₂-Einsparpotenzial für die nachfolgende Periode nicht ausreichend hoch gewesen wäre. Die CO₂-Einsparung beträgt Ende 2032 ca. 70 % bzw. rund 11 t/a. Die Vorgaben der CVD werden ebenfalls mit der Anwendung dieses Szenarios eingehalten.

Bei der Umsetzung des Szenarios 3 (A) wird die gesamte bisher durch den Fuhrpark emittierte CO₂-Menge in Höhe von rund 16 t/a (100%) eingespart bzw. vermieden. Die Zielwerte des KSG werden in Übereinstimmung mit der Forderung des IPCC nach rascher Absenkung für alle Betrachtungszeiträume vorzeitig erfüllt. Die Quoten der CVD für die Neubeschaffung sauberer Fahrzeuge werden sicher eingehalten.

Im Ergebnis ist Szenario 3 (B) ebenso wie Szenario 3 (A) dazu geeignet, sowohl die Zielvorgaben des KSG und die Vorgaben der CVD zu erfüllen. Die Emissionen sinken innerhalb der Betrachtungsperioden schneller als bei Szenario 3 (A), wobei die Gesamteinsparung von 16 t/a bzw. 100% bis zum Jahr 2033 gleich ist.

Kosten

Für die Fahrzeugklassen N1 und N2 haben mehrere Untersuchungen festgestellt, dass bereits heute für die meisten Anwendungen eine Kostenparität zwischen BEV und ICE auf TCO-Basis vorliegt.

Aktuell bestehen sehr große Hemmnisse bei der Finanzierung von N3 Fahrzeugen, da hier noch erhebliche Mehrkosten bestehen und alle öffentlichen Förderprogramme für Elektrofahrzeuge bis auf nicht absehbare Zeit gestoppt wurden. Dies hat aber in Hinblick auf den in dieser Untersuchung betrachteten Fuhrpark keine Relevanz.

Ladeinfrastruktur

Die Ladevorgänge der 13 betrachteten Fahrzeuge geschehen täglich zwischen 17:00 Uhr und 07:00 Uhr. Insgesamt ist hierfür eine Leistung von rd. 55 kW für die 13 Ladepunkte zum Laden in der Nacht notwendig.

Ein Abgleich mit dem Gebäudelastprofil konnte nicht durchgeführt werden, da dieses nicht vorliegt. Jedoch liegt die maximale Anschlussleistung bei 70 kW.

Die Analyse ergab, dass bei einem seriellen und parallelen Laden der Fahrzeuge, das heißt, dass Fahrzeuge mit geringerem Ladezeitfenster hintereinander geladen werden, um die gesamte, zur Verfügung stehende Zeit auszunutzen, die Leistungsspitze am Standort so reduziert werden kann, dass davon auszugehen ist, dass die maximal benötigte Leistung für alle Elektrofahrzeuge ohne eine zusätzliche Ertüchtigung des Netzanschlusses erfolgen kann.

Empfehlungen:

Fuhrpark

Es wird empfohlen, Szenario 2 zur Umstellung des Nutzfahrzeug-Fuhrparks der Gemeinde Walluf auf alternative Antriebe zu nutzen, da mit einem kraftvollen Umsteuern durch Umsetzung dieses Szenarios die Klimaschutzziele des Klimaschutzgesetzes noch eingehalten werden können. Da eine Umsetzung, wie im Szenario dargestellt, in der Praxis, aufgrund längerer Haltedauern als in der Simulation angenommen, durch nicht verfügbarere Fahrzeuge oder zu hoher Kosten nicht sichergestellt werden kann, gilt als Faustformel: Jedes Fahrzeug, das neu beschafft wird, sollte, wenn es technisch und wirtschaftlich möglich ist, ab sofort mit alternativem Antrieb neu beschafft werden. Bei nicht verfügbaren Fahrzeugen sollte die Beschaffung zeitlich verschoben werden, bis alternative Fahrzeuge mit Elektroantrieb verfügbar sind.

Aus Sicht des Beraters ist es nicht sinnvoll, Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb (FCEV) in den Fuhrpark zu integrieren. Neben der hinlänglich bekannten Problematik der CO₂-Bilanz in Bezug auf die Verfügbarkeit bei grünem Wasserstoff, werden hierfür im Wesentlichen jedoch betriebswirtschaftliche und organisatorische Aspekte gesehen. Da sich bei N1-, N2- und zunehmend auch bei N3-Fahrzeugen die BEV-Alternativen durchsetzen, gibt es nur wenige Modelle in der FCEV-Variante. In der Praxisanwendung zeigt sich, dass diese Fahrzeuge heute noch mit technischen Probleme behaftet sind und mit Blick auf einen stabilen Betriebsablauf weniger zuverlässig sind als vergleichbare BEV. Zudem muss für diese Fahrzeuge eine spezielle und kostenintensive Betankungs- und Werkstattinfrastruktur vorgehalten werden. Darüber hinaus bestehen für FCEV höhere Beschaffungs-, Betriebs- und perspektivisch auch Kraftstoffkosten. Der bisherige wesentliche Vorteil dieser Technologie lag in den höheren Reichweiten als bei vergleichbaren BEV. Mit der Weiterentwicklung der Batterietechnologien ist dieser Vorteil jedoch nicht mehr gegeben.

Es wird empfohlen, zuerst die Pkw und Fahrzeuge mit geringen Fahrleistungen zu ersetzen und den Ersatz von Fahrzeugen mit sensiblen Einsatzzwecken, insbesondere Feuerwehr,

oder die Fahrzeuge mit den höchsten Tagesfahrstrecken, nach Möglichkeit zeitlich nach hinten zu verschieben.

Kosten

Eine der größten Herausforderungen bei der Umstellung des Fuhrparks liegt aufgrund der fehlenden Förderkulisse im betriebswirtschaftlichen Bereich bei der Finanzierung von Fahrzeugen der Klasse N3. Dies hat aber in Hinblick auf den in dieser Untersuchung betrachteten Fuhrpark keine Relevanz.

Einsatz von Elektrofahrzeugen bei der Feuerwehr

Der Einsatz von taktischen Einsatzfahrzeugen bei der Feuerwehr befindet sich noch in der Erprobungsphase und wird aus Sicht des Beraters nur bei großen Berufsfeuerwehren mit ausreichender Betreuung und möglichen Ersatzfahrzeugen als sinnvoll erachtet. Ein Einsatz bei der Gemeinde Walluf ist somit nicht sinnvoll und birgt hohe Einsatz- und Kostenrisiken. Sinnvolle Einsatzgebiete bei der Feuerwehr finden sich jedoch bei den nicht taktischen Einsatzfahrzeugen, z.B. bei Pkw und Transportern.

Nutzung von Lastenrädern

Es wird empfohlen, ein Pilotprojekt in der Verwaltung der Gemeinde Walluf zu initiieren, um erste Erfahrungen zu sammeln. Hierzu sollen zunächst geeignete Einsatzbereiche identifiziert werden.

Ladeinfrastruktur

Je nach Installationsart (Wandmontage bzw. Stele) werden Gesamtkosten für alle Standorte von ca. 65.000 € bis 86.000 € erwartet, wobei den größten Anteil die Kosten für die Installation, gefolgt von den Ladestationen, einnehmen. Es wird empfohlen, die Grundinstallation an allen Standorten für den Maximalbedarf vorzubereiten und die Ladestationen mit dem Zufluss der Fahrzeuge bedarfsorientiert zu installieren.

2 Ausgangssituation

Die im Rheingau zwischen Wiesbaden und Rüdesheim gelegene Gemeinde Walluf, die etwa 5.500 Einwohner/-innen umfasst, steht vor der Herausforderung, sich als kommunale Verwaltung auch im Bereich Mobilität zukunftsgerecht und nachhaltig zu entwickeln.

Vor diesem Hintergrund initialisierte die Gemeinde ein Projekt zum Aufbau von Ladeinfrastruktur, indem die EcoLibro GmbH damit beauftragt wurde, ein entsprechendes Ladeinfrastrukturkonzept für den Standort der Verwaltung zu erstellen.

Das vorliegende Konzept zeigt den derzeitigen Ist-Zustand des Fuhrparks auf und definiert einen Soll-Zustand für die weitere Entwicklung. Dieses Konzept soll als Leitfaden für erste Handlungsschritte dienen und weitere Entwicklungspfade für den Aufbau von Ladeinfrastruktur aufzeigen.

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist es, den Fuhrpark Schritt für Schritt zu elektrifizieren und damit die betriebliche Mobilität der Gemeinde Walluf emissionsärmer zu gestalten.

3 Potenzialanalyse Fuhrpark

3.1 Fuhrparkstruktur (Pkw) und Kraftstoffanalyse (Nfz)

Zur Erfüllung der Aufgaben der Gemeinde Walluf, wie beispielsweise der Rasenpflege oder der Güterbeförderung, verfügt die Gemeinde Walluf über einen Nutzfahrzeug-Fuhrpark, der insgesamt neun Fahrzeuge umfasst. Der Fuhrpark wird ergänzt durch vier Pkw.

Unter Zuhilfenahme eines von der Gemeinde Walluf gelieferten Fuhrpark-Datensatzes wurde durch die Auftragnehmerin eine Fuhrparkanalyse durchgeführt, die im Ergebnis u. a. Auskunft über die derzeitige Fuhrparkstruktur, die Jahres-Laufleistung, den derzeitigen jährlichen Treibstoffverbrauch und den damit verbundenen Ausstoß von Kohlenstoffdioxid gibt.

Für Auswertungszwecke ist es grundsätzlich notwendig und hilfreich, die Nutzfahrzeuge zu klassifizieren. Tabelle 3-1 verdeutlicht die Zuordnungssystematik zu den Klassen N1, N2 und N3, die sich an den Fahrzeugklassen nach dem Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz orientiert. Die im Gesetz formulierten Ausnahmen dieser Vorgaben werden in der Gruppe „Andere“ subsummiert. Sie umfasst beispielsweise forstwirtschaftlich genutzte Fahrzeuge oder Bagger. Im Fuhrpark der Gemeinde Walluf gibt es derzeit fünf Fahrzeuge, die dieser Klasse zugeordnet werden.

Tabelle 3-1: Zuordnung von Nutzfahrzeugen zu den Fahrzeugklassen N1, N2 und N3 nach SaubFahrzeugBeschG

Nutzfahrzeug ≤ 3,5 t	Nutzfahrzeug 3,5 t ≥ 12 t	Nutzfahrzeug > 12 t
N1	N2	N3
Andere - Ausnahmen nach §4 SaubFahrzeugBeschG		

Das nachfolgende Diagramm (vgl. Abbildung 3-1) zeigt die derzeitige Struktur des Fuhrparks der Gemeinde Walluf bzw. die Verteilung der Fahrzeuge auf die Fahrzeugklassen Pkw, N1, N2 und N3 sowie die Ausnahmen nach Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz (Andere).

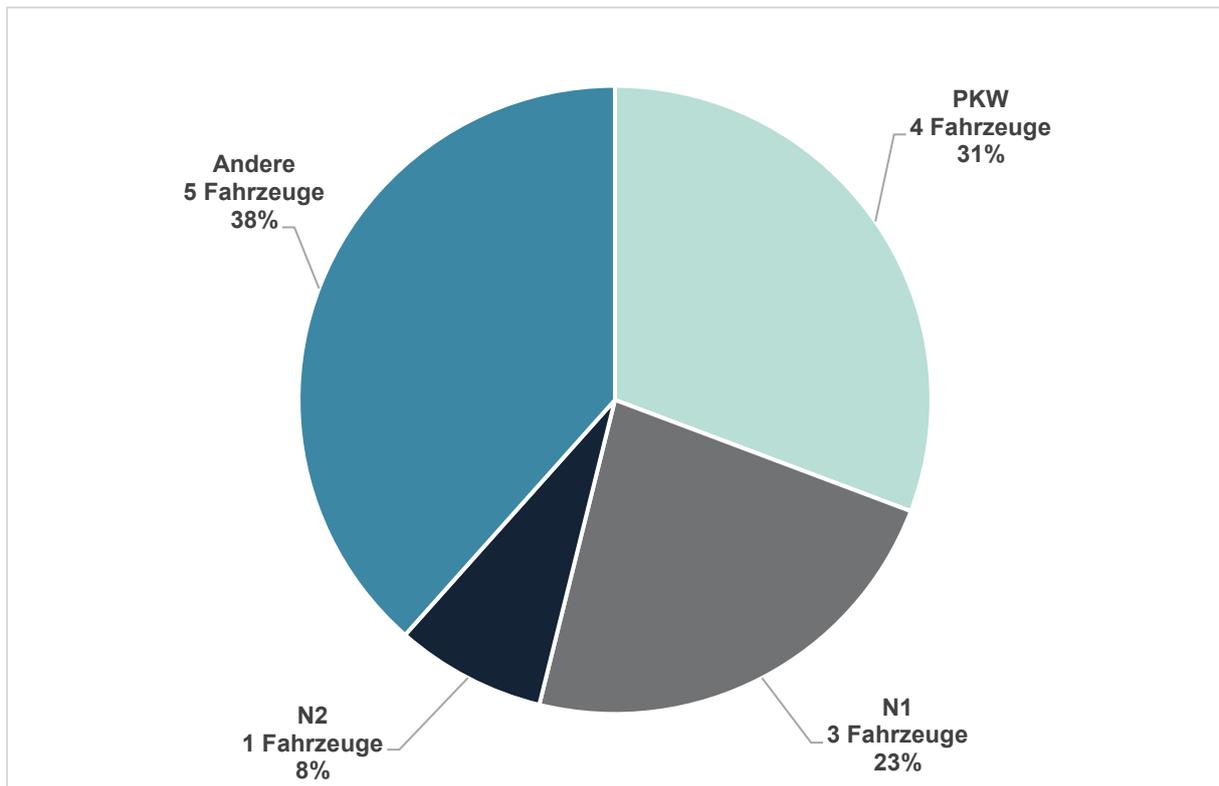


Abbildung 3-1: Nutzfahrzeug-Fuhrparkstruktur der Gemeinde Walluf nach Fahrzeugklassen

Aus Abbildung 3-1 ist ersichtlich, dass die Klasse „Andere“ mit fünf Fahrzeugen bzw. 38 % aller Fahrzeuge die größte Gruppe innerhalb des Fuhrparks bildet. Hierunter fallen drei Aufsitzmäher, ein Radlader und ein Ackerschlepper. Die Klasse N1 umfasst drei Fahrzeuge (23 % des Fahrzeugbestands), darunter ein Pritschenfahrzeug und zwei bereits elektrifizierte kleine Kippfahrzeuge. Außerdem ist im Fuhrpark ein Kippfahrzeug der Klasse N2 vorhanden.

Die Fahrzeuge der Gemeinde Walluf sind auf drei Standorte an einer Adresse verteilt. In der Fahrzeughalle befinden sich derzeit neun Fahrzeuge, davon drei Fahrzeuge der Klasse N1, das Fahrzeug der Klasse N2 sowie fünf Fahrzeuge aus der Klasse „Andere“. Sowohl am Standort Bauhof als auch am Parkplatz Rathaus befinden sich jeweils zwei Pkw.

Abbildung 3-2 dokumentiert die Altersstruktur der Fahrzeuge im Fuhrpark der Gemeinde Walluf nach Baujahr bzw. Jahr der Erstzulassung.

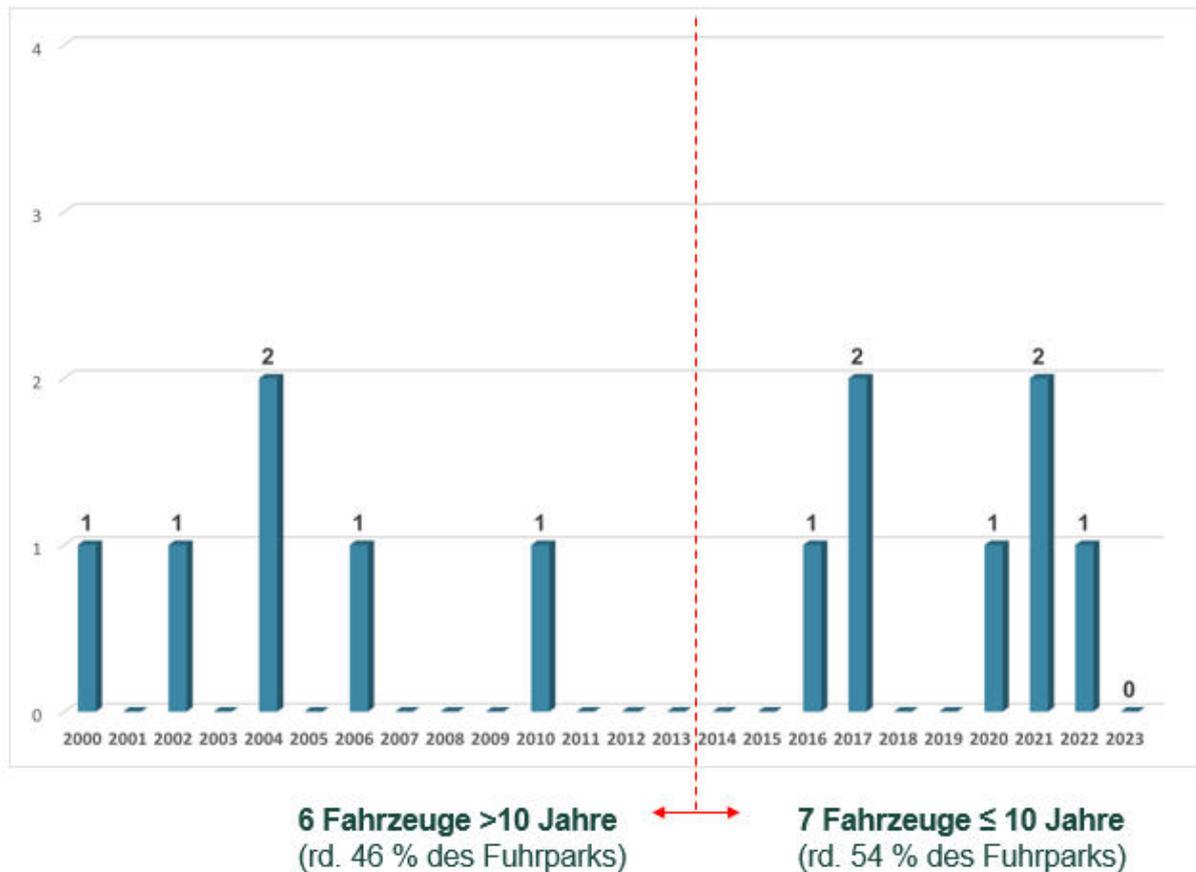


Abbildung 3-2: Altersstruktur des Fuhrparks Gemeinde Walluf nach Baujahr / Jahr der Erstzulassung

Von den 13 Fahrzeugen der Gemeinde Walluf sind sieben Fahrzeuge (54 % des Fuhrparks) jünger und sechs Fahrzeuge (46 % des Fuhrparks) älter als zehn Jahre. Das älteste Nutzfahrzeug ist ein Kramer 120 aus dem Jahr 2000 (Andere); das neueste Fahrzeug mit Baujahr 2022 ist ein Goupil G4 (N1-Fahrzeug). Es wird deutlich, dass es sowohl sehr alte als auch eher jüngere Fahrzeuge gibt.

Die nachfolgende Abbildung 3-3 zeigt die fahrzeugklassenspezifische Altersstruktur des Fuhrparks.

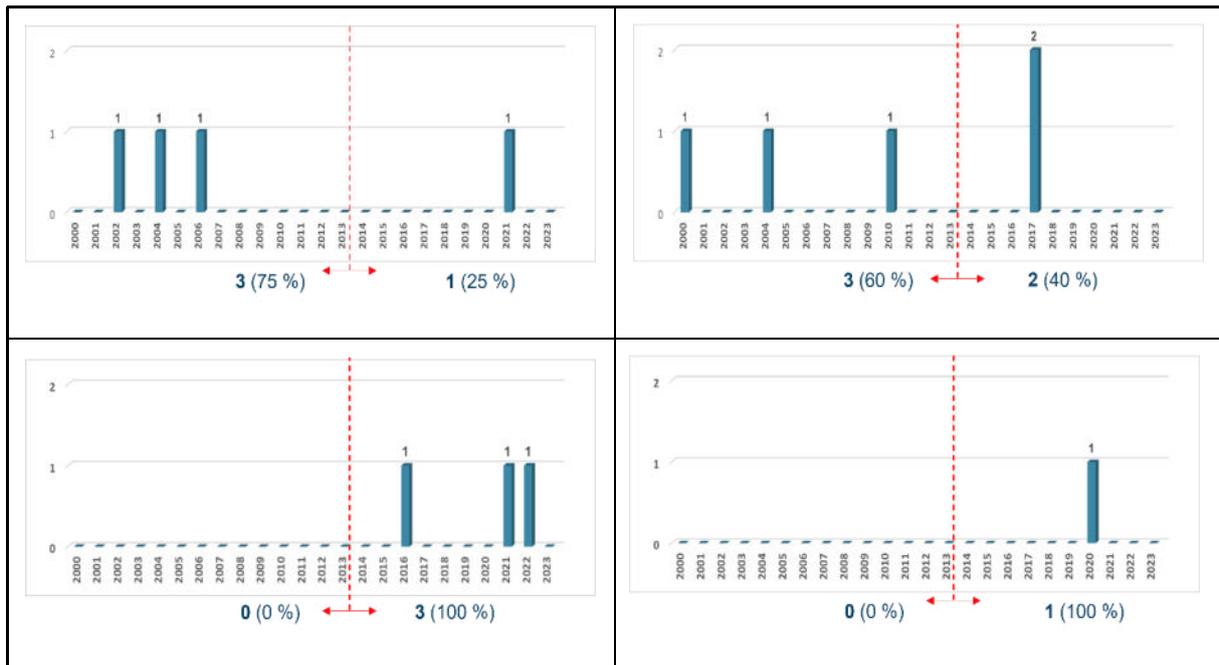


Abbildung 3-3: Altersstruktur der Fahrzeugklassen Pkw (oben links), Andere (oben rechts), N1 (unten links), und N2 (unten rechts) nach Baujahr / Jahr der Erstzulassung

Bei den Pkw und den Nutzfahrzeugen aus der Klasse „Andere“ sind jeweils schon drei Fahrzeuge älter als zehn Jahre. Die N1- und N2-Fahrzeuge sind zwischen eins und acht Jahre alt, sodass meistens genug Zeit bis zum Austausch bleibt.

Die Auswertungen in den nachfolgenden Kapiteln basieren auf den Angaben der Auftraggeberin. Die übermittelten Daten bestehen aus einer *Fuhrparkrohdatenliste* mit spezifischen Fahrzeugparametern. Der Fahrzeugdatensatz umfasst u.a. Angaben zum Fahrzeughersteller und -modell, zum Tag der Erstzulassung, zur verwendeten Kraftstoffart sowie zur Fahrleistung (hier in km/a) und zum Kraftstoffverbrauch (hier in l/a).

3.1.1 Flotten-Laufleistung

Auf Grundlage der übermittelten und überarbeiteten Fahrzeugdaten konnte eine jährliche Flotten-Laufleistung von rund 57.000 km berechnet werden. Abbildung 3-4 dokumentiert die Verteilung der Laufleistung auf die jeweiligen Fahrzeugklassen.

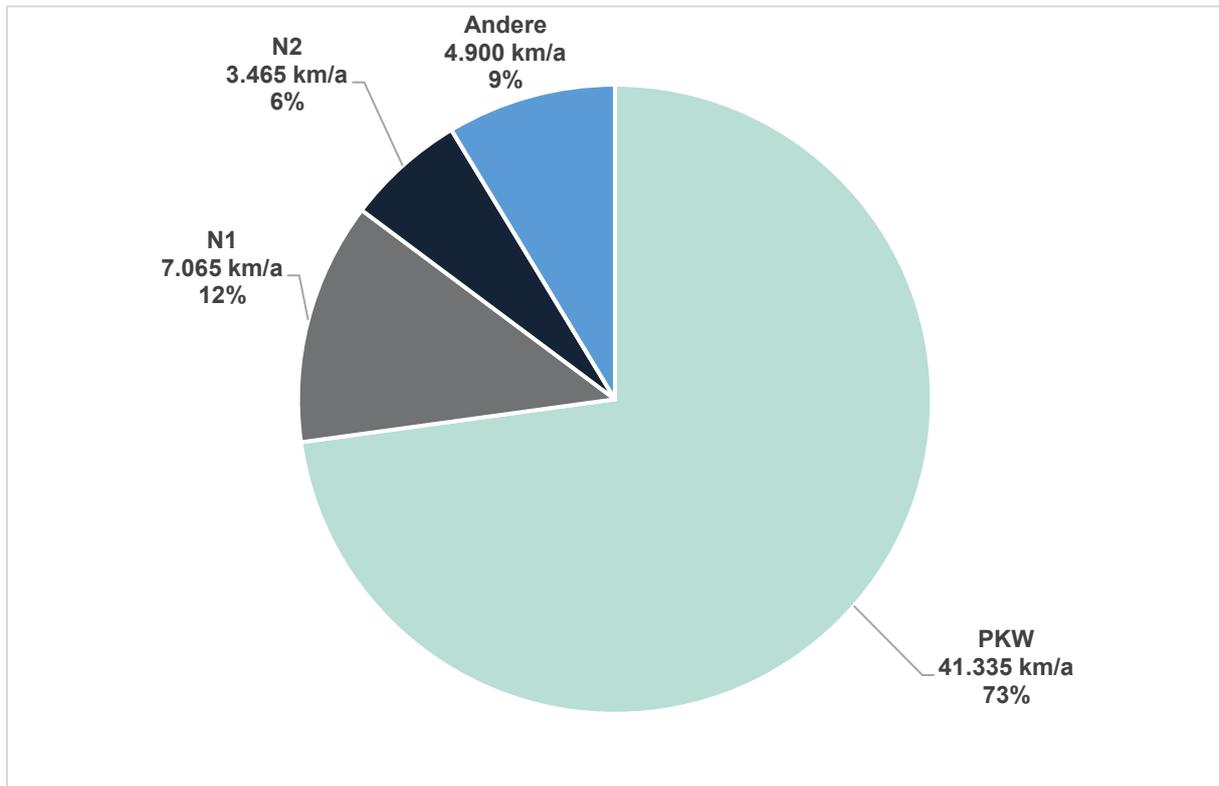


Abbildung 3-4: Jährliche Laufleistung nach Fahrzeugklassen

Mit großem Abstand werden die PKW mit rund 41.000 km/a (73 %) am meisten gefahren. Der Spitzenwert beträgt dabei 20.700 km vom Hybrid-PKW (Mercedes GLC300e 4matic). Die N1-Fahrzeuge legen jährlich ca. 7000 km (12 %) zurück, während mit den N2-Fahrzeugen ungefähr die Hälfte davon gefahren wird. Die Fahrzeuge der Klasse „Andere“ haben eine jährliche Fahrleistung von fast 5000 km (9 %). Bei den drei Aufsitzmähern werden statt der Fahrleistung die Jahresbetriebsstunden gezählt. Zwei der Aufsitzmäher haben jeweils jährlich 100 Betriebsstunden, während der Aufsitzmäher von Gianni Ferrari jährlich nur 20 Betriebsstunden hat.

3.1.2 Flotten-Kraftstoffverbrauch

Die Fahrzeuge im Fuhrpark der Gemeinde Walluf sind diesel-, benzin- und elektrisch betrieben. Insgesamt verbraucht der Fuhrpark für seine Aufgaben rund 4.300 Liter Diesel, etwa 1.900 Liter Benzin und rund 6.700 kWh elektrische Energie pro Jahr. Abbildung 3-5 zeigt die anteilige Verteilung des Diesel-, Benzin- und Strombedarfs für die jeweilige Fahrzeugklasse.

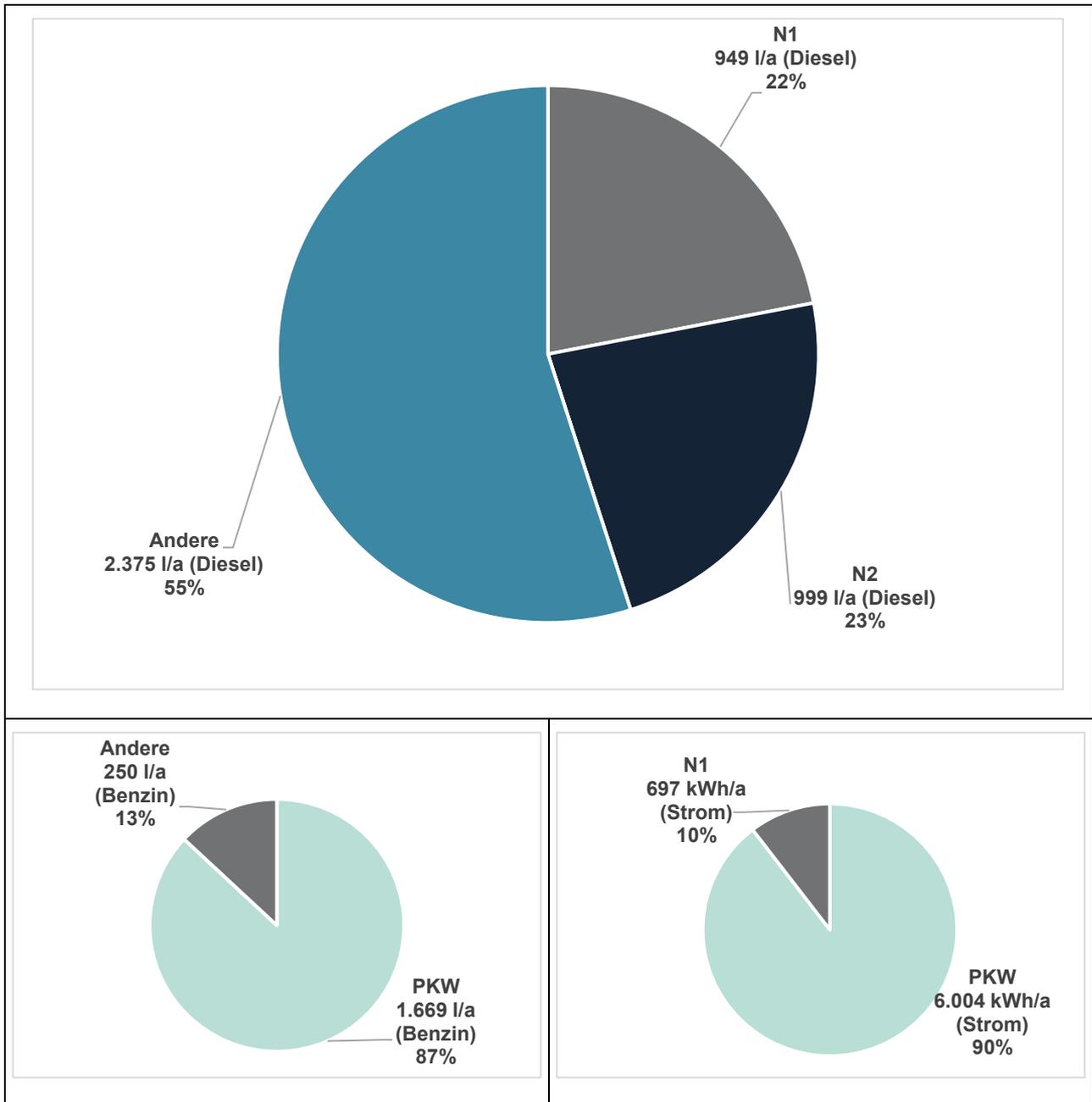


Abbildung 3-5: Jährlicher Diesel-, Benzin- und Stromverbrauch nach Fahrzeugklassen

Mehr als die Hälfte des Dieselbedarfs wird durch die Fahrzeuge der Klasse „Andere“ verursacht. Somit verbraucht ein Fahrzeug der Klasse „Andere“ im Durchschnitt rund 792 Liter

Diesel pro Jahr. Der Spitzenwert liegt bei 3.800 km pro Jahr bei einem Verbrauch von rund 60 l/100 km. Sowohl das N1- (IVECO Daily 4x4) als auch das N2-Dieselfahrzeug (FUSO Canter) verbrauchen jeweils ca. ein Fünftel des Dieselbedarfs. Der Benzinverbrauch kann zu 87 % den Pkw zugeordnet werden. Durchschnittlich verbraucht ein Pkw dabei 560 Liter Benzin pro Jahr. Der Großteil des Stromverbrauchs stammt vom Hybrid-Pkw, welcher einen Energieverbrauch von 6000 kWh bzw. 29 kWh/100 km aufweist.

3.1.3 Flotten-CO₂-Emissionen

Die Gesamt-CO₂-Emissionen des Fuhrparks der Gemeinde Walluf betragen rund 16 Tonnen pro Jahr. Abbildung 3-6 dokumentiert die anteiligen CO₂-Emissionen je Fahrzeugklasse.

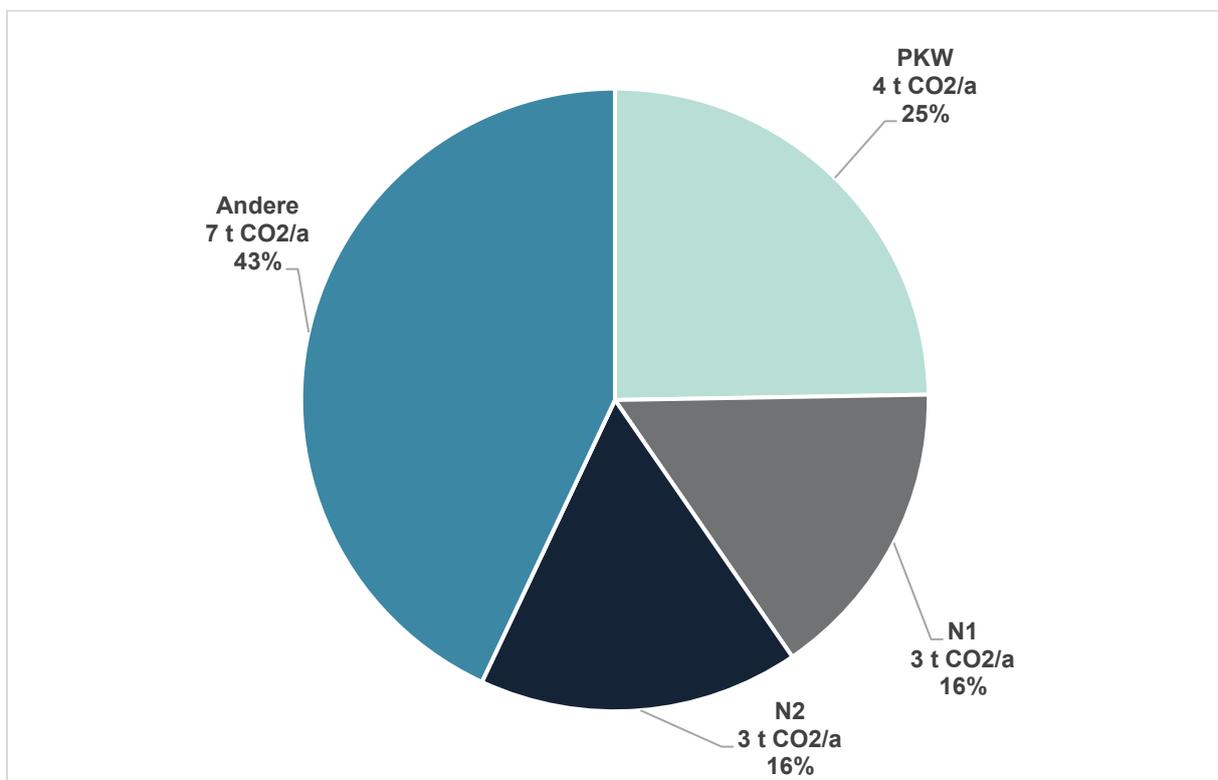


Abbildung 3-6: Jährliche CO₂-Emissionen nach Fahrzeugklasse

Die anteiligen jährlichen CO₂-Emissionen je Fahrzeugklasse ergeben sich analog zum jeweiligen klassenbezogenen Kraftstoffverbrauch (Diesel + Benzin). N1- und N2-Fahrzeuge verursachen jeweils rund 16 % (3 t CO₂/a), Fahrzeuge der Klasse „Andere“ fast die Hälfte (7 t CO₂/a) und Pkw ein Viertel (4 t CO₂/a) der jährlichen CO₂-Emissionen. In Verbindung mit der Laufleistung lassen sich gemäß nachstehenden Berechnungen durchschnittliche, fahrzeugklassenspezifische CO₂-Emissionswerte je gefahrenen Fahrzeugkilometer zu ca. 360 g/km für ein N1-Fahrzeug, ca. 770 g/km für ein N2-Fahrzeug, 1.420 g/km für Nfz der Klasse „Andere“ und 97 g/km für die Pkw herleiten.

Für die Flotte der Gemeinde Walluf ergibt sich ein durchschnittlicher CO₂-Emissionswert über alle Fahrzeugklassen von 285 Gramm Kohlenstoffdioxid je gefahrenen Kilometer.

Berechnung der durchschnittlichen, fahrzeugklassenspezifischen CO₂-Emission je gefahrenem Fahrzeugkilometer für Nutzfahrzeuge der Gemeinde Walluf

$$N1: \frac{2.540 \frac{kg CO_2}{a}}{7.065 \frac{km}{a}} = 0,360 \frac{kg CO_2}{km}$$

$$N2: \frac{2.673 \frac{kg CO_2}{a}}{3.465 \frac{km}{a}} = 0,770 \frac{kg CO_2}{km}$$

$$Andere: \frac{6.956 \frac{kg CO_2}{a}}{4.900 \frac{km}{a}} = 1,420 \frac{kg CO_2}{km}$$

$$PKW: \frac{3.997 \frac{kg CO_2}{a}}{41.335 \frac{km}{a}} = 0,097 \frac{kg CO_2}{km}$$

$$Flotte: \frac{16.166 \frac{kg CO_2}{a}}{56.765 \frac{km}{a}} = 0,285 \frac{kg CO_2}{km}$$

3.2 Analyse Umsetzungspotenziale auf Alternative Antriebsarten

3.2.1 Veranlassung

Mit der Ratifizierung des Übereinkommens von Paris (auch: Pariser Klimaabkommen von 2015) durch Deutschland im April 2016 und der Implementierung in deutsches Recht im Klimaschutzplan 2050 (November 2016) sowie im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG, Dezember 2019) verpflichtet sich Deutschland zur Minderung der CO₂-Emissionen auf der Grundlage des sog. 2°C-Ziels. Damit ist gemeint, dass die 195 staatlichen Vertragsparteien, einschließlich Deutschland, verpflichtend Sorge dafür tragen, dass die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur auf +2°C gegenüber dem vorindustriellen Wert (Mittelwert der Jahre 1850 - 1900) begrenzt wird. Es sollen darüber hinaus Anstrengungen unternommen werden, den Anstieg auf maximal +1,5°C zu limitieren.

Die Einhaltung des 1,5°C-Ziels bedingt laut Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, auch: Weltklimarat der UN) eine Null-Emission im Jahr 2050. Neben der Klimaneutralität zum Zeitpunkt 2050 ist es laut IPCC darüber hinaus erforderlich, die Treibhausgasemissionen so schnell wie möglich abzusenken.

Mit dem sog. Generationenvertrag für das Klima (Klimaschutzgesetznovelle vom Juni 2021) schreibt die Bundesregierung die Klimaneutralität bereits für das Jahr 2045 fest, also fünf Jahre vor dem vom IPCC angestrebten Datum. Diese Verpflichtungen erfordern eine erhebliche Emissionsreduktion von Treibhausgasen, insbesondere von Kohlenstoffdioxid (CO₂).

Der Klimaschutzplan 2050 fasst die klimaschutzpolitischen Grundsätze und Ziele Deutschlands zusammen und skizziert die Transformation bis hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft und Gesellschaft. Aus den Zielvorgaben des Plans in Verbindung mit dem konkretisierenden Klimaschutzprogramm 2030 sowie dem übergeordneten Bundes-Klimaschutzgesetz leiten sich abgestufte CO₂-Reduktionsvorgaben sowohl insgesamt als auch für den Verkehrssektor ab. Demnach sollen die verkehrsbedingten CO₂-Emissionen bis 2025 um 25 % und bis 2030 um 48 % gegenüber dem Referenzjahr 1990 gesenkt werden. Im Jahr 1990 betrug die Treibhausgas-Emission aus dem Verkehrssektor insgesamt 163,3 Mio. t¹. Demnach sollen die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen bis Ende 2030 um rund 78,4 Mio. t auf dann 85 Mio. t abgesenkt werden.

¹ (Umweltamt Düsseldorf, 2019)

Deutschland ist auf europäischer Ebene gemäß Verordnung (EU) 2018/842² dazu verpflichtet bis 2030 die Treibhausgasemissionen über alle Sektoren um 38% gegenüber dem Referenzjahr 2005 zu senken. Nach (Umweltbundesamt, 2019) betragen die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor in 2005 159,9 Mio. t. In Verbindung mit dem allgemeinen Absenkungsziel i.H.v. 38% ergibt sich für den Verkehrssektor eine Reduktion um 60,8 Mio. t auf dann 99,1 Mio. t im Jahr 2030. Beim Vergleich der europäischen bzw. deutschen Ziele wird ersichtlich, dass die EU-Vorgabe (99,1 Mio. t) sicher eingehalten wird, wenn die nationalen Ziele erfüllt werden (85 Mio. t). Dementsprechend werden nachfolgend nur noch die nationalen Ziele diskutiert.

Die Clean Vehicle Directive bzw. das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz klassifiziert Nutzfahrzeuge in die Kategorien N1 (leichte Nutzfahrzeuge), N2 und N3 (schwere Nutzfahrzeuge) und legt verbindliche Quoten für die Beschaffung sauberer Fahrzeuge bei Fahrzeugneubeschaffungen fest. So müssen beispielsweise im Zeitraum 2021 bis 2030, unterteilt in die Zeitfenster 2021 bis 2025 und 2026 bis 2030, jeweils 38,5% neu beschaffter N1-Nutzfahrzeuge *saubere* Fahrzeuge im Sinne des Gesetzes sein. Für die Beschaffung von saubereren schweren Nutzfahrzeugen werden ebenfalls feste Quoten verlangt, die jedoch etwas niedriger liegen (10,0% bzw. 15,0%). Mit diesem Gesetz soll der öffentliche Sektor Vorbild- und Vorreiterfunktion übernehmen, Nachfrage generieren und insgesamt dazu beitragen, dass die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor schneller als bisher sinken. Anzumerken ist, dass keine Quoten oder Mengen zur CO₂-Reduktion eingefordert werden.

Insgesamt sind die Zielvorgaben zur (verkehrsbedingten) CO₂-Reduktion in Deutschland, abgesehen von den Beschaffungs-Quoten in der Clean-Vehicle-Directive bzw. dem Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz, insofern bisher unverbindlich, als sie z.B. für Unternehmen oder Kommunen nicht mit Sanktionsmaßnahmen bei Nicht-Erreichung belegt sind. Auch werden einzelne Akteure keiner „Klima-Prüfung“ o. ä. unterzogen oder zur Abgabe eines „Emissionsberichts“ o. ä. verpflichtet. Stattdessen setzt die Bundesregierung bisher noch auf einen Mix verschiedenster Fördermaßnahmen und Lenkungen.

Insgesamt eröffnet der Fuhrpark der Gemeinde Walluf ein CO₂-Einsparpotenzial von rund 16 Tonnen pro Jahr.

² (EU, 2018)

3.2.2 Szenarien zur Reduktion der CO₂-Emissionen

Um darzustellen, wie sich die Neubeschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben auf die jährlichen CO₂-Emissionen des Fuhrparks zukünftig auswirkt, werden nachfolgend drei Szenarien beschrieben, berechnet und ausgewertet, wobei das dritte Szenario aus zwei Varianten besteht, die die Randbedingungen bzw. Annahmen für die Simulation geringfügig modifizieren (Szenario drei A und B). Die Szenarien unterscheiden sich im Grundsatz durch Quantität und Sequenz der Neubeschaffung von Fahrzeugen und zeigen im Ergebnis Handlungsoptionen zur Umstellung des Fuhrparks vor dem Hintergrund der Vorgaben zur Reduktion von Treibhausgasen auf. Zur Rückverfolgung der verwendeten Fahrzeugnummern ist im Anhang eine entsprechende Liste beigefügt.

Das erste Szenario (Szenario 1 – CVD) orientiert sich an den Vorgaben des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes. Mit dem Gesetz, das sich an öffentliche Auftraggeber wendet, soll einerseits Nachfrage für die Hersteller von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ausgelöst werden. Darüber hinaus soll *die öffentliche Hand* eine Vorreiterrolle insbesondere im Nutzfahrzeugsektor übernehmen und auf diese Weise aufzeigen, dass die Umstellung auf klimafreundlichere Antriebe gelingen kann. Dabei zielt das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz nicht auf die Reduktion vorgegebener CO₂-Mengen ab, sondern definiert verpflichtende Quoten für die Neubeschaffung von Fahrzeugen mit alternativen resp. *sauberen* Antrieben. Die CO₂-Reduktion des Fuhrparks, die mit dem Ersatz von Verbrennerfahrzeugen einher geht, wird in diesem Szenario beispielhaft quantifiziert.

Das zweite Szenario (Szenario 2 – Just-in-time) greift die Vorgaben des Klimaschutzgesetzes sowie dessen Unterregelwerk auf. Zwar werden Unternehmer im Allgemeinen und Betreiber von Fuhrparks im Speziellen nicht direkt verpflichtet, die CO₂-Reduktionsvorgaben zu erfüllen. Allerdings ist zu erwarten, dass der Gesetzgeber seine Strategie der Förderung und Lenkung bei gesamtgesellschaftlicher Nichteinhaltung der Klimaschutzziele zunehmend modifiziert und verbindliche Regelungen auch für Nutzfahrzeuge festschreibt. Dies deutet sich bereits dadurch an, dass die EU-Kommission eine Richtlinie vorbereitet, die Hersteller von schweren Nutzfahrzeugen verpflichtet, ihren CO₂-Flottenausstoß bis 2040 um 90% zu reduzieren. Das Szenario 2 zeigt auf, wie die angestrebten Ziele des KSG zur CO₂-Reduktion „Just-in-time“ eingehalten werden können.

Die Szenarien drei A und B (Szenario 3 – IPCC, Varianten A und B) überführen den vom IPCC angeratenen Ansatz der tiefgreifenden und zusätzlich schnellen Reduktion von Treibhausgasen hin zum 1,5 °C-Ziel vor dem Hintergrund der sog. Klima-Kipppunkte in eine Neubeschaffungsstrategie für Fahrzeuge mit alternativem Antrieb, wobei die sich die beiden Szenarien im

Wesentlichen durch die Sequenz der Neubeschaffung unterscheiden. Gegenüber den Szenarien eins und zwei grenzt sich das Szenario drei mit seinen zwei Varianten insbesondere durch die Geschwindigkeit der Fuhrparkumstellung ab.

Die Ersatzbeschaffung von Nutzfahrzeugen wird in erster Linie durch den Ablauf der veranschlagten Nutzungsdauer ausgelöst. Die Nutzungsdauer für Nutzfahrzeuge beträgt üblicherweise zehn Jahre; sie wurde ebenfalls für den Fuhrpark der Gemeinde Walluf veranschlagt. Die Szenarien CVD, Just in Time und IPCC (A) simulieren die Neubeschaffung auf Grundlage des Ablaufs der Nutzungsdauer. Szenario IPCC (B) berücksichtigt zusätzlich den fahrzeugspezifischen CO₂-Ausstoß als Auslöser für die Beschaffung, in dem Nutzungsdauer und CO₂-Emission zu einem *Prioritäts-Index* zusammengefasst werden. Dadurch werden beispielsweise Fahrzeuge mit vergleichsweise hoher CO₂-Emission, die kurz vor Ende ihrer Nutzungsdauer stehen, in der Neubeschaffung vorgezogen gegenüber Fahrzeugen, die im Vergleich niedrigere CO₂-Emissionen verursachen, aber schon länger genutzt werden.

Für alle Szenarien wird - neben des zu erwartenden zeitlichen Verlaufs der CO₂-Reduktion - der zukünftige Energiebedarf in Form von Strom abgeschätzt, der sich durch die Integration neuer Antriebe in den Fuhrpark ergibt.

3.2.2.1 CO₂-Bilanzierung

In diesem Bericht werden sowohl die CO₂-Emissionen als auch die (Tages-) Energiebedarfe nach dem sog. *Tank-to-Wheel*-Ansatz ermittelt. Das bedeutet, dass Wirkkette und Schadstoffausstoß für verschiedene Antriebsarten ab der Tank- bzw. Ladesäule betrachtet werden. Dieser Ansatz deckt sich meist mit den Herstellerangaben für Fahrzeuge, die nachvollziehbarerweise nur den Betrieb des Fahrzeugs und nicht die vorgelagerten Produktionsprozesse für den Kunden beschreiben. Auch für die Betrachtung der vom Klimaschutzgesetz formulierten sektorspezifischen Zielvorgaben (hier: Verkehr) ist dieser Ansatz begründet, denn auf diese Weise werden die durch den Betrieb bedingten CO₂-Emissionen eindeutig dem Verkehrssektor als Verursacher zugeordnet. Hierin liegt begründet, dass BEV-Fahrzeugen im Betrieb ein CO₂-Emissionswert von *Null* zugewiesen wird.

Die CO₂-Emissionen, die zusätzlich mit der Bereitstellung der Energie bzw. des Energieträgers verbunden sind (sog. *Well-to-Tank*-Ansatz), werden in dieser Systematik dem Energieerzeuger als Verursacher angerechnet. Stammt demnach beispielsweise der Strom, der zum Betrieb eines BEV-Fahrzeugs benötigt wird, aus einem Kohlekraftwerk, wird dem Energieerzeuger die CO₂-Emission aus der Stromerzeugung zugewiesen, der Betreiber des Fahrzeugs kann demgegenüber eine *Null-Emission* für sich verbuchen. Die Sichtbarkeit von CO₂-Emissionen ist demnach abhängig vom verwendeten Bilanzrahmen (s. dazu auch Abbildung 3-7). Auch die Systematik des Klimaschutzgesetzes steckt in diesem Dilemma. Einerseits können durch die Betrachtung einzelner Sektoren wie z.B. Bauen und Wohnen oder Verkehr zielgerichtete Maßnahmen zur Verringerung der sektorspezifischen Emissionen ergriffen werden, wie z.B. die Förderung von Fahrzeugen mit alternativem Antrieb. Andererseits führen die kopplungsbedingten CO₂-Emissionen aus der Energieerzeugung für diese Maßnahmen im Sinne einer ganzheitlichen Bilanzierung (*Well-to-Wheel*-Ansatz) zum Anstieg der gesamtgesellschaftlichen Emissionen, die das KSG in seiner ursprünglichen Intention begrenzen möchte. An diesem Beispiel zeigt sich die Notwendigkeit der Bereitstellung von Strom aus Erneuerbaren Energien auf Seiten der Energieerzeugungsunternehmen, damit die Anstrengungen auf Seiten der Fahrzeugbetreiber nicht ins Leere laufen.

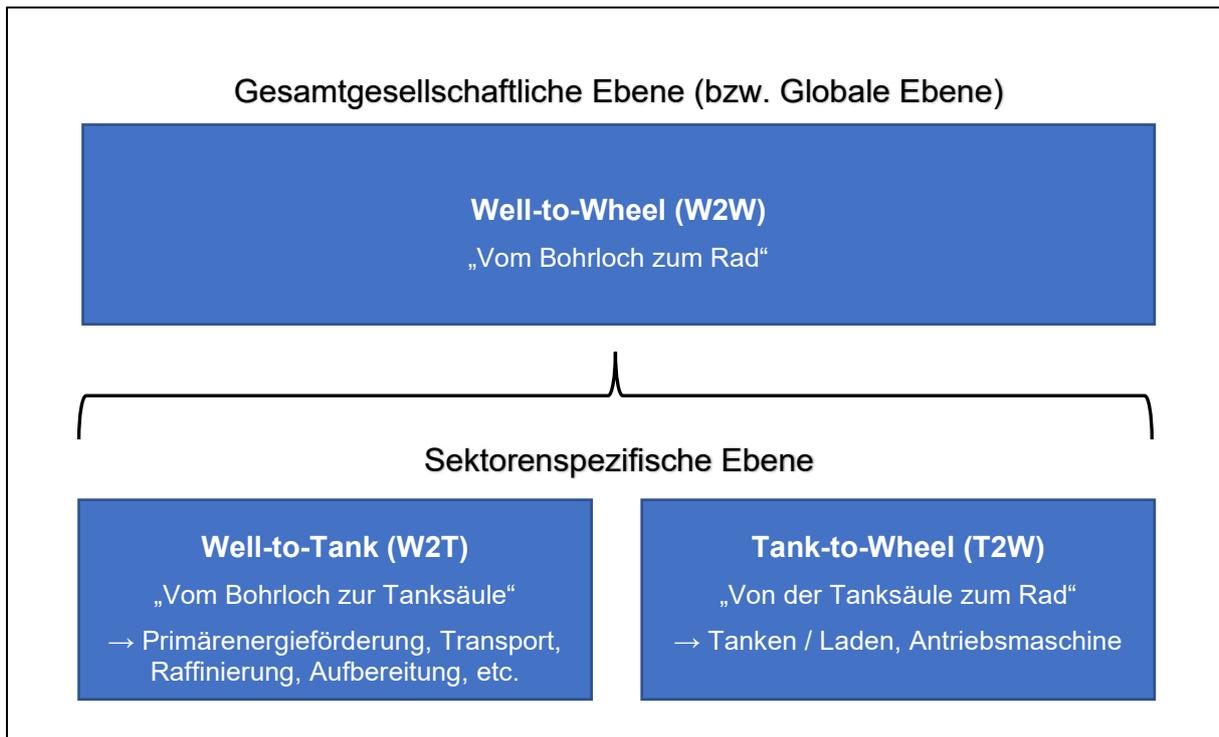


Abbildung 3-7: Zusammenhang Well-to-Tank-, Tank-to-Wheel-, Well-to-Wheel-Ansatz

Neben dieser Zuordnungsproblematik von CO₂-Emissionen, die aufgelöst wird, wenn die Energiebereitstellung unter Einsatz von erneuerbaren, CO₂-neutralen Energien erfolgt, verbleibt auf gesamtgesellschaftlicher Ebene (z.B. Bereitstellung von Flächen) bzw. auf Seiten der Energieerzeuger (z.B. Bau von Anlagen zur Erzeugung regenerativer Energien) die Schwierigkeit der Menge der bereitzustellenden klimaneutralen Energie. Die Abbildung 3-8 und Abbildung 3-9 verdeutlichen beispielhaft den Primärenergiebedarf (aus Erneuerbaren Energien) für die Bereitstellung von Strom und Wasserstoff zum Betrieb von Fahrzeugen.

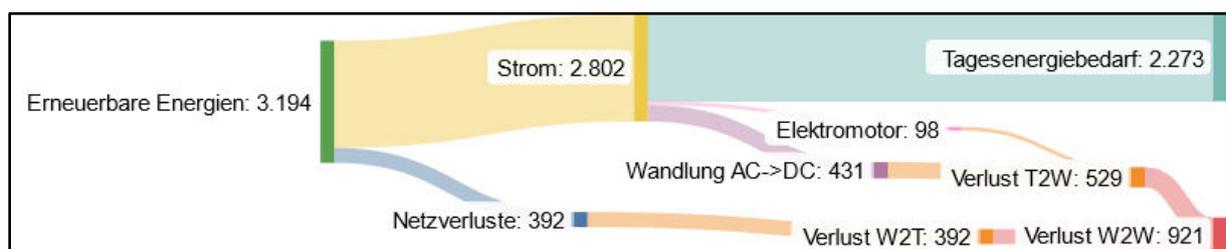


Abbildung 3-8: Primärenergiebedarf aus Erneuerbaren Energien zur Bereitstellung von Strom zum Betrieb eines BEV

Abbildung 3-8 zeigt die einzusetzende Energiemenge aus Erneuerbaren Energien für einen beispielhaft gewählten Tagesenergiebedarf resp. Tages-Traktionsenergiebedarf i.H.v. 2.273 kWh Strom. Um die auftretenden Verluste innerhalb der Wirkkette i.H.v. 921 kWh (Verluste Well-to-Wheel-Kette (W2W) = Verluste Well-to-Tank-Kette (W2T) + Verluste Tank-to-Wheel-

Kette (T2W)) auszugleichen, ist eine Primärenergieemenge von 3.194 kWh Strom zur Verfügung zu stellen. Der Wirkungsgrad Well-to-Wheel beträgt dementsprechend 71,2%, der Wirkungsgrad Tank-to-Wheel 81,1%. Zum Vergleich: Der Wirkungsgrad Tank-to-Wheel eines Verbrennerfahrzeuges beträgt 30%.

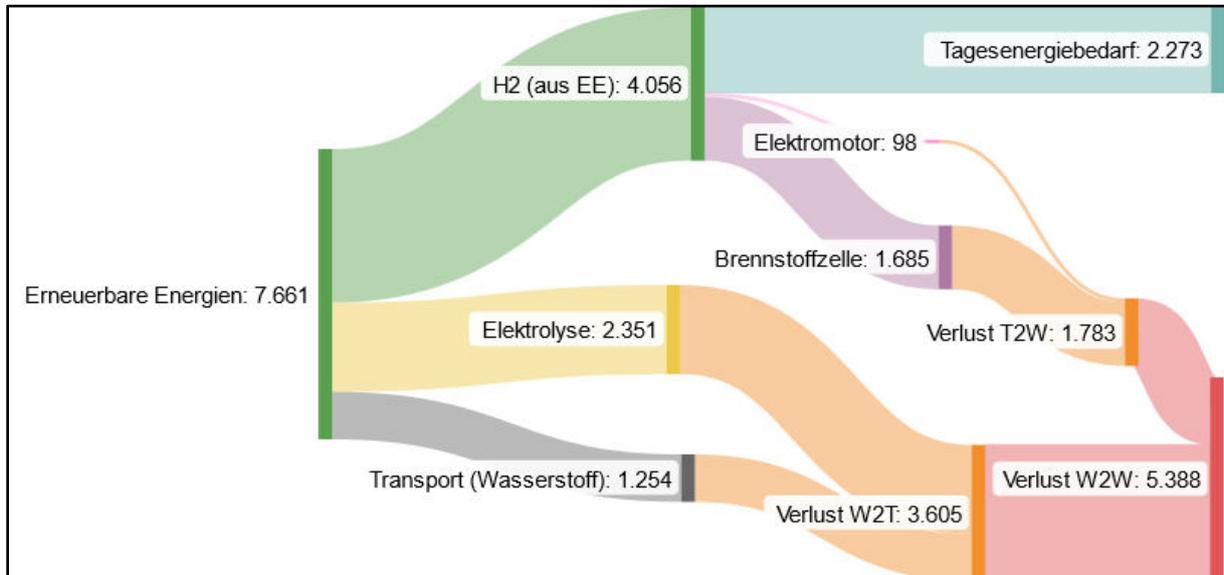


Abbildung 3-9: Primärenergiebedarf aus Erneuerbaren Energien zur Bereitstellung von Wasserstoff zum Betrieb eines FCEV

Abbildung 3-9 verdeutlicht die einzusetzende Energiemenge aus Erneuerbaren Energien für dieselbe Tages-Traktionsenergiemenge wie in Abbildung 3-8 i.H.v. 2.273 kWh, allerdings in Form von Wasserstoff. Entlang der Wirkkette entstehen bei der Wasserstoffproduktion, dem Transport, und dem Betrieb der Brennstoffzelle Verluste von insgesamt 5.388 kWh. Verluste und Traktionsenergiebedarf summieren sich in diesem Beispiel zu einem benötigten Primärenergieeinsatz von 7.661 kWh, entsprechend einem Wirkungsgrad Well-to-Wheel von 29,7%. Anders ausgedrückt ist für den Betrieb von Brennstoffzellen-Fahrzeugen ein etwa 2,4-fach höherer Einsatz an Primärenergie notwendig als für den Betrieb von batterieelektrischen Fahrzeugen.

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass vor dem Hintergrund des zu betreibenden Aufwandes für die Bereitstellung von Primärenergie aus Erneuerbaren Energien, wann immer es möglich ist, Batterietechnik zum Einsatz kommen sollte. Wasserstoff als Energieträger sollte nach dem Leitbild der Nachhaltigkeit nur da verwendet werden, wo Batterietechnik nicht möglich ist.

3.2.2.2 Szenario 1 – CVD („Pflicht“)

Die Clean Vehicle Directive (CVD) bzw. das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz „regelt Mindestziele (...) bei der Beschaffung bestimmter Straßenfahrzeuge (...) durch öffentliche Auftraggeber“ (§1 (1) SaubFahrzeugBeschG), wobei sich die Definition *Öffentlicher Auftraggeber* nach dem Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen richtet (GWB, §99 Öffentlicher Auftraggeber). Tabelle 3-2 zeigt die Beschaffungsvorgaben (Quoten für Kauf, Leasing oder Anmietung) des Gesetzes für die Fahrzeugklassen N1, N2 und N3 für die Referenzzeiträume 2021 bis 2025 sowie 2026 bis 2030.

Tabelle 3-2: Beschaffungsquoten gemäß §§5, 6 Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz

Fahrzeugklasse	Referenzzeitraum 2021 - 2025	Referenzzeitraum 2026 - 2030
Leichte Nutzfahrzeuge (N1)	38,5% ³	38,5%
Schwere Nutzfahrzeuge (N2, N3)	10,0%	15,0%

Innerhalb des Referenzzeitraums 2021 bis 2025 müssen demnach mindestens 38,5% der neu beschafften Fahrzeuge der Fahrzeugklasse N1 „saubere Fahrzeuge“ i. S. des Gesetzes sein, die Neubeschaffungsquote für Nutzfahrzeuge der Klassen N2 und N3 beträgt 10%. Für den Zeitraum 2026 bis 2030 sind Quoten von 38,5% (N1) und 15% (N2, N3) angesetzt. Für die Einhaltung der Quoten müssten demnach zum Beispiel bei einer Beschaffung von zehn leichten Nutzfahrzeugen in der Referenzperiode 2021 bis 2025 vier Fahrzeuge (Aufrundung), beim Kauf von sechs schweren Nutzfahrzeugen in der Referenzperiode 2025 bis 2030 ein Fahrzeug „sauber“ i. S. des Gesetzes sein (s. dazu Fußnote auf dieser Seite).

Die derzeitige Fassung des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetzes macht keine Vorgaben bezüglich Referenzzeiträumen nach 2030. Um ungeachtet dessen auch Prognosen für die Zeit nach 2030 treffen zu können, werden die oben dargestellten Quoten für die Berechnungen für den Referenzzeitraum 2031 bis 2035 aus dem Referenzzeitraum 2026 bis 2030 fortgeschrieben. Es ist aber davon auszugehen, dass die Quoten zukünftig eher höher liegen. Werden die gesetzten Ziele der CO₂-Emissionsminderungen im Verkehrssektor nicht erreicht, muss damit gerechnet werden, dass die Quoten auf bis zu 100% steigen können.

³ Im Referenzzeitraum 2021 bis 2025 gelten leichte Nutzfahrzeuge (N1) mit einer CO₂-Emission von bis zu 50 g/km als „sauber“ i. S. des Gesetzes; ab 2026 gelten nur noch diejenigen Fahrzeuge als „sauber“, die kein CO₂ emittieren (0 g/km).

Eine Auswertung der Fuhrparkliste der Gemeinde Walluf unter Ansatz einer Fahrzeug-Nutzungsdauer von zehn Jahren ergibt, dass in der ersten Referenzperiode (hier noch: 2023 bis 2025) keine Nutzfahrzeuge neu angeschafft werden müssen. Für die zweite Referenzperiode von 2026 bis 2030 und für die dritte Referenzperiode 2031 bis 2035 resultiert jeweils eine nutzungsdauerbasierte Neubeschaffungsprognose von 2 Fahrzeugen. Die Verteilung der Fahrzeuge auf die Fahrzeugklassen N1 bis N3 zeigt Tabelle 3-3.

Tabelle 3-3: Fahrzeugklassenstruktur neu zu beschaffender Nutzfahrzeuge bis 2035

Periode	N1	N2	Gesamt
2023 - 2025	0	0	0
2026 - 2030	1	1	2
2031 - 2035	2	0	2

In Verbindung mit den (für den Zeitraum 2031 bis 2035 fortgeschriebenen) Quoten in Tabelle 3-3 ergibt sich die in Tabelle 3-4 dargestellte (aufgerundete) Anzahl von neu zu beschaffenden Nutzfahrzeugen mit alternativem Antrieb.

Tabelle 3-4: Neu zu beschaffende Nutzfahrzeuge mit alternativem Antrieb bis 2035

Periode	N1	N2	Gesamt
2023 - 2025	0	0	0
2026 - 2030	1	1	2
2031 - 2035	1	0	1

Insgesamt müssen gemäß Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz nur drei Nutzfahrzeuge mit alternativem Antrieb angeschafft werden. Der Grund ist, dass nur vier Nutzfahrzeuge in der jetzigen Flotte vorhanden sind. In der Periode 2026 bis 2030 müssen zwei der neu zu beschaffenden Fahrzeuge „sauber“ i.S. des Gesetzes sein, davon ein leichtes und ein schweres Nutzfahrzeug. Im Zeitraum 2031 bis 2035 muss nur ein leichtes Nutzfahrzeug mit alternativem Antrieb beschafft werden. Es wird immer vorausgesetzt, dass auch die für die Quoten relevanten Verbrennerfahrzeuge jeweils nach Ablauf der Nutzungsdauer neu beschafft werden (Wenn keine Fahrzeuge beschafft werden, müssen auch keine Quoten erfüllt werden). Wird die Anzahl an Fahrzeugen wie in Tabelle 3-4 aufgelistet mit alternativem Antrieb und alle weiteren neu zu beschaffenden mit Verbrennerantrieb ersetzt, ergibt sich bezüglich der CO₂-

Emission des Fuhrparks das in Abbildung 3-10 dokumentierte Ergebnisdiagramm. Als Fahrzeuge, die alternativ ersetzt werden, wurden diejenigen ausgewählt, die in ihrer Klasse (als Verbrenner) die höchsten CO₂-Emissionen aufweisen. Das letzte Fahrzeug, welches ausgetauscht wird, ist dabei schon elektrifiziert (Goupil G4), sodass der passende Ersatz schon bekannt ist.

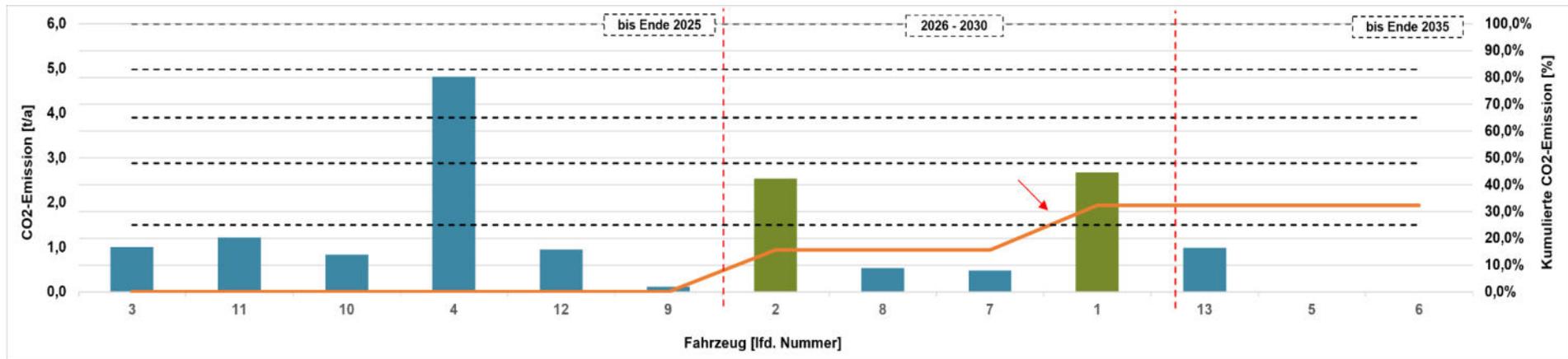


Abbildung 3-10: Ergebnisdiagramm Szenario 1 – CVD („Pflicht“) – Fahrzeuersatz nach Nutzungsdauer

Legende:

- X-Achse: Laufende Fahrzeugnummer, dargestellt sind alle Fahrzeuge des Fuhrparks, Fahrzeugidentifikation über Fahrzeugliste im Anhang
- Primäre Y-Achse links: (blaue und grüne Säulen): Einzelfahrzeuge, CO₂-Emission in [t/a]
- Sekundäre Y-Achse rechts: Summenkurve, Kumulierte CO₂-Reduktion des Fuhrparks [%]
- Blaue Säulen: Nutzfahrzeuge, die als Verbrenner neu beschafft werden
- Grüne Säulen: Fahrzeuge, die mit alternativem Antrieb neu beschafft werden
- Orange Linie: Summenkurve CO₂-Reduktion bezogen auf den gesamten Fuhrpark
- Rote gestrichelte Linie: Unterteilt die Perioden „bis Ende 2025“, „2026 bis 2030“, „bis Ende 2035“
- Roter Pfeil: Markiert die Erreichung eines Zielwertes des KSG
- Schwarze gestrichelte Linie: Zielwert des KSG, von unten nach oben: 2025 (25%), 2030 (48%), 2035 (65%), 2040 (83%), 2045 (100%)

Die CO₂-Emissionsminderung für das Szenario 1 – CVD beträgt Mitte 2032 (Zeitpunkt der Beschaffung des letzten Fahrzeuges) rund 32 % bzw. etwa 5 t. Zwar wird der erste Zielwert des Klimaschutzgesetzes, 25% CO₂-Einsparung bis 2025, nominell erreicht, jedoch erst etwa Anfang 2030. Die anderen Zielwerte des KSG werden nicht erreicht, da zu wenige Fahrzeuge mit alternativem Antrieb angeschafft werden würden. Insgesamt ist festzuhalten, dass die strikte Einhaltung der Forderungen des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes in Verbindung mit der nutzungsdauerbasierten Erneuerung des gesamten Fuhrparks bis 2032 nicht zur Erfüllung von Klimaschutzzielen auf Bundes- bzw. kommunaler Ebene ausreicht. Zur Erklärung kann angeführt werden, dass das Gesetz eine EU-Direktive 1:1 in deutsches Recht umsetzt und die Klimaschutzziele in Deutschland etwas ambitionierter sind als auf EU-Ebene.

3.2.2.3 Szenario 2 – KSG („Just in Time“)

Das zweite Szenario wird ergebnisorientiert abgeleitet. In Abgrenzung zum Szenario 1 - CVD, bei dem die Anzahl an Fahrzeuge ersetzt wird, die das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz vorschreibt, wird bei diesem Szenario genau die Anzahl an Fahrzeugen ersetzt, die dazu führt, dass die CO₂-Zielvorgaben des KSG punktgenau, also „Just-in-Time“, eingehalten werden. Dazu wurden in einem Abgleich zur Marktverfügbarkeit diejenigen Fahrzeuge ausgewählt, die derzeit bereits als Fahrzeuge mit alternativem Antrieb erhältlich sind, bzw. dessen Marktsegment bereits eine Auswahl ermöglicht. Dazu zählen insbesondere die PKW, die Pritsche und der Kipper. Außen vorgelassen wurde nur der Ackerschlepper, wofür es noch keine reinelektrische Alternative gibt. Die Reihenfolge der zu ersetzenden Fahrzeuge erfolgt nicht willkürlich, sondern orientiert sich wie Szenario 1 (und i.F. Szenario 3(A)) an der geplanten Nutzungsdauer von zehn Jahren. Diejenigen Fahrzeuge, die bereits älter sind als zehn Jahre, sind dementsprechend unter den ersten, die ersetzt werden. Es ist darüber hinaus festzuhalten, dass die Vorgaben des SaubFahrzeugBeschG durch dieses Szenario eingehalten werden, da insgesamt und auch innerhalb der Betrachtungszeiträume jeweils mehr *saubere* Fahrzeuge neu beschafft werden als vorgegeben. Die zu erwartende Erhöhung der Quoten in der Periode 2031 bis 2035 ist ebenfalls als unkritisch einzuschätzen, da in diesem Zeitraum 100% der zu beschaffenden Fahrzeuge *sauber* i.S. des Gesetzes wären. Die Ergebnisse dieses Szenarios sind in Abbildung 3-11 grafisch dargestellt.

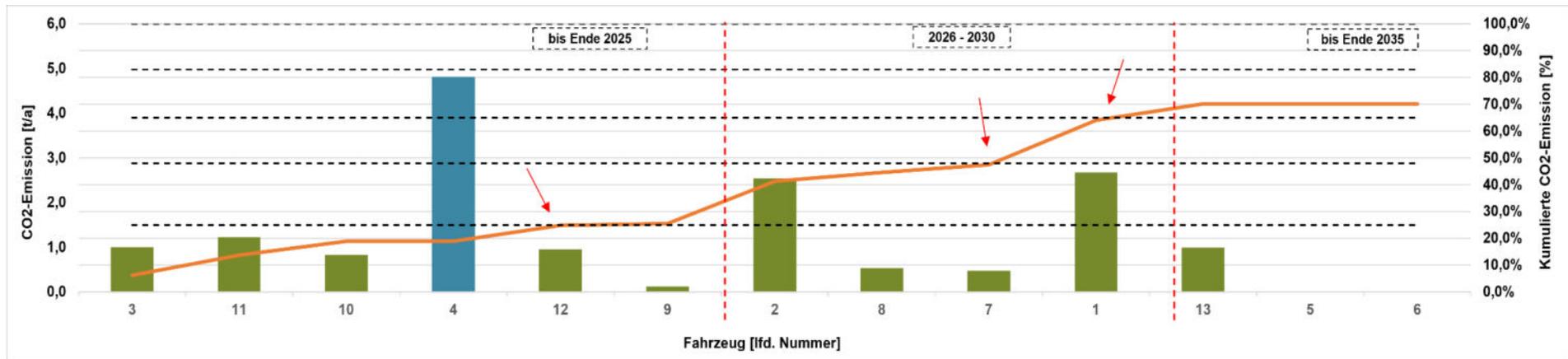


Abbildung 3-11: Ergebnisdiagramm Szenario 2 – KSG („Just-in-time“) – Fahrzeuersatz nach Nutzungsdauer

Legende:

- X-Achse: Laufende Fahrzeugnummer, dargestellt sind alle Fahrzeuge des Fuhrparks, Fahrzeugidentifikation über Fahrzeugliste im Anhang
- Primäre Y-Achse links: (blaue und grüne Säulen): Einzelfahrzeuge, CO₂-Emission in [t/a]
- Sekundäre Y-Achse rechts: Summenkurve, Kumulierte CO₂-Reduktion des Fuhrparks [%]
- Blaue Säulen: Nutzfahrzeuge, die als Verbrenner neu beschafft werden
- Grüne Säulen: Fahrzeuge, die mit alternativem Antrieb neu beschafft werden
- Orange Linie: Summenkurve CO₂-Reduktion bezogen auf den gesamten Fuhrpark
- Rote gestrichelte Linie: Unterteilt die Perioden „bis Ende 2025“, „2026 bis 2030“, „bis Ende 2035“
- Roter Pfeil: Markiert die Erreichung eines Zielwertes des KSG
- Schwarze gestrichelte Linie: Zielwert des KSG, von unten nach oben: 2025 (25%), 2030 (48%), 2035 (65%), 2040 (83%), 2045 (100%)

Abbildung 3-11 verdeutlicht, dass die Zielvorgaben des KSG für 2025, 2030 und 2035 innerhalb des betrachteten Zeitraums wie beabsichtigt zum Ende resp. innerhalb der Perioden (vorzeitig) erreicht werden können. Die Zielerreichung KSG 2035 wird schon in der Periode 2026 bis 2030 erreicht, da ansonsten das CO₂-Einsparpotenzial für die nachfolgende Periode nicht ausreichend hoch gewesen wäre. Die CO₂-Einsparung beträgt Ende 2032 ca. 70 % bzw. rund 11 t/a. Die Vorgaben der CVD werden ebenfalls mit der Anwendung dieses Szenarios eingehalten.

3.2.2.4 Szenario 3 – IPCC (A)

Wie bereits aufgezeigt, reklamiert der IPCC die schnellstmögliche Absenkung des Ausstoßes insbesondere von CO₂ als Hauptverursacher des Klimawandels. Szenario 3 (A) übersetzt diese Forderung dahingehend, dass sämtliche Fahrzeuge, die zur Neubeschaffung aufgrund des Ablaufs ihrer Nutzungsdauer anstehen, durch Fahrzeuge mit alternativem Antrieb ersetzt werden. Die Ergebnisse des Szenarios sind in Abbildung 3-12 dokumentiert.

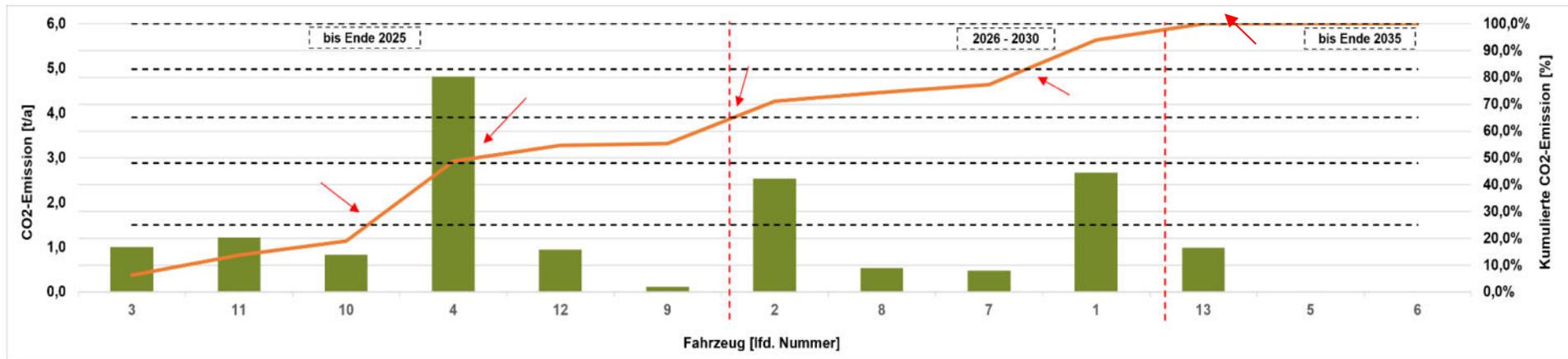


Abbildung 3-12: Ergebnisdiagramm Szenario 3 – IPCC (A) – Fahrzeugersatz nach Nutzungsdauer

Legende:

- X-Achse: Laufende Fahrzeugnummer, dargestellt sind alle Fahrzeuge des Fuhrparks, Fahrzeugidentifikation über Fahrzeugliste im Anhang
- Primäre Y-Achse links: (blaue und grüne Säulen): Einzelfahrzeuge, CO₂-Emission in [t/a]
- Sekundäre Y-Achse rechts: Summenkurve, Kumulierte CO₂-Reduktion des Fuhrparks [%]
- Blaue Säulen: Nutzfahrzeuge, die als Verbrenner neu beschafft werden
- Grüne Säulen: Fahrzeuge, die mit alternativem Antrieb neu beschafft werden
- Orange Linie: Summenkurve CO₂-Reduktion bezogen auf den gesamten Fuhrpark
- Rote gestrichelte Linie: Unterteilt die Perioden „bis Ende 2025“, „2026 bis 2030“, „bis Ende 2035“
- Roter Pfeil: Markiert die Erreichung eines Zielwertes des KSG
- Schwarze gestrichelte Linie: Zielwert des KSG, von unten nach oben: 2025 (25%), 2030 (48%), 2035 (65%), 2040 (83%), 2045 (100%)

Im Falle der Umsetzung des Szenarios 3 (A) wird die gesamte bisher durch den Fuhrpark emittierte CO₂-Menge in Höhe von rund 16 t/a (100%) eingespart bzw. vermieden. Die Zielwerte des KSG werden in Übereinstimmung mit der Forderung des IPCC nach rascher Absenkung für alle Betrachtungszeiträume vorzeitig erfüllt. Die Quoten der CVD für die Neubeschaffung sauberer Fahrzeuge werden sicher eingehalten.

3.2.2.5 Szenario 3 – IPCC (B)

Wie schon Szenario 3 (A) ist auch Szenario 3 (B) aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen des IPCC abgeleitet, die CO₂-Emissionen schnell und tiefgreifend zu minimieren. Während Szenario 2 auf die punktgenaue Zielerreichung „Just-in-Time“ abzielt und dadurch mögliche CO₂-Einsparungspotenziale ggfs. ungenutzt lässt, zielen die Varianten IPCC (A) und IPCC (B) darauf ab, die CO₂-Emissionen schneller zu minimieren. Variante 3 (B) beschleunigt die Abnahme der CO₂-Emission noch einmal gegenüber Variante 3 (A). Dieses höhere Tempo wird in der Simulation dadurch erreicht, dass diejenigen Fahrzeuge, die höhere CO₂-Emissionen verursachen, frühzeitiger ersetzt werden. Die Neubeschaffung wird demnach einerseits nicht wie in den Szenarien CVD und *Just-in-time* sowie IPCC (A) nach dem alleinigen Kriterium des Ablaufs der Nutzungsdauer ausgelöst, sondern berücksichtigt zusätzlich die fahrzeugspezifische CO₂-Emission. Damit andererseits nicht allein die Höhe der CO₂-Emission für den Neukauf eines Fahrzeugs entscheidend ist, und dadurch ggfs. Fahrzeuge neu beschafft werden sollen, die am Beginn ihrer Nutzungsdauer stehen, werden beide Merkmale zu einem *Prioritäts-Index* verknüpft. Dies hat zur Folge, dass Fahrzeuge gegen Ende ihrer Nutzungsdauer, in Abhängigkeit der Höhe ihrer spezifischen CO₂-Emission, vorrangig gegenüber solchen mit vergleichbarer Nutzungsdauer aber niedrigerer CO₂-Emission neu beschafft werden. Der Prioritäts-Index ist exponentialfunktionsbasiert und so angelegt, dass die Höhe der CO₂-Emission gegen Ende der Nutzungsdauer an Einfluss gewinnt. Die Sensitivität des Prioritäts-Index ist im Grundsatz variabel. Sie wurde für dieses Szenario so eingestellt, dass beispielsweise ein Fahrzeug, das 20 t CO₂ pro Jahr emittiert und 90% seiner Nutzungsdauer erreicht hat, vorrangig vor einem Fahrzeug neu beschafft werden soll, das 10 t CO₂ pro Jahr emittiert und 100% seiner Nutzungsdauer erreicht hat. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Abwägung zur Neubeschaffung nicht wie in diesem Beispiel lediglich zwischen zwei Fahrzeugen abläuft, sondern der gesamte Fuhrpark in die Berechnung einfließt. Die Ergebnisse dieses Szenarios sind in Abbildung 3-13 dargestellt.

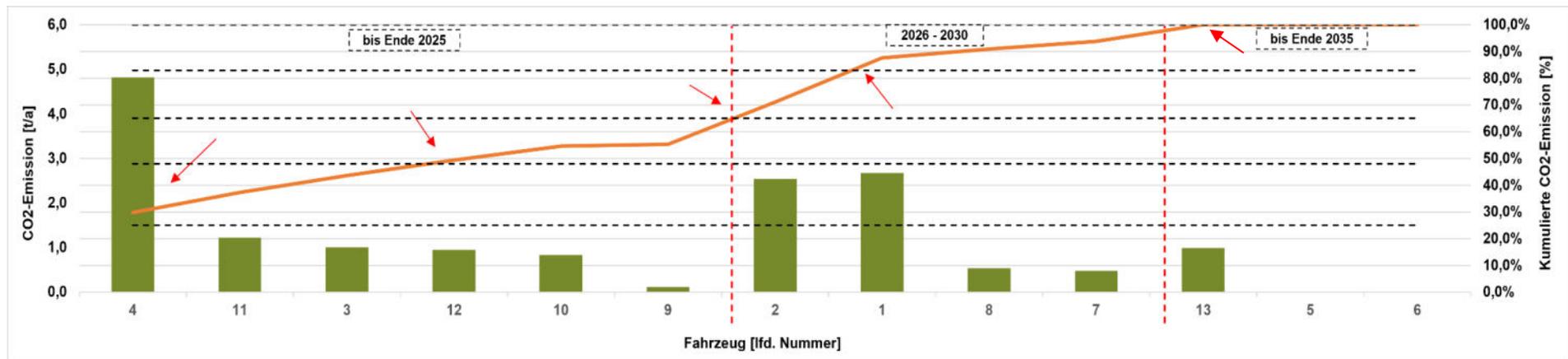


Abbildung 3-13: Ergebnisdiagramm Szenario 3 – IPCC (B) – Fahrzeuersatz nach Prioritäts-Index

Legende:

- X-Achse: Laufende Fahrzeugnummer, dargestellt sind alle Fahrzeuge des Fuhrparks, Fahrzeugidentifikation über Fahrzeugliste im Anhang
- Primäre Y-Achse links: (blaue und grüne Säulen): Einzelfahrzeuge, CO₂-Emission in [t/a]
- Sekundäre Y-Achse rechts: Summenkurve, Kumulierte CO₂-Reduktion des Fuhrparks [%]
- Blaue Säulen: Nutzfahrzeuge, die als Verbrenner neu beschafft werden
- Grüne Säulen: Fahrzeuge, die mit alternativem Antrieb neu beschafft werden
- Orange Linie: Summenkurve CO₂-Reduktion bezogen auf den gesamten Fuhrpark
- Rote gestrichelte Linie: Unterteilt die Perioden „bis Ende 2025“, „2026 bis 2030“, „bis Ende 2035“
- Roter Pfeil: Markiert die Erreichung eines Zielwertes des KSG
- Schwarze gestrichelte Linie: Zielwert des KSG, von unten nach oben: 2025 (25%), 2030 (48%), 2035 (65%), 2040 (83%), 2045 (100%)

Abbildung 3-13 verdeutlicht den Einfluss des Prioritäts-Index auf die Neubeschaffungsreihenfolge der Fahrzeuge gegenüber Szenario 3 (A). Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass Fahrzeuge mit höherer CO₂-Emission (Höhe der grünen Säule) in der Neubeschaffungsreihenfolge „weiter nach vorne“ rücken und über die Perioden hinweg betrachtet eine Art Wellenmuster entsteht. Auf den zweiten Blick fällt auf, dass sie nicht einfach absteigend nach der Höhe der CO₂-Emission sortiert sind. Das Fahrzeug mit der laufenden Nummer 1 beispielsweise rückt gegenüber Szenario 3 (A) vom Ende zum Anfang der zweiten Periode, also einer frühzeitigeren Neubeschaffung als bei alleinigem Ansatz der Nutzungsdauer. Davor ist jedoch ein Fahrzeug (Nr. 2), das etwas weniger CO₂ ausstößt und trotzdem vorrangig ersetzt werden soll. Hier ist der Einfluss der Nutzungsdauer maßgeblich.

Im Ergebnis ist Szenario 3 (B) ebenso wie Szenario 3 (A) dazu geeignet, sowohl die Zielvorgaben des KSG und die Vorgaben der CVD zu erfüllen. Die Emissionen sinken innerhalb der Betrachtungsperioden schneller als bei Szenario 3 (A), wobei die Gesamteinsparung von 16 t/a bzw. 100% bis zum Jahr 2033 gleich ist.

3.2.2.6 Täglicher Energiebedarf Szenarien 1 bis 3

Durch den Ersatz von Verbrennerfahrzeugen durch Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb wird einerseits, wie beabsichtigt, der Bedarf an Diesel- bzw. Ottokraftstoff und die damit verbundene Emission von CO₂ gesenkt. Andererseits wird der Bedarf an Energie in Form von Strom gesteigert. Für die Szenarien 1 bis 3 wird nachfolgend der voraussichtliche Tagesenergiebedarf für die zu ersetzenden Fahrzeuge der Gemeinde Walluf auf Basis des bisherigen Tageskraftstoffbedarfs angegeben.

Unter Zuhilfenahme von Wirkketten bzw. chemisch-physikalischen Wirkungsgraden ist es möglich, den Energiebedarf von Fahrzeugen für unterschiedliche Energieträger abzuschätzen, wenn der Bedarf für einen Energieträger bekannt ist. Das nachfolgende Berechnungsbeispiel zeigt die Umrechnung des Dieselbedarfs eines Verbrennerfahrzeugs i.H.v. 20 l pro Tag in einen Strombedarf unter Ansatz von Wirkungsgraden (Tank-to-Wheel-Ansatz) für verschiedene Antriebsmaschinen.

Diesel-Verbrennungsmotor (TTW, ICE, $\eta = 0,30$)

Tages-Dieselbedarf: 20 l/d

Heizwert Diesel: 9,96 kWh/l

Energiegehalt Tages-Dieselbedarf: 20 l/d · 9,96 kWh/l = 199,2 kWh/d

Wirkungsgrad Dieselmotor: 0,30

Tages-Traktionsenergiebedarf: 199,2 kWh/d · 0,30 = 59,8 kWh/d

Batterieelektrisches Fahrzeug (TTW, BEV, $\eta = 0,81$)

Tages-Traktionsenergiebedarf: 59,8 kWh/d

Wirkungsgrad Elektromotor: 0,81

Tages-Strombedarf: 59,8 kWh/d ÷ 0,81 = 73,8 kWh/d

Ausgehend von einem Tages-Dieselbedarf von 20 l pro Tag und daraus berechnetem Traktionsenergiebedarf, also dem Energiebedarf, der zur Fortbewegung des Fahrzeugs nötig ist (Überwindung von Fahrbahnreibung und Luftwiderstand), lässt sich der Strombedarf eines vergleichbaren batterieelektrischen Fahrzeugs zu 73,8 kWh pro Tag abschätzen.

Übertragen auf den Fuhrpark der Gemeinde Walluf in Kombination mit den Ergebnissen der Szenarien 1 bis 3 bezüglich der zu ersetzenden Fahrzeuge bzw. Kraftstoffmengen, ergeben sich die in Abbildung 3-14 dargestellten Tages-Energiebedarfe in kWh/d. Durch die Wahl der Berechnungsmethode, d.h. der Umrechnung des Treibstoffverbrauchs eines ICE-Fahrzeugs in Verbindung mit dem Nfz-Datensatz der Gemeinde Walluf in einen Strombedarf für ein vergleichbares BEV-Fahrzeug, wird der Energiebedarf tendenziell eher über- als unterschätzt.

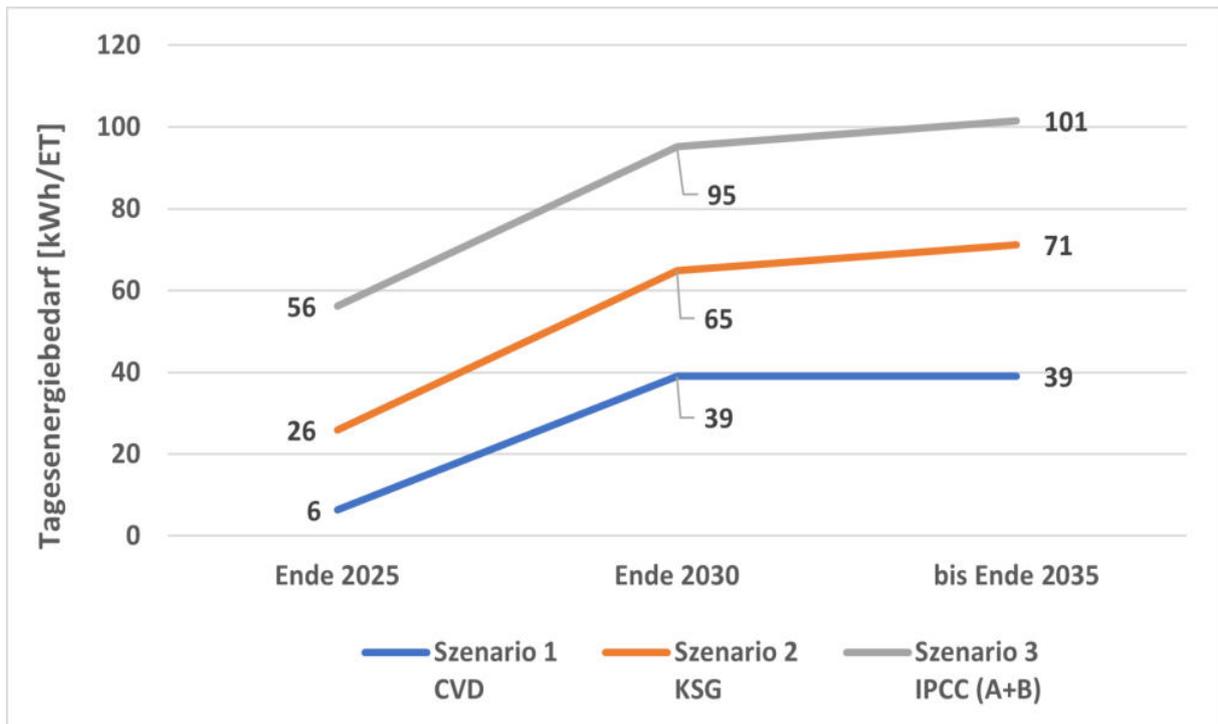


Abbildung 3-14: Tages-Energiebedarf (Strom), Szenarien 1 – 3 nach Perioden

Abbildung 3-14 dokumentiert für Szenario 1 (CVD, „Pflicht“) einen Strombedarf zwischen 6 kWh/ET Ende 2025 und 39 kWh/ET zum Zeitpunkt Mitte 2032. Szenario 2 (KSG, „Just-in-Time“) verursacht einen Strombedarf von 26 kWh/ET (Ende 2025) bzw. 71 kWh/ET Mitte 2032. Die Varianten von Szenario 3 (IPCC, A und B) unterscheiden sich vor dem Hintergrund des Energiebedarfes nicht, da jeweils die gleiche Anzahl an Fahrzeugen ersetzt wird. Der zukünftige Strombedarf lässt sich demnach jeweils zu 56 kWh/ET Ende 2025 und 101 kWh/ET Mitte 2032 abschätzen.

Anzumerken ist, dass diese Art der Berechnung bzw. Abschätzung mit Unwägbarkeiten verbunden ist und das Ergebnis demgemäß einerseits als grober Richtwert angesehen werden muss, aus dem sich keine technische Planung o.ä. ableiten lässt. Sie ist andererseits dazu geeignet, das bestehende Energie- bzw. Ladeinfrastrukturpotenzial in Bezug auf Richtungsentscheidungen für den zukünftigen Strombedarf zu hinterfragen.

3.2.3 Marktrecherche Alternative Antriebskonzepte

Eine Voraussetzung für die Neubeschaffung und Integration von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben in den Fuhrpark ist deren Marktverfügbarkeit. Sowohl für batterieelektrische Fahrzeuge (BEV), für Plug-In-Hybride (PHEV) als auch für wasserstoffbetriebene Nutzfahrzeuge (FCEV) wurde eine Marktrecherche durchgeführt. Insgesamt wurden über 300 Nutzfahrzeuge mit alternativen Antriebssystemen und verschiedenen Aufbauten über alle Fahrzeugklassen identifiziert.

Generell ist anzumerken, dass das Angebot an BEV-Fahrzeugen deutlich größer ist als das von FCEV-Fahrzeugen. Das Angebot an PHEV-Fahrzeugen ist der Anzahl nach vernachlässigbar, allerdings können diese Fahrzeuge im Einzelfall auch Problemlöser sein, z.B. als Ersatzfahrzeug für Radlader.

Im Bereich der Fahrzeugklassen N1 und N2 gibt es derzeit nur vereinzelt FCEV-Alternativen zu den batterieelektrischen Fahrzeugen. In diesen Segmenten haben sich die Batterieantriebe durchgesetzt. Lediglich bei den N3-Fahrzeugen, also den Nutzfahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 12 t, gibt es auch wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, insbesondere sind hier Sattelzugmaschinen oder Abfallsammelfahrzeuge vertreten. Die Hersteller, die auf den Wasserstoffantrieb setzen, haben aber auch vereinzelt N3-Fahrzeuge mit verschiedenen anderen Aufbauten im Programm, z.B. LKW mit Pritschen- oder Kofferaufbau sowie Abroll- und Absetzkipper. Generell ist diesbezüglich zu hinterfragen, ob sich die Bereitstellung von Infrastruktur für einzelne Wasserstofffahrzeuge im Fuhrpark lohnt.

BEV-Fahrzeuge mit Standardaufbau wie Koffer, Kasten oder Pritsche besitzen bereits eine sehr viel breitere Angebotspalette im Vergleich zu den FCEV-Nutzfahrzeugen. Insgesamt konnten 255 BEV-Fahrzeuge mit diversen Plattformen und Aufbauten ermittelt werden, darunter auch Spezialfahrzeuge wie Betonmischer oder Saug-/ Spülfahrzeuge. Das Angebot wird seitens der Hersteller mit kurzer Taktung ständig erweitert.

Schwierig ist die Marktlage derzeit noch bei batterieelektrischen Baustellen-, Forst-, oder landwirtschaftlich genutzten Fahrzeugen wie z.B. Baggern, Radladern oder Schleppern. Dieser Markt entwickelt sich gerade und es gibt bereits erste Prototypen großer Hersteller wie Zepelin, CAT oder Fendt, die kurzfristig zur Serienreife gebracht werden sollen.

3.2.4 Ersatzfahrzeuge für den Fuhrpark der Gemeinde Walluf

Auf Grundlage der übermittelten Fahrzeugliste der Gemeinde Walluf werden nachfolgend in Tabelle 3-5 Vorschläge für Fahrzeuge mit alternativem Antrieb aufgelistet, die die vorhandenen ICE-Fahrzeuge im Laufe der nächsten Jahre ersetzen können.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die vorgeschlagenen Ersatzfahrzeuge batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) sind. Hintergrund ist, dass sich insbesondere in den Fahrzeugklassen N1 und N2 bereits die BEV-Fahrzeuge gegenüber den FCEV-Fahrzeugen durchgesetzt haben und dementsprechend am Markt nur vereinzelt wasserstoffbasierte Antriebe vertreten sind. Die täglichen Fahrleistungen der Fahrzeuge im Fuhrpark der Gemeinde sind überwiegend als gering zu bezeichnen, so dass die am Markt verfügbaren Batteriekapazitäten heute bereits ausreichend groß dimensioniert sind, um nicht während eines Arbeits- bzw. Einsatztages nachladen zu müssen. Im Einzelfall ist anzuraten, Fahrzeuge anzuschaffen, die schnellladefähig (DC-Lader) sind, um die evtl. notwendige Nachladezeit zu minimieren.

Tabelle 3-5: Ersatzfahrzeugliste für den Nutzfahrzeug-Fuhrpark der Gemeinde Walluf

Lfd. Fz.-Nr.	Fahrzeug	Fahrzeugart	Zul. Gesamtgewicht [kg]	Vorschlag für Ersatzfahrzeug mit alternativem Antrieb
1	IVECO Daily 4x4	LKW Kipper	10.500	IVECO eDaily (N2-Variante)
2	FUSO Canter	LKW Pritsche	3.500	FUSo eCanter (Nur N2 verfügbar)
3	Kramer 120	Radlader Mini	2.000	Schäffer 24e (Hybrid)
4	Case JX 1070V	Ackerschlepper	3.800	Steyer Hybrid CVT (ab 2025)
5	Goupil G4 9kW/h	E-Leichtfahrzeug	2.100	Bereits BEV
6	Goupil G4 13kW/h	E- Leichtfahrzeug	2.100	Bereits BEV
7	AS 970/4	Aufsitzmäher	-	EGO Z6 Zero-Turn
8	Kubota G23-3/HD	Aufsitzmäher	-	EGO Z6 Zero-Turn
9	Gianni Ferrari	Aufsitzmäher	-	EGO Z6 Zero-Turn

Legende	N1-Fahrzeug (bis 3,5 t)	N2-Fahrzeug (> 3,5 t bis 12 t)	N3-Fahrzeug (> 12 t)	Andere
---------	-------------------------	--------------------------------	----------------------	--------

Insgesamt ist festzuhalten, dass das Alternativangebot bei „Standard“-Nutzfahrzeugen wie Pritschenfahrzeugen und LKW mit Kipper-Aufbau bereits sehr gut ist. Für den Radlader gibt es reinelektrische Alternativen mit relativ kurzen Laufzeiten (< 8h) oder Hybrid-Radlader wie der Schäffer 24e für lange Einsatztage.

Es ist davon auszugehen, dass nicht alle aufgeführten Alternativfahrzeuge in diesem Kapitel mit dem jeweils benötigten Aufbau verfügbar sind; die Basismodelle sind aber überwiegend bereits am Markt. Hier ist im Einzelfall zu prüfen und ggfs. Kontakt mit dem Hersteller oder Fahrzeugausrüster aufzunehmen.

3.2.5 Fahrleistungs- / Reichweitenvergleich von ICE- und BEV-Fahrzeugen

Nachfolgend werden beispielhaft durchschnittliche tägliche Fahrleistungen von Verbrennerfahrzeugen aus dem Nfz-Fuhrpark der Gemeinde Walluf mit den Reichweitenangaben von exemplarisch ausgewählten BEV-Ersatzfahrzeugen aus dem N1- und N2-Fahrzeugsegment verglichen.

Die durchschnittliche tägliche Fahrleistung wurde aus der Jahreskilometerleistung des jeweiligen Fahrzeugs der Gemeinde Walluf und einer Einsatzquote von 220 oder 280 Tagen pro Jahr berechnet. Die für den Tageseinsatz benötigte Batteriekapazität wurde aus den Herstellerangaben für das Fahrzeug für lineares Entladeverhalten der Batterie abgeschätzt. Demnach können die tatsächlichen täglichen Fahrleistungen sowie die Batteriekapazitäten nach oben wie nach unten abweichen.

Der FUSO eCanter ist die batterieelektrische Version für das vorhandene FUSO Canter Pritschenfahrzeug (vgl. Tabelle 3-6). Bei der Version mit der kleinen Batteriekapazität von 41,3 kWh liegt die Reichweite bei 70 km, während mit der großen Batteriekapazität von 82,6 kWh eine Reichweite von 140 km ermöglicht wird. Das Fahrzeug ist neben dem AC-Lader mit einem 70 kW (große Batterie: 104 kW) Gleichstrom-Ladesystem ausgerüstet, was das Laden auf ca. 80 % der Batteriekapazität in 30 Minuten ermöglicht.

Tabelle 3-6: Vergleich der täglichen Fahrleistung vom FUSO Canter Pritschenfahrzeug (N1) der Gemeinde Walluf mit Herstellerangaben des FUSO eCanter

Lfd. Fz.-Nr.	Fahrzeug	Ø Tägliche Fahrleistung [km/ET]	Alternativfahrzeug hier: FUSO eCanter (N1)	Benötigte Batteriekapazität [%]
2	Fuso Canter	25	 <p>Batteriekapazität: 41,3 kWh (82,6 kWh)</p> <p>Reichweite: 70 km (140 km)</p>	61 (30)

Tabelle 3-6 zeigt, dass der N1-Pritschenwagen der Gemeinde Walluf ihre tägliche Fahrleistung mit der zur Verfügung stehenden Batteriekapazität sicher bewältigen können. In Klammern wird die benötigte Batteriekapazität bei Verwendung der größeren Batterie angezeigt. Da der FUSO eCanter mit einem Schnellladesystem ausgerüstet ist, kann die Batterie bei Bedarf schneller nachgeladen werden.

Das ausgewählte Alternativfahrzeug in Tabelle 3-7 (eDaily von Iveco) verfügt laut Herstellerangaben in der N2-Version (bis 7,2 t zGG) über eine Batteriekapazität von 111 kWh und eine aufbau- und zuladungsabhängige Reichweite zwischen 110 und 300 km. Das Fahrzeug verfügt neben dem AC-Ladesystem über einen DC-Lader, der bei 80 kW ca. 1,5 Stunden braucht, um die Batterie auf 80% der Kapazität nachzuladen. Der eDaily ist unter anderem als Kipper verfügbar und kann somit als Alternative für das IVECO Daily N2-Nfz der Gemeinde Walluf eingesetzt werden. Wie oben wurde die tägliche Fahrleistung über die Jahresfahrleistung abgeschätzt.

Tabelle 3-7: Vergleich der täglichen Fahrleistung des IVECO Daily Kippers (N2) der Gemeinde Walluf mit Herstellerangaben des Iveco eDaily

Lfd. Fz.-Nr.	Fahrzeug	Ø Tägliche Fahrleistung [km/ET]	Alternativfahrzeug hier: Iveco eDaily (N1 und N2)	Benötigte Batteriekapazität [%]
1	IVECO Daily	12	 <p>Batteriekapazität: 37-111 kWh Reichweite: 110-300 km (je nach Aufbau und Zuladung)</p>	11

Tabelle 3-7 zeigt, dass die tägliche Fahrleistung des abgebildeten N2-Fahrzeugs der Gemeinde Walluf über die Batteriekapazität des Alternativfahrzeugs abgedeckt werden kann. Zur Berechnung wurde als *Worstcase* sowohl die kleinste Batteriekapazität (37 kWh) als auch die geringste Reichweitenangabe von 110 Kilometern angesetzt.

In der nächsten Tabelle 3-8 wird ein Alternativfahrzeug (EGO Z6 Zero-Turn) für die Aufsitzmäher vorgestellt.

Tabelle 3-8: Auflistung der Aufsitzmäher (Andere) und des Alternativfahrzeugs EGO Z6 Zero-Turn

Lfd. Fz.-Nr.	Fahrzeug	Alternativfahrzeug hier: EGO Z6 Zero-Turn (Andere)
7	AS 970/4	 <p>Wechselakkusystem Batteriekapazität: max. 4 kWh Max. Mähfläche: 10.000 m²</p>
8	Kubota G23-3/HD	
9	Gianni Ferrari	

Um einen möglichst langen Betrieb zu ermöglichen, kann der Ladekoffer mit Wechsel Akkus überall hin transportiert werden. Mit dem Ladegerät kann mit 1,6 kW Ladeleistung entweder der Aufsitzmäher direkt oder der Ladekoffer mit bis zu 6 Akkus gleichzeitig geladen werden.

Da nach Angaben der Gemeinde Walluf der Radlader an manchen Tagen eine lange Laufzeit von acht Stunden hat, reicht die Akkukapazität von batterieelektrischen Alternativen nach jetzigem Stand nicht aus. Daher eignet sich als Alternativfahrzeug der Schäffer 24e (Hybrid-Version). Mit einer Wallbox kann die 15 kWh Batterie (optional 31 kWh) mit 11 kW geladen werden. Damit kann die Batterie in ca. 45 min auf 80 % geladen werden.

Tabelle 3-9: Auflistung des Radladers (Andere) und des Alternativfahrzeugs Schäffer 24e (Hybrid)

Lfd. Fz.-Nr.	Fahrzeug	Alternativfahrzeug hier: Schäffer 24e (Andere)
3	Kramer 120	 <p>Hybrid-Version Batteriekapazität: 15 (31) kWh Fahrtrieb: 21 kW Arbeitshydraulik: 9,7 kW</p>

Der Fahrbetrieb erfolgt durch einen Elektromotor. Der Dieselmotor kann bei Bedarf als Range-Extender die Reichweite erhöhen, indem der Generator angetrieben wird und dadurch die Batterie aufgeladen wird. Durch den Öltank wird das schnelle Nachtanken ermöglicht.

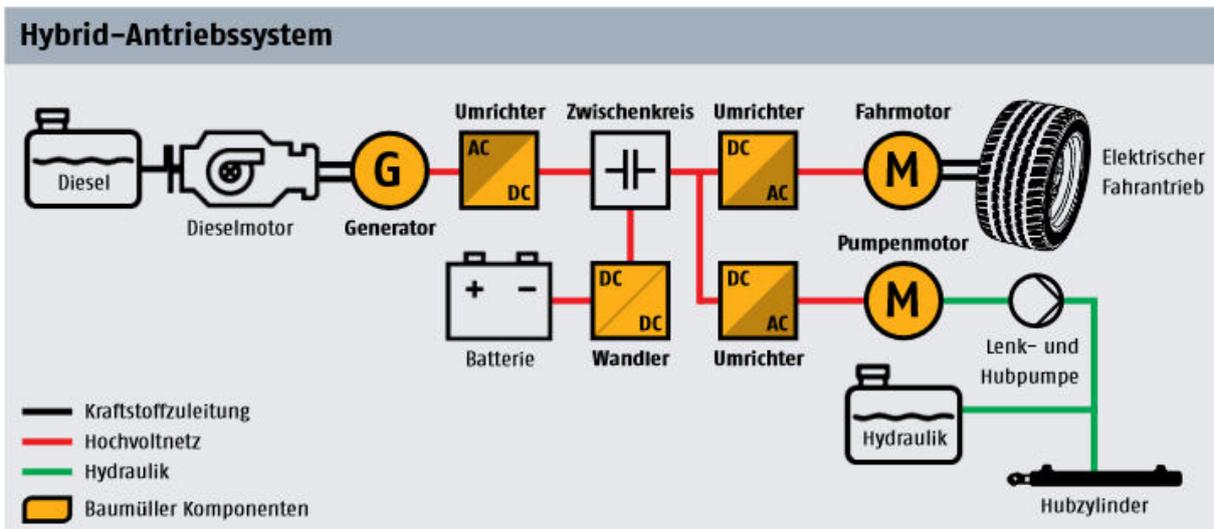


Abbildung 3-15: Hybrid-Antriebssystem des Schäffer 24e

Die Abbildung 3-15 zeigt anschaulich, wie das Hybrid-Antriebssystem aufgebaut ist. Für den Ackerschlepper hingegen sind noch keine Ersatzfahrzeuge mit alternativem Antrieb verfügbar. Daher wird empfohlen, die Neubeschaffung der anderen Fahrzeugtypen mit alternativem Antrieb zu priorisieren.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Nutzfahrzeuge der Gemeinde Walluf überwiegend geringe Tagesfahrleistungen aufweisen, wobei zu berücksichtigen ist, dass auch Abweichungen von den Durchschnittswerten vorkommen können. Es ist dennoch anzunehmen, dass nur wenige Fahrzeuge im Verlauf des Arbeits- bzw. Einsatztages nachgeladen werden müssen. Es wird empfohlen, zuerst die Fahrzeuge mit geringen Laufleistungen zu ersetzen und den Ersatz von Fahrzeugen mit sensiblen Einsatzzwecken oder den höchsten Tagesfahrstrecken nach Möglichkeit zeitlich nach hinten zu verschieben. Darüber hinaus wird der Einsatz eines digitalen Fuhrparkmanagementsystems angeraten, damit die Fahrleistungen der Fahrzeuge besser als bisher beobachtet und beurteilt werden können, um das jeweils passgenaue Ersatzfahrzeug zu ermitteln.

3.2.6 Kosten

3.2.6.1 Grundlagen TCO

Um die tatsächlichen Kosten eines Fahrzeuges zu erheben, bedient sich die Automobilbranche der sogenannten „Total Cost of Ownership“. Die Betrachtung der Total Cost of Ownership (Gesamtkosten des Betriebs) kurz TCO, ist ein Abrechnungsverfahren, das Verbraucher/-innen und Unternehmen helfen soll, alle anfallenden Kosten von Investitionsgütern (wie beispielsweise Kraftfahrzeugen) abzuschätzen. Die Idee dabei ist, eine Abrechnung zu erhalten, die nicht nur die Anschaffungskosten enthält, sondern alle Aspekte der späteren Nutzung, wie Finanzierung, Treibstoff, Wartung, Reparaturen, Reifen, Fahrzeugsteuern und Versicherungen. Somit können bekannte Kostentreiber oder auch versteckte Kosten möglicherweise bereits im Vorfeld einer Investitionsentscheidung identifiziert werden. Wichtigste Grundlage für das weitere Verständnis der TCO ist die Unterscheidung zwischen direkten und indirekten Kosten.

Dieser Betrachtung kommt insbesondere bei Elektrofahrzeugen eine besondere Bedeutung zu, da Elektrofahrzeuge bei der Anschaffung gerade im Bereich der Nutzfahrzeuge, in den meisten Fällen heute noch signifikant höherer Kosten haben als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Die Kostenunterschiede zwischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (ICE, Internal Combustion Engine) und elektrisch angetrieben Fahrzeugen liegen in beinahe allen Kostenbereichen. Während Fahrzeuge mit Elektromotor (BEV, Battery-Electric-Vehicle / PHEV, Plug-In-Hybrid-Electric-Vehicle / FCEV Fuelcell-Electric-Vehicle), wie bereits erwähnt, in der Regel deutlich höhere Anschaffungskosten haben als ICE, liegen bei den BEV die Betriebskosten deutlich unter denen der ICE. Die Ursachen hierfür liegen zum einen in technisch bedingten, geringen Wartungskosten und zum anderen in der höheren Energieeffizienz und den damit i.d.R. verbundenen geringen Kraftstoff- bzw. Energiekosten. Darüber hinaus sind weitere Sondereffekte, wie steuerliche Vergünstigungen, die Nutzung von THG-Quoten⁴ und insbesondere auch Fördermittel einzubeziehen.

Ein weiterer wesentlicher Faktor bei der TCO-Berechnung ist der Restwert des Fahrzeugs. Aufgrund von fehlenden Erfahrungswerten, einer sehr schnellen technischen Weiterentwicklung im Bereich der Batterien (somit Reichweiten) sowie insbesondere auch durch Marktverzerrungen durch die Förderprogramme ist eine Ermittlung derzeit noch mit großen

⁴ [\(ADAC, 2023\)](#)

Unsicherheiten verbunden⁵. Dies betrifft im Wesentlichen den Bereich der Pkw und N1 und dabei auch im Schwerpunkt Fahrzeuge, die im Leasing beschafft werden. Insbesondere im Leasing kann es aufgrund konservativer Berechnungen der Leasinggeber hierdurch zu relativ hohen Leasingraten kommen.

Da Fahrzeuge in den Klassen N2 und N3 insbesondere im kommunalen Umfeld sehr lange genutzt werden und somit die Beschaffungskosten über die gesamte Nutzungszeit vollständig abgeschrieben bzw. verteilt werden können, ist dieser Effekt bei den TCO nicht relevant.

Da PHEV über zwei vollwertige Antriebsstränge (ICE und BEV) verfügen, entfallen die positiven Kosteneffekte des BEV bei der Wartung bzw. können sich sogar ins Gegenteil verkehren, da für beide Antriebsstränge Wartungskosten anfallen. Dazu wirken sich die bei einer intensiven Nutzung des ICE-Antriebs höheren Kraftstoffkosten negativ auf die TCO-Betrachtung aus. Darüber hinaus entfallen steuerliche Effekte sowie Förderungen. Mit Blick auf die TCO liegen die Kosten bei PHEV somit deutlich über denen von BEV.

Die Investitionskosten von FCEV liegen nochmals deutlich über den BEV und PHEV. Zudem ist davon auszugehen, dass die Wartungskosten signifikant höher als bei BEV und ICE sind. Hierzu liegen jedoch noch keine belastbaren Daten vor, da es bisher zu wenige Erfahrungswerte gibt. Zudem leiden FCEV aktuell noch an vielen „Kinderkrankheiten“ wodurch die Wartungskosten im Regelbetrieb noch nicht final bewertet werden können. Als Faustformel, die von namhaften Herstellern für BEV- und FCEV-Großfahrzeugen genannt wird, können tendenziell für BEV-Nutzfahrzeuge 50 % und für FCEV ca. 150 % der Wartungskosten des vergleichbaren ICE angesetzt werden. Schwerwiegender sind jedoch die Ausfallkosten der FCEV aufgrund der „Kinderkrankheiten“, welche jedoch aktuell nicht in die TCO-Berechnung einfließen. Hinzu kommen aktuell noch deutlich höhere Kraftstoffkosten.

Beispiel 100 km Pkw

FCEV: 1 kg H₂/100km = 14,00 €

BEV: 20 kWh/100km = 8,00 € (0,40 €/kWh)

Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI zeigt in einer aktuellen Studie auf, dass sich diese Kosten auch in Zukunft, aller Voraussicht nach, nicht nach unten entwickeln werden.

Die Ergebnisse für das Jahr 2030 zeigen, dass die Wasserstoffnachfrage mit etwas mehr als 40 TWh zu diesem Zeitpunkt noch nicht sehr hoch sein wird. Bestimmte

⁵ [\(Deutsche Automobil Treuhand GmbH, 2023\)](#)

*Industrieanwendungen könnten dabei die Wasserstoffnachfrage dominieren. Auf diese sollte sich auch die Förderung in den nächsten Jahren konzentrieren. **Niedrige Großhandelspreise sind jedenfalls eher nicht zu erwarten** und dürften damit auch nicht zur Steigerung der Wasserstoffnachfrage beitragen.* ⁶

Während eine TCO-Kostenbetrachtung für Pkw heute schon ausreichend belastbar erstellt werden kann, wie es z.B. in der ADAC-Kostenberechnung erfolgt, stellt dies bei elektrischen Nutzfahrzeugen, aufgrund der zum aktuellen Zeitpunkt noch sehr geringen Verfügbarkeit von Nutzungsdaten, insbesondere für schwere Nutzfahrzeuge N3, eine besondere Herausforderung dar. Nochmals erschwerend kommt hinzu, dass viele Nutzfahrzeuge im kommunalen Einsatz und bei Verkehrsbetrieben über Sonderaufbauten bzw. -umbauten verfügen, wodurch zum aktuellen Zeitpunkt nicht nur die Verfügbarkeit von Nutzungsdaten problematisch ist, sondern hier auch schon die der Anschaffungskosten, die in der Regel hoch individuell je Fahrzeug sind.

Aktuelle Daten zu den Anschaffungskosten für Nutzfahrzeuge werden durch die Hersteller (OEM) nur bei konkreten Kaufanfragen herausgegeben, wodurch für diese Untersuchung nur grobe Werte aus eigenen Recherchen und vergleichbaren Projekten genutzt werden können.

3.2.6.2 Kosten N1 und N2

Eine beispielhafte Berechnung des Leasing-Unternehmens Arval zeigt, dass bei einer TCO-Kostenbetrachtung für einen Renault Kangoo die TCO der Elektroversion bereits heute günstiger als bei einem Diesel sein können.

⁶ [\(Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2023\)](#)

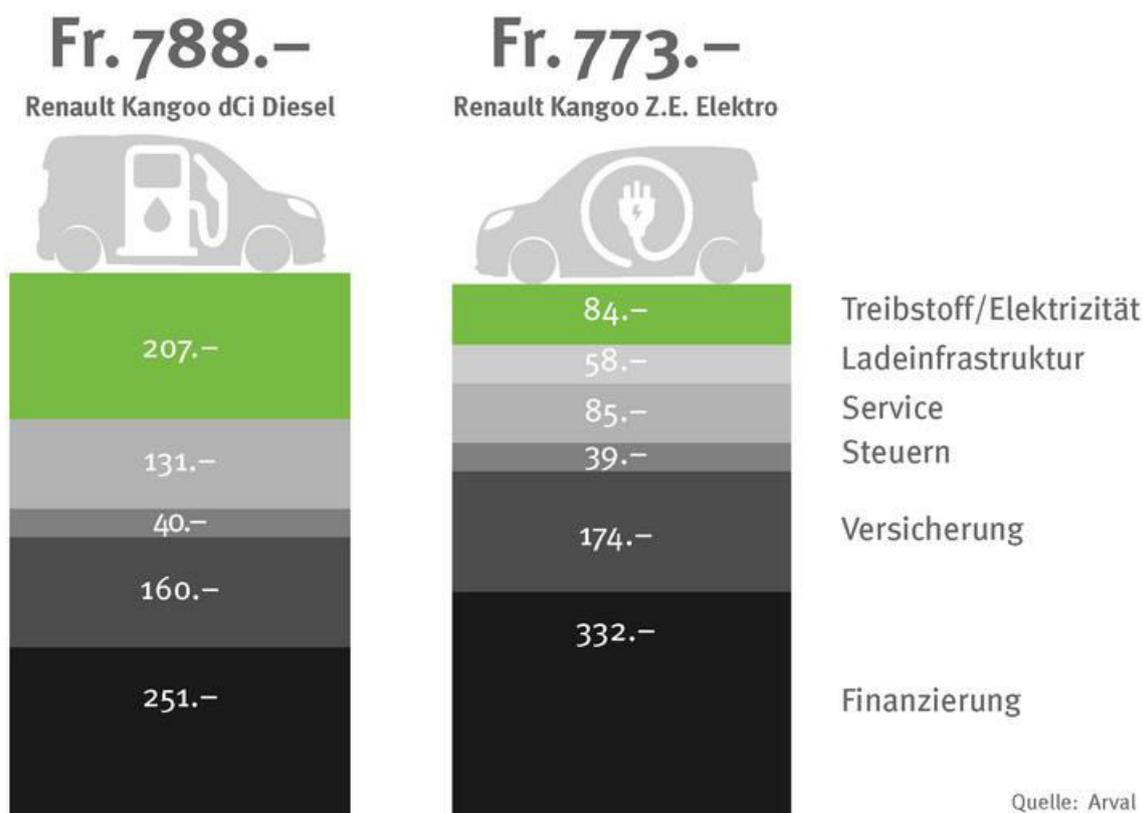


Abbildung 3-16: TCO-Kostenbetrachtung - Diesel und Elektroauto im Vergleich

Zu vergleichbaren Ergebnissen für BEV-Transporter kommt eine Untersuchung der Umweltorganisation Transport & Environment (T&E) ⁷. Nach dieser Untersuchung liegen die Kosten für Anschaffung und Betrieb im Schnitt 28 % unter denen eines vergleichbaren ICE. Untersucht wurden die großen Märkte Frankreich, Deutschland, Italien, Polen und Spanien sowie das Vereinigte Königreich.

Für Deutschland errechnen T&E für einen leichten E-Transporter (N1) durchschnittliche Gesamtbetriebskosten von zehn Cent pro Kilometer, bei einem Dieselmotoren betragen sie 15 Cent. Bei schweren Transportern (N2) über 3,5 Tonnen liegen die Werte bei 17 Cent für E-Mobile und 23 Cent für Verbrenner. Grundlage ist jeweils eine Haltedauer von fünf Jahren und eine jährliche Fahrleistung von 37.700 km. Berechnet wurden auch die Gesamtbetriebskosten für unterschiedliche Haltergruppen und Finanzierungsmodelle; in jedem Fall schnitt das Elektroauto finanziell besser ab.

Für Fahrzeuge im kommunalen Umfeld sind diese Ergebnisse zunächst mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten, da die Fahrzeugnutzung in diesen Bereichen zu einer deutlich

⁷ [\(European Federation for Transport and Environment, 2022\)](#)

geringeren Jahresfahrleistung führt. Andererseits haben gerade Elektrofahrzeuge aufgrund der technischen Bedingungen einen deutlich geringeren Verschleiß und können durch die niedrige Fahrleistung deutlich länger genutzt werden. Es zeigt sich zudem, dass die bisher als Achillesferse betrachtete Lebensdauer der Batterie mit den neuen Technologien deutlich zugenommen hat und nochmals zunehmen wird. Geht man somit von einer längeren Nutzungsdauer aus, können die ermittelten Werte der Studien auch auf den kommunalen Nutzungsbe- reich angewandt werden.

3.2.6.3 Kosten schwere Nutzfahrzeuge N3

Eine Studie des International Council on Clean Transportation (ICCT) aus dem Jahr 2021 hat die Anschaffungskosten für schwere emissionsfreie Lkw unter die Lupe genommen. Die Or- ganisation ließ dafür verfügbare Literatur auswerten und stellt auf Basis von Modellen Prog- nosen auf. Die Untersuchung gibt einen Überblick darüber, an welchen Stellen die Kosten in den kommenden Jahren sinken werden.

In den Fokus stellt ICCT schwere Lastkraftwagen – Klasse-8-Lkw in den USA und ihre euro- päischen Klasse-5-Pendants – die in den Vereinigten Staaten und der Europäischen Union für etwa die Hälfte des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen im Sektor der schweren Nutzfahrzeuge verantwortlich seien. Da es aber um energie- und leistungsspezifi- sche Kostenwerte gehe, seien die Ergebnisse trotz des Schwerpunkts auch auf andere Lkw- Größen und -Anwendungen übertragbar. ICCT merkt an, dass aufgrund des noch jungen Marktes nur wenige öffentlich zugängliche Daten über die Kosten von emissionsfreien Nutz- fahrzeugen existierten – vor allem bei Lkw.

Im Rahmen der Analyse wurden repräsentative Fahrzeugmodelle für BEV- und FCEV-Lkw entwickelt. Als Vergleichsbasis für den BEV-Lkw diente eine Sattelzugmaschine der Klasse 8 mit Tageskabine, die ungefähr auf dem Volvo VNR 300 basiert. Als Vergleichsbasis für den FCEV-Lkw wurde eine Sattelzugmaschine der Klasse 8 mit Schlafkabine verwendet.

ICCT stellt in seiner Studie zunächst fest, dass die Anschaffungskosten für BEV- und FCEV- Lkw stark variieren können. Die Organisation macht für E-Lkw eine Preisspanne zwischen etwa 200.000 bis 800.000 US-Dollar aus. Grundsätzlich steigen die Kosten mit zunehmender Reichweite der Fahrzeuge, also in Abhängigkeit von der Gesamtkapazität der Batterien, an, erläutert ICCT. Bei FCEV-Lkw werden die Kosten maßgeblich durch die Brennstoffzellenein- heit bestimmt, die Preisspanne für diese Fahrzeuge liegt zwischen 200.000 und 600.000 Dol- lar.

85 bis 95 Prozent der gegenwärtigen Gesamtkosten entfallen dabei auf die elektrischen An- triebssysteme. ICCT geht davon aus, dass dieser Anteil in den kommenden zehn Jahren

sinken wird – und zwar voraussichtlich auf 75 bis 85 Prozent. Als Grund gibt die Organisation die durch technologische und wirtschaftliche Änderungen bedingte Kostenreduktion bei Batterie- und Brennstoffzellensystemen an, deren Kostenaufwand um schätzungsweise 50 beziehungsweise 65 Prozent sinken werde.

Für seine Berechnungen der Kosten für BEV-Lkw nimmt ICCT ein 600-kWh-Batteriepaket zugrunde, das die Annahme widerspiegeln sollte, dass die Batteriepacks in größeren Größen angeboten werden, wenn die Kosten sinken und sich die Energiedichte verbessert. Das Batteriepaket macht in den Berechnungen von ICCT etwa 60 Prozent der gesamten Fahrzeugkosten aus. Die Organisation spezifiziert dabei, dass indirekte Kosten wie Forschung und Entwicklung oder Marketing sowie ein Gewinnaufschlag nicht mit einberechnet wurden. Das gesamte E-Antriebsystem, einschließlich des Batteriepacks und der Leistungselektronik, machten im Jahr 2020 schätzungsweise 85 Prozent der Fahrzeugkosten aus.

ICCT geht davon aus, dass die kombinierten Kosten für das Batteriepaket und den Elektroantrieb (Nennleistung zwischen 350 kW und 500 kW) in den Jahren 2025 und 2030 um 31 Prozent beziehungsweise 55 Prozent fallen werden. Zusammen machten die beiden Systeme etwa 99 Prozent der gesamten Kostensenkungen bei den Fahrzeugen aus. Insgesamt werden die Kosten für BEV-Lkw um 23 Prozent im Jahr 2025 und gar um ganze 40 Prozent im Jahr 2030 fallen, so die Schätzungen.

Bei den FCEV-Fahrzeugen machen die Brennstoffzelleneinheit und das Wasserstoffspeichersystem zusammen im Jahr 2025 schätzungsweise fast 80 Prozent der Gesamtfahrzeugkosten aus. Die Studie geht von einer erheblichen Kostensenkung bei Brennstoffzellen (30 Prozent niedriger im Jahr 2030 im Vergleich zu 2025) und Wasserstoffspeichersystemen (21 Prozent niedriger im Jahr 2030 im Vergleich zu 2025) aus. Die Kostenreduzierungen, gekoppelt mit den Einsparungen bei Batteriepacks und Elektroantrieben, werden dazu führen, dass die Fahrzeugkosten zwischen 2025 und 2030 insgesamt um 23 Prozent sinken werden, so ICCT.

An dieser Stelle merkt ICCT an, dass die Brennstoffzellentechnologie im Lkw-Sektor längst nicht so weit ist wie bei reinen E-Nutzfahrzeugen. Erst ab dem Jahr ab 2023 oder später würden marktfreie Modelle verfügbar sein, was dem Sektor wiederum Spielraum für Lern- und Skaleneffekte gebe und eine vernünftige Kostenschätzung für den frühen Markt machbar mache.

Grundsätzlich unterscheidet die Studie zwischen Energiebatterien für Batterie-elektrische Lkw, die in erster Linie zur Energiespeicherung verwendet werden, und Leistungsbatterien, die hauptsächlich zur Bereitstellung unmittelbarer, hoher Leistung verwendet werden und in Brennstoffzellen-Lkw zum Einsatz kommen. Im Jahr 2020 werden der Studie zufolge die

durchschnittlichen Kosten für Energiebatterien auf Paketebene bei etwa 240 Dollar/kWh Nennkapazität liegen. Bis 2025 fallen sie laut Schätzungen unter 150 Dollar/kWh, bis 2030 auf 100 Dollar/kWh. Für die Leistungsbatterien sieht die Studie die Kosten von fast 500 Dollar/kWh im Jahr 2020 auf weniger als 300 Dollar/kWh im Jahr 2030 sinken.

Die durchschnittlichen Kosten für Brennstoffzelleneinheiten im Jahr 2020 gibt ICCT mit 500 Dollar/kW an, die im Jahr 2030 auf 240 Dollar/kW sinken werden. Die durchschnittlichen gemeldeten Kosten eines Wasserstoffspeichersystems liegen im Jahr 2020 bei fast 1.250 Dollar/kg nutzbaren Wasserstoffs, bis 2030 sollen sie auf durchschnittlich 700 Dollar/kg fallen.

Die durchschnittlichen berichteten Kosten für den E-Antrieb im Jahr 2020 liegen bei etwa 60 Dollar/kW Nennleistung des Elektromotors. Dies wird voraussichtlich bis 2030 auf 25 Dollar/kW sinken.

Insgesamt kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass batterieelektrische Langstrecken-Lkw in Deutschland bereits in diesem Jahr die Gesamtbetriebskosten von Dieselfahrzeugen erreicht haben. Das liegt insbesondere an staatlichen Kaufprämien, die bis zu 80 Prozent der Differenz zwischen den Anschaffungskosten eines Elektro- und eines Diesel-Lkw bis zu 450.000 Euro abdecken. Vor allem, weil E-Lkw weiterhin von der Lkw-Maut befreit sind, seien sie schon heute eine kostengünstigere Alternative für Lkw-Betreiber, so das ICCT.

Ohne die Kaufförderung würden batterieelektrische Langstrecken-Lkw in Deutschland bei den Gesamtbetriebskosten mit Diesel-Lkw erst im weiteren Verlauf der ersten Hälfte dieses Jahrzehnts gleichziehen. Die kontinuierliche Senkung der Batteriekosten und die Verbesserung der Energiedichte der Batterien haben hier laut den Studienautoren einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung der Gesamtbetriebskosten. Der Kostenvorteil von Elektro-Lkw gegenüber Diesel-Lkw komme dabei auch durch geringere Instandhaltungskosten zustande.

Überträgt man diese Ergebnisse der batterieelektrischen Langstrecken-Lkw auf den kommunalen Bereich, so kann von einer deutlich verzögerten positiven Entwicklung ausgegangen werden. Dies liegt vor allem daran, dass die positiven Kosteneffekte aus der Energie bei der geringen Fahrleistung der Fahrzeuge weniger wirken und die hohen Investitionskosten einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Gesamtkosten haben. Zudem haben Effekte wie die Mautbefreiung aufgrund des Einsatzgebietes keine Bedeutung. Dies bedeutet, dass eine vergleichbare Wirtschaftlichkeit zu ICE-Fahrzeugen erst mit einer deutlichen Reduzierung der Beschaffungskosten einhergeht. Für die Praxis bedeutet dies, dass eine wirtschaftlich tragfähige Umstellung bei den N3 Fahrzeugen auch in den kommenden Jahren nur mit erheblichen Fördermitteln möglich sein wird. Wie bereits dargestellt, stellt sich die Situation bei den N1 Fahrzeugen weniger herausfordernd dar, aber auch hier ist immer noch die bisherige Förderung des

Bundes (4.500 € Umweltbonus) eingerechnet, der jedoch seit dem 01.09.2023 für Unternehmen entfällt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die Preisstrukturen der Hersteller für BEV bis 2026 an die der ICE angleichen werden. Einsatz von Elektrofahrzeugen bei der Feuerwehr

Im Rahmen des Projekts „eLHF“ erprobte die Berliner Feuerwehr von 2020 bis 2022 ein Löschfahrzeug des Typs „Rosenbauer RT“. Das eLHF ermöglicht einen rein elektrischen Fahr- und Nutzbetrieb. Sein Batteriespeicher liefert Strom für Einsatzfahrten und den Betrieb der gesamten Löschtechnik auf der Einsatzstelle. Darüber hinaus gibt es im Fahrzeug einen Dieselmotor, der als Range Extender den Speicher auflädt und ggf. einen dauerhaften Betrieb sicherstellt. Seit 2022 fährt das Fahrzeug im Regelbetrieb.

Dieser erste Versuch zeigt, dass der Einsatz von Elektromobilität auch in diesem Fahrzeugsegment perspektivisch möglich ist. Neben dem in diesem Versuch eingesetzten Fahrzeug, gibt es zwischenzeitlich eine Vielfalt auch bei Sonderfahrzeugen der Feuerwehr, die auf handelsüblichen Fahrzeugchassis für elektrische Nutzfahrzeuge aufgebaut werden.

Insgesamt befindet sich der Einsatz von taktischen Einsatzfahrzeugen jedoch immer noch in der Erprobungsphase und wird aus Sicht des Beraters nur bei großen Berufsfeuerwehren mit ausreichender Betreuung und möglichen Ersatzfahrzeugen als sinnvoll erachtet. Ein Einsatz bei der Gemeinde Walluf ist somit nicht sinnvoll und birgt hohe Einsatz- und Kostenrisiken. Sinnvolle Einsatzgebiete bei der Feuerwehr finden sich jedoch bei den nicht taktischen Einsatzfahrzeugen, z.B. bei Pkw und Transportern.

Eine Bewertung der Nutzung von Wasserfahrzeugen mit Elektroantrieb ist nicht Bestandteil dieses Konzepts.

3.2.7 Nutzung von Lastenrädern

In vielen Städten weltweit nimmt die Belastung durch Verkehr, Luftverschmutzung und Lärm stetig zu. In diesem Kontext gewinnen alternative Verkehrsmittel und umweltfreundliche Lösungen an Bedeutung. Eine innovative und nachhaltige Herangehensweise findet sich im Einsatz von Lastenrädern. Diese umweltfreundlichen Gefährte bieten nicht nur eine effiziente Lösung für die Herausforderungen urbaner Umgebungen, sondern tragen auch zur Reduzierung von Emissionen und zur Förderung einer grünen Stadtkultur bei.

Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von Lastenrädern finden sich in vielen Bereichen, wie z.B. bei der Stadtreinigung. So werden beispielsweise in Kopenhagen vermehrt Cargo-Bikes eingesetzt, um kleine Müllbehälter zu leeren und Müll aus öffentlichen Plätzen zu entfernen. Diese Lastenräder sind nicht nur flexibel und leicht manövrierbar, sondern ermöglichen

auch einen schnellen Zugang zu engen Straßen und Fußgängerzonen, wo herkömmliche Müllfahrzeuge Schwierigkeiten hätten.

Ein weiteres Beispiel stammt aus Amsterdam, wo Lastenräder nicht nur für die Stadtreinigung, sondern auch für die Sammlung von Recyclingmaterialien genutzt werden. Speziell angefertigte Cargo-Bikes ermöglichen den Müllsammlern, verschiedene Abfallfraktionen effizient zu trennen und direkt zu den Recyclinganlagen zu transportieren. Dieser Ansatz trägt nicht nur zur Reduzierung von Transportkosten bei, sondern unterstützt auch das Ziel, die Recyclingquoten zu erhöhen.

In deutschen Städten haben kommunale Betriebe zunehmend begonnen, Lastenräder in ihre Flotten aufzunehmen. Diese werden nicht nur für die Reinigung von öffentlichen Plätzen genutzt, sondern auch für die Leerung von Mülleimern in Fußgängerzonen. Die Mitarbeiter der Stadtreinigung können dank dieser umweltfreundlichen Fortbewegungsmittel schnell und effizient reagieren, um die Sauberkeit in stark frequentierten Bereichen zu gewährleisten.

In einem groß angelegten Forschungsprojekt „TRASHH - Technologisch-wirtschaftliche Analyse der Einsatzmöglichkeiten von Lastenrädern in kommunalen Einrichtungen öffentlichen Rechts am Beispiel der Stadtreinigung Hamburg (SRH)“ wurden die Einsatzpotenziale von elektrisch unterstützten Lastenrädern (E-Lastenrädern) für öffentliche Organisationen und Dienstleister erstmalig durch das Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrsforschung, Verkehrsmärkte & -angebote, wissenschaftlich untersucht.

Das Ziel des Projekts war zu zeigen, dass Umweltbelastungen durch den Einsatz emissionsfreier Fahrzeuge im Dienstleistungsbereich vermieden bzw. stark reduziert werden können. Die Analysen von SRH und DLR haben vielversprechende Einsatzfelder ergeben, in denen die E-Lastenräder bis zum Projektende im Dezember 2020 im Arbeitsalltag der Stadtreinigung Hamburg pilotiert wurden. Dazu gehörten u. a. die Grünflächenreinigung, bestimmte Bereiche der Straßen- und Gehwegreinigung oder die Reinigung der Solarpressmülleimer in der Hamburger Innenstadt. Auch beim Einsatz der „Kümmerer“, welche in Gebieten mit erhöhtem Reinigungsbedarf unterwegs sind, wurden die E-Lastenräder bereits in mehreren Stadtteilen genutzt. Zur Anwendung kamen E-Lastenräder verschiedener Bauformen und Hersteller, wobei alle E-Lastenräder für die Belange der Stadtreinigung Hamburg umgebaut und nachgerüstet wurden (z.B. Halterungen für Werkzeug, Regenschutz). Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens zeigen das ökologische, ökonomische und soziale Potenzial, das mit einer passgenauen Integration von E-Lastenrädern in gewerbliche Flotten verbunden ist.

- E-Lastenräder eignen sich besonders in sensiblen Gebieten wie Grünflächen, da sie leise und emissionsfrei sind.

- E-Lastenräder können Arbeitsprozesse flexibilisieren, einige Aufgaben lassen sich damit effizienter erledigen.
- E-Lastenräder sind ein Mobilitätsgewinn, insbesondere für Mitarbeiter/-innen ohne Führerschein.
- Lastenradfahrer/-innen erhalten aufgrund ihrer besonderen Tätigkeit mehr Wertschätzung von Bürger/-innen und der Führungsebene.
- Die Akzeptanz der E-Lastenräder ist besonders bei den Mitarbeiter/-innen groß, die eigenständiges und eigenverantwortliches Arbeiten schätzen. Anreizsysteme können die Akzeptanz zusätzlich erhöhen.
- Die E-Lastenräder erhöhen die Sichtbarkeit der SRH im Stadtbild, die Fahrer/-innen leisten durch ihre Bürgerkontakte täglich Bildungsarbeit.
- Der Einsatz von E-Lastenrädern bietet erhebliche CO₂-Einsparpotenziale sowie Möglichkeiten der Kostenreduzierung in der Fahrzeugflotte.
- Die Einführung der E-Lastenräder ist durch ein Changemanagement eng zu begleiten. Vorgesetzte spielen hierbei als Change Agent und Vorbild eine wichtige Rolle.

Weitere Beispiele:

Die Stadt Freiburg und die Abfallwirtschaft und Stadtreinigung Freiburg (ASF) haben 2021 ein Pilotprojekt gestartet, dessen zentraler Bestandteil ein auf die Nutzung von Lastenfahrrädern ausgelegtes Reinigungskonzept ist. Für die Umsetzung wurden sechs neue, speziell für die städtischen Reinigungsarbeiten konzipierte Lastenfahrräder angeschafft.

Bei den Ahlemer Umweltbetrieben kommt das Lastenfahrrad „Babboe Curve-E“ zum Einsatz. Auch hier wird Müll, wie Dosen, Verpackungen und Flaschen, mit einem E-Bike eingesammelt und entsorgt. Früher mussten die Mitarbeiter/-innen mit einem Handkarren und zu Fuß in die Wohngebiete des Ahlemer Westens gehen, um mit der Reinigung zu beginnen. Das beanspruchte sehr viel Zeit, die nicht mehr für die Reinigung verwendet werden konnte. Dies hat sich dank des E-Bikes verändert, denn jetzt kann ein Bezirk komplett abgearbeitet werden und oftmals bleibt noch Zeit für andere Einsatzorte.

Die Stadt London nutzt den Dienstleister Veolia E-Bikes bei der Stadtreinigung. Das Besondere an diesen Rädern ist, dass Sie einen Aufbau haben, mit denen verschiedene Reinigungsgeräte und Mittel transportiert werden können. Eine weitere Besonderheit dieser Fahrräder ist, dass sie mit Wasserdruckreinigern ausgestattet sind, mit denen die Straßen abgesprüht werden können. Alle Räder kommen dort zum Einsatz, wo sofort und schnell gereinigt werden muss. Enge Gassen sind dank der E-Bikes genauso wenig ein Problem wie Regen, sind die Mitarbeiter/-innen doch durch eine angebrachte Scheibe geschützt. Die Reinigungsräder sind

Bestandteil einer Flotte aus insgesamt 60 elektrischen Geräten, die im Londoner Westend eingesetzt werden.

Um seinen Fuhrpark flexibler und gleichzeitig nachhaltiger aufzustellen, setzt der Hagener Entsorgungsbetrieb (HEB) seit 2023 insgesamt sieben elektrische Lastenfahrräder im Bereich Straßenreinigung ein.

Die Aachener Stadtreinigung setzt seit 2018 mehrere Lastenräder bei der Straßenreinigung ein. Ebenso die Stadtreinigung Hanau für die Innenstadt sowie seit 2020 die Stadtreinigung Regensburg.

Seit 2018 übernimmt recyclehero in Hamburg die Entsorgung von recyclebaren Wertstoffen (Altglas, Altpapier, Altkleider) sowie die Rückgabe von Pfandflaschen für Betriebe & Privathaushalte. Hinzugekommen ist im Laufe der Jahre auch der kostenlose Kleider-Abholdienst für Privathaushalte.



Abbildung 3-17 Lastenrad Stadtbetrieb Aachen (Modell Sotimo Pro Cargo)



Abbildung 3-18: Lasters recyclehero

Empfehlung:

Umsetzung:

Es wird empfohlen, ein Pilotprojekt in der Verwaltung der Gemeinde Walluf zu initiieren, um erste Erfahrungen zu sammeln. Hierzu sollen zunächst geeignete Einsatzbereiche identifiziert werden.

Beschaffung von E-Lastenrädern

- Robuste und bereits erprobte Modelle wählen, dabei auf zwei oder drei Modelle konzentrieren (Modelle, mit denen gute Erfahrungen gemacht wurden, sind im TRASHH-Abschlussbericht zu finden).
- E-Lastenräder möglichst lokal beschaffen, um im Gewährleistungs- oder Garantiefall kurze Kommunikationswege zu haben.
- Modelle mit zuverlässiger einheitlicher E-Unterstützung wählen, um die Komplexität der Wartung zu reduzieren (Bewährte Systeme im TRASHH-Abschlussbericht zu finden).
- Bei Beschaffung schon Zusatz- und Ersatzakkus sowie Ladegeräte kaufen, um Ausfallwahrscheinlichkeiten zu reduzieren.

- Ausreichend Zeit für den mitunter langwierigen Beschaffungsvorgang einplanen.
- Auf Händler/Partner mit wenig Erfahrung im gewerblichen Bereich einstellen.
- Umbauten (Wetterschutz, Werkzeughalter, Boxen für persönliche Sachen der Fahrer/-in, etc.) ggf. durch eigene Werkstätten vornehmen lassen, um Zeit bei der Beschaffung zu sparen.

Einführung von E-Lastenrädern und zum Einsatz

- Enge Begleitung bei der Einführung: Einsatzbereiche und Prozessabläufe im Vorwege definieren und beispielhaft beschreiben.
- Den potenziellen Fahrer/-innen Probefahrten und Verkehrssicherheitstraining ermöglichen.
- Auf Freiwilligkeit bei der Auswahl der Fahrer/-innen setzen, um die Akzeptanz in der Anfangsphase zu erhöhen und positive Fürsprecher im Unternehmen zu haben.
- Abwägen zwischen Wartungsvertrag mit externem Partner (hierbei insbesondere auf genaue Beschreibung der erwarteten Wartungsleistung, -frequenz und -nachverfolgung achten) und Wartung durch eigene E-Lastenradmechaniker/innen/Fahrradwerk.
- Wichtigste Ersatzteile vorhalten, ggf. auch ein Ersatzrad, um Ausfälle im Tagesbetrieb zu minimieren.
- Anreize für die E-Lastenradnutzung schaffen, z.B. Rüstzeit oder Klimaschutzziele.
- Unternehmenskultur beachten: Einführung durch positive Berichterstattung begleiten, wichtige Unterstützer/-innen und Vorbilder gewinnen und für das Projekt sprechen lassen.
- Insbesondere die hohen Potenziale bei der CO2 Einsparung lassen sich sehr gut für die interne und externe Kommunikation nutzen.



Abbildung 3-19: Lastenräder TRASHH Hamburg

4 Ladeinfrastrukturkonzept

4.1 Ladebedarfsanalyse Fuhrpark

Wie in Kapitel 3.1 vorgestellt, verfügt die Gemeinde Walluf über einen Pool von Nutzfahrzeugen, welche betrieblich genutzt werden. Diese stehen am Standort „Rathaus / Bauamt“ (siehe Abbildung 4-1).

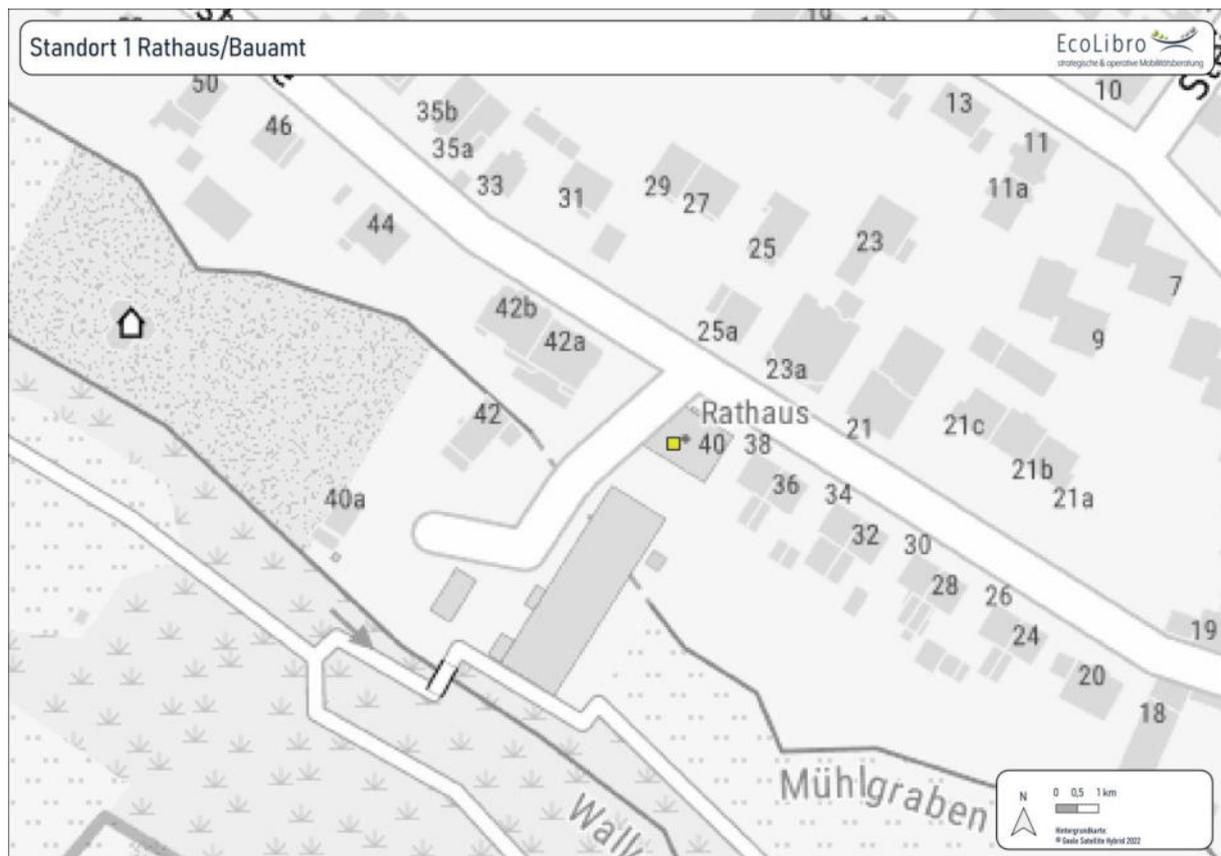


Abbildung 4-1: Standort 1 Rathaus / Bauamt

4.1.1 Standort „Rathaus / Bauamt“

In der Tabelle 4-1 sind die berechneten Mindestladeleistungen, der am Standort „Rathaus / Bauamt“ vorhandenen Nutzfahrzeuge, dargestellt.

Tabelle 4-1: Leistungsberechnung Betriebshof Gelände

Nr. gemäß Fuhrparkstrukturliste	Fahrzeug	Fahrleistung Ø [km/Tag]	Energiebedarf pro Tag [kWh]	möglicher Ladezeitraum	mögliche Ladezeit [hh:mm]	Mindestladeleistung Fahrzeugbedarf [kW]	Mindestladeleistung technisch [kW]
1	RÜD GW 500	IVECO Daily 4x4	17	17:00-07:00	14:00	1,5	4,2
2	RÜD GM 520	FUSO Canter	16	17:00-07:00	14:00	1,4	4,2
3	kein	Kramer 120	6	17:00-07:00	14:00	0,6	4,2
4	RÜD 358	Case JX 1070V	30	17:00-07:00	14:00	2,6	4,2
5	RÜD GW 66	Goupil G4	2	17:00-07:00	14:00	0,2	4,2
6	MA RM 200	Goupil G4	2	17:00-07:00	14:00	0,2	4,2
7	kein	AS 970/4	3	17:00-07:00	14:00	0,3	4,2
8	kein	Kubota G23-3/HD	3	17:00-07:00	14:00	0,3	4,2
9	kein	Gianni Ferrari	1	17:00-07:00	14:00	0,1	4,2
10	RÜD GW 520	Toyota Yaris Verso	5	17:00-07:00	14:00	0,5	4,2
11	RÜD GW 23	Toyota Europe	8	17:00-07:00	14:00	0,7	4,2
12	RÜD GW 400	Opel Corsa	6	17:00-07:00	14:00	0,6	4,2
13	RÜD GW 81E	Mercedes GLC300e	34	07:00-17:00	10:00	4,1	11
mind. Anschlussleistung [kW] (Nacht)						50,4	
mind. Anschlussleistung [kW] (Tag)						11	

Die Berechnung erfolgt mit Hilfe der folgenden Formel. Dabei wird der Energiebedarf, welcher sich aus den gefahrenen Kilometern und dem Energieverbrauch eines BEV zusammensetzt, mit den Ladeverlusten multipliziert und durch die Standzeit des Fahrzeugs geteilt.

$$\text{tägl. Mindestladeleistungsbedarf}_{PKW} [kW] = \frac{\text{tägl. Energiebedarf}_{PKW} [kWh] * \text{Ladeverluste} [\%]^8}{\text{mögliche Ladezeit} [h]}$$

Es ist jedoch zu beachten, dass es sich bei der Berechnung um die Leistungen handelt, welche das Fahrzeug, unabhängig der technischen Möglichkeiten des Anschlusses auf Seiten der Ladeinfrastruktur, benötigt. Aus diesem Grund ist in der letzten Spalte die Ladeleistung angegeben, welche technisch anzusetzen ist. Bei einem dreiphasig angeschlossenen Ladepunkt liegt diese technisch bedingt bei 4,2 kW. Jedoch ist es möglich, Fahrzeuge, welche nur eine Phase zum Laden verbaut haben, ebenfalls an einem dreiphasig angeschlossenen Ladepunkt zu laden. Für das Fahrzeug mit der Nummer 13 wird empfohlen, eine Leistung von 11 kW bereitzustellen, da es sich um ein Fahrzeug handelt, welches auch einen privaten Fahranteil besitzt. Dieser wurde innerhalb der Analysen jedoch nicht analysiert, weshalb es zu Abweichungen bei der berechneten Mindestladeleistung kommen kann.

Wie zu erkennen ist, würde der Anschluss in der Nacht durch die Nutzfahrzeuge bis zu 55 kW beansprucht, am Tag würde die Mehrbelastung bis zu 11 kW betragen.

4.2 Ladestandortanalyse

Bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur ist die Prüfung der elektrischen Energieversorgung im Vorfeld unabdingbar. Diese Analyse erfolgt mit Hilfe der Lastganganalyse. Hierbei wird der Lastgang des Gebäudes, an welchem die Ladeinfrastruktur installiert werden soll, mit den Ladelastgängen der Fahrzeuge verrechnet. Der dabei sichtbar werdende Lastgang wird im Anschluss genutzt, um eine Aussage darüber zu treffen, ob die momentan verbaute Anschlussleistung des Verteilnetzbetreibers ausreicht oder ggf. überlastet wird. Die Ladelastgänge der Fahrzeuge ergeben sich dabei aus den Bedarfsanalysen, welche in Kapitel 4.1 vorgestellt wurden.

Sollten Erzeugungsanlagen am Standort installiert sein, so können diese Lastgänge ebenfalls mit in die Analyse einfließen, um gegebenenfalls die Eigennutzung des erzeugten Stroms zu erhöhen. Ebenfalls wird dadurch eine Aussage über die Nutzung eines Speichers für die Lastspitzenkappung möglich. Liegt ein Lastgang für ein Gebäude nicht vor, so ist die maximal abnehmbare Anschlussleistung ausschlaggebend dafür, ob die Ladeinfrastruktur implementiert werden kann oder nicht.

⁸ Der Mindestladeleistung pro Tag beinhaltet die Ladeverluste von mind. 20% im AC-Ladebereich

In den Analysen wird vorrangig der Tag mit der höchsten Leistungsspitze betrachtet. Dies hat den Grund, dass an diesem Punkt eine Überlastung des Anschlusses am wahrscheinlichsten ist. Sollte für diesen Tag keine Überlastung identifiziert werden, so ist an jedem anderen Tag eine Ladung ebenfalls problemlos möglich.

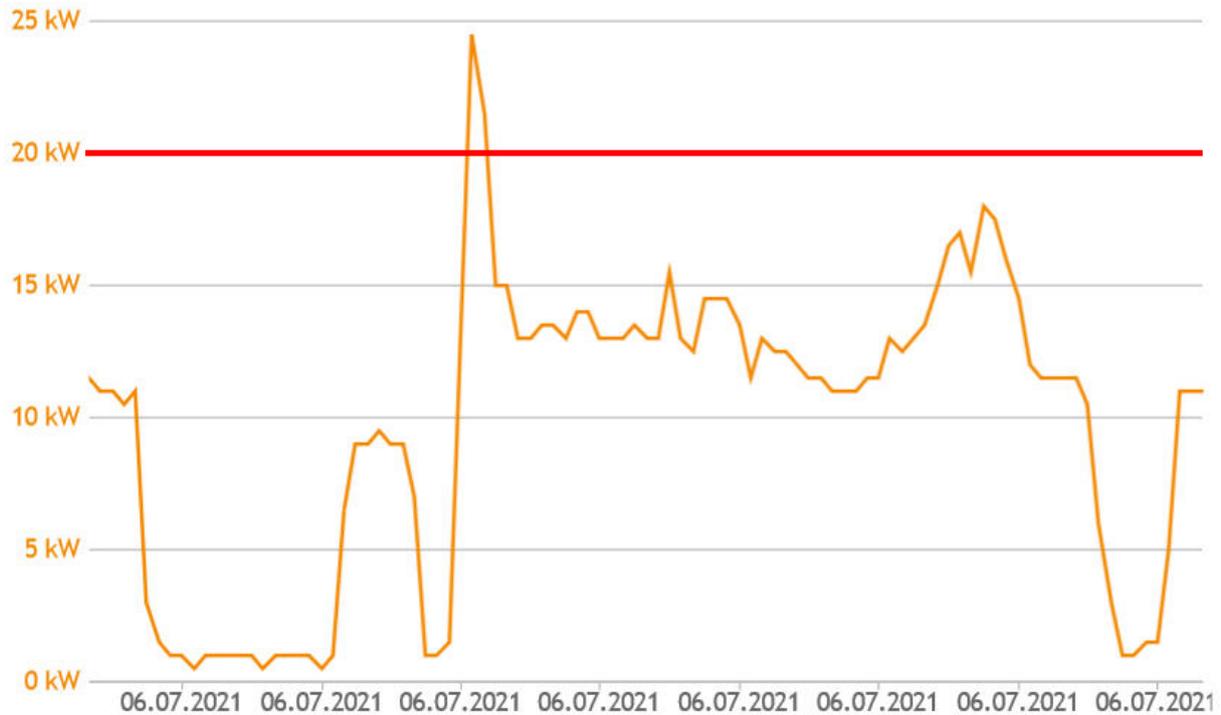


Abbildung 4-2: Beispielhafter Gebäudelastgang

Am Beispiel der Abbildung 4-2 ist eine Überlastung des Anschlusses durch das Überschreiten der rot dargestellten Linie zu erkennen. Die rote Linie stellt dabei die technisch verfügbare Leistung des Gebäudeanschlusses dar, welche exemplarisch bei 20 kW liegt. Durch die Lastganganalyse werden somit einzelne Leistungsspitzen sichtbar gemacht und es wird die Möglichkeit geschaffen, Maßnahmen durch ein Energiemanagementkonzept zur Lastspitzenglättung zu ergreifen. Sollten Lastspitzen jedoch längerfristig oder regelmäßig auftauchen, so ist eine Ertüchtigung des Anschlusses notwendig.

4.2.1 Gebäudelastgang

Ein Lastprofil des Standortes liegt nicht vor. Die maximale Anschlussleistung ist jedoch bekannt und liegt bei etwa 70 kW. In den folgenden Analysen wird deshalb nur das Ladeprofil der Fahrzeuge mit dem Gebäudeanschluss dargestellt.

4.2.2 Lade-Case Nutzfahrzeuge

Der Vorteil beim Lade-Case für die Nutzfahrzeuge liegt im Wesentlichen darin, dass jedes Fahrzeug individuell betrachtet wird und somit auch eine individuelle Lastgangprognose möglich ist. Neben den unterschiedlichen Ladeleistungen sind dabei auch die Ladezeiten individuell. Dies hat den Grund, dass bei Fahrzeugen mit einer ermittelten Ladeleistung unterhalb der Mindestladeleistung, diese mit einer geringeren Ladezeit anzusetzen ist. Der Startzeitpunkt ist dabei gleich und die Gesamtbelastung nimmt mit der Zeit stufenweise ab. Für die Nutzfahrzeuge, welche nachts am Betrieb stehen, wird ein Ladezeitfenster von 17:00-07:00 Uhr angenommen.

4.2.3 Auswertung

Folgend wird der Standort Rathaus / Bauamt vorgestellt. In der Abbildung 4-3 sind die Lastgänge der bereits vorhandenen Nutzfahrzeuge dargestellt.

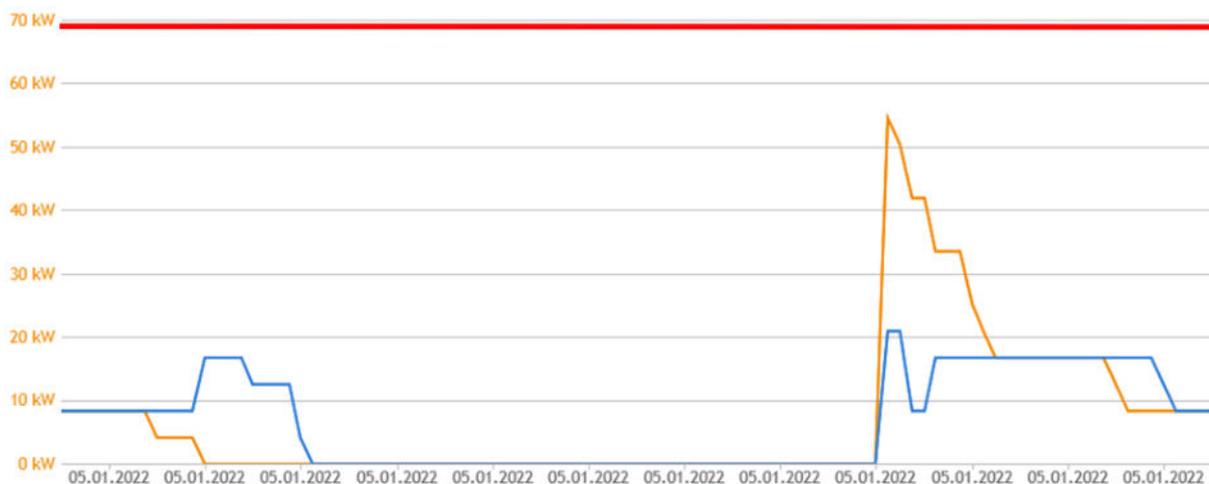


Abbildung 4-3: Lastganganalyse Nutzfahrzeuge

Die orangefarbene Linie im vorliegenden Diagramm repräsentiert den Lastgang der Nutzfahrzeuge über einen Tag, wenn diese zeitgleich mit dem Ladevorgang beginnen und die Ladevorgänge stufenweise enden. Das privat genutzte Dienstfahrzeug, welches tagsüber lädt, ist dabei nicht berücksichtigt. Dieses Fahrzeug würde zu einer Mehrbelastung von bis zu 11 kW in den Morgenstunden sorgen. Es ist zu erkennen, dass der Zeitraum von 17:00 bis 07:00 Uhr nicht vollständig ausgeschöpft wird und es nur am Anfang zu einer kurzzeitigen Leistungsspitze in Höhe von 55 kW kommt. Dies lässt darauf schließen, dass genügend Zeit vorhanden ist, alle Fahrzeuge zu laden und gleichzeitig Ladevorgänge zu verschieben. Aufgrund der Tatsache, dass ein Zeitfenster bis 07:00 Uhr zur Verfügung steht, kann das Aufladen parallel und seriell erfolgen. Dieses Prinzip stellt die blaugefärbte Linie dar. Konkret bedeutet dies, dass Fahrzeuge mit annähernd gleichen Ladezeitfenstern zusammengefasst werden. Innerhalb der

Cluster laden die Fahrzeuge weiterhin parallel; die einzelnen Cluster dagegen werden nacheinander angesprochen, um seriell zu laden. Haben beispielsweise vier Fahrzeuge eine Ladezeit von maximal einer Stunde und weitere Fahrzeuge eine maximale Ladedauer von zwei Stunden, können diese seriell geladen werden. Dies geschieht so lange, bis das Zeitfenster gefüllt ist. Danach werden die weiteren Cluster in Abhängigkeit der Ladeleistung im Zeitfenster verteilt, um die gesamte Leistung zum Laden der Fahrzeuge zu glätten. Durch dieses Prinzip lässt sich die notwendige Leistung auf knapp 20 kW senken.

4.2.4 Zusammenfassung

Durch die Bedarfsanalysen ist es möglich, ein genaues Ladeverhalten der Fahrzeuge zu erfassen, da diese gegebenenfalls mit einer höheren Ladeleistung als der technisch notwendigen von 4,2 kW geladen werden müssen. Jedoch ist auch hier zu erkennen, dass eine Leistung von 11 kW nicht notwendig ist. Laden alle Fahrzeuge zeitgleich, so ist eine Leistung von maximal 55 kW notwendig. Ein Abgleich mit dem Gebäudelastprofil konnte nicht durchgeführt werden, da dies nicht vorliegt. Jedoch ist die maximale Leistung, welche der Anschluss abgibt, bekannt. Diese liegt bei 70 kW. Somit ist eine Überlast am Anschluss durch die Ladevorgänge nicht zu erwarten. Im Betrieb sollte jedoch das Ladeverhalten der Fahrzeuge zusammen mit dem Lastprofil beobachtet werden, um mögliche Überlastungen frühzeitig erkennen zu können. Neben dem Prinzip der parallelen Fahrzeugladung besteht die Möglichkeit einer Kombination von parallelen und seriellen Ladevorgängen. Dadurch ist es möglich, die benötigte Leistung auf 20 kW zu reduzieren und die Ladevorgänge gleichmäßig im Ladezeitraum von 17:00 Uhr bis 07:00 Uhr zu verteilen. Die notwendigen Anforderungen an die Fahrzeuge und die Ladeinfrastruktur werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

4.3 Technische Aspekte beim Aufbau der Fahrzeugbeschaffung und Ladeinfrastruktur

4.3.1 Ladestationen

Aus den vorherigen Analysen ergeben sich die Ladestandorte, die unterschiedlichen Nutzungsgruppen je Standort sowie die benötigte Anzahl an Ladepunkten mit der benötigten Ladeleistung. Anhand dieser Ergebnisse lassen sich die technischen Anforderungen an die Ladeinfrastruktur und die Versorgung der Ladepunkte definieren.

Auch wenn die benötigte Ladeleistungen wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, unter 11 kW liegt, wird empfohlen, alle Ladepunkte dreiphasig mit jeweils 16 A also 11 kW je Ladepunkt anzuschließen. Über ein zusätzlich einzubindendes Lastmanagement werden diese dann

bedarfsorientiert gesteuert. In dieser Kombination können die Ladepunkte dann je nach Bedarf und verfügbaren Kapazitäten, bis zu 11 kW Ladeleistung bereitstellen. Alle Ladepunkte sind mit einer separaten Strom- sowie Netzwerkzuleitung zu versehen. Für die Stromzuleitungen wird ein Aderquerschnitt von mindestens 6 mm² pro 11 kW Ladepunkt empfohlen.

Für eine störungsfreie Kommunikation sollten Cat.6 oder Cat.7 Netzwerkleitungen verlegt werden. Alle Zuleitungen laufen gesammelt in Unterverteilungen zusammen, welche für die Ladestationen errichtet werden, und im jeweiligen Standort platziert werden können. Ferner ist darauf zu achten, dass über große Distanzen Signalverstärker für die Netzwerkleitungen vorgesehen werden. Gegebenenfalls sollte dann die Möglichkeit eines Lichtwellenleitersystem in Erwägung gezogen werden.

Die Ladestationen müssen ferner zwingend folgende Kriterien erfüllen:

- ISO 15118 „ready“ (PLC-Modul)
- Eichrechtskonformität
- Aufweckfunktion für seriell laden

Für die Eichrechtskonformität müssen die Ladestationen in Verbindung mit dem Backend / der Abrechnungsdienstleistung (EMP) als Gesamtsystem aus Ladeeinrichtung, Messeinrichtung und Messwertübermittlung/Abrechnung die Anforderungen des Mess- und Eichrechts erfüllen und eine gültige Konformitätsbescheinigung/Baumusterprüfbescheinigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) vorweisen.

4.3.2 Lastmanagement

Ein dynamisches Lastmanagement misst die Summe der von ihm messbaren, anliegenden Leistungen und kann diese bei Bedarf regeln. Im Falle von Ladeinfrastruktur kann somit sichergestellt werden, dass die technisch mögliche Anschlussleistung zu keinem Zeitpunkt überschritten wird. Des Weiteren ermöglicht das Lastmanagement das Entgegenwirken einer Schiefast, welche das Netz mit voranschreitendem Ausbau von Ladeinfrastruktur immer mehr belasten wird.

Das Lastmanagement kann sowohl in Form eines Systems innerhalb der Unterverteilung als auch direkt über die einzelnen Ladepunkte realisiert werden. Zweiteres ist nicht zu empfehlen, da so das Lastmanagement und somit jede Wallbox auf einen Herstellertyp reduziert wird und somit nicht herstellerunabhängig zu betreiben ist. Wie bereits im Kapitel 4.2 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben, kann durch ein gezieltes Ansteuern von Ladestationen die Belastung des Gebäudeanschlusses weiter reduziert werden. Um dieses Prinzip jedoch zu ermöglichen, ist es wichtig, ein Lastmanagement einzusetzen, welches Ladestationen spannungsfrei schalten kann. Dies ist notwendig, da Fahrzeuge, welche an einer

Ladestation angeschlossen sind und nicht geladen werden, dennoch mit der Ladestation Daten austauschen, um die Sicherheit zu gewährleisten. Dies sorgt jedoch dafür, dass die Fahrzeuge nach einiger Zeit in den „Ruhemodus“ verfallen und eine Ladung nicht mehr gestartet werden kann. Damit eine Ladung starten kann, müsste der Ladestecker aus und wieder eingesteckt werden. Sollte keine Spannung an der Ladestation anliegen, gibt es auch keine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladestation und das Fahrzeug bemerkt nicht, dass es angeschlossen ist. So wird der Ruhemodus umgangen und eine Ladung zum späteren Zeitpunkt ist ohne erneutes Einstecken des Steckers möglich. Um die Ladeleistung noch weiter zu reduzieren, ist es notwendig, dass die Fahrzeuge immer an den für sie zugewiesenen Stellplatz fahren, damit die Ladestation für den jeweiligen Zeitraum freigegeben wird.

Das Last- und Lademanagement sollte folgende technische Anforderungen erfüllen:

- Freie Kommunikationsschnittstelle(n) für unterschiedliche Ladepunkte (herstellereigen)
- Dynamische Regelung der Ladeleistungen
- Ausfallsicherheit - Blackout-Schutz
- Einbindung von Eigenerzeugungsanlagen (z. B. Photovoltaikanlagen)
- Priorisierung bestimmter Ladepunkte
- Möglichkeit Ladestationen spannungsfrei zu schalten

4.4 Investitionsplan

Nachfolgend werden die potenziellen Investitionskosten dargestellt. Die Werte für die Investitionskosten für Installation und Ladestationen basieren auf Kostendaten des Leitfadens Ladefachinfrastruktur und Umfeldmaßnahmen für Wohnungswirtschaft und Verwaltung des ZVEI e.V. (Verband der Elektro- und Digitalindustrie Fachverband Elektroinstallationssysteme) aus dem Jahr 2022.⁹ Aufgrund der aktuellen Preisentwicklung sind Inflationsaufschläge zu berücksichtigen.

Mögliche Kosten für die Netzanbindung und ggf. Ertüchtigung des Netzanschlusses, die durch den Netzbetreiber entstehen können, wurden auf Grundlage des aktuellen Planungsstands nicht berücksichtigt.

Für die nachfolgende Kostenplanung wurden folgende Werte zugrunde gelegt:

Tabelle 4-2: Basiskosten Installation Ladeinfrastruktur

	Kosten (netto)
Grundinstallation Netz je Standort	
Gesamt	9.500 €
Installation Wand	
Installation Leitungen	2.400 €
Ladeinfrastruktur Wallbox	1.500 €
Gesamt	3.900 €
Installation Fläche	
Installation Leitungen / Fundament / Stele	4.000 €
Ladeinfrastruktur Wallbox	1.500 €
Gesamt	5.500 €

Insgesamt handelt es sich um eine grobe Kostenschätzung. Detaillierte Kosten können erst durch konkrete Angebote von Fachbetrieben ausgewiesen werden.

Da zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht festgelegt werden kann, welche Anzahl von Ladestation jeweils als Wandmontage bzw. mit Stele auf einem Parkplatz installiert werden soll, erfolgt die nachfolgende Kalkulation jeweils für beide Varianten. In der späteren Umsetzung wird sich ein Wert zwischen diesen beiden Werten (minimal und maximal) ergeben.

⁹ (ZVEI e.V., 2022)

Je nach Installationsart (Wandmontage bzw. Stele) werden Gesamtkosten für alle Standorte von ca. 65.000 € bis 86.000 € erwartet, wobei den größten Anteil die Kosten für die Installation, gefolgt von den Ladestationen, einnehmen. Nicht berücksichtigt wurden mögliche Fördermittel, da zum Zeitpunkt der Konzepterstellung kein passendes Förderprogramm sowohl auf Landes- als auch auf Bundesebene bestand.

Tabelle 4-3: Gesamtkosten Installation Ladeinfrastruktur

	Grund- installation	Last- management	Installation Wand		Installation Fläche	
			Installation und Lade- infrastruktur	Gesamt	Installation und Lade- infrastruktur	Gesamt
Rathaus / Bauamt	9.500 €	5.000 €	50.700 €	65.200 €	71.500 €	86.000 €
	9.500 €		50.700 €	65.200 €	71.500 €	86.000 €

Literatur- & Quellenverzeichnis

- ADAC. (22. Juli 2020). <https://presse.adac.de/>. Abgerufen am 18. Mai 2022 von <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/technik/ladeverlust.html>
- ADAC. (25. 10 2022). Von https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/autokosten/elektroauto-kostenvergleich/?utm_source=instagram&utm_medium=social_paid&utm_campaign=kor_emob&utm_content=link_ad&utm_term=kostenvergleich abgerufen
- ADAC. (02. Juni 2023). *Geld verdienen mit dem E-Auto: So nutzen Sie 2023 die THG-Quote*. Abgerufen am 28. August 2023
- Deutsche Automobil Treuhand GmbH. (2023). *Deutsche Automobil Treuhand GmbH*. Abgerufen am 28. August 2023
- Drehmoment. (13. Juni 2022). *drehmoment.net*. Von <https://drehmoment.net/wp-content/uploads/vw-id-3-ladekurve-729x450.jpg> abgerufen
- EU. (2018). Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates.
- European Federation for Transport and Environment. (30. März 2022). *Studie: Elektrische Transporter insgesamt günstiger als Diesel*. Abgerufen am 28. August 2023
- Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI. (2023). *Wie könnten sich Nachfrage und Preise für Wasserstoff bis 2045 entwickeln?*
- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. (1. Januar 2020). *emobil-umwelt.de*. Abgerufen am 18. Mai 2022 von <https://emobil-umwelt.de/index.php/ueber-diese-website>
- Umweltamt Düsseldorf. (2019). Beschlussvorschlag - Pfad zur Erreichung der Klimaneutralität.
- ZVEI e.V. (Februar 2022). Leitfaden - Ladeinfrastruktur und Umfeldmaßnahmen.

Anhang – Fahrzeugliste der Gemeinde Walluf

Die nachfolgende Liste ist ein Auszug der übermittelten Rohdatenliste der Gemeinde Walluf und dient der Fahrzeugidentifikation (Laufende Fahrzeugnummer – Lfd. Fz.-Nr.).

Lfd. Fz.-Nr.	Standort	Kennzeichen	Fahrzeugbeschreibung
1	Fahrzeughalle	RÜD GW 500	IVECO Daily 4x4
2	Fahrzeughalle	RÜD GM 520	FUSO Canter
3	Fahrzeughalle	kein	Kramer 120
4	Fahrzeughalle	RÜD 358	Case JX 1070V
5	Fahrzeughalle	RÜD GW 66	Goupil G4 9kW/h
6	Fahrzeughalle	MA RM 200	Goupil G4 13kW/h
7	Fahrzeughalle	kein	AS 970/4
8	Fahrzeughalle	kein	Kubota G23-3/HD
9	Fahrzeughalle	kein	Gianni Ferrari
10	Bauhof	RÜD GW 520	Toyota Yaris Verso
11	Bauhof	RÜD GW 23	Toyota Europe
12	Parkplatz Rathaus	RÜD GW 400	Opel Corsa
13	Parkplatz Rathaus	RÜD GW 81E	Mercedes GLC300e 4matic