

Elektromobilitätskonzept Stadt Reutlingen

Elektromobilität an den
Technischen Betriebsdiensten Reutlingen



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.

Impressum

Auftraggeber:

Stadt Reutlingen
Technische Betriebsdienste Reutlingen (TBR)
Am Heilbrunnen 107
72766 Reutlingen



Auftragnehmer:

Institut Stadt | Mobilität | Energie GmbH
Rotenwaldstraße 18
70197 Stuttgart
Telefon: +49 711 65 69 90 14
Mail: info@i-sme.de



Autorenschaft:

Manfred Schmid
Karsten Hager
Franziska Geske
Kined Magg

Bildrechte

Sofern nicht anders angegeben, liegen die Bildrechte bei der Autorenschaft.
Titelbild: Technische Betriebsdienste Reutlingen

Veröffentlichung August 2024

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Koordiniert durch:



Projektträger:



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Zusammenfassung, Schwerpunkte und Zielsetzung.....	1
2 Beschreibung der methodischen Vorgehensweise	2
Exkurs: Marktentwicklung der Elektromobilität und Ladetechnologien im Bereich Nutzfahrzeuge.....	3
A. Markthochlauf und Reichweiten	3
B. Ladetechnologien im Bereich Nutzfahrzeuge.....	7
C. Verbrauch und Ladeszenarien	10
3 Prüfung der Machbarkeit von Ladesäulen-Sharing	13
4 Analyse der lokalen Ausgangssituation	14
4.1 Fuhrparkzusammensetzung und Standorte	14
4.1.1 Abteilungsspezifische Fuhrparkzusammensetzung.....	14
4.1.2 Fokus der Analysen.....	14
4.1.3 Standorte.....	15
4.1.4 Datenverfügbarkeit.....	15
4.1.5 Fahrzeugübersicht	18
4.2 Elektrifizierungspotenziale.....	25
4.2.1 Fahrzeugspezifische Nutzungsintensitäten	25
4.2.2 Fuhrparkspezifische Auslastungsintensitäten.....	31
4.2.3 Fahrzeugsubstitution.....	38
4.3 Szenarien	45
4.3.1 Szenario 1: Realisierung Vollelektrifizierung.....	45
4.3.2 Szenario 2: Erfüllung SaubFahrzeugBeschG	45
4.3.3 Szenario 3: Realisierung Ausgewogener Ansatz.....	47
4.3.4 Zuordnung der Fahrzeuge zu den Szenarien	47
4.4 Kostenanalyse	55
4.5 Ladepunktbedarfe und Lastgänge.....	60
5 Maßnahmen und Umsetzung	66
5.1 Maßnahmenkatalog.....	66

5.1.1	Ladeinfrastrukturkonzept für den Fuhrpark.....	66
5.1.2	Steuerungsgruppe	69
5.1.3	Betreiberkonzept/rechtliche Fragestellungen	70
5.1.4	Elektrifizierung und Fuhrparkmanagement	71
5.2	Umsetzungsplan/Beschaffungspläne	76
6	Berechnung des CO ₂ -Einsparpotenzials	80
7	Fazit	84
8	Literaturverzeichnis.....	86
Anhang.....		A
Anhang 1: Heizwerte Kraftstoffe		A
Anhang 2: Nutzungsspezifische Eingangsdaten zur Kosten- und CO ₂ -Berechnung. A		
Anhang 3: Fahrzeugklassenspezifische Eingangsdaten zur Kosten- und CO ₂ - Berechnung.....		B
Anhang 4: Auslastungsintensitäten aller Einzelfahrzeuge		L

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Neuzulassungszahlen batterieelektrischer Nutzfahrzeuge.	3
Abbildung 2: Prognostizierte Absatzzahlen schwerer Nutzfahrzeuge (N3>12t) in Deutschland.....	4
Abbildung 3: Entwicklung der Reichweiten von Batterie- und H ₂ -BZ-Lkw bis 2030.....	4
Abbildung 4: Aktuelle Absatzzahlen der Fahrzeugklassen Pkw (oben), leichte Nutzfahrzeuge (Mitte) und mittlere und schwere Nutzfahrzeuge (unten).....	5
Abbildung 5: Technische Umsetzung des Ladens von oben.	7
Abbildung 6: Ladeszenarien für schwere Nutzfahrzeuge.....	10
Abbildung 7: Ladeszenarien für BEV-Lkw mit empfohlener Ladeleistung.	11
Abbildung 8: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in der Klasse M.	26
Abbildung 9: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in der Klasse N1 Transporter. ..	27
Abbildung 10: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in den Klassen Geräteträger und Kleinkehrmaschinen (N1 und N2).	28
Abbildung 11: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in der Klasse N2.	29
Abbildung 12: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in der Klasse N3.	30
Abbildung 13: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse M.	32
Abbildung 14: Auslastungsintensität der poolingfähigen Fahrzeuge der Klasse M.....	33
Abbildung 15: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N1 Transporter.	34
Abbildung 16: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse Geräteträger (N1 und N2).....	35
Abbildung 17: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse Kleinkehrmaschinen (N1 und N2).....	35
Abbildung 18: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N2.	36
Abbildung 19: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N3.	36
Abbildung 20: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N3 Abfallsammler....	37
Abbildung 21: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N3 Baustellenfahrzeuge.....	37
Abbildung 22: Anforderungen aus dem SaubFahrzeugBeschG	46
Abbildung 23: Gesamtkostenvergleiche in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen M, Geräteträger und Kehrmaschinen	56
Abbildung 24: Gesamtkostenvergleiche in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen Transporter, N2 und N3.....	57
Abbildung 25: Gesamtkostenvergleiche in den drei Szenarien für den gesamten untersuchten Fuhrpark	58
Abbildung 26: Schematische Darstellung der Potenziale für das Laden der Elektrofahrzeuge	60
Abbildung 27: Historische Auswertung der Lastgänge und Peaks am Standort Am Heilbrunnen.	61
Abbildung 28: Resultierende Lastgänge im Szenario 1: Vollelektrifizierung	63
Abbildung 29: Resultierende Lastgänge im Szenario 2: SaubFahrzeugBeschG	64

Abbildung 30: Resultierende Lastgänge im Szenario 3: Ausgewogener Ansatz	65
Abbildung 31: Beschaffungspläne der Elektrifizierung in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen M, Geräteträger & Kehrmaschinen	77
Abbildung 32: Beschaffungspläne der Elektrifizierung in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen Transporter, N2 und N3	78
Abbildung 33: Beschaffungspläne der Elektrifizierung in den drei Szenarien für den gesamten untersuchten Fuhrpark	79
Abbildung 34: CO ₂ -Emissionen der Elektrifizierung in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen M, Geräteträger & Kehrmaschinen	81
Abbildung 35: CO ₂ -Emissionen der Elektrifizierung in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen Transporter, N2 und N3	82
Abbildung 36: CO ₂ -Emissionen der Elektrifizierung in den drei Szenarien für den gesamten untersuchten Fuhrpark	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick der möglichen Ladetechnologien für Nutzfahrzeuge.....	9
Tabelle 2: Überblick gesamter Fuhrpark	14
Tabelle 3: Überblick untersuchter Fuhrpark vor Erhebung der Fahrprofile	15
Tabelle 4: Bewertung der Datenquellen bzgl. ihrer Auswertungsqualität.....	17
Tabelle 5: Übersicht der Datenquellen je Fahrzeugkategorie und Abteilung	17
Tabelle 6: Gesamtübersicht aller Fahrzeuge nach Abteilung, Standort und Zeitpunkt der Ersatzbeschaffung.....	19
Tabelle 7: Fahrzeugprofile und vorgeschlagene Elektrifizierung.....	39
Tabelle 8: Zuordnung der Fahrzeuge zu den Szenarien. [Quelle: eigene Darstellung]	48
Tabelle 9: Gesamtkostenvergleiche in den drei Szenarien für den untersuchten Fuhrpark.....	58
Tabelle 10: Grundlegende Überlegungen für den Einsatz einer FPM-Software	74
Tabelle 11: Darstellung der Anforderungen an eine FPM-Software und deren Priorisierung als Workshopergebnis.....	75
Tabelle 12: Auswahl an FPM-Software zur Auswahl von Gesprächspartnern für die Markterkundung	76
Tabelle 13: CO ₂ -Emissionen der Elektrifizierung in den drei Szenarien für den untersuchten Fuhrpark	83
Tabelle 14: Herleitung der Kosten je CO ₂ -Einsparung in den drei Szenarien.	84

Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom (engl. Alternate Current); Normalladen bis 22 kW
AFIR	Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (engl. Alternative Fuel Infrastructure Regulation)
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug (engl. Battery Electric Vehicle)
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
CPO	Charge Point Operator (Ladepunktbetreiber)
DC	Gleichstrom (engl. Direct Current) Schnellladen 22-100 kW; meist 50 kW)
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
HPC	Ultraschnellladen (engl. High-Power-Charging); ab ca.100 kW bis 350 kW
ICV	Verbrennerfahrzeug (engl. Internal Combustion Engine)
JLL	Jahreslaufleistung (Indikator für Kosten & CO ₂ -Emissionen)
LIS	Ladeinfrastruktur
NPM	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
M	EU-Fahrzeugklassengruppe zur Personenbeförderung
MCS	Megawattladen (engl. Megawatt Charging System); ab 1 MW
MessEG	Mess- und Eichgesetz
MIV	Motorisierter Individualverkehr
N1	EU-Fahrzeugklasse Nfz mit zulässiger Gesamtmasse bis 3,5 t
N2	EU-Fahrzeugklasse Nfz mit zulässiger Gesamtmasse von 3,5-12 t
N3	EU-Fahrzeugklasse Nfz mit zulässiger Gesamtmasse ab 12 t
Nfz	Nutzfahrzeug
NLL	Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
OSM	OpenStreetMap
PHEV	Plug-in-Hybrid (engl. Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
RDE	Real Driving Emissions
Sfz	Sonderfahrzeug
SOC	Akkuladestand in % (engl. State of Charge)
StromStG	Stromsteuergesetz
StromStV	Stromsteuer-Durchführungsverordnung
TBS	Tagesbetriebsstunden (TBS)
THG	Treibhausgase (als Äquivalent für CO ₂ verwendet)
TLL	Tageslaufleistung (Indikator für Elektrifizierbarkeit)
UVV	Unfallverhütungsvorschriften

1 Zusammenfassung, Schwerpunkte und Zielsetzung

Die Stadt Reutlingen ist im Jahr 2020 dem Klimaschutzpakt des Landes Baden-Württemberg beigetreten und hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2040 Klimaneutralität zu erreichen. Im Klimaschutzkonzept der Stadt wurde bereits im Jahr 2013 der Einstieg der Stadtverwaltung und ihrer Eigenbetriebe in die Elektromobilität als Maßnahme definiert.

Schon deutlich zuvor, seit einem Gemeinderatsbeschluss im Jahr 2006, hat die Stadtverwaltung Reutlingen mit ihren Eigenbetrieben Stadtentwässerung Reutlingen (SER) und Technische Betriebsdienste Reutlingen (TBR) den städtischen Fuhrpark diesbezüglich adressiert, damals vor allem durch den zunehmenden Einsatz erdgasbetriebener Fahrzeuge.

Im Jahr 2013 setzten die TBR im Nutzfahrzeugbereich erstmals ein Abfallsammelfahrzeug mit Erdgasantrieb ein. Mittlerweile haben die TBR bereits einen relevanten Anteil der im Betrieb eingesetzten Pkw durch reine Elektrofahrzeuge (BEV) sowie drei Plug-in Hybride (PHEV) ersetzt. Auch im Nutzfahrzeugbereich ist man bereits aktiv: So werden mehrere vollelektrische kleine Nutzfahrzeuge (N1) eingesetzt (Streetscooter, Goupil, eine Kleinkehrmaschine) und zuletzt ein Abfallsammler mit Brennstoffzelle (FCEV) im konkreten Einsatz erprobt.

Vor dem Hintergrund der geschilderten Entwicklungen und im Kontext der mit der Elektromobilität gemachten Erfahrungen zeigte sich der Bedarf, das Thema mit vorliegendem Elektromobilitätskonzept strategisch anzugehen. Mit einer gesamtheitlichen Aufbereitung der Ist-Situation, der Ableitung von Ausbaupfaden und der Überführung in Umsetzungspläne soll die Zielsetzung der Klimaneutralität im Betrieb greifbar werden. Das Konzept muss deshalb nicht nur die **Elektrifizierbarkeit im weiteren zeitlichen Verlauf** untersuchen, sondern darüber hinaus einen **Ausbaupfad für die nötige Ladeinfrastruktur** beschreiben und die **resultierenden Netzlasten** aufzeigen. Der **Fokus liegt dabei auf den Fahrzeugen der TBR**. Ergänzend werden indes grundsätzliche Empfehlungen zum Laden von Besuchenden und Mitarbeitenden gegeben.

Ziel ist es, einen pragmatischen Weg in die Elektromobilität aufzuzeigen. Da sich dieser im Spannungsfeld gesetzlicher Mindestanforderungen einerseits und dem Klimaneutralitätsziel andererseits auftut, werden hierauf basierend ein Minimal- und ein Maximalszenario beschrieben. Darüber hinaus wird ein ausgewogener Ansatz als Mittelweg aufgezeigt, der zwischen ökonomischen und nutzungsspezifischen Risiken einerseits und den CO₂-Einsparpotenzialen andererseits abwägt.

Zudem ist es von zentraler Relevanz, die Transformation so zu gestalten, dass sie von den Mitarbeitenden akzeptiert wird. Dies setzt voraus, dass nur dann Vorschläge zur Elektrifizierung gegeben werden, wenn praxistaugliche Fahrzeuge am Markt verfügbar sind.

2 Beschreibung der methodischen Vorgehensweise

Der Einführung folgend wird im Rahmen eines Exkurses ein Überblick der Marktentwicklung vollelektrischer Nutzfahrzeuge gegeben. Dies umfasst, wie der Markthochlauf in unterschiedlichen Studien bewertet wird und vergleicht dabei auch die rein batterieelektrische Mobilität mit dem Einsatz von Wasserstoff in schwerem Nutzfahrzeugbereich. Ergänzend werden am Markt etablierte Ladetechnologien sowie aktuelle Entwicklungen aufgezeigt; zuletzt wird dargelegt, welche Fahrzeugverbräuche sich ergeben und wie das Laden – in Abhängigkeit von den Ladestandorten – konzeptionell in Szenarien eingeteilt wird. Diese Ausführungen werden für Pkw nicht gemacht, da die Technologie stärker etabliert und bei den TBR auch bereits in Nutzung ist.

In Kapitel 3 erfolgt die Machbarkeitsprüfung von Ladesäulen-Sharing, wie sie entsprechend der Förderbedingungen für Elektromobilitätskonzept mit Schwerpunkt Elektrifizierung von Fuhrparks vorgegeben ist.

Hierauf folgen in Kapitel 4 die Analysen der lokalen Ausgangssituation. Diese umfassen eingangs eine Beschreibung des vorhandenen Fuhrparks und der Standorte sowie Ausführungen zur Verfügbarkeit und Erhebung nötiger Daten. Auf dieser Basis erfolgt die Ableitung der Elektrifizierungspotenzialen, bei denen das Marktangebot der Elektromobilität mit den Anforderungen an die Fahrzeuge (Laufleistungen, Allradantrieb, spezifische Aufbauten, Doppelkabinen etc.) abgeglichen werden. Zudem wurde der Fuhrpark auf Redundanzen untersucht, schließlich ist in der gegenwärtigen Situation (Wegfall von Förderung, tendenziell hohe Strompreise) die Verkleinerung des Fuhrparks – neben dem Einsatz direkt genutzten PV-Stroms – der verbleibende Stellhebel, um Mehrkosten, die aus der Elektrifizierung resultieren, einzudämmen. Im weiteren Verlauf werden die Szenarien beschrieben und es erfolgt die Zuordnung der Fahrzeuge zu den Szenarien. Für jedes Szenario erfolgt im Anschluss eine Kostenanalyse, die zudem nach Fahrzeugklassen differenziert wurde. Beim Einsatz von Elektrofahrzeugen in Fuhrparks zeigt sich ab einer bestimmten Elektrifizierungsquote – und bei Einsatz vollelektrischer Nutzfahrzeuge schon sehr bald – das Nadelöhr in der Verfügbarkeit der nötigen Netzkapazitäten. Deshalb schließt das Kapitel zu den Analysen der Ausgangssituation mit der Ableitung von Ladepunktbedarfen und Lastgängen je Szenario.

Den Analysen folgend werden in Kapitel 5 gesammelte Maßnahmen beschrieben. Als wichtigsten Punkt umfasst der Maßnahmenkatalog das Ladeinfrastrukturkonzept. Daneben werden weitere Maßnahmen aufgezeigt, die im Rahmen einer Umsetzung einen Beitrag zur Zielerreichung bieten. Zuletzt erfolgt eine Zusammenführung der Beschaffungspläne je Szenario und Fahrzeugklasse.

Das Konzept schließt in Kapitel 6 mit der Berechnung des CO₂-Einsparpotenzials und einem grundsätzlichen Fazit in Kapitel 7.

Exkurs: Marktentwicklung der Elektromobilität und Ladetechnologien im Bereich Nutzfahrzeuge

Anmerkung: Dieses Kapitel wurde nicht im Rahmen der Beauftragung erstellt. Im Sinne der Vollständigkeit wurde es dem Konzept beigelegt.

A. Markthochlauf und Reichweiten

Die Marktentwicklung von batterieelektrisch betriebenen leichten und schweren Nutzfahrzeugen (Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen) steht noch relativ am Anfang.

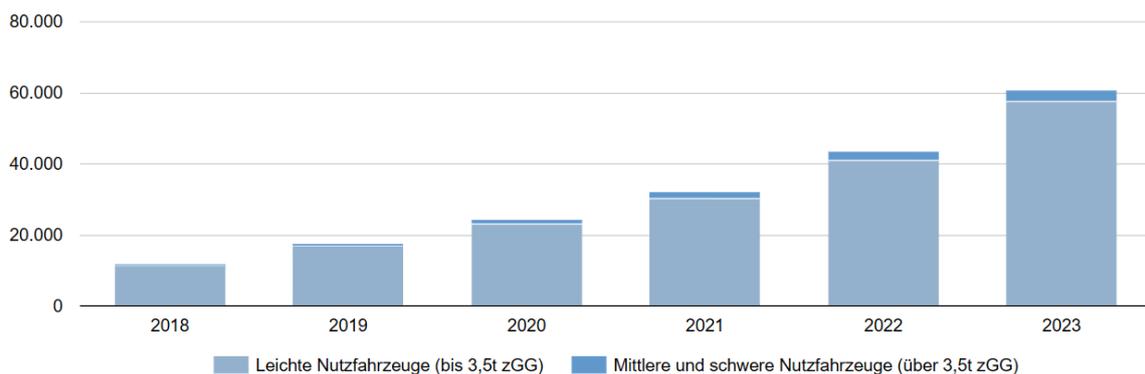


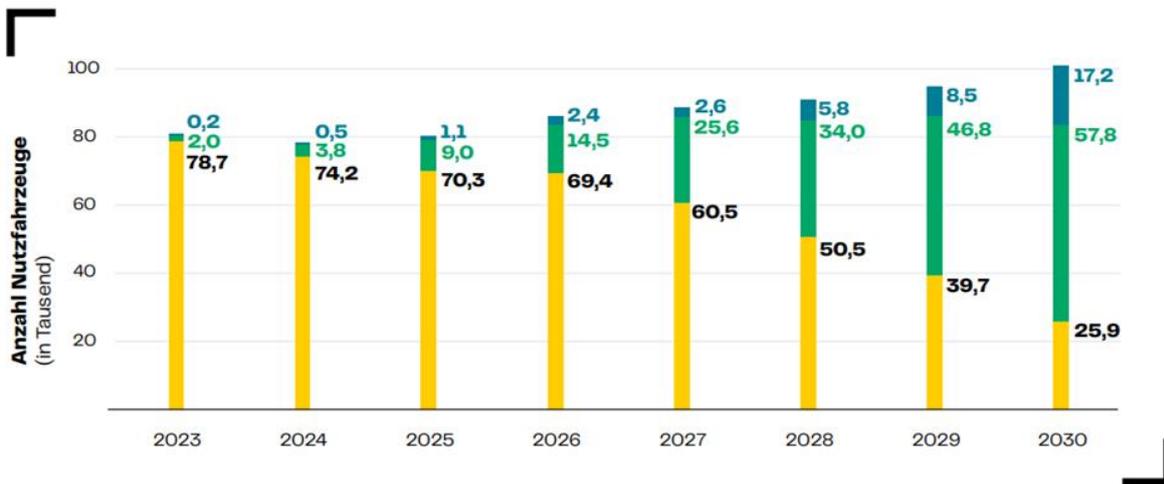
Abbildung 1: Neuzulassungszahlen batterieelektrischer Nutzfahrzeuge.¹

Derzeit wird sie von **leichten E-Nutzfahrzeugen** bestimmt. Hier liefert der Markt in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme der Markenvielfalt.² Die Einsatzzwecke für diese Fahrzeuge liegen vor allem im Bereich der Citylogistik sowie längerer Dienst- und Lieferfahrten. Insbesondere im Citylogistik-Bereich ist der Einsatz in zahlreichen Projekten erprobt. Im Bereich der Dienstleistungs- und Lieferfahrten ist mit einem Marktdurchbruch analog den E-Pkw zu rechnen, da hier in der Regel die gleiche LIS wie im Pkw-Bereich genutzt werden kann, wenngleich ggf. etwas mehr Rangierfläche nötig ist.

Aktuelle Studien zeigen, dass auch im **Schwerlastverkehr** für die meisten Anwendungsfälle in den nächsten Jahren der Einsatz von batteriebetriebenen Lkw machbar ist und ökonomische Vorteile bringt [2] [3] [4]. Cleanroom-Gespräche mit Nutzfahrzeugherstellern aus dem Jahr 2022 zeigen, dass auch diese davon ausgehen, dass sich in den meisten Anwendungsfällen der E-Lkw durchsetzen wird [1]. Bereits in 5 Jahren (2029) sollen die Absatzzahlen vollelektrischer Lkw über den Absatzzahlen von Diesel-Lkw liegen, siehe Abbildung 2.

¹ <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wissen/marktentwicklung/>

² <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/fahrzeugdatenbank-kategorie/e-transporter/>



Hinweise zur Unsicherheit durch unvollständige Marktabdeckung:
 - Angaben liegen nicht für alle Antriebsarten, Hersteller und Jahre vor.
 - Für die zweite Hälfte des Jahrzehnts liegt die Rückmeldungsquote bezogen auf die aktuellen Marktanteile bei 95%.
 - Für die fossilen Antriebe lag die Rückmeldungsquote bis 2025 zwischen 70% und 90%.

■ H₂-Brennstoffzelle
 ■ Batterie
 ■ Diesel

Zur besseren Lesbarkeit sind die niedrigen Absatzzahlen zu PHEV, H₂-Verbrennungsmotor und Erdgas (CNG/LNG) nicht aufgeführt.

Abbildung 2: Prognostizierte Absatzzahlen schwerer Nutzfahrzeuge (N3>12t) in Deutschland (Quelle: NOW [1, p. 18])

Neben der erwarteten Entwicklung der Absatzzahlen zeigt sich auch eine zentrale Entwicklung im Kontext steigender Reichweiten. Für die technische Umsetzbarkeit wird die Reichweite der am Markt verfügbaren elektrischen Lkw zugrunde gelegt. Zum heutigen Zeitpunkt sind Laufleistungen von 400 km ohne Zwischenladen am Markt verfügbar, bis 2030 wird die verfügbare Reichweite auf 1.000 km steigen, siehe Abbildung 3.

Prognostizierte Entwicklung der Reichweitenspanne von Batterie- und Brennstoffzellen-LKW (2023–2030)

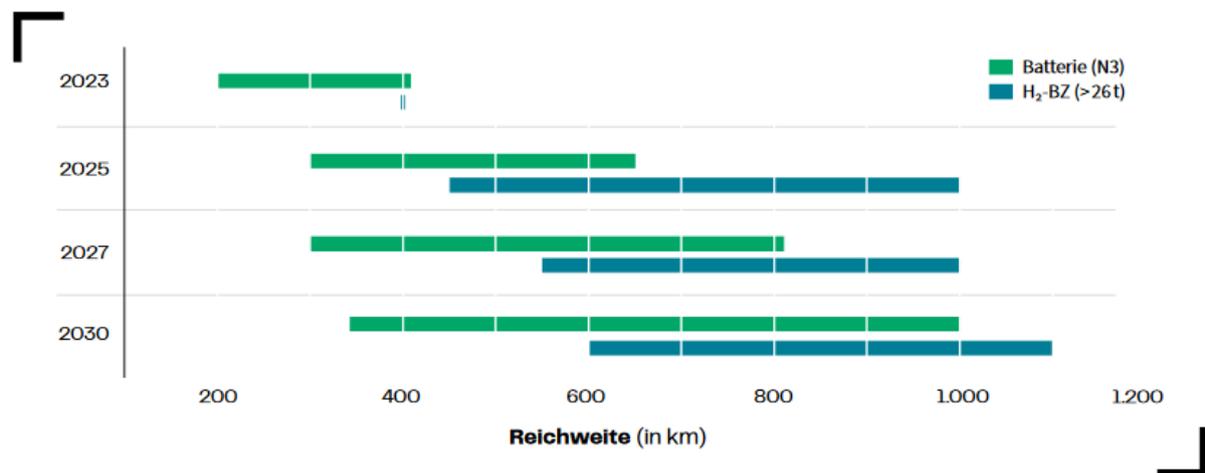


Abbildung 3: Entwicklung der Reichweiten von Batterie- und H₂-BZ-Lkw bis 2030. (Quelle: NOW [1, p. 22])

Da zum Jahreswechsel 2023/24 ein abrupter Stopp der Förderungen elektrischer Pkw und Nfz in Deutschland erfolgte, sollen der vorgenannten Prognose nochmals aktuelle Absatzzahlen gegenübergestellt werden. Diese sind dem Elektromobilitätsmonitor, einem Angebot der NOW GmbH, entnommen, auf dem fahrzeugklassen- und antriebs-spezifische Auswertungen aktueller Absatzzahlen generiert werden können.

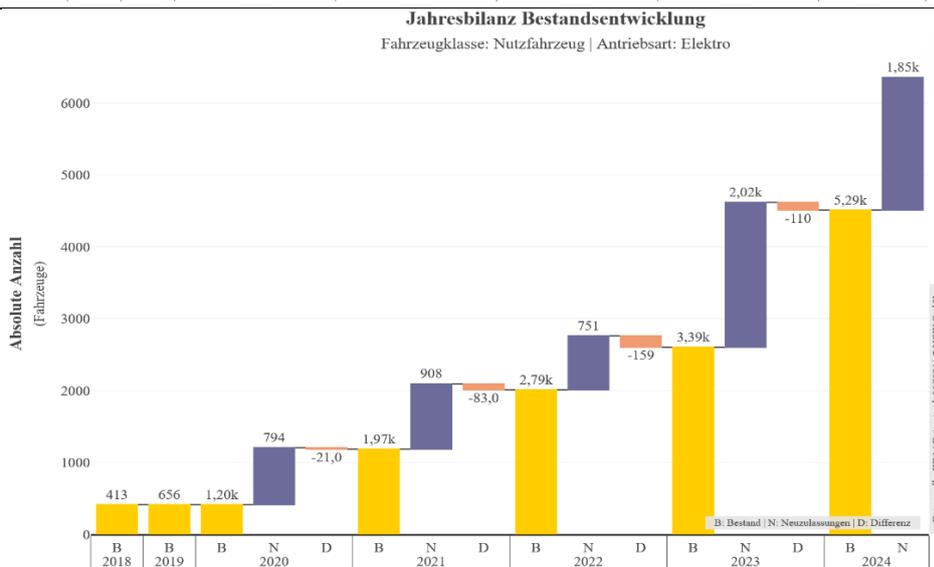
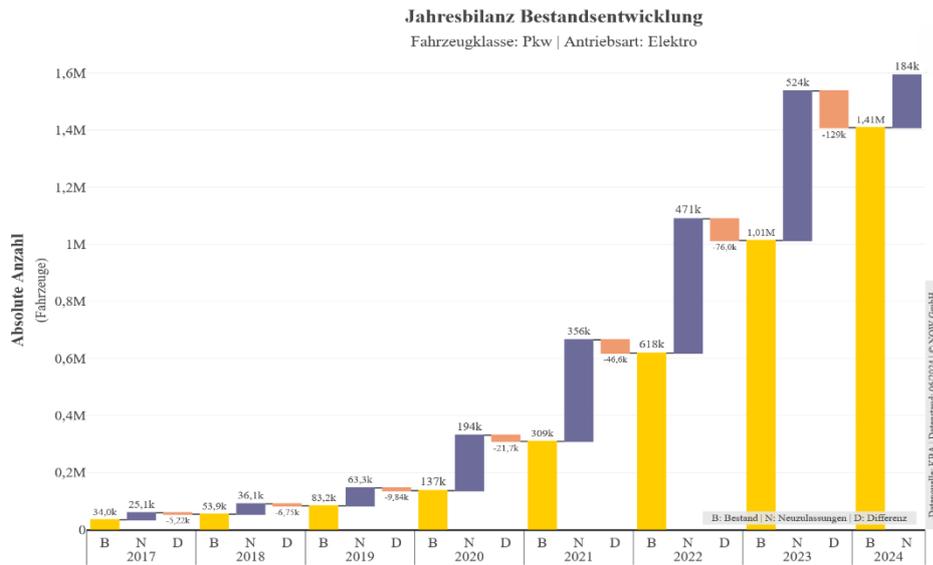


Abbildung 4: Aktuelle Absatzzahlen der Fahrzeugklassen Pkw (oben), leichte Nutzfahrzeuge (Mitte) und mittlere und schwere Nutzfahrzeuge (unten).³

„Die Bilanzen zeigen im Rückblick auf das jeweils vergangene Jahr nicht nur die aufsummierten Gesamt-Neuzulassungszahlen, sondern auch die Differenz zu den jährlichen Bestandszahlen. Die Differenz umfasst Abmeldungen, Totalschäden, Stilllegungen oder Exporte. Das ermöglicht insgesamt einen realen Blick auf die Pkw-Bestandentwicklung im Zeitverlauf.“ (NOW GmbH)

³ <https://elektromobilitaetsmonitor.de/datastudy/elektromobilitaetsreport-06-2024-2/>

Sicherlich lässt sich mit Blick auf die Zulassungszahlen nicht eruieren, welchen Effekt der Wegfall der Förderung hatte bzw. wie sich die Zulassungszahlen gestaltet hätten, wären die Fördermöglichkeiten weiterhin verfügbar gewesen.

Gleichwohl lässt sich festhalten, dass durchaus ein absoluter Rückgang im Vergleich zum Vorjahr festzustellen ist für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, nicht aber für mittlere und schwere Nutzfahrzeuge. Unterstellt man, dass in der zweiten Jahreshälfte 2024 die gleichen Absatzzahlen wie in der ersten Jahreshälfte erreicht werden, resultieren gesamt Zahlen von 368.000 elektrischen Pkw (-29,8% zum Vorjahr), 15.920 elektrischen N1 (-20,8% zum Vorjahr) und 3.700 elektrischen N2 und N3 (+83,2 % zum Vorjahr nach einem Zuwachs im 169,0% von 2022 auf 2023). Vor allem bei den schweren Nutzfahrzeugen kann noch ein größerer Anteil geförderter Fahrzeuge enthalten sein, deren Beschaffung sich weit in das Jahr 2024 verzögert hatte.

Insgesamt ist hinzuzufügen, dass die Zulassungszahlen bei Pkw traditionell im zweiten Halbjahr höher sind als im ersten, dennoch wird die Marke des Vorjahres vermutlich nicht erreicht werden können. In den Jahren 2021 bis 2023 waren im ersten Halbjahr jeweils 36-42% des jeweiligen Gesamtabsatzes im Markt. Wiederholt sich dieser Effekt auch im laufenden Jahr, wären ca. 420.000 verkaufte BEV erreichbar, was einen Absatzrückgang von 19,8% statt 29,8% bedeuten würde.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Wegfall der Förderung zweifelsohne einen Einbruch der Verkaufszahlen mit sich brachte. Dennoch verbleibt eine große Dynamik im Markt, nicht zuletzt, weil viele Hersteller die Förderung ganz oder teilweise preislich kompensiert haben. Da die Elektromobilität in anderen Märkten keinen vergleichbaren Einbruch erlebt, ist nicht davon auszugehen, dass es sich um mehr als eine vorübergehende Delle handelt.

B. Ladetechnologien im Bereich Nutzfahrzeuge

Zum Laden von Elektrofahrzeugen existieren unterschiedliche Technologien, die sich hinsichtlich ihrer Marktreife deutlich unterscheiden. Gut erprobt und standardisiert ist das **Laden mittels Steckverbindungen**. Dieses unterteilt sich in das AC-Laden (Laden an Wechselstromanschlüssen mit dem Ladestandard Typ 2, max. 43 kW) und das DC-Laden (Laden mit Gleichstrom, hier befindet sich der Gleichrichter in der Ladestation; Ladestandard CCS). Letzteres wird nochmals unterteilt in Schnellladen (bis 150 kW) und Ultraschnellladen (High Power Charging, HPC) mit Ladeleistungen zwischen 150 kW und 400 kW, in einzelnen Erprobungen finden Aufladungen mit bis zu 750 kW statt [5]. Insbesondere für den Nutzfahrzeuggestrich wird derzeit das Megawattladen (MCS) mittels Steckerverbindungen entwickelt und befindet sich aktuell noch im Normierungsprozess. Technisch sind damit theoretisch Ladeleistungen von bis zu 3,75 MW (bei 1.250 V) bzw. 4,5 MW (bei 1.500 V) möglich, jeweils bei 3.000 A [5]. Bei der Ausgestaltung der Ladeeinrichtungen gibt es neben den **Stand-Alone-Varianten** (Wallbox oder Ladesäule) auch **Ladeeinrichtungen mit Dispenser**, bei der die Leistungseinheit, welche die wesentlichen technischen Komponenten enthält von der Komponente zur Übergabe des Stromes getrennt ist. Diese Ausgestaltung hat zwei wesentliche Vorteile: Zum einen kann eine Leistungseinheit die Leistung an mehrere Dispenser abgeben. Zum anderen ist der Platzbedarf eines Dispensers deutlich geringer, was bei engen räumlichen Bedingungen von Vorteil ist. Der Dispenser kann bis zu 100 m von der Leistungseinheit entfernt aufgestellt werden. Es gibt auch Lösungen, die die Stromabgabe mit herunter fahrbaren Kabeln ermöglichen wie Abbildung 5 zeigt.

Insbesondere im Bereich der Busse gibt es darüber hinaus noch das **Laden mit Pantografen**. Hier werden über automatisierte Kontaktsysteme ebenfalls hohe Ladeleistungen (derzeit bis zu einem Megawatt) übertragen [6]. Im Nutzfahrzeuggestrich gibt es dafür ebenfalls erste Anwendungen [7].

Um an Rampen zu Laden, kommen sowohl Lösungen mit Kabelverbindung als auch mit Pantografen infrage. Eine exemplarische Darstellung der technischen Umsetzung mit Dispensern zeigt nebenstehende Abbildung.



Abbildung 5: Technische Umsetzung des Ladens von oben. ⁴

Eine eher untergeordnete Rolle spielen bisher noch das **induktive Laden** sowie der **Austausch an Batteriewechselstationen**; diese Varianten befinden sich derzeit im Erprobungsstadium und werden aller Voraussicht nach eher in konkreten Einzelfällen

⁴ <https://www.automobil-produktion.de/news/elektro-lkw-brauchen-deutlich-mehr-ladepunkte-12-932.html>

zum Einsatz kommen [8] [9]. Batteriewechselstation sind in China von verschiedenen Anbietern implementiert [10].

Eine Gesamtübersicht der beschriebenen Ladetechnologien gibt Tabelle 1. Ladetechnologien lassen sich mit Blick auf ihre Anwendbarkeit unterscheiden in Laden an einem Parkplatz und Laden an einem speziell dafür vorgehaltenen Ladestellplatz, welcher nach dem Ladevorgang zu verlassen ist – ein Abstellen für einen unbestimmten Zeitraum ist unerwünscht. Bei planbaren, kurzen Standzeiten kann der Stellplatz mit dem Ladestellplatz übereinstimmen; dies liegt insbesondere an Verloaderampen vor.

Tabelle 1: Überblick der möglichen Ladetechnologien für Nutzfahrzeuge. Quelle: Eigene Darstellung

Technologie	Normalladen AC	Schnellladen DC	HPC (ebenfalls DC)	Megawatt Charging System - MCS	Laden mit Pantographen	Induktives Laden (stationär)	Batterie-wechsel
Ladeleistung	bis 22 (43) kW	Ca. 50 kW	1-350	1 MW Hochspannungsebene (1.500 V)	Bis 600 kW	Bis 500 kW In Entwicklung	In Erprobung
Fahrzeugklassen	N1 (N2, N3 über Nacht)	N1 (N2, N3 über Nacht)	N1, N2, N3	N3	Busse (N3)	(hier) Lkw mit spezieller Ladetechnik	(hier) Lkw mit spezieller Technik
Ladeort	Parkplatz	Parkplatz/ Ladestellplatz	Ladestellplatz (auch Rampe)	Ladestellplatz (auch Rampe)	Ladestellplatz (auch Rampe)	Ladestellplatz (auch Rampe)	an speziellen Orten mit entsprechender Technik
Ladedauer	Längere Standzeiten	Mittlere Standzeiten	Kurze Standzeiten	Sehr kurze Standzeiten	Kurze bis sehr kurze Standzeiten	Kurze Standzeiten	10 Minuten für Akkutausch
Entwicklungsstand	Standardisiert Typ 2 Lastmanagement erprobt (statisch und dynamisch)	Standardisiert CCS statisches Lastmanagement erprobt; dynamisches im Test	Standardisiert CCS Lastmanagement möglich, sofern der Leistungsbedarf dies zulässt	Standardisierung in Vorbereitung; Hochspannungsebene (1.500 V)	Im Busbereich erprobt	Entwicklung	Entwicklung; in China bereits implementiert [9]

C. Verbrauch und Ladeszenarien

Der Verbrauch der Fahrzeuge ist von verschiedenen Parametern, insbesondere von der Fahrzeuggröße, der Topografie und der Ladung abhängig. Zudem spielen witterungsbedingte Einflüsse, hier v.a. die Temperatur, eine Rolle. Nutzfahrzeughersteller gehen derzeit davon aus, im Schwerlastverkehr im Durchschnitt mit einer Batteriekapazität von 600 kWh eine Reichweite von etwa 500 km Reichweite zu erreichen, dies entspricht einem Verbrauch von 120 kWh/100 km [1]. Eine andere Studie weist detailliertere Werte von 79-127 kWh/100 km in Abhängigkeit der Fahrzeuggröße aus [3]. Für Sattelzugmaschinen liegen dabei noch keine durchschnittlichen Werte vor, hier kann ein kommunizierter Erfahrungswert des Herstellers Designwerk herangezogen werden: Bei einem elektrischen Autotransporter dieses Herstellers liegt der Verbrauch bei etwa 150 kWh/100 km [11]. Eine Aussage der PepsiCo zum Verbrauch des Tesla Semi, den das Unternehmen in einer Stückzahl von 21 für ihre Logistik einsetzt, nennt Werte, die mit 110 kWh/100 km etwas unter den genannten Werten liegen.⁵

Von der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur der NOW GmbH wurden Ladeszenarien für das Laden schwerer Nutzfahrzeuge entwickelt, die nach dem Ort des Ladens, bzw. dessen Zugänglichkeit, unterschieden werden, siehe Abbildung 6.



Abbildung 6: Ladeszenarien für schwere Nutzfahrzeuge⁶

⁵ <https://www.electrive.net/2023/08/16/pepsico-nennt-fuer-tesla-semi-verbrauch-von-11-kwh-km/>

⁶ <https://nationale-leitstelle.de/nutzfahrzeuge/>

Bisher wird bei der Konzeption von Ladeinfrastruktur für elektrische Lkw auf die Kombination aus Laden im Depot und öffentlichem Laden fokussiert [12]. Während mit dem Ladeszenario „Umschlagpunkte“ zwar ein Fall benannt wird, der technisch gesehen dem in dieser Machbarkeitsstudie vorgeschlagenen „Rampenladen durch Dritte“ entspricht, wird dieses Ladeszenario in dem zugehörigen Leitfadens nicht dekliniert. Somit ist nicht festzustellen, ob die Autoren in diesem Szenario lediglich das Laden eigener Fahrzeuge sehen oder auch die Fahrzeuge beauftragter Speditionen. In jedem Fall bildet die Förderkulisse derzeit nicht ab, dass dieser Anwendungsfall gesehen wird.

Auch die nationale Plattform Zukunft der Mobilität hat Ladeszenarien für elektrische Lkw definiert (Abbildung 7). Hierbei wird das Laden auf Umschlagplätzen dem Depot-Laden zugeordnet, das Laden während des Wartens vor Umschlagplätzen dem öffentlichen Laden. Die in der vorliegenden Machbarkeitsstudie beschriebene Kombination spiegelt sich hierbei nicht wider.

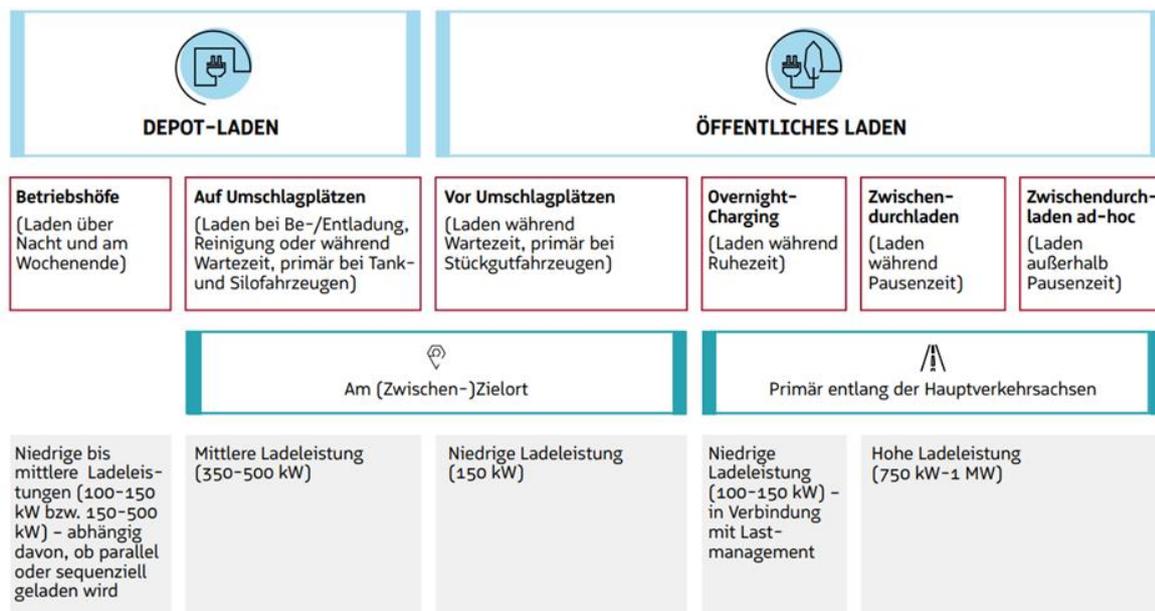


Abbildung 7: Ladeszenarien für BEV-Lkw mit empfohlener Ladeleistung. (Quelle: NPM [12])

Gemeinhin wird unter Depot der Ort verstanden, an dem die Fahrzeuge (nachts) abgestellt, gepflegt und gewartet werden. Dies ist in der Regel der eigene Betriebshof des Logistikdienstleisters. Beim Depot kann es sich auch um einen Umschlagort für Stückgüter handeln, in diesem Fall ist im Depot auch eine Zwischenladung möglich. Die Task-Force Depotladen (ebenfalls NOW) hat für dieses Ladeszenario bereits wichtige Themenfelder adressiert [13]:

- Ladetechnik und Netzanschluss,
- Flotten- und Lademanagement,
- rechtliche Fragestellungen,
- Planung und Aufbau der LIS sowie
- Betrieb und Finanzierung.

Erste Ergebnisse dazu wurden in einer Broschüre zusammengefasst, in der das Laden eigener Fahrzeuge im Depot im Fokus steht [5]. Das Laden fremder Fahrzeuge, bspw. von Unterauftragnehmern, steht dabei derzeit nicht im Fokus, obwohl es zumindest im produzierenden Gewerbe einen zentralen Schlüssel für eine zügige Elektrifizierung im Schwerlastverkehr darstellt.

Für die Elektrifizierung desjenigen Anteils am Verkehr, der Reichweiten erfordert, die über den Tageslaufleistungen der Fahrzeuge liegen, wird auf öffentliche Ladeinfrastruktur gesetzt [14] [15]. Heute steht hierfür das HPC-Laden zur Verfügung, zukünftig soll das MCS-Laden zum Einsatz kommen, welches sich derzeit in der Standardisierung befindet. Als besondere Herausforderungen beim Aufbau der öffentlichen LIS wurden insbesondere die Flächenverfügbarkeit, die Verfügbarkeit der entsprechenden Leistung an den Standorten sowie damit verbunden der Zeitstrahl für einen schnellen Aufbau identifiziert [16] [17] [15].

Das Laden auf einem fremden Betriebsgelände spielt in der Betrachtung bisher eine untergeordnete Rolle [18]. Stakeholder-Interviews zeigten jedoch, dass fast alle Logistiker die Zeit beim Be- und Entladen der Lkw für das Stromladen nutzen wollen, sofern dies möglich ist [16]. Batterie-Lkw können durch die effiziente Energieumwandlung einen deutlichen Betriebskostenvorteil generieren, wobei die größten Kostentreiber die Batteriekapazität (Reichweitenbedarf) sowie hohe Strompreise sind. Durch schnelle Zwischenlademöglichkeiten z.B. an Laderampen kann im Bereich längerer Strecken die Wirtschaftlichkeit verbessert werden [3]. Hinzu kommt die Kostenvermeidung durch eine bessere Auslastung der Lenkzeiten.

3 Prüfung der Machbarkeit von Ladesäulen-Sharing

Die vom Fördermittelgeber vorausgesetzte Prüfung der Machbarkeit von Ladesäulen-Sharing ist nicht genauer spezifiziert. So kann ein Sharing innerhalb einer Nutzergruppe gemeint sein (Fuhrpark mit einem Ladepunktverhältnis unter 1) oder über Nutzergruppen hinweg (Fuhrpark, Mitarbeitende, Besucher, benachbarte Unternehmen etc.). Unabhängig von der konkreten Definition fällt die Prüfung indes negativ aus.

Fuhrpark

Im Fuhrpark sollte für jedes Elektrofahrzeug ein Ladepunkt vorgehalten werden. Diese Empfehlung basiert auf folgenden Gründen:

- Ein hoher Anteil der Fahrzeuge weist große Energiebedarfe auf; auch diese Fahrzeuge müssen zwingend jeden Tag vollgeladen starten, um Reichweitenängsten auch an intensiv genutzten Tagen konsequent vorzubeugen. So muss auch zum Schichtende sichergestellt sein, dass der Ladepunkte jedes Fahrzeug frei und zugänglich ist.
- In Kapitel 4.5 wird hergeleitet, wie mittels Lastmanagement die Standzeiten der Fahrzeuge genutzt werden, um möglichst geringe Ladeleistungen zu realisieren und damit Netzentgelte zu minimieren. Diese Strategie ist dann am sinnvollsten, wenn Ladebedarfe nicht über mehrere Tage aufgebaut, sondern täglich gestillt werden. Dies ist mit einem Verhältnis 1:1 am besten gegeben. Die Mehrkosten für Ladeinfrastruktur fallen über den gesamten Nutzungszeitraum geringer aus als die Netzbereitstellungskosten für eine größere Anschlussleistung.

Mitarbeitende

Ob Mitarbeitendenladen überhaupt angeboten wird, ist auf Seiten der TBR nicht entschieden. Sofern Mitarbeitendenladen angeboten wird, können keine weiteren Nutzergruppen Zugang haben, denn dann ergibt sich die Notwendigkeit, für die Abrechnung externer Nutzender ein roamingfähiges Backend vorzuhalten, während Mitarbeitende preiswert laden können sollen. Hieraus resultiert ein Interessenskonflikt für den Betreiber. Auch ist der Parkplatz nicht für Externe zugänglich.

Besuchende

Das Aufkommen von Besuchern wurde im Rahmen des Konzepts nicht untersucht. Es ist aber denkbar, Besucher an festgelegten Ladepunkten Zugang zu ermöglichen und diese Ladepunkte mit einem entsprechenden Backend zur Abrechnung vorzuhalten. Dies könnte an Puffer-Ladepunkten erfolgen, bspw. am HPC-Lader, der im LIS-Konzept vorgeschlagen wird, oder auch an einem AC-Ladepunkt.

4 Analyse der lokalen Ausgangssituation

4.1 Fuhrparkzusammensetzung und Standorte

4.1.1 Abteilungsspezifische Fuhrparkzusammensetzung

Die Technischen Betriebsdienste Reutlingen erwirtschaften als Eigenbetrieb der Stadt Reutlingen mit ihren ca. 310 Beschäftigten ca. 40 Millionen Euro Umsatz pro Jahr. Das Unternehmen gliedert sich in sechs Abteilungen

- TBR 10: Verwaltung
- TBR 30: Abfallwirtschaft/Stadtreinigung (inkl. Winterdienst, Deponie/Häckselplätze)
- TBR 40: Technische Werkstätten (Kfz-Werkstatt, Schreinerei/Schlosserei, Zentrallager)
- TBR 50: Baubetrieb (Straßenunterhaltung und Gewässerbau)
- TBR 60: Friedhofs-/Bestattungswesen (Friedhöfe, Krematorium, Bestattungen)
- TBR 70: Grünwesen (Grün-/Baumpflege, Spiel-/Sportplätze)

Im Rahmen der Datenerfassung wurden Informationen zu 249 Fahrzeugen angegeben. Tabelle 2 ist zu entnehmen, welche Fahrzeugklassen hierbei enthalten sind und wie sie sich auf die einzelnen Abteilungen verteilen. Die Fahrzeugklassen orientieren sich an EU-Fahrzeugklassengruppen, elektrische Substitutionsfahrzeuge können ggf. leicht in der Klasse abweichen. Pkw werden unter der Klasse M subsummiert, Nutzfahrzeuge (Nfz) werden unterteilt in N1 (zulässige Gesamtmasse unter 3,5 t), N2 (zulässige Gesamtmasse von 3,5 bis 12 t) sowie N3 (zulässige Gesamtmasse über 12 t) und Sonderfahrzeuge (Sfz) werden zusammengefasst.

Tabelle 2: Überblick gesamter Fuhrpark

Gesamt	M	N1	N2	N3	Sfz	Son- tige	Anhän- ger	Summe
TBR 10 Verwaltung	1	0	0	0	0	0	0	1
TBR 30 Abfallwirtschaft / Stadtreinigung	6	19	16	21	15	2	8	87
TBR 40 Techn. Werkstätten	4	9	3	0	2	0	11	29
TBR 50 Baubetrieb	2	9	4	7	13	0	9	44
TBR 60 Friedhofs-/Bestattungswesen	4	4	11	0	6	3	6	34
TBR 70 Grünwesen	7	13	3	1	11	0	18	53
SUMME	24	54	37	29	47	5	52	248

4.1.2 Fokus der Analysen

Mit der Zielsetzung eines pragmatischen Konzepts, das in der Umsetzung den Anforderungen des Betriebs Rechnung trägt, wurde in einer frühen Projektrunde beschlossen, den Fokus auf die Fahrzeugklassen M und N1-3 zu legen. Vor allem im Lkw-Bereich liegen große Potenziale zur CO₂-Einsparung – aber auch die großen Herausforderungen. Zwar sind einzelne vollelektrische Sfz am Markt verfügbar, die grundsätzlich in den entsprechenden Einsatzgebieten gegebenenfalls auch infrage kämen, aufgrund spezifischer Herausforderungen (bspw. mehrtägige Einsätze auf Baustellen) sowie zurückliegender Erfahrungen mit Kleinserien (bspw. mehrere Service-Ansprechpartner bei

Umbauten) wurde der Schwerpunkt auf die genannten Fahrzeugklassen gelegt. Tabelle 3 zeigt, welche Fahrzeuge in die konkrete Analyse einbezogen wurden.

Tabelle 3: Überblick untersuchter Fuhrpark vor Erhebung der Fahrprofile

Zu untersuchende Fahrzeuge	M	N1	N2	N3	Summe
TBR 10 Verwaltung	1	0	0	0	1
TBR 30 Abfallwirtschaft / Stadtreinigung	6	19	16	21	62
TBR 40 Techn. Werkstätten	4	9	3	0	16
TBR 50 Baubetrieb	2	9	4	7	22
TBR 60 Friedhofs-/Bestattungswesen	4	4	11	0	19
TBR 70 Grünwesen	7	13	3	1	24
SUMME	24	54	37	29	144

4.1.3 Standorte

Die Standorte der Fahrzeuge sind vor dem Hintergrund der Ladebedarfe von großer Relevanz. Wie in der Einführung erwähnt, stellt sich bei steigenden Elektrifizierungsquoten gemeinhin der Netzanschluss als limitierender Faktor heraus. Das vorliegende Konzept trägt dem Rechnung, indem die Standzeiten der Fahrzeuge ausgenutzt werden, um möglichst geringe Ladeleistungen zu realisieren. Zuvorderst ist hierfür die Zuordnung der Fahrzeuge zu den Standorten relevant.

Der Standortstruktur der TBR folgend ist der Fuhrpark sehr stark auf einen Standort konzentriert. Am Hauptsitz der TBR „Am Heilbrunnen 107“ sind 131 Fahrzeuge stationiert. Daneben stehen 9 Fahrzeuge am als „Friedhof“ zusammengefassten Standort (Dietweg 41 und Sickenhäuser Straße – als Ladestandort wurden beide am Dietweg 41 zusammengefasst) und 5 Fahrzeuge am Schinderteich 1 (Wertstoffhof/Deponie).

Zu Beginn der Konzepterstellung wurde der Standort „Am Heilbrunnen“ begangen, um örtliche Gegebenheiten (Platzverfügbarkeiten in und außerhalb der Hallen, bestehende Netzinfrastruktur, bestehende Ladepunkte etc.) aufzunehmen und in die weitere Planung zu integrieren.

4.1.4 Datenverfügbarkeit

Im Folgenden wird erläutert, welche Datenbasis für welche Analyse nötig und hinreichend ist:

- Die Elektrifizierung in Form einer **1:1-Substitution** lässt sich am besten untersuchen, wenn ein Fahrtenbuch (analog, digital) vorliegt. Alternativ kann - mit guter Kenntnis des Fahrprofils der Fahrzeuge (Auftraggeber) und mit etwas Erfahrung mit der Elektromobilität (Auftragnehmer) in klaren Fällen aber auch eine Faustformel weiterhelfen: Ein Fahrzeug kann gemeinhin elektrifiziert werden,

wenn das elektrische Substitutionsfahrzeug die doppelte Reichweite der geschätzten Tageslaufleistung (TLL) bzw. Tagesbetriebsstunden (TBS) aufweist (Winterpuffer).

- Die Untersuchung von **Redundanzen** lässt sich ohne Fahrtenbuch indes nicht durchführen, da hierbei reale Nutzungstage über einen gewissen Zeitraum hinweg hinsichtlich der Auslastung ganzer Fuhrparkstandorte, Fahrzeugklassen oder Abteilungen betrachtet werden müssen. Diese komplexeren Zusammenhänge lassen sich auch mit Kenntnis des Fuhrparks nicht ohne Daten abschätzen.
- Ebenso basiert die abschließende Auswertung, die **Lastprognose**, im Idealfall auf den realen Laufleistungen der Fahrzeuge, weshalb die detaillierte Auswertung idealerweise auf Fahrtenbüchern basiert, eine gute Annäherung ist über Abschätzungen der Fahrprofile indes möglich.

Für die Fahrzeuge der TBR waren nur vereinzelt analoge Fahrtenbücher verfügbar. Eine Digitalisierung erfolgte nicht, da die Anzahl nicht ausreichte, um einen guten Überblick über die Fahrprofile des Fuhrparks zu erhalten. Aus diesem Grund wurde beschlossen, eine dreigeteilte Datenerhebung zu initiieren:

- Ein großer Anteil der Lkw ist mit **Fahrtenschreibern** ausgestattet, über die grundsätzlich gute Daten ausgelesen werden können hinsichtlich Start und Ende von Fahrten und der zurückgelegten Strecken. Aussagen zu den Standorten bei Fahrtbeginn oder -ende sind hierbei nicht möglich, weshalb eine gewisse Unsicherheit besteht, ob das jeweilige Fahrzeug während einer Standzeit tatsächlich geladen werden kann.
- Die nicht mit Fahrtenschreiber ausgestatteten Fahrzeuge wurden einem **Tracking** unterzogen. Hierzu waren rechtliche Fragestellungen abzustimmen und es musste eine entsprechende Kommunikation in die Belegschaft hinein erfolgen. Letztlich erfolgte das Tracking im Zeitraum 29.02.-21.04.2024 über einen Zeitraum von 7,5 Wochen. Der Vorteil des Trackings liegt in der Geocodierung zu jedem Start und Ende einer Fahrt. So kann zweifelsfrei festgestellt werden, ob das Fahrzeug seine Standzeit am Standort verbringt und entsprechend geladen werden kann.
- Es zeigt sich, dass einige Fahrzeuge keinen Steckplatz für den Tracker hatten bzw. das Stecken des Trackers zu technischen Problemen führte. Für diese weiterhin nicht datenseitig erfassbaren Fahrzeuge wurden die Aussagen der Abteilungsleitungen zur Auslastung der Fahrzeuge verwendet (**Schätzungen**). Diese Daten geben Mittelwerte zu Tageslaufleistungen bzw. Tagesbetriebsstunden und zu Standzeiten an, die im Rahmen der Analyse für jeden Nutzungstag

identisch angenommen werden müssen. Da somit nicht die Varianz der tatsächlichen Nutzungsprofile in die Analyse eingeht, stellt diese Datenquelle einen Faktor dar, der die Genauigkeit der Auswertungen reduziert.

Tabelle 4 fasst die Kriterien der einzelnen Datenquellen zusammen und gibt einen Überblick, wie sich diese qualitativ in der Bewertung niederschlagen.

Tabelle 4: Bewertung der Datenquellen bzgl. ihrer Auswertungsqualität. (Quelle: Eigene Darstellung)

Kriterium	Datenquelle		
	Tracker	Fahrtenschreiber	Schätzung
Strecken	Exakt	Exakt	Tagesspezifisch ohne Varianz
Fahr- und Standzeiten	Minutenaktuell	Minutenaktuell	Tagesaktuell ohne Varianz
GPS-Standort	Immer Start und Ziel	Nie	Nie
Ladeverhalten (Anwesenheit am Standort)	Agglomeration aller Fahrten zwischen Anwesenheiten am Standort → reales Ladeverhalten	Agglomeration von Fahrten zwischen Anwesenheiten am Standort nicht möglich, da der Standort nicht bekannt ist → Unterstellung, dass der Tag am Standort endet. → Mehrtätige Abwesenheiten werden in den Daten nicht identifiziert (ggf. Ladebedarfe außerhalb) → Fokus auf TLL statt Einzelfahrten wirkt positiv entgegen	Abends am Standort, keine Varianz
Datenqualität	Sehr gut	Gut	Ausreichend

Zudem gibt Tabelle 5 die Übersicht, welche Datenquellen je Fahrzeugklasse und Abteilung eingesetzt wurden und den Analysen zugrunde liegen. Somit lagen für alle untersuchten Fahrzeuge der Klassen M und N1-3 Fahrprofile vor. Neben den untersuchten Fahrzeugen (Klassen M, N1-3) lagen auch bei 6 Sfz Fahrtenschreiberdaten vor, die der Vollständigkeit halber erhoben wurden.

Tabelle 5: Übersicht der Datenquellen je Fahrzeugklasse und Abteilung (Quelle: Eigene Darstellung)

Fahrzeugklasse:	M			N1			N2			N3			Sfz		
Datenquelle: ^a	T	FS	Sch	T	FS	Sch	T	FS	Sch	T	FS	Sch	T	FS	Sch
TBR 10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TBR 30	5	0	1	14	0	5	0	13	3	0	19	2	0	4	1
TBR 40	2	0	2	8	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
TBR 50	2	0	0	1	6	2	0	4	0	0	7	0	0	0	0
TBR 60	2	0	2	4	0	0	7	0	4	0	0	0	0	0	0
TBR 70	5	0	2	9	1	3	0	3	0	0	1	0	0	1	0
Summe je Datenquelle:	17	0	7	36	8	10	7	23	7	0	27	2	0	5	1
Summe je Klasse:	24			54			37			29			6		
Summe gesamt:	144														

^a T: Tracking, FS: Fahrtenschreiber, Sch: Schätzung

4.1.5 Fahrzeugübersicht

Der folgenden Tabelle 6 ist eine Gesamtübersicht aller Fahrzeuge zu entnehmen, die in die Analyse eingeflossen sind. Die Darstellung umfasst die Zuordnung der Fahrzeuge zu Abteilungen und ihre Standorte. Zudem sind Kennzeichen, die Fahrzeugklassen und -modelle sowie das Datum der Ersatzbeschaffung enthalten.

Hierbei ist zu beachten, dass vom Auftraggeber eine Fahrzeugliste zur Verfügung gestellt wurde, die Zeitpunkte einer Ersatzbeschaffung enthielt. Diese Zeitpunkte waren allerdings nicht aktuell, da sie bis zu sieben Jahre in der Vergangenheit lagen. Die Zeitpunkte einer Ersatzbeschaffung wurden deshalb angepasst. Dabei wurden zwei Kriterien berücksichtigt: Einerseits wurde darauf geachtet, dass Fahrzeuge mit am längsten zurückliegenden Beschaffungszeitpunkten auch zukünftig zuerst neu beschafft werden. Andererseits wurde berücksichtigt, dass die Elektromobilität im Lkw-Bereich in den kommenden Jahren jene Entwicklungen in den Bereichen Reichweitensteigerung, Kostensenkungen und Modellvielfalt erfahren wird, wie es sie im Pkw-Bereich bereits gab. Deshalb wurden größere Fahrzeuge tendenziell nach hinten priorisiert. Die Beschaffungszeitpunkte der Fahrzeuge in Tabelle 6 liegen im Mittel ca. 4,2 Jahre nach den Beschaffungszeitpunkten der Ausgangstabelle (im Detail 13 x 1 Jahr, 16 x 2 Jahre, 12 x 3 Jahre, 29 x 4 Jahre, 17 x 5 Jahre, 15 x 6 Jahre, 10 x 7 Jahre, 6 x 8 Jahre und 1 x 9 Jahre).

Auch wurden während der Konzepterstellung einzelne Fahrzeuge ersetzt. In diesen Fällen wurden die Fahrprofile der Vorgängerfahrzeuge für die Analysen verwendet. Die Tabelle enthält dann beide Kennzeichen.

Tabelle 6: Gesamtübersicht aller Fahrzeuge nach Abteilung, Standort und Zeitpunkt der Ersatzbeschaffung. (Quelle: Eigene Darstellung)

Nr.	Fahrzeug	Modell	Klasse	Abteilung	Standort	Ersatzbeschaffung
1	RT-DK 157E	Mercedes Benz C-Klasse Hybrid	M Mittelklasse	TBR 10	Am Heilbrunnen 107	2026
2	RT-BR 595E	VW E-Up	M Kleinwagen	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
3	RT-BR 518	Fiat Strada Pick Up	M Kompaktklasse	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2026
4	RT-BR 608	Skoda Yeti 4x4	M Kompaktklasse	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
5	RT-BR 272	VW Caddy	M Kompaktklasse	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
6	RT-BR 106	VW-Caddy Erdgas	M Kompaktklasse	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
7	RT-BR 301E	VW Passat Hybrid	M Mittelklasse	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
8	RT-BR 631	DB Sprinter mit LMV	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
9	RT-BR 634	DB Sprinter Plane Pritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
10	RT-BR 562	DB-Sprinter Doka	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2027
11	RT-BR 723	DB-Sprinter Doka	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
12	RT-BR 122	DB-Sprinter m. LMV	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
13	RT-BR 742	MAN TGE mit Leichtmüllverdichter	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2032
14	RT-BR 431	MB Sprinter mit LMV Hummel	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
15	RT-BR 619	Sprinter	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
16	RT-BR 621	Sprinter	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
17	RT-BR 717	Sprinter mit Sinkkast	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2030
18	RT-BR 868E	Streetscooter	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2030
19	RT-BR 732	VW T6 Doka Pritsche Allrad	N1 Leichtes Nfz	TBR 30	Schinderteich 1	2029
20	RT-BR 902	Citymaster	N1 Kleinkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2030
21	RT-BR 740	Hako Citymaster 1650	N1 Kleinkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
22	RT-BR 741	Hako Citymaster 1650	N1 Kleinkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
23	RT-BR 329	Kleinkehrmaschine Kärcher	N1 Kleinkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
24	RT-BR 521/neu	Kiefer Bokimobil 1251 >3,5t	N1 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2035

Nr.	Fahrzeug	Modell	Klasse	Abteilung	Standort	Ersatzbeschaffung
25	RT-BR 522/neu	Kiefer Bokimobil 1251 >3,5t	N1 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2035
26	RT-BR 525	Ssp.Geräteträger Boki 1251	N1 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
27	RT-BR 270	Kleinkehrmaschine Swingo	N2 Kleinkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
28	RT-BR 520	Kleinkehrmaschine Swingo	N2 Kleinkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2026
29	RT-BR 721E	Kleinkehrmaschine Swingo Elektro	N2 Kleinkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
30	RT-BR 624	Kompaktkehrmaschine SWINGO 200	N2 Kleinkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2027
31	RT-BR 672	Multicar Fumo	N2 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
32	RT-BR 320	Multicar M31	N2 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2030
33	RT-BR 570	Multicar M31 Ölspurbeseitiger	N2 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
34	RT-BR 201	Ssp.Geräteträger Boki 1251	N2 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2027
35	RT-BR 202	Ssp.Geräteträger Boki 1251	N2 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2027
36	RT-BR 573	Ssp.Geräteträger Boki 1252	N2 Geräteträger	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
37	RT-BR 860	DB-Atego Großkehrmaschine	N2	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
38	RT-BR 503	DB-Vario Allrad	N2	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2026
39	RT-BR 250	MAN TGL mit Kofferaufbau	N2	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
40	RT-BR 640	MAN TGM mit Kofferaufbau	N2	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2033
41	RT-285	MAN-Kipper 10t 4x4	N2 Kipper	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2026
42	RT-BR 288	Faun Vajet 6m³ auf Atego	N2 Großkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2027
43	RT-BR 124/688	Faun Vajet 6m³ auf Atego	N3 Großkehrmaschine	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2035
44	RT-BR 671	MAN Kipper	N3 Kipper	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
45	RT-BR 143	DB Actros Abrollkipper 6x2	N3 Baufahrzeug	TBR 30	Schinderteich 1	2026
46	RT-252	DB-Actros Abrollkipper 6x4	N3 Baufahrzeug	TBR 30	Schinderteich 1	2028
47	RT-BR 360	MAN 6x4 Meiller ARK	N3 Baufahrzeug	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2027
48	RT-BR 152	DB-Waschfahrzeug 18t	N3 Spülfahrzeug	TBR 30	Schinderteich 1	2026
49	RT-BR 209	DB-Arocs mit Zölleraufbau	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028

Nr.	Fahrzeug	Modell	Klasse	Abteilung	Standort	Ersatzbeschaffung
50	RT-BR 210	DB-Econic mit Zölleraufbau	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
51	RT-BR 264	DB-Econic mit Zölleraufbau	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
52	RT-BR 265	DB-Econic mit Zölleraufbau	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2028
53	RT-BR 261	DB-Econic mit Zölleraufbau Sperrmüll	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
54	RT-BR 185	MAN Müllwagen	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2026
55	RT-BR 157	MAN Sperrmüllwagen	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2026
56	RT-BR 915	Scania mit Zölleraufbau	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
57	RT-BR 916	Scania mit Zölleraufbau	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
58	RT-BR 917	Scania mit Zölleraufbau	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
59	RT-BR 918	Scania mit Zölleraufbau	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2029
60	RT-BR 257	Scania MÜWa Rotopress	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2027
61	RT-BR 259	Scania MÜWa Rotopress	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
62	RT-BR 260	Scania MÜWa Zöller X2 EVO	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2025
63	RT-BR 258	Scania MÜWa Zöller X2i	N3 Abfallsammler	TBR 30	Am Heilbrunnen 107	2027
64	RT-BR 194E	VW E-Up	M Kleinwagen	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2030
65	RT-BR 174/644E	Renault Zoe	M Kompaktklasse	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2035
66	RT-BR 513/645E	Renault Zoe	M Kompaktklasse	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2035
67	RT-BR 576	Fiat Doblo Pritsche	M Kompaktklasse	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2029
68	RT-BR 601	DB-Sprinter	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2028
69	RT-BR 141	DB-Sprinter Werkstattwagen	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2025
70	RT-BR 322	DB-Sprinter Werkstattwagen	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2025
71	RT-BR 324	DB-Sprinter Werkstattwagen	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2025
72	RT-BR 616	Sprinter	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2028
73	RT-BR 646	Sprinter Pritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2033
74	RT-BR 544	T5 Pritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2027

Nr.	Fahrzeug	Modell	Klasse	Abteilung	Standort	Ersatzbeschaffung
75	RT-BR 433	VW T5	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2028
76	RT-BR 115	VW-T5 Pritsche m. Plane	N1 Leichtes Nfz	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2025
77	RT-BR 567	DB-Sprinter Doka Pritsche 5t	N2	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2027
78	RT-BR 581	Sprinter Kran Leuchtpfeil	N2	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2029
79	RT-BR 718	Sprinter Pritsche	N2	TBR 40	Am Heilbrunnen 107	2030
80	RT-BR 912E	Renault Zoe	M Kompaktklasse	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2030
81	RT-BR 109	VW-Touran	M Mittelklasse	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2025
82	RT-BR 726	Crafter	N1 Leichtes Nfz	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2030
83	RT-BR 603	DB-Doka-Tiefpritsche 3,5t	N1 Leichtes Nfz	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2028
84	RT-BR 361	DB-Doka-Tiefpritsche 3,5t	N1 Leichtes Nfz	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2027
85	RT-BR 727	MAN TGE	N1 Leichtes Nfz	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2031
86	RT-BR 594	Sprinter 3,5t Pritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2030
87	RT-BR 535	Sprinter Pritsche Kran	N1 Leichtes Nfz	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2033
88	RT-BR 537	Sprinter Pritsche Kran	N1 Leichtes Nfz	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2033
89	RT-BR 748E	Goupil G4	N1 Geräteträger	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2031
90	RT-BR 572	Wacker Neusson Raddumper 1501	N1 Geräteträger	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2025
91	RT-BR 531	Mercedes-Benz Doka-Tiefpritsche	N1 Pufferfahrzeug	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2026
92	RT-BR 524	DB-Doka-Tiefpritsche 3,88 t	N2 Pufferfahrzeug	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2027
93	RT-BR 609	Sprinter DoKa mit Blitzler	N2	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2028
94	RT-BR 617	Sprinter mit Kran 5,0t	N2	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2028
95	RT-BR 724	MAN TGM 2-Achser	N3	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2030
96	RT-BR 910	MAN Meiller Abroller	N3	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2029
97	RT-BR 142	DB Abrollkipper 4x4+2	N3 Baufahrzeug	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2035
98	RT-296	MAN Abrollkipper 4x4	N3 Baufahrzeug	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2026
99	RT-BR 635	MAN Meiller Abroller	N3 Baufahrzeug	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2028

Nr.	Fahrzeug	Modell	Klasse	Abteilung	Standort	Ersatzbeschaffung
100	RT-BR 502	MAN-Abrollkipper 4x4+2	N3 Baufahrzeug	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2026
101	RT-BR 290	Scania 6x4*4 Meiller ARK	N3 Baufahrzeug	TBR 50	Am Heilbrunnen 107	2028
102	RT-BR 710E	Renault Zoe	M Kompaktklasse	TBR 60	Friedhof	2030
103	RT-BR 711E	Renault Zoe	M Kompaktklasse	TBR 60	Friedhof	2030
104	RT-BR 913E	Renault Zoe	M Kompaktklasse	TBR 60	Friedhof	2030
105	RT-BR 303E	VW Passat Hybrid	M Mittelklasse	TBR 60	Friedhof	2029
106	RT-BR 151	DB Sprinter Sargtransporter	N1 Leichtes Nfz	TBR 60	Friedhof	2026
107	RT-BR 103	DB-Vito Bestattungswagen	N1 Leichtes Nfz	TBR 60	Friedhof	2026
108	RT-BR 839	DB-Vito Bestattungswagen	N1 Leichtes Nfz	TBR 60	Friedhof	2030
109	RT-BR 251	VW T6	N1 Leichtes Nfz	TBR 60	Friedhof	2029
110	RT-BR 633	Bokimobil HY 1252	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2029
111	RT-BR 865	Bokimobil HY 1252	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2030
112	RT-BR 618	Bokimobil HY1252	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2028
113	RT-BR 156	Multicar Fumo Doka	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2025
114	RT-BR 368	Multicar Fumo Hydrostat	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2027
115	RT-BR 136	Multicar Fumo samt Müllpresse	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2025
116	RT-BR 714	Multicar M31	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2030
117	RT-BR 586	Multicar mit Gergen Abrollkipper	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2032
118	RT-BR 866	Multicar mit Gergen Abrollkipper	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2030
119	RT-BR 528	Ssp.Geräteträger Boki 1351	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2025
120	RT-BR 204	Ssp.Geräteträger Boki 1351	N2 Geräteträger	TBR 60	Friedhof	2026
121	RT-BR 367	Fiat Strada Pick Up	M Kompaktklasse	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2025
122	RT-BR 854E	Nissan NV 200e	M Kompaktklasse	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2030
123	RT-BR 739E	Nissan NV200e	M Kompaktklasse	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2031
124	RT-BR 580	VW Caddy Diesel	M Kompaktklasse	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2027

Nr.	Fahrzeug	Modell	Klasse	Abteilung	Standort	Ersatzbeschaffung
125	RT-BR 370	VW Caddy Erdgas	M Kompaktklasse	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2027
126	RT-BR 833	VW Caddy Kasten	M Kompaktklasse	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2030
127	RT-BR 526	VW Caddy Kasten	M Kompaktklasse	TBR 70	Schinderteich 1	2026
128	RT-BR 514	DB-Sprinter Doka	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2026
129	RT-BR 575	DB-Sprinter Tiefpritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2029
130	RT-BR 629	DB-Sprinter Tiefpritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2028
131	RT-BR 602	Sprinter DoKa Tiefpritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2028
132	RT-BR 325	Sprinter-Ruthmann TBR200	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2025
133	RT-BR 536	T 5 Doka	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2027
134	RT-BR 365	Transporter VW DoKa	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2027
135	RT-BR 736	VW T6.1 Einzelkabine Pritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2030
136	RT-BR 735	VW T6.1 Kasten geschlossen	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2031
137	RT-BR 534	VW Doka Pritsche	N1 Leichtes Nfz	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2027
138	RT-BR 749E	Goupil G4	N1 Geräteträger	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2031
139	RT-BR 363	Holder C250	N1 Geräteträger	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2028
140	RT-BR 589	Holder C70 TC	N1 Geräteträger	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2030
141	RT-BR 722	VW Crafter Pritsche	N2	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2030
142	RT-BR 351	DB-Vario Doka-Kipper 816D	N2 Kipper	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2026
143	RT-BR 627	MAN Krankipper mit Palfinger-Kran	N2 Krankipper	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2028
144	RT-BR 820	MAN Hubarbeitsbühne Ruthmann	N3 Hubarbeitsbühne	TBR 70	Am Heilbrunnen 107	2028

4.2 Elektrifizierungspotenziale

Im folgenden Kapitel werden die Elektrifizierungspotenziale auf Basis der TLL bzw. TBS untersucht. Wie oben ausgeführt, stellen sich in Abhängigkeit der Fahrzeugklassen sehr unterschiedliche Herausforderungen, deshalb erfolgt diese Betrachtung nach Gruppen von Fahrzeugklassen differenziert: Pkw und leichte Nfz stellen die Gruppe mit gutem vollelektrischem Marktangebot dar, N2 Nutzfahrzeuge sind derzeit kaum als vollelektrische Varianten mit praxistauglicher Reichweite verfügbar, während N3 Nutzfahrzeuge derzeit mit attraktiven Reichweiten in den Markt eintreten.

4.2.1 Fahrzeugspezifische Nutzungsintensitäten

Die Elektrifizierbarkeit wird mit Blick auf die Fahrprofile durch TLL bzw. TBS untersucht. Es werden also nicht Einzelfahrten untersucht, um festzustellen, ob ein Fahrzeug elektrisch substituierbar ist, da vermieden werden soll, dass die Elektrifizierung auf Zwischenladungen im Tagesverlauf angewiesen ist. So soll sichergestellt werden, dass die Elektromobilität ohne Komfortverlust umgesetzt wird und auch von Mitarbeitenden problemlos genutzt werden kann, die dem Thema indifferent oder ablehnend gegenüberstehen. Im realen Betrieb werden schnell Erfahrungswerte erworben, auf deren Basis perspektivisch auch dort elektrifiziert wird, wo Zwischenladungen nötig sind, dies aber aufgrund der Nutzungsstruktur auch möglich ist.

Die fahrzeugspezifische Nutzungsintensität wird visualisiert, indem je Fahrzeug die 5 größten TLL abgebildet werden. Auf dieser Basis lässt sich feststellen, ob es sich bei großen TLL um Ausreißer handelt – bspw. mehrtätige Schulungen, für die im konkreten Fall auch der ÖPNV genutzt, alternativ bei BEV-Einsatz problemlos auswärts zwischen geladen werden könnte – oder ob es sich um das gängige Profil des Fahrzeugs handelt. Die maximale TLL ist in den nachfolgenden Abbildungen zudem beschriftet, so dass sie einfach erschließbar ist. Darüber hinaus ist mittels blauer Markierungen dargestellt, welche Reichweiten am Markt verfügbare, vollelektrische Alternativen aufweisen (Werksangaben, die realen Reichweiten liegen also darunter. Sollten es sich bereits um vollelektrische Fahrzeuge handeln, sind keine blauen Markierungen eingetragen; die Elektrifizierbarkeit ist dann bereits belegt. Ebenso werden keine blauen Markierungen dargestellt, wenn es keine Alternative am Markt gibt. Eine finale Übersicht der Elektrifizierbarkeit sowie ggf. bestehender Hemmnisse je Fahrzeug erfolgt in Kapitel 4.2.3. Nach dem Kennzeichen ist in den nachfolgenden Abbildungen jeweils in Klammern die entsprechende Datenquelle angegeben.

Pkw (M)

Abbildung 8 zeigt – differenziert nach Abteilungen – die TLL der 24 Pkw mit Fahrprofil. Die Ergebnisse zeigen, dass fast alle Fahrzeuge moderate TLL zwischen 30 und 200 km aufweisen; Reichweiten von 400 km und mehr sind heute problemlos am Markt verfügbar, weshalb auf Basis dieser Betrachtung alle Pkw ohne Komfortverlust substituiert werden können. Weitere Hemmnisse können durch Anforderungen an die Fahrzeuge (bspw. Allradantrieb) resultieren, diese sind in Kapitel 4.2.3 aufgelistet. Die überwiegend sehr geringen Laufleistungen von unter 50 km pro Tag sind ein Indikator dafür, dass perspektivisch Fahrzeugnutzungen kombiniert und der Fuhrpark verkleinert werden könnte. Die Verkleinerung des Fuhrparks stellt den einzigen Stellhebel dar, aus der Elektrifizierung entstehende Mehrkosten abzumildern. Das Fahrzeug der Betriebsleitung (TBR 10) stellt eine Ausnahme dar; das Fahrprofil stellt sich nicht elektrifizierbar dar. Hier kommt bereits ein Plug-in-Hybridfahrzeug zum Einsatz. Da das Fahrzeug auch privat genutzt wird, könnte es eine Strategie sein, auch am Wohnort eine Lademöglichkeit zu schaffen, um einen vollelektrischen Einsatz zu ermöglichen. Dies wurde in der Analyse ausgeklammert.

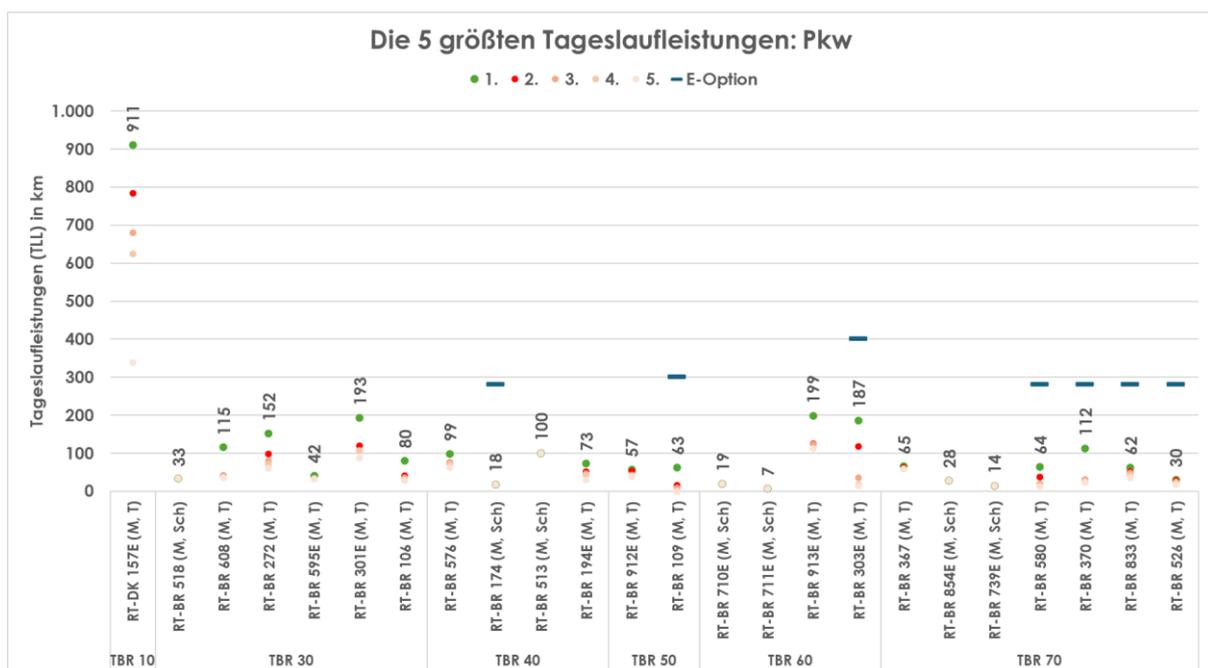


Abbildung 8: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in der Klasse M. Quelle [eigene Darstellung]

Leichte Nfz (N1 Transporter)

Die hierauf folgende Abbildung 9 gibt die TLL der Fahrzeugklasse N1 Transporter (auch „Sprinterklasse“) wieder. Dies umfasst alle Fahrzeuge dieser Klasse, unabhängig von Aufbau/Ausführung (Pritsche, Kran, Leichtmüllverdichter, Doppelkabine). Auch hier zeigt sich, dass die TLL der Fahrzeuge von einigen Ausnahmen abgesehen unter 200 km liegen, was sich durch vollelektrische Fahrzeuge am Markt abdecken lässt. Die Herausforderung besteht letztlich darin, dass Automobilhersteller ihre vollelektrischen Fahrzeuge häufig nicht mit den genannten Ausführungen anbieten. Mittelfristig sollten diese Modelle am Markt verfügbar sein. Teilweise bauen Spezialfirmen Fahrzeuge um. Hierzu haben sich die Abteilungsleiter der TBR dafür ausgesprochen, ausschließlich Elektrofahrzeuge zu beschaffen, die bereits ab Werk vollelektrisch verfügbar sind, keine hinsichtlich des Antriebs umgerüsteten Fahrzeuge. Vollelektrische Fahrzeuge, die von einem Dienstleister mit dem entsprechenden Aufbau versehen werden, sollen indes in Betracht gezogen werden. Hintergrund ist, dass bei umgerüsteten Fahrzeugen negative Erfahrungen mit Zuverlässigkeit und Service gemacht wurden.

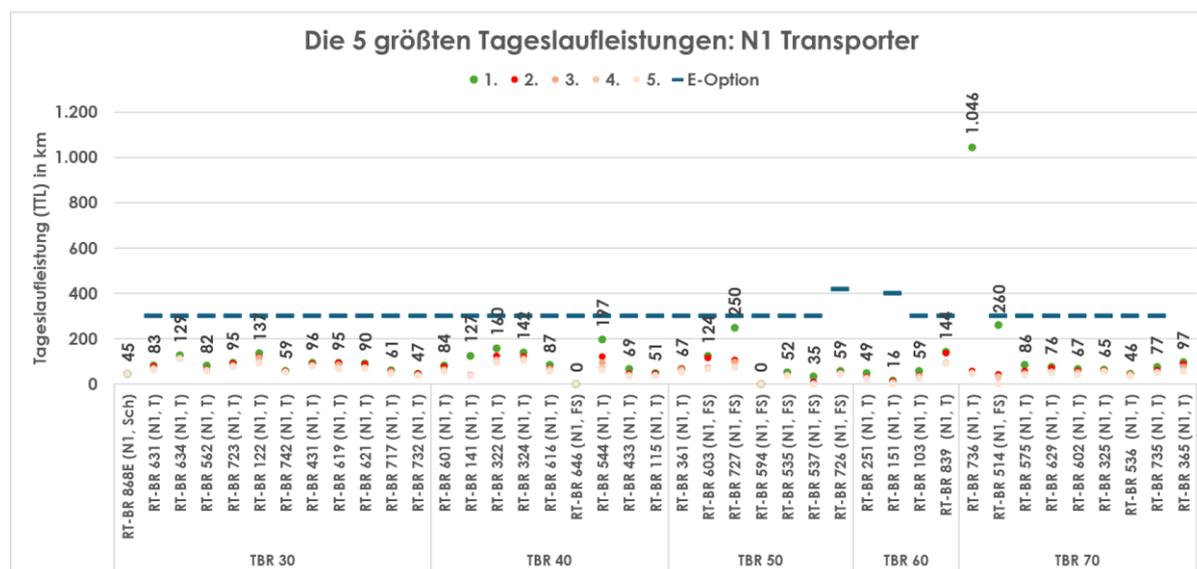


Abbildung 9: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in der Klasse N1 Transporter. [Quelle: eigene Darstellung]

Geräteträger und Kleinkehrmaschinen

Die folgende Abbildung 10 fasst die Geräteträger und Kleinkehrmaschinen (Fahrzeugklassen N1 und N2) zusammen. Es sind dies einerseits die 25 Geräteträger (Schmalspurfahrzeuge für den kommunalen Einsatz) auf der linken Seite der Abbildung und andererseits die 8 Kleinkehrmaschinen auf der rechten Seite. Diese Fahrzeuge weisen durchgehend TLL auf, die mit neu am Markt verfügbaren Alternativen geleistet werden können. Allerdings stehen derzeit im Bereich der Geräteträger lediglich elektrische Alternativen mit einer Zuladung von ca. 2 t zur Verfügung. Für zeitnah zu ersetzende Fahrzeuge dieser Klasse wird für Fahrzeuge mit höherer Anforderung deshalb keine Elektrifizierung vorgeschlagen. Mittelfristig werden Fahrzeuge mit einer Zuladung von 3,5 t am Markt verfügbar sein⁷, weshalb ab 2029 beschaffte Fahrzeuge dieser Klasse als elektrifizierbar angesehen werden.

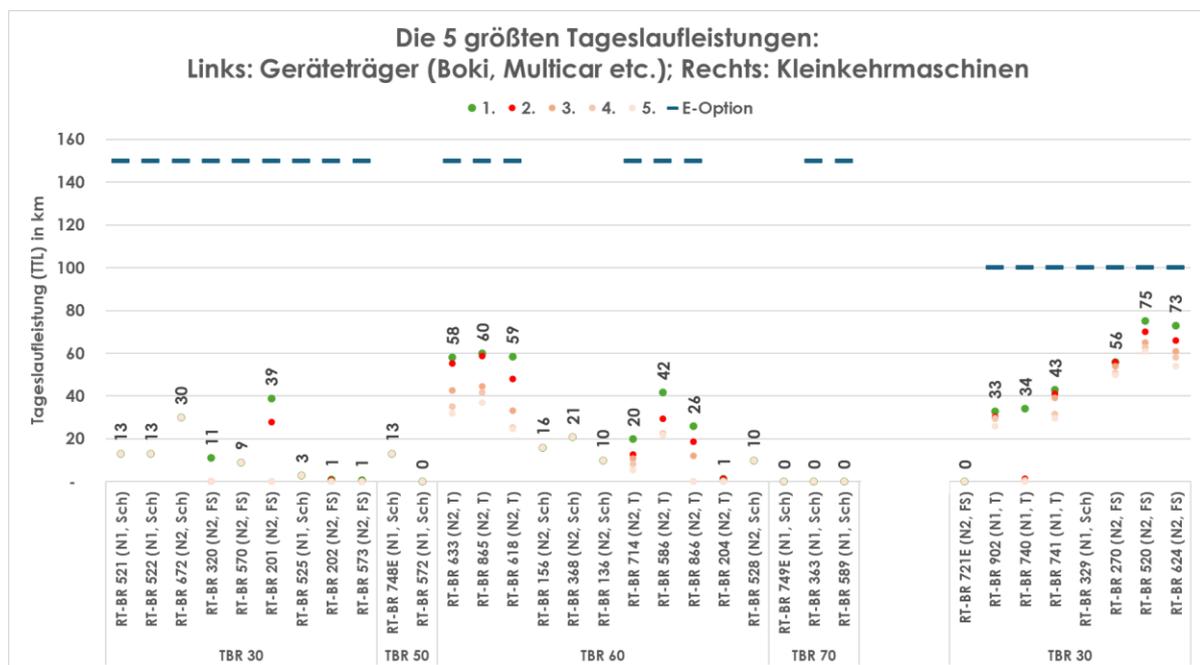


Abbildung 10: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in den Klassen Geräteträger und Kleinkehrmaschinen (N1 und N2). [Quelle: eigene Darstellung]

Hierbei ist allerdings zu beachten, dass es sich um spezielle Einsätze handelt, bei denen das jeweilige Alternativfahrzeug zuerst erprobt werden sollte, bspw. wird bereits eine vollelektrische Kehrmaschine eingesetzt, die den Anforderungen nicht gerecht wird. Auch können die Aufbauten in Einzelfällen zusätzliche Energiebedarfe aufweisen (bspw. Leichtmüllverdichter), die im Rahmen des Konzepts nicht eruiert werden konnten. Ein Einstieg sollte deshalb mit Fahrzeugen gemacht werden, deren Aufbauten keine zusätzlichen Energiebedarfe aufweisen (Pritsche etc.)

⁷ Tel. Rückmeldung des Vertriebs von Küpper Weisser, Hersteller des Boschung Pony 3.0 (28.08.2025)

Mittelschwere Nfz (N2)

Die Fahrzeugklasse der mittelschweren Nutzfahrzeuge stellt zum gegenwärtigen Zeitpunkt die größte Herausforderung für die Elektromobilität dar. Im oberen Nutzlastbereich dieses Segments sind derzeit lediglich Fahrzeuge am Markt verfügbar, die bei guten Bedingungen im Bereich von 100-120 km Reichweite aufweisen. Mit Blick auf die TLL der N2-Nutzfahrzeuge der TBR können diese Fahrzeuge zum heutigen Zeitpunkt nicht als vollwertige Alternativen genannt werden. Sechs Fahrzeuge im unteren Nutzlastbereich dieses Segments können indes als elektrifizierbar angesehen werden.

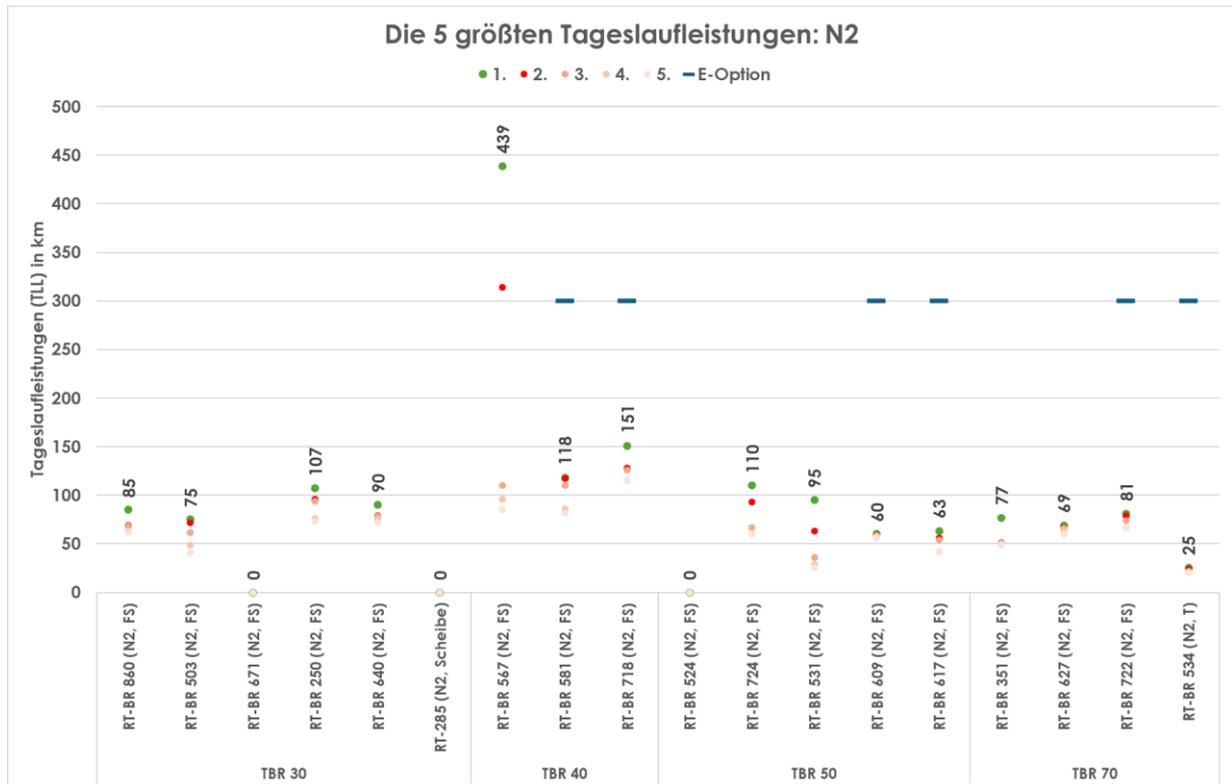


Abbildung 11: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in der Klasse N2. [Quelle: eigene Darstellung]

Schwere Nfz (N3)

Die schweren Nutzfahrzeuge in Abbildung 12 stellen die letzte Fahrzeugklasse dar. In diesem Segment hat sich vor allem in den Jahren 2023 und 2024 das Angebot am Markt vergrößert. Ein sehr gut geeignetes Einsatzgebiet sind Abfallsammler, wo bereits verschiedene praxistaugliche Modelle verfügbar sind. Aufgrund der Topographie Reutlings sollte auch hier der Einsatz zuerst erprobt werden, die TBR sind hier bereits im Austausch mit anderen Betriebshöfen. Eine Herausforderung, die sich bisher nicht überwinden lässt, zeigt sich im Baubetrieb (TBR 50): Die hier eingesetzten Fahrzeuge benötigen einen Allradantrieb, den es derzeit am Markt bei vollelektrischen Fahrzeugen allerdings nicht gibt. Im Rahmen der Konzepterstellung wurden mehrere Nachfragen hierzu bei Fahrzeugherstellern platziert, die allesamt unbeantwortet blieben. Mittel- bis langfristig ist indes davon auszugehen, dass diese Modelle verfügbar sein werden. Derzeit liegt der Fokus der Hersteller darauf, Reichweiten zu erhöhen und in Marktsegmenten Fuß zu fassen, in denen die Großserie ohne weitere Spezialanforderungen absetzbar ist (bspw. Logistik). Grundsätzlich sind die Anforderungen an Laufleistungen der Fahrzeuge mit den verfügbaren Reichweiten aber bereits erfüllbar.

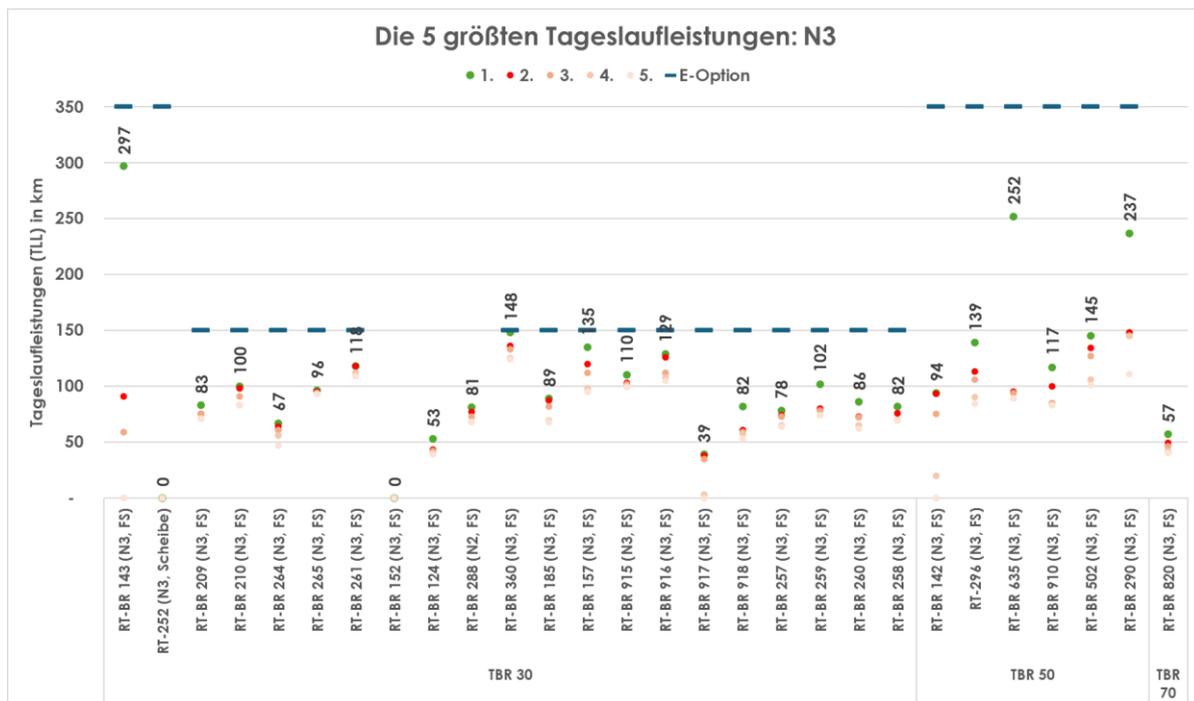


Abbildung 12: Die jeweils 5 größten TLL der Fahrzeuge in der Klasse N3. [Quelle: eigene Darstellung]

4.2.2 Fuhrparkspezifische Auslastungsintensitäten

Nach der Untersuchung der fahrzeugspezifischen Nutzungsintensitäten wird im Folgenden die fuhrparkspezifische Auslastungsintensität untersucht. Die Elektrifizierung, deren Machbarkeit im vorhergehenden Kapitel betrachtet wurde, kann zu signifikanten Mehrkosten im Fuhrpark führen; dies vor allem dann, wenn Fahrzeuge wenig genutzt werden: Elektrofahrzeuge können die Kostennachteile in der Beschaffung in der Regel nur dann durch geringere Kosten im Betrieb einspielen, wenn sich entsprechend hohe Jahreslaufleistungen (JLL) ergeben. Eine dezidierte Übersicht hierzu liefert bspw. das Fraunhofer ISI für Pkw. Hierbei zeigen sich bereits bei mittleren JLL von 14.000 km teilweise signifikante Kostenvorteile.⁸

Da Fuhrparks in den meisten Fällen nicht zentral verwaltet und ausgewertet werden, sind sie häufig zu groß. Werden Fuhrparkeinheiten nicht effizient betrieben, ergeben sich Redundanzen im Fuhrpark, was sich innerhalb poolingfähiger Fahrzeuggruppen in entsprechend geringen Laufleistungen niederschlägt. Während im Verwaltungskontext eine stärkere Verkleinerung des Fuhrparks durch Diversifizierung (Einsatz von Pedelecs, Sharing etc.) erreicht werden kann, stellt dies im Rahmen eines Bau- und Betriebshofs nur ausnahmsweise eine Alternative dar. Hier kann lediglich untersucht werden, ob Redundanzen durch Daten visualisiert werden können.

Die nachfolgenden Darstellungen zeigen für festgelegte Teilmengen des Gesamtfuhrparks (bspw. differenziert nach Fahrzeugmodellen, Standorten, Abteilungen) Auslastungen an. Dies erfolgt, indem alle Fahrten aller als poolingfähig betrachteten Fahrzeuge einer solchen Teilmenge innerhalb des Betrachtungszeitraums für einen fiktiven Tagesverlauf übereinandergelegt werden. Die Auswertung erfolgt viertelstundenbasiert, da sie somit auch für die Ermittlung der Lastgänge als Eingangsgröße dienen kann. So zeigt die nachfolgende Abbildung exemplarisch für die 21 Pkw der TBR am Standort „Am Heilbrunnen 107“ deren Auslastung an. Da die drei obersten Zeilen durchgängig rot eingefärbt sind, waren stets 3 von 21 Fahrzeugen ungenutzt – wenngleich nicht zwingend immer dieselben. Die dunkelgrün eingefärbten Zeilen im unteren Bereich zeigen an, dass 5 Fahrzeuge immer, 2 weitere Fahrzeuge fast immer in Nutzung waren. Dies wird in der Realität ggf. etwas weniger intensiv ausgefallen sein, hier können sich die Unsicherheiten der Datenquellen niederschlagen (Kapitel 4.1.4). Die Auslastung fällt in der Realität methodisch bedingt also ggf. etwas geringer aus, in keinem Fall kann sie indes höher ausfallen. Interessant ist stets, wie viele Fahrzeuge immer ungenutzt sind und wie intensiv die Nutzung innerhalb der Peaks ist.

⁸ S. 8 https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/03/NOW_Factsheet_Vergleich-Antriebsarten-Pkw.pdf (abgerufen 04.07.2024)

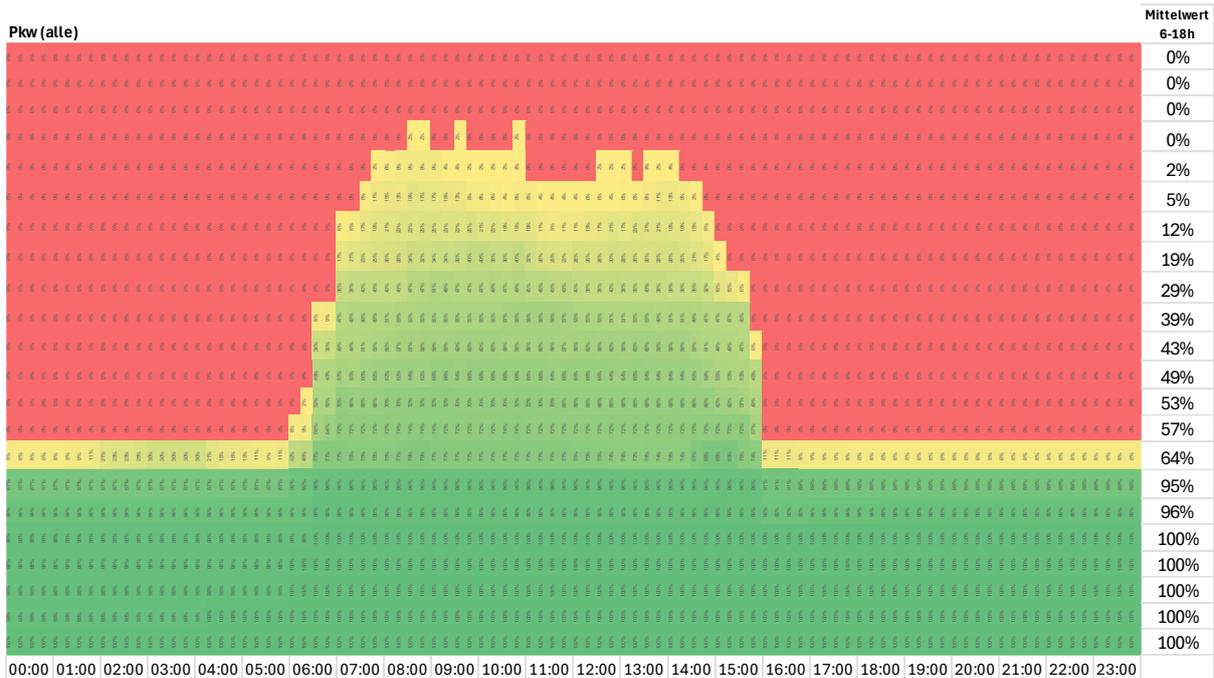


Abbildung 13: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse M. [Quelle: eigene Darstellung]

Im Rahmen eines Projekttreffens wurde die vorherige Abbildung zur Diskussion gestellt. Hier zeigte sich, dass die Fahrzeuge aufgrund verschiedener Aspekte (bspw. Nutzung während Bereitschaftsdiensten) nicht als miteinander poolingfähig angesehen wurden. Stattdessen wurden die in Abbildung 14 ausgewerteten Fahrzeugpools identifiziert. So zeigt sich am Heilbrunnen (Abbildung 14 oben), dass ein Fahrzeug stets ungenutzt blieb und somit entnommen werden könnte; da die Fahrzeuge von den Abteilungsleitern durchweg als „bedingt poolingfähig“ eingeschätzt werden, wird in der weiteren Analyse kein Fahrzeug entnommen. Die sehr hohen Auslastungen während der Nächte deuten darauf hin, dass – wie oben beschrieben – bei 1-2 Fahrzeugen eine unrealistisch hohe Auslastung aus der Datenanalyse resultiert.

Neben diesem Pkw-Pool ergibt sich ein Abteilungspool der Abteilung TBR 70, der in Abbildung 14 unten ausgewertet wurde. Eine gleichzeitige Auslastung aller 7 Fahrzeuge dieses Pools ergab sich lediglich in 2% aller Tage. Solch geringe Überschneidungen können auch durch Absprachen vermieden werden, hierzu sind keine digitalen Verwaltungssysteme nötig.

Die Pools setzen sich aus den folgenden Fahrzeugen zusammen:

Standort Am Heilbrunnen 107 (bedingt poolingfähig, sukzessiver Umstieg empfohlen):

- RT-DK 157E, RT-BR 518, RT-BR 109, RT-BR 174/644E, RT-BR 513/645E, RT-BR 194E

Abteilungspool TBR 70:

- RT-BR 367, RT-BR 854E, RT-BR 739E, RT-BR 580, RT-BR 370, RT-BR 833

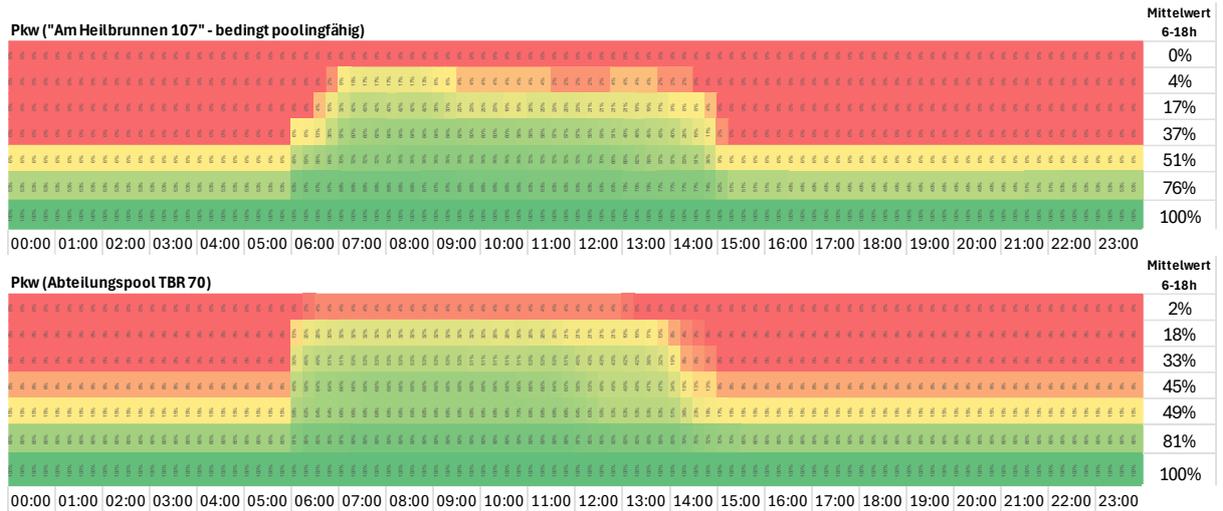


Abbildung 14: Auslastungsintensität der poolingfähigen Fahrzeuge der Klasse M. [Quelle: eigene Darstellung]

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Auswertung der 25 Geräteträger in Abbildung 16. 8 Fahrzeuge stehen immer, von einer Dreiviertelstunde im Betrachtungszeitraum abgesehen sogar 9. Auch hier wäre eine detailliertere Untersuchung poolingfähiger Teilgruppen nötig, was sich aus Sicht der Abteilungsleitungen ebenso begründet wie bei den N1 Transportern. Die Gruppe der Geräteträger wird ebenfalls nicht verkleinert.

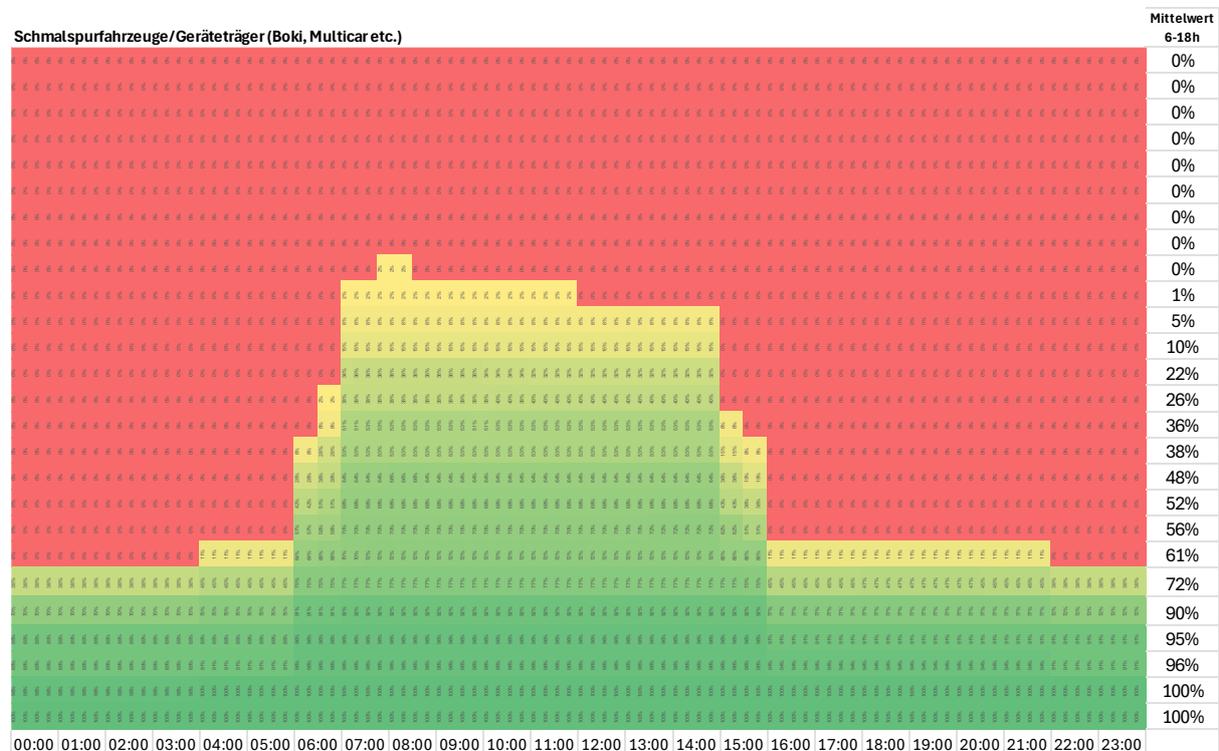


Abbildung 16: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse Geräteträger (N1 und N2). [Quelle: eigene Darstellung]

Abbildung 17 zeigt die Auslastung der 8 Kleinkehrmaschinen (N1). Eine Verkleinerung dieser Gruppe ist nicht angezeigt, da die Fahrzeuge häufig gewartet werden müssen, was einen Puffer begründet. Zudem werden sie phasenweise im Winterdienst eingesetzt.

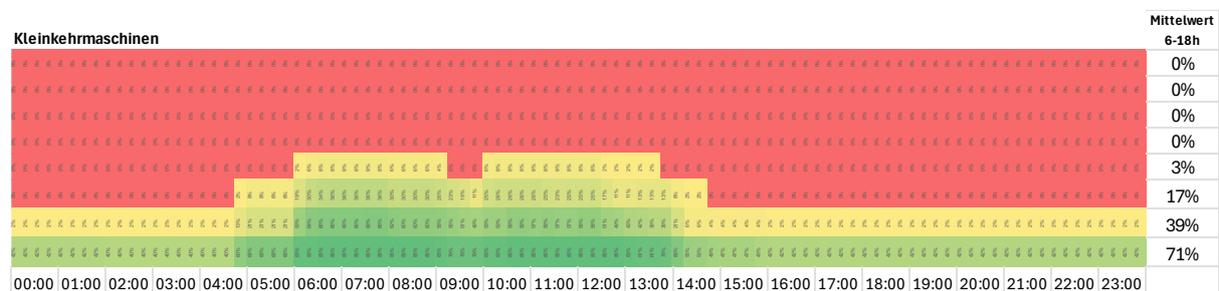


Abbildung 17: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse Kleinkehrmaschinen (N1 und N2). [Quelle: eigene Darstellung]

Geringer ausgeprägte Redundanzen legen die Auswertungen für N2- und N3-Nutzfahrzeuge nahe (Abbildung 18 und Abbildung 19). Auch hier ist zu bedenken, dass die Fahrzeuge häufiger gewartet werden müssen als Pkw und dass zudem ihr Einsatzzweck in vielen Fällen zeitlich keinen Aufschub duldet (bspw. Winterdienst). Vor diesem Hintergrund ist für die Klasse N2 keine Verkleinerung angezeigt, während die Klasse N3 detaillierter betrachtet werden sollte.

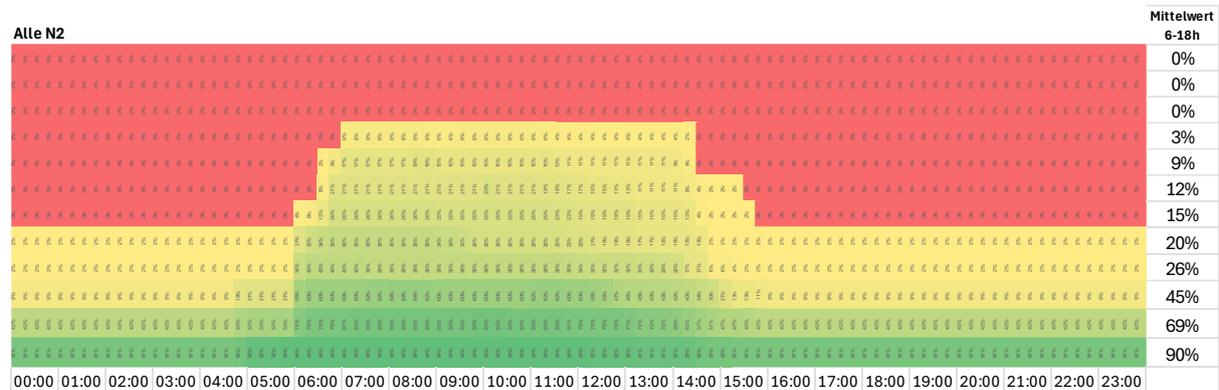


Abbildung 18: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N2. [Quelle: eigene Darstellung]

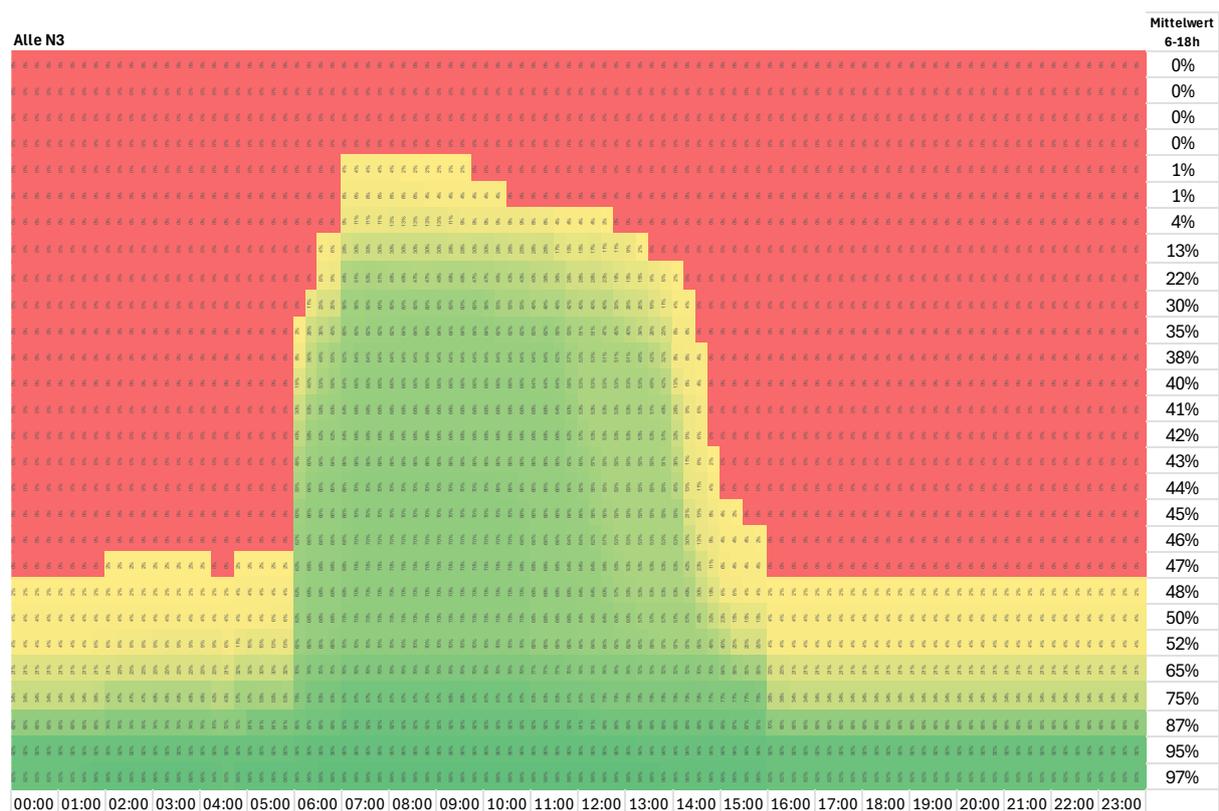


Abbildung 19: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N3. [Quelle: eigene Darstellung]

Diese Detailbetrachtung der N3-Nfz erfolgte einerseits mit Blick auf die 17 Abfallsammler und Großkehrmaschinen in Abbildung 20, wo sich eine ausgesprochen gute Auslastung zeigt, und andererseits mit Blick auf die 6 Baustellenfahrzeuge in Abbildung 21,

die ebenfalls sehr gut ausgelastet sind. Somit ergeben sich auch für diese Gruppe keine Verkleinerungspotenziale.

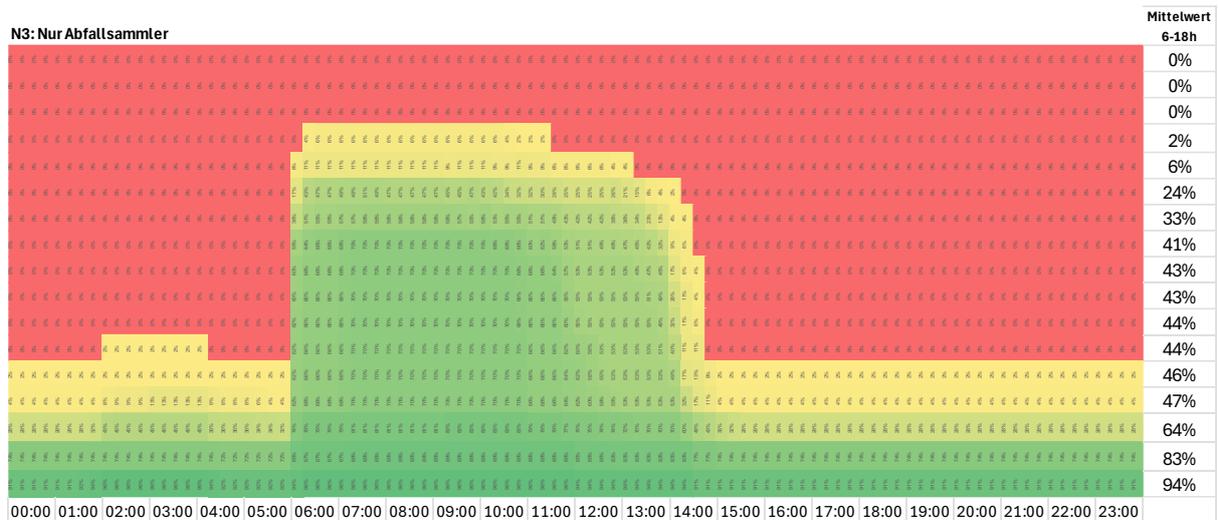


Abbildung 20: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N3 Abfallsammler. [Quelle: eigene Darstellung]

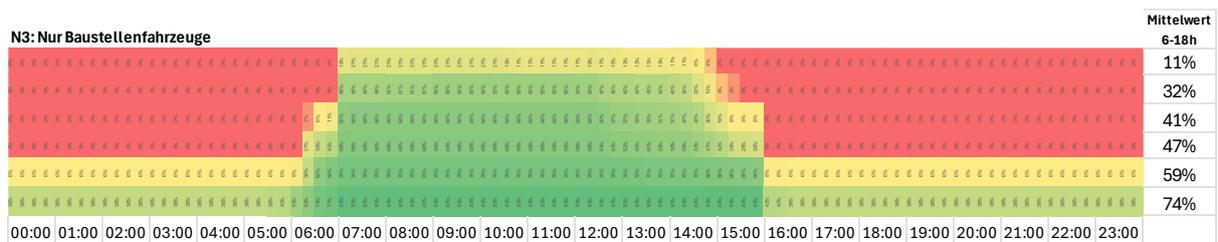


Abbildung 21: Auslastungsintensität aller Fahrzeuge der Klasse N3 Baustellenfahrzeuge. [Quelle: eigene Darstellung]

Zusammenfassend konnten Verkleinerungspotenziale im Pkw-Bereich (2 Fahrzeuge) identifiziert werden, bei den N1-Nutzfahrzeugen der Sprinterklasse und den Geräteträgern liegen Verkleinerungspotenziale nahe. In den anderen Segmenten können keine Verkleinerungspotenziale identifiziert werden.

4.2.3 Fahrzeugsubstitution

Auf Basis der zuvor dargelegten Fahrprofile wurde geprüft, ob vollelektrische Modelle als Substitutionsfahrzeuge infrage kommen. Da sich vielfach nur geringe bis moderate TLL zeigen, ergeben sich reichweitenbasiert entsprechend große Elektrifizierungspotenziale. Daneben können auch weitere Aspekte einer Elektrifizierung entgegenstehen. Diese wurden im Rahmen von Projektterminen abgestimmt. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um die Verfügbarkeit von Allradantrieben oder Aufbauten.

Der Markt für vollelektrische schwere Nfz entwickelt sich derzeit rasant. So haben zahlreiche Anbieter mittlerweile Fahrzeuge am Markt, die für spezifische Einsatzzwecke ohne Komforteinbuße geeignet sind (bspw. Abfallsammler). Gleichwohl ist festzustellen, dass der Fokus der Fahrzeughersteller auf Expeditionen zu liegen scheint, wo Fahrzeuge ohne weitere Spezifikationen abgesetzt werden können (Allrad, Aufbauten). Verschiedene Anfragen im Rahmen der Konzepterstellung zur Einführung solcher Spezifikationen blieben unbeantwortet. Mittelfristig geht das Konzept von einer Verfügbarkeit aus, so dass eine praxisgerechte Elektrifizierung perspektivisch möglich ist.

Schwieriger stellt sich dies im Bereich der Sfz dar. So sind derzeit keine entsprechenden Alternativen für Unimogs, Schlepper, Bagger oder Mäher verfügbar. Einzelne elektrische Fahrzeugtypen sind bereits verfügbar (bspw. Radlader), hier muss aber beachtet werden, dass die Fahrzeuge tlw. mehrere Tage ohne Lademöglichkeiten bspw. auf Baustellen betrieben werden. Der Einsatz von mobilen Ladern wird ggf. langfristig eine umsetzbare Strategie sein, mit Blick auf die gesamten Herausforderungen scheint die Konzentration auf skalierbare Lösungen (Fahrzeuge in Großserien) indes zielführender.

In Tabelle 7 wird die Fahrzeugübersicht aus Kapitel 4.1.5 angepasst. Sie wurde um die maximale Tageslaufleistung und die errechnete Jahreslaufleistung ergänzt. Zudem ist eine Spalte enthalten, die in klaren Fällen ein beispielhaftes, verfügbares Substitutionsfahrzeug enthält, in heute noch fraglichen Fällen das existierende Hemmnis benennt. Mittel- bis langfristig steht zu erwarten, dass alle genannten Hemmnisse abgebaut werden können, so dass ein vollelektrischer Fuhrpark denkbar wird. Die Tabelle zeigt zudem auf, bei welchen Fahrzeugen welche Datenquellen genutzt wurde und welche Fahrzeuge für die weiteren Analysen aus dem Fuhrpark entfallen.

Die beispielhaften BEV sind so gewählt, dass sie die ermittelte TLL auch im Winter bewerkstelligen können. Zudem werden Umbauten von konventionellem auf elektrischen Antrieb wunschgemäß vermieden. Zuletzt wurde darauf geachtet, dass die Fahrzeuge marktverfügbar sind. Im Rahmen einer realen Beschaffung hat allerdings eine förmliche Vergabe zu erfolgen, die eine Vorauswahl konkreter Fahrzeugenmodelle ausschließt. Die Anforderungen an Lauf- und Ladeleistung zur Berücksichtigung als Wertungskriterien in der Vergabe können dem Konzept entnommen werden.

Langfristig erscheint es mit Blick auf die aktuellen Entwicklungen der Batterietechnologie realistisch, dass auch Sfz praxistauglich ersetzbar werden. Auch dann sind spezifische Prüfungen der Anforderungen mit der Marktverfügbarkeit nötig.

Tabelle 7: Fahrzeugprofile und vorgeschlagene Elektrifizierung. [Quelle: eigene Darstellung]

Nr.	Fahrzeug	Modell	Ersatz- beschaf- fung	Daten- quelle	Max. TLL in km	JLL in km	Beispielhaftes Substitutionsmodell bzw. Hemmniss
1	RT-DK 157E	Mercedes Benz C-Klasse Hybrid	2026	Tracker	911	42.905	VW ID7
2	RT-BR 595E	VW E-Up	2029	Tracker	42	2.706	bereits E, Ersatz wird günstiger
3	RT-BR 518	Fiat Strada Pick Up	2026	Schätzung	33	3.346	Bisher keine Alternative am Markt
4	RT-BR 608	Skoda Yeti 4x4	2025	Tracker	115	3.640	Skoda Enjaq
5	RT-BR 272	VW Caddy	2029	Tracker	152	9.861	Opel Combo-e Life (280 km)
6	RT-BR 106	VW-Caddy Erdgas	2025	Tracker	80	3.080	Opel Combo-e Life (280 km)
7	RT-BR 301E	VW Passat Hybrid	2029	Tracker	193	10.472	Opel Astra Electric (413 km)
8	RT-BR 631	DB Sprinter mit LMV	2028	Tracker	97	14.327	IVECO eDaily (bis 300 km)
9	RT-BR 634	DB Sprinter Plane Pritsche	2029	Tracker	200	24.512	IVECO eDaily (bis 300 km)
10	RT-BR 562	DB-Sprinter Doka	2027	Tracker	129	12.011	IVECO eDaily (bis 300 km)
11	RT-BR 723	DB-Sprinter Doka	2025	Tracker	95	11.601	IVECO eDaily (bis 300 km)
12	RT-BR 122	DB-Sprinter m. LMV	2025	Tracker	137	8.936	IVECO eDaily (bis 300 km)
13	RT-BR 742	MAN TGE mit Leichtmüllverdichter	2032	Tracker	59	11.135	IVECO eDaily (bis 300 km)
14	RT-BR 431	MB Sprinter mit LMV Hummel	2025	Tracker	96	8.172	IVECO eDaily (bis 300 km)
15	RT-BR 619	Sprinter	2028	Tracker	95	12.099	IVECO eDaily (bis 300 km)
16	RT-BR 621	Sprinter	2028	Tracker	90	11.630	IVECO eDaily (bis 300 km)
17	RT-BR 717	Sprinter mit Sinkkast	2030	Tracker	61	6.242	IVECO eDaily (bis 300 km)
18	RT-BR 868E	Streetscooter	2030	Schätzung	45	11.254	bereits BEV
19	RT-BR 732	VW T6 Doka Pritsche Allrad	2029	Tracker	47	4.821	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
20	RT-BR 902	Citymaster	2030	Tracker	33	1.473	BOSCHUNG Urban-Sweeper S2.0 (10h)
21	RT-BR 740	Hako Citymaster 1650	2025	Tracker	34	244	BOSCHUNG Urban-Sweeper S2.0 (10h)
22	RT-BR 741	Hako Citymaster 1650	2025	Tracker	43	1.255	BOSCHUNG Urban-Sweeper S2.0 (10h)
23	RT-BR 329	Kleinkehrmaschine Kärcher	2025	Schätzung	-	3.581	BOSCHUNG Urban-Sweeper S2.0 (10h)

24	RT-BR 521/neu	Kiefer Bokimobil 1251 >3,5t	2035	Schätzung	13	3.251	BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
25	RT-BR 522/neu	Kiefer Bokimobil 1251 >3,5t	2035	Schätzung	13	3.251	BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
26	RT-BR 525	Ssp.Geräteträger Boki 1251	2025	Schätzung	3	568	BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
27	RT-BR 270	Kleinkehrmaschine Swingo	2028	Fahrtenschreiber	56	5.901	BOSCHUNG Urban-Sweeper S2.0 (10h)
28	RT-BR 520	Kleinkehrmaschine Swingo	2026	Fahrtenschreiber	75	9.510	BOSCHUNG Urban-Sweeper S2.0 (10h)
29	RT-BR 721E	Kleinkehrmaschine Swingo Elektro	2028	Fahrtenschreiber	-	-	bereits BEV
30	RT-BR 624	Kompaktkehrmaschine SWINGO 200	2027	Fahrtenschreiber	73	6.685	BOSCHUNG Urban-Sweeper S2.0 (10h)
31	RT-BR 672	Multicar Fumo	2029	Schätzung	30	5.678	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
32	RT-BR 320	Multicar M31	2030	Fahrtenschreiber	11	74	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
33	RT-BR 570	Multicar M31 Ölspurbeseitiger	2029	Schätzung	9	913	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
34	RT-BR 201	Ssp.Geräteträger Boki 1251	2027	Fahrtenschreiber	39	453	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
35	RT-BR 202	Ssp.Geräteträger Boki 1251	2027	Fahrtenschreiber	1	17	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
36	RT-BR 573	Ssp.Geräteträger Boki 1252	2028	Fahrtenschreiber	1	5	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
37	RT-BR 860	DB-Atego Großkehrmaschine	2025	Fahrtenschreiber	85	7.597	El. Hubstaigerfahrzeug
38	RT-BR 503	DB-Vario Allrad	2026	Fahrtenschreiber	75	2.866	Bisher keine Alternative am Markt
39	RT-BR 250	MAN TGL mit Kofferaufbau	2028	Fahrtenschreiber	107	14.019	Bisher keine Alternative am Markt
40	RT-BR 640	MAN TGM mit Kofferaufbau	2033	Fahrtenschreiber	90	10.517	Bisher keine Alternative am Markt
41	RT-285	MAN-Kipper 10t 4x4	2026	Schätzung	-	-	Bisher keine Alternative am Markt
42	RT-BR 288	Faun Vajet 6m³ auf Atego	2027	Fahrtenschreiber	81	10.517	Bisher keine Alternative am Markt
43	RT-BR 124/688	Faun Vajet 6m³ auf Atego	2035	Fahrtenschreiber	53	3.130	Bisher keine Alternative am Markt
44	RT-BR 671	MAN Kipper	2028	Fahrtenschreiber	-	-	Bisher keine Alternative am Markt
45	RT-BR 143	DB Actros Abrollkipper 6x2	2026	Fahrtenschreiber	297	3.021	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
46	RT-252	DB-Actros Abrollkipper 6x4	2028	Schätzung	-	-	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
47	RT-BR 360	MAN 6x4 Meiller ARK	2027	Fahrtenschreiber	148	16.790	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
48	RT-BR 152	DB-Waschfahrzeug 18t	2026	Schätzung	-	-	Bisher keine Alternative am Markt
49	RT-BR 209	DB-Arocs mit Zölleraufbau	2028	Fahrtenschreiber	83	14.019	MB eEconic 300 (bis 150 km)

50	RT-BR 210	DB-Econic mit Zölleraufbau	2028	Fahrtenschreiber	100	13.660	MB eEconic 300 (bis 150 km)
51	RT-BR 264	DB-Econic mit Zölleraufbau	2028	Fahrtenschreiber	67	2.325	MB eEconic 300 (bis 150 km)
52	RT-BR 265	DB-Econic mit Zölleraufbau	2028	Fahrtenschreiber	96	16.148	MB eEconic 300 (bis 150 km)
53	RT-BR 261	DB-Econic mit Zölleraufbau Sperrmüll	2029	Fahrtenschreiber	118	19.331	MB eEconic 300 (bis 150 km)
54	RT-BR 185	MAN Müllwagen	2026	Fahrtenschreiber	89	5.333	MB eEconic 300 (bis 150 km)
55	RT-BR 157	MAN Sperrmüllwagen	2026	Fahrtenschreiber	135	10.747	MB eEconic 300 (bis 150 km)
56	RT-BR 915	Scania mit Zölleraufbau	2029	Fahrtenschreiber	110	17.838	MB eEconic 300 (bis 150 km)
57	RT-BR 916	Scania mit Zölleraufbau	2029	Fahrtenschreiber	129	20.737	MB eEconic 300 (bis 150 km)
58	RT-BR 917	Scania mit Zölleraufbau	2029	Fahrtenschreiber	39	777	MB eEconic 300 (bis 150 km)
59	RT-BR 918	Scania mit Zölleraufbau	2029	Fahrtenschreiber	82	11.078	MB eEconic 300 (bis 150 km)
60	RT-BR 257	Scania MüWa Rotopress	2027	Fahrtenschreiber	78	13.066	MB eEconic 300 (bis 150 km)
61	RT-BR 259	Scania MüWa Rotopress	2025	Fahrtenschreiber	102	14.728	MB eEconic 300 (bis 150 km)
62	RT-BR 260	Scania MüWa Zölller X2 EVO	2025	Fahrtenschreiber	86	12.383	MB eEconic 300 (bis 150 km)
63	RT-BR 258	Scania MüWa Zölller X2i	2027	Fahrtenschreiber	82	12.038	MB eEconic 300 (bis 150 km)
64	RT-BR 194E	VW E-Up	2030	Tracker	73	4.170	bereits BEV
65	RT-BR 174/644E	Renault Zoe	2035	Schätzung	18	3.407	bereits BEV
66	RT-BR 513/645E	Renault Zoe	2035	Schätzung	100	25.009	bereits BEV
67	RT-BR 576	Fiat Doblo Pritsche	2029	Tracker	99	9.715	Bisher keine Alternative am Markt
68	RT-BR 601	DB-Sprinter	2028	Tracker	84	8.609	IVECO eDaily (bis 300 km)
69	RT-BR 141	DB-Sprinter Werkstattwagen	2025	Tracker	127	5.045	IVECO eDaily (bis 300 km)
70	RT-BR 322	DB-Sprinter Werkstattwagen	2025	Tracker	160	17.199	IVECO eDaily (bis 300 km)
71	RT-BR 324	DB-Sprinter Werkstattwagen	2025	Tracker	142	17.168	IVECO eDaily (bis 300 km)
72	RT-BR 616	Sprinter	2028	Tracker	87	7.782	IVECO eDaily (bis 300 km)
73	RT-BR 646	Sprinter Pritsche	2033	Fahrtenschreiber	-	-	IVECO eDaily (bis 300 km)
74	RT-BR 544	T5 Pritsche	2027	Tracker	197	5.232	IVECO eDaily (bis 300 km)
75	RT-BR 433	VW T5	2028	Tracker	69	3.950	IVECO eDaily (bis 300 km)

76	RT-BR 115	VW-T5 Pritsche m. Plane	2025	Tracker	51	3.959	IVECO eDaily (bis 300 km)
77	RT-BR 567	DB-Sprinter Doka Pritsche 5t	2027	Fahrtenschreiber	439	9.828	IVECO eDaily (bis 300 km)
78	RT-BR 581	Sprinter Kran Leuchtpfeil	2029	Fahrtenschreiber	118	6.462	IVECO eDaily (bis 300 km)
79	RT-BR 718	Sprinter Pritsche	2030	Fahrtenschreiber	151	16.986	IVECO eDaily (bis 300 km)
80	RT-BR 912E	Renault Zoe	2030	Tracker	57	6.591	bereits BEV
81	RT-BR 109	VW-Touran	2025	Tracker	63	585	MB eVito (314 km)
82	RT-BR 726	Crafter	2030	Fahrtenschreiber	59	4.833	Opel Movano electric (420 km)
83	RT-BR 603	DB-Doka-Tiefpritsche 3,5t	2028	Fahrtenschreiber	124	9.463	IVECO eDaily (bis 300 km)
84	RT-BR 361	DB-Doka-Tiefpritsche 3,5t	2027	Tracker	67	7.426	IVECO eDaily (bis 300 km)
85	RT-BR 727	MAN TGE	2031	Fahrtenschreiber	250	11.552	IVECO eDaily (bis 300 km)
86	RT-BR 594	Sprinter 3,5t Pritsche	2030	Fahrtenschreiber	-	-	IVECO eDaily (bis 300 km)
87	RT-BR 535	Sprinter Pritsche Kran	2033	Fahrtenschreiber	52	2.852	IVECO eDaily (bis 300 km)
88	RT-BR 537	Sprinter Pritsche Kran	2033	Fahrtenschreiber	35	311	IVECO eDaily (bis 300 km)
89	RT-BR 748E	Goupil G4	2031	Schätzung	13	2.460	bereits BEV
90	RT-BR 572	Wacker Neuson Raddumper 150l	2025	Schätzung	-	-	BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
91	RT-BR 531	Mercedes-Benz Doka-Tiefpritsche	2026	Fahrtenschreiber	95	1.676	Bisher keine Alternative am Markt
92	RT-BR 524	DB-Doka-Tiefpritsche 3,88 t	2027	Fahrtenschreiber	-	-	Bisher keine Alternative am Markt
93	RT-BR 609	Sprinter DoKa mit Blitzer	2028	Fahrtenschreiber	60	7.361	IVECO eDaily (bis 300 km)
94	RT-BR 617	Sprinter mit Kran 5,0t	2028	Fahrtenschreiber	63	6.016	IVECO eDaily (bis 300 km)
95	RT-BR 724	MAN TGM 2-Achser	2030	Fahrtenschreiber	110	5.063	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
96	RT-BR 910	MAN Meiller Abroller	2029	Fahrtenschreiber	117	8.598	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
97	RT-BR 142	DB Abrollkipper 4x4+2	2035	Fahrtenschreiber	94	1.906	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
98	RT-296	MAN Abrollkipper 4x4	2026	Fahrtenschreiber	139	14.336	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
99	RT-BR 635	MAN Meiller Abroller	2028	Fahrtenschreiber	252	11.687	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
100	RT-BR 502	MAN-Abrollkipper 4x4+2	2026	Fahrtenschreiber	145	14.641	Bisher nicht mit Allrad erhältlich
101	RT-BR 290	Scania 6x4*4 Meiller ARK	2028	Fahrtenschreiber	237	15.019	Bisher nicht mit Allrad erhältlich

102	RT-BR 710E	Renault Zoe	2030	Schätzung	19	4.752	bereits BEV
103	RT-BR 711E	Renault Zoe	2030	Schätzung	7	1.325	bereits BEV
104	RT-BR 913E	Renault Zoe	2030	Tracker	199	21.799	bereits BEV
105	RT-BR 303E	VW Passat Hybrid	2029	Tracker	187	3.393	bereits BEV
106	RT-BR 151	DB Sprinter Sargtransporter	2026	Tracker	16	308	MB eSprinter neu (400 km)
107	RT-BR 103	DB-Vito Bestattungswagen	2026	Tracker	59	4.189	MB eVito (314 km)
108	RT-BR 839	DB-Vito Bestattungswagen	2030	Tracker	144	16.615	MB eVito (314 km), Winter Standheizung länger Wartezeiten
109	RT-BR 251	VW T6	2029	Tracker	49	2.291	IVECO eDaily (bis 300 km)
110	RT-BR 633	Bokimobil HY 1252	2029	Tracker	58	4.453	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
111	RT-BR 865	Bokimobil HY 1252	2030	Tracker	60	4.707	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
112	RT-BR 618	Bokimobil HY1252	2028	Tracker	59	2.647	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
113	RT-BR 156	Multicar Fumo Doka	2025	Schätzung	16	3.028	Bisher nicht mit nötiger Nutzlast erhältlich
114	RT-BR 368	Multicar Fumo Hydrostat	2027	Schätzung	21	2.129	Bisher nicht mit nötiger Nutzlast erhältlich
115	RT-BR 136	Multicar Fumo samt Müllpresse	2025	Schätzung	10	2.501	Bisher nicht mit nötiger Nutzlast erhältlich
116	RT-BR 714	Multicar M31	2030	Tracker	20	479	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
117	RT-BR 586	Multicar mit Gergen Abrollkipper	2032	Tracker	42	1.353	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
118	RT-BR 866	Multicar mit Gergen Abrollkipper	2030	Tracker	26	384	Nachfolger BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
119	RT-BR 528	Ssp.Geräteträger Boki 1351	2025	Schätzung	10	2.501	Bisher nicht mit nötiger Nutzlast erhältlich
120	RT-BR 204	Ssp.Geräteträger Boki 1351	2026	Tracker	1	23	Bisher nicht mit nötiger Nutzlast erhältlich
121	RT-BR 367	Fiat Strada Pick Up	2025	Tracker	65	4.507	EVUM
122	RT-BR 854E	Nissan NV 200e	2030	Schätzung	28	5.299	bereits BEV
123	RT-BR 739E	Nissan NV200e	2031	Schätzung	14	2.650	bereits BEV
124	RT-BR 580	VW Caddy Diesel	2027	Tracker	64	1.699	Opel Combo-e Life (280 km)
125	RT-BR 370	VW Caddy Erdgas	2027	Tracker	112	3.346	Opel Combo-e Life (280 km)
126	RT-BR 833	VW Caddy Kasten	2030	Tracker	62	5.360	Opel Combo-e Life (280 km)
127	RT-BR 526	VW Caddy Kasten	2026	Tracker	30	2.067	IVECO eDaily (bis 300 km)

128	RT-BR 514	DB-Sprinter Doka	2026	Fahrtenschreiber	260	2.494	IVECO eDaily (bis 300 km)
129	RT-BR 575	DB-Sprinter Tiefpritsche	2029	Tracker	86	6.994	IVECO eDaily (bis 300 km)
130	RT-BR 629	DB-Sprinter Tiefpritsche	2028	Tracker	76	7.601	IVECO eDaily (bis 300 km)
131	RT-BR 602	Sprinter DoKa Tiefpritsche	2028	Tracker	67	5.546	IVECO eDaily (bis 300 km)
132	RT-BR 325	Sprinter-Ruthmann TBR200	2025	Tracker	65	8.745	IVECO eDaily (bis 300 km)
133	RT-BR 536	T 5 Doka	2027	Tracker	46	4.698	IVECO eDaily (bis 300 km)
134	RT-BR 365	Transporter VW DoKa	2027	Tracker	97	9.589	Verkleinerung, bspw. Goupil (Heizung!)
135	RT-BR 736	VW T6.1 Einzelkabine Pritsche	2030	Tracker	1.046	12.084	ggf. Umbau
136	RT-BR 735	VW T6.1 Kasten geschlossen	2031	Tracker	77	6.871	MB eVito (314 km)
137	RT-BR 534	VW Doka Pritsche	2027	Tracker	25	1.582	IVECO eDaily (bis 300 km)
138	RT-BR 749E	Goupil G4	2031	Schätzung	-	-	Goupil G4
139	RT-BR 363	HolderC250	2028	Schätzung	-	-	BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
140	RT-BR 589	Holder C70 TC	2030	Schätzung	-	-	BOSCHUNG Pony P3.0 (10h)
141	RT-BR 722	VW Crafter Pritsche	2030	Fahrtenschreiber	81	9.970	IVECO eDaily (bis 300 km)
142	RT-BR 351	DB-Vario Doka-Kipper 816D	2026	Fahrtenschreiber	77	3.603	Bisher keine Alternative am Markt
143	RT-BR 627	MAN Krankipper mit Palfinger-Kran	2028	Fahrtenschreiber	69	4.353	Bisher keine Alternative am Markt
144	RT-BR 820	MAN Hubarbeitsbühne Ruthmann	2028	Fahrtenschreiber	57	1.825	Bisher keine Alternative am Markt

4.3 Szenarien

4.3.1 Szenario 1: Realisierung Vollelektrifizierung

Im ersten Szenario wird untersucht, wie sich eine Vollelektrifizierung der Fahrzeuge der TBR kostenseitig auswirkt und welche CO₂-Einsparungen daraus resultieren. Wichtig ist in diesem Kontext, dass sich das vorliegende Konzept nicht auf die Emissionen der Fahrzeugnutzung beschränkt, sondern dass die Fahrzeugherstellung in die Betrachtung einfließt. Gerade mit Blick auf die Zielsetzung einer Klimaneutralität ist festzuhalten, dass diese selbst bei einer vollständigen Elektrifizierung – auch bei ausschließlicher Nutzung von Ökostrom – derzeit nicht möglich ist. Dies wäre erst erreichbar, wenn erste Hersteller Fahrzeuge aus klimaneutraler Produktion verkaufen, die zudem erschwinglich sind – oder indem die Emissionen alternativ kompensiert werden. Beides erscheint mittel- bis langfristig nicht umsetzbar, weshalb sich eine Vollelektrifizierung nicht in einer Eliminierung aller Emissionen auswirkt. Der produktionsspezifische Grundstock kann durch höhere Haltungsdauern abgesenkt werden, dies wurde auch in der Vergangenheit mit Fahrzeugen praktiziert. Für die Analysen wird durchgängig mit 10 Jahre Haltedauer gerechnet.

Da die CO₂-Einsparung in erster Linie davon abhängt, ob die Fahrzeuge hohe Laufleistungen aufweisen, bleibt festzuhalten:

- Es gibt wenig genutzte Fahrzeuge im Fuhrpark, die durch eine Elektrifizierung Mehremissionen ausstoßen, wenn nicht im selben Zuge auch die Laufleistungen erhöht werden.
- Auch kostenseitig wirken sich Fahrzeugnutzung, aber auch Fahrzeugklassen stark aus. Aus diesem Grund erfolgt eine Zuordnung der folgenden beiden Szenarien über diese Kenngrößen. Im Szenario 1 werden dagegen alle Fahrzeuge als langfristig elektrisch unterstellt.

4.3.2 Szenario 2: Erfüllung SaubFahrzeugBeschG

Ergänzend zum Maximalansatz in Szenario 1 zielt das Szenario 2 auf den Minimalansatz ab. Die Clean Vehicles Directive (CVD) der EU schreibt verbindliche Mindestziele für emissionsarme und -freie Pkw und Nutzfahrzeuge bei öffentlichen Auftragsvergaben vor. In Deutschland trat am 02. August 2021 das SaubFahrzeugBeschG in Kraft. Es regelt den Anteil der „sauberen Fahrzeuge“ die im Rahmen öffentlicher Vergaben beschafft werden müssen.

Als „saubere Fahrzeuge“ gelten dabei bis zum 31. Dezember 2025 Pkw mit einem CO₂-Ausstoß von weniger als 50 g/km und 80 % der Euro 6-Grenzwerte für Luftschadstoffemissionen im praktischen Fahrbetrieb (RDE). Vom 01.01.2026 bis zum 31.12.2030 gelten nur noch emissionsfreie Fahrzeuge als „sauber“.

Die Anforderungen für saubere Pkw und leichte Nutzfahrzeuge werden insbesondere erfüllt von Batterieelektrofahrzeugen im Sinne von § 2 Nummer 2 des Elektromobilitätsgesetzes (EmoG) sowie Brennstoffzellenfahrzeugen im Sinne von § 2 Nummer 4 EmoG.

Bei schweren Nutzfahrzeugen und Bussen gelten auch Fahrzeuge mit alternativen Kraftstoffen (Strom, Wasserstoff, Erdgas, Biokraftstoffe, synthetische und paraffinhaltige Kraftstoffe), also auch Plug-In Hybrid-Busse/Lkw und solche mit Gasantrieb i.S.d. SaubFahrzeugBeschG als „sauber“. Ihr Anteil soll bis 2030 auf mindestens 15 % bei Lkw und 65 % bei den Bussen ansteigen, wovon jeweils die Hälfte emissionsfrei sein soll.⁹

Abbildung 22 gibt einen Überblick der Anforderungen des SaubFahrzeugBeschG.

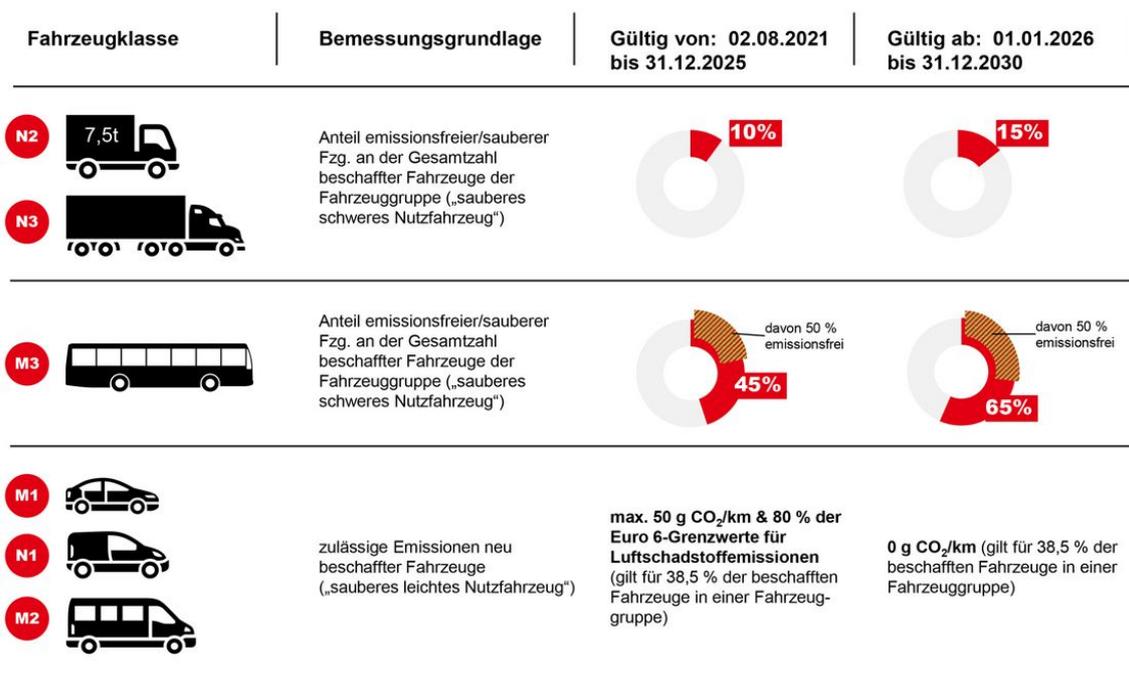


Abbildung 22: Anforderungen aus dem SaubFahrzeugBeschG¹⁰

Wichtig ist vor allem, dass das Gesetz Anwendung findet bei geschätzten Auftragswerten, die nach EU-Vergaberecht seit 1. Januar 2024 bei 221.000 Euro für öffentliche Auftraggeber liegt. Dies bedeutet, dass Fahrzeuge, die im Zuge von Ausschreibungen mit geringeren geschätzten Auftragswerten beschafft werden, nicht in der Quotenberechnung berücksichtigt werden. Dieser Aspekt dürfte in der Praxis untergeordnete Relevanz besitzen, da die Grenze gerade in den größeren Fahrzeugklassen schnell überschritten wird. Er lässt aber dennoch Freiraum in der konkreten Umsetzung – und überdies bei der Zuordnung von Fahrzeugen zu diesem Szenario.

⁹ SaubFahrzeugBeschG - Leitfaden für Vergabestellen (BMDV) <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/cvd-leitfaden-fuer-vergabestellen-saubfahrzeugbeschg.pdf?blob=publicationFile>, abgerufen: 15.06.2024

¹⁰ <https://www.bet-energie.de/webmagazin/artikel/mehr-als-fahrzeugbeschaffung> (abgerufen 02.07.2024)

Zudem ist wichtig, dass das Gesetz Ausnahmen definiert. Die meisten hierfür sind ohne Relevanz für die TBR (Feuerwehr, Forstwirtschaft, Kettenfahrzeuge etc.). Interessant sind indes folgende Ausnahmeregelungen:

- §4 (1) 4a: Fahrzeuge mit eigenem Antrieb, die für die Verrichtung von Arbeiten entwickelt und gebaut wurden und die bauartbedingt nicht zur Beförderung von Personen oder Gütern geeignet sind und keine auf einem Kraftfahrzeug-fahrgestell montierte Maschinen sind → Kleinkehrmaschinen
- §4 (1) 7: Fahrzeuge, die hauptsächlich für den Einsatz auf Baustellen [...] entwickelt und gebaut wurden → Baustellenfahrzeuge

Weitere Informationen bspw. zu Nachrüstung, der Anwendbarkeit auf Abfallsammler etc. können dem verlinkten Dokument entnommen werden.¹¹:

4.3.3 Szenario 3: Realisierung Ausgewogener Ansatz

Zwischen Maximal- und Minimalansatz der Szenarien 1 und 2 dient der ausgewogene Ansatz in Szenario 3 der Darstellung eines realistischen, gangbaren Wegs. Hierfür wurde untersucht, welche Fahrzeuge im Fuhrpark überhaupt Emissionseinsparungen aufweisen und ob dies zu vertretbaren Kosten erfolgt. Das konkrete Vorgehen lässt sich anhand Tabelle 8 im folgenden Kapitel erläutern. Im Gegensatz zu den beiden vorherigen Fahrzeugtabellen, die grob nach Fahrzeugklassen und Abteilungen sortiert waren, ist diese Tabelle nach der CO₂-Emissionsreduzierung sortiert. Somit konnten ausschließlich Fahrzeuge für das Szenario ausgewählt werden, die zu einer tatsächlichen Einsparung führen. Weiter unten in der Tabelle nähern sich die Einsparungen mehr und mehr der Null an. Bei sehr geringen Einsparungen wurde deshalb zusätzlich zum Kriterium der absoluten CO₂-Einsparung das Kriterium der CO₂-spezifischen Kosten in Betracht gezogen. Liegen diese jenseits von 10.000 €/t CO₂ werden sie nicht zur Elektrifizierung im ausgewogenen Ansatz vorgeschlagen.

4.3.4 Zuordnung der Fahrzeuge zu den Szenarien

Im Szenario 1 erfolgt eine ausnahmslose Zuordnung aller Fahrzeuge. Im Szenario 2 erfolgt die Zuordnung entsprechend der Beschaffungszeiträume und der Fahrzeugklassen, so dass die Beschaffungsquoten erfüllt werden. Dabei wird bis zur Erreichung der Quote allerdings stets das Fahrzeug mit dem nächstgrößten CO₂-Einsparpotenzial zugeschlagen. In Szenario 3 erfolgt die Zuordnung wie oben beschrieben primär auf Basis des Einsparpotenzials und sekundär auf Basis der CO₂-spezifischen Vermeidungskosten. Tabelle 8 sind die Fahrzeuge in den drei Szenarien zu entnehmen.

¹¹ https://www.roedl.de/de-de/de/medien/publikationen/fachaufsaetze/vergabe-recht/documents/220711_nzbau_2022_379.pdf (abgerufen: 02.07.2024)

Tabelle 8: Zuordnung der Fahrzeuge zu den Szenarien. [Quelle: eigene Darstellung]

Nr.	Fahrzeug	Ersatz- be- schaf- fung	Mehrkosten der Elektrifizierung (€/a)	Effekt auf die Emissionen (t CO ₂ /a)	CO ₂ -spezifi- sche Kosten (€/t CO ₂)	JLL in km	Szenario 1 Vollelek- trifizierung	Szenario 2 SaubFahrz- BeschG	Szenario 3 Ausge- wogen
57	RT-BR 916	2029	7.276,72 €	-29,27	248,57 €	20.737	x	x	x
53	RT-BR 261	2029	7.642,82 €	-27,02	282,87 €	19.331	x	x	x
56	RT-BR 915	2029	8.031,58 €	-24,62	326,18 €	17.838	x	x	x
52	RT-BR 265	2028	9.830,10 €	-21,91	448,63 €	16.148	x	x	x
61	RT-BR 259	2025	14.653,17 €	-19,63	746,37 €	14.728	x	x	x
49	RT-BR 209	2028	10.384,46 €	-18,50	561,47 €	14.019	x		x
50	RT-BR 210	2028	10.477,93 €	-17,92	584,74 €	13.660	x		x
60	RT-BR 257	2027	12.052,20 €	-16,97	710,38 €	13.066	x		x
62	RT-BR 260	2025	15.263,77 €	-15,87	961,81 €	12.383	x		x
63	RT-BR 258	2027	12.319,88 €	-15,32	804,36 €	12.038	x		x
59	RT-BR 918	2029	9.791,78 €	-13,78	710,79 €	11.078	x		x
55	RT-BR 157	2026	14.139,52 €	-13,24	1.067,56 €	10.747	x		x
47	RT-BR 360	2027	13.299,82 €	-10,97	1.212,66 €	16.790	x		x
101	RT-BR 290	2028	12.107,48 €	-9,39	1.289,58 €	15.019	x	§4 (1) 7 Baustelle	x
100	RT-BR 502	2026	15.059,07 €	-9,05	1.663,67 €	14.641	x	§4 (1) 7 Baustelle	x
98	RT-296	2026	15.098,21 €	-8,78	1.719,65 €	14.336	x	§4 (1) 7 Baustelle	x
99	RT-BR 635	2028	12.535,06 €	-6,42	1.953,00 €	11.687	x	§4 (1) 7 Baustelle	x
42	RT-BR 288	2027	14.104,80 €	-5,38	2.623,96 €	10.517	x		x
39	RT-BR 250	2028	2.384,30 €	-5,33	447,25 €	14.019	x		x
54	RT-BR 185	2026	15.549,24 €	-4,56	3.411,88 €	5.333	x		x
9	RT-BR 634	2029	136,50 €	-4,45	30,66 €	24.512	x		x
28	RT-BR 520	2026	11.863,49 €	-4,39	2.705,47 €	9.510	x	§4 (1) 4a	x

Nr.	Fahrzeug	Ersatz- be- schaf- fung	Mehrkosten der Elektrifizierung (€/a)	Effekt auf die Emissionen (t CO ₂ /a)	CO ₂ -spezifi- sche Kosten (€/t CO ₂)	JLL in km	Szenario 1 Vollelek- trifizierung	Szenario 2 SaubFahrz- BeschG	Szenario 3 Ausge- wogen
96	RT-BR 910	2029	11.572,99 €	-3,66	3.157,97 €	8.598	x	§4 (1) 7 Baustelle	x
40	RT-BR 640	2033	742,25 €	-3,39	219,04 €	10.517	x		x
70	RT-BR 322	2025	754,78 €	-2,86	264,11 €	17.199	x	x	x
71	RT-BR 324	2025	755,81 €	-2,85	265,10 €	17.168	x	x	x
30	RT-BR 624	2027	11.651,83 €	-2,82	4.134,73 €	6.685	x	§4 (1) 4a	x
79	RT-BR 718	2030	298,61 €	-2,81	106,21 €	16.986	x	x	x
108	RT-BR 839	2030	310,97 €	-2,73	113,88 €	16.615	x	x	x
27	RT-BR 270	2028	11.255,41 €	-2,38	4.722,88 €	5.901	x	§4 (1) 4a	x
8	RT-BR 631	2028	566,32 €	-2,23	253,73 €	14.327	x	x	x
1	RT-DK 157E	2026	-266,06 €	-2,15	-123,92 €	42.905	x		x
37	RT-BR 860	2025	4.314,04 €	-1,77	2.438,82 €	7.597	x		x
15	RT-BR 619	2028	640,54 €	-1,75	366,76 €	12.099	x	x	x
135	RT-BR 736	2030	461,89 €	-1,74	264,96 €	12.084	x	x	x
10	RT-BR 562	2027	736,08 €	-1,73	426,14 €	12.011	x	x	x
16	RT-BR 621	2028	656,16 €	-1,64	399,05 €	11.630	x	x	x
11	RT-BR 723	2025	941,24 €	-1,64	574,64 €	11.601	x	x	x
85	RT-BR 727	2031	392,98 €	-1,63	241,49 €	11.552	x		x
13	RT-BR 742	2032	322,15 €	-1,54	209,68 €	11.135	x		x
141	RT-BR 722	2030	532,31 €	-1,28	415,03 €	9.970	x	x	x
77	RT-BR 567	2027	808,79 €	-1,25	646,19 €	9.828	x	x	x
134	RT-BR 365	2027	816,75 €	-1,20	680,89 €	9.589	x	x	x
83	RT-BR 603	2028	728,34 €	-1,17	621,41 €	9.463	x	x	x
23	RT-BR 329	2025	12.923,91 €	-1,10	11.788,56 €	3.581	x	§4 (1) 4a	

Nr.	Fahrzeug	Ersatz- be- schaf- fung	Mehrkosten der Elektrifizierung (€/a)	Effekt auf die Emissionen (t CO ₂ /a)	CO ₂ -spezifi- sche Kosten (€/t CO ₂)	JLL in km	Szenario 1 Vollelek- trifizierung	Szenario 2 SaubFahrz- BeschG	Szenario 3 Ausge- wogen
12	RT-BR 122	2025	1.030,01 €	-1,06	974,24 €	8.936	x	x	x
5	RT-BR 272	2029	525,53 €	-1,03	509,89 €	9.861	x	x	x
132	RT-BR 325	2025	1.036,38 €	-1,02	1.020,43 €	8.745	x	§4 (1) 10d Kran	x
67	RT-BR 576	2029	527,90 €	-1,01	524,17 €	9.715	x	x	x
68	RT-BR 601	2028	756,79 €	-0,99	767,54 €	8.609	x	x	x
14	RT-BR 431	2025	1.055,46 €	-0,89	1.184,90 €	8.172	x	x	x
72	RT-BR 616	2028	784,33 €	-0,81	973,39 €	7.782	x	x	x
124	RT-BR 580	2027	-3.618,66 €	-0,79	-4.557,13 €	1.699	x	x	x
130	RT-BR 629	2028	790,36 €	-0,77	1.031,36 €	7.601	x	x	x
84	RT-BR 361	2027	888,80 €	-0,73	1.220,54 €	7.426	x	x	x
81	RT-BR 109	2025	-4.647,18 €	-0,73	-6.401,47 €	585	x	x	x
93	RT-BR 609	2028	798,36 €	-0,71	1.118,09 €	7.361	x		x
129	RT-BR 575	2029	720,01 €	-0,63	1.135,55 €	6.994	x		x
136	RT-BR 735	2031	548,90 €	-0,61	903,90 €	6.871	x		x
78	RT-BR 581	2029	737,73 €	-0,52	1.423,82 €	6.462	x	§4 (1) 10d Kran	x
17	RT-BR 717	2030	656,48 €	-0,47	1.396,20 €	6.242	x		x
94	RT-BR 617	2028	843,16 €	-0,42	2.003,00 €	6.016	x	§4 (1) 10d Kran	x
95	RT-BR 724	2030	2.316,25 €	-0,36	6.374,81 €	5.063	x	§4 (1) 7 Baustelle	x
31	RT-BR 672	2029	9.043,66 €	-0,35	26.040,43 €	5.678	x		
131	RT-BR 602	2028	858,81 €	-0,32	2.696,19 €	5.546	x		x
126	RT-BR 833	2030	579,69 €	-0,30	1.902,99 €	5.360	x	x	x
74	RT-BR 544	2027	961,88 €	-0,25	3.845,90 €	5.232	x		x
69	RT-BR 141	2025	1.159,62 €	-0,21	5.538,99 €	5.045	x	x	x

Nr.	Fahrzeug	Ersatz- be- schaf- fung	Mehrkosten der Elektrifizierung (€/a)	Effekt auf die Emissionen (t CO ₂ /a)	CO ₂ -spezifi- sche Kosten (€/t CO ₂)	JLL in km	Szenario 1 Vollelek- trifizierung	Szenario 2 SaubFahrz- BeschG	Szenario 3 Ausge- wogen
121	RT-BR 367	2025	823,11 €	-0,17	4.928,10 €	4.507	x	x	x
82	RT-BR 726	2030	703,42 €	-0,16	4.311,23 €	4.833	x		x
19	RT-BR 732	2029	792,39 €	-0,16	4.935,67 €	4.821	x		x
111	RT-BR 865	2030	8.717,05 €	-0,14	64.236,52 €	4.707	x		
133	RT-BR 536	2027	979,67 €	-0,13	7.325,10 €	4.698	x		x
110	RT-BR 633	2029	9.098,92 €	-0,08	113.236,48 €	4.453	x		
4	RT-BR 608	2025	811,56 €	-0,03	29.871,45 €	3.640	x		x
107	RT-BR 103	2026	1.091,31 €	-0,02	47.812,17 €	4.189	x		
7	RT-BR 301E	2029	283,94 €	-0,01	28.334,29 €	10.472	x		
2	RT-BR 595E	2029	-136,91 €	0,00	b)	2.706	x	§4 (1) 4a	x
29	RT-BR 721E	2028	-1.446,43 €	0,00	b)	-	x	x	x
18	RT-BR 868E	2030	-463,27 €	0,00	b)	11.254	x	x	x
64	RT-BR 194E	2030	-162,38 €	0,00	b)	4.170	x	x	x
65	RT-BR 174/644E	2025	8,82 €	0,00	b)	3.407	x	x	x
66	RT-BR 513/645E	2025	8,82 €	0,00	b)	25.009	x	x	x
80	RT-BR 912E	2030	-229,57 €	0,00	b)	6.591	x	x	x
102	RT-BR 710E	2030	-229,57 €	0,00	b)	4.752	x	x	x
103	RT-BR 711E	2030	-229,57 €	0,00	b)	1.325	x	x	x
104	RT-BR 913E	2030	-229,57 €	0,00	b)	21.799	x	x	x
105	RT-BR 303E	2029	-240,06 €	0,00	b)	3.393	x	x	x
122	RT-BR 854E	2030	-203,94 €	0,00	b)	5.299	x	x	x
123	RT-BR 739E	2031	-247,83 €	0,00	b)	2.650	x	x	x
3	RT-BR 518	2026	777,86 €	0,02	a)	3.346	x		

Nr.	Fahrzeug	Ersatz- be- schaf- fung	Mehrkosten der Elektrifizierung (€/a)	Effekt auf die Emissionen (t CO ₂ /a)	CO ₂ -spezifi- sche Kosten (€/t CO ₂)	JLL in km	Szenario 1 Vollelek- trifizierung	Szenario 2 SaubFahrz- BeschG	Szenario 3 Ausge- wogen
125	RT-BR 370	2027	748,08 €	0,02	a)	3.346	x		
76	RT-BR 115	2025	1.195,79 €	0,03	a)	3.959	x	x	
75	RT-BR 433	2028	911,97 €	0,03	a)	3.950	x		
143	RT-BR 627	2028	3.203,50 €	0,03	a)	4.353	x		
6	RT-BR 106	2025	820,65 €	0,06	a)	3.080	x		
20	RT-BR 902	2030	10.767,23 €	0,07	a)	1.473	x	§4 (1) 4a	
24	RT-BR 521/neu	2035	7.049,41 €	0,18	a)	3.251	x		
25	RT-BR 522/neu	2035	7.049,41 €	0,18	a)	3.251	x	x	
22	RT-BR 741	2025	13.146,54 €	0,19	a)	1.255	x	§4 (1) 4a	
127	RT-BR 526	2026	789,81 €	0,23	a)	2.067	x		
113	RT-BR 156	2025	10.730,08 €	0,23	a)	3.028	x		
87	RT-BR 535	2033	515,20 €	0,27	a)	2.852	x	§4 (1) 10d Kran	
51	RT-BR 264	2028	13.429,40 €	0,27	a)	2.325	x		
112	RT-BR 618	2028	9.559,13 €	0,31	a)	2.647	x		
115	RT-BR 136	2025	10.753,85 €	0,35	a)	2.501	x		
119	RT-BR 528	2025	10.753,85 €	0,35	a)	2.501	x		
128	RT-BR 514	2026	1.147,77 €	0,35	a)	2.494	x		
89	RT-BR 748E	2031	8.456,15 €	0,35	a)	2.460	x		
109	RT-BR 251	2029	876,67 €	0,39	a)	2.291	x		
114	RT-BR 368	2027	9.969,76 €	0,43	a)	2.129	x		
142	RT-BR 351	2026	4.170,24 €	0,45	a)	3.603	x		
117	RT-BR 586	2032	8.151,79 €	0,60	a)	1.353	x		
33	RT-BR 570	2029	9.258,60 €	0,69	a)	913	x		

Nr.	Fahrzeug	Ersatz- be- schaf- fung	Mehrkosten der Elektrifizierung (€/a)	Effekt auf die Emissionen (t CO ₂ /a)	CO ₂ -spezifi- sche Kosten (€/t CO ₂)	JLL in km	Szenario 1 Vollelek- trifizierung	Szenario 2 SaubFahrz- BeschG	Szenario 3 Ausge- wogen
21	RT-BR 740	2025	13.243,31 €	0,75	a)	244	x	§4 (1) 4a	
26	RT-BR 525	2025	10.841,05 €	0,77	a)	568	x		
116	RT-BR 714	2030	8.907,77 €	0,79	a)	479	x		
34	RT-BR 201	2027	10.045,36 €	0,79	a)	453	x		
118	RT-BR 866	2030	8.912,05 €	0,81	a)	384	x		
88	RT-BR 537	2033	599,84 €	0,82	a)	311	x	§4 (1) 10d Kran	
106	RT-BR 151	2026	1.220,59 €	0,82	a)	308	x		
38	RT-BR 503	2026	4.232,70 €	0,86	a)	2.866	x		
32	RT-BR 320	2030	8.926,04 €	0,87	a)	74	x		
120	RT-BR 204	2026	10.460,74 €	0,88	a)	23	x		
35	RT-BR 202	2027	10.065,03 €	0,89	a)	17	x		
36	RT-BR 573	2028	9.678,30 €	0,89	a)	5	x		
73	RT-BR 646	2033	610,20 €	0,89	a)	-	x		
90	RT-BR 572	2025	10.866,67 €	0,89	a)	-	x		
86	RT-BR 594	2030	864,40 €	0,89	a)	-	x		
138	RT-BR 749E	2031	8.567,11 €	0,89	a)	-	x		
139	RT-BR 363	2028	9.678,53 €	0,89	a)	-	x		
140	RT-BR 589	2030	8.929,37 €	0,89	a)	-	x	§4 (1) 7 Baustelle	
43	RT-BR 124/688	2035	5.267,86 €	1,21	a)	3.130	x		
45	RT-BR 143	2026	16.550,21 €	1,31	a)	3.021	x		
91	RT-BR 531	2026	4.333,55 €	1,52	a)	1.676	x		
137	RT-BR 534	2027	3.879,99 €	1,57	a)	1.582	x		

Nr.	Fahrzeug	Ersatz- be- schaf- fung	Mehrkosten der Elektrifizierung (€/a)	Effekt auf die Emissionen (t CO ₂ /a)	CO ₂ -spezifi- sche Kosten (€/t CO ₂)	JLL in km	Szenario 1 Vollelek- trifizierung	Szenario 2 SaubFahrz- BeschG	Szenario 3 Ausge- wogen
97	RT-BR 142	2035	5.424,93 €	2,30	a)	1.906	x	§4 (1) 7 Bau- stelle	
144	RT-BR 820	2028	13.800,60 €	2,37	a)	1.825	x		
44	RT-BR 671	2028	3.572,41 €	2,45	a)	-	x		
41	RT-285	2026	4.475,60 €	2,45	a)	-	x	§4 (1) 7 Bau- stelle	
92	RT-BR 524	2027	4.014,07 €	2,45	a)	-	x		
58	RT-BR 917	2029	12.474,01 €	2,75	a)	777	x		
46	RT-252	2028	14.034,79 €	4,00	a)	-	x		
48	RT-BR 152	2026	16.937,88 €	4,00	a)	-	x	x	x
Anteil Elektrofahrzeuge							100%	31%	57%
a) Emissionssteigerung resultiert aus geringen (ca. <3.000 km/a) oder nicht ermittelbaren ("") JLL. Höhere JLL lassen sich durch eine weitere Verkleinerung des Fuhrparks realisieren.									
b) Fahrzeuge sind bereits elektrisch, daher resultiert keine Emissionseinsparung aus einer Substitution. Die Kosteneinsparungen ergeben sich aus der weiteren Preisentwicklung der Elektromobilität.									

4.4 Kostenanalyse

Die Eingangsdaten für die Kostenanalyse sind den Anhängen 2 und 3 zu entnehmen. Im Folgenden wird der Fokus auf die Ergebnisse gelegt. Den Berechnungen liegen die tatsächlichen Laufleistungen der Fahrzeuge zugrunde.

Auf den Folgeseiten werden zeilenweise Gesamtkosten für jede Fahrzeugklasse dargestellt. Die Spalten enthalten die drei Szenarien. So lassen sich die Ergebnisse der Szenarien gut miteinander vergleichen. Anschließend an die segmentspezifischen Auswertungen erfolgt die Darstellung der Gesamtkosten. Diese lassen sich am besten im direkten Abgleich mit den Beschaffungsplänen in Kapitel 5.2 interpretieren. Da diese Pläne mit ihren Jahresaufteilungen Umsetzungsplänen entsprechen, finden sie sich an der laut Mustergliederung des Projektträgers vorgegebenen Stelle im Konzept.

Die Gesamtkosten basieren auf folgenden Kostenpositionen:

- Werteverzehr (Anschaffungskosten abzgl. Wiederverkaufswert): Die Kosten werden für eine unterstellte Haltedauer von 10 Jahren berechnet, weshalb ein Restwert von 20% unterstellt wird. Da die Kosten für Elektrofahrzeuge weiterhin sinken werden, wurde eine Preisentwicklung berücksichtigt von -4,5%/a für N2 und N3, -2,5%/a für N1 und -1,5%/a für M (Pkw).
- Später beschaffte BEV kosten also entsprechend weniger.
- Betrieb: Strom bzw. Kraftstoff
- Fahrzeugsteuer (Elektrofahrzeuge sind bis 2030 von der Kfz-Steuer befreit)
- Fahrzeugversicherung
- Fahrzeuginspektion
- Ladeinfrastruktur: Investitionskosten (umgelegt auf eine Nutzungsdauer von 15 Jahren) und jährliche Instandhaltungskosten

Da die konkreten Kosten des Ist-Fuhrparks nicht detailliert erhoben werden können, wurden Annäherungen getroffen, indem fahrzeugklassenabhängige Kosten aus frei verfügbaren Quellen wie dem ADAC-Autokostencheck¹² oder dem ifeu-Tool für elektrische Lkw-Modelle „My eRoads“¹³ entnommen wurden (s. Anhang).

Die Vollelektrifizierung des Fuhrparks (100% Elektrifizierungsquote) führt zu Mehrkosten von ca. 42,2%, wie aus der zusammenfassenden Tabelle 9 hervorgeht. Die gesetzlichen Mindestanforderungen (ca. 30% Elektrifizierungsquote) führen zu Kostensteigerungen von moderaten 3,6%. Der Mittelweg in Szenario 3 resultiert in Mehrkosten von ca. 17,5% (bei 57% Elektrifizierungsquote). Ein Abgleich mit den CO₂-Einsparungen erfolgt in Kapitel 6.

Nicht berücksichtigt sind Kosten für die vorgelagerte Netzinfrastruktur sowie Kosten für eine ergänzende HPC-Ladeinfrastruktur, die als Backup dient (siehe Kapitel 4.5).

¹² <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/autokosten/> (abgerufen 13.12.2023)

¹³ <https://www.my-e-roads.de/de-DE/export/fahrzeuge> (abgerufen 13.12.2023)

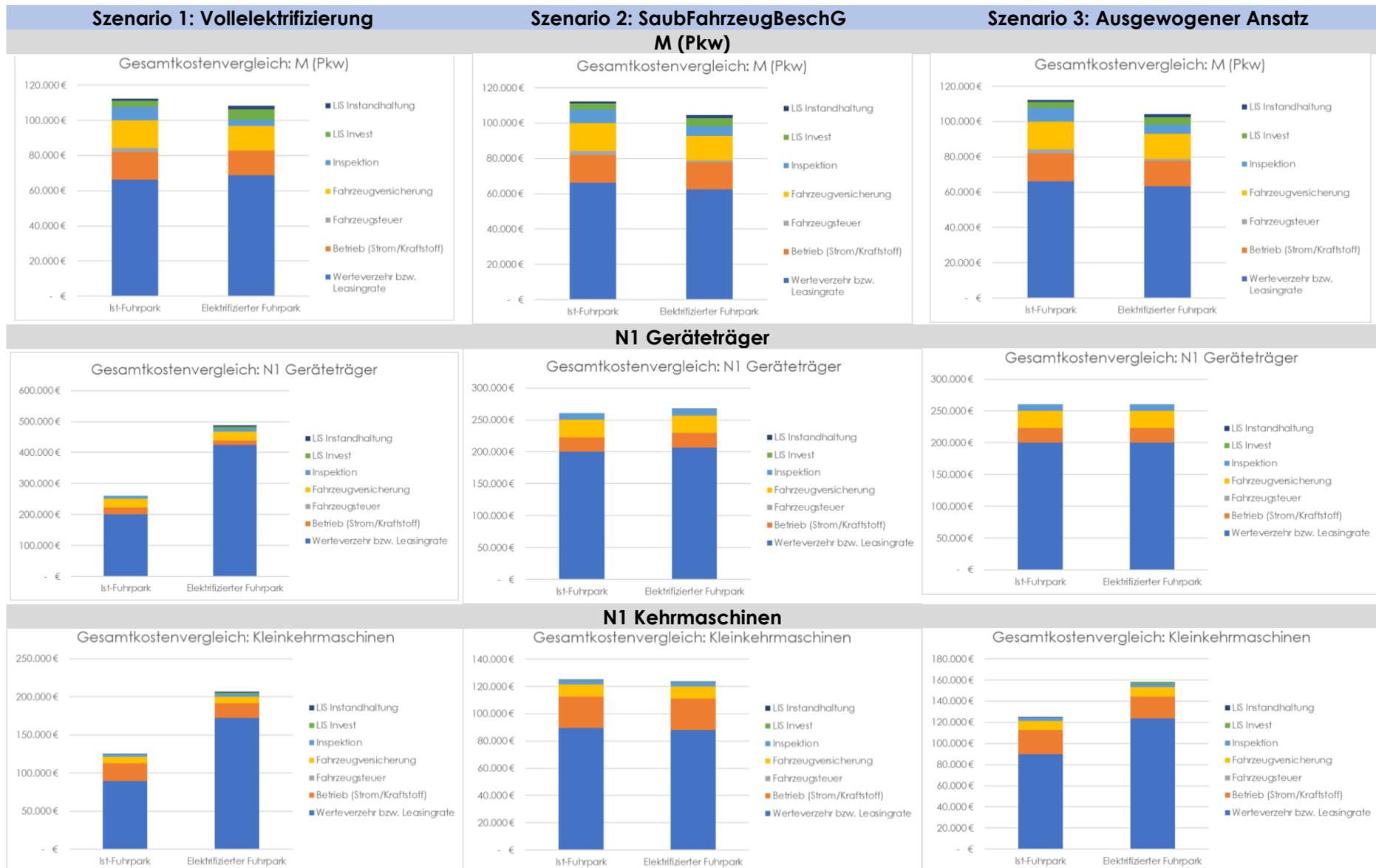


Abbildung 23: Gesamtkostenvergleiche in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen M, Geräteträger und Kehrmaschinen [Quelle: eigene Darstellung]

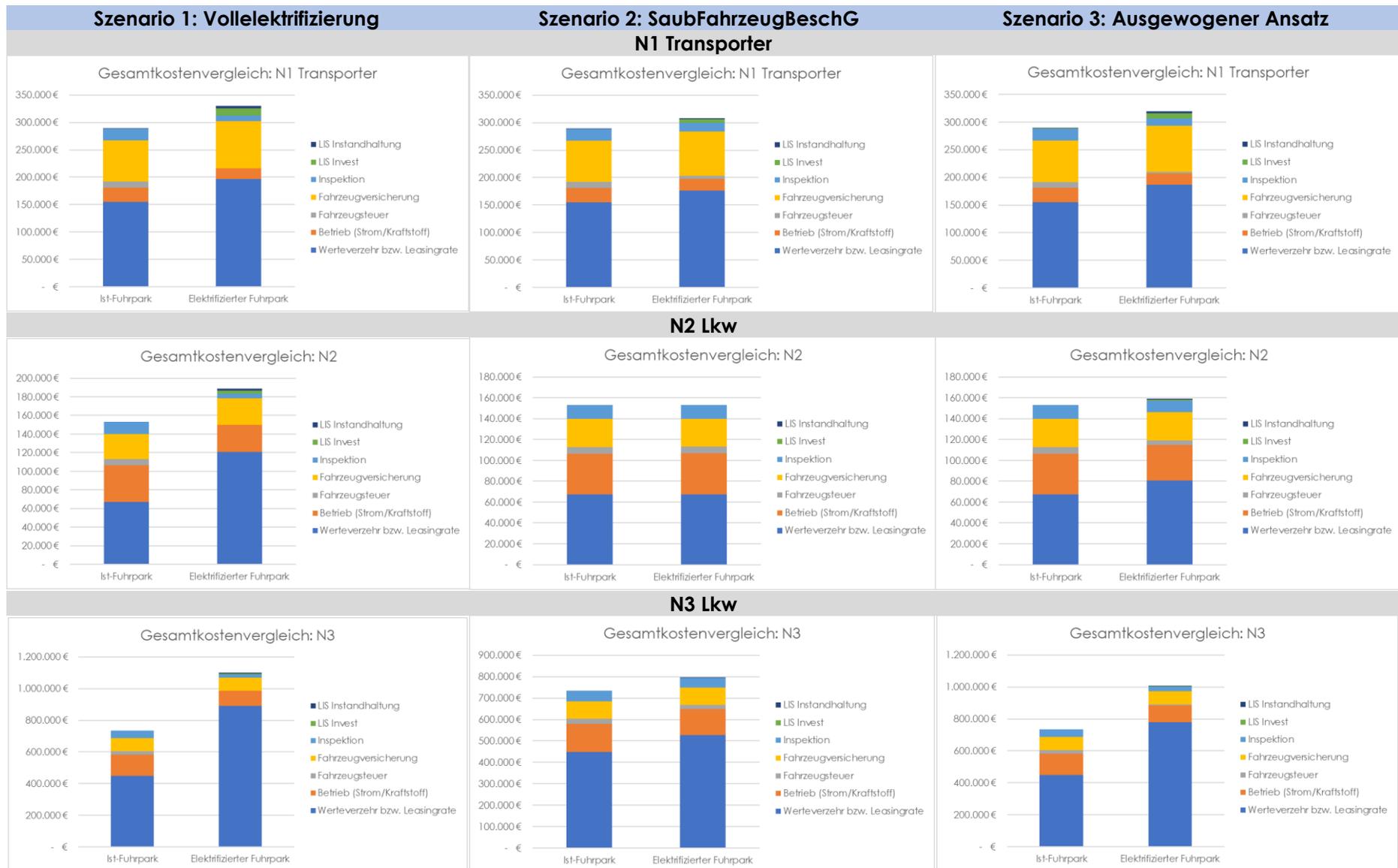


Abbildung 24: Gesamtkostenvergleiche in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen Transporter, N2 und N3 [Quelle: eigene Darstellung]

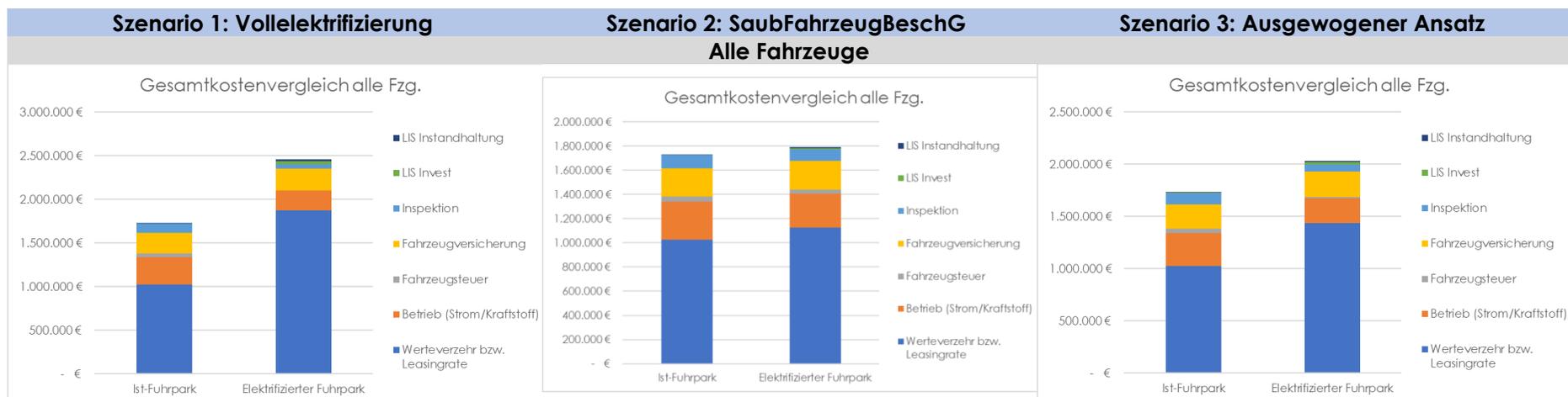


Abbildung 25: Gesamtkostenvergleiche in den drei Szenarien für den gesamten untersuchten Fuhrpark [Quelle: eigene Darstellung]

Tabelle 9: Gesamtkostenvergleiche in den drei Szenarien für den untersuchten Fuhrpark [Quelle: eigene Darstellung]

Fahrzeugklasse	Ist-Fuhrpark	Szenario 1: Vollelektrifizierung		Szenario 2: SaubFahrzeugBeschG		Szenario 3: Ausgewogener Ansatz	
		Elektrifizierter Fuhrpark	Abweichung	Elektrifizierter Fuhrpark	Abweichung	Elektrifizierter Fuhrpark	Abweichung
M	112.354 €	108.619 €	-3,3%	104.695 €	-6,8%	104.429 €	-7,1%
N1 Geräteträger	260.389 €	488.361 €	+87,6%	267.429 €	+2,7%	260.389 €	+0,0%
N1 Kehrmaschinen	124.967 €	207.042 €	+65,7%	123.558 €	-1,1%	158.216 €	+26,6%
N1 Transporter	288.516 €	330.024 €	+14,4%	308.273 €	+6,8%	320.658 €	+11,1%
N2	153.275 €	188.782 €	+23,2%	153.423 €	+0,1%	160.807 €	+4,9%
N3	736.034 €	1.099.942 €	+49,4%	796.168 €	+8,2%	1.009.955 €	+37,2%
Gesamt	1.728.601 €	2.458.472 €	+42,2%	1.790.185 €	+3,6%	2.031.258 €	+17,5%

Weitere Kostensenkungspotenziale bestehen gerade vor dem Hintergrund der aktuellen Energiepreisentwicklungen in der Folge des Kriegs in der Ukraine in der intensiveren Verwendung selbst erzeugten Stroms (bspw. aus BHKW- oder PV-Anlagen). Gerade durch die Absenkung der EEG-Umlage auf null Euro zur Mitte des Jahres 2022 und ihrer Abschaffung im Jahr 2023 ist der Einsatz von PV-Strom im Fuhrpark deutlich attraktiver geworden. Bisher wäre eine aufwändige Zählerinfrastruktur nötig gewesen, um den EEG-Strom, der in externe BEV geladen und bezahlt worden wäre, herauszurechnen. Des Weiteren wäre es sinnvoll, bspw. durch die Verwendung entsprechender Fuhrparksoftwares (s. Kapitel 5.1.4.3), die Datenbasis insgesamt zu verbessern, um eine ambitioniertere Verkleinerung des Fuhrparks zu prüfen.

4.5 Ladepunktbedarfe und Lastgänge

Wie eingangs beschrieben stellt die Identifizierung von praxistauglichen Fahrzeugen zwar teilweise weiterhin eine große Herausforderung dar, die perspektivisch größte Herausforderung ist allerdings im Netzanschluss zu sehen. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Elektromobilitätskonzept der aus der Elektromobilität (je Szenario) resultierende Lastgang ermittelt.

Vorab soll an nachfolgender Abbildung die grundsätzliche Logik erläutert werden. Sie enthält einige beispielhafte Lastgänge des Standorts „Am Heilbrunnen 107“ (3 Wochentage, 1 Sonntag). Es wird ein Peak von etwa 100 kW Wirkleistung erreicht. Idealerweise sollten Elektrofahrzeuge aus verschiedenen Gründen außerhalb des Peaks laden (siehe „Minimal verfügbar“ in der Abbildung):

- Bestehende Netzanschlusspotenziale werden ausgenutzt.
- Konkurrenz mit dem (vorrangigen) Bedarf der Gebäude wird reduziert.
- Da die Standzeiten der Fahrzeuge genutzt werden, kann die Ladeleistung minimiert werden.
- Die Fahrzeuge laden bei geringeren Ladeleistungen akkuschonend.

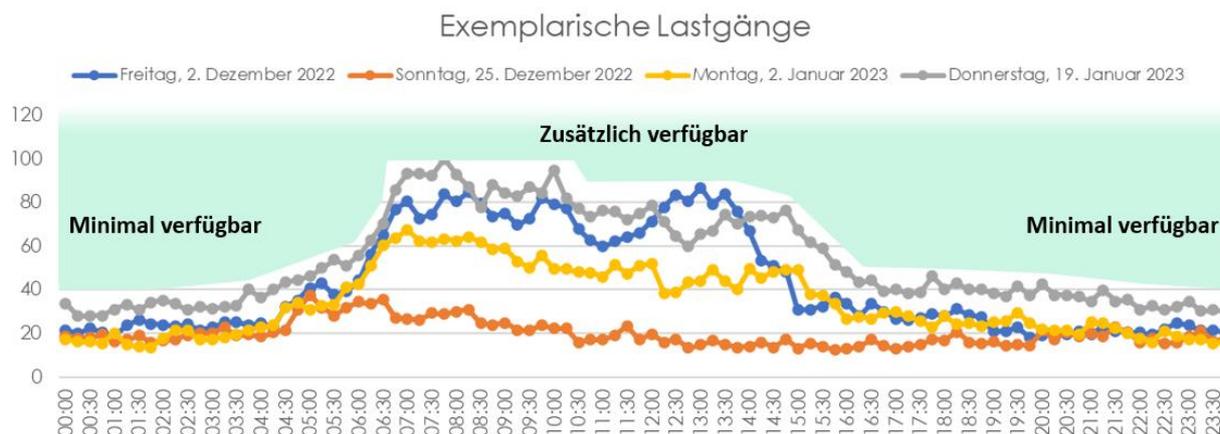


Abbildung 26: Schematische Darstellung der Potenziale für das Laden der Elektrofahrzeuge (Quelle: eigene Darstellung nach TBR)

Für die weiteren Auswertungen wurden Lastgänge der TBR für den Zeitraum 01.11.2021-23.03.2022 visualisiert, siehe Abbildung 27 links. Auf der rechten Seite werden die Häufigkeiten der einzelnen Tagespeaks in 5 kW-Schritten gezählt und es erfolgt eine farbliche Zuweisung nach Wochentagen. Erwartungsgemäß wiesen die Wochentage deutlich größere Spitzenlasten auf als die Wochenendtage.

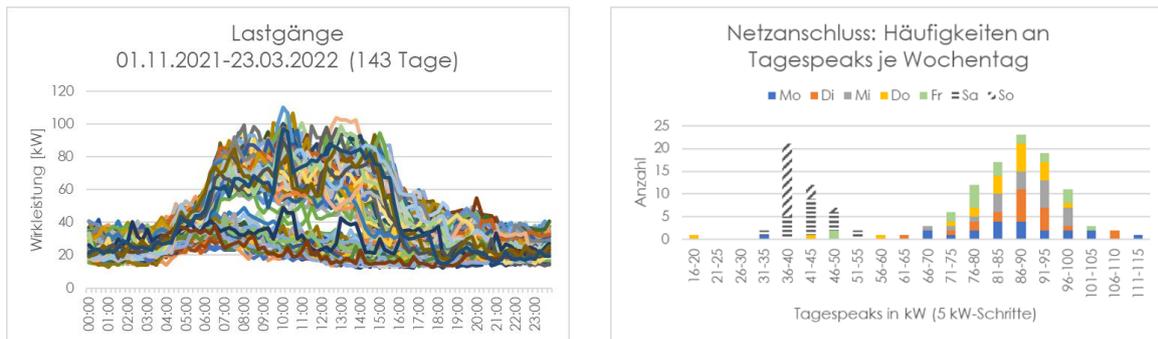


Abbildung 27: Historische Auswertung der Lastgänge und Peaks am Standort Am Heilbrunnen. (Quelle: eigene Darstellung nach TBR)

Die folgenden Auswertungen haben variierende Relevanz für die Standorte. Vor allem der Standort „Am Heilbrunnen 107“ wird durch die Elektromobilität deutliche Lastzuwächse erfahren. Die Standorte Friedhof und Schinderteich sind eher der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Grundlagen für die Analysen zum Lastgang je Szenario:

- Die Auswertungen zum Standort „Am Heilbrunnen 107“ umfassen nicht nur die Elektromobilität, sondern auch den Lastgang des Standorts. So lässt sich visuell ableiten, wie intensiv der Zuwachs an Netzanschlussleistung ist. Hierfür wurde der Tag verwendet, an dem der Jahrespeak auftrat (etwas über 100 kW).
- Auch für die Elektromobilität, deren Lastgang sich aus den realen Laufleistungen und den realen Startzeitpunkten der Ladevorgänge ermittelt, wird derjenige Tage verwendet, der im stärksten Peak resultiert (08.04.2024).
- Da mit der Strategie, die nächtlichen Standzeiten für das Laden zu verwenden, auch der Lastgang begrenzt werden kann, werden die Potenziale des Lastmanagements (transparent grün) aufgezeigt. Die Gesamtlast wird auf den angegebenen Wert gedrosselt, der so gewählt ist, dass alle Fahrzeuge gegen 2 Uhr nachts geladen sind.
- Es werden folgende maximalen Ladeleistungen modelliert (jedes Fahrzeug verfügt über einen eigenen Ladepunkt!):
 - o Kleinkehrmaschinen: 6,6 kW (marktgängig)
 - o Alle Fahrzeuge der Klassen M und N1 (außer Kleinkehrmaschinen): 11 kW
 - o Alle Fahrzeuge der Klassen N2 und N3: 22 kW
 - o Ergänzend wurde der Lastgang simuliert, wenn die Abfallsammler und Großkehrmaschinen, deren Energiebedarf deutlich am größten ist, mit maximal 50 kW (DC) geladen würden. Es zeigt indes ein nur wenig anderes Bild: Der Peak im unregelmäßigen Betrieb würde wachsen, allerdings resultiert hieraus auch ein größerer Wert für die nötige Lastbegrenzung.

Häufig wird angemerkt, dass Elektrofahrzeuge im betrieblichen Kontext – zumal schwere Nutzfahrzeuge – unbedingt über Schnellladepunkte verfügen müssten. Dies entspricht nicht der Realität; die angegebenen Ladeleistungen sind ausreichend. So

können bspw. im Szenario 1 bei der hergeleiteten Lastbegrenzung von 300 kW (abzüglich im Mittel 50 kW des Standorts) über einen Zeitraum von ca. 12 Stunden hinweg ca. 250 kW in Fahrzeuge geladen werden. Dies entspricht etwa einer nachgeladenen Energiemenge für 15.000 km (Pkw) bzw. 3.000 km (Lkw). An keinem der Tage im Betrachtungszeitraum hat der Fuhrpark der TBR diesen Energiebedarf benötigt.

Ergänzend ist die Errichtung von 1-2 HPC-Ladepunkten auf der Lagerfläche südlich des Pförtnerhäuschens sinnvoll. Diese Ladepunkte dienen als Backup, bspw. wenn AC-Ladepunkte ausfallen oder das Laden vergessen wurde. Gleichwohl zeigt sich, dass sie eine psychologisch relevante Funktion besitzen, v.a. in der frühen Phase der Integration von Elektromobilität in den Fuhrpark.

Szenario 1: Vollelektrifizierung

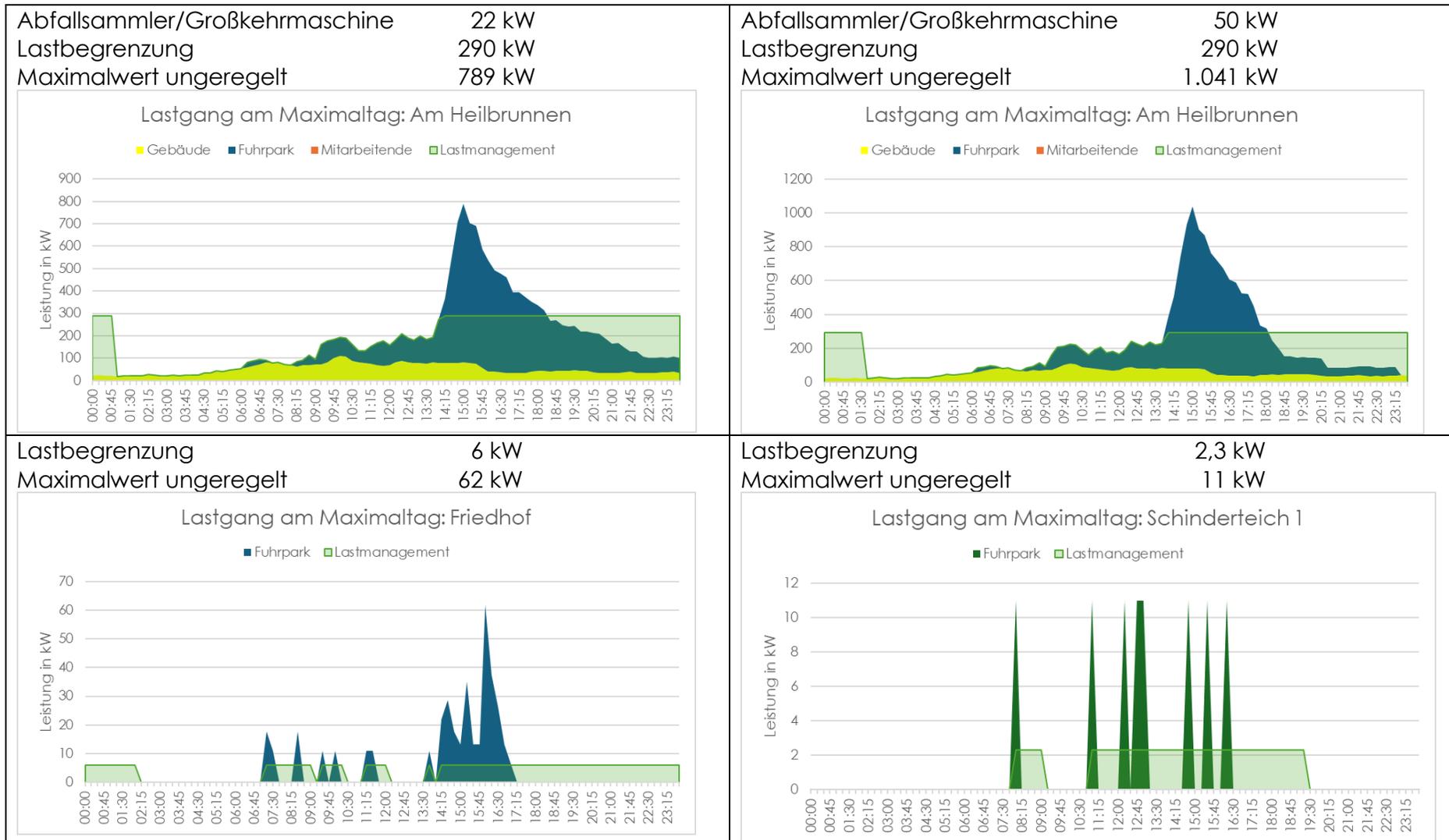


Abbildung 28: Resultierende Lastgänge im Szenario 1: Vollelektrifizierung (Quelle: Eigene Darstellung)

Szenario 2: SaubFahrzeugBeschG

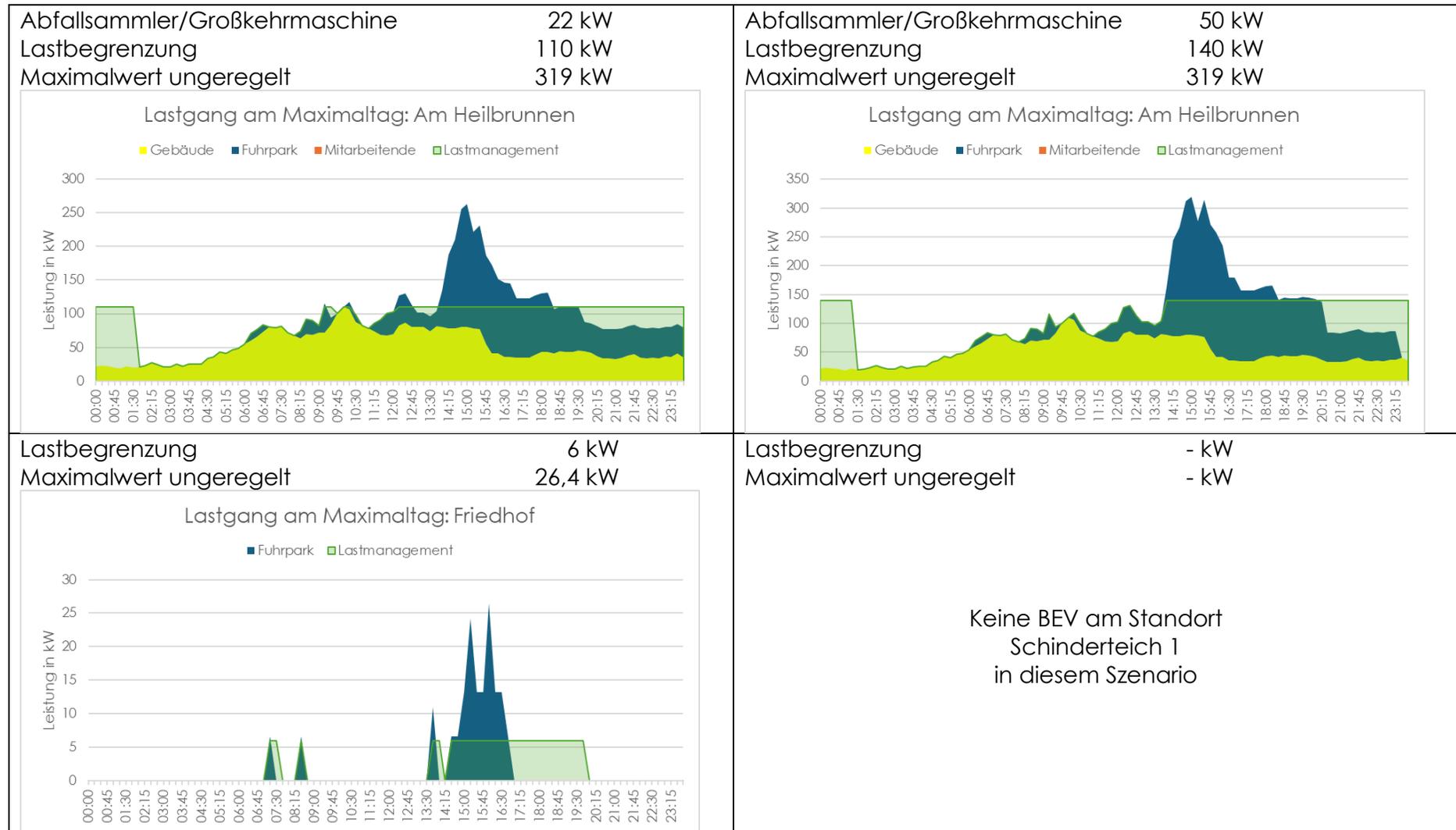


Abbildung 29: Resultierende Lastgänge im Szenario 2: SaubFahrzeugBeschG (Quelle: Eigene Darstellung)

Szenario 3: Ausgewogener Ansatz

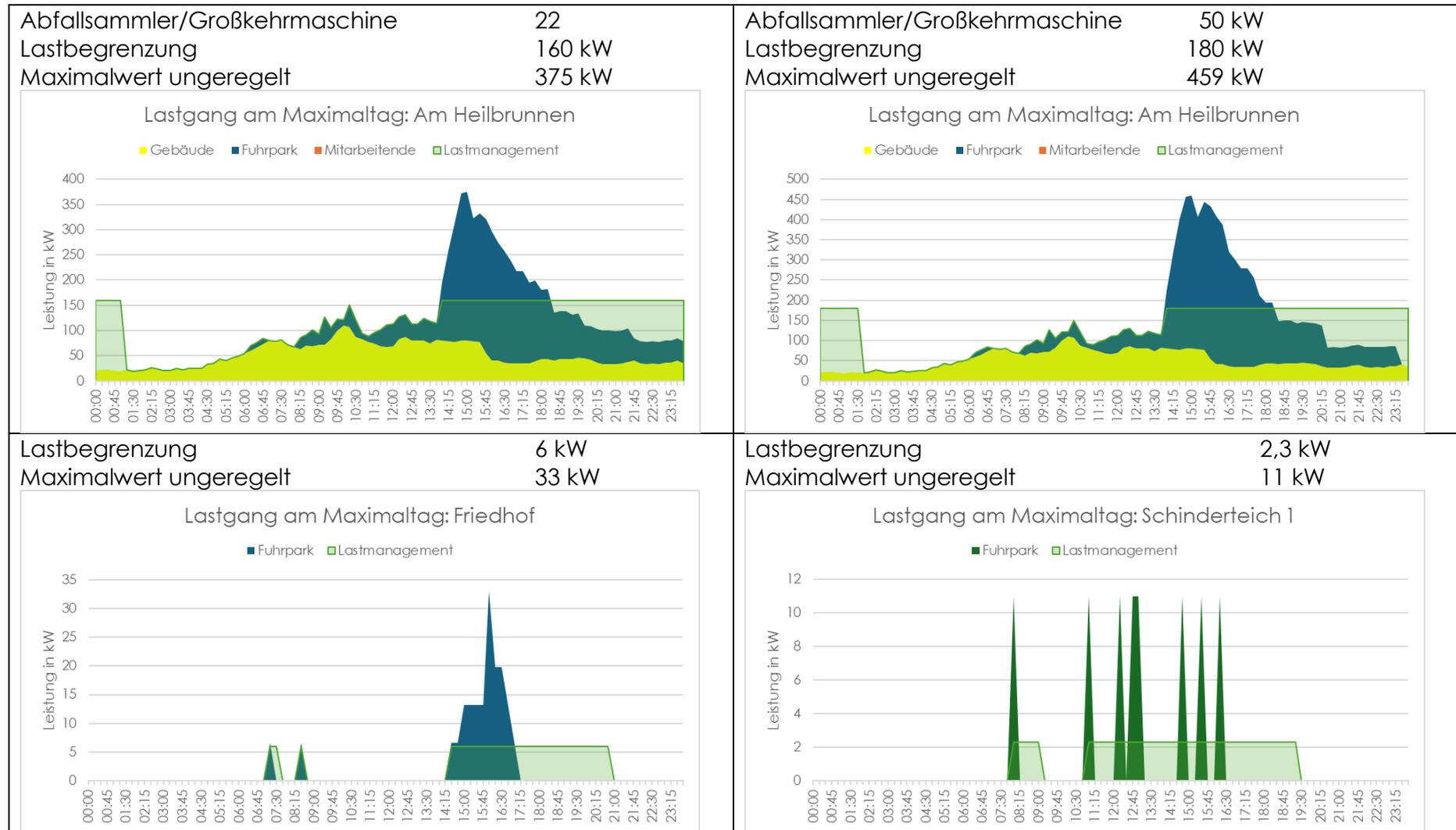


Abbildung 30: Resultierende Lastgänge im Szenario 3: Ausgewogener Ansatz (Quelle: Eigene Darstellung)

5 Maßnahmen und Umsetzung

5.1 Maßnahmenkatalog

5.1.1 Ladeinfrastrukturkonzept für den Fuhrpark

5.1.1.1 Fuhrparkladen

Im folgenden Kapitel werden die Ladeinfrastrukturbedarfe auf Basis der Tageslaufleistungen, der Standzeiten sowie der Elektrifizierbarkeit untersucht. Eine Detailbetrachtung erfolgt dabei nur für den Standort „Am Heilbrunnen 107“, die beiden andere Standorte dürften keine große Herausforderung darstellen.

Die Lastprognosen zeigen den maximalen täglichen Peak in kW an einem durchschnittlichen Nutzungstag an. Diese Peaks sollten stets durch Lastspitzenglättung (Lastmanagement) gekappt werden. Die Fahrzeuge laden dann entsprechend länger, gemeinhin in die Nacht hinein; dies stellt im Bereich der Hardware den Stand der Technik dar.

Pkw

BEV sind mit den heute verfügbaren Reichweiten im Alltag meist nicht mehr darauf angewiesen, täglich laden zu können. Stattdessen stellt sich eine Laderoutine ein, die bei 1-3 Ladevorgängen pro Woche liegt. Insofern ist es nicht länger zwingende Voraussetzung, für jedes BEV einen eigenen Ladepunkt zu installieren. Dies zeigte sich auch im Rahmen der AG Flotte, einem vom ISME im Auftrag des BMDV durchgeführten Austauschformats von Fördermittelempfängern.¹⁴

Basierend auf den ermittelten Standzeiten kann ein standardmäßiges Nachtladen unterstellt werden. Für die Ladeinfrastruktur wird eine Ladeleistung bis maximal 11 kW (AC) empfohlen. Diese Ladeleistung bietet die optimale Kombination aus einer ausreichenden Ladeleistung zur Deckung der Ladebedarfe sowie einer netzfreundlichen Integration des Gesamtladebedarfs.

Nutzfahrzeuge

Wie oben ausgeführt bringen Nfz bisher keine Reichweitenpuffer mit sich, um den täglichen Ladebedarf zu überwinden. Aus diesem Grunde sollte jedem elektrischen Nfz ein eigener Ladepunkt an seinem festen Standort zur Verfügung gestellt werden. Die Ladeleistungen sind Kapitel 4.5 zu entnehmen.

Vor der Auslegung eines Ladeinfrastruktursystems ist es wichtig, die der Elektromobilität zuteilbare Netzanschlussleistung mit dem Netzbetreiber abzuklären. Integrierte Last-

¹⁴ <https://www.now-gmbh.de/aktuelles/veranstaltungen/fuenftes-treffen-der-ag-flotte/>, aufgerufen am 24.11.2023

managementsysteme, welche die Spitzenlast limitieren und die Lastverteilung der einzelnen Ladepunkte steuern lassen, sind am Markt technischer Standard. Diese Funktion wird an Standorten mit mehreren Ladepunkten benötigt.

Was den Ladebedarf betrifft, können 50 km beispielhafte Tageslaufleistung je Fahrzeug bei 11 kW Ladeleistung in etwa einer Stunde nachgeladen werden (Fahrzeugverbrauch: ca. 20 kWh/100 km). Durch ein Lastmanagement können die Standzeiten der Fuhrparkfahrzeuge genutzt werden, weshalb im Mittel auch eine Ladeleistung von ca. 2 kW je Ladepunkt und Fahrzeug (Pkw und leichte Nfz) ausreicht. Die Ladepunkte werden vom Lastmanagement entsprechend heruntergeregelt. Es regelt die Gesamtlast für die Elektromobilität bei einem vordefinierten Wert ab; dieser ist so zu wählen, dass die Funktionen am Gebäude stets problemlos betrieben werden können.

Für vereinzelt vorkommende, sehr große TLL werden die Ladebedarfe auswärts an DC-/HPC-Standorten geladen (analog tanken heute). Dies kann durch Vorhalten einer Ladekarte oder durch Barauslage der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erfolgen (ebenso wie heute; Kartenzahlung ist mit Einführung der AFIR zum 13. April 2024 bei neuen Ladepunkten im öffentlichen Raum Pflicht). Erfahrungsgemäß betrifft dies klar definierte Fahrzeuge.

Öffentliches Laden

Für vereinzelt vorkommende längere Strecken kann es nötig werden, an öffentlicher Ladeinfrastruktur zwischenzuladen. Unterschieden wird hier zwischen Normalladen (AC-Laden bis 22 kW) bei längeren Standzeiten und Schnellladen (DC-Laden mit 50 kW) oder Ultraschnellladen (HPC-Laden ab 100 kW). Bei letztem können - bspw. bei einer Ladeleistung von 150 kW – in 10 min mehr als 100 km Reichweite nachgeladen werden.

Der Zugang zu öffentlichen Ladepunkten ist einmal über eine App oder über Ladekarten eines eMobility Providers (EMP) möglich. Auch das direkte Bezahlen wird in den nächsten Jahren vor allem an Schnellladepunkten zunehmen, da dies die europäische Gesetzgebung vorschreibt.

Für den Fuhrpark wird der Einsatz einer Ladekarte empfohlen, die im Fahrzeug hinterlegt werden kann. Ladekarten werden von einer Vielzahl von EMP zur Verfügung gestellt und bieten den Zugang zu einem Netzwerk an Ladepunkten. Der Ladevorgang wird dann über das Vorhalten der Ladekarte (über RFID) gestartet und direkt durch den EMP mit dem Besitzer der Karte (hier TBR) abgerechnet. Der Preis für diesen Service kann dabei aus drei Bestandteilen bestehen:

- Strompreis (Preis pro geladener kWh)
 - o einige EMP unterscheiden hier nochmal zwischen der Ladetechnologie (AC oder DC, bzw. der Ladeleistung)
 - o ggf. wird hier nochmal zwischen eigenen Ladepunkten des Anbieters und Ladepunkten im Roaming unterschieden

- Preis pro Zeiteinheit (Blockiergebühr)
 - diese Komponente erheben die meisten EMP (erst) ab einer längeren Standzeit am Ladepunkt; der Zeitpunkt, ab dem die Blockiergebühr anfällt kann sich dabei zwischen AC- und DC- Ladepunkten unterscheiden
- Grundgebühr
 - o einige EMP haben (auch) Angebote ohne Grundgebühr, hier fällt ggf. ein höherer Strompreis an
 - o einige EMP erlassen diesen Preisbestandteil, wenn Kunden gleichzeitig andere Verträge mit dem Anbieter haben (z.B. Stromkunde des Anbieters sind)

Anbieter von Ladekarten sind Stromanbieter, Automobilkonzerne und Tankstellenketten. In Übersichten kann man sich über verschiedene Angebote informieren¹⁵. Da längere Strecken und sehr hohe TLL im Fuhrpark außerordentlich selten vorkommen, wird eine Ladekarte ohne Grundgebühr empfohlen. In der Regel wird durch die Ladekarten ein großes Netz an Ladesäulen abgedeckt. Sollte die Ladekarte einmal nicht akzeptiert werden oder nicht funktionieren, kann das Laden auch durch Barauslage erfolgen (ebenso wie beim Tanken heute).

Um unnötige Kosten durch die anfallende Blockiergebühr beim öffentlichen Laden zu vermeiden, wird empfohlen, die kostenlosen Standzeiten des gewählten EMP als Information im Fahrzeug zu hinterlegen und bei etwaigen Preisanpassungen ebenso anzupassen. Zudem sollte in der Dienstanweisung darauf hingewiesen werden, dass Blockiergebühren beim öffentlichen Laden zu vermeiden sind.

5.1.1.2 Mitarbeiter- und Besucherladen

Der Großteil aller Ladevorgänge privater Pkw wird mittel- und langfristig im privaten Raum erfolgen müssen. Der öffentliche Raum kann die bis 2030 und darüber hinaus entstehenden Bedarfe nicht bewältigen. Auch kaufen Kundinnen und Kunden bisher vor allem dann ein BEV, wenn sie über eine Laderoutine im privaten Raum verfügen (zu Hause oder beim Arbeitgeber). Da es sich für viele Menschen, die in Mehrfamiliengebäuden leben, als schwierig herausstellt, zu Hause Ladeoptionen zu schaffen, richtet sich der Blick auf den Arbeitgeber.

Da im Zuge der Fuhrparkelektrifizierung ohnehin Ladepunkte errichtet werden, sollte die Errichtung für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter perspektivisch geprüft werden.

Die Herleitung der konkreten Ladepunktbedarfe für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kann im Rahmen einer Kurzbefragung erfolgen. Hierbei wird zuerst gefragt, ob der/die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Befragung die Beschaffung eines BEV erwägt. Die zweite Frage eruiert, ob grundsätzlich ein Ladepunkt zu Hause errichtet werden kann. Durch Kombination beider Fragen resultiert ein unmittelbarer Bedarf. Alternativ kann auch ohne Befragung mit einem kleinen Kontingent begonnen werden.

¹⁵ Übersichten von Ladekarten <https://www.elektroauto-news.net/ladekarten-vergleich-elektroautos> und <https://www.goingelectric.de/stromtankstellen/anbieter/>

Der Arbeitgeber hat grundsätzlich die Möglichkeit, den Strom an Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu einem reduzierten Tarif oder kostenlos abzugeben; in beiden Fällen entsteht nach § 3 Nr. 46 EstG kein geldwerter Vorteil. Es ist dabei zu bedenken, dass es durch eine kostenlose Stromabgabe zu zusätzlichen Anreizen des MIV gegenüber dem Umweltverbund kommen kann, weshalb die Berechnung des Marktpreises empfohlen wird. Für ein Abrechnungsmodell bedarf es eines sogenannten Backends (Software der Wallboxen), das für die betriebliche Nutzung ausgelegt ist und die Ladevorgänge mit den Mitarbeitenden abrechnet. Hierfür entstehen Kosten im Betrieb. Etablierte Anbieter sind am Markt verfügbar. Da die Stellplätze der Belegschaft räumlich klar abgetrennt sind von den Stellplätzen des Fuhrparks, könnte hier grundsätzlich isoliert agiert werden.

Sollte am Standort Laden für Mitarbeiter angeboten werden, sollte wiederum die Standzeit genutzt werden. Es sollten also Ladepunkte errichtet werden, die ausschließlich Mitarbeitenden zur Verfügung stehen und die über ein Lastmanagement geringe Ladeleistungen anbieten. Die maximale Ladeleistung je Ladepunkt sollte 11 kW betragen, höhere Ladeleistungen sind nicht zielführend. So lassen sich in einer achtstündigen Schicht 88 kWh nachladen, was etwa 400 km entspricht – und die Akkugröße der meisten Fahrzeuge ohnehin übersteigt. Laden viele Fahrzeuge gleichzeitig, reduziert sich die nachgeladene Reichweite entsprechend. Im Gegensatz zum Fuhrpark haben Mitarbeitende aber weder Bedarf noch Anspruch auf Vollladung. Es kann sehr klar definiert werden, welche Leistung in welchem Fenster zur Verfügung gestellt wird. Diese lässt sich mit einem Blick in die Lastgangauswertungen sehr gut ableiten: Im Zeitfenster von Schichtbeginn bis ca. 13 Uhr können die Fahrzeuge laden, danach werden die Ladepunkte geschlossen, so dass die Leistung dem Fuhrpark zur Verfügung steht.

Es ist denkbar, Besuchern eine Ladeoption anzubieten. Hierbei gilt allerdings zu bedenken, dass Besucher aus dem Umkreis über eine eigene Laderoutine verfügen; Besucher aus größerer Entfernung können dagegen Ladebedarfe aufweisen – die grundsätzlich aber auch an öffentlichen Schnellladepunkten gestillt werden können. Sollte nur eine Notladeoption bereitgestellt werden, kann dies an bestehenden Ladepunkten ohne Abrechnung erfolgen. Besteht dagegen die Absicht, eine reguläre Lademöglichkeit mit Abrechnung anzubieten, sollten hierfür nur wenige Ladepunkte genutzt werden, da sie ein aufwändigeres Backend benötigen. Dies könnte sinnvoll umgesetzt werden, indem ein Normalladepunkt (AC) für Besucher geöffnet wird. Nötig erscheint es indes nicht.

5.1.2 Steuerungsgruppe

Die weitreichende Elektrifizierung stellt eine neue Herausforderung für die TBR dar. Schon die Errichtung von Ladepunkten allein bedarf – im laufenden Betrieb – der Einbeziehung zahlreicher interner wie externer Akteure. Darüber hinaus betrifft die Elektrifizierung aber zahlreiche weitere Disziplinen (Lastgänge, Fuhrparkmanagement, Ak-

tivierung etc.), auf deren Herausforderungen in vorliegendem Bericht an verschiedenen Stellen eingegangen wird. Auch die Maßnahmen des Mobilitätsmanagements, der Digitalisierung und der Diversifizierung bringt Kooperationsbedarfe mit sich.

Im Folgenden soll eine möglichst vollständige Nennung der Akteure und ihrer themenspezifischen Herausforderungen erfolgen, um die **Komplexität der Transformation** zu verdeutlichen. Dies soll dazu dienen, den Bedarf der Einrichtung einer **werksübergreifenden Steuerungsgruppe** zu untermauern, die mit relevanten Akteuren der im Folgenden genannten Disziplinen besetzt sein sollte. Gleichwohl sind die konkreten Verantwortlichkeiten innerhalb der Konzernstruktur von außen nicht vollständig zu erfassen, so dass die konkrete Zusammensetzung im Rahmen eines konzerninternen Prozesses identifiziert werden sollte. In jedem Fall wird angeregt, eine solche Steuerungsgruppe durch eine **Top-Down-Entscheidung des Boards** zu initiieren. Ohne eine solche Legitimation läuft die Transformation – bestehend aus Elektromobilität auf Basis der Machbarkeitsstudie und CO₂-neutraler Produktion auf Basis des Transformationskonzepts – Gefahr, zwischen bestehenden Aufgabenbereichen der in ihren Zielsetzungen getrennten Organisationseinheiten zerrieben zu werden.

Die werksübergreifend einzubeziehenden Akteure und Aufgaben sind:

- **Facility Management:** Planungsleistungen Errichtung und Wartung LIS, Planung der vorgelagerten Netzinfrastruktur, Vergabe von Leistungen
- **Fuhrparkmanagement:** öffentliches Laden (Verbund, Zugangsmedien, Abrechnung), UVV-Prüfung, Prüfung von Ladekabeln, Aktualisierung Dienstanweisung
- **IT:** Definition von Schnittstellen zwischen den bestehenden IT-Systemen zu LIS-Backends und zur neuen Fuhrparkmanagement-Software
- **Finanzen:** Koordination Dienstradleasing (sofern umgesetzt), Festlegung Strompreis für Mitarbeitende (sofern umgesetzt)
- **Weitere Themen**, die in der Steuerungsgruppe bearbeitet werden müssen, sich aber nicht automatisch einer der genannten Akteursgruppen zuordnen lassen:
 - o Betrieb der LIS (Vergabe an Dritte)
 - o Aufgabenzuordnung Pedelec-Wartung

5.1.3 Betreiberkonzept/rechtliche Fragestellungen

Für die Ausgestaltung und Umsetzung des Betreiberkonzepts sind in erster Linie die Vorgaben des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) maßgeblich. In § 3 Nr. 25 des EnWG ist inzwischen ausdrücklich klargestellt, dass Ladepunktbetreiber sog. Letztverbraucher sind. Dies hat zur Folge, dass die Abgabe von Ladestrom an den Ladesäulen nicht als Stromlieferung im Sinne des EnWG gilt und die Ladepunktbetreiber folglich nicht den Pflichten unterliegen, die das EnWG für Stromlieferanten vorsieht. Dies gilt unabhängig davon, ob Fahrzeuge der TBR oder Fahrzeuge Dritter an den Ladesäulen laden.

Um diese Rechtssicherheit und langfristig günstiges Laden gewährleisten zu können, ist es wichtig, dass die TBR die Ladepunkte auf eigene Kosten beschafft („Träger des

wirtschaftlichen Risikos“). Der Betrieb kann an einen Dienstleister vergeben werden. Beschafft ein externer Akteur die Ladepunkte und trägt dieser somit das wirtschaftliche Risiko, trifft die Rolle des Letztverbrauchers auf diesen zu – dem Eigentümer der vorgenannten Strominfrastruktur (TBR) könnten dann energiewirtschaftliche Rollen zufallen.

5.1.4 Elektrifizierung und Fuhrparkmanagement

Fuhrparks, besonders im kommunalen Kontext, bestehen häufig aus gewachsenen Strukturen, die weniger auf einer ganzheitlichen Planung beruhen als auf individuellen Bedarfsmeldungen. Dies liegt schlicht darin begründet, dass Kommunen – häufig auch Unternehmen – keine Mittel für die explizite Verwaltung der Fahrzeugflotte (insbesondere Pkw) zur Verfügung haben. Das führt einerseits dazu, dass Fuhrparks häufig mehr Fahrzeuge umfassen als nötig. Andererseits ergeben sich dadurch auch häufig ineffiziente Organisationsstrukturen, in denen nicht selten auch grundlegende Fragen bspw. zur Haftung im Kontext der Haltereigenschaft ungeklärt sind. Hierzu soll das folgende Kapitel Handlungsmöglichkeiten aufzeigen. Wesentliche Aspekte hierbei beziehen sich nicht explizit auf die Elektromobilität, sondern sollten grundsätzlich umgesetzt werden. Bestehen spezifische Anforderungen an die Elektromobilität, wird dies speziell hervorgehoben.

5.1.4.1 Effizienz

Ein zentrales Fuhrparkmanagement (FPM) stellt den wesentlichen Ansatz dar, Fuhrparks nach Effizienzgesichtspunkten auszugestalten. Erst durch eine zentrale Verwaltung der Fahrzeuge und der damit verbundenen Anforderungen kann es dauerhaft gelingen, den Fuhrpark auf die konkreten Anforderungen anzupassen und zugleich nachhaltiger auszurichten. Hierzu ist in erster Linie eine möglichst umfassende Datenverfügbarkeit – sowohl zu den Fahrzeugen selbst als auch zu Nutzungsstrukturen – ausschlaggebend. Diese kann durch den Einsatz von FPM-Software erreicht werden. Die Kosten für solch eine Software können zu relevanten Teilen durch die damit mögliche Verkleinerung des Fuhrparks gegenfinanziert werden. Im Kontext der Kosten zeigt sich ohnehin, dass Organisationen ohne FPM keine gute Vorstellung der Gesamtkosten des Fuhrparks und damit der Kosten je dienstlich zurückgelegtem Kilometer haben. Erst mit einer umfassenden Datenbasis lässt sich diese Kostentransparenz erreichen; und erst dann lassen sich auch im täglichen Betrieb Stellhebel zur Effizienzsteigerung identifizieren.

Neben der zentralen Fahrzeugverwaltung, mit den genannten Vorteilen, kann auch die Fahrzeugbuchung vereinheitlicht werden, was gemeinhin auch heißt: Historisch gewachsene Bevorzungen und Benachteiligungen einzelner Fachbereiche/Ämter beim Zugriff auf Fahrzeuge können entspannt werden. Unberührt hiervon ist der Umstand, dass einzelne dienstliche Zwecke durchaus einer ständigen Bevorrechtigung bedürfen (bspw. im Vollzugsdienst). Ein FPM kann sich durch sukzessives Re-Pooling an eine möglichst effiziente Zugangsstruktur herantasten.

Mit der oben ausgeführten Differenzierung des Fuhrparks wird ein FPM auch ein stückweit zum Mobilitätsmanagement. Dies betrifft nicht nur die Verfügbarmachung und Instandhaltung alternativer Verkehrsmittel (bspw. Lastenräder), sondern auch die Kooperation mit externen Anbietern (bspw. Carsharing) zur Deckung von Bedarfsspitzen, um den eigenen Fuhrpark zu verkleinern. Zuletzt müssen Maßnahmen, die in diesem Kontext umgesetzt werden, stets intensiv in Richtung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kommuniziert werden. Und gerade am Beispiel der Elektromobilität zeigt sich, dass Kommunikation nicht ausreicht: Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter benötigen wiederkehrende Einweisungen in die Fahrzeuge und das Laden und sie müssen beides ausprobieren können, idealerweise im Rahmen wiederkehrender Aktionen.

5.1.4.2 Sicherheit

Unfallverhütungsvorschriften

Bislang existiert keine Vorschrift, nach der die Unterweisung bzgl. Elektrofahrzeugen abweichende Inhalte zu herkömmlichen Fahrzeugen umfasst. Insofern sind zunächst die allgemein gültigen Bestimmungen des Arbeitsschutzgesetzes und der Betriebsstättenverordnung zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung – und daraus abgeleitet die Fahrerunterweisung – zu beachten. Es empfiehlt sich aber dringend, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wiederholt Ausprobierangebote zu unterbreiten, bei denen sowohl gefahren als auch geladen wird. Die Erfahrung zeigt: Selbst bei grundsätzlich vorhandenem Interesse an der Elektromobilität wird im Arbeitsalltag ein Risiko oder zumindest ein vermeidbarer Stressfaktor bzgl. der Einhaltung von Terminen in der neuen Technologie gesehen.

Gefährdungsbeurteilung

Ggf. bestehende Gefährdungsbeurteilungen sind zu überprüfen und anzupassen, falls sich die betrieblichen Gegebenheiten durch die Elektromobilität gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren verändert haben. Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung fließen in die Fahrerunterweisung ein und bestimmen deren Inhalte.

Die folgenden Aspekte sind zu adressieren:

- **Parken und Laden** des Elektrofahrzeugs
- **Geräuschemission:** Aufgrund des lautlosen Elektroantriebs sind Elektrofahrzeuge bei geringen Geschwindigkeiten gar nicht oder nur spät zu hören. Fahrer sollten sich deshalb auf unerwartete Reaktionen von Fußgängerinnen und Fußgängern sowie Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern einstellen. Seit dem 01. Juli 2019 müssen BEV zum Schutz von Fußgängerinnen und Fußgängern bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h Geräusche von sich geben, welche vom sogenannten AVAS (Acoustic Vehicle Alerting System) generiert werden. Nach einer ersten Gewöhnungsphase sind sich Elektrofahrzeugnutzerinnen und -nutzer dieses Umstands bewusst und passen ihr Fahrprofil – analog zu Radfahrerinnen und Radfahrern – daran an.

- **Gewichtsverteilung:** Die im Unterboden verbauten, schweren Batterien bedingen ein vom Verbrennerfahrzeug abweichendes Fahrverhalten, das sich durch längere Bremswege und auf das Kurvenfahren auswirken kann. Fahrerinnen und Fahrer gewöhnen sich sehr schnell an diese Gegebenheiten, Anfängerinnen und Anfängern sollten sie dennoch kommuniziert werden.
- **Rekuperationsstufen:** Einige Elektrofahrzeuge verfügen über mehrere Intensitätsstufen zur Rückgewinnung von Bremsenergie. Diese können während der Fahrt angepasst werden und führen bei geübten Fahrerinnen und Fahrern dazu, dass kaum mehr aktiv über das Bremspedal gebremst werden muss. Beim Wechsel zwischen diesen Stufen kann sich die Geschwindigkeit allerdings plötzlich reduzieren bzw. die Bremswirkung fällt weg. Beides könnte bei Fahrern, die dieses Verhalten nicht kennen, zu Gefahrensituationen mit anderen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern führen, weshalb eine Einweisung erfolgen sollte.
- **Spannung:** In Elektrofahrzeugen liegen Spannungen bis zu 800 Volt an, weshalb Fahrerinnen und Fahrer keine (v.a.: orangefarbenen) Leitungen des Hochvolt-systems anfassen sollten und ausschließlich geprüfte Ladekabel eingesetzt werden dürfen.
- **Deformation der Batterie bei einem Unfall:** Unfallhelferinnen und -helfer sowie Rettungskräfte sollten auf den Elektroantrieb hingewiesen werden. Eine Deformation der Batterie kann unter bestimmten Gegebenheiten zu Erhitzung und einem „thermal runaway“ (Ausgasen und Brand der Zellen) führen. Jedes Fahrzeug sollte im Fall eines Unfalls verlassen werden.
- **Richtlinie einhalten:** Beim Einsatz von Elektrofahrzeugen ist zu beachten, dass die Ladekabel und Elektroadapter als bewegliche Arbeitsmittel durch Elektrofachkräfte auf Betriebssicherheit, Arbeitssicherheit sowie Verkehrssicherheit geprüft werden (Prüfungsgrundlage „ECE R 100“). Elektrofahrzeugnutzerinnen und -nutzer können lediglich per Sichtprüfung eventuelle Defekte von Ladekabeln feststellen.

Es empfiehlt sich generell, in jedem Fuhrparkfahrzeug einen laminierten Fahrzeugflyer zu hinterlegen, der die folgenden Informationen enthält:

- Vor Fahrtantritt/Schichtbeginn: Mängelprüfung durch Rundgang um das Fahrzeug. Erläuterung der Aspekte, auf die zu achten ist.
- Darauf hinweisen, das Vorhandensein folgender Fahrzeugbestandteile zu prüfen: Warnwesten/Warnschutzjacken, Verbandskasten, Wagenheber
- Erläuterung zum Verhalten bei Unfällen sowie im Fall eines nötigen Bergens/Schleppens die zuständige Hotline-Nummer
- Hinweise zum Abstellen von Fahrzeugen
- Hinweis auf Verbot von Handynutzung im Kfz sowie Verweis auf die Haftung

- Speziell für Elektrofahrzeuge: Hinweise zum Laden von Fahrzeugen am Dienstort UND außerhalb (Ladekarte, ggf. Kostenauslage)

Auch eine Betriebsanweisung zum Tragen von Warnwesten sollte von jeder Fahrzeugnutzerin und jedem Fahrzeugnutzer unterschrieben werden. Hierin ist geregelt, unter welchen Umständen die Warnweste zu tragen ist. Dies dient einerseits der Information, andererseits der klaren Zuordnung der Haftung bei Unterlassung.

Führerscheinkontrolle

Es zeigt sich im Alltag häufig, dass die gesetzlich vorgeschriebene Führerscheinkontrolle (mindestens alle 2 Jahre, allerdings jährlich empfohlen) nicht durchgeführt wird. Im Falle eines nicht kommunizierten Verlusts des Führerscheins ist haftet bei einem Unfall nicht die Fahrzeugnutzerin oder der Fahrzeugnutzer, sondern der Fahrzeughalter – also die Kommune.

Es existieren verschiedene System zur Kontrolle des Führerscheins. So können die Führerscheine durch das FPM selbst geprüft werden, die Aufgabe kann an einen externen Dienstleister vergeben werden oder es wird eine Software als Buchungssystem eingesetzt, die eine Führerscheinkontrolle bei jeder Dienstfahrt integriert. Dies erfolgt durch Aufbringung des Schlüsselkasten-Zugangschips auf dem Führerschein der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Somit gilt der Führerschein bei jeder Schlüsselentnahme als geprüft.

5.1.4.3 Softwares

Um die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit der gepoolten Fahrzeuge im Fuhrpark zu optimieren und eine strukturierte Datenerfassung zu ermöglichen, empfiehlt sich ggf. die Nutzung einer Fuhrparkmanagement-Software.

Aktuelle Fuhrparkmanagement-Lösungen bieten darüber hinaus Lösungen für das Erstellen einer digitale Fahrzeugakte, eine Workflowunterstützung (z.B. beim Buchungsprozess oder einer Schadensmeldung), die Erstellung eines rechtssicheren Fahrtenbuches, den Zugang zum Fahrzeug in Abhängigkeit einer Buchung sowie eine digitale Unterstützung bei der UVV-Unterweisung und der Führerscheinprüfung. Im Rahmen des Projektes wurde ein Marktüberblick über bestehende FPM-Lösungen geschaffen.

Im ersten Schritt sollten die Anforderungen an eine neue FPM-Lösung geklärt werden. So zeigen sich bspw. Vor- und Nachteile bei Cloudlösungen gegenüber einem eigenen Hosting (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Grundlegende Überlegungen für den Einsatz einer FPM-Software (Eigene Darstellung)

	Eigenes Hosting	Cloudlösung (SaaS)
Investitionskosten	Hoch	Niedrig/Keine, ggf. für Hardwarekomponenten (Schlüsselschrank, OBD-Gerät)
Laufende Kosten	Gering (ggf. für Wartungsarbeiten oder zukünftige Updates)	Mittel (Mietzahlungen für die Software), abhängig von Nutzer- bzw. Fahrzeuganzahl

Datenhaltung	Daten liegen auf dem eigenen Server	Daten liegen auf dem Server des Anbieters
Aufwand	Die Verantwortung für das Hosting der Flottenmanagement-Software liegt beim Kunden. → Personalaufwand, Serverkapazität	In den Mietzahlungen sind Updates, Wartungen, Hosting etc. enthalten.

Die Kriterien, die eine Software erfüllen muss bzw. erfüllen sollte, variieren über einen derart breit aufgestellten Fuhrpark. Mögliche Kriterien sind der folgenden Tabelle zu entnehmen und sollten kategorisiert (Muss, Soll, Kann) und bewertet (X, XX, XXX) werden, wenn sich die Frage der Beschaffung einer FPM-Software stellt.:

Tabelle 11: Darstellung der Anforderungen an eine FPM-Software und deren Priorisierung als Workshopergebnis (Eigene Darstellung)

Kriterium	Varianten
Zugänglichkeit	Über den Browser Browser-App App
Digitale Fahrzeugakte	Ablage von Dokumenten Termine (inkl. Erinnerungen)
Digitales Fahrtenbuch	ggf. mit Telematik
Zugang zum Fahrzeug	Schlüsselkasten Per App
Führerscheinkontrolle/ jährliche Unterweisung	Terminerinnerung! / digital Terminerinnerung / digitale Durchführung
Schnittstellen	Initiale Aufnahme der Nutzer Schnittstelle zur Personalliste (Maria-SQL-Datenbank) Kostensoftware des LRA
Auswertung	Kostenauswertung Erstellung von CO ₂ -Reports Integration Tankkosten/ Stromkosten
Workflow- Unterstützungen	Stornierungsmöglichkeit durch Nutzer Buchung durch Dritte Zwingende Eingabe eines Reisezwecks (Thema: ÖPNV-Nutzung bei Schulungen) Freigaben durch FPM je nach Reisezweck/ Buchungsdauer Umbuchungen durch FPM möglich Automatische Mail bei Umbuchungen Manuelle Priorisierung durch FPM bei konkurrierenden Fahrzeuganfragen Freigabe bei längeren Standzeiten mgl. Automatische Freigabe nach Rückkehr Carsharing Schadensmanagement (Meldung!) Strafzettelmanagement
Diensträder integrierbar	Verfügbarkeit und Buchungsmöglichkeit
E-Fahrzeuge	Bevorzugte Vergabe Abgleich der Reichweite Puffer für Ladezeiten
Fahrzeugbeschaffung	
Kostenlose Testoption	

Im nächsten Schritt wurde ein grober Marktüberblick für FPM-Softwarelösungen geschaffen. Hierbei konnte auf Anbieterlisten^{16 17} zurückgegriffen werden, die um eigene Recherchen ergänzt wurden. Einige Softwareprodukte wurden daraufhin einer näheren Recherche unterzogen.

Tabelle 12: Auswahl an FPM-Software zur Auswahl von Gesprächspartnern für die Markterkundung (Eigene Darstellung)

	Vimcar	Carano	Fleetster	Avrios	Azowo	Carpanion/ GPS.at	Car-sync	Kfz-Plan 4.0
Kaufsoftware	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja
SaaS (Software as a Service)	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein (ja)
Buchungstool für Poolfahrzeuge	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Erinnerung Führerscheinkontrolle/ UVV-Unterweisung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Buchungskalender für Fuhrparkmanagement	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Workflowunterstützung ¹⁸	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Integration von Pedelecs	(ja) als Fzg.	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	ja	(ja)	(ja)

Auf Basis der Liste könnten in einem nächsten Schritt Markterkundungsgespräche geführt werden, um die konkreten Anforderungen mit den jeweiligen Angeboten abzugleichen.

5.2 Umsetzungsplan/Beschaffungspläne

Basierend auf der hergeleiteten Elektrifizierbarkeit sowie den Zeitpunkten zur Ersatzbeschaffung (Tabelle 7) stellen die folgenden Abbildungen Beschaffungspläne dar. Diese sind analog zu den anderen Auswertungen nach Fahrzeugklassen einerseits (Zeilen) und nach den Szenarien andererseits (Spalten) strukturiert.

.

¹⁶ bfp Fuhrpark & Management - Marktübersicht Fuhrparksoftware 2021 des: <https://www.fuhrpark.de/marktuebersicht-2021-software-fuer-die-fuhrparkverwaltung> (abgerufen 01.04.2024)

¹⁷ Software-ABC – Fuhrparkmanagementsoftware: <https://www.softwareabc24.de/fuhrparkmanagement-software/#ratgeber> (abgerufen: 01.04.2024)

¹⁸ Workflowunterstützung bieten alle Anbieter, teilweise mit Standardeinstellungen

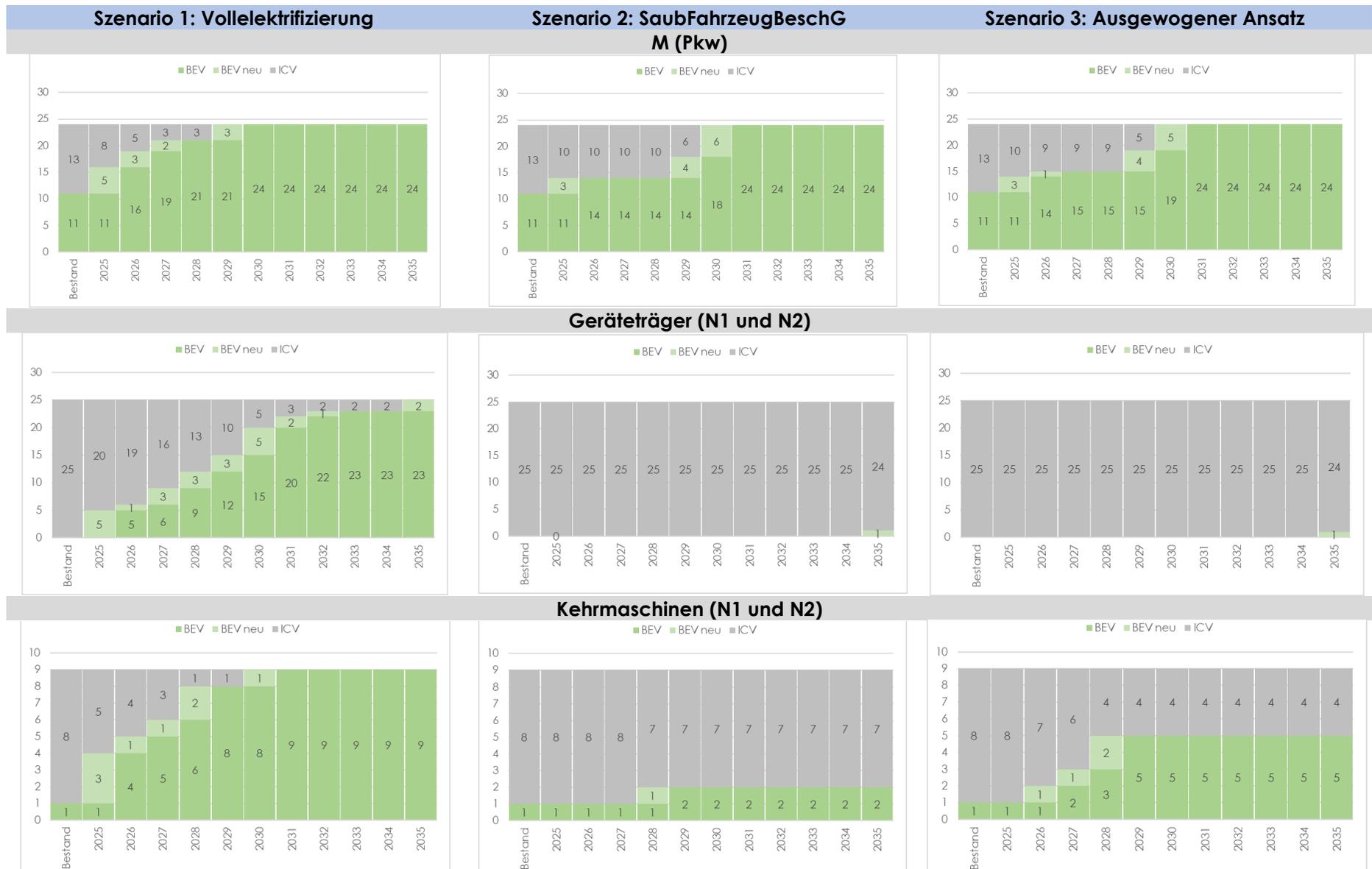


Abbildung 31: Beschaffungspläne der Elektrifizierung in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen M, Geräteträger & KeHmaschinen [Quelle: eigene Darstellung]

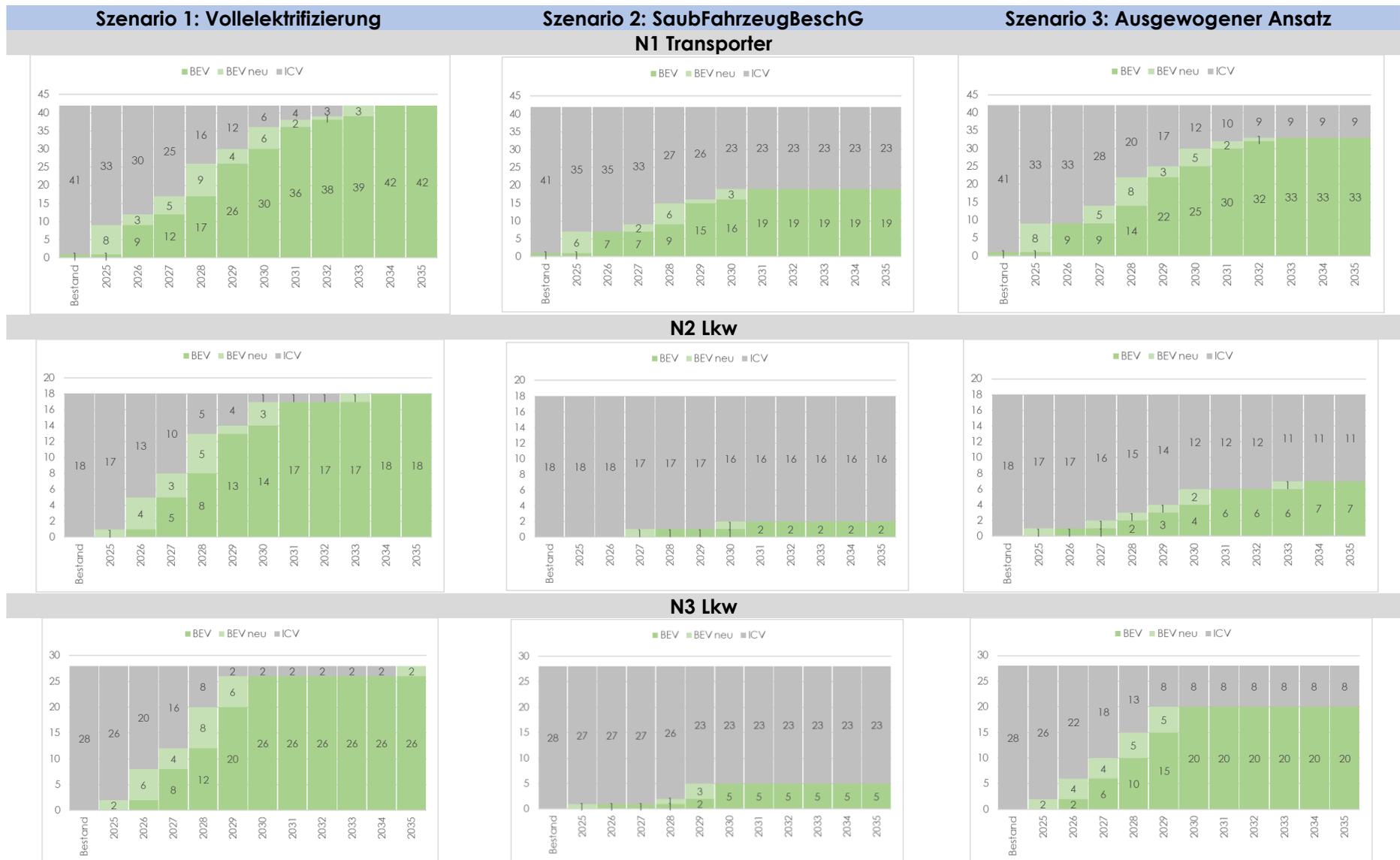


Abbildung 32: Beschaffungspläne der Elektrifizierung in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen Transporter, N2 und N3 [Quelle: eigene Darstellung]

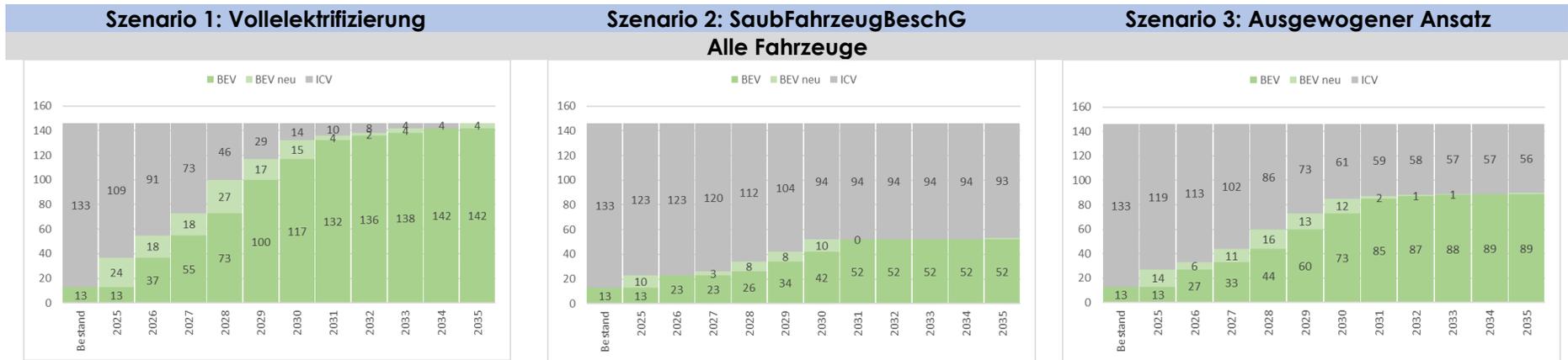


Abbildung 33: Beschaffungspläne der Elektrifizierung in den drei Szenarien für den gesamten untersuchten Fuhrpark [Quelle: eigene Darstellung]

6 Berechnung des CO₂-Einsparpotenzials

Vorabbemerkung: Die Methodik des vorliegenden Konzepts integriert die CO₂-Emissionen der Produktion in die Betrachtung. Eine isolierte Betrachtung des CO₂-Einsparpotenzials in der Nutzung erfolgt wie vom Projektträger gewünscht in der einzureichenden Berechnungstool-Vorlage entsprechend der dort hinterlegten Methodik.

Die produktionsspezifischen CO₂-Emissionen von Elektrofahrzeugen sind aufgrund der Batterieherstellung höher als bei Verbrennerfahrzeugen. Die Emissionen je kWh Batteriekapazität wurden wissenschaftlich zuletzt mit bis zu 106 kg CO₂e pro kWh Batteriekapazität angegeben [19]. Mit der Massenproduktion der Akkus hat sich dieser Wert seit Jahren signifikant verbessert. Durch den zunehmenden Einsatz erneuerbarer Energien in Batteriefabriken (mit regional starken Unterschieden) sind weitere Verbesserungen wahrscheinlich. Für die vorliegende Ausarbeitung wurden Angaben von Fahrzeugherstellern untersucht, um gute Näherungen auf Primärdaten zu erreichen. Wo keine Quellen vorhanden waren, wurde die Batteriekapazität mit dem oben genannten Wert verwendet oder zwischen zwei Fahrzeugklassen interpoliert. Eine Übersicht der je Fahrzeugklasse zugrundeliegenden Daten ist Anhang 3 zu entnehmen.

Die verbrauchsgebundenen CO₂-Emissionen resultieren bei Elektrofahrzeugen aus dem aktuellen CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommix, sofern kein Ökostrombezug vorliegt. Der Faktor liegt für das Jahr 2021 bei 420g/kWh [20, p. 11]. In Abhängigkeit vom weiteren Ausbau regenerativer Energien in Deutschland wird dieser Wert weiter sinken und die Klimabilanz der Elektrofahrzeuge verbessern. Für die folgenden Betrachtungen wird von einem klimaneutralen Strombezug ausgegangen, welcher bspw. bei Inanspruchnahme von Fördermitteln ohnehin eine Voraussetzung darstellt. Die Emissionsfaktoren für Treibstoffe betragen 289 g CO₂e/kWh bei Benzin und 283 g CO₂e/kWh bei Diesel. Diese werden mit den Heizwerten¹⁹ und dem jeweiligen Fahrzeugverbrauch multipliziert (siehe Anhang 1-3).

Die folgenden Abbildungen enthalten in den Balken die CO₂-Emissionen aus Produktion (dunkel) und Betrieb (hell.) Ergänzend sind die Emissionen je km aufgetragen (Rauten). Die Abbildungen sind analog zur Kostenbetrachtung in Kapitel 4.4 und zur Darstellung der Beschaffungspläne in Kapitel 5.2 strukturiert. Es zeigt sich für mehrere Fahrzeugklassen, dass eine sture Elektrifizierung zu Mehremissionen führen kann. Dieses Risiko ist mit dem ausgewogenen Szenario 3 umschiff, da hier keine Fahrzeuge elektrifiziert werden, die zu Mehremissionen führen.

Die Vollelektrifizierung des Fuhrparks (100% Elektrifizierungsquote) führt zu Emissionssenkungen von ca. 46,7%, wie aus der zusammenfassenden Tabelle 13 hervorgeht. Die gesetzlichen Mindestanforderungen (ca. 30% Elektrifizierungsquote) führen zu Einsparungen von ca. 23,5%. Die größten Einsparungen zeigen sich in Szenario 3: 53,9% bei 57% Elektrifizierungsquote. Eine Effizienzbetrachtung erfolgt im Fazit.

¹⁹ Heizwerte: Benzin: 8,87 kWh/l, Diesel: 9,95 kWh/l.

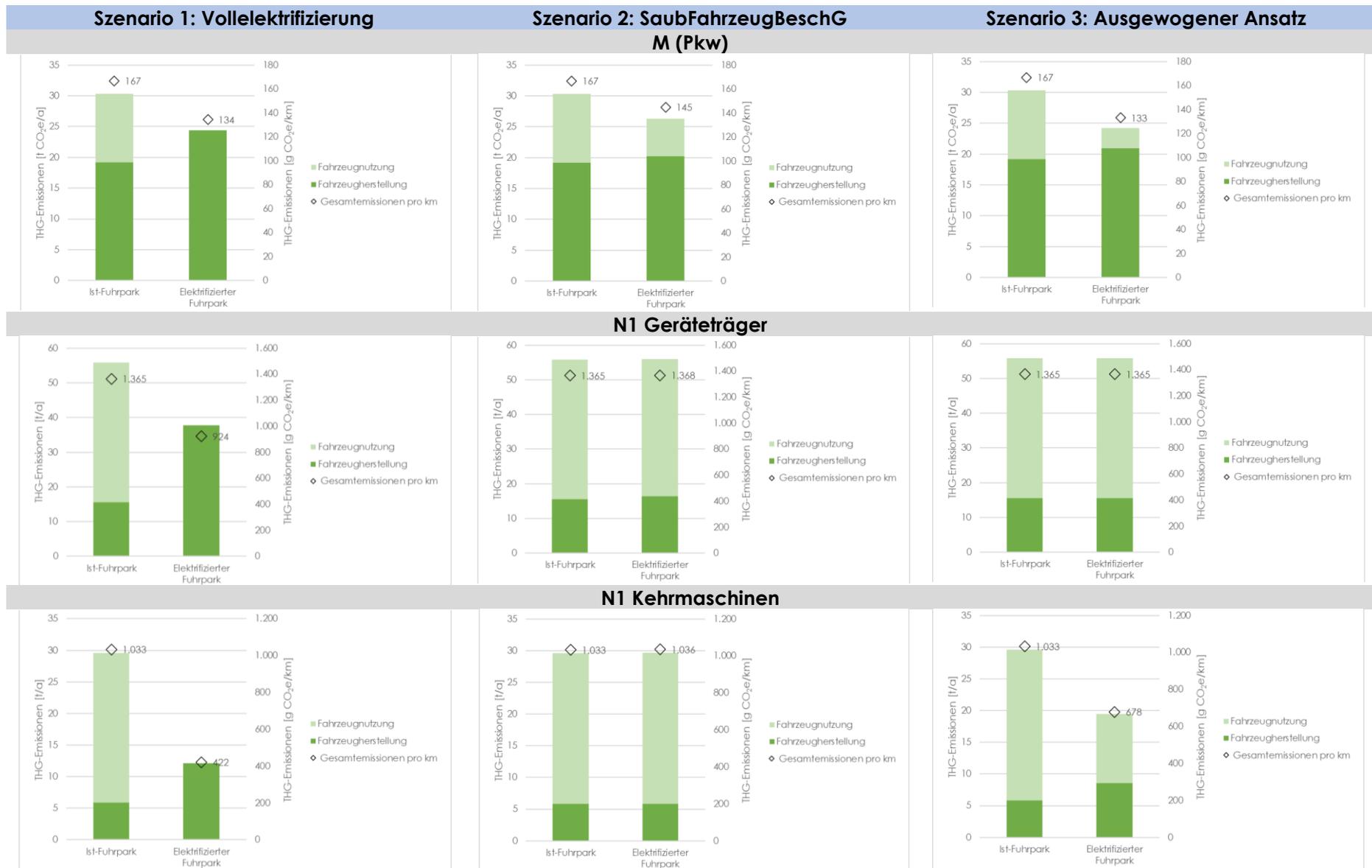


Abbildung 34: CO₂-Emissionen der Elektrifizierung in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen M, Geräteträger & Kehrmaschinen [Quelle: eigene Darstellung]

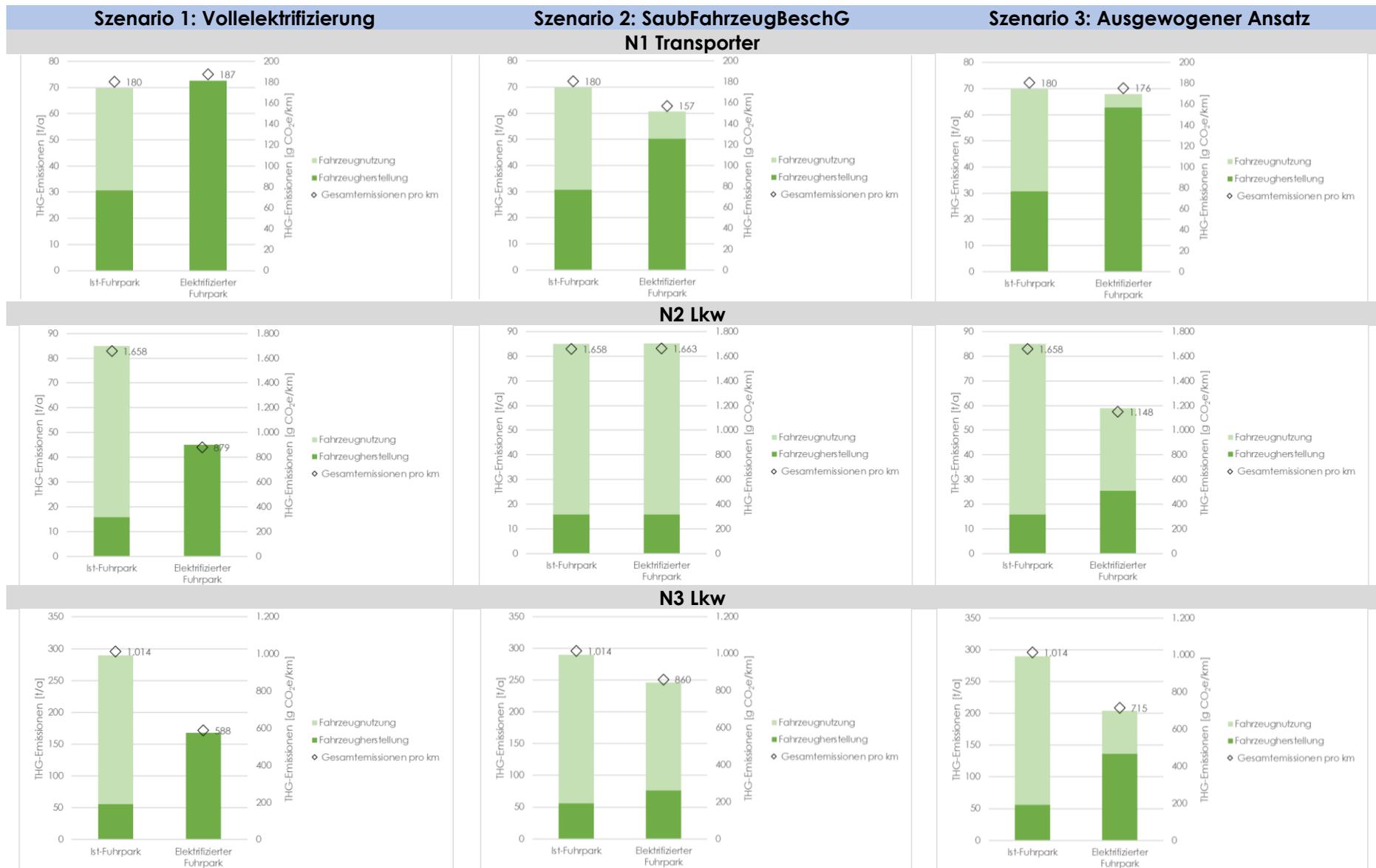


Abbildung 35: CO₂-Emissionen der Elektrifizierung in den drei Szenarien für die Fahrzeugklassen Transporter, N2 und N3 [Quelle: eigene Darstellung]

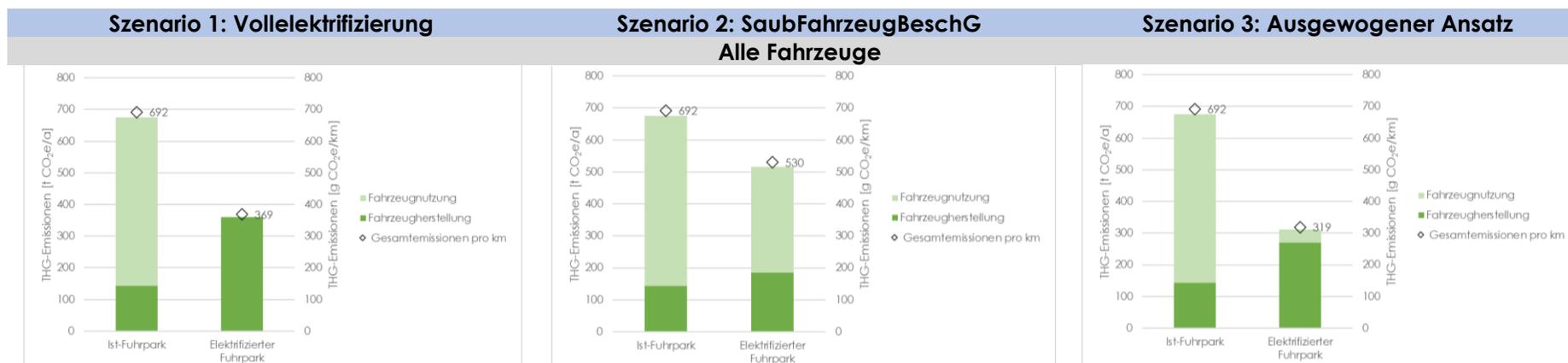


Abbildung 36: CO₂-Emissionen der Elektrifizierung in den drei Szenarien für den gesamten untersuchten Fuhrpark [Quelle: eigene Darstellung]

Tabelle 13: CO₂-Emissionen der Elektrifizierung in den drei Szenarien für den untersuchten Fuhrpark [Quelle: eigene Darstellung]

Fahrzeugklasse	Ist-Fuhrpark	Szenario 1: Vollelektrifizierung		Szenario 2: SaubFahrzeugBeschG		Szenario 3: Ausgewogener Ansatz	
		Elektrifizierter Fuhrpark	Abweichung	Elektrifizierter Fuhrpark	Abweichung	Elektrifizierter Fuhrpark	Abweichung
M	30,3 t/a	24,4 t/a	-19,4%	26,3 t/a	-13,1%	24,2 t/a	-20,1%
N1 Geräteträger	55,8 t/a	37,8 t/a	-32,3%	55,9 t/a	+0,2%	55,8 t/a	0,0%
N1 Kehrmaschinen	29,6 t/a	12,1 t/a	-59,2%	29,7 t/a	+0,2%	19,4 t/a	-34,4%
N1 Transporter	69,8 t/a	72,5 t/a	+3,8%	60,7 t/a	-13,0%	67,9 t/a	-2,7%
N2	85,0 t/a	45,1 t/a	-47,0%	85,3 t/a	+0,3%	58,9 t/a	-30,7%
N3	289,6 t/a	168,0 t/a	-42,0%	245,8 t/a	-15,1%	204,3 t/a	-29,5%
Gesamt	675,1 t/a	359,8 t/a	-46,7%	516,6 t/a	-23,5%	311,0 t/a	-53,9%

7 Fazit

Das vorliegende Elektromobilitätskonzept untersucht verschiedene Aspekte einer Elektrifizierung. Zuvorderst wurde die Fuhrparkzusammensetzung hinsichtlich organisatorischer Zuordnung, Fahrzeugtyp- und -klasse, Ersatzbeschaffungszeitpunkt und Auslastung analysiert. Hierzu wurden 60 Fahrzeuge über einen Zeitraum von etwa 7 Wochen getrackt, von 58 weiteren Fahrzeugen wurden die Fahrtenschreiber im identischen Zeitraum ausgelesen. Bei 26 Fahrzeugen ließen sich beide Datenerhebungen nicht durchführen, weshalb Schätzungen bei den Abteilungsleitungen eingeholt wurden. In Summe wurden also 144 Fahrzeuge in der Analyse berücksichtigt.

Das Konzept zeigt in drei Szenarien auf, wie eine Elektrifizierung des Fuhrparks der TBR erfolgen könnte: eine Vollelektrifizierung (Maximalansatz), die Erfüllung des SaubFahrzeugBeschG (Minimalansatz) sowie einen ausgewogenen Ansatz (Mittelweg). Zuvorderst bleibt festzustellen, dass eine Vollelektrifizierung nicht zur höchsten CO₂-Einsparung führt. Der Fuhrpark weist mehrere Fahrzeuge auf, die wenig genutzt werden, bzw. zum Zeitpunkt der Datenerfassung wenig genutzt wurden. Bei sehr geringen Laufleistungen können die Mehremissionen der Fahrzeugherstellung nicht im Betrieb kompensiert werden. Das Konzept enthält eine Tabelle, in der Fahrzeuge nach ihrem Einsparpotenzial sortiert sind und zudem die Kosten der Elektrifizierung sowie die Kosten je CO₂-Einsparung angegeben sind. Hiermit lässt sich transparent aufzeigen, weshalb Fahrzeuge im ausgewogenen Szenario zur Elektrifizierung vorgeschlagen werden oder nicht.

Die abschließende Tabelle 14 zeigt die Mehrkosten und die CO₂-Einsparungen der drei Szenarien auf. Es zeigt sich, dass der Minimalansatz der kosteneffizienteste Ansatz ist – dies hängt aufgrund der variierenden Laufleistungen allerdings von der Fahrzeugwahl ab, siehe Kapitel 4.3. Die rechtlichen Anforderungen können mit vertretbaren Mehrkosten erfüllt werden und führen zu einer CO₂-Einsparung von ca. 23,5%.

Tabelle 14: Herleitung der Kosten je CO₂-Einsparung in den drei Szenarien. (Quelle: eigene Darstellung)

	Kosten	CO₂-Emissionen
Ist-Fuhrpark	1.728.601 €/a	675,1 t/a
Szenario 1: Vollelektrifizierung	2.458.472 €/a	359,8 t/a
Abweichung zum Ist-Fuhrpark	729.871 €/a	-315,3 t/a
Kosten je eingesparter t CO ₂		<u>2.315 €/t</u>
Szenario 2: SaubFahrzeugBeschG	1.790.185 €/a	516,6 t/a
Abweichung zum Ist-Fuhrpark	61.584 €/a	-158,5 t/a
Kosten je eingesparter t CO ₂		<u>389 €/t</u>
Szenario 3: Ausgewogener Ansatz	2.031.258 €/a	311 t/a
Abweichung zum Ist-Fuhrpark	302.657 €/a	-364,1 t/a
Kosten je eingesparter t CO ₂		<u>831 €/t</u>

Es wird empfohlen, Szenario 2 zu adressieren, um eine moderate Transformation zu beginnen, die auch die Akzeptanz der Mitarbeitenden hat. Wenn positive Erfahrungen vorliegen und sich auch einzelne elektrische Modelle unternehmensweit als praxistauglich etabliert haben, können die Bemühungen intensiviert werden, indem Szenario 3 adressiert wird. Eine Vollelektrifizierung wäre nur sinnvoll, wenn der Fuhrpark verkleinert werden kann und die Laufleistungen bei den wenig genutzten Fahrzeugen steigen würden.

8 Literaturverzeichnis

- [1] H. Basma und F. Rodríguez, „The International Council on Clean Transportation,“ 11 2023. [Online]. Available: <https://theicct.org/publication/total-cost-ownership-trucks-europe-nov23/>. [Zugriff am 22 03 2024].
- [2] ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, „Vergleichende Analyse der Potentiale von Antriebstechnologien für Lkw im Zeithorizont 2030 - Teilbericht im Rahmen des Vorhabens „ Elektrifizierungspotential des Güter- und Busverkehrs - My eRoads“,“ 01 2022. [Online]. Available: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/2022-02-04_-_My_eRoads_-_Potentiale_Lkw-Antriebstechnologien_-_final_01.pdf. [Zugriff am 22 03 2024].
- [3] K. Göckeler und I. e. Steinbach, „StratES - Szenarien für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs,“ Öko-Institut e.V., Freiburg, 2023.
- [4] NOW GmbH, „Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr,“ 02 2023. [Online]. Available: <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/02/Marktentwicklung-klimafreundlicher-Technologien-im-schweren-Strassengueterverkehr.pdf>. [Zugriff am 20 03 2024].
- [5] NOW, Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur , „Einfach laden am Depot,“ 11 2023. [Online]. Available: https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/11/Einfach-laden-am-Depot_Leitfaden.pdf. [Zugriff am 21 03 2024].
- [6] NOW GmbH, „Leitfaden für Busse mit alternativen Antrieben,“ 2021. [Online]. Available: https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/03/Leitfaden-fuer-Busse-mit-alternativen-Antrieben_NOW.pdf. [Zugriff am 22 03 2024].
- [7] ABB, „Pantograph Up für Elektrobusse,“ [Online]. Available: <https://new.abb.com/ev-charging/de/pantograph-up>. [Zugriff am 22 03 2024].
- [8] S. Schaal, „Schwedische Forscher entwickeln effizientes induktives Ladesystem,“ 03 2023. [Online]. Available: <https://www.electrive.net/2023/03/08/schwedische-forscher-entwickeln-effizientes-induktives-ladesystem/>. [Zugriff am 22 03 2024].
- [9] C. Werwitzke, „Akkutausch für 40-Tonner: eHaul-Projekt strebt volle Batterien in zehn Minuten an,“ 11 2023. [Online]. Available: <https://www.electrive.net/2023/11/23/akkutausch-fuer-40-tonner-ehaul-projekt-strebt-volle-batterien-in-zehn-minuten-an/>. [Zugriff am 22 03 2024].

- [10] International Council on Clean Transportation, „Working Paper 2023-31,“ 12 2023. [Online]. Available: https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/12/ID-57-%E2%80%93-ZETs-China_Final.pdf.
- [11] DW DESIGN WERK, „Wie viel Energie verbraucht ein Elektro-LKW?,“ [Online]. Available: <https://www.designwerk.com/post/faq-items/energieverbrauch-von-e-lkw/>. [Zugriff am 22 03 2024].
- [12] NPM Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, „Ladeinfrastruktur für batterieelektrische LKW,“ 04 2021. [Online]. Available: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/04/NPM_AG5_Ladeinfrastruktur_ELkw.pdf. [Zugriff am 22 03 2024].
- [13] NOW GmbH, „Task-Force „Depotladen“ – ein besseres Verständnis für die räumlichen, technischen, energetischen, organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für das Laden von schweren Nutzfahrzeugen am Depot gewinnen,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/task-force-depotladen/>. [Zugriff am 22 03 2024].
- [14] Agora Verkehrswende, „Elektro-Lkw schneller auf die Straße bringen,“ 10 2022. [Online]. Available: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Veranstaltungen/2022/Elektrische-Lkw/Elektro-Lkw_Agora-Schlussfolgerungen_20221012.pdf. [Zugriff am 22 03 2024].
- [15] Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, „Einfach laden an Rastanlagen Auslegung des Netzanschlusses für E-Lkw-Lade-Hubs,“ [Online]. Available: https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2022/09/Leitstelle_LKW-Netzstudie.pdf. [Zugriff am 03 2024].
- [16] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, „Bedarfs- und Standortanalyse zum flächendeckenden Laden von E-Lkw in Baden-Württemberg,“ [Online]. Available: https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Elektromobilitaet_Kampagne/Downloads/Abschlussbericht-Bedarfs-und-Standortanalyse_Barrierefrei.pdf. [Zugriff am 22 03 2024].
- [17] Agora Verkehrswende, „E-Lkw im Fernverkehr – von öffentlichen Schnellladepunkten und ausreichend Stellplätzen,“ 03 2024. [Online]. Available: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Veranstaltungen/2024/LKW_Ladeinfrastruktur/2024-03-12_Lkw-Webinar_Maier_final.pdf. [Zugriff am 22 03 2024].
- [18] Technische Universität Hamburg (VPL); Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt (IAL), „Use Cases für klimafreundliche Nutzfahrzeuge,“ 07 2021. [Online]. Available: <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp->

content/uploads/2023/05/230508_MKS_Use_Cases_fuer_klimafreundliche_Nutzfahrzeuge_finale-Fassung.pdf. [Zugriff am 22 03 2024].

- [19] M. Wietschel, „Ein Update zur Klimabilanz von Elektrofahrzeugen,“ Fraunhofer-Gesellschaft, Karlsruhe, 2020.
- [20] Umweltbundesamt (Hg.), „Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2021,“ Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2022.
- [21] Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien,“ 06 2021. [Online]. Available: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf. [Zugriff am 26 03 2024].
- [22] ICCT - International Council on Clean Transportation, „A total cost of Ownership comparison of Truck Decarbonization Pathways in Europe,“ 12 2023. [Online]. Available: https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/11/ID-54-%E2%80%93-EU-HDV-TCO_paper_final2.pdf. [Zugriff am 22 03 2024].
- [23] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, „Lieferverkehr mit Batterie-Lkw: Machbarkeit 2021,“ 11 2021. [Online]. Available: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/11/Rewe_Machbarkeit_E-Lkw2021.pdf. [Zugriff am 03 2024].
- [24] Scania R&D: Energy Economy and Sustainability, „Ökobilanz von Verteilerfahrzeugen: Batterieelektrisch vs. Diesel,“ o.J.. [Online]. Available: <https://www.scania.com/content/dam/www/market/ch/products/attributes/electrification/pdf/BEVvsDiesel-Ecobalance-DE.pdf>. [Zugriff am 25 03 2024].
- [25] Volvo Trucks Deutschland, „Umweltbilanzrechner,“ o.J.. [Online]. Available: <https://www.volvotrucks.de/de-de/trucks/information/environmental-footprint-calculator/footprint-calculator.html>. [Zugriff am 25 03 2024].
- [26] Agora Verkehrswende, „E-Auto-Kostencheck: Gesamtkosten und Preise von Elektro- und Verbrennerfahrzeugen im Vergleich,“ Berlin, 2021.

Anhang

Anhang 1: Heizwerte Kraftstoffe

Heizwert Kraftstoffe	Wert	Einheit
Benzin	8,87	kWh/l
Diesel	9,95	kWh/l
CNG	13,30	kWh/kg

Anhang 2: Nutzungsspezifische Eingangsdaten zur Kosten- und CO₂-Berechnung

Fahrzeugklasse	M, N1	N2, N3, Geräteträger, Kleinkehr- maschinen
Anteil % externe Ladestrommenge (BEV/PHEV)	15%	5%
Anteil % elektrischer Nutzungsgrad bei PHEV		70%
Anteil % Ökostrom		100%
Haltezeit Fahrzeug in Jahren		10
Anteil % Restwert vom Kaufpreis		20%
Haltezeit LIS in Jahren		15

Anhang 3: Fahrzeugklassenspezifische Eingangsdaten zur Kosten- und CO₂-Berechnung

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Kleinwagen (M)				
	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Antrieb					
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	29.600 €	25.000 €		17.000 €	18.000 €
Leasingkosten pro Jahr	2.300 €	2.000 €		1.200 €	1.300 €
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	28 €		92 €	165 €
Fahrzeugversicherung pro Jahr	520 €	600 €		380 €	420 €
Inspektionskosten pro Jahr	100 €	450 €		300 €	300 €
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	18,6	18,6	6,8	6,8	5,0
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 11 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	4.000 €			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	100 €			
Grundannahmen/ Emissionen		Kleinwagen (M)			
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	7,6	6,2		3,8	4,1
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	19	19	60	60	50

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Kompaktklasse (M)				
Antrieb	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	40.000 €	30.100 €		23.000 €	27.500 €
Leasingkosten pro Jahr	2.700 €	2.800 €		1.700 €	1.900 €
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	28 €		90 €	193 €
Fahrzeugversicherung pro Jahr	617 €	620 €		580 €	620 €
Inspektionskosten pro Jahr	150 €	450 €		450 €	450 €
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	21,9	21,9	7,6	7,6	5,7
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 11 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	4.000 €			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	100 €			
Grundannahmen/ Emissionen	Kompaktklasse (M)				
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	10,8	6,9		4,8	5,2
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	22	22	67	67	57

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Mittelklasse (M)				
	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Antrieb					
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	54.000 €	41.500 €		34.000 €	36.600 €
Leasingkosten pro Jahr	3.900 €	2.800 €		2.900 €	3.100 €
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	28 €		106 €	229 €
Fahrzeugversicherung pro Jahr	912 €	850 €		870 €	930 €
Inspektionskosten pro Jahr	200 €	503 €		500 €	500 €
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	24,0	24,0	8,6	8,6	6,4
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 11 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	4.000 €			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	100 €			
Grundannahmen/ Emissionen					
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	15,1	8,3		5,7	6,2
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	24	24	76	76	64

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Obere Mittelklasse (M)				
Antrieb	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	73.000 €	57.000 €		49.500 €	50.300 €
Leasingkosten pro Jahr	5.300 €	4.500 €		3.800 €	3.900 €
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	40 €		154 €	417 €
Fahrzeugversicherung pro Jahr	1.800 €	1.100 €		1.110 €	1.200 €
Inspektionskosten pro Jahr	300 €	1.000 €		1.000 €	1.000 €
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	26,2	26,2	11,2	11,2	8,1
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 11 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	4.000 €			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	100 €			
Grundannahmen/ Emissionen	Obere Mittelklasse (M)				
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	17,3	10,3		6,7	7,2
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	26	26	99	99	81

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Leichtes Nfz (N1)				
Antrieb	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	55.000 €	n. v.		35.000 €	40.000 €
Leasingkosten pro Jahr	4.290 €	n. v.		2.730 €	3.120 €
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	n. v.		106 €	229 €
Fahrzeugversicherung pro Jahr	1.800 €	n. v.		1.300 €	1.560 €
Inspektionskosten pro Jahr	200 €	n. v.		450 €	450 €
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	26,2	26,2	10,3	10,3	7,7
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 11 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	4.000 €			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	100 €			
Grundannahmen/ Emissionen	Leichtes Nfz (N1)				
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	15,1	8,3		5,7	6,2
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	26	26	91	91	77

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Mittleres Nfz (N2)			
	BEV	Plug-in-Hybrid		Diesel
Antrieb			Benzin	
Fahrzeugkosten				
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	140.000 €	n. v.		70.000 €
Leasingkosten pro Jahr	10.920 €	n. v.		5.460 €
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	n. v.		529 €
Fahrzeugversicherung pro Jahr	2.360 €	n. v.		2.240 €
Inspektionskosten pro Jahr	425 €	n. v.		1.125 €
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.	
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	73,1	n. v.	n. v.	19,7
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €		
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 22 bzw. 50 kW)				
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	n. v.		
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	n. v.		
Grundannahmen/ Emissionen		Mittleres Nfz (N2)		
Produktion				
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	37,6	n. v.		13,1
Betrieb				
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	73	n. v.	n. v.	196

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Schweres Nfz (N3)				
	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Antrieb					
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	450.000 €	n. v.	n. v.	200.000 €	
Leasingkosten pro Jahr	35.100 €	n. v.	n. v.	15.600 €	
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	n. v.	n. v.	829 €	
Fahrzeugversicherung pro Jahr	2.920 €	n. v.	n. v.	2.920 €	
Inspektionskosten pro Jahr	650 €	n. v.	n. v.	1.800 €	
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	120,0	n. v.	n. v.	n. v.	31,6
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 22 bzw. 50 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	n. v.			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	n. v.			
Grundannahmen/ Emissionen					
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	60,0	n. v.	n. v.	20,0	
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	120	n. v.	n. v.	n. v.	315

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Abfallsammler (N3)				
	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Antrieb					
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	450.000 €	n. v.		n. v.	200.000 €
Leasingkosten pro Jahr	35.100 €	n. v.		n. v.	15.600 €
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	n. v.		n. v.	829 €
Fahrzeugversicherung pro Jahr	2.920 €	n. v.		n. v.	2.920 €
Inspektionskosten pro Jahr	650 €	n. v.		n. v.	1.800 €
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	217,0	n. v.	n. v.	n. v.	57,0
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 22 bzw. 50 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	n. v.			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	n. v.			
Grundannahmen/ Emissionen		Abfallsammler (N3)			
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	60,0	n. v.		n. v.	20,0
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	217	n. v.	n. v.	n. v.	567

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Geräteträger (N1)				
	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Antrieb					
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	230.000 €	n. v.	n. v.	100.000 €	
Leasingkosten pro Jahr	17.940 €	n. v.	n. v.	7.800 €	
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	n. v.	n. v.	- €	
Fahrzeugversicherung pro Jahr	1.100 €	n. v.	n. v.	1.100 €	
Inspektionskosten pro Jahr	400 €	n. v.	n. v.	400 €	
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	26,2	n. v.	n. v.	n. v.	7,7
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 22 bzw. 50 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	n. v.			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	n. v.			
Grundannahmen/ Emissionen					
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	15,1	n. v.	n. v.	n. v.	6,2
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	26	n. v.	n. v.	n. v.	77

Grundannahmen/ Kostengrundlage	Kleinkehrmaschine (N1)				
	BEV	Plug-in-Hybrid		Benzin	Diesel
Antrieb					
Fahrzeugkosten					
Anschaffungskosten (Kauf) einmalig	280.000 €	n. v.	n. v.	120.000 €	
Leasingkosten pro Jahr	21.840 €	n. v.	n. v.	9.360 €	
Fahrzeugsteuer pro Jahr	- €	n. v.	n. v.	- €	
Fahrzeugversicherung pro Jahr	1.100 €	n. v.	n. v.	1.100 €	
Inspektionskosten pro Jahr	400 €	n. v.	n. v.	400 €	
Betriebskosten pro Jahr		elekt.	konv.		
Verbrauch [l/100 km] bzw. [kWh/100 km]	73,1	n. v.	n. v.	n. v.	19,7
Kraftstoffkosten extern (öffentliche LIS) [€/l] bzw. [€/kWh]	0,60 €	0,60 €	1,70 €	1,70 €	1,60 €
Kraftstoffkosten intern (eigene LIS) [€/kWh]	0,30 €	0,30 €			
Ladeinfrastruktur (Wallbox mit 22 bzw. 50 kW)					
Investitionskosten Ladeinfrastruktur einmalig	4.000 €	n. v.			
Instandhaltung Ladeinfrastruktur pro Jahr	100 €	n. v.			
Grundannahmen/ Emissionen		Kleinkehrmaschine (N1)			
Produktion					
Emissionen in der Produktion [t CO ₂] einmalig	15,1	n. v.	n. v.	n. v.	6,2
Betrieb					
Emissionen von Kraftstoffen [g CO ₂ /kWh] (Strom: Netzstrom. Ökostrom = 0g CO ₂ /kWh)	420	420	289	289	283
Verbrauch Kraftstoff (kWh/100 km)	73	19	60	60	196

Kleinkehrmaschinen

Kennz.	Quelle	TLL max.	Mittelwert 6-18h																							
RT-BR 721E	FS	0	18%																							
RT-BR 902	T	33	20%																							
RT-BR 740	T	34	52%																							
RT-BR 741	T	43	52%																							
RT-BR 329	b*	#NV	40%																							
RT-BR 270	FS	56	0%																							
RT-BR 520	FS	75	28%																							
RT-BR 624	FS	73	10%																							
		00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	

Sprinter & T5/6

Kennz.	Quelle	TLL max.	Mittelwert 6-18h
RT-BR 868E	a*	45	41%
RT-BR 631	T	83	7%
RT-BR 634	T	129	7%
RT-BR 562	T	82	8%
RT-BR 723	T	95	1%
RT-BR 122	T	137	5%
RT-BR 742	T	59	40%
RT-BR 431	T	96	0%
RT-BR 619	T	95	22%
RT-BR 621	T	90	1%
RT-BR 717	T	61	40%
RT-BR 732	T	47	14%
RT-BR 161	?	#NV	86%
RT-BR 601	T	84	4%
RT-BR 567	FS	439	8%
RT-BR 141	T	127	8%
RT-BR 322	T	160	5%
RT-BR 324	T	142	69%
RT-BR 616	T	87	0%
RT-BR 581	FS	118	48%
RT-BR 646	FS	0	3%
RT-BR 718	FS	151	3%
RT-BR 544	T	197	3%
RT-BR 433	T	69	12%
RT-BR 115	T	51	35%
RT-BR 361	T	67	40%
RT-BR 603	FS	124	59%
RT-BR 727	FS	250	57%
RT-BR 594	FS	0	37%
RT-BR 609	FS	60	17%
RT-BR 617	FS	63	2%

