

Abschätzung des Investitionsbedarfs bei der Umstellung der Linienbusflotten auf CVD-konforme Antriebe in Niedersachsen und Bremen, unter besonderer Berücksichtigung von Betriebshöfen und Werkstätten

Abschlussbericht

Auftraggeber: VDV-Landesgruppe Niedersachsen/Bremen

Prof. Dr.-Ing. Thoralf Knotz

Dresden, Oktober 2025

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Datengrundlage	5
2.1	Berechnungsgrundlagen	5
2.1.1	Fragebogenkampagne	5
2.1.2	Internetrecherche	5
2.1.3	Luftbilddauswertungen	6
2.2	Technik und Kostensätze	6
2.3	Kostenpositionen	7
2.3.1	Neu- und substantielle Umbauten	7
2.3.2	Ladeinfrastruktur	8
2.3.3	Sonstige bauliche Maßnahmen	11
2.3.4	Werkstattausstattung	13
2.3.5	Baunebenkosten	13
2.4	Nicht berücksichtigte Positionen	14
2.4.1	Pufferspeicher	14
2.4.2	Last- und Lademanagementsysteme	14
2.4.3	Infrastruktur für Brennstoffzellenbusse	14
3	Berechnungsmethode und Ergebnisse	15
3.1	Berechnungsmethode	15
3.2	Ergebnisse	15
3.2.1	Kosten für die direkt einbezogenen Verkehrsunternehmen	15
3.2.2	Gesamtkosten für Niedersachsen und Bremen	16
3.3	Zeitliche Staffelung des Mittelbedarfs	16
3.3.1	Anlass und Vorgehensweise	16
3.3.2	Ergebnisse	18
3.4	Fördermöglichkeiten	19
4	Zusammenfassung	20
5	Anlage 1 – Fragebogen	21

1 Einleitung

Mit der sogenannten Clean Vehicles Directive (CVD) der EU werden die Mitgliedstaaten der Europäischen Union verpflichtet, dass öffentliche Auftraggeber beim Kauf bestimmter Straßenfahrzeuge die Energie- und Umweltauswirkungen zu berücksichtigen und zu reduzieren haben. Dies bedeutet für Unternehmen des ÖPNV: von 2021 bis Ende des Jahres 2025 müssen mindestens 45 % und von 2026 bis Ende des Jahres 2030 mindestens 65 % der neu beschafften Busse der Klasse M3 I emissionsfrei bzw. emissionsarm sein.

Betrachtet man vor diesem Hintergrund die Gesamtheit aller in Deutschland und auch in Europa eingeführten emissionsfreien Busse, haben Batteriebusse in ihrer Beschaffung ein mehr als deutliches Übergewicht. Dies gilt auch für Niedersachsen und Bremen. Bereits heute sind Batteriebusse im Regional- und Schülerverkehr aber auch in vielen Stadtverkehrsanwendungen ausreichend flexibel einsetzbar. Sie haben in den letzten Jahren enorme Fortschritte hinsichtlich ihrer Reichweite erfahren, was ursächlich auf den Anstieg der verbauten Batteriegrößen und Effizienzsteigerungen zurückzuführen ist (Abbildung 1-1).

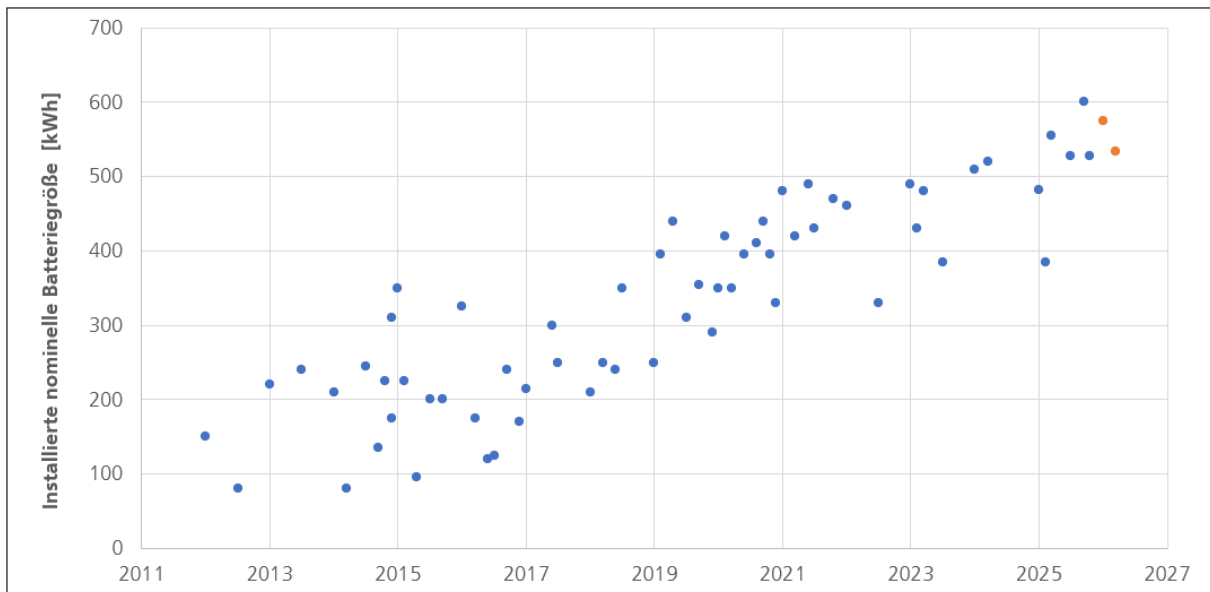


Abbildung 1-1

Bereits verbaute (blau) und angekündigte (orange) Energiespeichergrößen in Solobatteriebusen (Quelle: IVI/dat)

Die Umstellung auf emissionsfreie Linienbusse – also „weg“ vom konventionellen Dieselantrieb – stellt die ÖPNV-Verkehrsunternehmen vor enorme betriebliche, technische und vor allem vor finanzielle Herausforderungen. Mehrkosten für Batterie- und Brennstoffzellenbusse stehen meist im Fokus der Diskussion, da diese in Deutschland i. d. R. zwei- bis zweieinhalbmal so teuer sind wie vergleichbare Dieselmotoren. Verdeutlicht wird dies exemplarisch bei der Betrachtung der Mehrkosten für die Beschaffung emissionsfreier Busse in Niedersachsen und Bremen. So betragen die Mehrkosten gegenüber dem Kauf von Dieselmotoren für die rund 5.360 in Niedersachsen und Bremen verkehrenden Linienbusse mit Preisstand 2025 rund 1,85 bis 1,95 Mrd. €¹.

Der Gegenstand der vorliegenden Untersuchung befasst sich jedoch nicht mit der Fahrzeugbeschaffung, sondern mit der für den Betrieb der neuen Busse notwendigen baulichen Infrastruktur. Herzstücke im Betrieb der emissionsfreien Flotten werden dabei sanierte oder (wo dies nicht möglich ist) neu gebaute Busbetriebshöfe sein. Diese Arbeit hat daher zum Ziel, ergänzend zu den Fahrzeugmehrkosten den Finanzbedarf für den Umbau der Betriebshöfe und deren Ausrüstung mit Lade- und Tankinfrastruktur zu ermitteln. Hierfür wurden in einer detaillierten Datenerhebung Informationen zu den Betriebshöfen und Abstellflächen aller VDV-Mitgliedsunternehmen in Niedersachsen und Bremen ermittelt. Die darauf beruhenden Ergebnisse wurden in einem zweiten Schritt auf alle in Niedersachsen und Bremen agierenden Verkehrsunternehmen hochgerechnet.

Eine große Unbekannte bei den Berechnungen waren die Technologieentscheide der einzelnen Verkehrsunternehmen hinsichtlich der Einführung von

- Batteriebusen,
- Brennstoffzellenbusen und/oder
- batteriebusen mit Brennstoffzellen-Range-Extender.

¹ 65 % Solobusse mit durchschnittlich 325.000 € Preisdifferenz, 35 % Gelenkbusse mit durchschnittlich 375.000 € Preisdifferenz

Da die vorliegenden Beschaffungszahlen in ihrer Überdeutlichkeit auf eine batterieangetriebene Mobilität hinweisen, unterstellen die Berechnungen daher die einheitliche Umstellung auf Batteriebusse. Damit werden Infrastrukturkosten auch aus Sicht der Bewirtschaftung von Betriebshöfen auf einer gesicherten rechnerischen Grundlage erfasst.

Oft wird an den Autor dieser Studie die Frage herangetragen: „Was kostet denn ein neuer Busbetriebshof durchschnittlich?“ Diese Frage kann unmöglich beantwortet werden. Jedes Bauvorhaben ist solitär zu betrachten und zu bewerten. Abschließend zu diesen einleitenden Hinweisen muss an dieser Stelle daher festgehalten werden, dass diese Untersuchung **die Gesamtheit künftiger Finanzbedarfe** zusammenstellt und daraus **keine** Rückschlüsse auf jeweils einzelne und/oder zu planende Vorhaben gezogen werden können.

2 Datengrundlage

Die im vorliegenden Dokument erläuterte Kostenschätzung beruht auf einer Berechnung je Betriebshof, bei der die zu erwartenden Investitionskosten i. d. R. anhand von Kostensätzen pro abgestelltem Bus ermittelt wurden. In einigen Fällen wurde auch mit Kosten je Betriebshof (z. B. Anschlusskosten) und Sprungkosten gerechnet.

2.1 Berechnungsgrundlagen

Um den o. g. Berechnungsansatz verfolgen zu können, war es zunächst notwendig, Mengenmodelle je Verkehrsunternehmen und Betriebshof aufzustellen. Hierzu wurde im ersten Schritt eine Aufstellung aller VDV-Mitgliedsunternehmen mit Linienbusbetrieb in Niedersachsen und Bremen vorgenommen. Insgesamt wurden 34 VDV-Mitgliedsunternehmen in die Erstellung der Datengrundlage einbezogen. Aufgrund der engen Verflechtung mit der PVG mbH Peine wurde zusätzlich die Kraftverkehr Mundstock GmbH berücksichtigt. Gleiches gilt für den Stadtverkehr Hildesheim und den Regionalverkehr Hildesheim. Aus der Anzahl dieser Unternehmen liegen Informationen über 18 geplante Bauvorhaben für Betriebshöfe vor (s. a. Kapitel 2.2.2).

Zusammen betreiben diese 36 einbezogenen Verkehrsunternehmen derzeit rund 3.700 Linienbusse, die auf etwa 75 Betriebshöfen und Abstellanlagen stationiert sind.

Zum Vergleich können nur die zuletzt 2019 ausgewiesenen Daten des Statistischen Bundesamts hinzugezogen werden². Demnach waren in Niedersachsen und Bremen seinerzeit rund 5.360 Linienbusse registriert. Mithin wurden bei der Erstellung der Datengrundlage knapp 70 % aller im Untersuchungsgebiet verkehrenden Linienbusse erfasst, sofern man von einem etwa gleichgebliebenen Fahrzeugbestand ausgeht.

2.1.1 Fragebogenkampagne

Für die Ermittlung der Datengrundlage wurden über den Auftraggeber Fragebögen an alle VDV-Mitgliedsunternehmen versendet. Mit 17 beantworteten Fragebögen konnte eine erfreulich hohe Rückläuferquote erzielt werden, wobei die Unternehmen mit Rückantwort etwa 1.980 Linienbusse betreiben. Zwar wird daraus deutlich, dass bei den Rückläufern große Unternehmen überproportional vertreten sind, jedoch wird mit einer Anzahl von 19 bis zu etwa 330 Bussen je Unternehmen das gesamte Spektrum an Betriebshofgrößen abgedeckt.

Der Fragebogen (s. Anlage 1) konzentrierte sich auf folgende Aspekte je Betriebshof bzw. Abstellanlage:

- Gesamtzahl der Busflotte und Aufteilung in Längen und Antriebsformen
- Anzahl der an einem Standort stationierten Busse inkl. geplanter Vergrößerung oder Verringerung
- Abstellart (Freiabstellung, Hallenabstellung, gemischte Abstellung)
- Vorhandensein einer Werkstatt und deren Eignung für die Aufstellung eines Dacharbeitsstandes
- Planungen für Neubauten (Betriebshof, Werkstatt).

Auffällig war die hohe Anzahl von gemeldeten Plänen zum Neubau eines Betriebshofes. Geht man davon aus, dass die Beantwortung des Fragebogens bei Unternehmen mit Neubauplänen stärker interessengetrieben war als bei Unternehmen ohne Neubaupläne, sind die Ergebnisse der Fragebogenaktion für den Aspekt „Neubauten“ nicht für eine Hochrechnung geeignet (s. auch nachfolgendes Kapitel).

2.1.2 Internetrecherche

Um einen Gesamtüberblick zu erhalten, wurde ergänzend eine umfangreiche Internetrecherche durchgeführt, mit dem Ziel, für jedes VDV-Mitgliedsunternehmen folgende Daten zu erfassen:

- Flottengröße
- Hinweise auf bereits erfolgte Umstellungen auf emissionsfreie Busse bzw. diesbezügliche Planungen
- Standorte und deren Adressen
- Hinweise auf den Betrieb einer Werkstatt am Standort
- Hinweise auf einen bereits erfolgten Technologieentscheid bei der Einführung von emissionsfreien Linienbussen

² Statistisches Bundesamt (Destatis), Abfrage vom 22.04.2025, Stand: 31.12.2019, nur Busse im Liniennahverkehr sowie sonstige oder gemischt im Omnibusverkehr eingesetzte Busse

- Planungen zu Neubauten (Betriebshof, Abstellhallen, Werkstätten)
- in den letzten fünf Jahren abgeschlossene oder begonnene Neubauten.

Es konnten in diesem Zuge für fast alle VDV-Mitgliedsunternehmen die notwendigen Daten erfasst werden. Einzige Ausnahme bildete die MOIN Mobilitätsinfrastruktur und -betriebs GmbH Landkreis Lüneburg, die sich gegenwärtig im Aufbau befindet. In der Datengrundlage ist dieses Unternehmen mit keinem Bus und keinem Standort enthalten, da die Personenbeförderungsleistungen gegenwärtig durch andere Unternehmen erbracht werden und es sich somit weitgehend um eine Verlagerung von Leistungen und Kosten handelt.

Auffällig war, dass anteilig deutlich weniger Hinweise auf Neubauvorhaben registriert werden konnten als bei der Fragebogenkampagne. Erwähnenswert ist weiterhin, dass Informationen bzgl. der Umstellung auf emissionsfreie Busse fast ausschließlich Batteriebusse zum Inhalt hatten.

2.1.3 Luftbildauswertungen

Die Kosten für die Errichtung von Ladeinfrastruktur und für Brandschutzmaßnahmen hängen unmittelbar von der Art der Fahrzeugabstellung ab. So fallen die Kosten für die Verkabelung von Ladegeräten und deren Anschluss an die Fahrzeuge bei einer kompakten Freiabstellung in Parallel- bzw. Sägezahnform deutlich geringer aus als bei einer Hallenabstellung in Blockaufstellung oder wenn die Busse auf einem Betriebshof verstreut abgestellt werden. Bei letzterem sinkt dafür der Aufwand für den Brandschutz aufgrund schon vorhandener Brandabschnitte.

Um für jeden Betriebshof und für jede Abstellanlage getrennt die kostenrelevanten Aspekte erfassen zu können, wurde jeder Standort einer Luftbildauswertung (Google Earth) unterzogen. Insgesamt konnten Luftbildaufnahmen von 71 Standorten³ ausgewertet werden. Neben den benannten Punkten wurde mit Hilfe von Google Street View geprüft, ob am Standort eine Werkstatt betrieben wird, was jedoch nur in etwa 70 % der Fälle verifiziert werden konnte.



Abbildung 2-1
Beispiele für ausgewertete Luftbilder von Betriebshöfen in Niedersachsen bzw. Bremerhaven

2.2 Technik und Kostensätze

Die nachfolgenden Kapitel enthalten eine Reihe von Aussagen zu Betriebshöfen und Ladetechnologien, die sich u. a. auf technische Details und Beschaffungskosten beziehen. Die Aussagen beruhen neben allgemeinen Erfahrungswerten auf der IVI-internen Datenbank *IVIdat*. Die Datenbank *IVIdat*, die aus Gründen der Vertraulichkeit nur von einem eingeschränkten Mitarbeitendenkreis des Fraunhofer IVI vollständig eingesehen werden kann, wird seit etwa 15 Jahren mit aktuellen Informationen zu

- innovativen Antriebssystemen für Nutzfahrzeuge (hauptsächlich ÖPNV-Fahrzeuge),
- zugehöriger Lade- und Tankinfrastruktur sowie
- Kostenstrukturen

aufgebaut und ständig aktualisiert.

³ Für vier Standorte konnten keine Luftbildaufnahmen gefunden werden.

Die Daten werden hauptsächlich aus

- Marktbeobachtungen mit Hilfe öffentlich zugänglicher Daten,
- anonymisierten Ergebnissen von Ausschreibungen,
- Gesprächen mit Herstellern sowie
- Gesprächen mit Verkehrsunternehmen

bezogen und sind in einen Teil mit öffentlich zugänglichen und auch referenzierten Daten sowie einen Teil mit vertraulichen Daten unterteilt. Alle vertraulichen Daten wurden anonymisiert und werden grundsätzlich nur in aggregierter Form bzw. als Bestandteil allgemeiner Aussagen verwendet. Angaben zu Kostenstrukturen werden nur als Anhaltswerte bzw. Preisbereiche in Berichte, Vorträge o. ä. eingearbeitet.

2.3 Kostenpositionen

Für die Berechnungen wurden die nachfolgend erläuterten und jeweils getrennt in die Kostenschätzung einbezogenen Positionen betrachtet.

2.3.1 Neu- und substantielle Umbauten

Einen Überblick über die angesetzten Kosten für Neu- bzw. substantielle Umbauten sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Für die Kostenberechnungen wurden die mittleren Kostensätze in Abhängigkeit von der Standortgröße verwendet. Dies gilt auch für nachfolgend erläuterte Kostenpositionen.

	Kostenbereich	Mittlerer Kostensatz ¹⁾
Betriebshofneubau	175.000 – 1,05 Mio. €/Bus	< 50 Busse/Standort: 575.000 €/Bus ≥ 50 Busse/Standort: 525.000 €/Bus
Neubau Abstellhalle	108.000 – 272.000 €/Bus	< 50 Busse/Standort: 205.000 €/Bus ≥ 50 Busse/Standort: 195.000 €/Bus
Neubau Werkstatt	46.000 – 98.000 €/Bus	< 50 Busse/Standort: 85.000 €/Bus ≥ 50 Busse/Standort: 75.000 €/Bus

¹⁾ mittlere Kosten je am Standort stationiertem Bus. Die Unterteilung in Standortgrößen dient der Berücksichtigung von Sprungkosten für z. B. Werkstätten oder Verwaltungsgebäude.

Tabelle 2-1: Kostensätze für Neu- und substantielle Umbauten

Betriebshofneu- bzw. -umbau

Die Installation von Ladeinfrastruktur und die Berücksichtigung von Brandschutzmaßnahmen können ein Grund für einen (teilweisen) Neubau von Betriebshöfen sein. Nicht immer können jedoch die Pläne für den Neu- oder substantiellen Umbau eines Betriebshofes ursächlich auf die Einführung von Batteriebusen zurückgeführt werden. Oft sind vielmehr Leistungserweiterungen oder schlicht das Alter und der Zustand eines Betriebshofes ausschlaggebend für einen Neubau. Als substantiell wurde ein Umbau betrachtet, wenn den verfügbaren Informationen zu entnehmen war, dass mindestens die Abstellanlage und die Werkstätten gemeinsam im Bestandsbetriebshof umgebaut werden.

Grundlage für die Ermittlung der Anzahl von Betriebshofneu- und umbauten bildeten

- die Ergebnisse der Umfrage unter VDV-Mitgliedsunternehmen und
- eine Internetrecherche, bei der unter den Stichworten „Betriebshof“, „Neubau“ zzgl. des Unternehmensnamens nach Hinweisen auf Neu- bzw. -Umbauten gesucht wurde.

Von den 75 erfassten Standorten lagen für 18 Betriebshöfe Informationen vor, die auf einen geplanten Ersatzneubau bzw. substantielle Umbauten am Standort schließen ließen.

Die Kosten für Betriebshofneu- und -umbauten umfassen nur Bauten, die nicht ursächlich auf den Einsatz von Batteriebusen zurückzuführen sind (z. B. Ladeinfrastruktur). Diese wurden unter gesonderten Kostenpositionen erfasst.

Die Kosten für Betriebshofneu- und -umbauten unterliegen enormen Schwankungen und sind in den letzten Jahren massiv angestiegen, wodurch ältere Datensätze aus der Datenbank IVIdat angepasst werden mussten.

Neubau von Abstellhallen

Für den Neubau von Abstellhallen fallen je nach Ausführung enorme Kostenunterschiede an. Werden statt der früher üblichen Hallenbauweise nur Busports mit leichten Dachkonstruktionen errichtet, liegen die Kosten je Bus deutlich niedriger.

Die Kosten für den Neubau von Abstellhallen umfassen nur Bauten, die nicht ursächlich auf den Einsatz von Batteriebussen zurückzuführen sind. Diese wurden unter gesonderten Kostenpositionen erfasst.

Neu- bzw. substantieller Umbau von Werkstätten

Werkstattneu- und umbauten sind im Zuge der Einführung von Batteriebussen i. d. R. aus folgenden Gründen notwendig:

- keine ausreichenden Flächen für den Einbau von Dacharbeitsständen
- keine ausreichende Hallenhöhe für den Einbau von Dacharbeitsständen
- keine ausreichend hohen Einfahrtshöhen
- keine ausreichenden Flächen für die Abschränkung von E-Arbeitsplätzen.

Kosten für Dacharbeitsstände und ergänzende Werkstattausrüstungen wurden gesondert erfasst.

2.3.2 Ladeinfrastruktur

Einen Überblick über die für die unmittelbare Ladeinfrastruktur verwendeten Kostensätze zeigt die nachfolgende Tabelle.

	Kostenbereich	Mittlerer Kostensatz
Netzanschlusskosten	5.000 € – 350.000 €/Betriebshof	35.000 €/Betriebshof
Baukostenzuschlag	2.350 – 8.400 €/Bus	4.600 €/Bus
Kompakttransformatorenstation	147.000 – 210.000 €/Betriebshof	< 20 Busse: 165.000 €/Bthf.
Transformatorenstation inkl. MSSA und NSHV ¹⁾	begehbbare Transformatorenstation 18.100 – 77.500 €/Bus	20 – 50 Busse: 37.000 €/Bus ≥ 50 Busse: 33.000 €/Bus
Verkabelung Ladegeräte – kompakte Außenaufstellung	4.000 – 5.600 €/Bus	4.500 €/Bus
Verkabelung Ladegeräte – verteilte Außenaufstellung	4.750 – 6.300 €/Bus	5.000 €/Bus
Verkabelung Ladegeräte – kompakte Hallenaufstellung	2.400 – 2.900 €/Bus	2.500 €/Bus
Verkabelung Ladegeräte – verteilte Hallenaufstellung	Schätzwert	2.800 €/Bus
Leistungseinheit – zwei Ladeanschlüsse inkl. Kabel	48.000 – 54.600 €/Bus	50.500 €/Bus
Doppelladegerät inkl. Kabel	50.500 – 57.000 €/Bus	53.500 €/Bus
PLC-Satelliten inkl. Kabel	7.300 – 19.200 €/Bus	16.900 €/Bus
Einhausung Ladegeräte	2.900 – 4.200 €/Bus	3.500 €/Bus
Anfahrtschutz	650 – 1.150 €/Bus	750 €/Bus
Überkopfzuführung von Kabeln	5.300 – 12.000 €/Bus	7.500 €/Bus bei Hallenabstellung

¹⁾ MSSA = Mittelspannungsschaltanlage / NSHV = Niederspannungshauptverteilung

Tabelle 2-2: Kostensätze für die Ladeinfrastruktur inkl. unmittelbarer baulicher Maßnahmen

Den generellen Aufbau der Ladeinfrastruktur in einem Betriebshof zeigt Abbildung 2-2. Die Ladegeräte werden über Mittelspannungstransformatoren mit 400 V Drehstrom versorgt. Bei dem eigentlichen Ladestrom handelt es sich um Gleichspannung.

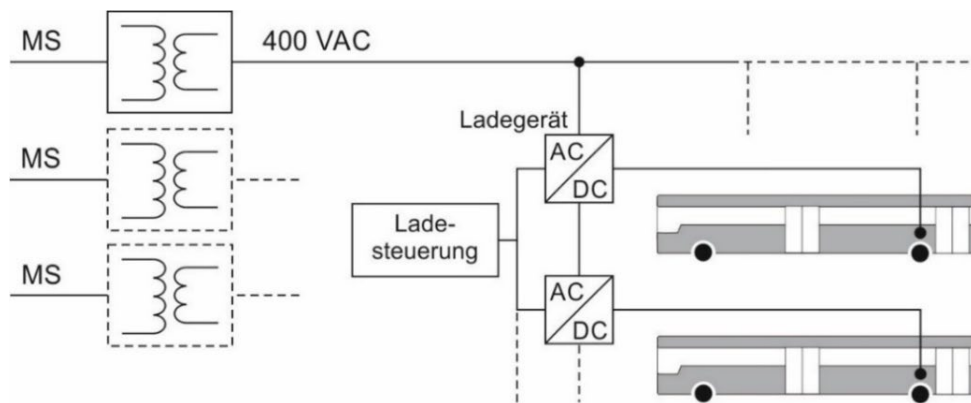


Abbildung 2-2
Prinzipieller Aufbau der Ladeinfrastruktur in einem Betriebshof
MS = Mittelspannung
AC = Wechselstrom
DC = Gleichstrom

Netzanschluss und Transformatorenstationen

Je nach Verfügbarkeit von Leistungsreserven im umliegenden Mittelspannungsnetz können die Netzanschlusskosten zwischen wenigen Tausend Euro und mehreren 100.000 € liegen. Basierend auf Erfahrungen des Autors wurde unterstellt, dass die Netzanschlusskosten

- in neun von zehn Fällen im Schnitt 10.000 € und
- in einem von zehn Fällen 260.000 €

betragen. Daraus ergibt sich der in Tabelle 2-2 aufgeführte Kostensatz über alle Betriebshöfe hinweg.

Baukostenzuschläge werden je angemeldetem Kilowatt Netzanschlussleistung erhoben. Die Kostensätze schwanken in Deutschland enorm. Konkret dem Autor bekannte Beispiele reichen von ca. 40 €/kW bis hin zu rund 110 €/kW.

Die pro Bus anzusetzende Netzanschlussleistung wurde mit folgender Formel ermittelt:

$$P_{\text{Netz,Bus}} = \frac{P_{\text{LA}} \cdot \text{GZF}}{\eta_{\text{ges}}}$$

P_{LA} Ladeleistung je Ladeanschluss (Ladepunkt) = 100 kW

GZF Gleichzeitigkeitsfaktor zur Bestimmung der Anzahl von Ladeanschlüssen, die gleichzeitig die volle Ladeleistung abrufen; 0,5 – 0,65 [-]

η_{ges} Gesamtwirkungsgrad = 0,85 [-]

Auch hier gilt, dass bewusst ein einheitlicher Kostensatz ermittelt wurde, wohlwissend dass die maximal vorgesehenen Ladeleistungen und Gleichzeitigkeitsfaktoren ebenso schwanken können wie die Baukostenzuschläge.

Für kleine Standorte mit weniger als 20 Bussen wurden Kompakttransformatorenstationen vorgesehen. Diese Vorgehensweise ist an kleinen Standorten nicht unüblich. Werden mehr als 20 Busse an einem Standort abgestellt, wurden begehbare Transformatorenstationen mit einer separat begehbaren Niederspannungshauptverteilung zum Ansatz gebracht. Alle baulichen Maßnahmen sind in den Kostensätzen enthalten.



Abbildung 2-3
Beispiele für einen Kompakttransformator und eine begehbare Transformatorenstation

Die Kosten für Transformatorenstationen sind in den letzten Jahren enorm gestiegen und es sind substantielle Preisunterschiede zu beobachten. Ein Preistreiber sind Komplettausschreibungen von Ladeinfrastrukturen, bei

denen Transformatorenstationen, Ladegeräte und ggf. PLC-Satelliten gemeinsam mit den notwendigen Bauleistungen beschafft werden. Da diese Ausschreibungen zumeist durch Hersteller von Ladegeräten bedient werden, erheben diese deutliche Aufschläge (GU-Aufschläge) auf alle an Subunternehmer zu vergebenden Leistungen.

Ladegeräte, PLC-Satelliten inkl. Verkabelung und unmittelbare bauliche Maßnahmen

Es wurden standardmäßig zwei Varianten für die Spannungswandlung vorgesehen. Beide Varianten vereint, dass es sich um Einheiten mit zwei Ladeanschlüssen handelt. Die maximale Gesamtladeleistung von rund 150 – 200 kW kann flexibel auf die beiden Ladeanschlüsse verteilt werden (Abbildung 2-4).

Für Hallenabstellung und bei kompakter Freiabstellung in Blockaufstellung wurden Leistungseinheiten inkl. PLC-Satelliten⁴ zum Ansatz gebracht. Für die sonstige Freiabstellung wurden Doppelladegeräte mit direkter Kabelverbindung zu den Bussen vorgesehen. Diese Geräte sind insb. bei Parallelaufstellung mit Ladebuchsen vorn oder hinten im Fahrzeug geeignet.



Abbildung 2-4
Beispiele für Leistungseinheiten (links) und Doppelladegeräte (rechts), Quellen: SBRS, ABB, Ekoenergetyka, Heliox

Für die Anbindung an die Transformatorenstation wurden standardmäßig in Rohren verlegte Erdkabel vorgesehen. Diese Variante ist zwar kostenintensiver als eine reine Erdverlegung, trägt jedoch dem schrittweisen Aufbau der Ladeinfrastruktur auf einem Betriebshof Rechnung. Davon unbenommen gibt es auch Varianten, bei denen die Kabel überirdisch in Kabelrinnen verlegt werden (s. Abbildung 2-5).



Abbildung 2-5
Beispiel für die Unterbringung von Leistungseinheiten in einer separaten Einhausung und Beispiel für einen Anfahrerschutz

Abstellhallen sind i. d. R. nicht für die zusätzliche Aufstellung von Ladegeräten oder Leistungseinheiten dimensioniert. Zumeist fehlen Flächen zwischen den Aufstellreihen. Ein typisches Beispiel für die Integration der Ladeinfrastruktur in Abstellhallen zeigt Abbildung 2-6.

⁴ Umsetzer von Powerline-Kommunikation (PLC) auf andere Kommunikationsform, auch als Depotbox, Terminal oder Ladeterminale bezeichnet

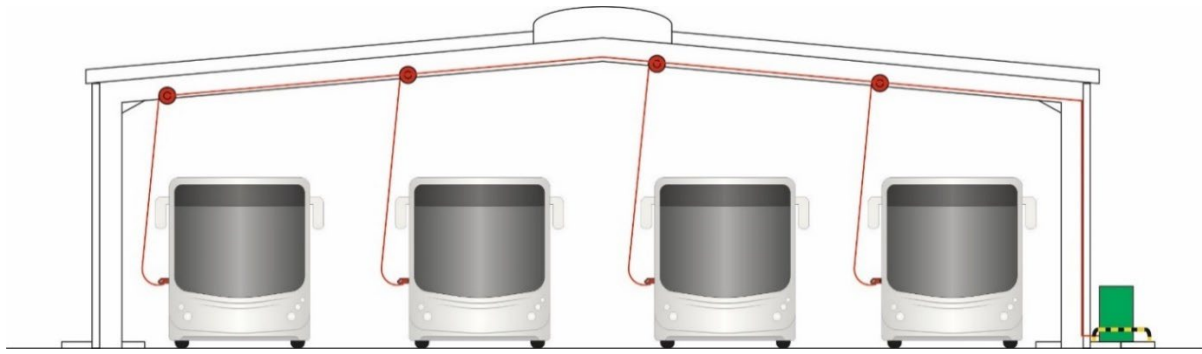


Abbildung 2-6
Überkopfführung der Ladekabel in den Abstellhallen (ohne PLC-Satelliten)

Die Ladegeräte kommunizieren mit Batteriebussen über Powerline-Kommunikation (PLC). Diese ist auf etwa 15 m Kabellänge begrenzt. Sind größere Kabellängen notwendig, sind sog. PLC-Satelliten notwendig, in denen die Powerline-Kommunikation in eine andere Kommunikationsform umgewandelt wird.

Beispiele für PLC-Satelliten und Kabelaufhängungen zeigt Abbildung 2-7. PLC-Satelliten mit einfachen federbasierten Kabelaufhängungen wurden bei Hallenabstellung und bei kompakter Freiabstellung in Blockaufstellung unterstellt.



a) Kabeltrommel mit Rückspulfunktion;

b) einfache Aufhängung

Abbildung 2-7
Beispiele für
Kabelführungs-
systeme und
PLC-Satelliten

Obwohl technisch nicht zwingend erforderlich, werden Leistungseinheiten oft in gesonderten Einhausungen untergebracht. Um dieser Vorgehensweise Rechnung zu tragen, wurde bei Hallenabstellung und bei kompakter Freiabstellung in Blockaufstellung unterstellt, dass die notwendigen Leistungseinheiten gesondert eingehaust werden.

Ein Anfahrschutz ist bei Freiaufstellung von Ladegeräten zu empfehlen und wurde entsprechend nur für die zugehörige Aufstellform vorgesehen. Eine einfache Variante in Form von Bodenplatten zeigt Abbildung 2-5.

Zumeist sind Hallentragwerke dafür geeignet, Kabel und PLC-Satelliten ohne Ertüchtigung aufzunehmen. Für die Kabelführung gibt es unterschiedliche Ansätze, wie z. B. Leerrohre, einfache Schellen oder Kabelrinnen. Deutlich aufwändiger sind separate Überkopfführungen, wie sie häufig auch bei kompakter Freiaufstellung verwendet werden. Der in Tabelle 2-2 aufgeführte Kostensatz stellt einen Mittelwert über alle Betriebshöfe mit entsprechender Aufstellform hinweg dar.

2.3.3 Sonstige bauliche Maßnahmen

Sonstige, in die Kostenermittlung einbezogene bauliche Maßnahmen und die angesetzten Kostensätze sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Es wurden nur Maßnahmen einbezogen, die im Zusammenhang mit der Einführung von emissionsfreien Bussen stehen.

	Kostenbereich	Mittlerer Kostensatz
Not-Aus-Ring	525 – 1.100 €/Bus	750 €/Bus
Beobachtungsplatz	Schätzwert	100.000 €/Betriebshof mit Werkstatt
Bauliche Brandschutzmaßnahmen	0 – 17.500 €/Bus	15.500 €/Bus
Rauchmeldeanlage – Ergänzung BMZ	Schätzwert	1.500 €/Bus bei Hallenabstellung
Löschwasserrückhaltung	Schätzwert	50.000 € + 10.000 €/Bus

Tabelle 2-3: Kostensätze für sonstige bauliche Maßnahmen

Not-Aus-Ringe

Obwohl die Kosten für Not-Aus-Ringe von der Aufstellform abhängen, wurde aus Gründen der Vereinfachung ein einheitlicher Kostensatz zur Anwendung gebracht. Dabei entstehende Berechnungsfehler sind in Summe vernachlässigbar.

Beobachtungsplätze

Beobachtungsplätze dienen der separierten Abstellung von verunfallten Batteriebusen oder Fahrzeugen, deren Batterien ein auffälliges Verhalten zeigen. Es gibt verschiedene Varianten für Beobachtungsplätze, die von einfachen und ausreichend dimensionierten Flächen bis hin zu überdachten und mit Löschtechnik versehenen Anlagen reichen können (Abbildung 2-8). Bei der konkreten Ausgestaltung von Beobachtungsplätzen haben Verkehrsunternehmen zumindest derzeit noch weiten Gestaltungsspielraum und an vielen Standorten wird der Bau einer aufwändigen Anlage rein räumlich nicht möglich sein.



Abbildung 2-8
Beispiele für Beobachtungsplätze, Quelle rechtes Bild: Abschleppdienst Krüger GmbH

Vorgesehen wurden Beobachtungsplätze nur für Betriebshöfe mit Werkstatt. Der verwendete Kostensatz ist wiederum ein über alle relevanten Betriebshöfe hinweg geschätzter Wert. Bei der Auswertung der Luftbilddaufnahmen war augenfällig, dass eine Reihe von Betriebshöfen kaum räumliche Möglichkeiten bieten, aufwändige Beobachtungsplätze anzuordnen (s. Abbildung 2-9 als Beispiele).



Abbildung 2-9
Beispiele für Betriebshöfe mit geringen Flächenreserven

Brandschutzmaßnahmen

Der Umfang notwendiger Brandschutzmaßnahmen variiert von Betriebshof zu Betriebshof. Der übergeordnete Grundsatz lautet Schutz durch Brandabschnitte. Bei Freiaufstellung können in vielen Fällen Brandabschnitte leicht durch Abstand definiert werden oder sind bereits vorhanden. Oft ist es jedoch notwendig, Brandschutzmauern

(F60 – F120) zu errichten. Dies gilt insbesondere bei der Abstellung in größeren Abstellhallen, was häufig mit dem Verlust von Stellplätzen einhergeht. Der Kostensatz versucht die unterschiedlichen Varianten zu vereinheitlichen und wurde aus konkreten Beispielen, bei denen der Autor in die Neugestaltung von Betriebshöfen involviert war, abgeleitet.

Rauchmeldeanlagen und die Ergänzung von Brandmeldezentralen wurden nur bei Hallenabstellung berücksichtigt.

Löschwasserrückhaltung

Ein noch offenes Thema sind Maßnahmen zur Löschwasserrückhaltung. Das Meinungsspektrum reicht hier von fehlender gesetzlicher Forderung bis hin zur Notwendigkeit, das beim Löschen brennender Lithiumbatterien anfallende Löschwasser als wassergefährdend anzusehen und aufzufangen.

Ein ebenfalls weites Spektrum besteht bei konkreten Maßnahmen zur Löschwasserrückhaltung. Diese reichen von Schiebern in der Kanalisation über mobile Auffangvorrichtungen bis hin zu großen unterirdischen Auffangtanks. Der gewählte Berechnungsansatz versucht daher, die unterschiedlichen Herangehensweisen in einem Kostensatz zusammenzufassen.

2.3.4 Werkstattausstattung

In die Kostenberechnung wurden wiederum nur Positionen aufgenommen, die unmittelbar mit der Einführung von Batteriebussen zusammenhängen (Tabelle 2-4).

	Kostenbereich	Mittlerer Kostensatz
Dacharbeitsstand inkl. Portalkran	ca. 200.000 – 500.000 €	Solobusse: 275.000 €/Werkstatt Gelenkbusse: 300.000 €/Werkstatt
Werkstattladegerät	18.900 – 27.800 €	24.000 €/Werkstatt
Werkzeugausstattung	570 – 1.450 €/Bus	1.200 €/Bus

Tabelle 2-4: Kostensätze für die Werkstattausrüstungen

Dacharbeitsstände inkl. Portalkräne

Batteriebusse führen Batteriepacks und Teile der Leistungselektronik auf dem Dach mit, was im Gegensatz zu Dieselnissen häufiger zu Arbeiten auf dem Fahrzeugdach führen wird. Entsprechend ist die Ausrüstung der Werkstätten mit Dacharbeitsständen und Krananlagen notwendig.

Viele Werkstätten sind jedoch nicht für den Aufbau von Dacharbeitsständen geeignet. Gründe hierfür sind zumeist fehlende seitliche Räume neben Arbeitsständen und / oder zu geringe lichte Höhen. In vielen dieser Fälle wird es daher nicht zur Installation aufwändiger Dacharbeitsstände, sondern zur Nutzung mobiler Lösungen kommen.

Kleinere Verkehrsbetriebe werden zudem Arbeiten an Hochvoltbatterien und Leistungselektronik an Vertragswerkstätten auslagern und auf den Umbau der Werkstatt verzichten.

Die Kostensätze verstehen sich somit als Abdeckung sämtlicher Varianten, beginnend beim Verzicht auf Dacharbeitsstände bis hin zu notwendigen baulichen Änderungen in einer Werkstatt.

Werkstattladegeräte

Werkstattladegeräte gibt es in Ausführungen von etwa 20 – 60 kW Ladeleistung. Angesetzt wurde ein roll- und tragbares Werkstattladegerät mit rund 40 kW maximaler Ladeleistung.

Werkzeugausstattung

Der Kostensatz für die Werkzeugausstattung umfasst neben Spezialwerkzeugen und Messtechnik auch Schutzausrüstungen, Absperrmittel und neu anzuschaffende Diagnosesysteme. Der Kostensatz ist für kleine Betriebshöfe nicht auskömmlich und für große Betriebshöfe zu hoch angesetzt, was sich jedoch im Mittel ausgleicht.

2.3.5 Baunebenkosten

Baunebenkosten wurden mit insg. 25 % bezogen auf die Gesamtkosten je Betriebshof abzüglich der Kosten für Ladegeräte und Leistungseinheiten sowie PLC-Satelliten eingerechnet.

2.4 Nicht berücksichtigte Positionen

Bei der Kostenermittlung wurden neben den Investitionskosten für die Busse folgende, landläufig mit Einführung von Batteriebussen assoziierte Positionen bewusst nicht berücksichtigt:

- Pufferspeicher
- Last- und Lademanagementsystem
- Infrastruktur für Brennstoffzellenbusse.

2.4.1 Pufferspeicher

Pufferspeicher auf Betriebshöfen können mehrere Ziele erfüllen:

1. Ausgleich fehlender Leistungsreserven im umliegenden Mittelspannungsnetz
2. Reduzierung von Leistungsbezugsspitzen und damit Reduzierung von Netzentgelten
3. Vermehrter Energiebezug in Niedertarif-Zeiten
4. Zwischenspeicherung von eigenerzeugter PV-Elektroenergie
5. Netzdienliche Leistungen.

Die Anwendungen 2 – 5 dienen in erster Linie der Verbesserung der Energiekostenbilanz und sollten daher ein eigenständig positives Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweisen.

Der Ausgleich fehlender Leistungsreserven im umliegenden Mittelspannungsnetz wird über den Kostensatz für Netzanschlüsse abgedeckt, bei dem in einem von zehn Fällen die Neuverlegung von Mittelspannungskabeln über längere Distanzen (> 1.000 m) eingerechnet wurde.

2.4.2 Last- und Lademanagementsysteme

Last- und Lademanagementsysteme werden zumeist über eine Kombination aus Erstkostenerstattung und Ladeplatzlizenzen vergütet.

2.4.3 Infrastruktur für Brennstoffzellenbusse

Bei der Internetrecherche (s. Punkt 2.1.2) wurde auch nach Anzeichen hinsichtlich einer durch die Verkehrsunternehmen getroffenen Wahl zwischen Batterie- und Brennstoffzellenbussen gesucht. Auch wenn bei Weitem nicht für alle Verkehrsunternehmen entsprechende Hinweise gefunden wurden, beschränken sich Hinweise auf geplante bzw. bereits realisierte Brennstoffzellenbusprojekte in Niedersachsen und Bremen auf

- Oldenburg (im Linieneinsatz, Betankung an öffentlicher Tankstelle),
- Nienburg (MittelWeserBus: Bewilligung von Fördermitteln für zwei Brennstoffzellenbusse im Stadtverkehr, Betankung an öffentlicher Tankstelle geplant),
- Bremerhaven (Brennstoffzellenbusse und Batteriebusse mit H₂-Rangeextender im Einsatz bzw. in der Beschaffung, perspektivische Nutzung einer öffentlichen Wasserstofftankstelle) sowie
- DB Regio Bus Nord (Einsatz von je zwei Brennstoffzellenbussen in den Landkreisen Leer und Aurich, Betankung an öffentlicher Tankstelle).

Unabhängig von der Anzahl der Vorhaben und Fahrzeuge wird deutlich, dass zumeist die Nutzung einer öffentlich zugänglichen Tankstelle Dritter geplant ist. Wesentliche Investitionskosten für die Errichtung der H₂-Tankinfrastruktur auf Betriebshöfen entfallen dadurch. Über den gesamten Betrachtungsraum gesehen, liegen die ermittelten Kosten somit auf der sicheren Seite.

Zu erwähnen ist ebenfalls, dass sich ein substantieller Anteil der Betriebshöfe aufgrund fehlender Flächen nicht für den Bau einer Wasserstofftankstelle eignet, für die in der Minimalausführung etwa 500 m² notwendig sind.

3 Berechnungsmethode und Ergebnisse

3.1 Berechnungsmethode

Wie bereits erwähnt, wurde für jeden berücksichtigten Standort eine getrennte Kostenkalkulation durchgeführt. Die Ergebnisse wurden anschließend für die einbezogenen Unternehmen zusammengefasst.

Die Kosten jeder einzelnen im Kapitel 2.3 aufgeführten Position wurden jeweils gemäß einer Variante der folgenden Berechnungsansätze ermittelt:

Berechnungsansatz 1 – Kostenberechnung über mittlere Kosten / Bus (Regelfall):

$$\text{Kosten pro Standort} = n_{\text{Busse}} \cdot K_{\text{Bus}}$$

n_{Busse} Anzahl der am Standort stationierten Busse [Busse/Standort]

K_{Bus} mittlere Kosten je Bus [€/Bus]

Berechnungsansatz 2 – Kostenberechnung über Sprungkosten und mittlere Kosten / Bus:

$$\text{Kosten pro Standort} = K_S + n_{\text{Busse}} \cdot K_{\text{Bus}}$$

K_S Sprungkosten je Standort [€/Standort]

n_{Busse} Anzahl der am Standort stationierten Busse [Busse/Standort]

K_{Bus} mittlere Kosten je Bus [€/Bus]

Dieser Berechnungsansatz wurde nur für Maßnahmen der Löschwasserrückhaltung zur Anwendung gebracht.

Berechnungsansatz 3 – Kostenberechnung über mittlere Kosten / Standort:

Die Berechnung erfolgte mit Hilfe eines gemittelten Pauschalbetrags je Standort bzw. Werkstatt.

Es erfolgte eine Unterteilung der Kosten in folgende Kategorien:

- I – Neubauten und substantielle Umbauten
- II – Netzanschluss, Baukostenzuschuss und Baunebenkosten
- III – Transformatorenstation
- IV – Leistungseinheiten, Ladegeräte und PLC-Satelliten
- V – Bauliche Maßnahmen
- VI – Werkstattausrüstung und -umbau

Die Gesamtkosten je Kategorie wurden gemäß folgendem Ansatz berechnet:

$$\text{Kosten}_{\text{Kat}} = \sum_{i=1}^{75} K_{\text{Kat},i}$$

i Standort [-]

$K_{\text{Kat},i}$ Kosten der betrachteten Kategorie für Standort i [€/Standort]

Die Kostenermittlung mit Hilfe gemittelter Kostensätze wurde gewählt, um die Berechnungen handhabbar zu gestalten. Die gemittelten Kostensätze stellen Werte über alle Standorte hinweg dar. Dies hat zur Folge, dass die Genauigkeit der berechneten Kosten je Standort in Abhängigkeit von der Fahrzeuganzahl schwankt. Um die Genauigkeit zu erhöhen, wurden für einige Kostenpositionen zwei verschiedene mittlere Kostensätze in Abhängigkeit von der Anzahl stationierter Busse gewählt. Darüber hinaus wurden die Kostensätze anhand bekannter Beispiele kalibriert.

Naturgemäß lassen sich die die Kostensätze nicht für konkrete Betriebshöfe anwenden, da die hierfür notwendige Genauigkeit schlicht nicht gegeben ist. In der Tendenz werden die Kosten für kleine Standorte (< 40 Busse) leicht unter- und für große Betriebshöfe (> 100 Busse) leicht überschätzt.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Kosten für die direkt einbezogenen Verkehrsunternehmen

Für die in die Kostenermittlung einbezogenen 36 Verkehrsunternehmen mit ihren 75 Standorten und rund 3.700 Linienbussen wurden Gesamtkosten für den Um- und Neubau von Betriebshöfen sowie deren Ausrüstung mit

Ladeinfrastruktur und Brandschutzmaßnahmen in Höhe von rund 1,14 Mrd. € mit Preisstand 2024/25 ermittelt. Pro Bus liegen die Kosten damit bei gut 308.000 €.

Die einzelnen Kategorien umfassen die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Kosten. Speziell für Kategorie I ist zu beachten, dass die Kosten pro Bus für die Gesamtheit aller in die Berechnungen einbezogenen Busse gelten, hier also auch Busse von Betriebshöfen einbezogen wurden, für die derzeit (noch) keine Neu- bzw. substantiellen Umbauten im Sinne des hier verfolgten Untersuchungszieles vorgesehen sind.

Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III	Kategorie IV	Kategorie V	Kategorie VI
533,6 Mio. €	88,6 Mio. €	122,9 Mio. €	243,5 Mio. €	136,9 Mio. €	17,9 Mio. €

Tabelle 3-1: Ermittelte Kosten für die Betriebshöfe von 36 Verkehrsunternehmen (gerundete Werte, Preisstand 2024/25)

Theoretisch wäre es möglich, aus den in Tabelle 3-1 aufgeführten Kosten mit Hilfe der Gesamtbusanzahl Kostensätze/Bus je Kategorie zu berechnen. Die so ermittelten Kostensätze lassen sich **jedoch ausdrücklich nicht für die Ermittlung von Kosten für einen konkreten Standort nutzen**.

Die Kosten für Ladeinfrastruktur sowie Baukosten allgemein unterlagen in den letzten drei bis vier Jahren enormen Preiszuwächsen. Eine weiter steigende Nachfrage nach Ladeinfrastruktur wird mutmaßlich zu weiteren Preissteigerungen in den kommenden Jahren führen. Auch wenn nicht absehbar ist, wie sich die Preise entwickeln werden, empfiehlt es sich, bei der Kalkulation des Kostenvolumens pro Jahr mit einer Kostensteigerung von 3,5 – 5 % als Schätzwert zu kalkulieren. Kommt es wiederum zu Ereignissen, die substantielle Auswirkungen auf die Weltwirtschaft haben (z. B. militärische Konflikte) ist mit Teuerungsraten von um die 10 % pro Jahr zu rechnen. Wie sich Teuerungsraten auswirken, wird im Kapitel 3.3 näher betrachtet.

3.2.2 Gesamtkosten für Niedersachsen und Bremen

Die in Kapitel 3.2.1 aufgeführten Kosten beziehen sich rein auf die rund 3.700 Fahrzeuge der VDV-Mitgliedsunternehmen bzw. deren Betriebshöfe. Wie bereits erwähnt, sind in Niedersachsen und Bremen rund 5.360 Linienbusse registriert. Es entsteht somit eine angenommene Differenz von 1.660 Fahrzeugen. Hauptsächlich werden die nicht direkt erfassten Busse von privaten Busunternehmen als direkte Konzessionsnehmer oder im Unterauftrag betrieben.

Neben der Firma Transdev handelt es sich zumeist um klein- und mittelständische Unternehmen. Um die Struktur besser bewerten zu können, wurden in IVIdat verzeichnete Busunternehmen mit Linienverkehr in Niedersachsen hinsichtlich ihrer Flottengrößen analysiert. Die Flottengrößen lagen mit weniger als 10 Bussen bis hin zu über 160 Bussen unterhalb der typischen Flottengrößen der VDV-Mitgliedsunternehmen. Noch deutlicher werden die Unterschiede bei der Betrachtung der Teilflotten je Standort, die im Schnitt bei knapp 30 Bussen liegt.

Um diese strukturellen Unterschiede und Abweichungen zwischen den im VDV organisierten und anderen Unternehmen berücksichtigen zu können, wurden gesondert die Kosten je Bus für jene VDV-Mitgliedsunternehmen ermittelt, die weniger als 100 Busse in ihrem Bestand aufweisen. Diese Größenordnung bietet nach Erfahrungswert des Autors eine gute Vergleichbarkeit mit den o. g. klein- und mittelständischen Unternehmen. Die Gesamtkosten je Bus liegen in diesem Segment mit rund 226.500 €/Bus erklärbar und deutlich unter dem Wert aller gesamten, d. h. 36 Verkehrsunternehmen im VDV. Multipliziert man nun diesen Kostensatz je Bus mit der Anzahl der nicht von dieser Untersuchung erfassten 1.660 Linienbusse, ergeben sich zusätzliche Kosten in Höhe von ca. 376 Mio. €.

Somit belaufen sich die Gesamtkosten des Investitionsbedarfs bei der Umstellung der Linienbusflotten in Niedersachsen und Bremen auf etwa 1,52 Mrd. €. Verkehrsunternehmen im Land Niedersachsen müssen davon rund 1,42 Mrd. € aufbringen, in Bremen und Bremerhaven fallen zusammen ca. 100 Mio. € an.

3.3 Zeitliche Staffelung des Mittelbedarfs

3.3.1 Anlass und Vorgehensweise

Die in den vorherigen Kapiteln aufgeführten Gesamtkosten mit Preisstand 2024/2025 werden sich über viele Jahre hinweg aufteilen, vermutlich bis Anfang der 2040er Jahre. Wie genau sich die Kosten auf die einzelnen Jahre verteilen, setzt detailliertes Wissen zu Investitionsplänen der einzelnen Verkehrsunternehmen voraus, die dem Autor nicht einmal im Ansatz vorliegen. Um dem zu begegnen, wurden Annahmen zum Beginn und zur Dauer einzelner Baumaßnahmen getroffen, die sich an den im Kapitel 3.1 aufgeführten Kostenkategorien orientieren.

Im gleichen Zuge wurde auch eine Berücksichtigung der Teuerung in Form mittlerer jährlicher Preissteigerungen vorgenommen.

Kostenkategorie I – Neubauten und substanzielle Umbauten

Neubauten und substantielle Neubauten sind für die betroffenen Verkehrsunternehmen i. d. R. die Grundlage, um überhaupt notwendige Ladeinfrastrukturkomponenten errichten zu können. Es wurden daher folgende Annahmen getroffen:

- Zeitraum, in dem mit den Ausführungsplanungen als erstem Umsetzungsschritt begonnen wird: 2026 – 2031
- durchschnittliche Projektlaufzeit bis Endabrechnung: 4 Jahre
- bei Verkehrsunternehmen mit mehreren Vorhaben: maximale zeitliche Überdeckung = 1 Jahr

Kostenkategorien II und III – Netzanschluss, Baukostenzuschuss und Baunebenkosten sowie Transformatorenstationen

Die Errichtung der sog. vorgelagerten Infrastruktur ist stets der erste Umsetzungsschritt, da die Energieinfrastruktur auf Betriebshöfen i. d. R. nicht für den Anschluss mehrerer Ladegeräte ausgelegt ist. Der Hauptanteil der Baunebenkosten setzt sich aus Planungskosten zusammen, die zumeist auch zu Beginn der Umbauprozesse anfallen.

In größeren Betriebshöfen ist es zumeist nicht sinnvoll, die gesamte Transformatorenleistung sofort zu installieren, da dies zu einem ineffizienten Betrieb der Transformatoren in der Hochlaufphase führen würde. Gleiches gilt für die Niederspannungshauptverteilung (NSHV), bei der ebenfalls ein schrittweiser Aufbau unterstellt werden kann. Der nachträgliche Einbau von Transformatoren und NSHV-Komponenten wird daher in der Erweiterungsphase berücksichtigt. Es wurden folgende Annahmen getroffen:

- Zeitraum, in dem mit den Ausführungsplanungen als erstem Umsetzungsschritt begonnen wird: 2026 – 2030
- durchschnittliche Projektlaufzeit für die Erstinstallation bis Endabrechnung: 1,5 Jahre
- Zeitraum der Erweiterungsphase: 2029 – 2038
- durchschnittliche Projektlaufzeit während der Erweiterungsphase bis Endabrechnung: 1 Jahr

Kostenkategorie IV – Leistungseinheiten, Ladegeräte und PLC-Satelliten

Leistungseinheiten, Ladegeräte und PLC-Satelliten werden zumeist im unmittelbaren Vorfeld der Fahrzeuganlieferung installiert. Letztere werden sich bis zur vollständigen Umstellung der Busflotten vermutlich bis Anfang der 2040er Jahre hinziehen. Da bei einer vorausschauenden Planung und Umsetzung einzelne Baumaßnahmen, wie z. B. die Errichtung von Kabeltrassen in den ersten Umsetzungsschritten vorgenommen werden, kommt es zu einer Ungleichverteilung der zeitlichen Kostenverteilung, die durch die Betrachtung von zwei Umsetzungsphasen berücksichtigt wird. Es wurden folgende Annahmen getroffen:

- Zeitraum, in dem mit der jeweils ersten Umsetzungsphase begonnen wird: 2026 – 2030
- durchschnittliche Projektlaufzeit für die erste Umsetzungsphase bis Endabrechnung: 1,5 Jahre
- Zeitraum, in dem mit weiteren Umsetzungsphasen begonnen wird: 2029 – 2042
- durchschnittliche Projektlaufzeit für weitere Umsetzungsphasen bis Endabrechnung: 1 Jahr

Kostenkategorie V – Bauliche Maßnahmen

Die Kosten für die berücksichtigten baulichen Maßnahmen fallen überwiegend zu Beginn der jeweiligen Umstellungsprozesse an, was sich in den Annahmen widerspiegelt:

- Zeitraum, in dem mit der jeweils ersten Umsetzungsphase begonnen wird: 2026 – 2030
- durchschnittliche Projektlaufzeit für die erste Umsetzungsphase bis Endabrechnung: 1,5 Jahre
- Zeitraum, in dem mit weiteren Umsetzungsphasen begonnen wird: 2029 – 2036
- durchschnittliche Projektlaufzeit für weitere Umsetzungsphasen bis Endabrechnung: 1,5 Jahre

Kostenkategorie VI – Werkstattausrüstung und -umbau

Es ist davon auszugehen, dass unternehmenseigene Werkstätten zu Beginn der Umstellungsprozesse auf Batteriebusse umgebaut und ausgerüstet werden, weshalb die folgenden Annahmen getroffen wurden:

- Zeitraum, in dem mit den Ausführungsplanungen als erstem Umsetzungsschritt begonnen wird: 2026 – 2030
- durchschnittliche Projektlaufzeit für die Erstinstallation bis Endabrechnung: 1,5 Jahre

Da die Kosten je Kostenkategorie betriebshoffein ermittelt wurden, wurden der Zeitpunkt jedes einzelnen Projektbeginns innerhalb der beschriebenen Zeiträume mittels Zufallszahlengenerator festgelegt. Anschließend wurde innerhalb der Projektlaufzeiten ein kontinuierlicher Kostenanfall in Quartalschritten unterstellt. Die Kosten je Quartal wurden anschließend über alle Betriebshöfe hinweg aufsummiert.

3.3.2 Ergebnisse

Den zeitlichen Verlauf der vierteljährlichen Investitionskosten zeigt nachfolgend die Abbildung 3-1. Die leicht voneinander abweichenden Kurvenformen sind dem Berechnungsansatz mittels zufällig ausgewählter Zeitpunkte für den Beginn von Umbau- und Ausrüstungsinvestitionen geschuldet. Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Teuerungsraten erkennbar, deren Wirkung sich vor allem mit zunehmender Zeit entfaltet.

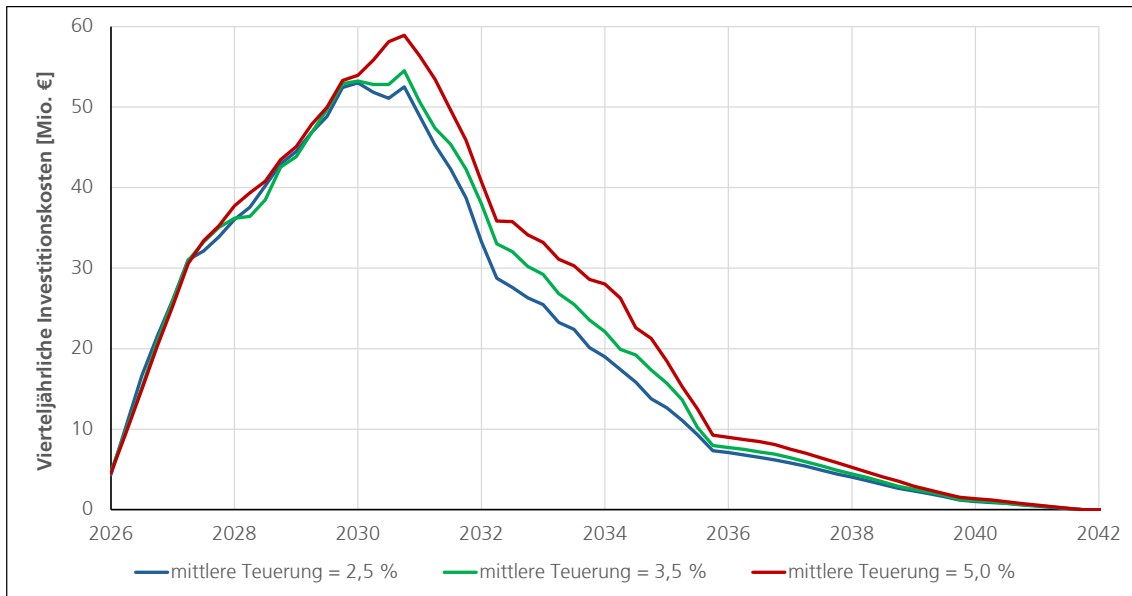


Abbildung 3-1
Zeitlicher Verlauf der vierteljährlichen Investitionskosten bei unterschiedlichen mittleren Teuerungsraten

Betrachtet man die angenommenen Zeiträume als gegeben, wird es unabhängig von der konkreten Form der Kurven von etwa 2029 bis 2032 zu einem Höhepunkt der Investitionskosten kommen. Hierbei fallen im Jahr 2031 je nach mittlerer Teuerungsrate Kosten in Höhe von 208 bis 225 Mio. € an. Ab Mitte der 2030er Jahre kommt es zu einem deutlichen Abschmelzen der Investitionsbedarfe, da die Anzahl der dann noch umzustellenden Busse ebenfalls deutlich geringer wird. Nach dem Jahr 2042 wird es wieder zu einem geringfügigen Anstieg der Investitionskosten kommen, da dann Ersatzinvestitionen für z. B. Leistungseinheiten, Ladegeräte und PLC-Satelliten kommen wird.

Die zeitliche Streckung der Investitionskosten sowie die unterschiedlichen Teuerungsraten erhöhen naturgemäß die Gesamtinvestitionskosten auf bis zu zwei Milliarden Euro (Tabelle 3-2).

	Preisstand 2024/25	Teuerung = 2,5 %	Teuerung = 3,5 %	Teuerung = 5,0 %
Nur VDV-Unternehmen	1,14 Mrd. €	1,29 Mrd. €	1,37 Mrd. €	1,48 Mrd. €
Alle Verkehrsunternehmen	1,52 Mrd. €	1,72 Mrd. €	1,83 Mrd. €	1,97 Mrd. €

Tabelle 3-2: Gesamtinvestitionskosten unter Berücksichtigung der zeitlichen Verteilung und unterschiedlicher Teuerungsraten

Der zeitliche Verlauf und damit verbunden die Gesamtinvestitionskosten hängen von einer eher zufälligen Wahl des Zeitpunkts für Investitionen innerhalb der im Kapitel 3.3.1 gewählten Investitionszeiträume ab. Diese sind wiederum in erster Linie den gesetzlichen Bestimmungen, namentlich dem Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz, der Abgasnorm Euro 7 sowie den CO₂-Flottenvorgaben der EU geschuldet. Eine Förderung, insb. zeitlich eher kurz aufgestellte Förderprogramme werden zu anderen Verläufen führen, da Verkehrsunternehmen versuchen werden, Investitionsvorhaben in die festgelegten Förderzeiträume zu legen, um Kosten einsparen zu können. Es empfiehlt sich daher, langfristig angelegte Förderprogramme aufzulegen, um eine künstliche Konzentration von Investitionskosten zu vermeiden (s. a. Kapitel 3.4).

3.4 Fördermöglichkeiten

Der ermittelte Kostenumfang deutet an, dass die Verkehrsunternehmen nur schwer in der Lage sein werden, die anfallenden Kosten eigenständig oder über ihre Eigentümer bzw. Aufgabenträger abzudecken. Einige Bundesländer, wie z. B. Niedersachsen oder der Freistaat Thüringen haben daher entsprechende Förderprogramme auf den Weg gebracht, um Verkehrsunternehmen den Umstieg auf emissionsfreie Antriebe finanziell zu erleichtern bzw. überhaupt erst zu ermöglichen.

Der Um- und Neubau von Betriebshöfen sowie deren Ausstattung mit Ladeinfrastruktur sind Vorhaben, die sich für ein Verkehrsunternehmen über viele Jahre hinweg erstrecken werden. Zwischen Beschlussfassung zum Bau eines neuen Betriebshofes bis zu dessen Inbetriebnahme können fünf Jahre und mehr vergehen. Die Freigabe in den zuständigen Gremien (z. B. Aufsichtsrat) ist häufig an das Einwerben von Fördermitteln gekoppelt. Um den Verkehrsunternehmen Planungssicherheit zu geben, wird daher empfohlen, Förderprogramme mit unterschiedlich langen Laufzeiten aufzusetzen. Hierbei empfiehlt es sich, die o. g. Kostenkategorien und die in der Tabelle 3-3 aufgeführten Laufzeiten als Orientierung zu nutzen.

Kostenkategorie	I	II, III, IV, V	VI
Laufzeit Förderprogramm ¹⁾	7 – 10 Jahre	4 – 6 Jahre	3 – 5 Jahre
Projektlaufzeit ²⁾	4 – 6 Jahre	3 – 4 Jahre	3 – 4 Jahre

¹⁾ Zeit zwischen Inkrafttreten und Schlussabrechnung des letzten bewilligten Vorhabens

²⁾ Zeit zwischen Bewilligung und Schlussabrechnung

Tabelle 3-3: Empfehlungen zur zeitlichen Ausgestaltung von Fördermöglichkeiten

Speziell für die Kostenkategorien II und III erscheint es ratsam, Investitionen in den Netzanschluss sowie die Transformatorenstationen bereits im ersten Schritt dahingehend zu fördern, dass schon in den ersten Ausbaustufen der Netzanschluss und die Spannungswandlung für den Endausbau errichtet werden können.

4 Zusammenfassung

Die Umstellung auf emissionsfreie Antriebe im Linienbusverkehr wird mit enormen Kosten für den Um- und Neubau von Betriebshöfen sowie deren Ausrüstung mit Ladeinfrastruktur und Brandschutzmaßnahmen verbunden sein.

Für die 34 VDV-Mitgliedsunternehmen und zwei assoziierten Unternehmen, die in Niedersachsen und Bremen Linienbusse betreiben, wurden in detaillierter Form die für die o. g. Maßnahmen anfallenden Kosten ermittelt. Hierfür wurde neben einer Fragebogenkampagne auf Daten der IVI-eigenen Datenbank *IVdat* sowie auf Internetrecherchen und Luftbilddauswertungen zurückgegriffen. Die direkt in die Datenauswertung und Kostenberechnung einbezogenen Verkehrsunternehmen betreiben rund 3.700 der 5.360 in Niedersachsen und Bremen registrierten Linienbusse, die auf etwa 75 Betriebshöfen und Abstellanlagen stationiert sind.

Insgesamt wurden für die VDV-Mitgliedsunternehmen Umstellungskosten in Höhe von etwa 1,14 Mrd. € ermittelt. Für ganz Niedersachsen und Bremen belaufen sich die Kosten unter Berücksichtigung der übrigen Verkehrsunternehmen auf rund 1,52 Mrd. €. Auf das Land Niedersachsen entfallen davon rund 1,42 Mrd. € und auf Bremen und Bremerhaven zusammen ca. 100 Mio. €. In den Kosten sind keine Mehraufwände für Fahrzeuge enthalten.

Die angegebenen Kosten beziehen sich auf den Preisstand 2024/25 und vernachlässigen Kostensteigerungen durch Teuerung und zeitliche Streckung der Vorhaben. Bei einer mittleren jährlichen Teuerungsrate von 2,5 % ist mit Gesamtkosten von 1,75 Mrd. € zu rechnen, die jedoch bis Anfang der 2040er anfallen werden. Bei einer mittleren Teuerungsrate von 5,0 % fallen im gleichen Zeitraum bis zu knapp zwei Milliarden Euro an.

Die höchsten jährlichen Investitionskosten werden voraussichtlich in den Jahren 2029 bis 2032 mit je nach mittlerer Teuerungsrate 208 bis 225 Mio. € anfallen.

Es wird empfohlen, Förderprogramme zur Unterstützung der Verkehrsunternehmen beim Um- und Neubau der Betriebshöfe und deren Ausrüstung mit den notwendigen Infrastrukturen aufzusetzen. Diese sollten jeweils möglichst lange Laufzeiten von mehr als drei bzw. vier Jahren aufweisen, um eine Konzentration der Investitionsmittel auf kurze Zeiträume zu vermeiden.

Die Berechnungen unterstellen eine Umstellung auf Batteriebusse. Hauptgrund hierfür ist die Tatsache, dass in den betrachteten Bundesländern bisher Dieselbusse überwiegend durch Batteriebusse ersetzt wurden. Als Beispiele seien die GöVB in Göttingen mit 28, die ÜSTRA in Hannover mit 49, die Stadtwerke Osnabrück mit 62 sowie die BSAG in Bremen mit 20 Batteriebussen genannt. Hingegen bewegt sich die Zahl bereits in Dienst gestellter Brennstoffzellenbusse im unteren zweistelligen Bereich.

5 Anlage 1 – Fragebogen

Anliegen

ÖPNV-Unternehmen stehen vor großen, insb. finanziellen Herausforderungen im Zuge der anstehenden Umstellung auf saubere bzw. emissionsfreie Antriebe. Grundlage und Anlass hierfür bilden das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz, die Einführung der Abgasnorm Euro 7 sowie die CO₂-Flottenrichtwerte der EU.

Die VDV Landesgruppe Niedersachsen/Bremen möchte für die Kommunikation mit politischen Gremien eine Übersicht über notwendige Investitionen für Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur, Werkstätten und Baumaßnahmen auf Betriebshöfen im Zusammenhang mit der Umstellung erstellen lassen. Aus Erfahrung ist bekannt, dass die Glaubwürdigkeit prognostizierter Investitionskosten mit der Art der Berechnung unmittelbar zusammenhängt. Zwar lässt sich eine Kostenschätzung allein anhand von Flottengrößen erstellen, jedoch reichen schon wenige Zusatzinformationen, um die Präzision der Ergebnisse deutlich zu erhöhen.

Mit der Ermittlung der notwendigen Daten und den darauf aufbauenden Berechnungen wurde das Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI mit Prof. Thoralf Knotte als Ansprechpartner beauftragt.

Wir bitten Sie, sich ein wenig Zeit zu nehmen, um die nachfolgenden Fragen zu beantworten und den beantworteten Fragebogen an folgende E-Mail-Adresse zu senden:

thoralf.knote@ivi.fraunhofer.de

Selbstredend werden Ihre Angaben vertraulich behandelt. Im Zuge der Beauftragung erfolgte bereits eine Verpflichtung zur Geheimhaltung seitens des Fraunhofer IVI. Sollten Sie eine individuelle Geheimhaltungsvereinbarung wünschen, können Sie sich gern an die o. g. E-Mail-Adresse wenden.

Mit Dank für Ihre Unterstützung und freundlichen Grüßen,

Dr. Ulf Keller
Landesgruppe Niedersachsen/Bremen
Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV)

Prof. Dr.-Ing. Thoralf Knotte
Fraunhofer IVI

Allgemeine Angaben zum Unternehmen

Name des Unternehmens:			
Adresse des Geschäftssitzes:			
Zutreffendes bitte ankreuzen!			
Das Unternehmen bedient			
- hauptsächlich Linien im Stadtverkehr	<input type="checkbox"/>		
- Linien im Stadt- und Regionalverkehr	<input type="checkbox"/>		
- hauptsächlich Linien im Regionalverkehr	<input type="checkbox"/>		
Bietet Ihr Unternehmen Leistungen im Reisebusverkehr an?	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein
		<input type="checkbox"/>	

Betriebshöfe und Abstellanlagen

Bitte füllen Sie getrennt für Ihre Standorte die nachfolgenden Tabellen aus! Sollten Sie über mehr als vier Standorte verfügen, dann kopieren Sie bitte eine Tabelle und fügen Sie sie nochmals ein!

Standort X – Adresse:			
Zutreffendes bitte ankreuzen!			
Betriebshof mit Werkstatt	<input type="checkbox"/>	Abstellanlage – Eigentum	<input type="checkbox"/>
Betriebshof ohne Werkstatt	<input type="checkbox"/>	Abstellanlage – gemietet	<input type="checkbox"/>
Fahrzeugabstellung i.d.R. in Abstellhalle	<input type="checkbox"/>	Fahrzeugabstellung i.d.R. in Busport ¹⁾	<input type="checkbox"/>
Fahrzeugabstellung i.d.R. im Freien	<input type="checkbox"/>	gemischte Abstellung	<input type="checkbox"/>

Bitte geben Sie die Anzahl der am Standort abgestellten Linienbusse ²⁾ an!			
eigene Busse	<input type="checkbox"/>	angemietete Busse	<input type="checkbox"/>
von Subunternehmern betriebene Busse	<input type="checkbox"/>	Busse von Fremdfirmen	<input type="checkbox"/>

Bitte geben Sie die Anzahl der am Standort abgestellten Reisebusse ³⁾ an!			
eigene Busse	<input type="checkbox"/>	angemietete Busse	<input type="checkbox"/>
von Subunternehmern betriebene Busse	<input type="checkbox"/>	Busse von Fremdfirmen	<input type="checkbox"/>

Beabsichtigen Sie eine <u>Erhöhung</u> der Anzahl von am Standort abgestellten Bussen (Leistungszuwachs, Rückholung von Subunternehmerleistungen)?	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein	<input type="checkbox"/>
Wenn ja, <u>um</u> wie viele Fahrzeuge?	<input type="checkbox"/>				
Beabsichtigen Sie eine <u>Verringerung</u> der Anzahl von am Standort abgestellten Bussen?	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein	<input type="checkbox"/>
Wenn ja, <u>um</u> wie viele Fahrzeuge?	<input type="checkbox"/>				
¹⁾ überdachte Abstellanlage, Seiten i. d. R. (teilweise) offen ²⁾ M1 (sofern für Fahrgastbeförderung eingesetzt), M2 I, M2 A, M2 II, M3 I, M3 II, M3 A ³⁾ M1 (sofern für Reiseverkehr eingesetzt), M2 III, M2 B, M3 III, M3 B					

Falls eine Werkstatt vorhanden ist. Über wie viele Arbeitsstände verfügt die Werkstatt (ohne Anlage für Außenwäsche und Lackierhalle – sofern vorhanden)?				<input type="checkbox"/>	
Ist Ihre Werkstatt für die Installation eines Dacharbeitsstandes inkl. integriertem Portalkran (Hebegewicht ca. 1 t) geeignet?	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein	<input type="checkbox"/>
Kriterien: Notwendige lichte Höhe: > 5,90 m; Abstand zwischen Aufstellspuren: > 2,50 m; Abstand zu Hallenwand: > 3,00 m					
Planen Sie unabhängig von der Einführung emissionsfreier Busse den Neubau einer Werkstatt?	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein	<input type="checkbox"/>

Planen Sie für den Betriebshofes einen Ersatzneubau?	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein	<input type="checkbox"/>
Wenn ja wo?	<input type="checkbox"/>				
Werden im Zuge des Neubaus Fahrzeuge anderer Standorte zum neuen Standort verlagert?	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein	<input type="checkbox"/>
Wenn ja, von welchen Standorten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für wie viele Busse wird der neue Betriebshof ausgelegt?	<input type="checkbox"/>				
Erfolgt der Neubau unabhängig von der Einführung emissionsfreier Busse?	<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein	<input type="checkbox"/>

Angaben zu Ihrer Busflotte

Hinweise:

- Bitte geben Sie nur die im Linien- und freigestellten Schülerverkehr eingesetzten Bestandsfahrzeuge an.
- Unter der Antriebsart „Hybrid“ können Plug-in-Hybrid-Busse (extern aufladbar), Voll-Hybrid-Busse sowie Mild-Hybrid-Busse (Hybridmodul) angegeben werden.

Fahrzeuglänge	Antrieb	M1		Bus M2	
				Klasse I / A	Klasse II / B
Anzahl Kleinbusse bis 8 m	Diesel				
	Erdgas				
	Hybrid				
	Elektrisch				
	Wasserstoff				
Fahrzeuglänge	Antrieb	Niederflur-Bus M3		Low-Entry-Bus M3	
		Klasse I / A	Klasse II / B	Klasse I / A	Klasse II / B
Anzahl Midibusse bis 10,5 m	Diesel				
	Erdgas				
	Hybrid				
	Elektrisch				
	Wasserstoff				
Anzahl Solobusse bis 13,5 m	Diesel				
	Erdgas				
	Hybrid				
	Elektrisch				
	Wasserstoff				
Anzahl Solobus-Dreiachser	Diesel				
	Erdgas				
	Hybrid				
	Elektrisch				
	Wasserstoff				
Anzahl Gelenkbusse	Diesel				
	Erdgas				
	Hybrid				
	Elektrisch				
	Wasserstoff				
Durchschnittsalter der Linienbusflotte					Jahre
Maximal zulässiges Alter eines Linienbusses laut Verkehrsvertrag					Jahre