

OVG 2030 Machbarkeitsstudie zur Umstellung der Busflotte auf alternative Antriebe

Auftraggeber:
Oberhavel Verkehrsgesellschaft mbH



Machbarkeitsstudie zur Umstellung der Busflotte auf alternative Antriebe

Gefördert durch:

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Autor*innen:

Reiner Lemoine Institut gGmbH

Julian Brendel
Tabea Katerbau

EMCEL GmbH

Marcel Corneille
Marius Schneider
Mauricio Barriga

28. März 2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	iii
Zusammenfassung.....	v
Abkürzungsverzeichnis	vi
Abbildungsverzeichnis.....	vii
Tabellenverzeichnis.....	ix
1. Hintergrund und Einführung.....	1
1.1 Gesetzesrahmen.....	1
1.2 Die Oberhavel Verkehrsgesellschaft	2
1.3 Technologische Grundlagen.....	3
2. Elektrifizierungskonzept.....	7
2.1 Dimensionierung Fahrzeuge und Ladegeräte	7
2.2 Ladekonzept und Orte.....	7
2.3 Technisch betriebliche Machbarkeit und Anpassungen	8
2.4 Umsetzungskonzepte.....	10
2.5 Wirtschaftliche Gesamtbetrachtung	15
2.6 Ökologische Bewertung.....	20
3. Der elektrifizierte Betriebshof.....	22
3.1 Germendorf.....	22
3.2 Gransee.....	38
3.3 Anforderungen für die Digitalisierung	41
4. Laden auf der Strecke.....	44
4.1 Ladeinfrastruktur und Platzangebot	44
4.2 Energieversorgung und Netzanschluss.....	46
4.3 Kosten.....	47
5. Handlungsempfehlungen und Fazit.....	48
6. Quellen.....	I
7. Anhang	III
7.1 Annahmen.....	III
7.2 Kartenansichten.....	IX
7.3 Photovoltaik, Stationäre Speicher und elektrische Betriebsmittel.....	XVII
7.4 Investitions- und Betriebskosten	XVIII
7.5 Rahmenzeitplan	XXXII
7.6 Ausweichfläche (Flur 75).....	XXXIV
7.7 Beispiele verschiedener Trafostationen	XXXVI

7.8	Beispiele verschiedener Ladegeräte zur Gelegenheitsladung.....	XXXVII
7.9	Beispiele verschiedener Ladekonzepte am Betriebshof	XXXVIII
7.10	Liste des Digital-Anhangs.....	XLI

Zusammenfassung

Durch die Verpflichtung zur Umsetzung der Clean Vehicle Directive (CVD) steht die Oberhavel Verkehrsgesellschaft (OVG) vor der Herausforderung, alternative Antriebskonzepte einzuführen. Daher wurde eine Strategie für alternative Antriebe erarbeitet, um den Anforderungen der CVD bestmöglich begegnen zu können. Diese legt fest, dass für den ersten Zeitraum bis Ende 2025 insgesamt 45 % der neu beschafften Busse sauber (im Sinne des Gesetzes) sein müssen, für den zweiten Zeitraum bis Ende 2030 liegt dieser Wert bei 65 %. Von diesen sauberen Bussen müssen jeweils 50 % Null-Emissions-Busse, also lokal emissionsfreie Fahrzeuge sein.

Die Elektrifizierungsstrategie für die Busflotte der OVG weist den Weg zu einem nachhaltigen elektrifizierten Busbetrieb. Die Studie zeigt Optionen und die damit verbundenen Kosten und Emissionen für eine Elektrifizierung der Busflotte der OVG. Dabei wurden die folgenden alternativen Antriebstechnologien näher untersucht:

- Batteriebusse mit Depotladung und Gelegenheitsladung
- Brennstoffzellenbusse

Die Studie empfiehlt, dass Busse mit batterieelektrischem Antrieb eingesetzt werden. Diese Technik ist sowohl serienreif als auch die kostengünstigste. Während auf den meisten Umläufen Depotlader zum Einsatz kommen sollen, werden für die stark frequentierte und mit Gelenkbussen befahrene Linie 824 Gelegenheitslader mit Nachladung in Oranienburg und Hennigsdorf vorgesehen. Die Elektrifizierung soll am Betriebshof Germendorf beginnen, wo ab 2026 bis zu 18 Elektrobusse zum Einsatz kommen sollen. Davon zwölf Gelenkbusse, die primär als Gelegenheitslader eingesetzt werden und sechs Solobusse im Depotlader-Betrieb. Am Standort Gransee sollen ab 2031 Elektrobusse eingeführt werden.

Für eine Vollumstellung der Flotte auf Batteriebusse werden etwa 20 Zusatzfahrzeuge benötigt. Da der Betriebshof Germendorf bereits jetzt an seiner Belastungsgrenze operiert und die Anforderungen durch die Elektrifizierung weiter steigen, wird der Flottenumbau von umfangreichen Um- und Neubaumaßnahmen am Betriebshof Germendorf begleitet. So soll bis 2026 die Bestandsabstellhalle für die Abstellung von Elektrobussen ertüchtigt werden. Ab dem Jahr 2030 soll ein Neubau 62 Fahrzeuge beherbergen können. Die bedarfsgerechte Installation der Ladeinfrastruktur im Betriebshof zusammen mit einem Um- und Neubau der Werkstätten stellt den Betrieb der Fahrzeuge sicher.

Disclaimer:

Die vorliegende Studie wurde zwischen Januar 2023 und März 2024 erstellt und enthält den jeweiligen Kenntnis- und Planungsstand.

Abkürzungsverzeichnis

a	Annum, Jahr
BA	Bauabschnitt
BMS	Betriebshof Management System
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
CVD	Clean Vehicle Directive
D	Diesel
E	Elektrisch
E-Busse	Elektrisch angetriebene Busse
EU	Europäische Union
GL	Gelenkbus
HV	Hochvolt
ITCS	Integrated Transport Control System
KB	Kleinbus
LIS	Ladeinfrastruktur
LP	Ladepunkt
NEZH	Nicht elektrische Zusatzheizung
NGHStrom	Netzgesellschaft Hennigsdorf Strom mbH
OCPP	Open Charge Point Protocol
OVG	Oberhavel Verkehrsgesellschaft mbH
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PV	Photovoltaik
SL	Solobus
SoC	State of Charge
SoH	State of Health
Strom-NEV	Strom Netzentgeltverordnung
SWH	Stadtwerke Hennigsdorf GmbH
TCO	Total Cost of Ownership
THG	Treibhausgas
Trafo	Transformator
V2G	Vehicle to grid
VCDB	VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH
VNB	Verteilnetzbetreiber
W&I	Wartung und Instandhaltung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Quoten der Clean Vehicles Directive	1
Abbildung 2: Tagesfahrleistungen im Betrachtungsjahr 2026	3
Abbildung 3: Vergleich der Kilometerkosten für verschiedene Bustechnologien.....	6
Abbildung 4: Umläufe der Linie 824 über einen Tag	8
Abbildung 5: Ergebnis der simulierten Umlauftrennung Standort Germendorf.....	9
Abbildung 6: Übergeordnete Elektrifizierungsstrategie im Basisszenario	11
Abbildung 7: Entwicklung des Fahrzeugbestands der Gesamtflotte bis 2050 im Basisszenario	14
Abbildung 8: Entwicklung des Fahrzeugbestands der Gesamtflotte bis 2050 im Minimalszenario	14
Abbildung 9: Investitions- und Betriebskosten für die Jahre 2024 – 2035 im Basisszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee).....	15
Abbildung 10: Investitions- und Betriebskosten für die Jahre 2024 – 2035 im Minimalszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee).....	15
Abbildung 11: Investitionskostenübersicht für die Jahre 2024 – 2035 im Basisszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee).....	16
Abbildung 12: Investitionskostenübersicht für die Jahre 2024 – 2035 im Minimalszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee).....	17
Abbildung 13: Betriebskostenübersicht für die Jahre 2024 – 2035 im Basisszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee)	17
Abbildung 14: Einfluss der Förderung auf Investitionskosten im Basisszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee)	19
Abbildung 15: Einfluss der Förderung auf Betriebskosten im Basisszenario	19
Abbildung 16: Emissionen der verschiedenen Umstellungsszenarien.....	21
Abbildung 17: Umbauplanungen der Bestandshallen (BA 0, 1, 2).....	23
Abbildung 18: Konzepte für die Installation von Ladeinfrastruktur	24
Abbildung 19: Neubauplanung der Betriebshoferweiterung (BA 3, 4)	25
Abbildung 20: Interimskapazität der Flur 75	27
Abbildung 21: Anpassungsbedarf Werkstatt für Arbeiten mit Hochvolt	28
Abbildung 22: Schulungsumfang für Arbeiten am HV-System.....	29
Abbildung 23: Ladeleistungen unterschiedlicher Ladestrategien im Vergleich	30
Abbildung 24: Einfluss der Ladestrategien auf Stromkosten.....	31
Abbildung 25: Leistungen am Betriebshof Germendorf mit Potential für Photovoltaik (Juni)	32
Abbildung 26: Stromkosten mit PV-Eigenerzeugung.....	32
Abbildung 27: Stromkosten für Spitzenlastkappung mit stationärer Batterie	34
Abbildung 28: Vergleich klassische Ladegeräte (links) und dynamische Leistungsverteilung (rechts)	35
Abbildung 29: Entwicklung des Fahrzeugbestands in Gransee bis 2050 im Basisszenario	38
Abbildung 30: Leistungsverlauf der Ladegeräte am Betriebshof Gransee	39
Abbildung 31: Zeitplan für den Um- bzw. Neubau des Betriebshofs Gransee	40
Abbildung 32: Ökosystem der digitalen Systeme im Busbetrieb [9]	42
Abbildung 33: Schematischer Aufbau einer Ladestation zur Zwischenladung [20]	44
Abbildung 34: Beispielhafte Aufstellung von Ladeinfrastruktur an der Endhaltestelle S- Bahnhof Oranienburg.....	45

Abbildung 35: Beispielhafte Aufstellung von Ladeinfrastruktur an der Endhaltestelle S-Bahnhof Hennigsdorf	46
Abbildung 36: Zeitstrahl der Elektrifizierung für das Basisszenario	48
Abbildung 37: Germendorf Detailansicht Bauabschnitt 1	IX
Abbildung 38: Germendorf Detailansicht Bauabschnitt 2	X
Abbildung 39: Germendorf Detailansicht Bauabschnitt 3	XI
Abbildung 40: Germendorf Detailansicht Bauabschnitt 4	XII
Abbildung 41: Germendorf BA 1 und BA 2 im Minimalszenario, Stand 2030	XIII
Abbildung 42: Germendorf BA 3 und fehlender BA 4 im Minimalszenario, Stand 2030	XIII
Abbildung 43: Stralsunder Straße - Mögliche Aufstellflächen für Trafohäuschen.....	XIV
Abbildung 44: Stralsunder Straße Variante 1: 4 Ladepunkte (GL) und Ausfahrt über Lindenstraße mit Ladestationen/Trafo (gelb) und möglichem Leitungsverlauf (grün)	XIV
Abbildung 45: Stralsunder Straße Variante 2: 11 Ladepunkte (10 GL, 1 SL) und Ausfahrt über Lindenstraße mit Ladestationen/Trafo (gelb) und möglichem Leitungsverlauf (grün)	XV
Abbildung 46: Stralsunder Straße Variante 3: 8 Ladepunkte (GL), keine Ausfahrt über Lindenstraße möglich.....	XV
Abbildung 47: Haltestelle Hennigsdorf „Am Busbahnhof“ mit Ladestationen (blau) und möglichem Leitungsverlauf (grün).....	XVI
Abbildung 48: Übersicht der betrachteten Dachflächen zur Integration von Photovoltaik	XVII
Abbildung 49: Leistungsverläufe zur Spitzenlastkappung mit stationären Batterien (Germendorf).....	XVIII
Abbildung 50: Sankey-Diagramm zu Ladeverlusten nach [7].....	XVIII
Abbildung 51: Rahmenzeitplan im Basisszenario	XXXII
Abbildung 52: Rahmenzeitplan im Minimalszenario – Teil 1/2: 2024 - 2030	XXXIII
Abbildung 53: Rahmenzeitplan im Minimalszenario – Teil 2/2: 2024 – 2030.....	XXXIV
Abbildung 54: Busabstellung auf Ausweichfläche Flur 75 - Variante 1	XXXV
Abbildung 55: Busabstellung auf Ausweichfläche Flur 75 - Variante 1	XXXV
Abbildung 56: Busabstellung auf Ausweichfläche Flur 75 - Variante 3.....	XXXV
Abbildung 57: Beispiel Kompaktstation GBÜ 2000 (Gräper) [17]	XXXVI
Abbildung 58: Begehbare Trafostation 4224 mit 2 kVA (ABB) [18].....	XXXVI
Abbildung 59: Begehbare Trafostation mit 2 * 3.150 kVA (Wirth) [19].....	XXXVII
Abbildung 60: Ladegerät mit Ladehaube HVC-PU 300 (ABB) [21]	XXXVII
Abbildung 61: Integriertes Ladegerät mit Lademast: Link Charger (Eko Energetyka) [22]	XXXVIII
Abbildung 62: Steckerladung im Depot der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) [23]	XXXVIII
Abbildung 63: Steckerladung im Depot der Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH [24] ..	XXXIX
Abbildung 64: Steckerladung im Depot des Nahverkehr Schwerin (NVSQ) [25]	XXXIX
Abbildung 65: Pantographenladung im Depot der Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) [26] ..	XL
Abbildung 66: Pantographenladung im Depot der Kölner Verkehrs-Betriebe (KVB) [27].....	XL

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingesetzte Batteriekapazitäten für Depot- und Gelegenheitslader	7
Tabelle 2: Bedarf an Zusatzfahrzeugen für Gesamtelektrifizierung	10
Tabelle 3: Beschaffungsplanung CVD-relevanter Busse der OVG bis 2030 (Stand 06/2023)	12
Tabelle 4: Beschaffungsplanung inkl. E-Bus-Beschaffungen der OVG bis 2030 im Basisszenario (Stand 06/2023)	12
Tabelle 5: Beschaffungsplanung inkl. E-Bus-Beschaffungen der OVG bis 2030 im Minimalszenario (Stand 06/2023)	13
Tabelle 6: Szenarien für die ökologische Bewertung	20
Tabelle 7: Aufteilung der Fahrzeugkapazitäten nach Bauabschnitt	28
Tabelle 8: Einfluss der Ladestrategien auf Stromkosten und Investitionen	31
Tabelle 9: Bau-, Ladeinfrastruktur- und Netzanschlusskosten für den Betriebshof Germendorf	36
Tabelle 10: Bau-, Ladeinfrastruktur und Netzanschlusskosten für den Betriebshof Gransee	41
Tabelle 11: Kosten für bauliche Maßnahmen, Netzanschluss und Ladeinfrastruktur an der Stralsunder Straße und dem S-Bahnhof Hennigsdorf	47
Tabelle 12: Investitionskosten Busse	III
Tabelle 13: W&I Kosten und Energiekosten für Busse	IV
Tabelle 14: Förderung Busse nach [5]	V
Tabelle 15: Netzanschlusskosten	V
Tabelle 16: Investitionskosten Photovoltaik und stationäre Speicher	VI
Tabelle 17: W&I Kosten und Nebenkosten für Bauwerke und LIS	VI
Tabelle 18: Investitionskosten Ladeinfrastruktur	VI
Tabelle 19: Annahmen für die Ermittlung der Baukosten	VI
Tabelle 20: Annahmen für Kostenzuschläge	VII
Tabelle 21: Annahmen und Daten für die Berechnung der Emissionen [7]	VII
Tabelle 22: Verbrauchs- und Effizienzdaten für ökologische Bewertung	VIII
Tabelle 23: Bauwerksspezifikationen	XII
Tabelle 24: Spezifikationen der Fläche Flur 75 und des abzutragenden Bahndammabschnitts	XII
Tabelle 25: Daten zur Ermittlung des PV-Potentials auf Dachflächen	XVII
Tabelle 26: Kosten in Abweichung zur VCDB-Studie (ohne Berücksichtigung der Kosten für Netzanschluss und Ladeinfrastruktur)	XIX
Tabelle 27: Gegenüberstellung von Neu- und Umbau der Bestandsabstellhalle	XIX
Tabelle 28: Baukosten Germendorf: KG 100 – 300 im Basisszenario	XX
Tabelle 29: Baukosten Germendorf: KG 400 - 500 im Basisszenario	XXI
Tabelle 30: Baukosten Germendorf: KG 600 – 700 und Summe im Basisszenario	XXII
Tabelle 31: Baukosten Germendorf: KG 100 – 300 im Minimalszenario	XXIII
Tabelle 32: Baukosten Germendorf: KG 400 - 500 im Minimalszenario	XXIV
Tabelle 33: Baukosten Germendorf: KG 600 – 700 und Summe im Minimalszenario	XXV
Tabelle 34: Baukosten Stralsunder Straße	XXVI
Tabelle 35: Zuteilung der Kostenpunkte und Kostengruppen zu den Bauabschnitten des Betriebshofs Germendorf	XXVII
Tabelle 36: Einzelkosten nach Jahren 2024 – 2030 im Basisszenario	XXVIII
Tabelle 37: Einzelkosten nach Jahren 2031 – 2040 im Basisszenario	XXIX

Tabelle 38: Einzelkosten nach Jahren 2024 – 2030 im Minimalszenario	XXX
Tabelle 39: Einzelkosten nach Jahren 2031 – 2040 im Minimalszenario	XXXI

1. Hintergrund und Einführung

1.1 Gesetzesrahmen

Die EU-Richtlinie (EU) 2019/1161 zur Förderung von sauberen und energieeffizienten Straßenfahrzeugen (Clean Vehicles Directive, CVD) legt Mindestziele für die CO₂-Emissionsreduzierung durch die Neubeschaffung emissionsarmer und -freier Busse im ÖPNV vor. So legt die CVD fest, dass für den ersten Zeitraum bis Ende 2025 insgesamt 45 % der neu beschafften Busse sauber im Sinne des Gesetzes sein müssen. Für den zweiten Zeitraum bis Ende 2030 liegt dieser Wert bei 65 %. Von diesen sauberen Bussen müssen jeweils 50 % Null-Emissions-Busse, also lokal emissionsfreie Fahrzeuge sein. Am 15. Juni 2021 trat das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz (SaubFahrzeugBeschG) zur Umsetzung der CVD in Kraft [1, 2]. Abbildung 1 illustriert die Vorgaben der CVD. Die angegebenen Quoten zählen jeweils für den Zeitraum und nicht pro Ausschreibung und beziehen sich lediglich auf Stadtbusse¹, wohingegen Überland- und Reisebusse² von den Regelungen ausgenommen sind.

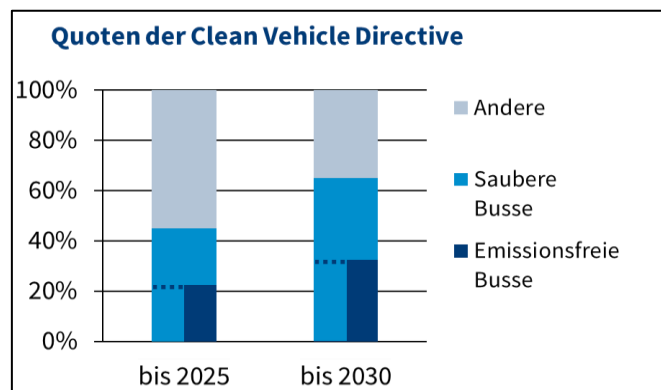


Abbildung 1: Quoten der Clean Vehicles Directive

Über das Jahr 2030 hinaus werden durch die CVD derzeit keine Beschaffungsquoten vorgegeben. Allerdings soll die Elektrifizierung des Marktes auf EU-Ebene weiter vorangetrieben werden [13]. Anfang 2024 haben der Rat der EU und das Europäische Parlament eine vorläufige Einigung über die CO₂-Flottenemissionen der Hersteller schwerer Nutzfahrzeuge erzielt. Diese sehen für Stadtbusse eine CO₂-Reduktion von 90 % ab 2030 und 100% ab 2035 vor. Für Überlandbusse soll die Reduktion gestaffelt erfolgen:

- Ab 2030: 45% CO₂-Reduktion
- Ab 2035: 65% CO₂-Reduktion
- Ab 2040: 90% CO₂-Reduktion

Diese neuen CO₂-Emissionsnormen müssen jedoch noch förmlich angenommen werden.

¹ Fahrzeugkategorie M3: Klasse I und Klasse A nach Richtlinie 2001/85/EG

² Fahrzeugkategorie M3: Klasse II und Klasse III nach Richtlinie 2001/85/EG

1.2 Die Oberhavel Verkehrsgesellschaft

Die Oberhavel Verkehrsgesellschaft mbH (OVG) ist Tochtergesellschaft der Oberhavel Holding Besitz- und Verwaltungsgesellschaft mbH und betreibt mit aktuell 100 Linienbussen den öffentlichen Personennahverkehr im Landkreis Oberhavel. Das Unternehmen betreibt insgesamt 42 Linien und befördert im gesamten Kreisgebiet gut 5,8 Millionen Fahrgäste. Die Betriebsleistung der Linienbusse beträgt über sechs Mio. Kilometer pro Jahr.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie identifiziert und beschreibt eine Strategie zur Umstellung der Busflotte der OVG auf alternative Antriebskonzepte, um einen nachhaltigen und zukunftsfähigen Betrieb zu gewährleisten. In der Studie werden Optionen und damit verbundene Kosten für eine Elektrifizierung der Busflotte aufgezeigt. Damit baut die vorliegende Studie auf einer reduzierten Machbarkeitsstudie der VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH (VCDB) aus dem Oktober 2022 auf, welche sich im Rahmen eines CVD-Quickchecks mit der möglichen Umstellung der Busflotte beschäftigt. Weitere Grundlagen der Machbarkeitsstudie basieren auf dem Nahverkehrsplan (NVP) des Landkreises Oberhavel sowie dem „Mobilitätskonzept 2040“. Letzteres enthält das politische Ziel des Landkreises, die gesamte Flotte der OVG bis 2040 auf alternative Antriebe umzustellen.

Die Busflotte der OVG umfasst aktuell (Stand 2023) 72 Solo-, 26 Gelenk- und zwei Kleinbusse. Diese werden auf aktuell zwei Betriebshöfen abgestellt. Am Betriebshof in GERMENDORF (Annahof Str. 1A, 16515 Oranienburg) werden heute ca. 70 Busse abgestellt. Hier befindet sich der Firmensitz der OVG. Weitere ca. 30 Busse werden am Betriebshof in GRANSEE (Strelitzer Str. 5, 16775 Gransee) abgestellt.

Die im Rahmen der Studie betrachtete Busflotte der OVG absolviert ca. 138 Umläufe mit 92 Bussen pro Tag. Über 60 % der Fahrzeuge weisen dabei eine Tagesfahrleistung von 0 bis 300 km auf. Die maximale Länge eines Umlaufs beträgt ca. 509 km. In Abbildung 2 sind die Tagesfahrleistungen gemäß den aktuellen Planungen für das Betrachtungsjahr 2026 dargestellt.

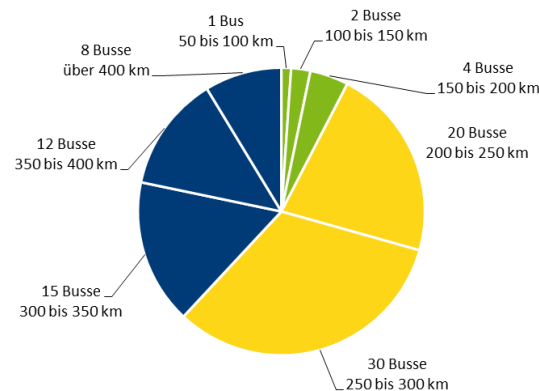


Abbildung 2: Tagesfahrleistungen im Betrachtungsjahr 2026

1.3 Technologische Grundlagen

1.3.1 Antriebskonzepte

Elektrisch angetriebene Busse (E-Busse) fahren leise, vibrationsarm und lokal emissionsfrei. Sie tragen damit erheblich zur Verringerung der lokalen Lärm- und Abgasbelastung bei. Der primäre Antrieb der Elektrobusse ist ein Elektromotor, welcher von einer Hochvoltbatterie mit Strom versorgt wird. In dieser Studie wurden folgende Bustypen detailliert betrachtet:

- Batteriebusse mit Depot- und Gelegenheitsladung
- Brennstoffzellenbusse

Batteriebusse

Batteriebusse werden bezüglich ihres Ladekonzepts unterschieden. Voll- bzw. Depotlader werden ausschließlich im Betriebshof aufgeladen, wodurch die Busse äußerst flexibel einsetzbar sind und Infrastrukturmaßnahmen auf die Ertüchtigung der Betriebshöfe begrenzt sind. Im Gegensatz dazu werden Gelegenheitslader zusätzlich an Endhaltestellen mit längeren Haltezeiten nachgeladen.

Depotlader besitzen je nach Bustyp (Solo- oder Gelenkbus) Batteriekapazitäten von bis zu 640 kWh. Das beschränkt die Reichweite i.d.R. auf ca. 300 km [3]. Bei niedrigen Temperaturen, hoher Beladung oder je nach Fahrweise reduziert sich die Reichweite zusätzlich. Das Problem der beschränkten Reichweite lässt sich z.B. durch Nachladen an den Endhaltestellen (Gelegenheitslader) lösen, wodurch sich die benötigte Batteriekapazität deutlich reduzieren lässt. Allerdings geht die Einsatzflexibilität der Busse verloren, da an definierten Haltestellen nachgeladen werden muss.

Eine weitere Möglichkeit der Reichweitenverlängerung bei kalten Temperaturen stellt der Einsatz einer nicht-elektrischen Zusatzheizung (NEZH) dar. Diese erzeugt die Wärme zur

Beheizung des Fahrgastraums nicht aus der Batterie, sondern aus einem flüssigen oder gasförmigen, meist fossilen Energieträger. Bei Betrieb der Zusatzheizung entstehen jedoch lokale Emissionen.

Als Ladegeräte für Batteriebusse werden typischerweise Steckverbindungen, Pantographen oder Induktionslösungen eingesetzt. Die CCS2-Steckverbinder arbeiten mit Gleichstrom und sind für das Laden in Depots mit einer Leistung von bis zu 150 kW (ungekühlter Stecker) ausgelegt. Gekühlte Steckverbindungen oder Pantographen werden meist für größere Leistungen zwischen 150 kW und 450 kW sowohl an Betriebshöfen als auch an Haltestellen als Gelegenheitslader eingesetzt. Bei Ladeleistungen über 450 kW werden ausschließlich Pantographen eingesetzt. Dabei wird nach der Positionierung des Busses der bewegliche Stromabnehmer (Pantograph) ausgefahren und der Ladevorgang automatisch gestartet. [4]

Brennstoffzellenbusse

Brennstoffzellenbusse (BZ-Busse) nutzen ebenfalls einen Elektromotor als Antrieb. Die wesentliche Energie zum Fahren wird hier jedoch nicht in einer Batterie, sondern in Form von Wasserstoff in Drucktanks gespeichert. Anschließend wird der Wasserstoff in einer Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt, welche wiederum den elektrischen Fahrmotor des Busses antreibt. Verglichen mit den Batterien von Voll- und Gelegenheitsladern ist die verbaute Batterie sehr klein (typischerweise 20 – 60 kWh). Sie dient in erster Linie zur Regulierung der unterschiedlich abgerufenen Leistungen und zur Rückgewinnung der Bremsenergie (Rekuperation). Übliche Reichweiten von BZ-Bussen betragen etwa 400 km [3]. Die Betankung erfolgt über eine Wasserstofftankstelle (ähnlich einer Erdgas- oder Dieseltankstelle) und dauert ca. zehn Minuten. Dadurch sind BZ-Busse äußerst flexibel einsetzbar und können Dieselbusse bis auf wenige Ausnahmen betrieblich und praktisch eins zu eins ersetzen. Dem gegenüber stehen jedoch heute noch höhere Anschaffungskosten pro Fahrzeug sowie die Notwendigkeit einer H₂-Infrastruktur ab der Einführung des ersten Busses.

1.3.2 Vergleich und Bewertung der E-Bus-Konzepte

Die verschiedenen E-Bus-Konzepte werden hinsichtlich einer vollständigen Umstellung der Flotte technisch-betrieblich sowie wirtschaftlich verglichen. Der technisch-betriebliche Vergleich basiert zum einen auf der Gegenüberstellung der in Abschnitt 1.2 dargestellten Tagesfahrleistungen mit den im Worst-Case zu erwartenden Reichweiten der E-Busse. Hieraus lässt sich der Bedarf an betrieblichen Maßnahmen ableiten, welche bei einer Gesamtumstellung ggf. notwendig werden. Solche Maßnahmen umfassen z.B. den Einsatz von Zusatzfahrzeugen, Umlauftrennung oder Zwischenladungen/-betankungen am Tag. Zum anderen wird mit Fokus auf die Gelegenheitsladung der Einsatz der Busse hinsichtlich der Liniereinheit, den Streckenlängen oder den Wendezeiten analysiert und bewertet.

Die technisch-betriebliche Bewertung zeigt, dass die Gesamtumstellung auf BZ-Busse aufgrund der hohen Tagesfahrleistungen einzelner Fahrzeuge nur durch den Einsatz von null bis zwei Zusatzfahrzeugen, entsprechender Umlauftrennung oder Zwischenbetankungen am Tag möglich ist. Zusätzlich ist eine Wasserstoffinfrastruktur an beiden Betriebsstandorten der OVG nötig, was wiederum mit einem hohen Infrastrukturaufwand einhergeht.

Die Umstellung auf den Einsatz von Gelegenheitsladern wird als äußerst komplex und mit einem hohen planerischen Aufwand bewertet. Dies ergibt sich größtenteils aus dem unregelmäßigen Einsatz der Busse und den überwiegend kurzen Wendezeiten. Zur Umstellung der gesamten Flotte wären umfassende Umlaufanpassungen nötig, welche die benötigten Ladezeiten an den Endhaltestellen berücksichtigen. Außerdem wird eine Infrastruktur sowohl in den Depots als auch auf der Strecke benötigt. Die Gelegenheitsladung kann jedoch das Potential bieten, die Depotladung punktuell zu unterstützen bzw. zu ergänzen.

Da die Flotte der OVG im Durchschnitt hohe Tagesfahrleistungen aufweist (ca. 90 % der Tagesfahrleistungen sind länger als 200 km) sind auch für die Elektrifizierung mittels Depotladung verschiedene Maßnahmen erforderlich. Bei einem Konzept ohne nicht-elektrische Zusatzheizung kann von ca. 26 Zusatzbussen ausgegangen werden. Durch Maßnahmen wie das Zwischenladen am Mittag oder der gezielte Einsatz von Gelegenheitsladung kann diese Anzahl reduziert werden.

Die genannten E-Bus-Konzepte werden ebenso hinsichtlich der zu erwartenden jährlichen Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus verglichen. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt. Es werden im Sinne einer Total-Cost-of-Ownership (TCO)-Kalkulation die Investitionskosten auf die erwartete Nutzungsdauer der einzelnen Bustechnologien, bzw. den für eine Abschreibung üblichen Zeitraum bezogen. Eine vollständige Auflistung der Annahmen, Daten und Randbedingungen für diese Analyse ist in Anhang 7.1.1 dargestellt.

Die Grundlage stellt ein Dieselbusbetrieb mit 92 Bussen dar, welcher vollständig auf eine der alternativen Technologien inkl. Berücksichtigung der zuvor bestimmten Zusatzbusse umgestellt wird. Die Zahlen zur Busflotte und dem Busbetrieb sind an die OVG angelehnt. Die Annahmen zum Einsatz der alternativen Technologien basieren auf Literaturrecherchen und Erfahrungswerten anderer Busbetriebe.

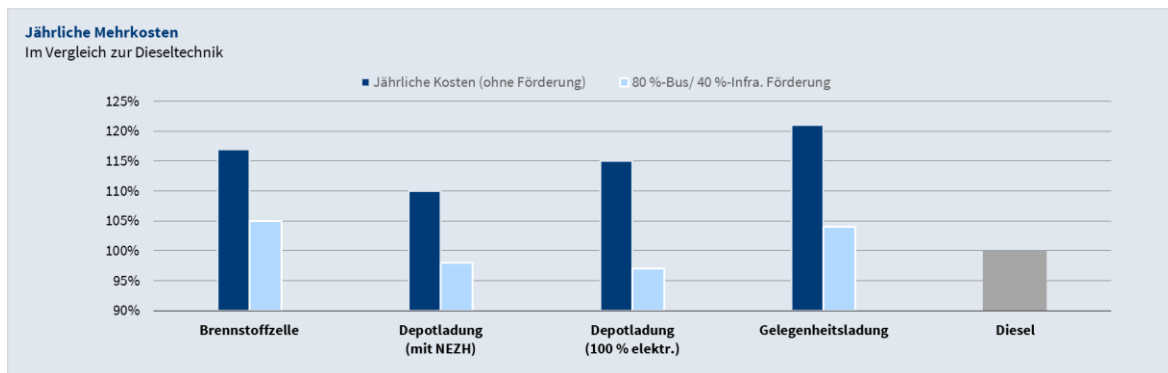


Abbildung 3: Vergleich der Kilometerkosten für verschiedene Bustechnologien

Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich dabei auf die vollständige Umstellung der Flotte auf eine Technologie. Lediglich im Falle der Batteriebusse wird zusätzlich zwischen Depotladung mit und ohne nicht-elektrische Zusatzheizung (NEZH) sowie Gelegenheitsladung unterschieden. Es ist ersichtlich, dass in diesem Vergleich Depotlader die günstigste Alternative zu Dieseln darstellen, welche daher als bevorzugte Antriebstechnologie zu betrachten sind. Trotz des Kostenvorteils werden Busse mit NEZH im Weiteren nicht betrachtet, da der Betrieb der Heizung weiterhin mit lokalen Emissionen verbunden ist.

Der Einsatz von BZ-Bussen führt aufgrund des Bedarfs an doppelter Infrastruktur für beide Standorte zu hohen Mehrkosten. Dennoch ist eine zukünftige Eignung, welche sich auf den Standort Gransee beschränkt, nicht ausgeschlossen. Dies wird im Kapitel 3.2.5 ausführlicher erläutert.

Ein weiteres Ergebnis der Analyse ist, dass Gelegenheitslader unter gewissen Voraussetzungen und für einzelne Linien eine sinnvolle Möglichkeit darstellen können. So sind Gelegenheitslader besonders dann eine wirtschaftlich und betrieblich gute Möglichkeit, wenn aufgrund von langen Umläufen eine Elektrifizierung mit Depotladern zu einem hohen Fahrzeugmehrbedarf führen würde. Gerade, wenn je installierter Ladestation für Gelegenheitslader mindestens ein Zusatzbus weniger angeschafft werden kann. Für die auf Gelegenheitsladung zugeschnittene Umlaufplanung empfiehlt es sich umgekehrt, lange Umläufe mit regelmäßigen ortsfesten Standzeiten für die Nachladung zu planen, um diese Kostenvorteile zu nutzen. Es eignen sich besonders Linien, welche von den Fahrzeugen linienrein bedient werden, kurze Linienlängen sowie hohe Stand- oder Wendezeiten aufweisen.

Basierend auf dem Vergleich von E-Bus-Konzepten für eine Gesamtumstellung der Busflotte der OVG wird die flächendeckende Umstellung auf Depotladung in Kombination mit dem gezielten Einsatz von Gelegenheitsladung empfohlen. Unter sich ändernden Rahmenbedingungen kann eine zukünftige Eignung von Brennstoffzellenbussen am Standort Gransee jedoch nicht ausgeschlossen werden.

2. Elektrifizierungskonzept

Wie bereits in Abschnitt 1.3.2 beschrieben, ergibt die Analyse und der Vergleich der verschiedenen E-Bus-Konzepte, dass sich eine überwiegende Elektrifizierung mittels Depotlader sowie der Einsatz von Gelegenheitsladung auf einzelnen Linien als geeignetste Strategie herausstellt. Aus diesem Grund konzentriert sich das Elektrifizierungskonzept im Folgenden auf die Betrachtung von Depot- und Gelegenheitsladern.

2.1 Dimensionierung Fahrzeuge und Ladegeräte

Für die Erarbeitung eines zukunftsfähigen Elektrifizierungskonzeptes wird zwischen Depotladern und Gelegenheitsladern sowie Gelenkbussen (GL) und Solobussen (SL) unterschieden. Es wird davon ausgegangen, dass Solo-Depotlader unter allen Einsatzbedingungen (kalte Temperaturen, hohe Beladung etc.) eine sichere Reichweite von 250 km haben. Gelenk-Depotlader haben hingegen eine sichere Reichweite von 200 km. Infolgedessen wird in Tabelle 1 von den folgenden Batteriekapazitäten ausgegangen.

Tabelle 1: Eingesetzte Batteriekapazitäten für Depot- und Gelegenheitslader

Einsatz	Batteriekapazität in kWh
Depot – GL	550
Depot – SL	480
Gelegenheit – GL	400
Gelegenheit – SL	200

2.2 Ladekonzept und Orte

Das nächtliche Nachladen der Flotte der OVG soll an den beiden Betriebshöfen Germendorf und Gransee stattfinden. Hier ist entsprechend eine Ladeinfrastruktur für die gesamte Flotte (Depotlader und Gelegenheitslader) in mehreren Ausbaustufen zu errichten. Die detaillierte Elektrifizierung der Betriebshöfe wird in Kapitel 3 beschrieben.

Für die Elektrifizierung mittels Gelegenheitsladung wird im Folgenden die Linie 824 betrachtet. Diese zeichnet sich durch einen linienreinen, hochfrequentierten Einsatz von aktuell acht Gelenkbussen in der Spitze aus. Sie ist eine der umlaufstärksten Linien der OVG und verfügt über hohe Fahrgastzahlen. Um die Eignung zum Einsatz von Gelegenheitsladung zu verifizieren, werden verschiedene Parameter betrachtet. So besitzt die Linie 824 eine einfache Streckenlänge von 26 km zwischen den Endhaltestellen S-Bahnhof Hennigsdorf und S-Bahnhof Oranienburg. An den Endhaltestellen werden durchschnittliche Wendezeiten von jeweils ca. 20 Minuten erreicht. Die Wendezeiten sind nach jeder Einzelfahrt geplant. Lediglich am Morgen sind einzelne Fahrten ohne Wendezeit vorgesehen. Diese sind in Abbildung 4 mit einem roten Kasten markiert.

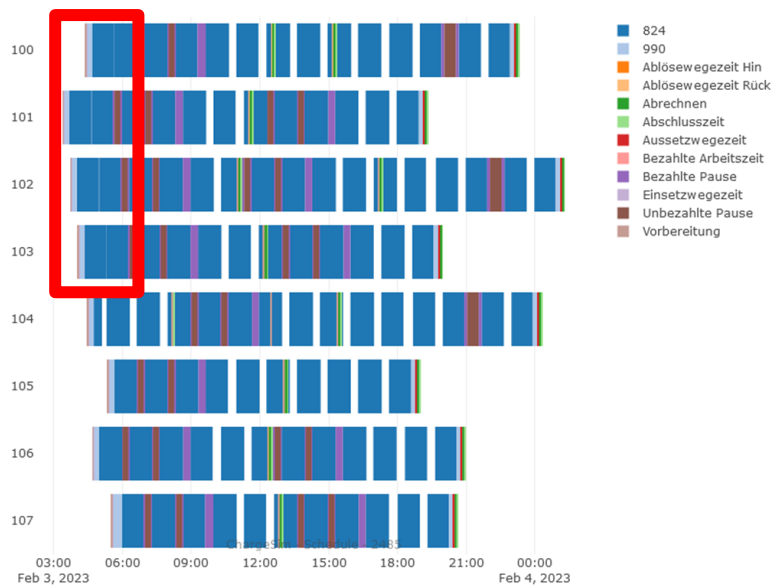


Abbildung 4: Umläufe der Linie 824 über einen Tag

Hieraus ergibt sich, dass zwischen zwei Ladevorgängen teilweise eine Strecke von ca. 52 km zurückgelegt wird. Unter diesen Rahmenbedingungen wird eine Umstellung der Linie 824 auf Gelegenheitsladung als möglich bewertet. Vorausgesetzt werden eine Batterikapazität der Busse von mindestens 200 kWh, sowie zwei bis vier Ladepunkte je Endhaltestelle mit je 300 bis 450 kW Ladeleistung. Die Umsetzung des Nachladekonzepts entlang der Strecke wird in Kapitel 4 detailliert beschrieben.

Der Einsatz von Gelegenheitsladung auf der Linie 824 bietet die Möglichkeit zur Reduzierung von ca. sechs Zusatzbussen sowie entsprechendes Zusatzpersonal und führt so zu geringeren Mehrkosten.

Das hier beschriebene Ladekonzept sieht vor, Batteriebusse mit Bottom-Up-Pantographen einzusetzen. Entsprechend sollen sowohl im Depot als auch an den Endhaltestellen Ladehauben zu Einsatz kommen. Vorteile der Pantographenladung sind beispielsweise die Platzeffizienz in der Abstellhalle sowie die Möglichkeit der automatisierten Kontaktierung. Letzteres bietet das Potential, zukünftig autonom fahrende Busse einzusetzen. Die Vorteile der Bottom-Up-Pantographen liegen vor allem bei schlankeren Lademasten mit größerer Positionstoleranz.

2.3 Technisch betriebliche Machbarkeit und Anpassungen

Im Folgenden wird beschrieben, welche Konsequenzen sich aus der Elektrifizierung der Flotte der OVG aus betrieblicher Sicht ergeben. Wie in Abschnitt 1.2 dargestellt, verfügt ein Großteil der Flotte über hohe Fahrleistungen, welche die Reichweite für batterieelektrische

Solo- und Gelenkbusse übersteigen. Um zu gewährleisten, dass die Fahrleistungen dennoch umfänglich von E-Bussen bedient werden können, wird der Einsatz dieser auf den heutigen Linien simuliert. Daraus wird eine optimierte Umlauftrennung abgeleitet, die zu einem minimalen Einsatz von zusätzlichen Bussen führt. Die Umlauftrennung orientiert sich hierbei an den in Abschnitt 2.1 angenommenen Batteriegrößen und Reichweiten. Die Möglichkeit, bei Bedarf mittags im Depot nachzuladen, wird ebenfalls berücksichtigt. Hierfür wird eine Ladeleistung von 150 kW angenommen. Abbildung 5 stellt beispielhaft das Ergebnis der simulierten Umlauftrennung aller Fahrleistungen des Standorts Germendorf dar.

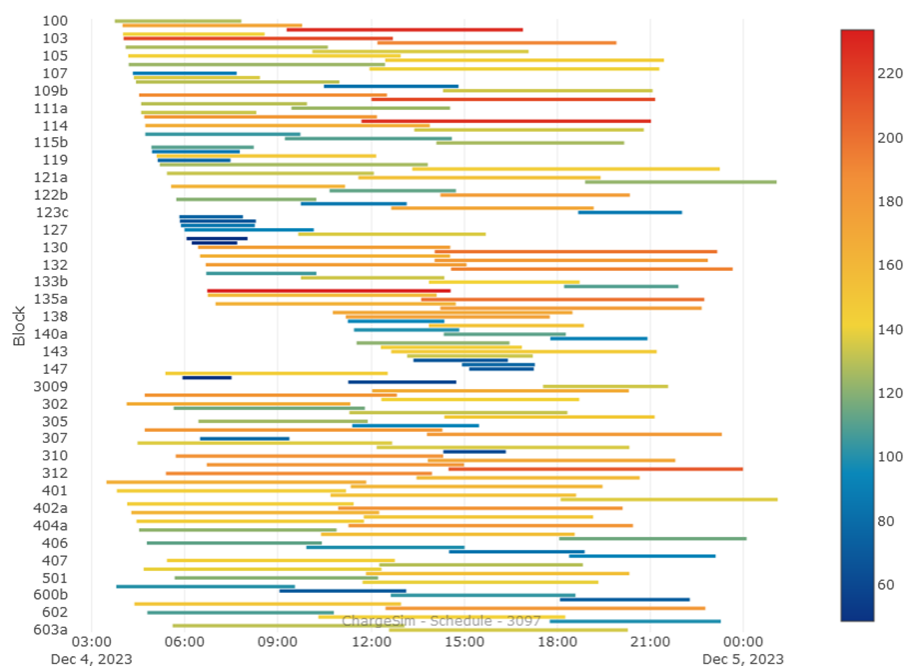


Abbildung 5: Ergebnis der simulierten Umlauftrennung Standort Germendorf

Die Farbskala der Abbildung stellt die jeweilige Umlauflänge dar. Zu erkennen ist, dass die maximale Umlauflänge der zuvor angenommenen Reichweite von 250 km (Solobus) entspricht und vereinzelt erreicht wird.

Ein weiteres Ergebnis der Simulation ist der Bedarf an Zusatzfahrzeugen, um diese Umlauftrennung zu realisieren. Wie Tabelle 2 zeigt, werden zur Gesamtelektrifizierung der Flotte der OVG technologiebedingt insgesamt ca. 20 Zusatzbusse benötigt. Diese teilen sich auf zwölf Solo- und acht Gelenkbusse auf.

Tabelle 2: Bedarf an Zusatzfahrzeugen für Gesamtelektrifizierung

Betriebshof	Solobusse	Gelenkbus	Summe
Germendorf	Ca. 10	Ca. 8	Ca. 18
Gransee	Ca. 2	-	Ca. 2
Summe	Ca. 12	Ca. 8	Ca. 20

Der Mehrbedarf, der auf den generellen Flottenhochlauf zurückzuführen ist, wurde hier nicht berücksichtigt. Dieser wird im Rahmen der Beschaffungsplanung der OVG in Abschnitt 2.4.2 betrachtet.

2.4 Umsetzungskonzepte

Für den Hochlauf hin zum vollständig elektrifizierten Busbetrieb werden in dieser Studie zwei Szenarien unterschieden. Im **Basisszenario** wird die gesamte Flotte der OVG bis zum Jahr 2042 auf alternativen Antriebe umgerüstet, wozu ab 2028 ausschließlich lokal emissionsfreie Fahrzeuge beschafft werden. Dabei werden die gesetzlichen Bestimmungen der CVD übertroffen. Im **Minimalszenario** werden die gesetzlichen Vorgaben exakt eingehalten: Stadtbusse und Überlandbusse werden dazu gesondert betrachtet um die geltenden Regelungen der CVD³ einzuhalten. Da es ab dem Jahr 2030, nach dem Auslaufen der CVD, noch keine entsprechenden gesetzlichen Regelungen für die Busbetriebe gibt, wurden für die Folgejahre die Flottengrenzwerte der EU⁴ als Untergrenze für die Beschaffung von Bussen mit alternativen Antrieben übernommen.

2.4.1 Phasen der Elektrifizierung

Das Umsetzungskonzept sieht für das Basisszenario drei übergeordnete Phasen der Elektrifizierung vor. Eine Pilotphase (2025-2027), eine Anlaufphase (2028-2030) und eine Ausbauphase (ab 2031). Abbildung 6 zeigt die drei Phasen mit den zugehörigen Maßnahmen der Beschaffung von Bussen und Infrastruktur. Durch dieses Vorgehen kann zum einen die Einhaltung der CVD-Vorgaben sichergestellt werden. Zum anderen können in der Pilot- und Anlaufphase Erfahrungen mit den neuen Technologien gesammelt werden. Dies bietet die Möglichkeit, auf eine sich ändernde Marktlage oder zukünftige Verkehrsanpassungen zu reagieren.

³ Siehe Abschnitt 1.1

⁴ Siehe ebenfalls Abschnitt 1.1

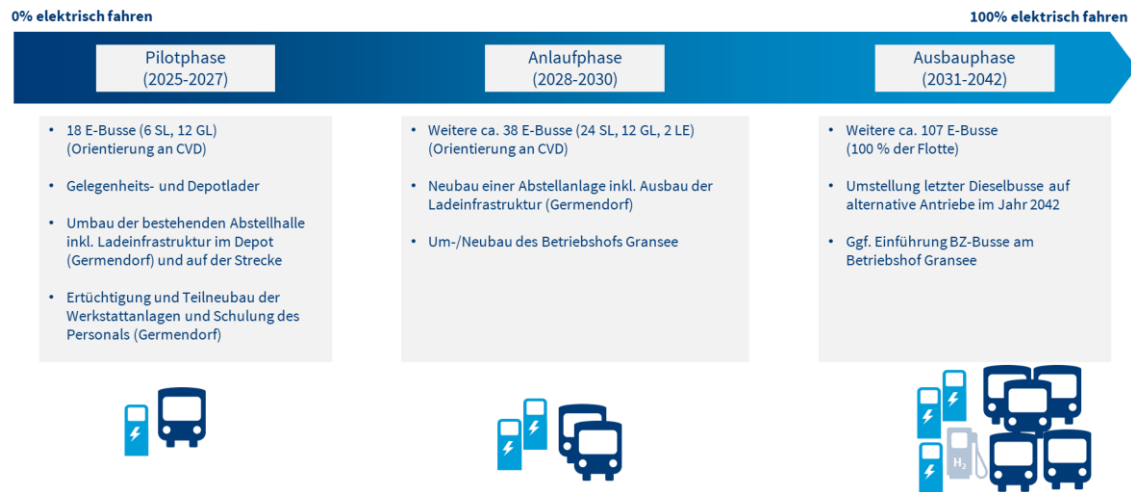


Abbildung 6: Übergeordnete Elektrifizierungsstrategie im Basisszenario

Die **Pilotphase** bildet das Startkonzept der Elektrifizierung. Es werden ca. 18 E-Busse, davon sechs Solo- und zwölf Gelenkbusse, beschafft. Diese werden als Depotlader und Gelegenheitslader ausgeführt, um Erfahrungen mit den neuen Technologien zu sammeln. Parallel muss die zugehörige Ladeinfrastruktur (LIS) am Standort Germendorf sowie auf der Strecke (Busbahnhof Hennigsdorf und Betriebshofanlage Stralsunder Str.) aufgebaut werden. Die benötigten Umbauten werden in den Kapiteln 3 und 4 erläutert.

In der **Anlaufphase** wird die Flotte um weitere 38 E-Busse erweitert. Zur Abstellung der Fahrzeuge ist es notwendig den Betriebshof in Germendorf zu erweitern (siehe Abschnitt 3.1).

In der **Ausbauphase** wird die restliche Flotte elektrifiziert. Somit werden im Jahr 2042 die letzten Dieselbusse durch alternative Antriebe ersetzt. Damit einher geht der Um- bzw. Neubau des Betriebshofs Gransee (vgl. Abschnitt 3.2).

Die konkrete Beschaffungsplanung wird in folgendem Abschnitt dargestellt.

2.4.2 Beschaffungsplan

Die Strategie zur Beschaffung der E-Busse bis 2050 basiert auf der Beschaffungsplanung der OVG von Juni 2023. Der Umstieg auf alternative Antriebe folgt den jeweiligen Annahmen der beiden Szenarien⁵. Dabei der technologiebedingte Mehrbedarf (s. Tabelle 2), der generelle Flottenhochlauf sowie das Vorhalten von Reservefahrzeugen berücksichtigt.

⁵ Siehe Abschnitt 2.4

In Tabelle 3 ist der Beschaffungsplan der OVG für die von der CVD betroffenen Busse bis 2030 dargestellt.

Tabelle 3: Beschaffungsplanung CVD-relevanter Busse der OVG bis 2030 (Stand 06/2023)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
KB	-	-	1	-	1	1	-	1	-	-	-
SL	-	-	3	-	-	6	-	2	5	4	15
GL	2	2	2	5	3	7	6	-	-	-	12
SUMME	2	2	6	5	4	14	6	3	5	4	27

KB=Kleinbus, SL=Solobus, GL=Gelenkbus

Die Beschaffungsplanung wird im Folgenden durch die geplanten E-Bus-Beschaffungen ergänzt. Entsprechend passt sich die Anzahl der Dieselbus-Beschaffungen an.

Tabelle 4 zeigt den angepassten beschaffungsplan für das **Basisszenario**: Im ersten Betrachtungszeitraum der CVD (bis 2025) sollen insgesamt 39 Busse beschafft werden. Hierbei werden die Beschaffungen des Jahres 2026 mitberücksichtigt, da diese bereits 2025 beauftragt werden. Um die vorgegebene Quote der CVD zu erfüllen, muss es sich bei mindestens 18 der 39 Busse um E-Busse handeln. Da der Beschaffungsplan 18 E-Busse vorsieht, wird die CVD in diesem Betrachtungszeitraum erfüllt. Im zweiten Betrachtungszeitraum werden ebenfalls insgesamt 39 Busse beschafft. Entsprechend der CVD müssen davon mindestens 26 Busse alternative Antriebe haben. Aus einer geplanten Anzahl von 36 E-Bussen ergibt sich eine Quote von ca. 92%. Damit werden die CVD-Vorgaben im zweiten Betrachtungszeitraum übertroffen. Im Basisszenario werden die letzten CVD-relevanten Dieselbusse im Jahr 2027 beschafft.

Tabelle 4: Beschaffungsplanung inkl. E-Bus-Beschaffungen der OVG bis 2030 im Basisszenario (Stand 06/2023)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
KB (D)	-	-	1	-	1	1	-	1	-	-	-
KB (E)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL (D)	-	-	3	-	-	-	-	2	-	-	-
SL (E)	-	-	-	-	-	6	-	-	5	4	15
GL (D)	2	2	2	5	3	1	-	-	-	-	-
GL (E)	-	-	-	-	-	6	6	-	-	-	12
SUMME (D)	2	2	6	5	4	2	-	3	-	-	-
SUMME (E)	-	-	-	-	-	12	6	-	5	4	27
SUMME	2	2	6	5	4	14	6	3	5	4	27

KB=Kleinbus, SL=Solobus, GL=Gelenkbus, D=Diesel, E=Elektro

Im **Minimalszenario** soll die Quote der CVD bis ins Jahr 2030 genau erfüllt werden. Die Beschaffung im ersten CVD Zeitraum bis ins Jahr 2025 bleibt damit unverändert. Im zweiten CVD Zeitraum bis 2030 werden nun anstelle von 92 % der Busse lediglich 65 % elektrisch Beschafft. Aufgrund dieser verzögerten Elektrifizierung, reduziert sich auch der technologiebedingte Mehrbedarf für das Jahr 2030. Tabelle 5 zeigt entsprechend, dass im Jahr 2030 sowohl die Gesamtzahl beschaffter Busse, als auch der Anteil an elektrischen Bussen sinkt.

Tabelle 5: Beschaffungsplanung inkl. E-Bus-Beschaffungen der OVG bis 2030 im Minimalszenario (Stand 06/2023)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
KB (D)	-	-	1	-	1	1	-	1	-	-	-
KB (E)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SL (D)	-	-	3	-	-	-	-	2	-	-	6
SL (E)	-	-	-	-	-	6	-	-	5	4	3
GL (D)	2	2	2	5	3	1	-	-	-	-	1
GL (E)	-	-	-	-	-	6	6	-	-	-	7
SUMME (D)	2	2	6	5	4	2	-	3	-	-	7
SUMME (E)	-	-	-	-	-	12	6	-	5	4	10
SUMME	2	2	6	5	4	14	6	3	5	4	17

KB=Kleinbus, SL=Solobus, GL=Gelenkbus, D=Diesel, E=Elektro

Die Beschaffungsplanung wird bis zum Jahr 2050 betrachtet. Abbildung 7 stellt die Entwicklung des Fahrzeugbestandes im Basisszenario dar, Abbildung 8 entsprechend im Minimalszenario. Zu erkennen sind die kontinuierliche Einführung der E-Busse sowie das Auslaufen des Dieselsbusbestands. Insgesamt erhöht sich die Fahrzeuganzahl der gesamten Flotte auf 128 Busse. Dies inkludiert den technologiebedingten Mehrbedarf (s. Tabelle 2), den generellen Flottenhochlauf sowie das Vorhalten entsprechender Reservefahrzeuge.

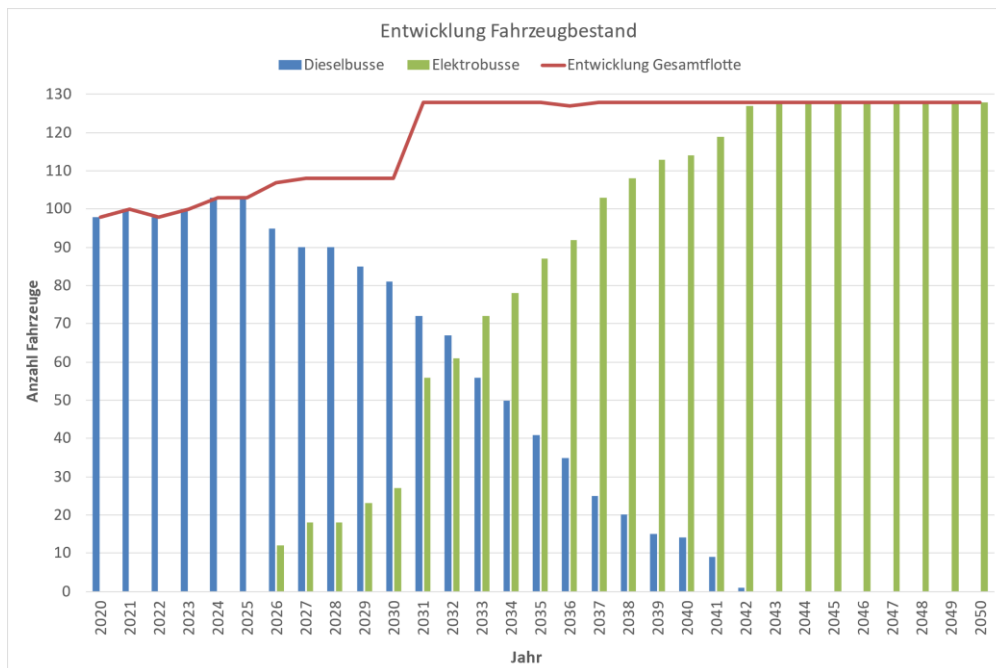


Abbildung 7: Entwicklung des Fahrzeugbestands der Gesamtflotte bis 2050 im Basisszenario

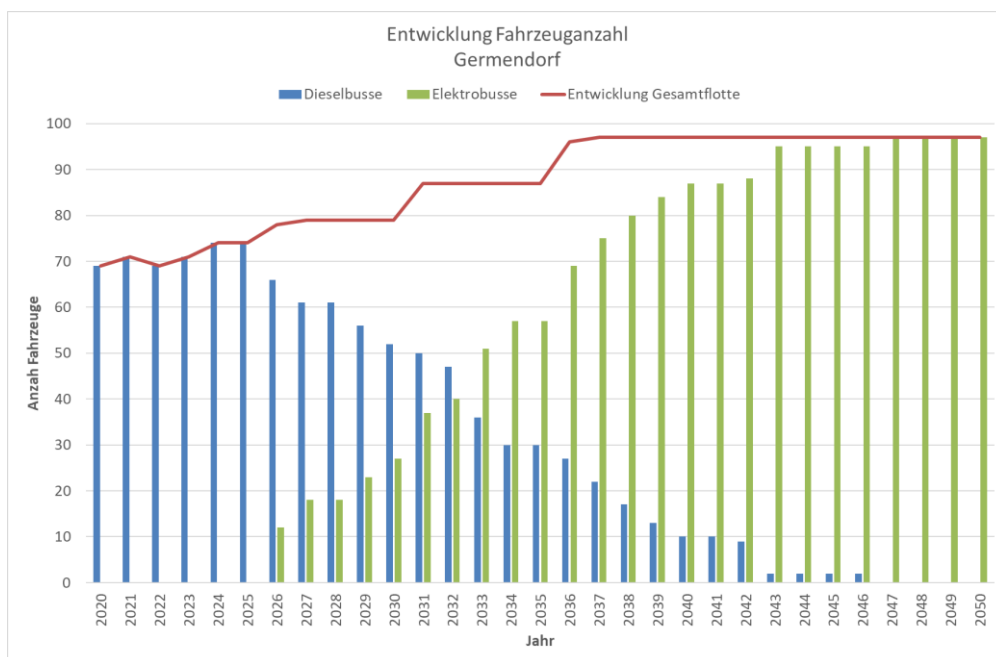


Abbildung 8: Entwicklung des Fahrzeugbestands der Gesamtflotte bis 2050 im Minimalszenario

Aus den Grafiken wird deutlich, dass im Minimalszenario die Umstellung auf elektrische Antriebe verzögert wird. Anstelle einer vollständigen Elektrifizierung der Flotte ab dem Jahr 2043, ist hier im Jahr 2050 ein letzter Dieselbus im Einsatz.

2.5 Wirtschaftliche Gesamtbetrachtung

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten im Zuge der Elektrifizierung für beide betrachtete Szenarien.

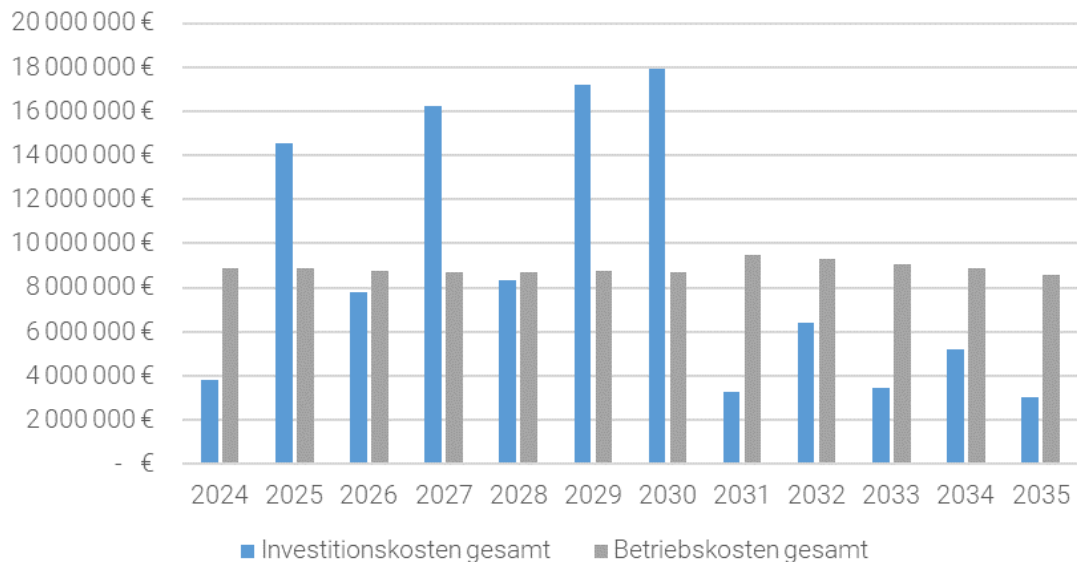


Abbildung 9: Investitions- und Betriebskosten für die Jahre 2024 – 2035 im Basisszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee)

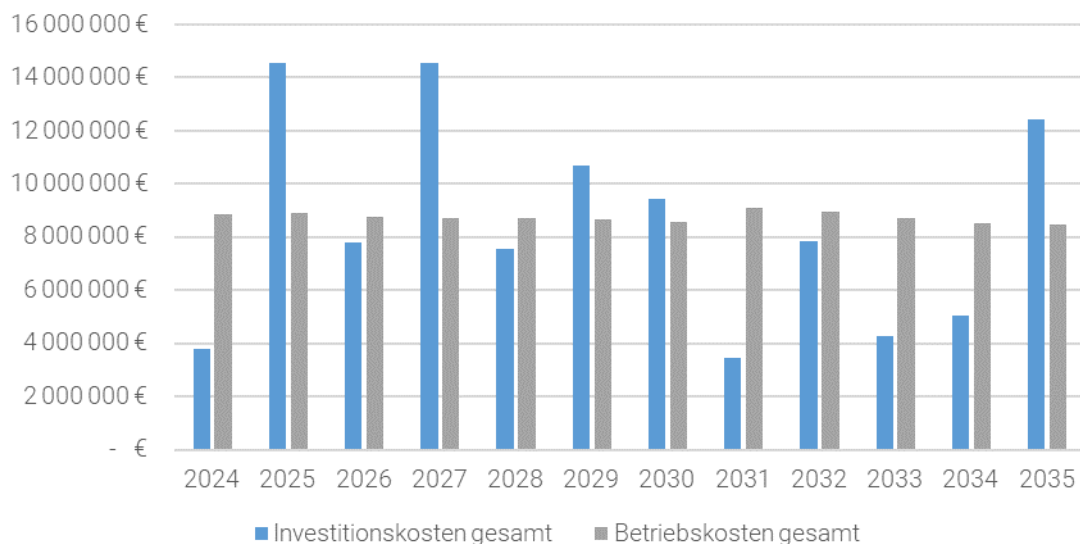


Abbildung 10: Investitions- und Betriebskosten für die Jahre 2024 – 2035 im Minimalszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee)

Die Kosten beinhalten dabei die Beschaffung aller neuen Busse, Baumaßnahmen mit der Integration von Ladeinfrastruktur am Betriebshof Germendorf sowie den Standorten „Stralsunder Straße, Oranienburg“ und „Am Busbahnhof, Hennigsdorf“, Energiekosten und Wartungs- und Instandhaltungskosten. Personalkosten sowie Schulungskosten sind nicht

berücksichtigt. Da der Planungsstand für die Baumaßnahmen mit der Integration von Ladeinfrastruktur am Betriebshof Gransee noch in einem frühen Stadium ist, ist zwar der Kostenrahmen in Abschnitt 3.2.4 dargestellt, die Kosten aber nicht in der jährlichen Kostenübersicht in diesem Abschnitt 2.5 enthalten. Alle Annahmen zu Einzelkosten sind in Anhang 7.1.1 dargestellt. Die folgenden Abschnitte 2.5.1 bis 2.5.3 geben die Investitionskosten, Betriebskosten und Fördermöglichkeiten für den Gesamtbetrieb wieder. Die Kosten an den Betriebshöfen sind in den Abschnitten 3.1.8 (Germendorf) und 3.2.4 (Gransee), die Kosten an den Endhaltestellen in Abschnitt 4.3 erläutert. Die Ergebnisse in Einzelwerten aufgeteilt nach Jahren sind Anhang 7.4.2 zu entnehmen.

2.5.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten im Zuge der Elektrifizierung setzen sich aus den Kosten für die Batteriebusse, der baulichen Anpassungen in Betriebshöfen und an den Endhaltestellen, der Ladeinfrastruktur, den Werkstattanpassungen sowie den Netzanschlusskosten zusammen und sind in Abbildung 11 und Abbildung 12 dargestellt.

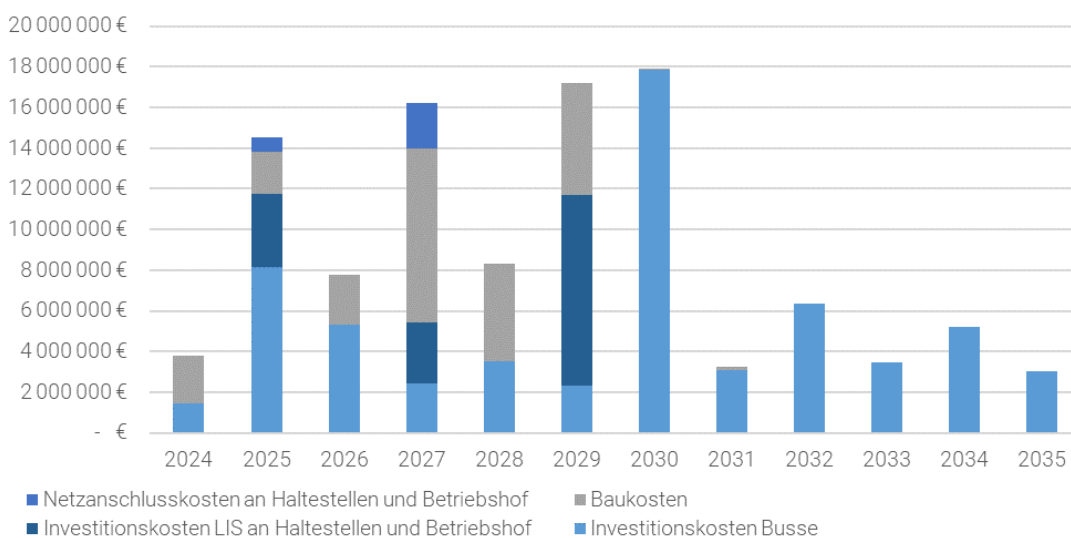


Abbildung 11: Investitionskostenübersicht für die Jahre 2024 – 2035 im Basisszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee)

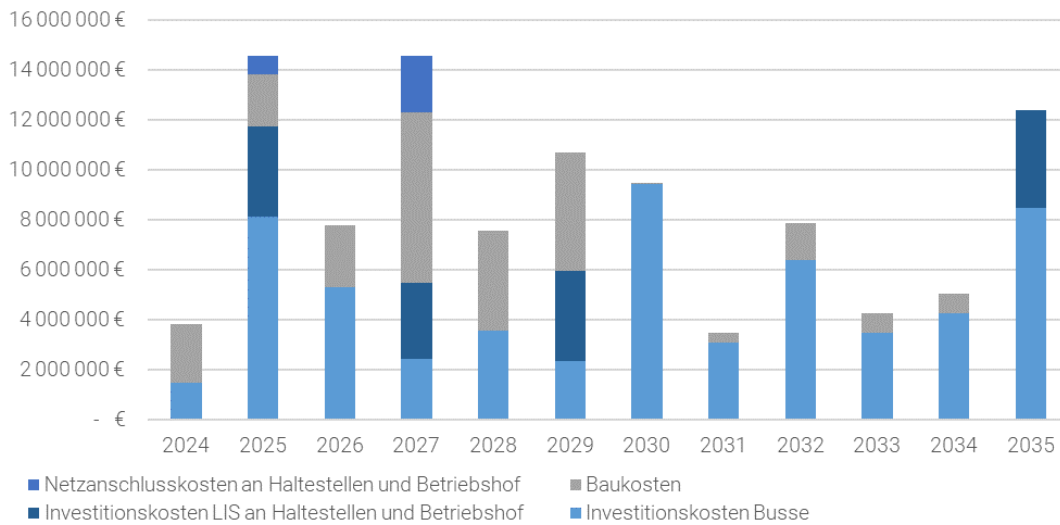


Abbildung 12: Investitionskostenübersicht für die Jahre 2024 – 2035 im Minimalszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee)

Die Investitionskosten sind in der Anlaufphase bis 2029 neben den Beschaffungskosten der Busse von den Baumaßnahmen und der Integration von Ladeinfrastruktur geprägt und betragen im Mittel etwa 11,5 Mio. € jährlich. In den Jahren 2030 – 2035, nach Abschluss der Baumaßnahmen, reduziert sich der mittlere jährliche Investitionsbedarf auf etwa 4,5 Mio. €.

2.5.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten setzen sich aus Energiekosten, und Wartungs- und Instandhaltungskosten für Busse und Infrastruktur zusammen. Zudem ist für die Batteriebusse ein Batterietausch nach sieben Jahren berücksichtigt. Abbildung 13 zeigt die entsprechende Kostenübersicht für das Basisszenario, von dem das Minimalszenario nur geringfügig abweicht.

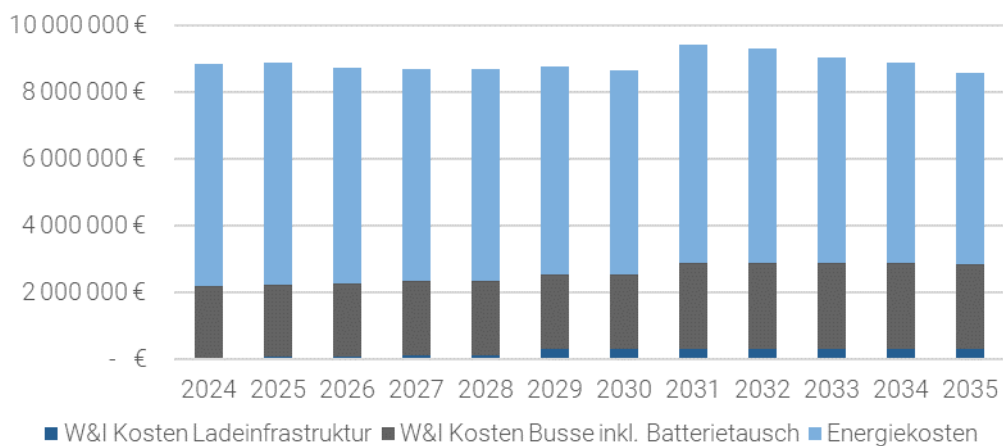


Abbildung 13: Betriebskostenübersicht für die Jahre 2024 – 2035 im Basisszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee)

Die Energiekosten werden dabei stark von der Ladestrategie, der Form der Strombeschaffung und dem Einsatz von Photovoltaik beeinflusst. Diese Möglichkeiten sind in den Abschnitten 0 bis 3.1.6 näher erläutert.

2.5.3 Fördermöglichkeiten

Die Förderlandschaft rund um die Themen elektrischer Flotten und Ladeinfrastruktur ist dynamisch, mit Förderprogrammen sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene. Eine gute Übersicht bietet beispielsweise die Website www.foerderdatenbank.de. Für die Beschaffung und den Betrieb von elektrischen Bussen im ÖPNV und der dazugehörigen Infrastruktur sind aktuell besonders folgende zwei Förderwerkzeuge zentral, für welche in diesem Abschnitt das Potential dargestellt wird:

Die Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr - Fahrzeuge und Infrastruktur (BMDV)

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMDV) hat in dieser Förderrichtlinie folgende Ausgaben gefördert [5]:

- 80 % der Mehrkosten bei der Beschaffung von Bussen mit alternativen Antrieben
- 40 % der Ausgaben für Lade-, Betankungs- und Wartungsinfrastruktur

Nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts zur Unrechtmäßigkeit von Geldern aus dem Klima- und Transformationsfonds ist die Haushaltslage besonders angespannt und zahlreiche Förderprogramme wurden gekürzt oder gestrichen [14]. Betroffen ist auch das Förderprogramm des Bundes für alternative Antriebe von Bussen im Personenverkehr. Lediglich bereits bewilligte Vorhaben werden ausfinanziert, neue Förderprogramme für E-Busse im Personenverkehr soll es jedoch im bisherigen Umfang nicht mehr geben.

Zum Zeitpunkt der Studie befindet sich der dritte Förderaufruf vom 20. Juni 2023 in Bearbeitung durch den BMDV. Von den über 160 Skizzeneinreichern wurden 23 zur Antragseinreichung aufgefordert. Bisher haben 11 Unternehmen und 2 Landkreise eine Förderzusage erhalten [28].

Der Treibhausgasquotenhandel nach dem 38. BImSchG (BMU)

Durch die Teilnahme am Treibhausgasquotenhandel können nach § 37a BImSchG i.V.m. § 5 38. BImSchV unter anderem Halter von Elektrofahrzeugen die dadurch verursachte Treibhausgasminde rung an Quotenverpflichtete, also Inverkehrbringer*innen von Kraftstoffen, als Quote verkaufen [6]. Die Erlöse hängen unter anderem von der Treibhausgas (THG)

-Minderungsquote, den Emissionen des deutschen Strommixes, dem Preis je t CO₂ und weiteren Größen ab. Im Jahr 2022 wurden so je Bus beispielsweise 14.857 €/a erwirtschaftet, die hier getroffene Annahme von 10.000 €/a ist also eher konservativ.

Der potentielle Einfluss der beiden Förderinstrumente auf die Kosten im Basisszenario ist in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt.

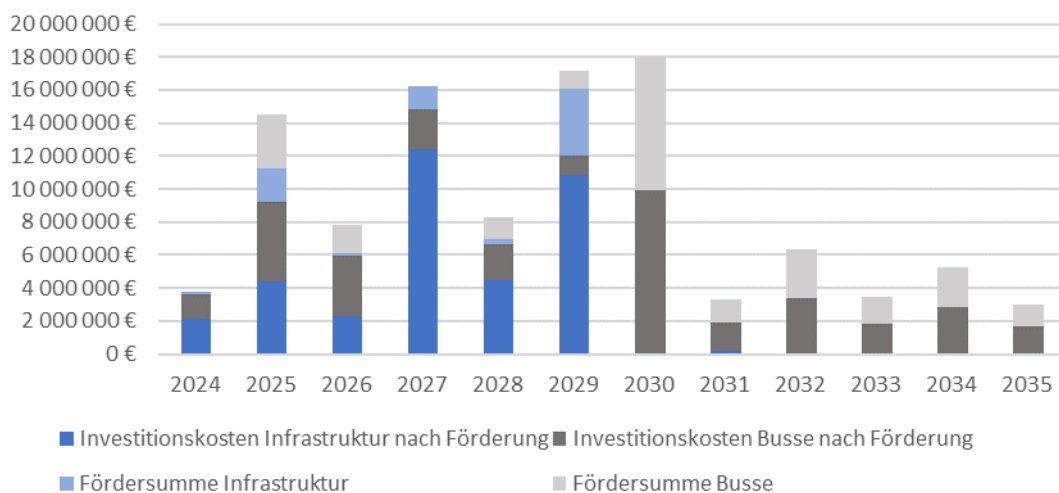


Abbildung 14: Einfluss der Förderung auf Investitionskosten im Basisszenario (ohne Infrastrukturkosten für den Betriebshof Gransee)

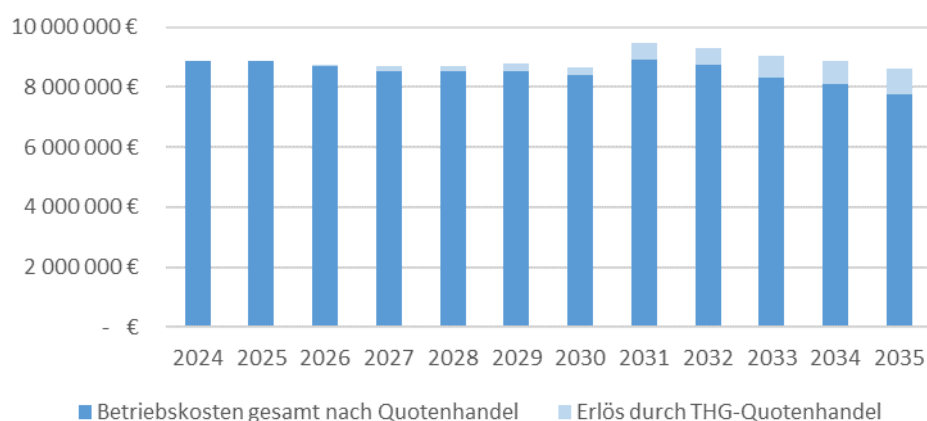


Abbildung 15: Einfluss der Förderung auf Betriebskosten im Basisszenario

2.6 Ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Umweltauswirkungen von Stadtbussen mit einer Länge von zwölf Metern und 18 Metern, die im öffentlichen Nahverkehr eingesetzt werden, untersucht. Die verwendeten Eingangsdaten sind in Anhang 7.1.4 dargestellt und wurden nach [7] ermittelt. Die Betrachtungen umfassen den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge, einschließlich Herstellung, Nutzung, Wartung und Entsorgung. Nicht einbezogen sind Reparaturen, allgemeine Werkstatt- oder Depotkosten sowie Betriebssteuerungen. Die Herstellung und Wartung der Batteriebus-Ladeinfrastruktur sind ebenfalls nicht berücksichtigt. Bei der Stromerzeugung ist die Vorkette jedoch mit einbezogen. Gutschriften für recycelte Materialien oder Energie am Lebensende der Busse wurden nicht berücksichtigt. Für elektrisch angetriebene Busse werden vollelektrischen Heizsysteme angenommen und daher von keinen lokalen Emissionen ausgegangen. Die Emissionen werden für vier Szenarien dargestellt, die Übersicht dieser Szenarien zeigt Tabelle 6. In Szenario 2 wird dabei jeweils von der vollständigen Umstellung der Flotte der OVG auf lokal emissionsfreie Antriebe ausgegangen, wobei die Zusatzfahrzeuge durch die Umstellung berücksichtigt werden.

Tabelle 6: Szenarien für die ökologische Bewertung

	Szenario			
	1a	2a	2b	2c
Dieselbus, 12 m	78	0		
Dieselbus, 18 m	31	0		
Elektrisch Depotlader, 12 m	0	85		
Elektrisch Depotlader, 18 m	0	27		
Elektrisch Gelegenheitslader, 18 m	0	12		
Strommix	-	Deutscher Strommix 2021	91 % deutscher Strommix 2021 + 9 % PV-Strom	100 % PV-Strom

Die Ergebnisse der ökologischen Betrachtung sind in Abbildung 16 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass durch eine Umstellung auf batteriebetriebene Fahrzeuge lokaler Feinstaub (PM 2,5) und Stickoxid (NOX)-Emissionen vermieden werden können. Die Effekte hinsichtlich der Vermeidung von CO₂-Emissionen entstehen nur bei der Verwendung von Strom aus Erneuerbaren Energien, hier aus Photovoltaik. Der Einsatz von Öko-Strom wird daher empfohlen. Für die Förderung von Bussen mit klimafreundlichen, alternativen Antrieben im Personenverkehr ist dies zudem Voraussetzung [5].

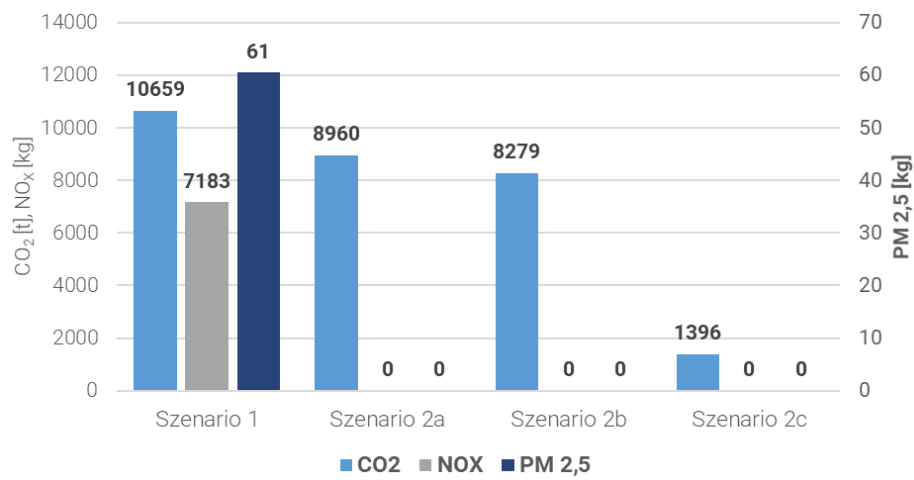


Abbildung 16: Emissionen der verschiedenen Umstellungsszenarien

3. Der elektrifizierte Betriebshof

Dieses Kapitel beschreibt die technischen, baulichen und betrieblichen Maßnahmen an den beiden Betriebshöfen der OVG. Zudem werden standortübergreifende Anforderungen dargestellt, welche hinsichtlich der mit der Elektrifizierung einhergehenden Digitalisierung für die Betriebshöfe entstehen.

3.1 Germendorf

In diesem Abschnitt werden die technischen Anpassungen und baulichen Maßnahmen zusammengefasst, die im Betriebshof Germendorf erforderlich sind, um den Übergang zu einer rein elektrischen Flotte zu ermöglichen. Zunächst werden im folgenden Abschnitt die baulichen Maßnahmen beschrieben.

3.1.1 Baumaßnahmen

Auf Basis der in Abschnitt 2.4.2 beschriebenen Beschaffungsplanung beträgt der ungefähre Stellplatzbedarf des Betriebshofes in Germendorf 97 Busse bei abgeschlossener Elektrifizierung. Es werden die folgenden Buskategorien eingesetzt: ca. 54 Solobusse, ca. 39 Gelenkbusse und ca. vier Kleinbusse. Nach aktuellem Planungsstand des Um- bzw. Neubaus des Standorts, wird Germendorf diesen Bedarf komplett abdecken können (Endkapazität ca. 98 Busse). Um diese Endkapazität zu erreichen, ist ein Umbau bestehender Hallen, die Ertüchtigung/Erweiterung der Instandhaltung sowie ein Neubau einer Abstellfläche im nördlichen Bereich erforderlich. Darüber hinaus werden zusätzliche Bauarbeiten zur Erweiterung der Pkw-Stellplätze und zum Umbau der Bürogebäude durchgeführt. Diese Baumaßnahmen werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten erledigt und weiter unten im Kontext des Rahmenzeitplans erläutert.

Bauabschnitte

Zunächst werden die baulichen Maßnahmen beschrieben, die für die Endkapazität und die Wartung der Busse erforderlich sind. Der Umbau der bestehenden Hallen ist durch die folgenden Bauabschnitte (BA) definiert: BA 0 (Ertüchtigung der bestehenden Werkstattanlagen), BA 1 (Umbau der bestehenden Abstellhalle, inkl. BA 1a Beobachtungsplatz und BA 1b Ausweichabstellfläche) und BA 2 (Erweiterung der Werkstattanlagen auf sechs Plätze für E-Bus-Wartung). Die Bauabschnitte 0, 1 und 2 sind in Abbildung 17 dargestellt.



Abbildung 17: Umbauplanungen der Bestandshallen (BA 0, 1, 2)

Im Rahmen des BA 0 erfolgt die Ertüchtigung der bestehenden Werkstattanlage in Form von Sicherheitsmaßnahmen sowie weitere funktionale Erweiterungen, die für die Arbeit an E-Bussen (Hochspannung) erforderlich sind.

BA 1 definiert den Umbau der bestehenden Abstellhalle, wobei zwei aktuelle Busspuren mit einer Fläche von 560 m² für den Lagerbereich (für Werkstattmaterial), den Elektroprüfplatz und den Sozialbereich umfunktioniert wird. Für die Busabstellung sind Brandschutzwände (alle zwei Abstellspuren) vorgesehen, um das Risiko des Verlustes von Bussen im Falle eines Brandes zu verringern. Die Kapazität der Halle wird somit für ca. zwölf GL und 20 SL ausgelegt.

Es ist geplant, die Halle in zwei Ausbaustufen zu ertüchtigen und entsprechend Ladeinfrastruktur zu installieren. Hierdurch soll der laufende Betrieb während der Umbaumaßnahmen möglichst ungestört fortgesetzt werden können. Die erste Ausbaustufe sieht vor, die gesamte Halle brandschutztechnisch umzurüsten und 18 Ladepunkte für den Einsatz der ersten Fahrzeuge bis 2026 zu installieren. Anschließend sollen weitere 14 Ladepunkte bis 2028

in Betrieb genommen werden. Es ist angedacht, einen Lademast im Außenbereich zu installieren. Dieser kann unter anderem als redundanter Ladepunkt dienen, falls es innerhalb der Halle zu einem Ausfall eines Ladepunktes kommt. Dieser ist in Abbildung 17 dargestellt, wird jedoch in den folgenden Betrachtungen nicht weiter berücksichtigt.

Grundsätzlich kann zwischen drei verschiedenen Installationskonzepten für Ladeinfrastruktur unterschieden werden. Diese sind in Abbildung 18 dargestellt. Die E-Busse können entweder per Stecker oder per Pantograph (inkl. Ladehaube) geladen werden. Bei der Steckerladung wird unterschieden, ob diese über eine am Boden befestigte Ladesäule oder eine an der Decke befestigte Ladebox erfolgt. Bei letzterem Konzept hängen die Kabel über einer Kabelrolle von der Decke. Die Ladehaube ist ebenfalls über eine Ladebox mit der entsprechenden Ladetechnik verbunden. Im Anhang 7.7 Anhang sind Grafiken zu finden, die Praxisbeispiele dieser Konzepte zeigen.

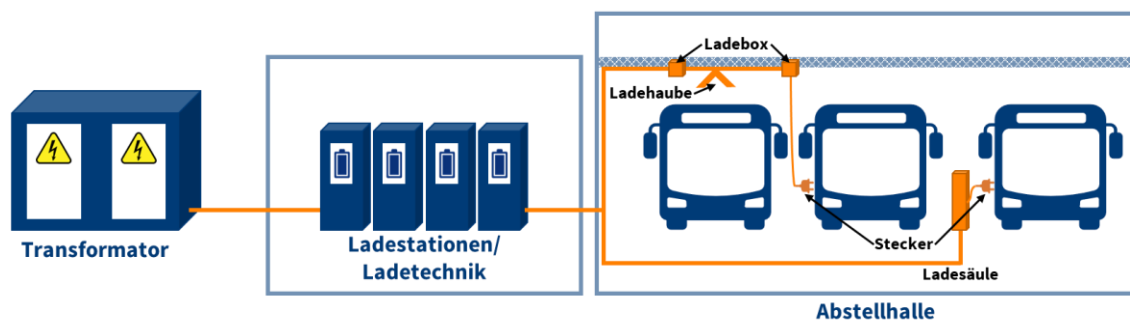


Abbildung 18: Konzepte für die Installation von Ladeinfrastruktur

Nach aktuellem Planungsstand verfolgt die OVG das Konzept der Pantographenladung mittels Ladehaube. Dieses Konzept bietet u.a. die Vorteile einer platzsparenden Installation sowie der Nutzung von Synergien zur Gelegenheitsladung an den Endhaltestellen, die typischerweise ebenfalls per Pantograph realisiert wird. Die entsprechende Ladetechnik (Ladegeräte etc.) soll westlich neben der Abstellhalle platziert werden. Die einzelnen Ladehauben werden über Kabel in der Hallendecke mit Strom versorgt. Die Platzierung des Transformators sowie der Übergabestation zum Netzbetreiber ist auf der Grünfläche südlich der Rettungswache geplant⁶.

Dieser Baumaßnahme vorgelagert sind der BA 1a zur Errichtung eines Beobachtungsplatzes für havarierte Fahrzeuge südlich des Bahndamms und der BA 1b zur Errichtung von Ausweichabstellflächen (z.B. südlich der Annahofstraße (Flur 75)), die während des Umbaus des Betriebshofs benötigt werden.

⁶ Siehe auch Abschnitt 3.1.7

BA 2 sieht schließlich die Erweiterung der Werkstattanlagen um vier weitere Stellplätze für die Wartung von E-Bussen vor. Für diese Erweiterung ist eine Fläche von ca. 1.100 m² zwischen der heutigen Abstell- und Werkstatthalle vorgesehen.

Der Neubau im nördlichen Bereich umfasst die Abschnitte BA 3 und BA 4 (s. Abbildung 19). BA 3 bietet Platz für 24 GL und 28 SL. Auch hier sind Brandschutzwände alle zwei Abstellspuren geplant. Die Ladetechnik ist neben der Halle vorgesehen, ebenso wie ein zweiter Transformator, der BA 3 und BA 4 mit Strom versorgt. BA 4 ist auf einem Teil des heutigen Bahndamms geplant. Hier sollen vier GL und sechs SL abgestellt werden. Auch hier ist die Ladetechnik neben der Halle vorgesehen. Die aktuelle Planung sieht vor, dass Solo- und Gelenkbusse sortenrein abgestellt werden, um die Betriebsabläufe der OVG abbilden zu können. Detaillierte Darstellungen der Um- und Neubauten befinden sich im Anhang 7.2.1.

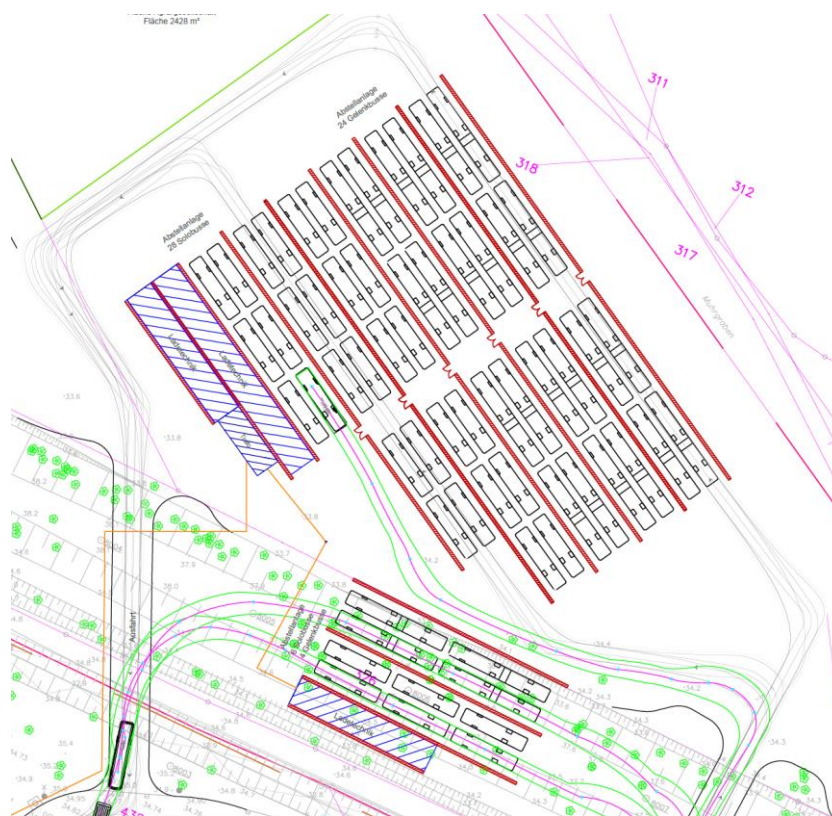


Abbildung 19: Neubauplanung der Betriebshoferweiterung (BA 3, 4)

Rahmenzeitplan

Generell durchläuft jeder Bauabschnitt vier Phasen in folgender Reihenfolge: Planung & Vorbereitung, Genehmigung, Umsetzungsphase und Fertigstellung. Der zeitliche Bedarf dieser Phasen wird im Rahmen dieser Studie geschätzt. Den Schätzungen liegen Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten zugrunde. Eine Abweichung in der Umsetzung ist jedoch aufgrund der Detailtiefe dieser Studie nicht ausgeschlossen⁷. Für jedes der beiden Szenarien wurde ein Rahmenzeitplan entwickelt, welcher je in Anhang 7.5 dargestellt ist. Hier sind zusätzlich die Teilmaßnahmen der einzelnen Baumaßnahmen aufgelistet.

Für das Basisszenario sieht die aktuelle Planung vor, mit Abschluss dieser Studie die ersten Maßnahmen Anfang 2024 aufzunehmen. Im ersten Schritt müssen die bestehenden Abstell- und Werkstatthalle für die Einführung der ersten Busse 2026 ertüchtigt werden. Zunächst werden die Planungen & Vorbereitungen für BA 0, 1, 1a und 1b aufgenommen, so dass mögliche Genehmigungsverfahren noch Mitte 2024 angestoßen werden können. Nach aktueller Planung soll die Bauleistung dieser BA im Jahr 2025 stattfinden.

Die Planungen & Vorbereitungen für den Teilneubau der Werkstatteerweiterung (BA 2) sollen ebenfalls im Jahr 2024 starten, sodass der Bau in den Jahren 2026 und 2027 stattfinden kann. Der Abschluss des BA 2 ist im Jahr 2028 geplant.

Die BA 3 und 4, welche den Neubau einer Abstellanlage umfassen, sollen im Jahr 2026 in die Planung gehen. Im Jahr 2030 soll die Erweiterung der Abstellung abgeschlossen sein und der Flotte der OVG zur Verfügung stehen.

Im Minimalszenario verschiebt sich die Elektrifizierung der Flotte und damit auch der technologiebedingte Mehrbedarf an Bussen⁸ nach hinten. Der BA 4 muss daher nicht mehr im Jahr 2030, sondern erst im Jahr 2035 einsatzbereit sein, weshalb der Bau um 5 Jahre verschoben wurde. Aufgrund der verzögerten Elektrifizierung wurde die Installation der Ladeinfrastruktur in BA 3 und 4 nun in 3 Phasen eingeteilt, welche dem Hochlauf der Elektrifizierung folgen. Der Stand der Baumaßnahmen für dieses Szenario im Jahr 2030 wird in Anhang 7.2.2 dargestellt.

Parallel zu den beschriebenen Um- und Neubauten soll ebenfalls eine Erweiterung der Pkw-Stellplätze durch ein Parkdeck sowie ein Umbau der Büroflächen am Standort Germendorf erfolgen, welche jedoch nicht im Detail betrachtet werden.

⁷ Alle dargestellten Baumaßnahmen und Zeitfenster, die Statik der Gebäude sowie die Platzierung und Art der Ladeinfrastruktur sind nachgelagert zu dieser Studie durch entsprechende Fachplaner zu prüfen.

⁸ Vergleiche Abbildung 7 und Abbildung 8

Ausweichflächen

Während der Umbauphase des Betriebshofs in Germendorf stehen einzelne Abstellflächen vorübergehend nicht zur Verfügung. In den Jahren 2025 bis einschließlich 2031 müssen daher Busse auf geeigneten Ausweichflächen abgestellt werden. Nach aktueller Schätzung beläuft sich der maximale Ausweichbedarf auf maximal ca. 17 Gelenk- und 30 Solobusse.

Für die Interimsabstellung steht vorrangig eine Wiesenfläche südlich der Annahofer Straße, gegenüber des heutigen Betriebshofs zur Verfügung. Diese Fläche (Flur 75) ist Eigentum der Oberhavel Holding Besitz- und Verwaltungsgesellschaft mbH und soll für die vorübergehende Abstellung ertüchtigt werden.

Nach aktuellem Planungsstand können auf dieser Fläche, unter Berücksichtigung nötiger Rangierflächen, maximal ca. 17 Gelenk- und 30 Solobusse abgestellt werden. Dies ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Fläche könnte so den Ausweichbedarf komplett kompensieren.



Abbildung 20: Interimskapazität der Flur 75

Mögliche Einschränkungen in der Nutzung der Fläche kann es durch die Vorgaben der Genehmigungsbehörde geben. Diese begrenzt die temporär nutzbare Fläche auf ca. 27,5% der heutigen Grundstücksfläche. Dies entspricht ca. 4.000 m² Interimsfläche. In Anhang 0 wird dies detaillierter betrachtet und mögliche Auswirkungen dargestellt.

3.1.2 Gesamtkapazität

Wie oben dargestellt, beträgt die Gesamtkapazität des Betriebshofes Germendorf ca. 98 Busse, aufgeteilt in ca. 54 Solobusse, ca. 40 Gelenkbusse und ca. vier Kleinbusse. Die folgende Tabelle 7 fasst die Kapazitäten der einzelnen Baumaßnahmen zusammen.

Tabelle 7: Aufteilung der Fahrzeugkapazitäten nach Bauabschnitt

Stellplatz	Gelenkbusse	Solobusse	Kleinbusse
BA 1	12	20	0
BA 3	24	28	0
BA 4	4	6	0
Depot	0	0	4
Total	40	54	4
Insgesamt	98		

3.1.3 Anpassungsbedarf für Personal und Werkstatt

Bei der Einführung von alternativen Antriebstechnologien im Depot sind Anpassungen in der Werkstatt und für das Personal vorzusehen. Bei batterieelektrischen Bussen ist die Arbeit mit und an Hochvoltkomponenten der Hauptfaktor für die notwendigen Anpassungen. In der Werkstatt werden zum einen Spezialwerkzeuge sowie Diagnosewerkzeuge benötigt. Diese können ggf. herstellersistezifisch sein. Da sich die Batterien der Busse meist auf dem Dach befinden, werden zum anderen Dacharbeitsstände, Deckenkräne oder Hebebühnen benötigt. Diese sorgen für ein sicheres Arbeiten auf dem Dach der Busse. Weiterhin ist im Betriebshof ein Beobachtungsplatz für havarierte Fahrzeuge vorzusehen. Nachfolgend sind die notwendigen Anpassungen in Abhängigkeit von den geplanten Tätigkeiten am Bus dargestellt (vgl. Abbildung 21).

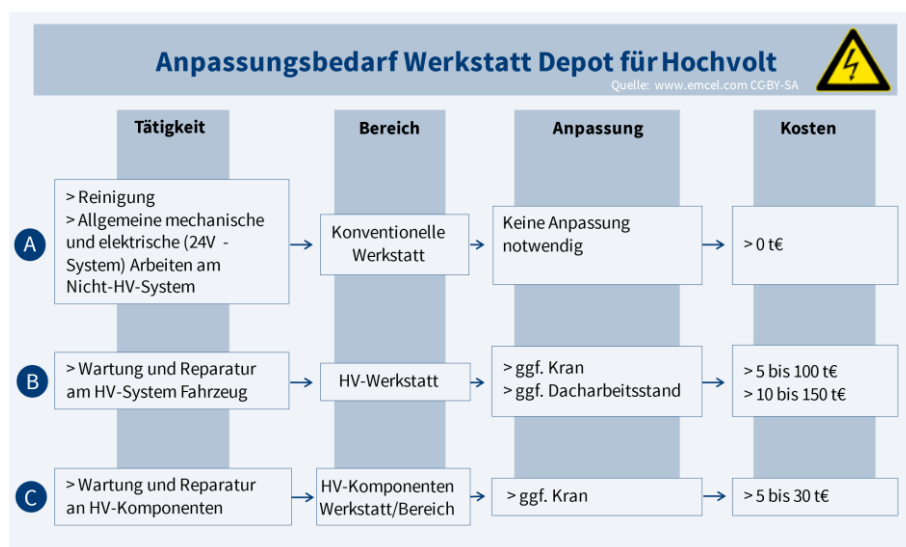


Abbildung 21: Anpassungsbedarf Werkstatt für Arbeiten mit Hochvolt

Auch für das Personal entsteht ein Anpassungsbedarf, der durch Schulungen abgedeckt werden kann. Die Ausbildung ist mit überschaubarem Aufwand erlernbar und wird mit neuen Berufsbildern zunehmend gefragter. Je nach Tätigkeit am Bus wird die Ausbildung in vier Stufen eingeteilt: S, 1S, 2S und 3S. In der folgenden Abbildung 22 sind diese vier Ausbildungsstufen, der Zeit- und Kostenaufwand sowie mögliche Anbieter dargestellt.

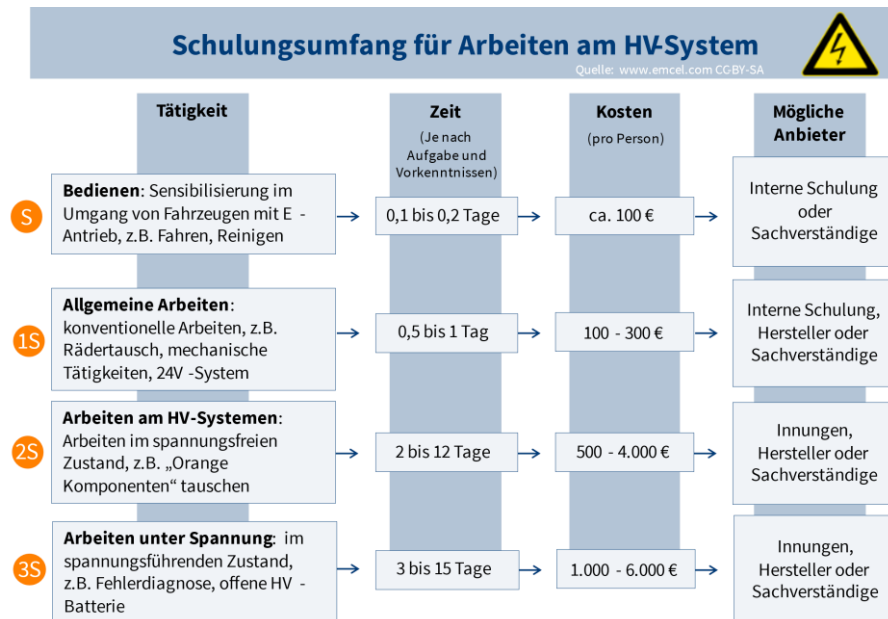


Abbildung 22: Schulungsumfang für Arbeiten am HV-System

3.1.4 Ladestrategien

Um die Auslegung und den Betrieb der Ladeinfrastruktur zu optimieren, werden unterschiedliche Ladestrategien untersucht. Dabei wird jeweils von einer Vollelektrifizierung des Betriebshofs Germendorf ausgegangen⁹. Die Ladestrategien sind:

Ungesteuertes Laden

Jeder Bus lädt nach dem Eintreffen im Depot mit der maximalen Ladeleistung von 150 kW auf, bis die Fahrzeugbatterie wieder vollgeladen ist.

Ausgeglichenes Laden

Jeder Bus lädt nach dem Eintreffen im Depot mit der minimal nötigen Ladeleistung, um am Ende seiner Standzeit wieder einen vollen Akku zu haben.

Spitzenlastkappung

Aufbauend auf dem ausgeglichenen Laden wird die Ladeleistung zum Zeitpunkt der Lastspitze begrenzt, um diese zu reduzieren. Entsprechend werden die Busse zuvor oder danach mit höherer Leistung geladen.

⁹ Die Simulationen beziehen sich auf die vorläufige Umlaufplanung für das Jahr 2026 mit insgesamt 83 Elektrobussen im regulären Betrieb. Zusätzlich der Reservebusse und des Mehrbedarfs durch ein erweitertes Angebot wird für eine Vollelektrifizierung im Jahr 2043 von 97 Elektrobussen, davon vier Kleinbussen, ausgegangen.

Marktbasiertes Laden

Die Ladeleistung der Busse wird so optimiert, dass die Busse Zeiten geringer Strompreise bevorzugen und nur dann zu Zeiten mit höheren Kosten laden, wenn sonst keine Vollladung bis zur nächsten Abfahrt möglich wäre.

Abbildung 23 zeigt die resultierenden Ladeleistungen am Betriebshof mit den entsprechenden Leistungsspitzen je Ladestrategie. Die hier gezeigte Leistung entspricht der Ladeleistung am Ausgang der Ladegeräte. Weitere Verluste und die darauf basierende Auslegung der Ladegeräte werden in Abschnitt 3.1.7 dargestellt. Die niedrigste Lastspitze wird durch die Spitzenlastkappung erzielt, während durch das marktbasierte Laden die größte Lastspitze entsteht. Die Netzanschlussleistung wird gemäß der höchsten Last ausgelegt, wodurch sich auch die entsprechenden Investitionskosten für den Netzanschluss (inklusive Baukosten, Baukostenzuschuss und Trafostation mit Einbauten) je Strategie unterscheiden.

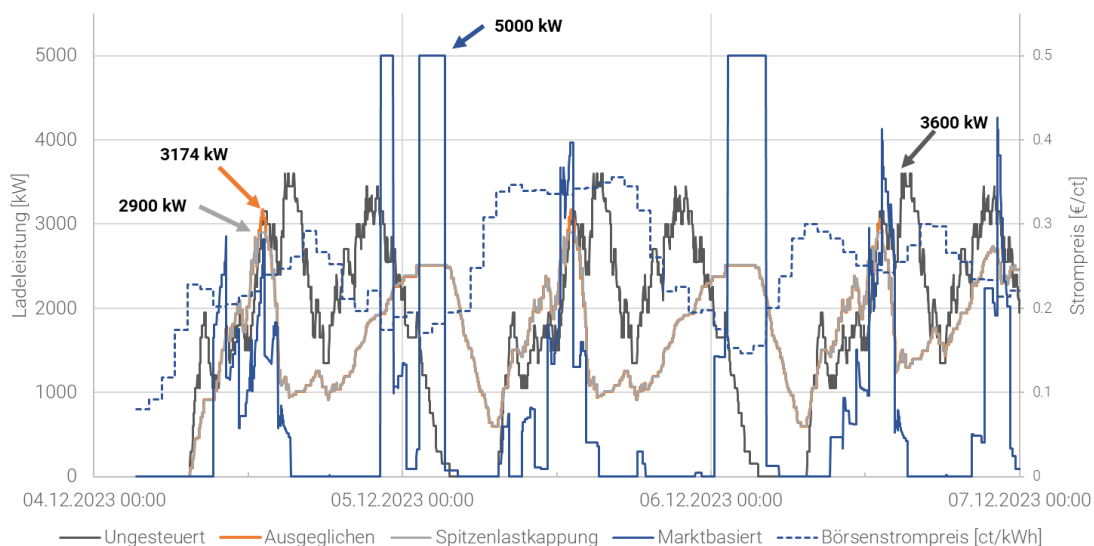


Abbildung 23: Ladeleistungen unterschiedlicher Ladestrategien im Vergleich

Gleichzeitig werden auch die Stromkosten durch die Ladestrategien beeinflusst. Beide Kosten sind in Tabelle 8 dargestellt, während Abbildung 24 die Abhängigkeit der Stromkosten im Detail darstellt. Die Ladestrategien „Ausgeglichen“ und „Spitzenlastkappung“ bewirken eine Verringerung der maximalen Leistung und des damit verbundenen Leistungspreises der Netzentgelte im Vergleich zum ungesteuerten Laden. Im Gegensatz dazu steigt dieser Kostenpunkt beim marktbasierten Laden, jedoch wird durch den gezielten Einkauf am Strommarkt die Strombeschaffung erheblich günstiger, so dass sich insgesamt eine Ersparnis erzielen lässt.

Tabelle 8: Einfluss der Ladestrategien auf Stromkosten und Investitionen

Ladestrategie	Leistungsspitze [kW]	Investitionskosten Netzanschluss [€]	Jährliche Stromkosten [€/Jahr]
Ungesteuert	3.600	630.000	3.113.509
Ausgeglichen	3.174	555.497	3.049.130
Spitzenlastkappung	2.900	507.500	3.040.541
Marktbasiert	5.000	875.000	2.802.955

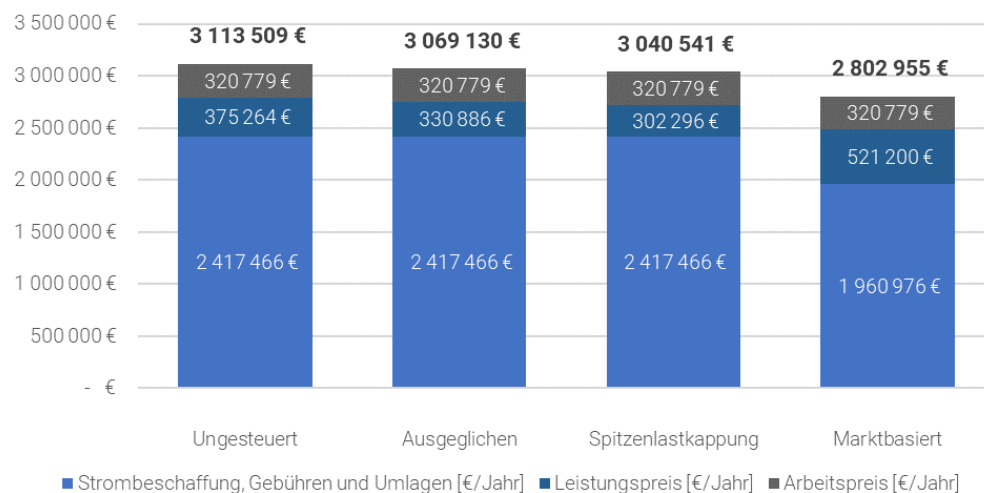


Abbildung 24: Einfluss der Ladestrategien auf Stromkosten

Das größte Kosteneinsparungspotential bietet somit die Strombeschaffung am Spotmarkt, weshalb die Auslegung des Netzanschlusses und der Ladegeräte diese Ladestrategie berücksichtigen sollte. Die höheren Investitionskosten für den Netzanschluss sind nach diesen Betrachtungen bereits in unter zwei Jahren amortisiert. Durch die erweiterten Anforderungen an das Last- und Lademanagement für die Umsetzung einer marktbasierten Ladestrategie können jedoch ebenfalls Mehrkosten entstehen, welche zum aktuellen Zeitpunkt aufgrund des noch kleinen Angebotes nicht abgeschätzt werden können.

Eine sinnvolle Ergänzung zu den hier dargestellten Ladestrategien kann es sein, Hochlastzeitfenster nach §19 Abs. 2 StromNEV auszunutzen, um den Leistungspreis zu reduzieren.

3.1.5 Photovoltaik

In diesem Abschnitt wird geprüft, welches Potential auf dem Betriebshof zur Stromerzeugung mittels Photovoltaik (PV) besteht und wie dieses effizient genutzt werden kann. Dazu wurden simulativ zunächst alle geplanten und bestehenden Dachflächen mit PV-Anlagen ausgerüstet und die mögliche Stromproduktion ermittelt. Abbildung 48 und Tabelle 25 in Anhang 7.3 zeigen die dabei betrachteten Dachflächen mit den dazugehörigen Daten. Insgesamt wurde so ein Potential von 1.146 kWp ermittelt, wodurch mit den Daten zur Son-

neneinstrahlung aus dem Jahr 2021¹⁰ 679 MWh elektrische Energie erzeugt werden könnten. Dies entspricht in etwa 9 % des jährlichen Energiebedarfs der Elektrobusse im Falle der Vollelektrifizierung. Abbildung 25 zeigt die resultierenden Leistungen am Betriebshof in den Tagen höchster Sonneneinstrahlung im Juni. Es ist zu erkennen, dass die von den Ladegeräten benötigte Leistung die Stromerzeugung durch PV stets übersteigt, wodurch sich eine Eigenverbrauchsquote von 100 % ergibt.

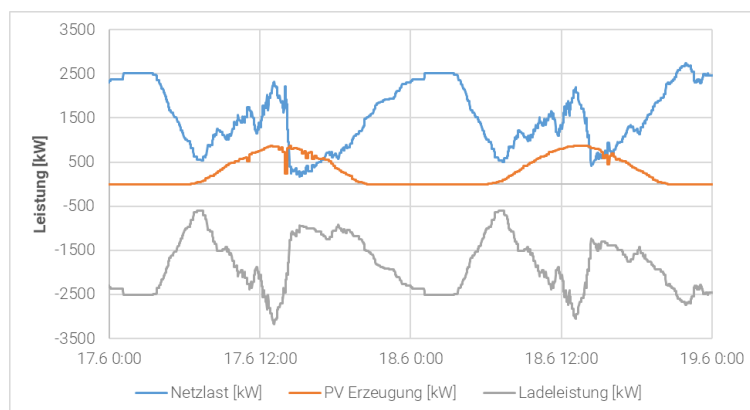


Abbildung 25: Leistungen am Betriebshof Germendorf mit Potential für Photovoltaik (Juni)

Die Beschaffung der PV-Anlage inklusive der benötigten Elektronik und deren Installation werden mit 980 €/kWp berechnet wodurch sich einmalige Investitionskosten von etwa 1.123.000 € ergeben. Demgegenüber stehen Einsparungen in den Stromkosten von etwa 212.000 €, wodurch sich unter Berücksichtigung von 2 % W&I-Kosten eine Amortisationszeit von etwa fünf Jahren ergibt.

Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten sollte dementsprechend ein größtmöglicher Ausbau von Photovoltaik auf dem Betriebshof angestrebt werden.

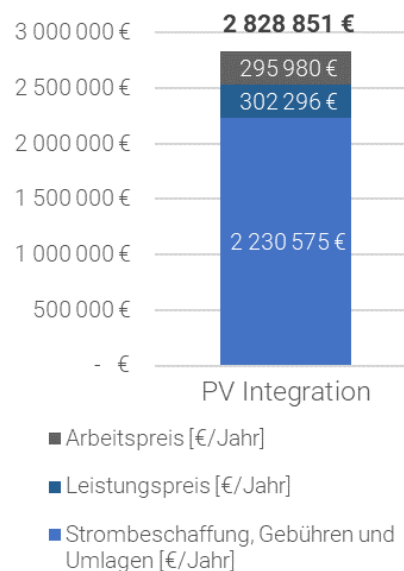


Abbildung 26: Stromkosten mit PV-Eigenerzeugung

¹⁰ Deutscher Wetterdienst, Daten für Berlin-Tempelhof, Stationsnummer 443

3.1.6 Stationäre elektrische Speicher

Der Einsatz von Stationären Speichern auf dem Betriebshof kann verschiedene Ziele verfolgen. Für diese Studie werden die Erhöhung des Eigenverbrauchs durch Photovoltaik sowie die Spitzenlastkappung untersucht. Weitere mögliche Einsatzzwecke beinhalten beispielsweise die Teilnahme am Strommarkt oder das Laden während Hochlastzeitfenstern nach §19 Abs. 2 StromNEV.

Die Erhöhung des PV-Eigenverbrauchs verfolgt das Ziel überschüssigen PV-Strom statt einer Netzeinspeisung in der Batterie zwischenspeichern und anschließend, wenn die Last die Erzeugung übersteigt, wieder abzugeben. Wie in Abschnitt 3.1.5 dargestellt, beträgt der Eigenverbrauch für den Fall der Vollelektrifizierung und des Ausnutzens aller PV-Potentiale auf Dachflächen jedoch bereits 100 %, weshalb **kein weiteres Optimierungspotential für den Eigenverbrauch** besteht.

Im Falle der Spitzenlastkappung ist das Ziel, die maximale Netzlast und damit die benötigte Netzanschlussleistung zu reduzieren. Hierfür wird die Batterie aufgeladen, wenn die Ladeleistung der Busse die maximale Netzanschlussleistung unterschreitet und wieder entladen, wenn die Ladeleistung der Busse die Netzanschlussleistung unterschreitet. Die Batterie wurde dazu als 2nd-Life-Batteriespeicher konzipiert, in dem die Batterien der ersten 18 Fahrzeuge nach deren Austausch nach voraussichtlich etwa sieben Jahren wiederaufbereitet und als stationärer Speicher umgebaut werden. Die Restkapazität wird mit 50 % der Nennkapazität angenommen, wonach die Batterie eine Gesamtkapazität von 5,7 MWh hat. Dabei werden 35 €/kWh für die Wiederaufbereitung der Zellen [8] und 285 €/kWh für den Umbau in einen stationären Speicher [10] angenommen, wodurch sich für die Batterie Investitionskosten von 1.624.500 € ergeben. Die resultierenden Leistungsverläufe sind in Abbildung 49 im Anhang dargestellt. Die Batterie hat eine sehr große Pufferwirkung und kann die Lastspitze der Netzlast von 2,9 MW¹¹ auf 1,9 MW reduzieren.

¹¹ Lastspitze Spitzenlastkappung ohne Batterie, siehe Abschnitt 0

Durch die Verluste beim Ein- und Ausspeichern des Stroms steigt jedoch auch der Stromverbrauch insgesamt. In Abbildung 24 sind die resultierenden Stromkosten gezeigt. Die Reduktion im Leistungspreis ist demnach nicht hoch genug um die Mehrkosten, verursacht durch die Verluste, zu kompensieren, so dass sich kein Mehrwert erwirtschaften lässt. Auch kleinere Batteriekonfigurationen wurden analog dazu untersucht, jedoch ergibt sich für den Use-Case eines Second-Life Speichers zur Spitzenlastkappung in keinem betrachteten Szenario ein wirtschaftlicher Mehrwehrt.

Der Einsatz eines stationären Second-Life- Energiespeichers ist weder für die Erhöhung des Eigenverbrauches von PV-Strom noch für die Spitzenlastkappung am Betriebshof Germendorf wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar.

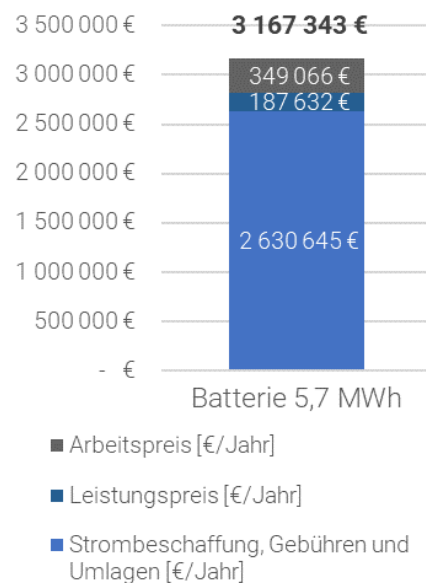


Abbildung 27: Stromkosten für Spitzenlastkappung mit stationärer Batterie

3.1.7 Netzanschluss und elektrische Betriebsmittel

Für die Auslegung der Netzanschlussleistung wird empfohlen, sich an der Leistung für das marktorientierte Laden zu orientieren, da dies die wirtschaftlichste Ladestrategie ist. Die in Abschnitt 0 empfohlene Leistung von 5 MW bezieht sich dabei auf die DC-Ladeleistung aus dem Ladegerät. Nach [7] betragen die weiteren Verluste für den Mittelspannungs-Niederspannungstransformator, die Gleichrichtung im Ladegerät, die Vorkonditionierung, das Zellen-Balancing und weitere Verluste bis zu 38 %¹². Ebenfalls wird empfohlen, eine Reserve von 25 % Leistung im Netzanschluss und Trafo einzuplanen. Für die Auslegung werden die Simulationsergebnisse für 83 Fahrzeuge zudem auf eine Flottengröße von 94 Solo- und Gelenkbussen extrapoliert. Die für die Ladung der Busse zu berücksichtigende Netzanschlussleistung für die Vollelektrifizierung beläuft sich damit auf 10 MW. Die minimale Netzanschlussleistung um den Betrieb der Busse mit Spitzenlastkappung zu realisieren beträgt etwa 6 MW.

Für eine effiziente Auslegung der Ladegeräte sind zwei Kenngrößen entscheidend: Die durchschnittliche Leistung je Ladegerät zur Spitzenlast (analog zum Gleichzeitigkeitsfaktor) einerseits und die maximale Ladeleistung je Bus andererseits. Die maximale durchschnittliche Leistung je Ladegerät inklusive Ladeverlusten beträgt 77 kW. Bei kurzen Standzeiten,

¹² Siehe Abbildung 50 in Anhang 7.3

besonders für das Nachladen um den Mittag, werden die Busse mit der maximal verfügbaren Ladeleistung geladen, welche auf 150 kW begrenzt ist. Um diese Leistungen zu realisieren kann entweder jeder Ladepunkt mit einer eigenen Leistungselektronik ausgerüstet werden oder mehrere Ladepunkte mit einer zentralen Leistungselektronik, welche die Leistung dynamisch verteilt (vgl. Abbildung 28). Im Falle der dynamischen Leistungsverteilung lassen sich in diesem Fall etwa 50% der Geräteleistung einsparen, was einen starken Einfluss auf die Gerätekosten hat. Um eine Balance zwischen Effizienz und Redundanz im Falle einer Wartung oder eines Defektes zu erreichen, werden Ladegeräte mit je vier – acht Ladepunkten und einer Leistung von durchschnittlich 75 kW und maximal 150 kW je Ladepunkt empfohlen.

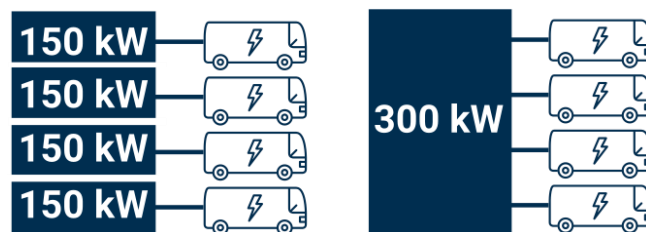


Abbildung 28: Vergleich klassische Ladegeräte (links) und dynamische Leistungsverteilung (rechts)

Um die Ladegeräte mit der erforderlichen Leistung zu versorgen, muss die Mittelspannung aus dem Netzanschluss noch auf die erforderliche Niederspannung transformiert werden. Dazu sind, wie in Abschnitt 3.1.1 dargestellt, je ein Niederspannungstransformator in unmittelbarer Nähe der Übergabestation bei BA 1 und ein Niederspannungstransformator angrenzend an die Abstellhalle im Neubau in BA 3 geplant. Der Transformator bei BA 1 muss dabei die Ladetechnik für 32 Busse versorgen, wofür eine Leistung von etwa 3.400 kW erforderlich ist. Der Transformator bei BA 3 benötigt für Versorgung der Ladegeräte für 62 Busse etwa 6.600 kW. Für die Verteilung zwischen Übergabepunkt und den beiden Transformatoren sind Mittelspannungsleitungen geplant.

Die nötigen Netzanschlusserweiterungen sollen dabei den Fahrzeughochlauf und die sukzessive Installation der Ladeinfrastruktur begleiten und in zwei Phasen stattfinden. In der ersten Phase, welche bis 2026 abgeschlossen sein soll, wird die Kapazität um 2.500 kVA erweitert, um die ersten 18 Ladepunkte aus BA 1 über den dortigen Trafo zu versorgen. In der zweiten Phase wird der Netzanschluss bis 2028 auf insgesamt 10 MVA ausgebaut, um sowohl die 14 weiteren Ladepunkte aus BA 1 als auch die insgesamt 62 Ladepunkte aus BA 3 und 4 über den zweiten Trafo bei BA 3 zu versorgen. Die Leistungserweiterung am Netzanschluss wurde ebenfalls mit dem örtlichen Verteilnetzbetreiber E.DIS Netz GmbH besprochen, der die Machbarkeit zugesagt hat. In beiden Phasen wird der Mittelspannungsan-

schluss voraussichtlich aus Richtung der Annahofer Straße gelegt werden, was bei der Verortung der Übergabestation berücksichtigt wurde. Für die erste Phase liegt bereits eine unverbindliche Kostenschätzung vor.

Für die bauliche Umsetzung stehen in Abhängigkeit der benötigten Leistung und Funktionen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Die Station neben BA 1 muss neben dem 2,5 MVA MS/NS-Trafo ebenfalls die Übergabestation enthalten und damit die technischen Mindestanforderungen der E.DIS berücksichtigen¹³. Als Einhausung kommen dabei Kompaktstationen oder begehbare Trafostationen in Frage, wobei ab einem umbauten Volumen von 50 m³ eine Baugenehmigung einzuholen ist. Beispiele für Trafostationen sind Anhang 7.7 zu entnehmen. Für die Trafostation bei BA 3, welche keinen Übergabepunkt zum Netzbetreiber enthalten muss, bieten sich Kompaktstationen an.

3.1.8 Kosten

Im Rahmen der Elektrifizierung der Busflotte und der damit einhergehenden Umgestaltung des Betriebshofs Germendorf, fallen verschiedene Investitionskosten an. Diese umfassen die Kosten für die bauwerklichen Veränderungen sowie die Kosten für die Ladeinfrastruktur und den zugehörigen Netzanschluss und sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Bau-, Ladeinfrastruktur- und Netzanschlusskosten für den Betriebshof Germendorf

Kostenpunkt	Kosten
Bau	25.639.898 €
Ladeinfrastruktur	14.177.109 €
Netzanschluss Phase I	437.500 €
Netzanschluss Phase II	1.953.125 €
Gesamtkosten	42.207.632 €

Die Baukosten für den Betriebshof Germendorf wurden auf Grundlage der VCDB-Studie ermittelt. Eine Aufschlüsselung der Kosten nach Kostengruppen entsprechend DIN 276 [11] sowie Erläuterungen zu den Abweichungen zur Kostenaufstellung der VCDB-Studie sind Anhang 7.4.1 zu entnehmen.

Die Möglichkeit zur Umrüstung der Bestandsabstellhalle steht unter dem Vorbehalt der Prüfung der Fachplaner*innen - insbesondere 1) der Integrierbarkeit der Pantographen aufgrund der Hallenhöhe, 2) der brandschutztechnischen Beurteilung der Integrierbarkeit von Brandabschnitten und 3) der bautechnischen Überprüfung der Traglast der Hallendecke zur Integration der Ladeinfrastruktur, insbesondere der Kabelverlegung. Sollte die Prüfung einen

¹³ Vergleiche Technische Mindestanforderungen für Strom: https://www.e-dis-netz.de/content/dam/revu-global/e-dis-netz/dokumente/19_1_EnWG.pdf, insbesondere TAB Mittelspannung: https://www.e-dis-netz.de/content/dam/revu-global/e-dis-netz/dokumente/TAB_2070.pdf

Abriss und Neubau der Abstellanlage zur Folge haben, würde dies Mehrkosten in Höhe von etwa 4.685.160 € verursachen. Eine Aufschlüsselung der Minder- und Mehrkosten bei einem Neubau der Abstellhalle im Vergleich zu dem geplanten Umbau befindet sich in Tabelle 27 in Anhang 7.4.1.

Die Gesamtkosten für den Betriebshof Germendorf wurden ohne Berücksichtigung des Umbaus der Geschäftsstelle sowie des Parkhauses ermittelt. Für letzteres werden Kosten in Höhe von 2.676.240 € angenommen. Dabei wurde von einem zweistöckigen Parkhaus (Erdgeschoss und 1. OG) und einer maximalen Ausnutzung der dafür zu Verfügung stehenden Fläche (vgl. Tabelle 23) ausgegangen. Die spezifischen Kosten sind Anhang 7.1.3 zu entnehmen.

Für die Ermittlung der Ladeinfrastrukturkosten wurde angenommen, dass die 94 Solo- und Gelenkbusse an 94 Ladepunkten geladen werden. Mit den weiteren Kostenannahmen in Anhang 7.1.3 ergeben sich die oben aufgeführten Investitionskosten. Die ermittelten Kosten für den Netzanschluss der Ladeinfrastruktur basieren auf einer unverbindlichen Kostenschätzung der E.DIS für Phase I. Diese sieht Anschlusskosten in Höhe von 50.000 € sowie einen Baukostenzuschuss von 125.000 € vor, welcher mit spezifischen Kosten von 50 €/kW berechnet wurde. Auf diesen Kostenannahmen wurde für Phase II aufgebaut. Zusammen mit den Kosten für die Trafostation mit Übergabestation, dem Risikozuschlag und den Bau- nebenkosten ergeben sich für die zwei Netzanschluss-Phasen Kosten entsprechend Tabelle 9. Eine genauere Auflistung der untergeordneten Kostenpunkte ist in Anhang 7.4.1 enthalten.

Entsprechend des Rahmenzeitplans wurden die in Tabelle 9 aufgeführten Baukosten auf die Jahre 2023 – 2030 verteilt (vgl. Anhang 7.4.1). Bei Umsetzung über mehrere Jahre wurden die Kosten dabei überwiegend gleichmäßig auf die einzelnen Jahre der Umsetzung aufgeteilt. In den reinen Planungsphasen fallen somit keine Kosten an. Abweichungen von diesem Vorgehen sowie die Zuweisung der einzelnen Kostengruppen zu den Projektphasen sind ebenfalls in Anhang 7.4.1 enthalten.

3.2 Gransee

3.2.1 Anforderungen für Abstellflächen und Werkstätten

Im Betriebshof Gransee sind derzeit 29 Diesel-Solobusse stationiert. Nach vollständiger Elektrifizierung steigt der Fahrzeugbestand auf 31 Elektrobusse an. Abbildung 29 zeigt die Entwicklung des Fahrzeugbestands am Standort.

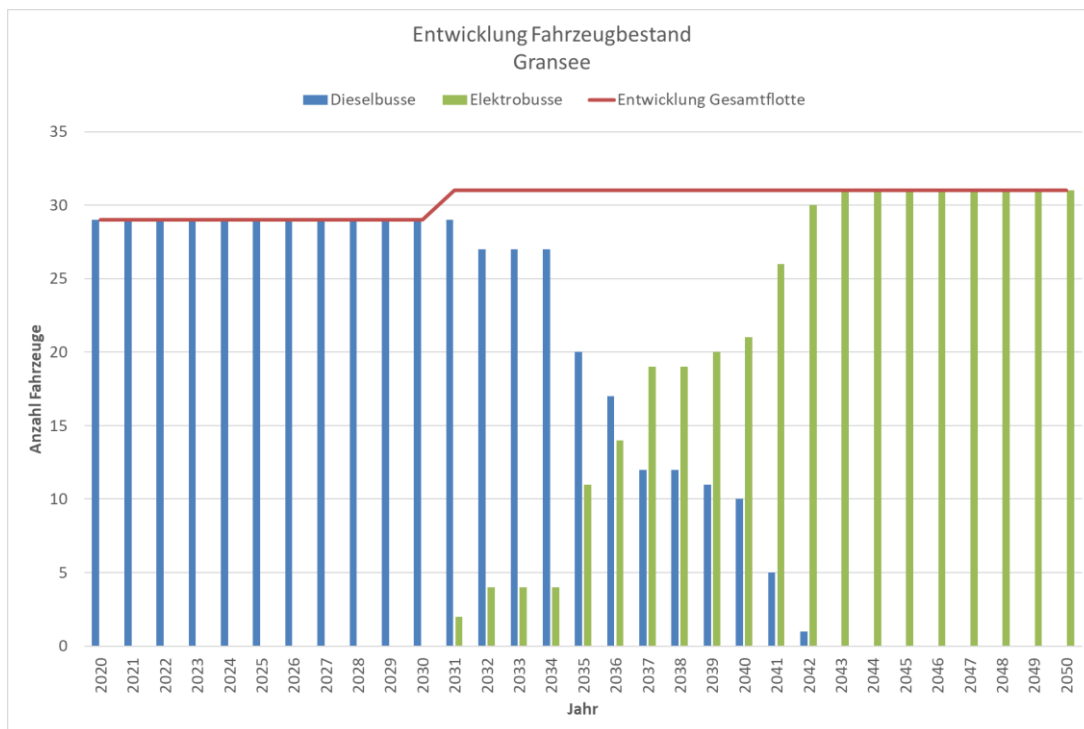


Abbildung 29: Entwicklung des Fahrzeugbestands in Gransee bis 2050 im Basisszenario

Die notwendige Steigerung des Fahrzeugbestands führt zu einem gesteigerten Flächenbedarf im Betriebshof. Ein zusätzlicher Flächenmehrbedarf entsteht durch den Aufbau der entsprechenden Ladeinfrastruktur. Bei der Umstellung auf eine vollständig elektrische Busflotte werden insgesamt ca. 850 m² zusätzliche Fläche im Depot benötigt, basierend auf einem durchschnittlichen Flächenbedarf pro Solobus von 47 m² [12] und einem Flächenbedarfsfaktor von 1,5 für den Aufbau von Ladeinfrastruktur.¹⁴

Bei einem Fahrzeugbestand von insgesamt 31 E-Bussen wird empfohlen, ca. zwei bis drei Werkstattspuren vorzuhalten. Die derzeitige Werkstatt weist zwei Spuren auf. Da eine Erweiterung nicht möglich ist, besteht somit ggf. Bedarf für einen Neubau. Die Werkstattspuren sind entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 3.1.3 für die Wartung von E-Bussen zu ertüchtigen.

¹⁴ Berechnungsgrundlage für durchschnittlichen Flächenbedarf Solobus: Länge 12m + 1m, Breite 2,55 + 1m [12]

3.2.2 Netzanschluss und Ladeinfrastruktur

Für Gransee wird ebenfalls eine Zwischenladung im Depot mit maximal 150 kW je Ladepunkt angenommen. Die resultierenden Leistungsverläufe der Ladegeräte sind in Abbildung 30 dargestellt. Im Falle der Spitzenlastkappung wird eine maximale gleichzeitige Leistung von 1.000 kW benötigt um die Fahrzeuge zu Laden, für das ungesteuerte Laden 1.170 kW. Die Spitzenlast des ungesteuerten Ladens liegt abends bei 3.300 kW, obwohl ausreichend Standzeit zum Nachladen zur Verfügung stände. Die Strategie sollte daher vermieden werden. Gemäß der Analysen aus Abschnitt 3.1.4 wird eine im Vergleich zur Spitzenlastkappung um etwa 80 % erhöhte Leistung empfohlen um auch flexible Ladestrategien wie das markt-basierte Laden realisieren zu können. Daher wird ein Netzanschluss für eine maximale Ladeleistung von 1.800 kW empfohlen. Unter Einbeziehung der Verluste¹⁵ ergibt sich eine für die Ladung der Busse zu berücksichtigende empfohlene Netzanschlussleistung von 3,4 MW. Die minimale Netzanschlussleistung um den Betrieb der Busse mit Spitzenlastkappung zu realisieren beträgt etwa 1,9 MW.

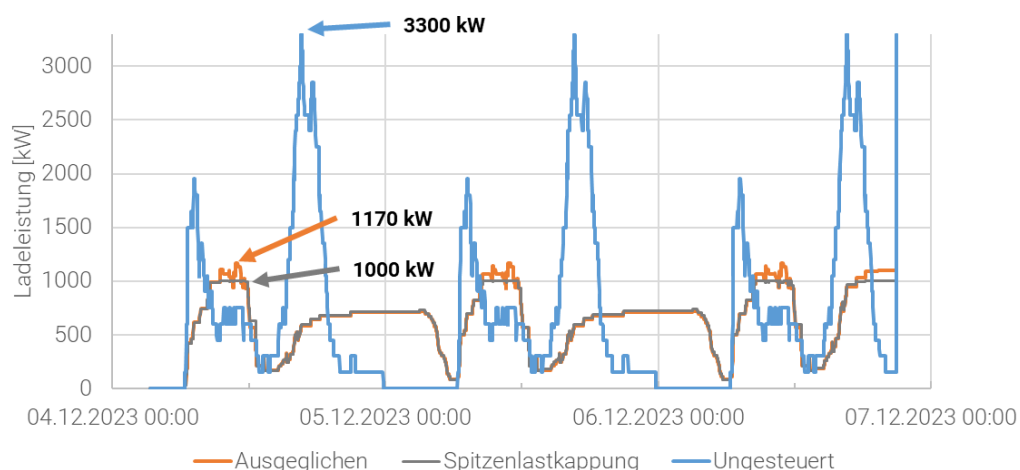


Abbildung 30: Leistungsverlauf der Ladegeräte am Betriebshof Gransee

Die maximale Ladeleistung je Bus beträgt ebenfalls 150 kW, die maximale durchschnittliche Leistung je Ladegerät inklusive Ladeverlusten beträgt 75 kW. Daher werden ebenfalls Ladegeräte mit je vier – acht Ladepunkten und einer Leistung von durchschnittlich 75 kW und maximal 150 kW je Ladepunkt empfohlen.

3.2.3 Zeitplan

Wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben, werden die ersten E-Busse am Standort Gransee 2031 (im Minimalszenario 2032) eingeführt. Bis dahin ist der Betriebshof so zu ertüchtigen, dass er den zuvor ermittelten Anforderungen entspricht. Es ist zu prüfen, ob der Bestand für einen

¹⁵ Siehe Abschnitt 3.1.7

Umbau geeignet ist, oder ob ein Neubau der Anlage in Betracht gezogen werden muss. Somit muss neben der Errichtung von Ladeinfrastruktur und der möglichen Erweiterung der Instandhaltung auch der Um- bzw. Neubau der Bestandsanlage betrachtet und innerhalb der Planung und Genehmigung berücksichtigt werden.

Folgende Abbildung 31 skizziert die wichtigsten Phasen und Meilensteine eines möglichen Um- bzw. Neubaus vor Einführung der ersten E-Busse.

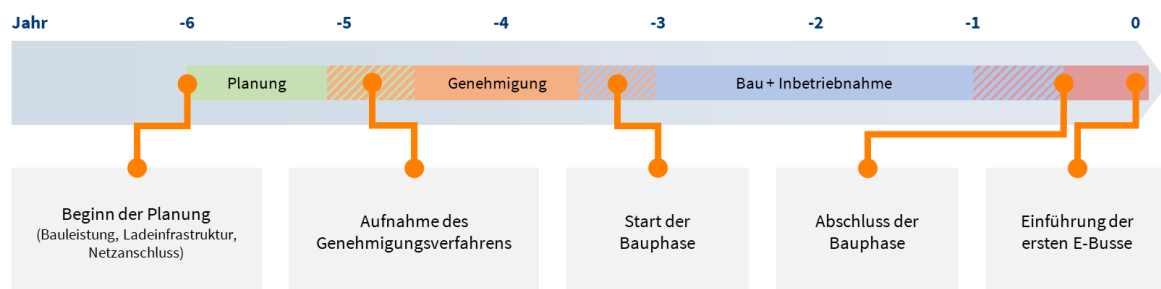


Abbildung 31: Zeitplan für den Um- bzw. Neubau des Betriebshofs Gransee

Zum aktuellen Planungsstand geht der Zeitplan von einer rechtzeitigen Fertigstellung der Baumaßnahmen am Betriebshof Gransee mit Einführung der ersten E-Busse aus. Voraussetzung hierfür ist die frühzeitige Aufnahme aller benötigten Genehmigungsverfahren (z.B. Baugenehmigung). Dieser Meilenstein ist aktuell ca. fünf Jahre vor Einführung terminiert. Ebenso ist ein früher Planungsbeginn ein wichtiger Faktor. Die Planungen müssen neben den Bauleistungen auch die detaillierte Auslegung der Ladeinfrastruktur sowie des Netzanschlusses beinhalten. Es wird empfohlen, den entsprechenden Netzbetreiber frühzeitig über das Vorhaben zu informieren und gemeinsame Gespräche zu führen. Nach aktuellem Stand sollten die Planungen ca. sechs Jahre vor Einführung der ersten E-Busse aufgenommen werden.

3.2.4 Kosten

Für die Baumaßnahmen sowie die Installation der Ladeinfrastruktur und des Netzanschlusses auf dem Betriebshof Gransee wurden gemäß der VCDB-Studie die in Tabelle 9 aufgeführten Kosten ermittelt. Die enthaltenen Kosten für die Ladepunkte wurden im Rahmen der VCDB-Studie für 35 anstelle von 31 Ladepunkte ermittelt. Aufgrund des generellen Flottenhochlaufs und der Vorhaltung von Reservefahrzeugen wird dies jedoch als konsistent mit den Annahmen für den Betriebshof Germendorf betrachtet, so dass die hier gezeigten Kosten eine konservative Abschätzung darstellen. Die Annahme für die Netzanschlusskosten werden ebenfalls aus der VCDB-Studie übernommen und als konservative Schätzung bewertet.

Tabelle 10: Bau-, Ladeinfrastruktur und Netzanschlusskosten für den Betriebshof Gransee

Kostenpunkt	Kosten
Bau	15.010.547 €
Ladeinfrastruktur	5.468.750 €
Netzanschluss	1.562.500 €
Gesamtkosten	22.041.797 €

3.2.5 Ausblick: Perspektivischer Einsatz von Wasserstoff

Unter den in dieser Studie angenommenen Rahmenbedingungen, welche den aktuellen Stand der Technik sowie die aktuelle Wasserstoffwirtschaft berücksichtigen, wird der Einsatz von Wasserstoff nicht empfohlen (vgl. Kapitel 1.3.2). Die Analyse der verschiedenen E-Bus-Konzepte zeigt jedoch, dass Wasserstoff unter sich ändernden Annahmen perspektivisch am Standort Gransee sinnvoll eingesetzt werden kann. Ein wichtiger Faktor hierbei ist der Preis, zu dem vorzugsweise grüner Wasserstoff bezogen werden kann.

Zudem erfordert die Errichtung von Wasserstoffinfrastruktur einen erheblichen Flächenmehrabbedarf. Wenn in Zukunft geeignete Flächen für den Bau einer Wasserstofftankstelle zur Verfügung stehen, wird die Einführung entsprechend erleichtert.

Es wird empfohlen, auch bei fortschreitender Elektrifizierung der Flotte der OVG und den damit einhergehenden Erfahrungen technologieoffen auf die Entwicklungen des Marktes zu reagieren.

3.3 Anforderungen für die Digitalisierung

Die Digitalisierung des Busbetriebs bietet eine gute Möglichkeit, die komplexer werdenden Anforderungen an den Betrieb zu überwachen, zu steuern und zu optimieren. Abbildung 32 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Systeme, welche hierfür zum Einsatz kommen. Die OVG verwendet bereits ein ITCS (Integrated Transport Control System) und ein Planungssystem. Durch die Elektrifizierung kommen dem Betriebshofmanagementsystem (BMS), dem Lade- und Lastmanagement sowie der Ladeinfrastruktur eine besondere Bedeutung zu.

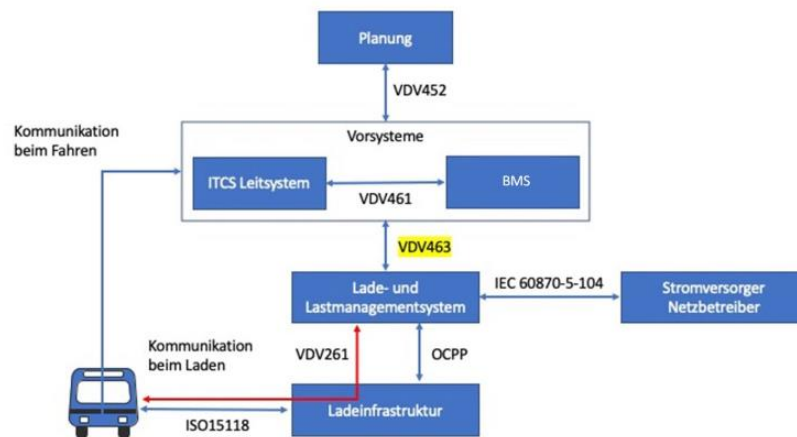


Abbildung 32: Ökosystem der digitalen Systeme im Busbetrieb [9]

3.3.1 Betriebshofmanagement

Ein Betriebshofmanagementsystem (BMS) ist eine Software, mit welcher die Prozesse auf dem Betriebshof von ÖPNV-Unternehmen abgebildet, organisiert, überwacht und optimiert werden können. Das BMS berücksichtigt hierbei alle Anforderungen der Disposition, des Fahrdienstes sowie der Werkstatt. Das Digitalisieren dieser Prozesse und damit die Einführung eines BMS, nimmt mit der Umstellung auf Elektrobusse immer mehr an Bedeutung zu. Auf einem elektrifizierten Betriebshof bildet das BMS die Schnittstelle zwischen Disposition und Lademanagementsystem (vgl. Abschnitt 3.3.2). So laufen im BMS die Informationen zum Fahrzeug, seinem Standort auf dem Hof, der Batteriekapazität, der geplanten Auslaufzeit am Morgen aber auch der zur Verfügung stehenden Ladepunkte (z.B. verfügbare Leistung) zusammen. Das BMS kann dem Fahrzeug somit z.B. die optimale Ladeposition zuordnen.

3.3.2 Lade- und Lastmanagement, IT- und Ladeinfrastruktur

Das Last- und Lademanagement berücksichtigt verschiedene Informationen und Randbedingungen, um schließlich jedem einzelnen Ladepunkt und damit Fahrzeug eine entsprechende Ladeleistung zuzuweisen. Der genaue Funktionsumfang ist dabei variabel und variiert je nach Kund*innenwunsch und Hersteller. Ebenso skalieren die Kosten mit dem Funktionsumfang. Mögliche Anforderungen sind:

Grundlagen

- kompatible und herstellerunabhängige Schnittstellen sowohl zu den Vorsystemen BMS und ITCS als auch zur Ladeinfrastruktur und den Bussen
- Kompatibilität zu Ladestellen welche OCPP 1.6 oder höher zertifiziert sind und per Ethernet angebunden werden können
- Sicherstellung der Funktion auch bei Unterbrechung der Internetverbindung (lokale Hardware und Software)
- Authentifizierung der Busse über deren MAC-Adresse
- Web User Interface für mobile Endgeräte und Desktop-Rechner
- Gesicherte Softwareupdates, sowie Wartung, Ersatzteilverfügbarkeit und Support
- Modularer Aufbau offen für nachträgliche Erweiterungen
- Nachrüstbarkeit, um auf externe Steuerbefehle reagieren zu können (Beispielsweise durch den VNB)

Funktionen Lademanagement

- Lademanagement unter Einbeziehung von: Verfügbarer Gesamtleistung am Netzanschluss/ Mittelspannungstransformator, maximale Ladeleistung je Ladegerät und Ladepunkt, erwartete Standzeit, Batteriezellen-Balancing und Vorkonditionierung, aktueller Batteriezustand: State of Charge (SoC) und State of Health (SoH), aktuelle Ladeleistung, Energiebedarf
- Für kostenoptimiertes Laden zusätzliche Schnittstelle zu: Strompreisen an der Börse, zukünftig gegebenenfalls zeitvariablen Netzentgelten
- Unterstützte Ladeziele:
 - Spitzenlastkappung mittels dynamischer bedarfsorientierter Lastzuweisung
 - Hochlastzeitfenster nach §19 Abs. 2 Strom-NEV
 - Marktorientiertes Laden nach Börsen-Strompreisen
- Manuelle Priorisierung durch den Nutzenden
- Steuerung der Ladeleistung je Ladepunkt für Ladegeräte mit mehreren Ladepunkten
- Mögliche Erweiterung für V2G-Anwendungen

Bei der Auslegung der IT- und Ladeinfrastruktur ist auf die Kompatibilität mit dem Last- und Lademanagement zu achten. Im Speziellen sollten die Ladegeräte für die Kommunikation mit dem Last- und Lademanagement OCPP 1.6 oder höher zertifiziert sein. Für die physische Kommunikation wird eine kabelgebundene Ethernet Anbindung empfohlen. Die Kommunikation mit den Bussen sollte den ISO 15118 Standards für die jeweiligen Ladeleistungen und Use Cases entsprechen.

4. Laden auf der Strecke

4.1 Ladeinfrastruktur und Platzangebot

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, soll die Linie 824 mittels Gelegenheitsladung elektrifiziert werden. Hierfür ist an den beiden Endhaltestellen S Hennigsdorf und Stralsunder Straße, Oranienburg Ladeinfrastruktur vorzusehen. Die jeweils benötigte Anzahl an Ladepunkten und deren erforderliche Leistung wird im Rahmen der Studie durch die Analyse der Umläufe der Linie 824 ermittelt. Zu berücksichtigende Faktoren sind die Streckenlänge und der Energieverbrauch der Busse sowie die Häufigkeit und Länge der Wendezeiten an den Endhaltestellen.

Abbildung 33 zeigt die benötigte Infrastruktur zur Zwischenladung schematisch. Typischerweise liegt der Netzanschluss für Leistungen über 200 kW in der Mittelspannung, weshalb zunächst eine Mittelspannungsübergabestation zum Netzbetreiber und ein MS/NS Transformator zu errichten sind. Beispiele für Trafohäuschen mit dieser Funktion sind in Anhang 7.7 dargestellt. An die Niederspannung wird anschließend eine Ladestation angeschlossen, welche aus 400 V Niederspannung die für die Ladung der Busse erforderliche Gleichspannung generiert. Mit dieser wird schließlich über die Ladehaube am Lademast und den Pantographen der Bus geladen. Mögliche Bauformen für Ladestation und Lademast sind in Anhang 7.8 dargestellt.

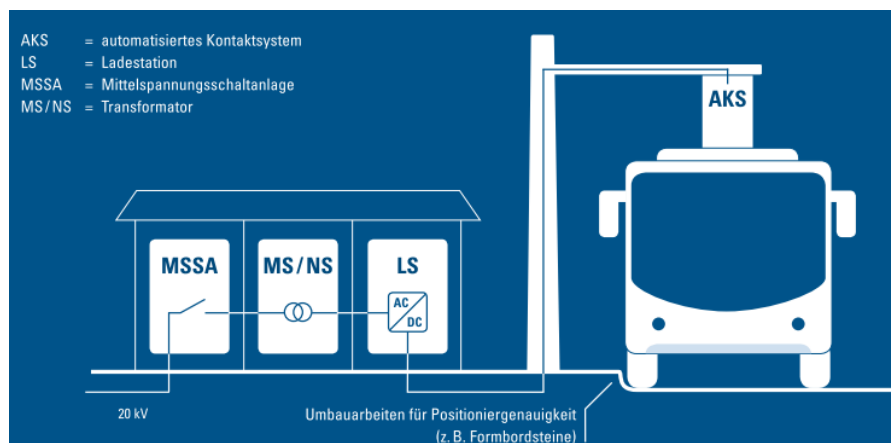


Abbildung 33: Schematischer Aufbau einer Ladestation zur Zwischenladung [20]

Beispielhaft wird im Folgenden die Dimensionierung für den S-Bahnhof Oranienburg beschrieben. Bei einer angenommenen doppelten Streckenlänge von 52 km (Worst-Case-Betrachtung) und einem konservativ angenommenen Verbrauch von 2 kWh/km, werden ca. 104 kWh pro Fahrt, zwischen zwei Lademöglichkeiten benötigt. Die durchschnittliche Wendezeit am S-Bahnhof Oranienburg beträgt ca. 20 Minuten. Es wird somit eine Ladeleistung von mindestens 300 kW bis 450 kW für die Zwischenladung benötigt.

Aus der Umlaufanalyse ist auch ersichtlich, dass über den Tag maximal zwei Busse gleichzeitig an der Haltestelle stehen. Für einen sicheren Ablauf wird der Bedarf somit auf zwei bis vier Ladepunkte (z.B. Pantographenladung) abgeschätzt.

Etwa 300 m von der Endhaltestelle S-Bahn Oranienburg entfernt befindet sich die Betriebshofanlage Stralsunder Straße. Hier kann die benötigte Ladeinfrastruktur zur Zwischenladung errichtet werden. Eine mögliche Abstellung von bis zu zehn Gelenkbussen und einem Solobus (inkl. Ladeinfrastruktur zur Pantographenladung) wäre realisierbar, wenn eine Ausfahrt über die Lindenstraße möglich ist. Diese maximale Ausbaustufe ist in Abbildung 34 dargestellt. Weitere Varianten der Abstellung sind im Anhang 7.2.2 zu finden. Perspektivisch kann der Standort auch für eine nächtliche Abstellung und Nachladung genutzt werden. Dazu wird empfohlen die Abstellfläche zu umzäunen und eine Videoüberwachung zu realisieren.

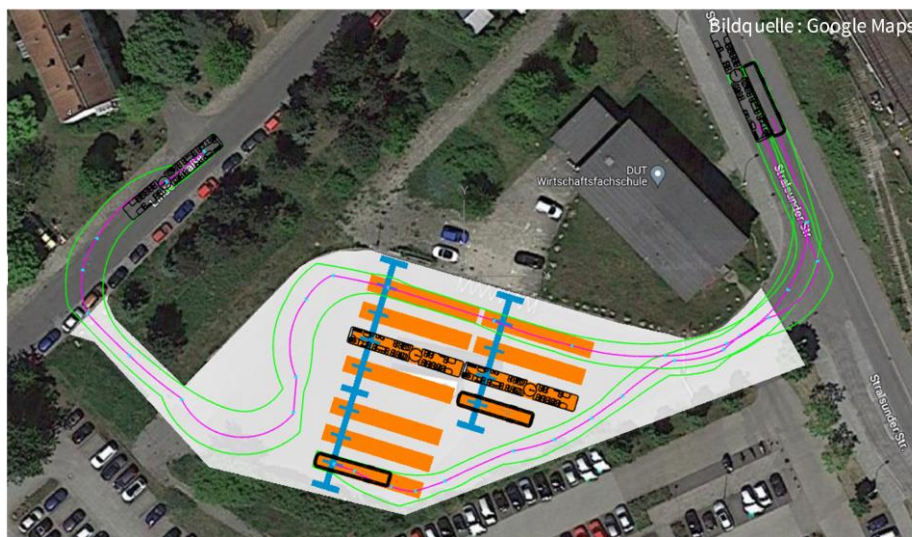


Abbildung 34: Beispielhafte Aufstellung von Ladeinfrastruktur an der Endhaltestelle S-Bahn Oranienburg

Die Endhaltestelle S-Bahn Hennigsdorf wird äquivalent betrachtet. Die Analyse der Umläufe ergibt auch hier einen Bedarf von zwei bis vier Ladepunkten mit jeweils 300 bis 450 kW Ladeleistung zur Umsetzung des Startkonzeptes der Linie 824. Aktuell bietet die Haltestelle Platz für drei Lademasten zur Pantographenladung. In Abbildung 35 ist dies schematisch dargestellt.



Abbildung 35: Beispielhafte Aufstellung von Ladeinfrastruktur an der Endhaltestelle S-Bahn Hennigsdorf

Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Netzanschlusserweiterung am Standort Stralsunder Straße¹⁶, kann die benötigte Netzkapazität frühestens 2028 zur Verfügung gestellt werden. Aus diesem Grund sind die Jahre 2026 und 2027 mit Ladeinfrastruktur lediglich am S-Bahnhof Hennigsdorf zu überbrücken. Dies stellt erhöhte Anforderungen an die Ladeinfrastruktur. Nach angepasster Analyse wird empfohlen, mindestens drei Ladepunkte in Hennigsdorf vorzusehen sowie die Stand-/Wendezeiten entsprechend zu erhöhen. Diese Situation stellt ebenfalls erhöhte Anforderungen an die Batteriekapazitäten der ersten E-Busse. Es wird empfohlen diese funktional auszuschreiben, sodass eine Mindestreichweite durch den Bushersteller garantiert wird.

4.2 Energieversorgung und Netzanschluss

Für die Dimensionierung des notwendigen Netzanschlusses für die Gelegenheitsladung an der Stralsunder Straße und dem S-Bahnhof Hennigsdorf wird eine Anzahl von drei Ladepunkten je Standort angenommen. Mit einer maximalen Leistung von jeweils 300 kW beträgt die maximale Ladeleistung 900 kW. Unter Berücksichtigung von 25 % Pufferleistung im Trafo (vgl. Abschnitt 3.1.7) und 10 % Verlusten wird somit eine Nennleistung des Transformators von ca. 1.200 kW ermittelt, welche ebenfalls vom Netzanschluss zur Verfügung gestellt werden können muss. In diesem Kontext wurde die Machbarkeit der Netzanschlusserweiterung mit den Verteilnetzbetreibern (VNB) diskutiert.

Der zuständige VNB für die Endhaltestelle in Hennigsdorf „Am Busbahnhof“ ist die Netzgesellschaft Hennigsdorf Strom mbH (NGHStrom), ein Tochterunternehmen von E.DIS und

¹⁶ Siehe folgenden Abschnitt 4.2

Stadtwerke Hennigsdorf (SWH). Die SWH sind zudem direkter Anrainer an die geplanten Ladestationen. In ersten Gesprächen wurde dabei eine gemeinschaftliche Umsetzung der Ladeinfrastruktur mit bestehender Netzanschlusskapazität der SWH ins Auge gefasst, die im Nachgang dieser Studie noch zu konkretisieren ist. Eine Machbarkeit in Vereinbarkeit mit dem Zeitplan ist dabei sehr wahrscheinlich.

Bezüglich der Anschlussenerweiterung in der Stralsunder Straße, Oranienburg, wurden Gespräche mit dem örtlichen VNB Stadtwerke Oranienburg geführt. Der Netzanschluss hier wird durch die hohe Auslastung in der lokalen Mittelspannungsleitung und die begrenzte Kapazität der vorgelagerten Netzebenen, insbesondere des Umspannwerkes beeinflusst. Nach dem Stand zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie, ist eine entsprechende Netzanschlussenerweiterung erst ab dem Jahr 2028 möglich. Der Anschlusspunkt am Mittelspannungsring des Netzbetreibers befindet sich an der Kreuzung Lehnitzstraße und Lindenstraße. Somit wird der Netzanschluss voraussichtlich aus Richtung der Lehnitzstraße gelegt. Möglichkeiten für die Positionierung der Übergabestation mit dem Trafohäuschen sind in Abbildung 43 in Anhang 7.2.2 dargestellt. Diese unterscheiden sich unter anderem in der benötigten Kabellänge des Anschlusses und somit voraussichtlich in den Anschlusskosten. Anhang 7.7 enthält Beispiele für Trafostationen verschiedener Bauart.

4.3 Kosten

Die Investitionskosten, welche für die Gelegenheitsladung an der Stralsunder Straße und am S-Bahnhof Hennigsdorf entstehen, sind in Tabelle 15 aufgeführt. Für die in Abschnitt 4.1 beschriebene Nachtabstellung in der Stralsunder Straße sind zudem Kosten zur Grundstückssicherung als Baukosten berücksichtigt (vgl. Tabelle 34 in Anhang 7.4.1). Die Investitionskosten für die Ladeinfrastruktur wurden für jeweils drei Pantographen und den Kostenannahmen aus Anhang 7.1.2 und 7.1.3 ermittelt.

Tabelle 11: Kosten für bauliche Maßnahmen, Netzanschluss und Ladeinfrastruktur an der Stralsunder Straße und dem S-Bahnhof Hennigsdorf

	Stralsunder Straße	S-Bahnhof Hennigsdorf
Bau	271.188 €	0 €
Kosten Ladeinfrastruktur	904.922 €	904.922 €
Kosten Netzanschluss	294.375 €	294.375 €
Gesamtkosten	1.470.485 €	1.199.297 €

Die aufgeführten Kosten sind ebenfalls in Anhang 7.4.2 entsprechend des Rahmenzeitplans auf die Jahre 2023 bis 2030 verteilt. Baukosten, welche einer mehrjährigen Bau- oder Nutzungsphase zugeordnet sind, sind gleichmäßig auf diese Jahre verteilt.

5. Handlungsempfehlungen und Fazit

Eine vollständige Elektrifizierung des Busbetriebs der OVG ist möglich. Die dazu am besten geeignete Technologie sind batteriebetriebene Busse mit einem Fokus auf Depotladern und Gelegenheitsladern auf ausgewählten Linien mit hohen Tagesfahrleistungen der Fahrzeuge und kurzen Taktzeiten wie der Linie 824.

Um die Vorgaben der CVD für die Beschaffung von Bussen mit sauberen Antriebstechnologien zu erfüllen, muss die OVG bis 2025 18 Elektrobusse beschaffen. Diese Studie empfiehlt dazu ein Startkonzept, bestehend aus zwölf Gelenkbussen und sechs Solobussen. Die Gelenkbusse werden primär im Gelegenheitseinsatz auf der stark frequentierten Linie 824 mit Zwischenladung in Hennigsdorf und Oranienburg eingesetzt, während die sechs Solobusse im Depot geladen werden und kürzere Umläufe bis 250 km bedienen. Um den Betrieb zu gewährleisten, soll zunächst die Bestandsabstellanlage brandschutztechnisch ertüchtigt und mit Ladeinfrastruktur ausgebaut werden. Die Bestandwerkstatt wird ebenfalls für die Wartung von Elektrobussen ausgestattet. Die Netzanschlüsse in Germendorf und Hennigsdorf können nach Rücksprache mit den Netzbetreibern bedarfsgerecht erweitert bzw. hergestellt werden. In Oranienburg kann sich der Netzanschluss durch Limitationen in den vorgelagerten Netzebenen bis zum Jahr 2027 verzögern. Um die Gelegenheitsladungen dennoch plangemäß zu realisieren wurden entsprechende Anpassungen vorgesehen.

In der anschließenden Hochlauf- und Ausbauphase wird der Anteil an Elektrobussen zunächst in Germendorf sukzessive gesteigert, begleitet von Neubauten für Werkstatt und Abstellanlagen. So kann bis 2030 ein moderner Betriebshof entstehen, der alle Anforderungen für den Betrieb mit ausschließlich elektrischen Fahrzeugen erfüllt. Am Standort Gransee sollen frühestens ab 2031 Elektrofahrzeuge eingesetzt werden. Um dies zu ermöglichen sollte 6 Jahre zuvor mit den Planungen begonnen werden.



Abbildung 36: Zeitstrahl der Elektrifizierung für das Basisszenario

6. Quellen

- [1] Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz, 2021, <https://www.gesetze-im-internet.de/saub-fahrzeugbeschg/SaubFahrzeugBeschG.pdf>, Zugriff am 29.11.2023
- [2] Europäische Union, Clean Vehicles Directive, Richtlinie (EU) 2019/1161, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L1161&from=DE>, Zugriff am 29.11.2023
- [3] EnergieAgentur.NRW GmbH, Elektrobusse in NRW - Technik und Marktentwicklung, 2020, https://www.elektromobilitaet.nrw/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/Brosch%C3%BCren_Flyer/E-Busse_in_NRW.pdf, Zugriff am 29.11.2023
- [4] VDV, VDV-Schrift 260: DC-Ladeinfrastruktur für Elektrobusse, 2022
- [5] Dritter Förderaufruf der Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr, Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, https://www.ptj.de/lw_re-source/datapool/systemfiles/cbox/7950/live/lw_bekdoc/3.-aufruf-busse-und-infrastruktur.pdf, 2023
- [6] Rahn, Sina; Kamenz, Sophie: *Was bedeutet der Treibhausgas-Quotenhandel für ÖPNV-Betriebe mit E-Bussen?*, Factsheet, Veröffentlicht im Rahmen des Projekts EuniS, 2023, <https://www.ikem.de/publikation/factsheet-thg-quotenhandel/>
- [7] M. Faltenbacher et al., Abschlussbericht: Programmbegleitforschung Innovative Antriebe und Fahrzeuge, 2021
- [8] Q. Dong et al., Cost, energy, and carbon footprint benefits of second-life electric vehicle battery use, iScience 26, 2023
- [9] VDV; VDV-Schrift 463: Ist Daten Schnittstelle zum Lademanagementsystem - Betriebshofmanagement & ITCS, 2021
- [10] Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., Lebedeva, N., Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth, EUR 29440 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97254-6, doi:10.2760/87175, JRC113360
- [11] DIN 276:2018-12: Kosten im Bauwesen, Beuth Verlag, Berlin, 2018.
- [12] VDV, VDV-Schrift 822: Richtlinie für den Bau von Omnibus-Betriebshöfen, 2016
- [13] <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2024/01/18/heavy-duty-vehicles-council-and-parliament-reach-a-deal-to-lower-co2-emissions-from-trucks-buses-and-trailers/>, Zugriff am 26.02.2024
- [14] Der Klima- und Transformationsfonds 2024, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/der-klima-und-transformationsfonds-2024-2250738>, Zugriff am 26.02.2024
- [15] electrive, Jetzt offiziell: Bund fördert keine elektrischen Lkw und Busse mehr, <https://www.electrive.net/2024/02/15/jetzt-offiziell-bund-foerdert-keine-elektrischen-lkw-und-busse-mehr/>, Zugriff am 26.02.2024
- [16] Förderprogramme für die Umstellung von LKWs und Bussen auf klimafreundliche Antriebe, Kleine Anfrage der Fraktion der CDU/CSU, 05.12.2023, <https://dserver.bundes-tag.de/btd/20/096/2009634.pdf>, Zugriff am 26.02.2024
- [17] Gräper Produktportfolio Kompaktstationen, https://www.graeper.de/assets/downloads/2211-16-Broschuere_Uebersicht_Kompaktstationen.pdf, Zugriff am 26.02.2024

- [18] ABB Trafostationen, <https://new.abb.com/docs/librariesprovider27/default-document-library/abb-css-catalogue-v3-de-external.pdf?sfvrsn=2>, Zugriff am 26.02.2024
- [19] Wirth, Begehbare Trafostationen, <https://www.wirth-fertigbau.de/begehbare-trafostationen/>, Zugriff am 26.02.2024
- [20] NOW GmbH, „Leitfaden für Busse mit alternativen Antrieben“, 2021, https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/03/Leitfaden-fuer-Busse-mit-alternativen-Antrieben_NOW.pdf, Zugriff am 26.02.2024
- [21] ABB, Pantograph Up, <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A4055&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>, Zugriff am 26.02.2024
- [22] Ekoenergetyka, Link Charger, <https://ekoenergetyka.com.pl/de/produkte/link-charger>, Zugriff am 26.02.2024
- [23] Berliner Woche, Mit dem Elektrobus nach Wilhelmsruh, https://www.berliner-woche.de/pankow/c-verkehr/mit-dem-elektrobus-nach-wilhelmsruh_a261214, Zugriff am 26.02.2024
- [24] electrive, Mainz: 23 E-Gelenkbusse von MAN starten Linienbetrieb, <https://www.electrive.net/2022/11/23/mainz-23-e-gelenkbusse-von-man-starten-linienbetrieb/>, Zugriff am 26.02.2024
- [25] electrive, Nahverkehr Schwerin eröffnet E-Bus-Depot, <https://www.electrive.net/2022/11/16/nahverkehr-schwerin-eroeffnet-e-bus-depot/>, Zugriff am 26.02.2024
- [26] Leipziger Zeitung, Ladeplatz für 50 Elektrobusse: Busport in Lindenau mit etwas Verspätung eröffnet, <https://www.l-iz.de/wirtschaft/mobilitaet/2022/06/ladeplatz-fuer-50-elektrobusse-busport-in-lindenau-mit-etwas-verspaetung-eroeffnet-457889>, Zugriff am 26.02.2024
- [27] Urban transport magazine, KVB Cologne: 53 new electric buses and new “charging ports”, <https://www.urban-transport-magazine.com/en/kvb-cologne-53-new-electric-buses-and-new-charging-ports/>, Zugriff am 26.02.2024
- [28] 3. Förderrunde des BMDV für saubere Busse beendet, Pressemitteilung BMDV, <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2024/009-kluckert-dritte-foerderrunde-fuer-saubere-busse-beendet.html>, Zugriff am 26.03.2024

7. Anhang

7.1 Annahmen

7.1.1 Kostenannahmen für Busse

Tabelle 12: Investitionskosten Busse

Fahrzeuggröße / Antriebsart	Batteriekapazität [kWh]	Investitionskosten ohne Batterie	Investitionskosten Batterie (Anschaffung und Batteriewechsel)	Investitionskosten Gesamt
KB (Diesel)	N/A	N/A	N/A	200.000 €
SL (Diesel)				320.000 €
LE Klasse I (Diesel) (15 m 3-Achser)				370.000 €
GL (Diesel)				420.000 €
LE Klasse II (Diesel) (12 m)				320.000 €
ÜL (Diesel)				320.000 €
KB (Elektro - Depotlader)	91,5	270.000 €	22.875 €	292.875 €
SL (Elektro - Depotlader)	480	460.000 €	120.000 €	580.000 €
SL (Elektro - Gelegenheitslader)	200	460.000 €	50.000 €	510.000 €
LE Klasse I (Elektro - Depotlader) (15 m 3-Achser)	515	535.000 €	128.750 €	663.750 €
GL (Elektro - Depotlader)	550	610.000 €	137.500 €	747.500 €
GL (Elektro - Gelegenheitslader)	250	610.000 €	62.500 €	672.500 €
LE Klasse II (Elektro - Depotlader) (12 m)	380	460.000 €	95.000 €	555.000 €
ÜL (Elektro - Depotlader)	380	460.000 €	95.000 €	555.000 €
Solo H2	N/A	N/A	N/A	580.000 €
Gelenk H2				747.500 €
Batteriekosten je kWh	250 €			

Tabelle 13: W&I Kosten und Energiekosten für Busse

Bustyp	Fahrleistung je Jahr [km]	Verbrauch* [l/km], [kWh/km], [kg H2/km]	Energiekosten [€/km]	W&I Kosten [€/km]	Energiekosten je Jahr [€]	W&I Kosten je Jahr [€]
KB (Diesel)	60.000	0,21	0,42 €	0,14 €	25.200 €	8.400 €
SL (Diesel)	65.000	0,42	0,84 €	0,28 €	54.600 €	18.200 €
LE Klasse I (Diesel) (15 m 3-Achser)	70.000	0,49	0,97 €	0,32 €	67.900 €	22.050 €
GL (Diesel)	75.000	0,55	1,10 €	0,35 €	82.500 €	26.250 €
LE Klasse II (Diesel) (12 m)	75.000	0,42	0,84 €	0,28 €	63.000 €	21.000 €
ÜL (Diesel)	75.000	0,42	0,84 €	0,28 €	63.000 €	21.000 €
KB (Elektro - Depotlader)	60.000	0,50	0,16 €	0,14 €	9.600 €	8.400 €
SL (Elektro - Depotlader)	65.000	1,40	0,45 €	0,28 €	29.120 €	18.200 €
SL (Elektro - Gelegenheitslader)	65.000	1,40	0,45 €	0,28 €	29.120 €	18.200 €
LE Klasse I (Elektro - Depotlader) (15 m 3-Achser)	70.000	1,75	0,56 €	0,29 €	39.200 €	20.300 €
GL (Elektro - Depotlader)	75.000	2,10	0,67 €	0,30 €	50.400 €	22.500 €
GL (Elektro - Gelegenheitslader)	75.000	2,10	0,67 €	0,30 €	50.400 €	22.500 €
LE Klasse II (Elektro - Depotlader) (12 m)	75.000	1,40	0,45 €	0,28 €	33.600 €	21.000 €
ÜL (Elektro - Depotlader)	75.000	1,40	0,45 €	0,28 €	33.600 €	21.000 €
Solo H2	65.000	0,08	0,64 €	0,28 €	41.600 €	18.200 €
Gelenk H2	75.000	0,12	0,96 €	0,30 €	72.000 €	22.500 €
Diesel Kosten [€/l]	2,00 €	Stromkosten [€/kWh]	0,32 €	Wasserstoffkosten [€/kg H2]	8,00 €	
* Mittlerer Verbrauch übers Jahr						

Tabelle 14: Förderung Busse nach [5]

Fahrzeuggröße / Antriebsart	Fahrzeugklasse	Dieselreferenz	Preisobergrenze	Fördersumme
KB (Elektro - Depotlader)	Klasse M3 Klasse B	220.000 €	450.000 €	58.300 €
SL (Elektro - Depotlader)	Klasse M3 Klasse 1	230.000 €	570.000 €	272.000 €
SL (Elektro - Gelegenheitslader)	Klasse M3 Klasse 1	230.000 €	570.000 €	224.000 €
LE Klasse I (Elektro - Depotlader) (15 m 3-Achser)	Klasse M3 Klasse 1	230.000 €	570.000 €	272.000 €
GL (Elektro - Depotlader)	Klasse M3 Klasse 1	320.000 €	730.000 €	328.000 €
GL (Elektro - Gelegenheitslader)	Klasse M3 Klasse 1	320.000 €	730.000 €	282.000 €
LE Klasse II (Elektro - Depotlader) (12 m)	Klasse M3 Klasse 2	230.000 €	570.000 €	260.000 €
ÜL (Elektro - Depotlader)	Klasse M3 Klasse 2	230.000 €	570.000 €	260.000 €
Solo H2	Klasse M3 Klasse 1	230.000 €	590.000 €	280.000 €
Gelenk H2	Klasse M3 Klasse 1	320.000 €	800.000 €	342.000 €

7.1.2 Kosten für Energie und Ladeinfrastruktur

Tabelle 15: Netzanschlusskosten

	Baukosten (Kabelverlegung)	Baukostenzuschuss	Trafostation mit Übergabestation und weiteren Einbauten	Risikozuschlag und Baunebenkosten	Gesamtkosten	Anschlussleistung [kW]	Kommentar
Betriebshof Germendorf Phase 1	50.000 €	125.000 €	150.000 €	112.500 €	437.500.€	2.500	Baukosten und BKZ Kostenschätzung durch eDis
Betriebshof Germendorf Phase 2	210.000 €	375.000 €	800.000 €	568.125 €	1.953.125 €	7.500	Hochrechnung basierend auf Kostenschätzung eDis, zum aktuellen Zeitpunkt keine Kostenschätzung durch VNB mgl.
Oranienburg, Stralsunder Straße	50.000 €	60.000 €	100.000 €	84.375 €	294.375.€	1.200	
Hennigsdorf, Am Busbahnhof	50.000 €	60.000 €	100.000 €	84.375 €	294.375.€	1.200	
Betriebshof Gransee	-	-	-	-	1.000.000.€	3.400	Annahme aus VCDB-Studie übernommen (für 3 MW)

Tabelle 16: Investitionskosten Photovoltaik und stationäre Speicher

Bezeichnung	Investitionskosten	Lebensdauer	Wartungs- und Instandhaltungskosten	Kommentar
PV Anlage inklusive Elektronik und Installation	980 €/kW	20 Jahre	2 % der Investitionskosten pro Jahr	
Stationäre 2nd Life Batteriespeicher	285 €/kWh	16 Jahre	2 % der Investitionskosten pro Jahr	Die Kosten enthalten nicht die Anschaffung der gebrauchten Batteriezellen

Tabelle 17: W&I Kosten und Nebenkosten für Bauwerke und LIS

W&I Kosten LIS	2 % pro Jahr bezogen auf Investitionskosten
Risikozuschlag (auf alle Netzanschlüsse und Installation LIS)	25 %
Baunebenkosten (auf alle Netzanschlüsse und Installation LIS): Bauherrenaufgaben, Vorbereitung der Objektplanung, Objektplanung, Fachplanung, Allgemeine Baunebenkosten	25 %

Tabelle 18: Investitionskosten Ladeinfrastruktur

LP-Kosten je kW:	650 €	Zusätzlich für Installation:	35 %
Typ	Leistung in kW	Investitionskosten je Ladepunkt	Investitionskosten Gesamt
Depot	150	97.500 €	150.820 €
Gelegenheitsladung	300	195.000 €	301.641 €

7.1.3 Baukosten

Tabelle 19: Annahmen für die Ermittlung der Baukosten

KG	Kostenpunkt	Kosten
214	Herrichten Geländeoberfläche	25 €/m ²
300	Neubau Abstellanlage	110 €/m ³
	Umbau Abstellhalle	110 €/m ³
	Brandschutzwand	250 €/m ³
510	Abtrag Bahndamm	45 €/m ³
530	Sonstiges	50 €/m ²
540	Zaun	60 €/m ²
	Tor	50.000 €/Stk.
557	Mobile Überwachung: Liefer- und Installationsgebühren	900 €
	Mobile Überwachung	690 €/Monat
-	Neubau Parkhaus	622 €/m ²

* KG, welcher Kostenpunkt zugeordnet wurde.

Tabelle 20: Annahmen für Kostenzuschläge

KG	Kostentyp	Aufschlag	Verrechnung mit:
200 - 600	Sonstiges und Risiko-zuschlag	25,0 %	Summe Baukosten KG 200-600
710	Bauherrenaufgaben	6,5 %	Summe Baukosten KG 200-600 inkl. Risiko-zuschlag
720	Vorbereitung der Objektplanung	0,5 %	
730	Objektplanung	16,0 %	
740	Fachplanung	0,5 %	
760	Allgemeine Baunebenkosten	1,5 %	

7.1.4 Emissionen

Tabelle 21: Annahmen und Daten für die Berechnung der Emissionen [7]

Prozessgröße	Annahme CO ₂ -Äq,-emission [kg]	Annahme NO _x -emission [kg]	Annahme PM 2,5-emission [kg]
Herstellung (Angaben pro Bus)			
Diesel, 12m	46.000	Lokale Emissionen werden nur im Betrieb betrachtet	
Diesel, 18m	66.000		
Elektrisch Depot, 12m	70.000		
Elektrisch Depot, 18m	98.000		
Elektrisch Zwischenlader, 12m	70.000		
Elektrisch Zwischenlader, 18m	98.000		
Betrieb (Angaben pro Kilometer)			
Diesel, 12m	1,1	0,000874	0,0000068
Diesel, 18m	1,44	0,000734	0,0000077
Elektrisch Depot, 12m	Abhängig vom Strommix	Lokal emissionsfreier Betrieb	
Elektrisch Depot, 18m	Abhängig vom Strommix		
Elektrisch Zwischenlader, 12m	Abhängig vom Strommix		
Elektrisch Zwischenlader, 18m	Abhängig vom Strommix		
Stromerzeugung, inkl. Vorkette (Angaben je kWh)			
Deutscher Strommix, 2020	0,426	Lokale Emissionen werden nur im Betrieb betrachtet	
100% Photovoltaik	0,036		

Tabelle 22: Verbrauchs- und Effizienzdaten für ökologische Bewertung

Bezeichnung	Stromverbrauch, netzseitig	Jahresfahrleistung	Nutzungsdauer
Dieselbus, 12 m	-	80.000 km	14 Jahre
Dieselbus, 18 m	-	76.000 km	
Elektrisch Depot, 12 m	2,01 kWh/km	69.670 km	
Elektrisch Depot, 18 m	2,51 kWh/km	64.990 km	
Elektrisch Zwischenlader, 18 m	2,39 kWh/km	107.630 km	
Effizienz			
Energieeffizienz Ladeinfrastruktur	88 %		
Mehrverbrauch Batteriebalancing und Vorkonditionierung	10 %		Bereits beinhaltet in Ver- brauch Elektrobusse

7.2 Kartenansichten

7.2.1 Germendorf Details

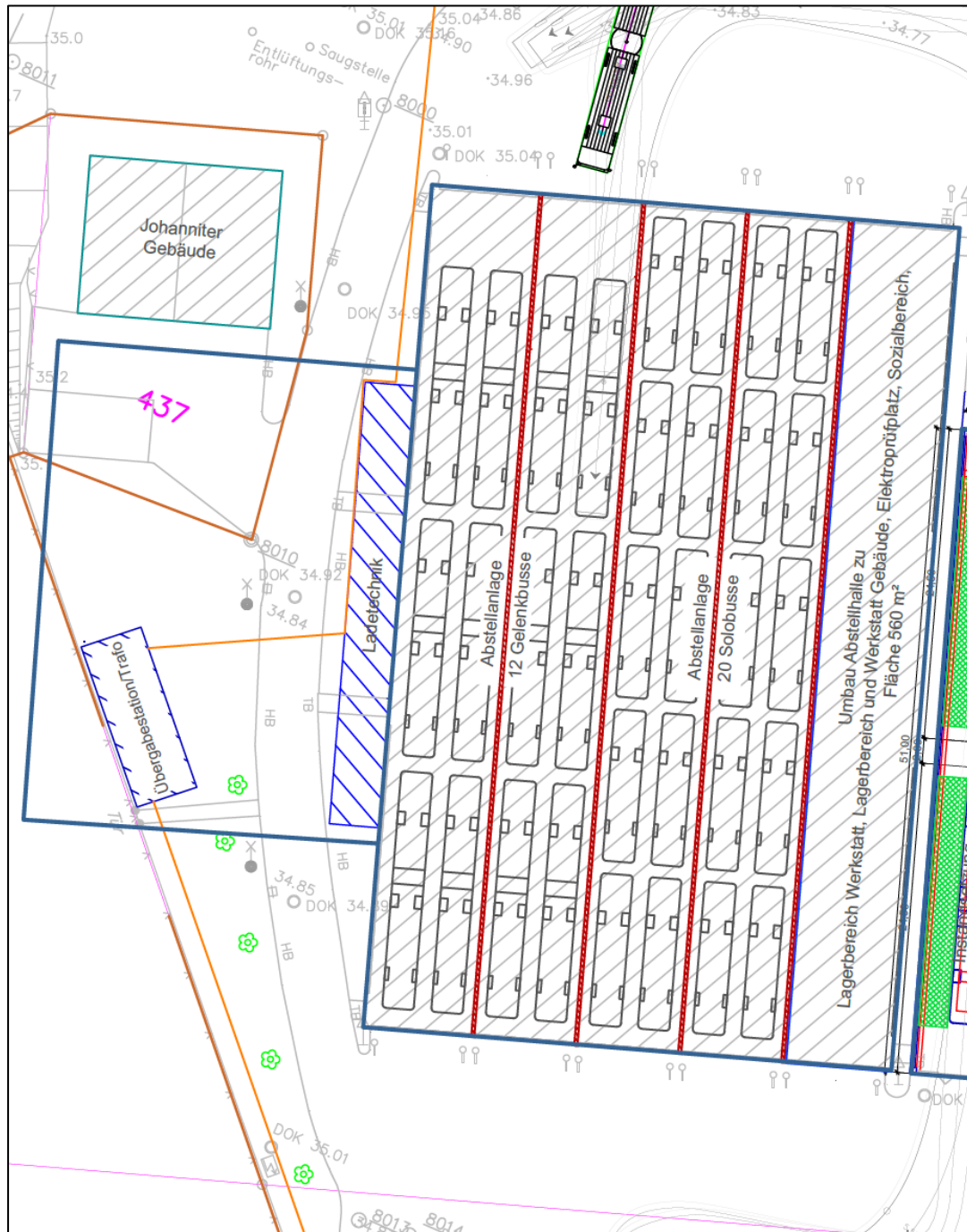


Abbildung 37: Germendorf Detailansicht Bauabschnitt 1

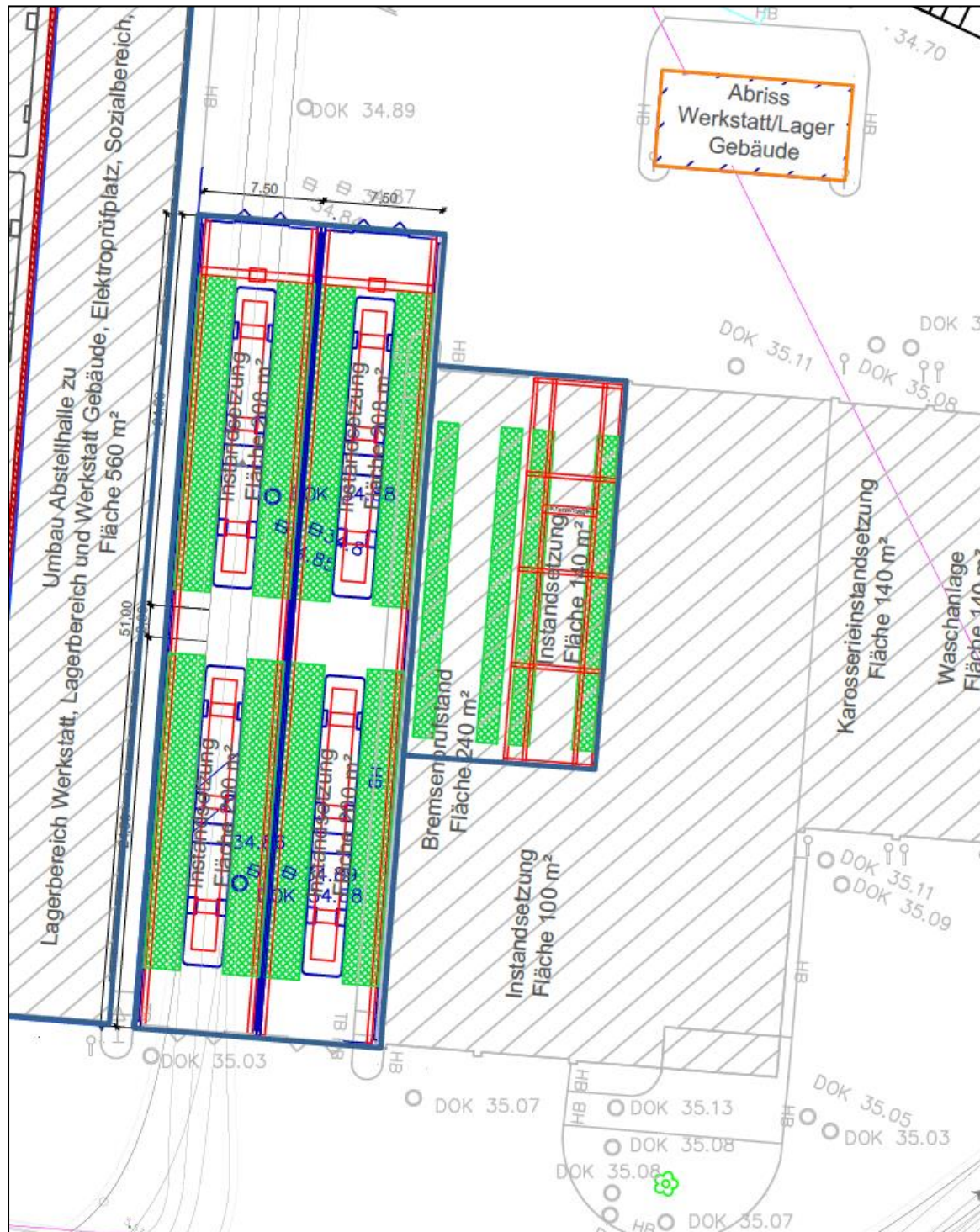


Abbildung 38: Germendorf Detailansicht Bauabschnitt 2

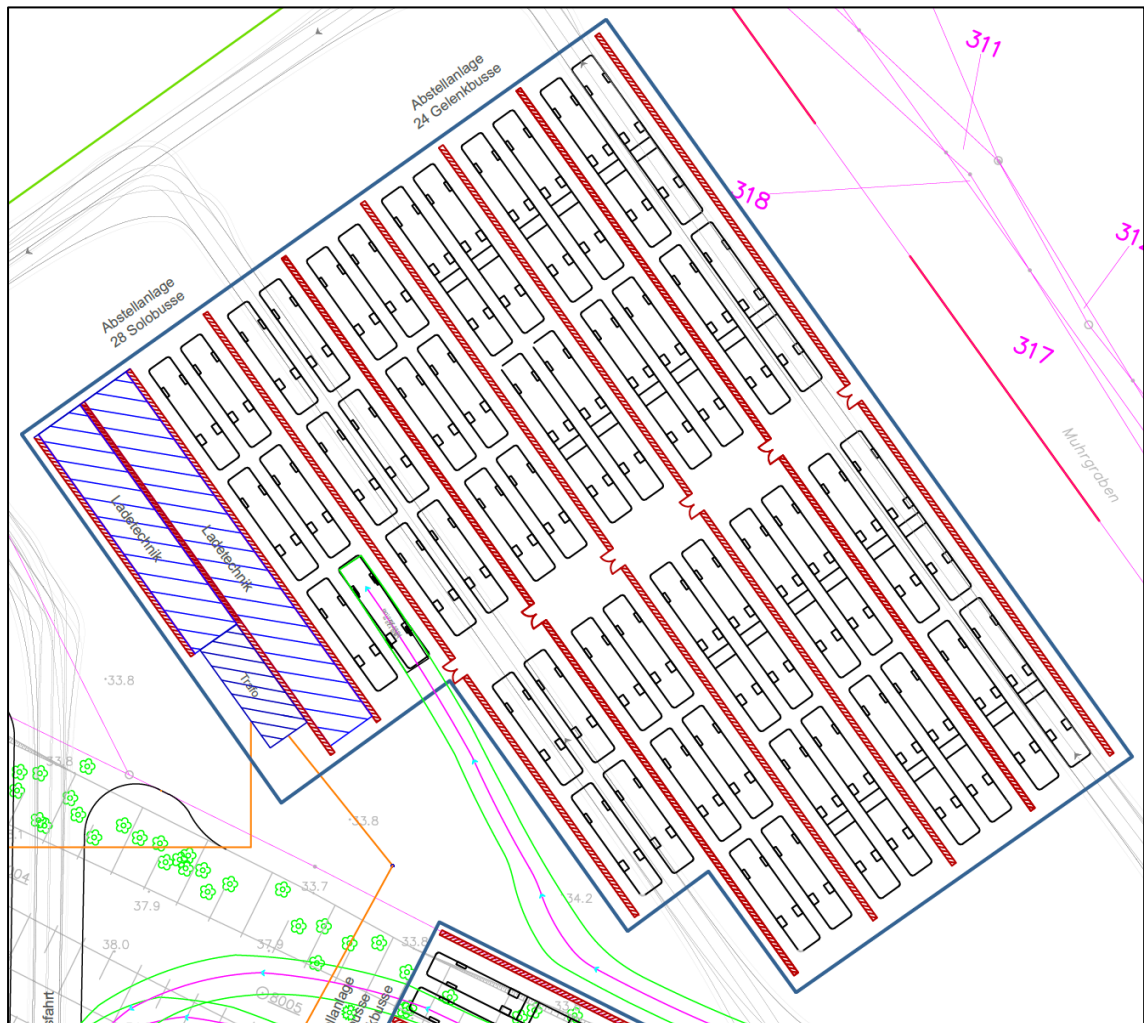


Abbildung 39: Germendorf Detailansicht Bauabschnitt 3

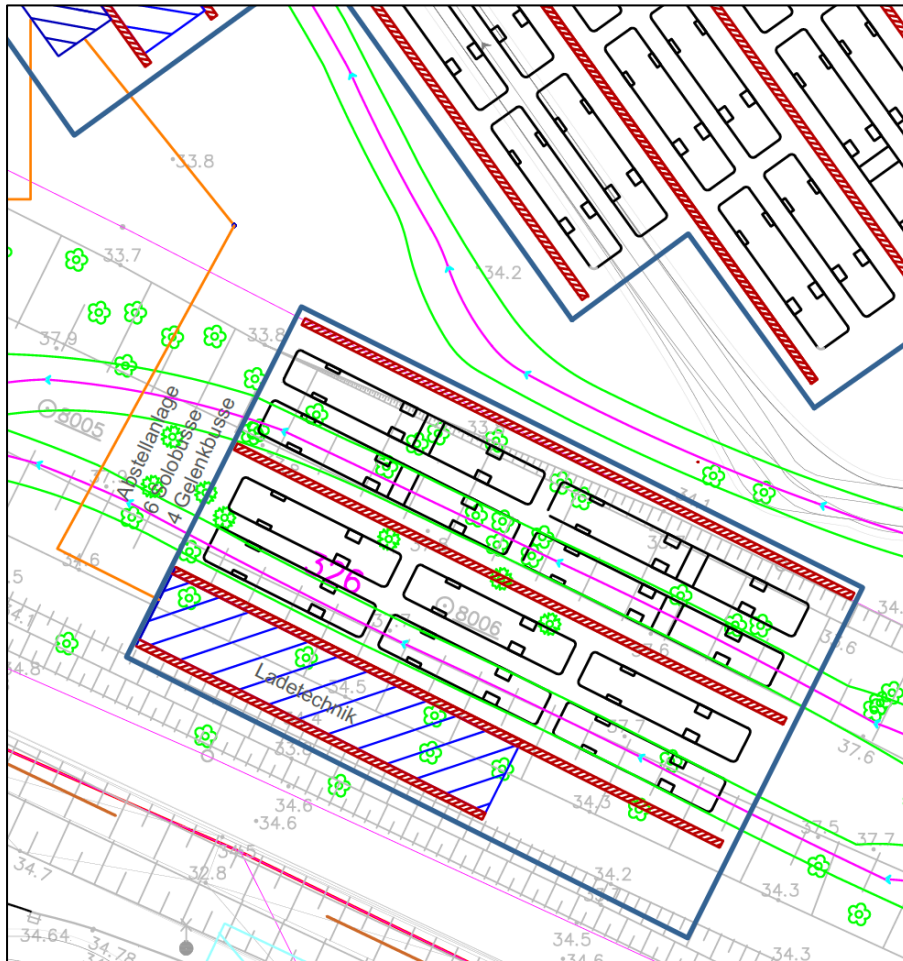


Abbildung 40: Germendorf Detailansicht Bauabschnitt 4

Tabelle 23: Bauwerksspezifikationen

BA	Bezeichnung	Grundfläche [m²]	Gebäudehöhe [m]
0	Werkstatt Bestand	1.670	-
1	Abstellhalle Bestand	2.880	5,5
2	Werkstatt Neubau	850	-
3	Abstellhalle Neubau 1	5.287	7
4	Abstellhalle Neubau 2	1.570	7
5	Parkhaus	2.280	-
6	Bürogebäude		-

Tabelle 24: Spezifikationen der Fläche Flur 75 und des abzutragenden Bahndammabschnitts

Beschreibung	Wert
Fläche Flur 75	8.384 m²
Umfang Flur 75	540 m
Abzutragendes Volumen des Bahndamms	11.079 m³ (davon 9.479 m³ zwischen Zufahrten)

7.2.2 Germendorf Minimalszenario Stand 2030

Für den Stand 2030 wurden zusätzlich grüne Punkte zur Kennzeichnung von Stellplätzen mit Ladepunkten eingeführt, da in diesem Szenario im Jahr 2030, anders als im Basisszenario, noch nicht alle Stellplätze elektrifiziert sind.



Abbildung 41: Germendorf BA 1 und BA 2 im Minimalszenario, Stand 2030



Abbildung 42: Germendorf BA 3 und fehlender BA 4 im Minimalszenario, Stand 2030

7.2.3 Oranienburg „Stralsunder Straße“



Abbildung 43: Stralsunder Straße - Mögliche Aufstellflächen für Trafohäuschen



Abbildung 44: Stralsunder Straße Variante 1: 4 Ladepunkte (GL) und Ausfahrt über Lindenstraße mit Ladestationen/Trafo (gelb) und möglichem Leitungsverlauf (grün)

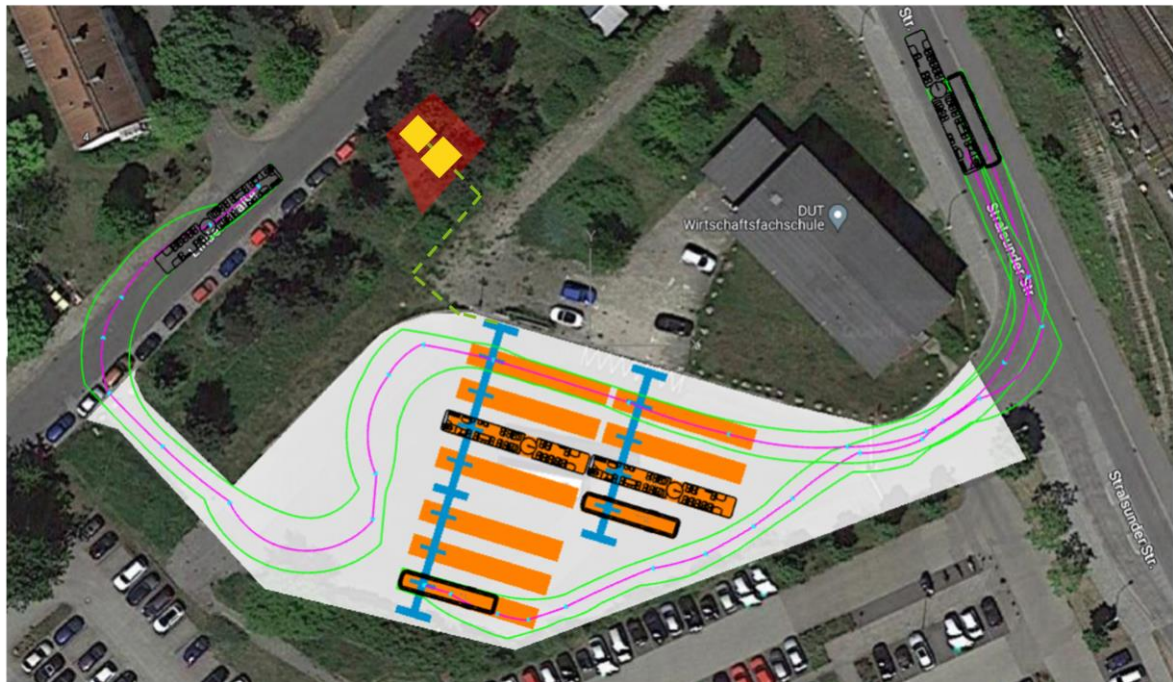


Abbildung 45: Stralsunder Straße Variante 2: 11 Ladepunkte (10 GL, 1 SL) und Ausfahrt über Lindenstraße mit Ladestationen/Trafo (gelb) und möglichem Leitungsverlauf (grün)



Abbildung 46: Stralsunder Straße Variante 3: 8 Ladepunkte (GL), keine Ausfahrt über Lindenstraße möglich

7.2.4 Hennigsdorf „Am Busbahnhof“

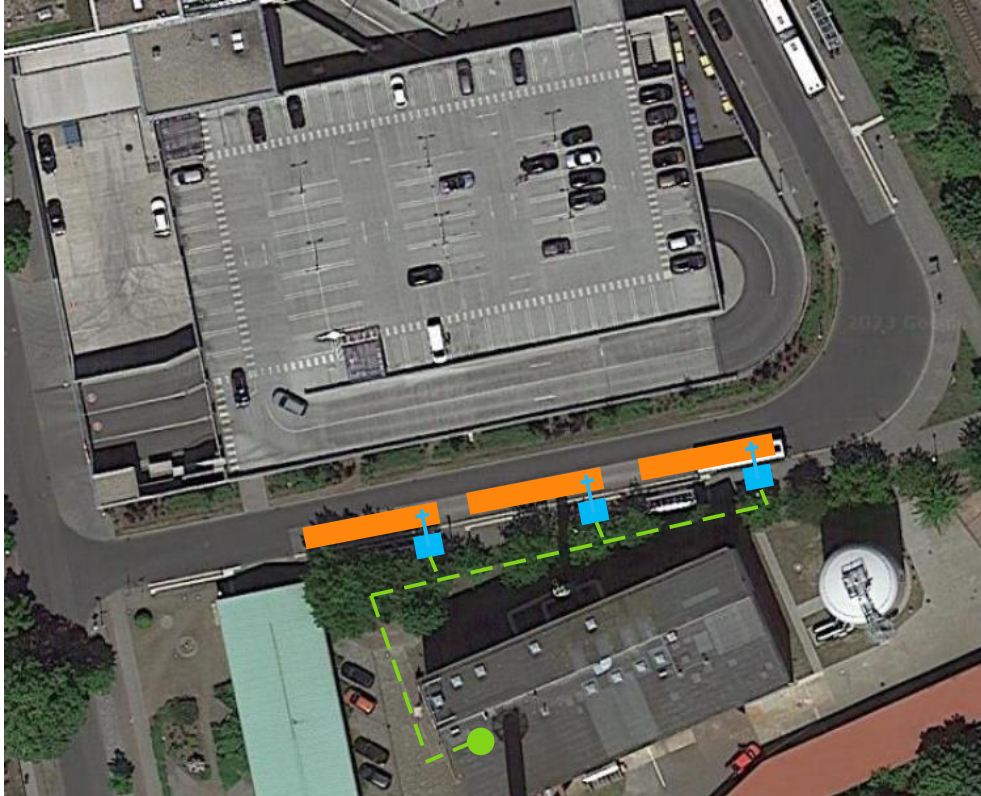


Abbildung 47: Haltestelle Hennigsdorf „Am Busbahnhof“ mit Ladestationen (blau) und möglichem Leitungsverlauf (grün)

7.3 Photovoltaik, Stationäre Speicher und elektrische Betriebsmittel

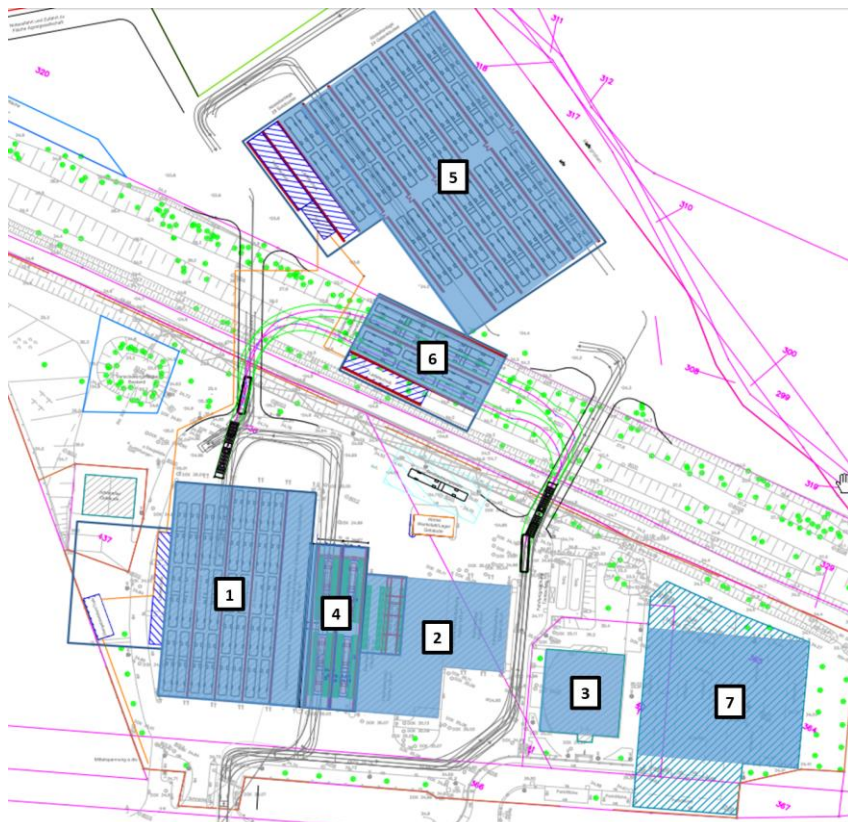


Abbildung 48: Übersicht der betrachteten Dachflächen zur Integration von Photovoltaik

Tabelle 25: Daten zur Ermittlung des PV-Potentials auf Dachflächen

Nr.	Bezeichnung	Dachfläche [m²]	Nutzungs-grad	Status	Potential [kWp]
1	Abstellhalle Bestand	3.050	60 %	Bestandsgebäude ohne PV	295
2	Werkstatt Bestand	1.670	36 %	Bestandsgebäude ohne PV	82
3	Bürogebäude	590	20 %	Bestandsgebäude mit PV	21
4	Werkstatt Neubau	850	80 %	Möglicher Neubau	77
5	Abstellhalle Neubau 1	4.570	80 %	Möglicher Neubau	411
6	Abstellhalle Neubau 2	870	80 %	Möglicher Neubau	75
7	Parkhaus	2.070	80 %	Möglicher Neubau	186
					1146

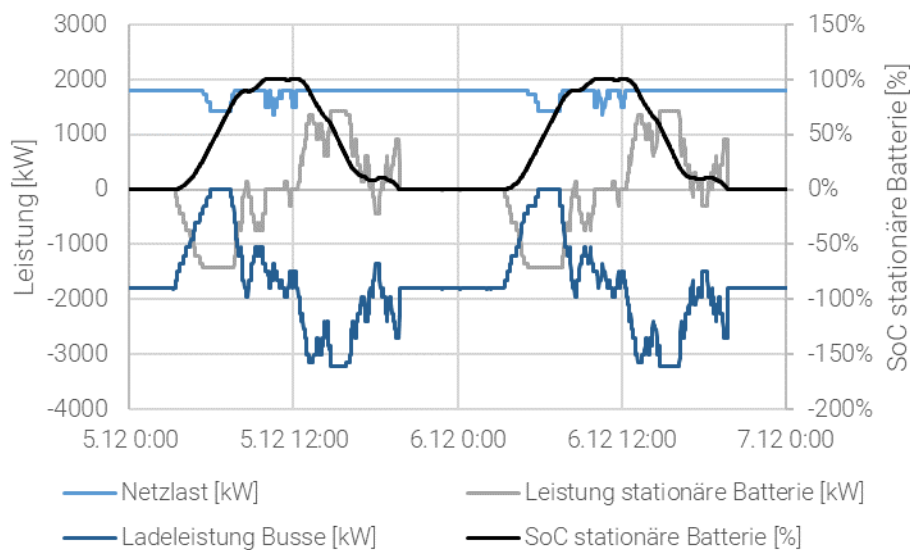


Abbildung 49: Leistungsverläufe zur Spitzenlastkappung mit stationären Batterien (Germendorf)

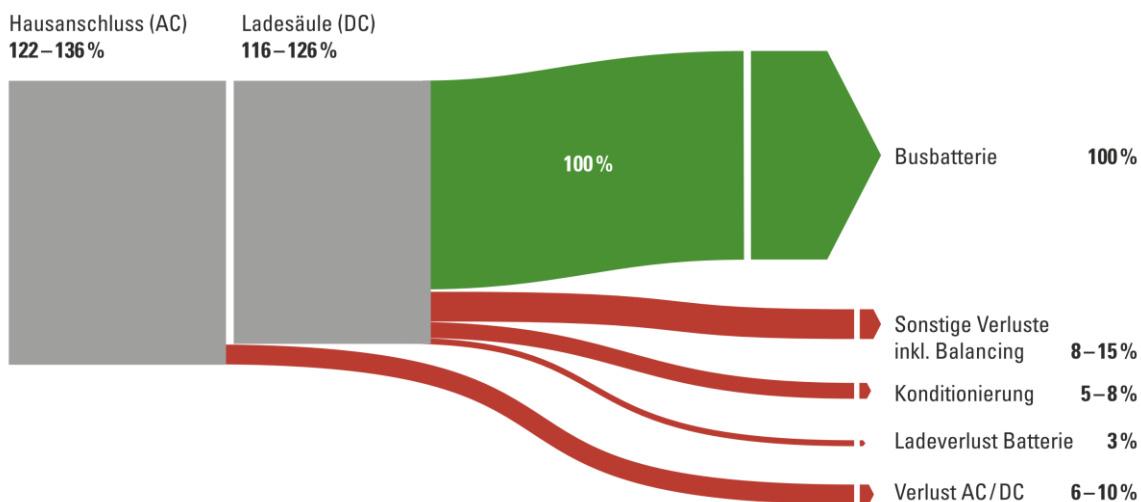


Abbildung 50: Sankey-Diagramm zu Ladeverlusten nach [7]

7.4 Investitions- und Betriebskosten

7.4.1 Kostenrahmen Baukosten Germendorf und Stralsunder Straße

Abweichungen der Investitionskosten im Vergleich zur VCDB-Studie

In Tabelle 26 sind die Kostengruppen aufgeführt, in welchen Abweichungen zu den Kosten der VCDB-Studie bestehen. Diese Abweichungen beruhen auf Änderungen bezüglich der geplanten Bau- und Umbaumaßnahmen im Rahmen dieses Projekts. So sind durch die Veränderung der Gebäudegrundfläche für die bisher geplante größere Abstellhalle und die nun zusätzliche kleine Abstellhalle in BA 3+4 die Kosten in KG 214 und 300 gestiegen. In KG 300 sowie den übrigen in Tabelle 26 aufgeführten Kostengruppen sind außerdem zusätzliche

Kosten für die folgenden Maßnahmen enthalten: Die Errichtung von Brandschutzwände in allen Abstellhallen, den neu geplanten Abtrag des Bahndamms zwischen den Zufahrten zum nördlichen Teil des Betriebshofs sowie den Bau, Rückbau, die Umzäunung und die Überwachung der Abstellfläche südlich der Annahofstraße. Die Flächen und spezifischen Kosten, welche für die Kostenermittlung hinzugezogen wurden, sind Tabelle 19, Tabelle 20, Tabelle 26 und Tabelle 27 zu entnehmen.

Tabelle 26: Kosten in Abweichung zur VCDB-Studie (ohne Berücksichtigung der Kosten für Netzanschluss und Ladeinfrastruktur)

KG	Bezeichnung/ Kostenpunkt	VCDB-Studie	OVG 2030
214	Herrichten der Geländeoberfläche	136.750 €	246.425 €
300	Bauwerk - Baukonstruktionen		
	Umbau Teil Abstellhalle für Elektrobusse	*	380.600 €
	Neubau Abstellanlage 1 **	3.102.000 €	5.089.490 €
	Neubau Abstellanlage 2 (auf Bahndamm)	*	1.468.775 €
510	Erdbau		
	Erdbau: Bahndamm abtragen	72.000 €	526.545 €
530	Oberbau, Deckschichten		
	Sonstiges ***	300.000 €	419.200 €
540	Baukonstruktionen		
	Einfriedungen: Zaun	36.000 €	68.400 €
	Einfriedungen: Zaun	50.000 €	100.000 €
557	Kommunikations-, sicherheits- und Informationstechnische Anlagen, Automation	25.000 €	75.580 €
570	Vegetationsflächen	45.000 €	170.760 €

* nicht in VCDB-Studie enthalten

** Entspricht „Umbau Teil Abstellhalle“ in VCDB-Studie

*** Errichten provisorischer Flächen

Tabelle 27: Gegenüberstellung von Neu- und Umbau der Bestandsabstellhalle

KG	Bezeichnung	Minderkosten Neubau	Mehrkosten Neubau	Differenz (Neubau statt Umbau)
212	Abbruchmaßnahmen – Rückbau	- €	1.151.488 €	1.151.488 €
300	Umbau Teil Abstellhalle	369.600 €	- €	-369.600 €
300	Neubau Teil Abstellhalle	- €	2.216.614 €	2.216.614 €
200-600	Summe Baukosten KG 200 – 600	369.600 €	3.368.102 €	2.998.502 €
200-600	Risikozuschlag für Baukosten KG 200 – 600	92.400 €	842.026 €	749.626 €
700	Baunebenkosten	115.500 €	1.052.532 €	937.032 €
100-700	Gesamtsumme	577.500 €	5.262.660 €	4.685.160 €

Tabelle 28: Baukosten Germendorf: KG 100 – 300 im Basisszenario

KG	Jahr	Bezeichnung	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	Summe
100		Grundstück										
110		Grundstückswert	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
120		Grundstücknebenkosten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
130		Rechte Dritter	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
200		Vorbereitende Maßnahmen										386 425 €
210		Herrichten										
211		Sicherungsmaßnahmen	- €	- €	- €	- €	30 000 €	- €	- €	- €	- €	30 000 €
212		Abbruchmaßnahmen – Rückbau Lager/Werkstatt Betriebshof	- €	- €	30 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	30 000 €
213		Altlastenbeseitigung	- €	- €	- €	- €	5 000 €	- €	- €	- €	- €	5 000 €
214		Herrichten der Geländeoberfläche	- €	- €	- €	- €	246 425 €	- €	- €	- €	- €	246 425 €
215		Kampfmittelräumung	- €	- €	- €	- €	5 000 €	- €	- €	- €	- €	5 000 €
216		Kulturhistorische Funde	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
219		Sonstiges zur KG 210	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
220		Öffentliche Erschließung										
		Allgemeine Anpassungen	- €	- €	- €	- €	20 000 €	- €	- €	- €	- €	20 000 €
230		Netzanschluss an den Betriebshof										
240		gesondert in Gesamtkostenübersicht ausgewiesen										
250		Ausgleichsmaßnahmen und -abgaben	- €	- €	- €	- €	20 000 €	- €	- €	- €	- €	20 000 €
		Übergangsmaßnahmen										
		Umbau unter Betrieb	- €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	- €	30 000 €
300		Bauwerk – Baukonstruktionen										9 098 565 €
		Umbau Teil Abstellhalle	- €	184 800 €	184 800 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	369 600 €
		Umbau Teil Abstellhalle für Elektrobusse	- €	190 300 €	190 300 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	380 600 €
		Neubau Instandsetzung	- €	- €	- €	895 050 €	895 050 €	- €	- €	- €	- €	1 790 100 €
		Neubau Abstellanlage 1	- €	- €	- €	- €	1 696 497 €	1 696 497 €	- €	- €	- €	5 089 490 €
		Neubau Abstellanlage 2 (auf Bahndamm)	- €	- €	- €	- €	489 592 €	489 592 €	- €	- €	- €	1 468 775 €

Tabelle 30: Baukosten Germendorf: KG 600 – 700 und Summe im Basisszenario

Jahr	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	Summe
KG	Kosten pro Jahr									
600 Ausstattung und Kunstwerke										205 000 €
610 Allgemeine Ausstattung	- €	25 000 €	25 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	50 000 €
620 Besondere Ausstattung	- €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	- €	- €	100 000 €
630 Informationstechnische Ausstattung	- €	8 333 €	8 333 €	8 333 €	8 333 €	8 333 €	8 333 €	- €	- €	50 000 €
640 Künstlerische Ausstattung	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
690 Sonstige Ausstattung	- €	833 €	833 €	833 €	833 €	833 €	833 €	- €	- €	5 000 €
200- Summe Baukosten KG 200 – 600	- €	1 370 212 €	1 313 612 €	1 578 592 €	5 437 120 €	3 044 100 €	3 519 100 €	12 678 €	134 153 €	16 409 535 €
600 Risikozuschlag für Baukosten KG 200 – 600	- €	342 553 €	328 403 €	394 640 €	1 359 280 €	761 025 €	879 775 €	3 170 €	33 538 €	4 102 384 €
200- Summe Baukosten KG 200 – 600 inkl. Risikozuschlag	- €	1 712 764 €	1 642 014 €	1 973 202 €	6 796 400 €	3 805 125 €	4 398 875 €	15 848 €	167 691 €	20 511 919 €
700 Baunebenkosten										5 127 980 €
710 Baugeräteaufgaben	- €	111 330 €	106 731 €	128 238 €	441 766 €	247 333 €	285 927 €	1 030 €	10 900 €	1 333 275 €
720 Vorbereitungen der Objektplanung	- €	8 564 €	8 210 €	9 866 €	33 982 €	19 026 €	21 994 €	79 €	838 €	102 560 €
730 Objektplanung	- €	274 042 €	262 722 €	315 712 €	1 087 424 €	608 820 €	703 820 €	2 536 €	26 831 €	3 281 907 €
740 Fachplanung	- €	8 564 €	8 210 €	9 866 €	33 982 €	19 026 €	21 994 €	79 €	838 €	102 560 €
750 Künstlerische Leistungen	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
760 Allgemeine Baunebenkosten	- €	25 691 €	24 630 €	29 598 €	101 946 €	57 077 €	65 983 €	238 €	2 515 €	307 679 €
790 Sonstige Baunebenkosten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
100- 700 Gesamtsumme Germendorf	- €	2 140 956 €	2 052 518 €	2 466 502 €	8 495 500 €	4 756 406 €	5 498 594 €	19 810 €	209 613 €	25 639 898 €

Tabelle 31: Baukosten Germendorf: KG 100 – 300 im Minimalszenario

KG	Bezeichnung	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Summe
Kosten pro Jahr															
100	Grundstück														
110	Grundstückswert	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
120	Grundstücksnebenkosten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
130	Rechte Dritter	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
200	Vorbereitende Maßnahmen														386 425 €
210	Herrichten														
211	Sicherungsmaßnahmen	- €	- €	- €	- €	30 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	30 000 €
212	Abbruchmaßnahmen – Rückbau Lager/Werkstatt Betriebshof	- €	- €	30 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	30 000 €
213	Alliartenbesitzung	- €	- €	- €	- €	5 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	5 000 €
214	Herrichten der Geländeoberfläche	- €	- €	- €	- €	132 175 €	- €	- €	- €	114 250 €	- €	- €	- €	- €	246 425 €
215	Kampfmittelräumung	- €	- €	- €	- €	5 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	5 000 €
216	Kulturhistorische Funde	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
219	Sonstiges zur KG 210	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
220	Öffentliche Erschließung														
	Allgemeine Anpassungen	- €	- €	- €	- €	20 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	20 000 €
230	Nichtöffentliche Erschließungen														
	Netzanschluss an den Betriebshof														
240	Ausgleichsmaßnahmen und -abgaben														
	Ausgleichsmaßnahmen und -abgaben	- €	- €	- €	- €	20 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	20 000 €
250	Übergangsmaßnahmen														
	Umbau unter Betrieb	- €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	4 286 €	- €	- €	- €	- €	- €	30 000 €
300	Bauwerk – Baukonstruktionen														9 098 565 €
	Umbau Teil Abstellhalle	- €	184 800 €	184 800 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	369 600 €
	Umbau Teil Abstellhalle für Elektrobusse	- €	190 300 €	190 300 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	380 600 €
	Neubau Instandsetzung	- €	- €	- €	895 050 €	895 050 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	1 790 100 €
	Neubau Abstellanlage 1	- €	- €	- €	- €	1 606 497 €	1 606 497 €	1 606 497 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	5 089 490 €
	Neubau Abstellanlage 2 (auf Bahndamm)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	489 592 €	489 592 €	- €	- €	1 468 775 €

Tabelle 32: Baukosten Germendorf: KG 400 - 500 im Minimalszenario

KG	Jahr	Bezeichnung	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Summe
400		Bauwerk – Technische Anlagen							Kosten pro Jahr							3 050 000 €
410		Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen														
420		Wärmeversorgungsanlagen														
430		Raumluftechnische Anlagen														
440		Elektrische Anlagen														
		Ladetechnik und -infrastruktur														
450		Kommunikations-, sicherheits- und informationstechnische Anlagen														
		Lademanagementsystem	- €	- €	325 000 €	- €	- €	- €	325 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	650 000 €
		Betriebsmanagementsystem	- €	- €	150 000 €	- €	- €	- €	150 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	300 000 €
460		Frödanlagen														
		3-Stempelhubanlage	- €	- €	- €	260 000 €	260 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	520 000 €
		Krananlage	- €	- €	- €	60 000 €	60 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	120 000 €
470		Nutzungsspezifische und verfahrenstechnische Anlagen														
		Dacharbeitsstand inkl. Krananlage	- €	250 000 €	250 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	500 000 €
		Dacharbeitsstand	- €	- €	- €	180 000 €	180 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	360 000 €
		Werkstattausrüstung und Lagereinrichtung	- €	- €	- €	100 000 €	100 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	200 000 €
		Mobiles Ladegerät (40 kW)	- €	60 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	60 000 €
		Feuerlöschanlage (Sprinkler, Kälteleitung, Technik)	- €	50 000 €	50 000 €	- €	50 000 €	50 000 €	50 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	250 000 €
		Druckluftversorgung	- €	- €	- €	45 000 €	45 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	90 000 €
480		Gebäude- und Anlagenautomation														
490		Sonstige Maßnahmen für technische Anlagen	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
500		Außenanlagen und Freiflächen														3 669 545 €
510		Erbau														
		Bahndamm abtragen	- €	- €	- €	- €	72 000 €	- €	- €	- €	- €	454 545 €	- €	- €	- €	526 545 €
520		Gründung, Unterbau	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
530		Oberbau, Deckschichten														
		Wege	- €	- €	- €	- €	28 333 €	28 333 €	28 333 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	85 000 €
		Straßen	- €	- €	- €	- €	481 667 €	481 667 €	481 667 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	1 445 000 €
		Sonstiges	- €	419 200 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	419 200 €
540		Baukonstruktionen														
		Enfriedungen – Zaun	- €	32 400 €	- €	- €	12 000 €	12 000 €	12 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	68 400 €
		Enfriedungen – Tor	- €	50 000 €	- €	- €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	100 000 €
		Kanal- und Schachtkonstruktionen	- €	70 000 €	70 000 €	- €	70 000 €	70 000 €	70 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	350 000 €
550		Technische Anlagen														
551		Abwasseranlagen	- €	- €	- €	- €	35 000 €	35 000 €	35 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	105 000 €
552		Wasseranlagen	- €	- €	- €	- €	15 000 €	15 000 €	15 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	45 000 €
553		Anlagen für Gase und Flüssigkeiten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
554		Wärmeversorgungsanlagen	- €	- €	- €	- €	7 500 €	7 500 €	7 500 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	22 500 €
555		Raumluftechnische Anlagen	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
556		Elektrische Anlagen	- €	- €	- €	- €	66 667 €	66 667 €	66 667 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	200 000 €
557		Kommunikations-, sicherheits- und informationstechnische Anlagen, Automation	- €	8 393 €	8 393 €	8 393 €	16 726 €	16 726 €	16 726 €	8 393 €	8 393 €	- €	- €	- €	- €	92 140 €
558		Nutzungsspezifische Anlagen	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
559		Sonstiges zur KG 550	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
560		Einbauten in Außenanlagen und Freiflächen	- €	- €	- €	- €	13 333 €	13 333 €	13 333 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	40 000 €
570		Vegetationsflächen	- €	- €	- €	- €	15 000 €	15 000 €	15 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	170 760 €
580		Wasserflächen	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
590		Sonstige Maßnahmen für Außenanlagen und Freiflächen														
		Bereits in anderen KG einkalkuliert														

Tabelle 33: Baukosten Germendorf: KG 600 – 700 und Summe im Minimalszenario

Jahr	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Summe
KG	Kosten pro Jahr													
600	Ausstattung und Kunstwerke													
610	- €	25 000 €	25 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	50 000 €
620	- €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	16 667 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	100 000 €
630	- €	8 333 €	8 333 €	8 333 €	8 333 €	8 333 €	8 333 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	50 000 €
640	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
690	- €	833 €	833 €	833 €	833 €	833 €	833 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	5 000 €
200-	Summe Baukosten KG 200 – 600													
600	- €	1 370 212 €	1 313 612 €	1 578 562 €	4 378 733 €	2 554 508 €	3 029 508 €	12 678 €	248 403 €	944 137 €	489 592 €	489 592 €	- €	16 409 535 €
200-	Risikozuschlag für Baukosten KG 200 – 600													
600	- €	342 553 €	328 403 €	394 640 €	1 094 683 €	638 627 €	757 377 €	3 170 €	62 101 €	236 034 €	122 398 €	122 398 €	- €	4 102 384 €
200-	Summe Baukosten KG 200 – 600 inkl. Risikozuschlag													
600	- €	1 712 764 €	1 642 014 €	1 973 202 €	5 473 417 €	3 193 135 €	3 786 885 €	15 848 €	310 503 €	1 180 171 €	611 990 €	611 990 €	- €	20 511 919 €
700	Baunebenkosten													
710	- €	111 330 €	106 731 €	128 258 €	355 772 €	207 554 €	246 148 €	1 030 €	20 183 €	76 711 €	39 779 €	39 779 €	- €	1 333 275 €
720	- €	8 564 €	8 210 €	9 866 €	27 367 €	15 966 €	18 934 €	79 €	1 553 €	5 901 €	3 060 €	3 060 €	- €	102 560 €
730	- €	274 042 €	262 722 €	315 712 €	875 747 €	510 902 €	605 902 €	2 536 €	49 681 €	188 827 €	97 918 €	97 918 €	- €	3 281 907 €
740	- €	8 564 €	8 210 €	9 866 €	27 367 €	15 966 €	18 934 €	79 €	1 553 €	5 901 €	3 060 €	3 060 €	- €	102 560 €
750	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
760	- €	25 691 €	24 630 €	29 598 €	82 101 €	47 897 €	56 803 €	238 €	4 658 €	17 703 €	9 180 €	9 180 €	- €	307 679 €
790	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
100-700	- €	2 140 956 €	2 052 518 €	2 466 502 €	6 841 771 €	3 991 419 €	4 733 607 €	19 810 €	388 129 €	1 475 214 €	764 987 €	764 987 €	- €	25 639 898 €

Tabelle 34: Baukosten Stralsunder Straße

KG	Bezeichnung	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	Summe
Kosten pro Jahr											
540	Baukonstruktionen	- €	22 980 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	22 980 €
	Einfriedungen – Zaun	- €	100 000 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	100 000 €
550	Technische Anlagen	- €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	- €	- €	50 580 €
557	Kommunikations-, sicherheits- und Informationstechnische Anlagen, Automation	- €	131 410 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	- €	- €	173 560 €
200-600	Summe Baukosten KG 200 – 600	- €	131 410 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	8 430 €	- €	- €	173 560 €
200-600	Risikozuschlag für Baukosten KG 200 – 600	- €	32 853 €	2 108 €	2 108 €	2 108 €	2 108 €	2 108 €	- €	- €	43 390 €
200-600	Summe Baukosten KG 200 – 600 inkl. Risikozuschlag	- €	164 263 €	10 538 €	10 538 €	10 538 €	10 538 €	10 538 €	- €	- €	216 950 €
700	Baunebenkosten	- €	10 677 €	685 €	685 €	685 €	685 €	685 €	- €	- €	54 238 €
710	Bauherreraufgaben	- €	10 677 €	685 €	685 €	685 €	685 €	685 €	- €	- €	14 102 €
720	Vorbereitungen der Objektplanung	- €	821 €	53 €	53 €	53 €	53 €	53 €	- €	- €	1 085 €
730	Objektplanung	- €	26 282 €	1 686 €	1 686 €	1 686 €	1 686 €	1 686 €	- €	- €	34 712 €
740	Fachplanung	- €	821 €	53 €	53 €	53 €	53 €	53 €	- €	- €	1 085 €
750	Künstlerische Leistungen	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
760	Allgemeine Baunebenkosten	- €	2 464 €	158 €	158 €	158 €	158 €	158 €	- €	- €	3 254 €
790	Sonstige Baunebenkosten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
100-700	Gesamtsumme Stralsunder Straße	- €	205 328 €	13 172 €	13 172 €	13 172 €	13 172 €	13 172 €	- €	- €	271 188 €

Mit Ausnahme der Kostenpunkte für die Ausweichfläche, enthält Tabelle 35 die Zuteilung der Kostenpunkte und -gruppen für den Betriebshof Germendorf zu den Bauphasen der verschiedenen Bauabschnitte. Sofern in der Tabelle nicht anders vermerkt, sind die Baukosten wie folgt auf die Jahre 2023 –2035 verteilt:

- Bei Dauer einer Bauphase über mehrere Jahre werden die Kosten gleichmäßig auf die entsprechenden Jahre aufgeteilt
- Bei Zuweisung eines Kostenpunkts auf mehrere Bauabschnitte werden die Kosten gleichmäßig auf die dazugehörigen Jahre aufgeteilt ohne die Jahre zu gewichten

Für die Ausweichflächen (Flur 75 und Stralsunder Straße) gilt:

- Kosten werden entsprechend des Rahmenzeitplans der Vorbereitungs-, Bau-, oder Rückbauphase zugeordnet
- Baukosten, welche einer mehrjährigen Bau- oder Nutzungsphase zugeordnet sind, werden gleichmäßig auf diese Jahre verteilt.

Tabelle 35: Zuteilung der Kostenpunkte und Kostengruppen zu den Bauabschnitten des Betriebshofs Germendorf

KG	Kostenpunkte	Bauabschnitt	Abweichung der Kostenverteilung
200*	Alle außer KG 250	BA 3+4	Zuordnung der Kosten zum Beginn der Bauphase
250	alle	BA 1b	
460	alle	BA 2	
470	Dacharbeitsstand, Werkstattausrüstung und Lagereinrichtung, Druckluftversorgung	BA 2	
	Dacharbeitsstand inkl. Krananlage	BA 0	
	Mobiles Ladegerät	BA 0	Zuordnung der Kosten zum Beginn der Bauphase
	Feuerlöschanlage	BA 1, BA 3+4	
500*	Alle außer KG 540	BA 3+4	
540	Kanal- und Schachtkonstruktionen	BA 1, BA 3+4	
600*	Alle außer KG 610	BA 0, BA 1, BA 2, BA 3+4	
610	Allgemeine Ausstattung	BA 1	

* mit Ausnahme einer untergeordneten KG

7.4.2 Einzelkosten

Tabelle 36: Einzelkosten nach Jahren 2024 – 2030 im Basisszenario

Jahr	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investitionskosten Busse	1 460 000 €	8 135 000 €	5 315 000 €	2 440 000 €	3 540 000 €	2 320 000 €	17 880 000 €
Baukosten	2 346 284 €	2 065 690 €	2 479 674 €	8 508 672 €	4 769 578 €	5 511 765 €	19 810 €
Netzanschlusskosten an Haltestellen und Betriebshof	- €	731 875 €	- €	2 247 500 €	- €	- €	- €
Investitionskosten LIS an Haltestellen und Betriebshof	- €	3 619 688 €	- €	3 016 406 €	- €	9 350 859 €	- €
Energiekosten	6 677 900 €	6 640 100 €	6 477 920 €	6 367 820 €	6 367 820 €	6 240 420 €	6 138 500 €
W&I Kosten Busse inkl. Batterietausch	2 188 550 €	2 175 950 €	2 213 300 €	2 217 050 €	2 217 050 €	2 217 050 €	2 217 050 €
W&I Kosten Ladeinfrastruktur	- €	72 394 €	72 394 €	132 722 €	132 722 €	319 739 €	319 739 €
Investitionskosten gesamt	3 806 284 €	14 552 252 €	7 794 674 €	16 212 578 €	8 309 578 €	17 182 625 €	17 899 810 €
Betriebskosten gesamt	8 866 450 €	8 888 444 €	8 763 614 €	8 717 592 €	8 717 592 €	8 777 209 €	8 675 289 €
Gesamtkosten	12 672 734 €	23 440 696 €	16 558 288 €	24 930 170 €	17 027 170 €	25 959 834 €	26 575 099 €
Kumulierte Investitionskosten	3 806 284 €	18 358 536 €	26 153 210 €	42 365 788 €	50 675 366 €	67 857 991 €	85 757 801 €
Kumulierte Betriebskosten	8 866 450 €	17 754 894 €	26 518 508 €	35 236 099 €	43 953 691 €	52 730 900 €	61 406 189 €
Kumulierte Gesamtkosten	12 672 734 €	36 113 430 €	52 671 718 €	77 601 888 €	94 629 058 €	120 588 891 €	147 163 990 €
Förderung	- €	3 324 000 €	1 692 000 €	- €	1 360 000 €	1 088 000 €	7 984 000 €
Fördersumme Busse	- €	2 041 000 €	150 000 €	1 356 563 €	320 000 €	4 037 219 €	- €
Fördersumme Infrastruktur	193 750 €	- €	60 000 €	180 000 €	180 000 €	230 000 €	270 000 €
Erlös durch THG-Quotenhandel	- €	- €	- €	150 000 €	- €	296 875 €	- €
Fördersumme für Baukosten	193 750 €	453 125 €	150 000 €	- €	- €	- €	- €
Fördersumme Infrastruktur (ohne Baukosten)	- €	1 587 875 €	- €	1 206 563 €	320 000 €	3 740 344 €	- €
Investitionskosten Busse nach Förderung	1 460 000 €	4 811 000 €	3 623 000 €	2 440 000 €	2 180 000 €	1 232 000 €	9 896 000 €
Investitionskosten Infrastruktur nach Förderung	2 152 534 €	4 376 252 €	2 329 674 €	12 416 015 €	4 449 578 €	10 825 406 €	19 810 €
Investitionskosten gesamt mit Förderung	3 612 534 €	9 187 252 €	5 952 674 €	14 856 015 €	6 629 578 €	12 057 406 €	9 915 810 €
Betriebskosten gesamt nach Quotenhandel	8 866 450 €	8 888 444 €	8 703 614 €	8 537 592 €	8 537 592 €	8 547 209 €	8 405 289 €
Gesamtkosten mit Förderung	12 478 984 €	18 075 696 €	14 656 288 €	23 393 607 €	15 167 170 €	20 604 615 €	18 321 099 €
Kumulierte Investitionskosten mit Förderung	3 612 534 €	12 799 786 €	18 752 460 €	33 608 476 €	40 238 054 €	52 295 460 €	62 211 270 €
Kumulierte Betriebskosten mit Förderung	8 866 450 €	17 754 894 €	26 458 508 €	34 996 099 €	43 533 691 €	52 080 900 €	60 486 189 €
Kumulierte Gesamtkosten mit Förderung	12 478 984 €	30 554 680 €	45 210 968 €	68 604 575 €	83 771 745 €	104 376 360 €	122 697 459 €

Tabelle 37: Einzelkosten nach Jahren 2031 – 2040 im Basisszenario

Jahr	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Investitionskosten Busse	3 067 500 €	6 380 000 €	3 480 000 €	5 230 000 €	3 010 000 €	6 152 875 €	10 877 500 €	7 280 000 €	555 000 €	5 675 000 €
Baukosten	209 613 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Netzan schlusskosten an Haltestellen und Betriebshof	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Investitionskosten US an Haltestellen und Betriebshof	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Energiekosten	6 627 500 €	6 493 660 €	6 213 380 €	6 060 500 €	5 790 500 €	5 583 500 €	5 334 860 €	5 174 360 €	5 016 560 €	4 987 160 €
W&I Kosten Busse inkl. Batterietausch	2 600 450 €	2 596 950 €	2 596 950 €	2 596 950 €	2 589 450 €	2 563 750 €	2 574 450 €	2 555 700 €	2 540 700 €	2 540 700 €
W&I Kosten Ladeinfrastruktur	319 739 €	319 739 €	319 739 €	319 739 €	319 739 €	319 739 €	319 739 €	319 739 €	319 739 €	319 739 €
Investitionskosten gesamt	3 277 113 €	6 380 000 €	3 480 000 €	5 230 000 €	3 010 000 €	6 152 875 €	10 877 500 €	7 280 000 €	555 000 €	5 675 000 €
Betriebskosten gesamt	9 547 689 €	9 410 349 €	9 130 069 €	8 977 189 €	8 699 689 €	8 466 989 €	8 229 049 €	8 049 799 €	7 876 999 €	7 847 599 €
Gesamtkosten	12 824 802 €	15 790 349 €	12 610 069 €	14 207 189 €	11 709 689 €	14 619 864 €	19 106 549 €	15 329 799 €	8 431 999 €	13 522 599 €
Kumulierte Investitionskosten	89 034 914 €	95 414 914 €	98 894 914 €	104 124 914 €	107 134 914 €	113 287 789 €	124 165 289 €	131 445 289 €	132 000 289 €	137 675 289 €
Kumulierte Betriebskosten	70 953 878 €	80 364 228 €	89 494 297 €	98 471 486 €	107 171 175 €	115 638 164 €	123 867 213 €	131 917 012 €	139 794 011 €	147 641 610 €
Kumulierte Gesamtkosten	159 988 793 €	175 779 142 €	188 389 211 €	202 596 400 €	214 306 089 €	228 925 953 €	248 032 502 €	263 362 301 €	271 794 300 €	285 316 899 €
Förderung										
Förderungssumme Busse	1 360 000 €	2 992 000 €	1 632 000 €	2 384 000 €	1 344 000 €	2 738 300 €	4 734 000 €	3 080 000 €	260 000 €	2 660 000 €
Förderungssumme Infrastruktur	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Erlös durch THG-Quotenhandel	560 000 €	610 000 €	720 000 €	780 000 €	870 000 €	920 000 €	1 030 000 €	1 080 000 €	1 130 000 €	1 140 000 €
Förderungssumme für Baukosten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Förderungssumme Infrastruktur (ohne Baukosten)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Investitionskosten Busse nach Förderung	1 707 500 €	3 388 000 €	1 848 000 €	2 846 000 €	1 666 000 €	3 414 575 €	6 143 500 €	4 200 000 €	295 000 €	3 015 000 €
Investitionskosten Infrastruktur nach Förderung	209 613 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Investitionskosten gesamt nach Förderung	1 917 113 €	3 388 000 €	1 848 000 €	2 846 000 €	1 666 000 €	3 414 575 €	6 143 500 €	4 200 000 €	295 000 €	3 015 000 €
Betriebskosten gesamt nach Quotenhandel	8 987 689 €	8 800 349 €	8 410 069 €	8 197 189 €	7 829 689 €	7 546 989 €	7 199 049 €	6 969 799 €	6 746 999 €	6 707 599 €
Gesamtkosten mit Förderung	10 904 802 €	12 188 349 €	10 258 069 €	11 043 189 €	9 495 689 €	10 961 564 €	13 342 549 €	11 169 799 €	7 041 999 €	9 722 599 €
Kumulierte Investitionskosten mit Förderung	64 128 383 €	67 516 383 €	69 364 383 €	72 210 383 €	73 876 383 €	77 290 958 €	83 434 458 €	87 634 458 €	87 929 458 €	90 944 458 €
Kumulierte Betriebskosten mit Förderung	69 473 878 €	78 274 228 €	86 684 297 €	94 881 486 €	102 711 175 €	110 258 164 €	117 457 213 €	124 427 012 €	131 174 011 €	137 881 610 €
Kumulierte Gesamtkosten mit Förderung	133 602 261 €	145 790 610 €	156 048 679 €	167 091 868 €	176 587 558 €	187 549 122 €	200 891 671 €	212 061 470 €	219 103 469 €	228 826 068 €

Tabelle 38: Einzelkosten nach Jahren 2024 – 2030 im Minimalszenario

Jahr	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Investitionskosten Busse	1 460 000 €	8 135 000 €	5 315 000 €	2 440 000 €	3 540 000 €	2 320 000 €	9 427 500 €
Baukosten	2 346 284 €	2 065 690 €	2 479 674 €	6 854 943 €	4 004 591 €	4 746 778 €	19 810 €
Netzanschlusskosten an Haltestellen und Betriebshof	- €	731 875 €	- €	2 247 500 €	- €	- €	- €
Investitionskosten US an Haltestellen und Betriebshof	- €	3 619 688 €	- €	3 016 406 €	- €	3 619 688 €	- €
Energiekosten	6 677 900 €	6 640 100 €	6 477 920 €	6 367 820 €	6 367 820 €	6 240 420 €	6 138 500 €
W&I Kosten Busse inkl. Batterietausch	2 188 550 €	2 175 950 €	2 213 300 €	2 217 050 €	2 217 050 €	2 217 050 €	2 217 050 €
W&I Kosten Ladeinfrastruktur	- €	72 394 €	72 394 €	132 722 €	132 722 €	205 116 €	205 116 €
Investitionskosten gesamt	3 806 284 €	14 552 252 €	7 794 674 €	14 558 849 €	7 544 591 €	10 686 466 €	9 447 310 €
Betriebskosten gesamt	8 866 450 €	8 888 444 €	8 763 614 €	8 717 592 €	8 717 592 €	8 662 586 €	8 560 666 €
Gesamtkosten	12 672 734 €	23 440 696 €	16 558 288 €	23 276 441 €	16 262 183 €	19 349 052 €	18 007 975 €
Kumulierte Investitionskosten	3 806 284 €	18 358 536 €	26 153 210 €	40 712 059 €	48 256 650 €	58 943 116 €	68 390 426 €
Kumulierte Betriebskosten	8 866 450 €	17 754 894 €	26 518 508 €	35 236 099 €	43 953 691 €	52 616 277 €	61 176 943 €
Kumulierte Gesamtkosten	12 672 734 €	36 113 430 €	52 671 718 €	75 948 159 €	92 210 341 €	111 559 393 €	129 567 368 €
Förderung							
Fördersumme Busse	- €	3 324 000 €	1 692 000 €	- €	1 360 000 €	1 088 000 €	2 790 000 €
Fördersumme Infrastruktur	193 750 €	2 041 000 €	150 000 €	1 356 563 €	320 000 €	1 744 750 €	- €
Erlös durch THG-Quotenhandel	- €	- €	60 000 €	180 000 €	180 000 €	230 000 €	270 000 €
Fördersumme für Baukosten	193 750 €	453 125 €	150 000 €	150 000 €	- €	296 875 €	- €
Fördersumme Infrastruktur (ohne Baukosten)	- €	1 587 875 €	- €	1 206 563 €	320 000 €	1 447 875 €	- €
Investitionskosten Busse nach Förderung	1 460 000 €	4 811 000 €	3 623 000 €	2 440 000 €	2 180 000 €	1 232 000 €	6 637 500 €
Investitionskosten Infrastruktur nach Förderung	2 152 534 €	4 376 252 €	2 329 674 €	10 762 286 €	3 684 591 €	6 621 716 €	19 810 €
Investitionskosten gesamt mit Förderung	3 612 534 €	9 187 252 €	5 952 674 €	13 202 286 €	5 864 591 €	7 853 716 €	6 657 310 €
Betriebskosten gesamt nach Quotenhandel	8 866 450 €	8 888 444 €	8 703 614 €	8 537 592 €	8 537 592 €	8 432 586 €	8 290 666 €
Gesamtkosten mit Förderung	12 478 984 €	18 075 696 €	14 656 288 €	21 739 878 €	14 402 183 €	16 286 302 €	14 947 975 €
Kumulierte Investitionskosten mit Förderung	3 612 534 €	12 799 786 €	18 752 460 €	31 954 747 €	37 819 338 €	45 673 054 €	52 330 363 €
Kumulierte Betriebskosten mit Förderung	8 866 450 €	17 754 894 €	26 458 508 €	34 996 099 €	43 533 691 €	51 966 277 €	60 256 943 €
Kumulierte Gesamtkosten mit Förderung	12 478 984 €	30 554 680 €	45 210 968 €	66 950 846 €	81 353 029 €	97 639 330 €	112 587 306 €

Tabelle 39: Einzelkosten nach Jahren 2031 – 2040 im Minimalszenario

Jahr	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Investitionskosten Busse	3 067 500 €	6 380 000 €	3 480 000 €	4 255 000 €	8 475 000 €	5 682 875 €	10 877 500 €	8 945 000 €	4 227 875 €	3 775 000 €
Baukosten	388 129 €	1 475 214 €	764 987 €	764 987 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Netzan schlusskosten an Haltestellen und Betriebshof	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Investitionskosten US an Haltestellen und Betriebshof	- €	- €	- €	- €	3 921 328 €	- €	- €	- €	1 508 203 €	- €
Energiekosten	6 494 960 €	6 361 120 €	6 080 840 €	5 927 960 €	5 780 960 €	6 038 480 €	5 848 640 €	5 688 140 €	5 442 140 €	5 228 580 €
W&I Kosten Busse inkl. Batterietausch	2 405 000 €	2 401 500 €	2 401 500 €	2 401 500 €	2 401 500 €	2 575 000 €	2 585 700 €	2 566 950 €	2 551 950 €	2 551 950 €
W&I Kosten Ladeinfrastruktur	205 116 €	205 116 €	205 116 €	205 116 €	283 542 €	283 542 €	283 542 €	283 542 €	313 706 €	313 706 €
Investitionskosten gesamt	3 455 629 €	7 855 214 €	4 244 987 €	5 019 987 €	12 396 328 €	5 682 875 €	10 877 500 €	8 945 000 €	5 736 078 €	3 775 000 €
Betriebskosten gesamt	9 105 076 €	8 967 736 €	8 687 456 €	8 534 576 €	8 466 002 €	8 897 022 €	8 717 882 €	8 538 632 €	8 307 796 €	8 094 236 €
Gesamtkosten	12 560 705 €	16 822 949 €	12 932 443 €	13 554 563 €	20 862 330 €	14 579 897 €	19 595 382 €	17 483 632 €	14 043 874 €	11 869 236 €
Kumulierte Investitionskosten	71 846 055 €	79 701 268 €	83 946 255 €	88 966 242 €	101 362 570 €	107 045 445 €	117 922 945 €	126 867 945 €	132 604 023 €	136 379 023 €
Kumulierte Betriebskosten	70 282 018 €	79 249 754 €	87 937 209 €	96 471 785 €	104 937 787 €	113 834 809 €	122 552 692 €	131 091 324 €	139 399 120 €	147 493 356 €
Kumulierte Gesamtkosten	142 128 073 €	158 951 022 €	171 883 465 €	185 438 027 €	206 300 358 €	220 880 255 €	240 475 637 €	257 959 269 €	272 003 143 €	283 872 380 €
Förderung										
Fördersumme Busse	1 360 000 €	2 992 000 €	1 632 000 €	1 300 000 €	3 324 000 €	2 218 300 €	4 734 000 €	3 860 000 €	1 902 300 €	1 620 000 €
Fördersumme Infrastruktur	- €	- €	- €	- €	1 568 531 €	- €	- €	- €	603 281 €	- €
Erlös durch THG-Quotenhandel	370 000 €	420 000 €	530 000 €	590 000 €	640 000 €	760 000 €	850 000 €	900 000 €	980 000 €	1 060 000 €
Fördersumme für Baukosten	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Fördersumme Infrastruktur (ohne Baukosten)	- €	- €	- €	- €	1 568 531 €	- €	- €	- €	603 281 €	- €
Investitionskosten Busse nach Förderung	1 707 500 €	3 388 000 €	1 848 000 €	2 955 000 €	5 151 000 €	3 464 575 €	6 143 500 €	5 085 000 €	2 325 575 €	2 155 000 €
Investitionskosten Infrastruktur nach Förderung	388 129 €	1 475 214 €	764 987 €	764 987 €	2 352 797 €	- €	- €	- €	904 922 €	- €
Investitionskosten gesamt mit Förderung	2 095 629 €	4 863 214 €	2 612 987 €	3 719 987 €	7 503 797 €	3 464 575 €	6 143 500 €	5 085 000 €	3 230 497 €	2 155 000 €
Betriebskosten gesamt nach Quotenhandel	8 735 076 €	8 547 736 €	8 157 456 €	7 944 576 €	7 826 002 €	8 137 022 €	7 867 882 €	7 638 632 €	7 327 796 €	7 034 236 €
Gesamtkosten mit Förderung	10 830 705 €	13 410 949 €	10 770 443 €	11 664 563 €	15 329 799 €	11 601 597 €	14 011 382 €	12 723 632 €	10 558 293 €	9 189 236 €
Kumulierte Investitionskosten mit Förderung	54 425 992 €	59 289 206 €	61 902 193 €	65 622 180 €	73 125 977 €	76 590 552 €	82 734 052 €	87 819 052 €	91 049 548 €	93 204 548 €
Kumulierte Betriebskosten mit Förderung	68 992 018 €	77 539 754 €	85 697 209 €	93 641 785 €	101 467 787 €	109 604 809 €	117 472 692 €	125 111 324 €	132 439 120 €	139 473 356 €
Kumulierte Gesamtkosten mit Förderung	123 418 010 €	136 828 959 €	147 599 402 €	159 263 965 €	174 593 764 €	186 195 361 €	200 206 743 €	212 930 375 €	223 488 668 €	232 677 905 €

7.5 Rahmenzeitplan

Rahmenzeitplan Umbauplanung																																	
Stand: 01.12.2023																																	
	Jahr	2024				2025				2026				2027				2028				2029				2030				2031			
		Quartal	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4			
Farbenlegende:																																	
Umsetzungphase mit Kosten verbunden																																	
Fertiggestellt																																	
Planung + Vorbereitung																																	
abschliessen + 14 SL																																	
abschliessen																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau + Inbetriebnahme																																	
Bau +																																	

Abbildung 51: Rahmenzeitplan im Basisszenario

Rahmenzeitplan Umbauplanung																																		
Stand: 26.03.2024																																		
	Jahr		2024				2025				Farbenlegende:				2026				2027				2028				2029				2030			
	Quartal		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4				
BA.0	Ertüchtigung der bestehenden Werkstatthanlagen		Planung + Vorbereitung					Bau + Inbetriebnahme							abgeschlossen																			
BA.1	Umbau der bestehenden Abstellhalle inkl. Ladeinfrastruktur		Planung + Vorbereitung					Bau + Inbetriebnahme							abgeschlossen																			
	Ladeinfrastruktur Abstellhalle Ausbaustufe 1 (im Bestand)		Planung + Vorbereitung					Bau + Inbetriebnahme							abgeschlossen																			
	Ausbaustufe 2 (im Bestand)		Planung + Vorbereitung					Genehmigung							Vorbereitung																			
	Netzanschluss Phase I							Genehmigung							abgeschlossen																			
BA.1a	Abriss Lager							Vorbereitung							Abriss																			
BA.1b	Einrichtung eines Beobachtungsplatzes für beschädigte Fahrzeuge							Planung							Vorbereitung																			
	Herrichtung Beobachtungsplatz							Genehmigung							abgeschlossen																			
BA.2	Teilneubau einer Werkstatterweiterung							Planung + Vorbereitung							Genehmigung																			
BA.3	Neubau Abstellanlage																																	
	Ladeinfrastruktur Ausbaustufe 3 (1 Teil BA 3)																																	
	Ausbaustufe 4 (2 Teil in BA 3)																																	
BA.4	Netzanschluss Phase II																																	
	Netzanschluss Phase II							Planung + Vorbereitung							Genehmigung																			
BA.5	Neubau Abstellanlage																																	
	Neubau einer Abstellanlage im Bereich des ehemaligen Bahndamms																																	
BA.6	Ladeinfrastruktur Ausbaustufe 5																																	
	Parkdeck Mitarbeiter																																	
BA.7	Erweiterung Stellplätze																																	
	PKW																																	
BA.8	Umbau Bürogebäude																																	
	Umbau der Betriebshofanlage Straalsunder Straße																																	
BA.9	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.10	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.11	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.12	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.13	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.14	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.15	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.16	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.17	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.18	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.19	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.20	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.21	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.22	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.23	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.24	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.25	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.26	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.27	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.28	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.29	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.30	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.31	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.32	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.33	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.34	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.35	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	
BA.36	Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf																																	

Rahmenzeitplan Umbauplanung											
	Jahr	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
BA.0 Ertüchtigung der bestehenden Werkstattanlagen	Umbau Bestandswerkstatt										
BA.1 Umbau der bestehenden Abstellhalle inkl. Ladeinfrastruktur	Umbau Abstellhalle Bestand Ladeinfrastruktur Abstellhalle Ausbaustufe 1 (im Bestand) Ausbaustufe 2 (im Bestand) Netzanschluss Phase I Abriss Lager										
BA.1a Einrichtung eines Beobachtungsplatzes für beschädigte Fahrzeuge	Herichtung Beobachtungsplatz										
BA.2 Teilneubau einer Werkstatteverweiterung	Neubau Instandsetzung										
BA.3 Neubau einer Abstellanlage nördlich des ehemaligen Bahndamms	Neubau Abstellanlage Ladeinfrastruktur Ausbaustufe 3 (1. Teil BA.3) Ausbaustufe 4 (2. Teil in BA.3) Netzanschluss Phase II										
BA.4 Neubau einer Abstellanlage im Bereich des ehemaligen Bahndamms	Neubau Abstellanlage										
BA.5 Erweiterung Stellplätze	Ladeinfrastruktur Ausbaustufe 5										
BA.6 Umbau Bürgebaudeck	Parkdeck Mitarbeiter										
BA.7 Umbau der Betriebshofanlage Stralsunder Straße	S Orianenburg, inkl. Netzanschluss										
BA.8 Umbau des Busbahnhofs in Hennigsdorf	S Hennigsdorf, inkl. Netzanschluss										
BA.1b Einrichtung einer Ausweichabstellfläche südlich der Annahofstraße	Errichtung Ausweichfläche Worst-Case Bedarf: - Räumung der gesamten Abstellhalle während des Umbaus - Räumung der betroffenen Spuren bei Nachrüstung US										

Abbildung 53: Rahmenzeitplan im Minimalszenario – Teil 2/2: 2024 – 2030

7.6 Ausweichfläche (Flur 75)

Die Vorgaben der Genehmigungsbehörde begrenzen die temporär nutzbare Fläche der Flur 75 auf ca. 27,5 % der heutigen Grundstücksfläche. Dies entspricht ca. 4.000 m² Interimsfläche. Für die Abstellung sind drei Varianten denkbar. Nach aktueller Schätzung können auf dieser Fläche maximal ca. 8 Gelenk- und 21 Solobusse (Variante 2) abgestellt werden. Die minimale Kapazität beläuft sich auf ca. 6 Gelenk- und 16 Solofahrzeuge (Variante 1). Die Vorgabe der Genehmigungsbehörde führt somit zu einem Bedarf an zusätzlichen Interimsflächen mit einer Kapazität von maximal ca. 14 Solobus- und 11 Gelenkbusplätzen.



Abbildung 54: Busabstellung auf Ausweichfläche Flur 75 - Variante 1



Abbildung 55: Busabstellung auf Ausweichfläche Flur 75 - Variante 1



Abbildung 56: Busabstellung auf Ausweichfläche Flur 75 - Variante 3

7.7 Beispiele verschiedener Trafostationen

Die kompakteste Form von Trafostationen stellt die Kompaktstation dar. Diese sind in der Regel nicht begehbar und können einen MS-Übergabepunkt vom Netzbetreiber, einen MS/NS-Transformator bis zu einer Leistung von etwa 2.000 kVA und ein NS-Abgangsfeld beinhalten. Typische Abmessungen sind zwischen 4 m² und 8 m². Ein Beispiel ist in Abbildung 57 dargestellt.

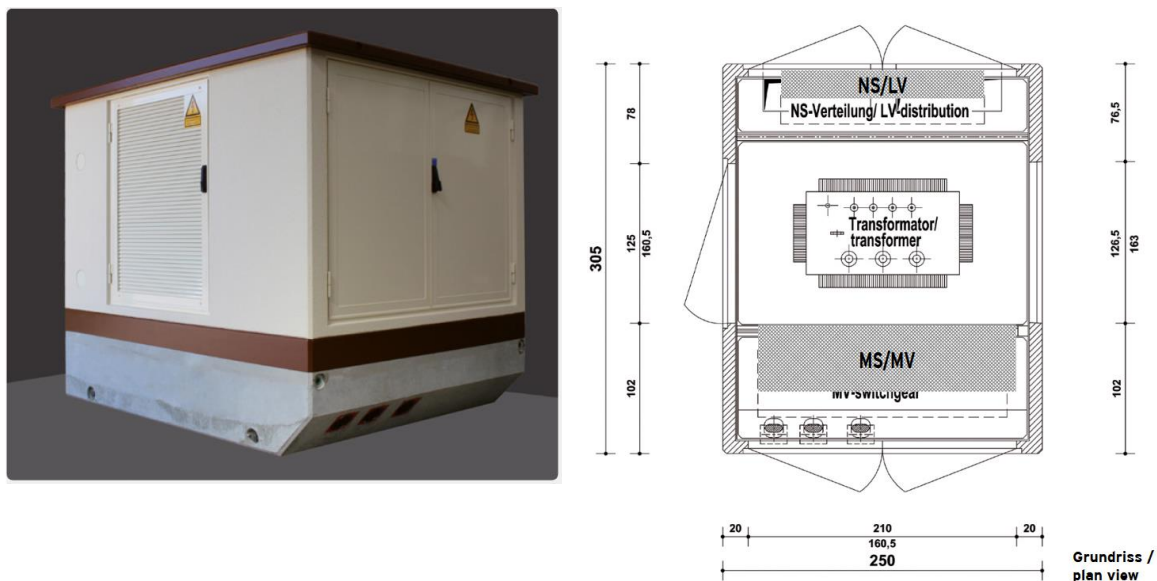


Abbildung 57: Beispiel Kompaktstation GBÜ 2000 (Gräper) [17]

Die nächst größere Klasse bilden begehbare beziehungsweise innenbedienbare Trafostationen, welche von einigen Netzbetreibern ausdrücklich für Übergabepunkte verlangt werden um auch bei schlechter Witterung Elektroarbeiten im geschützten Bereich durchführen zu können. Die Konfiguration erfolgt dabei meist auf Kundenwunsch und deckt einen großen Bereich ab, sowohl hinsichtlich realisierbarer Leistungen (ab etwa 630 kVA – 6.500 kVA und darüber) als auch möglicher Einbauten und optischer Gestaltungsmöglichkeiten. Begehbare Trafostationen sind ab einer Größe von etwa 10 m² erhältlich. Abbildung 58 und Abbildung 59 zeigen Beispiele für begehbare Trafostationen.

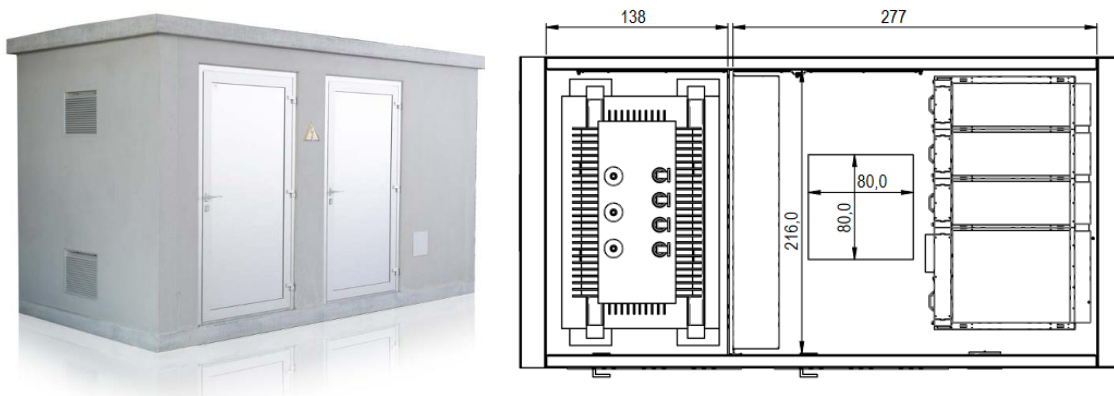


Abbildung 58: Begehbare Trafostation 4224 mit 2 kVA (ABB) [18]



Abbildung 59: Begehbare Trafostation mit 2 * 3.150 kVA (Wirth) [19]

7.8 Beispiele verschiedener Ladegeräte zur Gelegenheitsladung

Ladegeräte bestehen zum einen aus der Leistungselektronik und zum anderen aus dem Kontaktsystem. Abbildung 60 und Abbildung 61 zeigen Beispiele für bottom-up Pantographen, bei denen der bewegliche Pantograph also auf dem Dach des Busses sitzt und nicht wie bei top-down Pantographen in die Ladeinfrastruktur integriert ist. Bei der Lösung von ABB werden Ladeschränke mit einer Leistung von je 150 kW und einer Abmessung von je 1170 x 770 x 2030 mm (B x T x H) seriell kombiniert um Ladeleistungen bis zu 600 kW zu ermöglichen. Das integrierte Ladegerät von Eko Energetyka ermöglicht Ladeleistungen bis 500 kW bei einem Platzbedarf von 1360 x 795 x 4990 mm (B x T x H). Es gibt zahlreiche weitere Hersteller vergleichbarer Ladelösungen.



Abbildung 60: Ladegerät mit Ladehaube HVC-PU 300 (ABB) [21]



Abbildung 61: Integriertes Ladegerät mit Lademast: Link Charger (Eko Energetyka) [22]

7.9 Beispiele verschiedener Ladekonzepte am Betriebshof



Abbildung 62: Steckerladung im Depot der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) [23]



Abbildung 63: Steckerladung im Depot der Mainzer Verkehrsgesellschaft mbH [24]



Abbildung 64 Steckerladung im Depot des Nahverkehr Schwerin (NVSQ) [25]



Abbildung 65: Pantographenladung im Depot der Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) [26]



Abbildung 66: Pantographenladung im Depot der Kölner Verkehrs-Betriebe (KVB) [27]

7.10 Liste des Digital-Anhangs

1. SoC-Simulationen Depotladung

- | | |
|-----|---|
| 1.1 | DA 1_1 OVG-2030 - 23-12-01 SoC-Simulation Germendorf Depotladung.xlsx |
| 1.2 | DA 1_2 OVG-2030 - 23-12-01 SoC-Simulation Gransee Depotladung.xlsx |

2. CAD-Lagepläne Standort Germendorf

- | | |
|-----|--|
| 2.1 | DA 2_1 OVG-2030 - 24-02-14 Germendorf-LP-Layer.pdf |
| 2.2 | DA 2_2 OVG-2030 - 24-02-14 Germendorf-LP-ohne Layer.pdf |
| 2.3 | DA 2_3 OVG-2023 - 24-02-14 Germendorf-LP.dwg |
| 2.4 | DA 2_4 OVG-2023 - 24-03-22 Germendorf-LP_Baustufen_Jahr2030_Layer_BS |
| 2.5 | DA 2_5 OVG-2023 - 24-03-22 Germendorf-LP_Baustufen_Jahr2030_ohneLayer_BS |

3. Lastenheft E-Bus (Stand 14.02.2024)

- | | |
|------|---|
| DA 3 | OVG-2030 - 24-02-14 Lastenheft_OVG_und_VDV.xlsx |
|------|---|

4. Beschaffungsplan und Kosten

- | | |
|-----|---|
| 4.1 | DA 4_1 OVG-2030 - 24-03-18 Beschaffungsplan und Kosten Basisszenario.xlsx |
| 4.2 | DA 4_2 OVG-2030 - 24-03-18 Beschaffungsplan und Kosten Minimalszenario.xlsx |