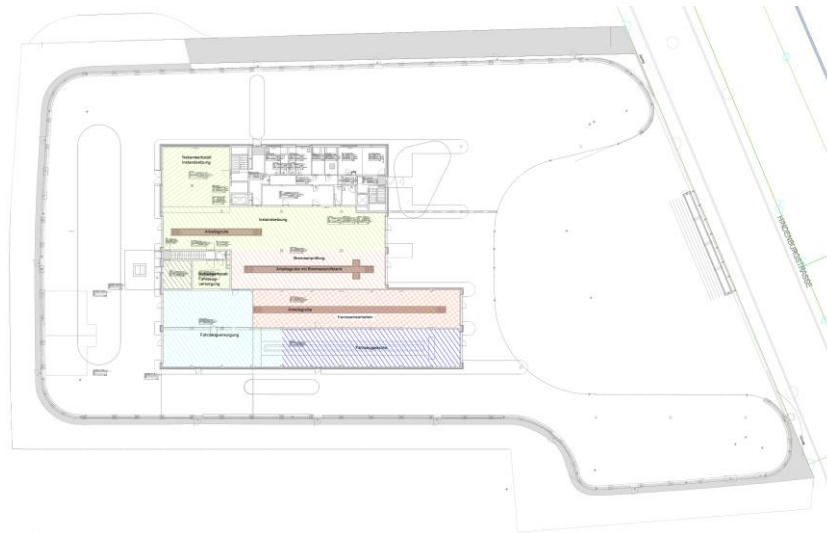


Einsatz batterieelektrischer Busse im Verkehrsbetrieb Stadtbus Ingolstadt GmbH

Machbarkeitsstudie zur Umstellung des Busbetriebs

Bericht AP 1-5, Dezember 2023



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Auftraggeber:
Stadtbus Ingolstadt GmbH
Hindenburgstr. 1
85057 Ingolstadt

Auftragnehmer:
VCDB VerkehrsConsult
Dresden-Berlin GmbH

Standort Dresden

Könneritzstraße 31
01067 Dresden
Tel.: +49 351 4 82 31-00
Fax: +49 351 4 82 31-09
E-Mail: dresden@vcdb.de

Internet: www.vcdb.de

Ansprechpartner:
Tristan Lange
E-Mail: t.lange@vcdb.de

Inhaltsverzeichnis

Hintergrund der Machbarkeitsstudie	11
Ausgangslage	11
Umsetzung der Clean Vehicles Directive	12
Zielsetzung	16
Vorgehen	17
1 AP 1-Betriebshofanalyse	19
1.1 AP 1.1 – Bestandsaufnahme Betriebshof	19
1.2 AP 1.2 – Anforderungen Brandschutz	21
1.2.1 Ausgangslage	21
1.2.2 Brandentstehung/ Ursachen	22
1.2.3 Brandverhalten/ Erkenntnisse und Auswirkungen	22
1.2.4 Richtlinien	23
1.2.5 Allgemeine Maßnahmen	23
1.2.6 Maßnahmen im Objekt	28
1.2.7 Zusammenfassung	32
2 AP 2 – Betriebshofumstellung	34
2.1 AP 2.1 – Konzeption Fahrzeugabstellung	34
2.1.1 Ausgangslage	34
2.1.2 Vorgaben und Randbedingungen	36
2.1.3 Defizite des Betriebshofes	36
2.1.4 Auslegung der Fahrzeugabstellung	38
2.1.5 Beobachtungsfläche	39
2.1.6 Nutzung Schotterfläche	39
2.1.7 Zusammenfassung	41

Inhaltsverzeichnis

2.2	AP 2.2 – Konzeption Werkstatt	42
2.2.1	Ausgangslage.....	44
2.2.2	Vorgaben und Randbedingungen	46
2.2.3	Defizite der Werkstatt.....	48
2.2.4	Maßnahmen im Objekt.....	49
2.2.5	Logistische Maßnahmen	56
2.2.6	Bauliche Maßnahmen	66
2.2.7	Personalqualifizierung	67
2.2.8	Leistungspositionen der Werkstatt.....	71
2.3	AP 2.3 – Konzeption Ladeinfrastruktur.....	71
2.3.1	Auslegung der Ladeinfrastruktur	71
2.3.2	Systemkomponenten Ladeinfrastruktur Betriebshof	83
2.3.3	Systemabgrenzung Ladung	84
2.3.4	Betriebshofkonzept zur Integration Ladeinfrastruktur.....	86
2.3.5	Leistungspositionen Ladeinfrastruktur Betriebshof	89
3	AP 3 – Energiebereitstellung.....	90
3.1	AP 3.1 – Netzanbindung und elektr. Grundversorgung.....	90
3.2	AP 3.2 – Potentiale der Energiebereitstellung.....	95
3.2.1	Einbindung erneuerbarer Energie	95
3.2.2	Potential von Last- und Lademanagement	103
4	AP 4 – Betriebswirtschaftliche Bewertung	106
4.1	AP 4.1 – Investitionskostenermittlung	106
4.1.1	Datengrundlage.....	106
4.1.2	Ermittelte Kosten	107
5	AP 5 Wissenstransfer	112
5.1	Umsetzungsstrategie Umbau Hindenburgstraße	115
5.1.1	SBI 1 Projektmanagement	116
5.1.2	SBI 2 Fahrzeuge	117
5.1.3	SBI 3 Umbau Betriebshof.....	118

5.1.4	SBI 4 Ladeinfrastruktur Betriebshof.....	121
5.1.5	SBI 5 Werkstatteinrichtung	123
5.1.6	SBI 6 Sicherheitstechnische Maßnahmen.....	125
5.1.7	SBI 7 Lademanagementsystem.....	126
5.1.8	SBI 8 Systemimplementierung	128
5.1.9	Termine	129
5.2	Bauphasen Umbau Betriebshof Hindenburgstraße.....	130
5.2.1	BA 1 - Errichtung des Gebäudes Ladeinfrastruktur	131
5.2.2	BA 2 - Errichtung Ladeinfrastruktur südliche Abstellung	131
5.2.3	BA 3 - Errichtung Ladeinfrastruktur nördliche Abstellung	132
5.2.4	BA 4 – Umbau Werkstatt	132
5.3	Neubau Betriebshof der Zukunft	133
5.3.1	Betriebshofkonzept.....	133
5.3.2	Handlungsempfehlung.....	136
	Anhangsverzeichnis	140

Abbildungsverzeichnis, Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 0.1:	Beschaffungsquoten der CVD	13
Abbildung 0.2:	Relevante Fahrzeugklassen nach dem SaubFahrzeugBeschG	16
Abbildung 1.1:	Grundriss Betriebshof Hindenburgstraße.....	19
Abbildung 1.2:	Bereich der Schotterfläche	20
Abbildung 1.3:	Abmaße der Beobachtungsfläche gem. VDV 825.....	25
Abbildung 1.4:	Empfohlene Brandabschnitte Betriebshof Hindenburgstraße	30
Abbildung 1.5:	Lagerort von Li-Io-Akkus (blau).....	31
Abbildung 2.1:	Derzeitiges Abstellkonzept.....	35
Abbildung 2.2:	Mindestanforderung Abstände gem. VDV 825.....	36
Abbildung 2.3:	Abstellkonzept und Beobachtungsfläche Betriebshof Hindenburgstraße	39
Abbildung 2.4:	Abstellkonzept Schotterfläche Variante 1 „Best Case“	40
Abbildung 2.5:	Abstellkonzept Schotterfläche Variante 2 „Worst Case“	41
Abbildung 2.6:	Wertschöpfungstiefe der Instandhaltung	43
Abbildung 2.7:	Grundriss Werkstatt	44
Abbildung 2.8:	Grundriss DAS Variante 1.....	51
Abbildung 2.9:	Querschnitt DAS mit Krananlage Variante 1	52
Abbildung 2.10:	Grundriss DAS Variante 2.....	53
Abbildung 2.11:	Querschnitt DAS mit Krananlage Variante 2	54
Abbildung 2.12:	Position Steckdosen für mobile Ladegeräte	56
Abbildung 2.13:	Brandschutzcontainer mit Regal von der Firma PROTECTO (02/2023)	58
Abbildung 2.14:	LiioBox Red (Fa. Lion Care 02/2023) Lagerbehälter für auffällige Batterien.....	59
Abbildung 2.15:	Regalkonzept (Meta Regalkonfigurator 02/2023).....	61
Abbildung 2.16:	Regalsystem Variante 1	62
Abbildung 2.17:	Regalsystem Variante 2.....	63
Abbildung 2.18:	Regalsystem Variante 3.....	64
Abbildung 2.19:	Palettenregal mit Bedienflächen Variante 4	65
Abbildung 2.20:	Angedachte Toranordnung an der Fahrzeugwäsche.....	67
Abbildung 2.21:	HV-Qualifikation nach DGUV-Information 209-093	68
Abbildung 2.22:	Ungesteuerte Ladung – Anzahl der belegten Ladepunkte	76

Abbildungsverzeichnis, Tabellenverzeichnis

Abbildung 2-23:	Ungesteuerte Ladung - Leistungsbedarf	77
Abbildung 2-24:	Ungesteuerte Ladung mit Verschiebung der Schnellladung – Belegung der Ladepunkte	78
Abbildung 2-25:	Ungesteuerte Ladung mit Verschiebung der Schnellladung – Leistungsbedarf	79
Abbildung 2-26:	Gleichmäßige Ladung mit Ausnahme der Schnellladepunkte – gesamter Leistungsbedarf	80
Abbildung 2-27:	Gesteuerte Ladung - Leistungsbedarf.....	81
Abbildung 2-28:	Schema Ladeinfrastruktur inklusive der vorgelagerten Versorgungsinfrastruktur	85
Abbildung 2-29:	Gebäude Ladeinfrastruktur.....	86
Abbildung 2-30:	Konzeption zur Integration der Ladeinfrastruktur in den Betriebshof	86
Abbildung 3.1:	Schematische Darstellung zur Netzanbindung und Energiebereitstellung	90
Abbildung 3.2:	Mögliche Flächen zur Photovoltaiknutzung auf dem Werkstattgebäude	97
Abbildung 3.3:	Abschätzung des möglichen Energieertrags bei installierter Leistung von 90 kW _{peak}	99
Abbildung 5.1:	Projektstufen	113
Abbildung 5.2:	Bauabschnitte Hindenburgstraße	131
Abbildung 5.3:	Grundstück Betriebshof der Zukunft	133
Abbildung 5.4:	Betriebshofkonzept Layout 1	134
Abbildung 5.5:	Betriebshofkonzept Layout 2	135
Abbildung 5.6:	Betriebshofkonzept Layout 3	135

Abbildungsverzeichnis, Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 0.1:	Beschaffungsstufen Fahrzeuge, 1. Umsetzungsstufe	12
Tabelle 1.1:	Brandursachen im Vergleich	22
Tabelle 2.1:	Vergleich Betriebshof Hindenburgstraße mit Vorgaben VDV 822	36
Tabelle 2.2:	Übersicht Abstellplätze Hindenburgstraße	42
Tabelle 2.3:	Übersicht Arbeitsstände Werkstatt	45
Tabelle 2.4:	Wertungsmatrix zur Umrüstung Arbeitsstand	47
Tabelle 2.5:	SOLL/IST-Vergleich Anzahl Arbeitsstände	48
Tabelle 2.6:	Übersicht Regale Variante 1	62
Tabelle 2.7:	Übersicht Regale Variante 2	63
Tabelle 2.8:	Übersicht Regale Variante 3	64
Tabelle 2.9:	Übersicht Regale Variante 4	65
Tabelle 2.10:	Zusammenfassung der Regalvarianten	66
Tabelle 2.11:	HV-Qualifikationsstufen nach DGUV-I 209-093, Batteriebus	69
Tabelle 2.12	Laufleistungen der einzelnen Betriebstage	73
Tabelle 2.13	Energiebedarf der Busse für Ermittlung des Leistungsbedarfes	74
Tabelle 2.14	Übersicht über die Ladetechnik	82
Tabelle 3.1:	Aufstellung der möglichen Flächen zur Photovoltaiknutzung	98
Tabelle 3.2:	Auflistung größerer PV-Freiflächenanlagen im Umfeld Ingolstadts	101
Tabelle 3.3:	Auflistung größerer Windparks im Umfeld Ingolstadts	102
Tabelle 4.1:	Investitionskosten Ladeinfrastruktur	108
Tabelle 4.2:	Investitionskosten Anpassung Werkstatt	110
Tabelle 4.3:	Baunebenkosten	111
Tabelle 4.4:	Gesamtinvestitionskosten Ertüchtigung Betriebshof Hindenburgstraße	111
Tabelle 5.1:	Übersicht benötigte Ladepunkte gem. Beschaffungsquote ...	116

Abkürzungsverzeichnis

AC	...	Alternating Current (Wechselstrom)
AFID	...	Alternative Fuel Infrastructure Directive
ATEX	...	Atmosphère Explosibles (explosionsgefährdete Bereiche)
BAM	...	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BeSystO	...	Bewertungsverfahren für Systeminnovationen im ÖPNV
BHMS	...	Betriebshofmanagementsystem
BMA	...	Brandmeldeanlage
BSK	...	Brandschutzkonzept
CCS2	...	Combined Charging System Typ 2
CVD	...	Clean Vehicles Directive
DAS	...	Dacharbeitsstand
DB	...	Deutsche Bahn AG
DC	...	Direct Current (Gleichstrom)
FZG	...	Fahrzeug
FHV	...	Fachkundige Person Hochvolt
GL-Bus	...	Gelenkbus
HV	...	Hochvolt
Li-Io	...	Lithium-Ionen
LLMS	...	Last- und Lademanagementsystem
LöRüRL	...	Löschwasser-Rückhalterichtlinie
MS	...	Mittelspannung
MSSA	...	Mittelspannungsschaltanlage
NABIS	...	Nationale Biomassestrategie
NS	...	Niederspannung
NSHV	...	Niederspannungshauptverteilung
NSUV	...	Niederspannungsunterverteilung
RWA	...	Rauch- und Wärmeabzugsanlagen
SBI	...	Stadtbus Ingolstadt
SL-Bus	...	Solobus
SP	...	Sonderpaletten
SW-I	...	Stadtwerke Ingolstadt
TGA	...	Technische Gebäudeausrüstung
VCDB	...	VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH

Abkürzungsverzeichnis

VDV	...	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
VGI	...	Verkehrsverbundes Großraum Ingolstadt
VNB	...	Verteilnetzbetreiber

Hintergrund der Machbarkeitsstudie

Ausgangslage

Zum 2. Mai 2013 entstand die Stadtbus Ingolstadt GmbH aus den zwei kommunalen Busunternehmen KVB Ingolstadt GmbH sowie der IN-Bus GmbH. Mit Wurzeln bei der KVB Ingolstadt GmbH entstand die Stadtbus Ingolstadt GmbH aus einem Unternehmen, welches bereits seit 1931 den Ortslinienverkehr in Ingolstadt abwickelt.

Im Liniennetz des Verkehrsverbundes Großraum Ingolstadt (VGI) stellt die Stadtbus Ingolstadt GmbH das größte Verkehrsunternehmen dar. Die Stadtbus Ingolstadt GmbH bedient als kommunales, direkt beauftragtes Verkehrsunternehmen den kompletten Stadtverkehr Ingolstadt incl. einiger abgehender Linienabschnitte des benachbarten Landkreis Eichstätt. Sie ist damit bezüglich des Nutzwagenkilometeranteils das größte Verkehrsunternehmen im Gebiet des Verkehrsverbundes Großraum Ingolstadt. Die jährlichen Fahrgastzahlen betragen knapp 16 Millionen Fahrgäste. Insgesamt stieg die Fahrgastnachfrage im VGI seit 1988 von 19.000 Fahrgästen/Tag auf über 55.000 Fahrgäste/Tag im Jahr 2019 an. Ein Großteil dieser Fahrgäste nutzt das Angebot zwischen 7:00 und 8:00 Uhr.

Einen Schwerpunkt stellt die direkte Anbindung an das AUDI-Werk durch den ÖPNV dar. Auf den relevanten Streckenabschnitten wird bereits heute ein 5-Minuten-Takt in der Hauptverkehrszeit ermöglicht. Hier wurden in den vergangenen Jahren auch besonders hohe Zunahmen der Fahrgastzahlen verzeichnet.

Der Fuhrpark der Stadtbus Ingolstadt GmbH umfasst aktuell 115 Fahrzeuge von denen 78 Fahrzeuge Hybrid-Fahrzeuge sind. Perspektivisch ist der vollständig elektrische Betrieb die Zielsetzung der Stadtbus Ingolstadt GmbH. Gegenwärtig ist die Beschaffung von jährlich 6 E-Bussen bis 2029 (insgesamt 42 E-Busse) geplant. Die erste Beschaffungsstufe umfasst 6 E-Busse (3 SL-Busse, 3 GL-Busse) und soll bis Ende 2023 abgeschlossen sein. Die Aufteilung SL-/GL-Busse der weiteren Beschaffungsstufen ist abhängig von der Bewertung des Betriebshofes Hindenburgstraße hinsichtlich der Platzverhältnisse.

Hintergrund der Machbarkeitsstudie

Jahr	Beschaffungsstufen	Anzahl SL-Busse	Anzahl GL-Busse	Anzahl Busse gesamt
2023	1	3	3	6
2024	2			6
2025	3			6
2026	4			6
2027	5			6
2028	6			6
2029	7			6
gesamt				42

Tabelle 0.1: Beschaffungsstufen Fahrzeuge, 1. Umsetzungsstufe

Umsetzung der Clean Vehicles Directive

Die „Richtlinie (EU) 2019/1161 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge“ gibt für die EU-Mitgliedsstaaten Mindestziele für emissionsarme und -freie Pkw sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge einschließlich Bussen bei der öffentlichen Auftragsvergabe vor. Die zu erfüllenden Quoten für Deutschland bei der Beschaffung schwerer Nutzfahrzeuge einschließlich Bussen im ÖPNV sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Hintergrund der Machbarkeitsstudie

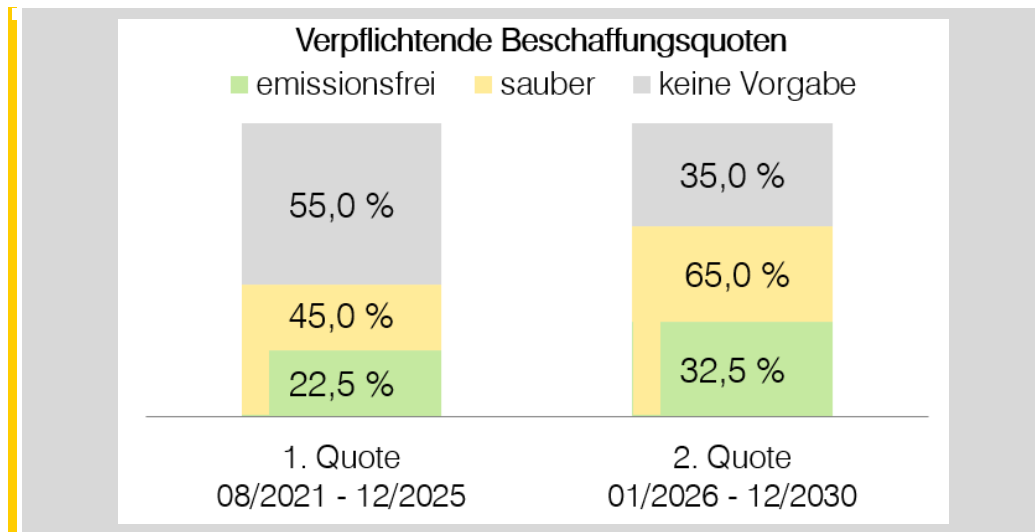


Abbildung 0.1: Beschaffungsquoten der CVD

Es werden zwei Referenzzeiträume definiert:

- 2. August 2021 - 31. Dezember 2025: Bei Fahrzeugbeschaffungen gilt eine Mindestquote von 45 % für saubere Busse. Mindestens die Hälfte der Quote ist durch emissionsfreie Antriebe zu erfüllen.
- Januar 2026 - 31. Dezember 2030: Die Quote für saubere Fahrzeuge steigt auf 65 %. Erneut muss mindestens die Hälfte der Quote durch emissionsfreie Busse erfüllt werden.
- Ab 01.01.2031: Werden keine neuen Mindestziele festgelegt, gelten die Quoten des 2. Referenzzeitraumes fort. Eine Quotenverschärfung seitens der Gesetzgebung ist allerdings erwartbar.

Die Begriffe „saubere“ und „emissionsfreie“ Fahrzeuge sind in der CVD genau definiert. Saubere Fahrzeuge werden mit alternativen Kraftstoffen im Sinne der europäischen Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID) betrieben. Bezogen auf Busse sind dies Busse mit Nutzung der folgenden Kraftstoffe:

- Strom
- Wasserstoff
- Biokraftstoff
- Synthetische und paraffinhaltige Kraftstoffe
- Erdgas inkl. Biomethan, gasförmig (CNG) und flüssig (LNG)
- Flüssiggas (LPG)

Hintergrund der Machbarkeitsstudie

Dies schließt bei der Nutzung von Strom alle rein elektrisch betriebenen Busse sowie auch Plug-In-Hybridbusse und konventionelle Oberleitungsbusse ein. Bei der Nutzung von Biokraftstoffen oder synthetischen und paraffinhaltigen Kraftstoffe dürfen diese nicht mit konventionellen fossilen Kraftstoffen gemischt werden.

Als emissionsfreie Fahrzeuge werden Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor sowie Fahrzeuge mit einem Verbrennungsmotor, der weniger als 1 g CO₂/kWh bzw. 1 g CO₂/km ausstößt, bezeichnet. Wiederum bezogen auf Busse meint dies Busse mit rein elektrischem Antrieb sowie den Wasserstoff-Verbrenner, d. h. folgende Fahrzeuge:

- Batteriebusse
- Batterie-Oberleitungsbusse
- Brennstoffzellenbusse mit/ohne Range-Extender
- Wasserstoff-Verbrenner

Demzufolge sind emissionsfreie Fahrzeuge zugleich saubere Fahrzeuge. Andererseits gilt dies jedoch nicht.

Mit dem Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz (SaubFahrzeugBeschG) vom 9. Juni 2021 wurde die CVD in nationales Recht überführt. Dieses regelt, wie die Beschaffung sauberer und emissionsfreier Fahrzeuge in Deutschland zu erfolgen hat. Betroffen von dem Gesetz ist die Beschaffung von Fahrzeugen und Dienstleistungsaufträgen durch öffentliche Auftraggeber und Sektorenauftraggeber durch folgende Verträge:

- Verträge über den Kauf, das Leasing oder die Anmietung von Straßenfahrzeugen
- Öffentliche Dienstleistungsaufträge gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007, die folgende jährliche Schwellenwerte übersteigen:
 - 1 Million Euro oder 300.000 Kilometer
 - 2 Millionen Euro oder 600.000 Kilometer bei unter 23 Fahrzeugen
- Dienstleistungsaufträge über Verkehrsdienste, die im EU-Amtsblatt (TED) unter folgenden CPV-Nummern bekannt gemacht werden:
 - 60112000-6 Öffentlicher Verkehr (Straße)
 - 60130000-8 Personensonderbeförderung (Straße)
 - 60140000-1 Bedarfspersonenbeförderung

Die Quoten sind in jedem Bundesland durch alle öffentlichen Auftraggeber und Sektorenauftraggeber insgesamt einzuhalten. Die Länder haben die Einhaltung der Quoten zu überwachen. Die Länder können für ihren Zuständigkeitsbereich

Hintergrund der Machbarkeitsstudie

zulassen, dass bestimmte Auftraggeber die Mindestziele nicht einhalten müssen, soweit diese bereits durch andere Auftraggeber innerhalb des Landes übererfüllt werden. Hierzu werden ausdrücklich Branchenvereinbarungen in den Ländern genannt. Außerdem haben die Länder die Möglichkeit, untereinander einen Ausgleich zu erzielen. Gemäß VDV-Rundschreiben vom 8. Juli 2021 vertreten die Bundesländer dazu jedoch die Auffassung, dass grundsätzlich jeder einzelne Auftraggeber die Quote einhalten muss. Dabei soll Flexibilität insofern bestehen, dass dessen Beschaffungen wie oben beschrieben über den Referenzzeitraum insgesamt einbezogen werden. Erkenntnisse darüber, ob und wie das Land Brandenburg branchen- oder länderübergreifende Vereinbarungen schließen wird, liegen aktuell noch nicht vor.

Die Quoten müssen über den jeweiligen Referenzzeitraum eingehalten werden, d. h. es ist jeweils der Zeitraum vom 02.08.2021 bis 31.12.2025 bzw. vom 01.01.2026 bis 31.12.2030 als Ganzes relevant. Werden für den Zeitraum ab dem 1. Januar 2031 keine neuen Mindestziele festgelegt, gelten die Quoten des 2. Referenzzeitraumes fort.

Verpflichtet zur Einhaltung der Quoten sind alle Beschaffungen, deren Auftragsbekanntmachung nach dem 2. August 2021 veröffentlicht wird oder bei denen nach dem 2. August 2021 zur Abgabe eines Angebotes aufgefordert wird. Es können jedoch für die Erfüllung der Ziele auch Zuschlagserteilungen angerechnet werden, die nach dem 2. August 2021 erfolgt sind, deren Bekanntmachung jedoch vor dem Stichtag lag.

Ob ein Auftrag unter die Quote des ersten oder zweiten Referenzzeitraumes fällt, bemisst sich am Datum der Zuschlagserteilung. Im praktischen Fall fällt damit eine Ausschreibung, die beispielsweise am 01.01.2025 veröffentlicht, für die aber erst am 01.01.2026 der Zuschlag erteilt wird, unter die Mindestziele der zweiten Periode.

Im Allgemeinen sind die für die Personenbeförderung ausgelegte und gebaute Fahrzeuge der Klasse M3 mit mehr als acht Sitzplätzen zusätzlich zum Fahrersitz und mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 5 Tonnen aus dem Anwendungsbereich des SaubFahrzeugBeschG ausgenommen.

Allerdings fällt die Fahrzeugklasse „M3 der Klasse I und A“ explizit wieder in den Anwendungsbereich des SaubFahrzeugBeschG. Die Fahrzeugklasse stellt den Stadtbus dar. Der Überlandbus „M3 der Klasse II und B“ ist damit nicht vom SaubFahrzeugBeschG betroffen. Die Hauptunterschiede zwischen der Fahrzeugklasse „M3 der Klasse I“ und „M3 der Klasse II“ sind im Rundschreiben vom 8. Juli 2021 vom VDV beschrieben.

Hintergrund der Machbarkeitsstudie

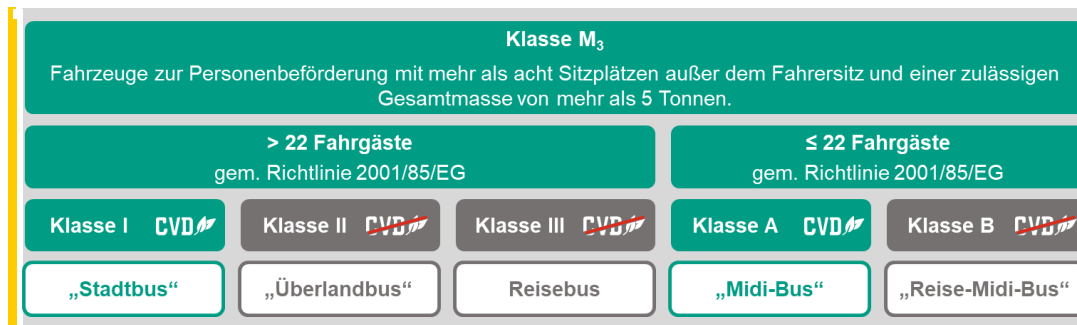


Abbildung 0.2: Relevante Fahrzeugklassen nach dem SaubFahrzeugBeschG

Kleintransporter mit acht Sitzplätzen oder weniger außer dem Fahrersitz sind nur vom SaubFahrzeugBeschG betroffen, wenn die Beschaffung der Fahrzeuge oberhalb des EU-Schwellenwertes liegt und somit eine EU-weite Ausschreibung erfordert.

Unklar ist aktuell, ob saubere und emissionsfreie Fahrzeuge bei einem ausgeschriebenen Dienstleistungsauftrag vom ersten Tag an in der geforderten Menge eingesetzt werden müssen. Das Gesetz enthält keine Angaben zur zeitlichen Einbringung der Fahrzeuge in Dienstleistungsaufträge. Der VDV interpretiert in seinem Rundschreiben vom 8. Juli 2021 im Sinne einer praktikablen Umsetzung, dass aufgrund der notwendigen Vorbereitungszeit zur Integration sauberer bzw. emissionsfreier Busse diese erst im Laufe der Vertragslaufzeit eingebracht werden müssen. Sollen die Fahrzeuge ab dem ersten Tag zum Einsatz kommen, wäre die Auftragsvergabe entsprechend frühzeitig zu erteilen. Können die Fahrzeuge erst im Laufe der Vertragslaufzeit eingebracht werden, muss ein Zeithorizont vorgegeben werden. In diesem Zusammenhang müssen ergänzend zum Gesetz Regelungen für die Quotenberechnung erlassen werden, d. h. Angaben darüber, welcher Stichtag oder ggf. welcher Zeitraum für die Quotenberechnung herangezogen wird. Die Frage zur zeitlichen Einbringung sauberer und emissionsfreier Fahrzeuge in einen Dienstleistungsauftrag sowie die konkrete Umsetzung im Land Brandenburg können zum Zeitpunkt der Finalisierung der Machbarkeitsstudie nicht abschließend beantwortet werden und sollten beim Entscheidungsprozess der VG OSL über die Einführung emissionsfreier Antriebe stets weiterverfolgt werden.

Zielsetzung

Gegenstand der geplanten Untersuchungen ist das Aufzeigen der technischen, betrieblichen, wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen der Umstellung der Busse auf emissionsfreie Antriebe. Die SBI sieht hier die Ertüchtigung eines Betriebshofs zum Elektrobus-Betriebshof als besondere Herausforderung. Der Fokus

Hintergrund der Machbarkeitsstudie

dieser Untersuchung liegt auf der Umstellung des Betriebshofes Hindenburgstraße. Es ist vorgesehen an diesem Standort 30 Elektrobusse zu stationieren. Das Konzept der Elektrobusse ist bereits festgelegt, die ersten Beschaffungsstufe hat bereits begonnen. Es werden Elektrobusse als Depotlader mit Steckerladung (CCS2) beschafft.

Ziel dieser Untersuchung ist neben Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen die Entwicklung einer Umsetzungsstrategie, auf deren Basis die Umsetzung des Projektes eingeleitet werden kann. Dies umfasst die Planung, die Beschaffung und die Einführung der für den Betrieb notwendigen Infrastrukturen, Fahrzeuge und IT-Systeme. Weiterhin sind Maßnahmen zur Vorbereitung der Werkstatt und des Personals auf die Technologieumstellung vorzusehen und die Betriebsaufnahme einzuleiten.

Vorgehen

Im ersten Schritt wird der Betriebshof Hindenburgstraße hinsichtlich der Umstellung auf Elektrobusse analysiert und eine Einschätzung der notwendigen Brandschutzmaßnahmen aufgestellt.

Im zweiten Arbeitspaket werden Konzepte zur Abstellung, Werkstattausrüstung und Ladeinfrastruktur erstellt. Es werden zukünftige Werkstattanforderungen für einen Elektrobusbetrieb bei der Stadtbus Ingolstadt GmbH definiert. Die technologiebedingten zusätzlichen Bedarfe an Werkstattausrüstung sowie Personalqualifizierungsmaßnahmen werden aufgezeigt. Die für den Betrieb notwendige Energieversorgungsinfrastruktur wird für die untersuchten Antriebskonzepte konfiguriert und ausgelegt. Dabei werden Lade- und Tankinfrastruktur auf Basis der für den Busbetrieb erforderlichen Umläufe und der daraus resultierenden Ladeleistung dimensioniert und unterschiedliche Möglichkeiten und Konzepte zur Integration in den Betriebshof diskutiert.

Die Umstellung der Fahrzeugflotte auf alternative Antriebe ermöglicht den Einsatz neuer Energiequellen (erneuerbare Energien, Energiespeicher). Für einen zuverlässigen Betrieb sind lokale Erzeugungskapazitäten essentiell. Es werden im dritten Arbeitsschritt die Möglichkeiten zur Einbindung lokaler Erzeugungskapazitäten und neuer Energiespeicher in den Elektrobusbetrieb überprüft sowie eine mögliche Kopplung der Sektoren von Energie und Verkehr im lokalen Umfeld untersucht.

Im vierten Arbeitspaket werden die angenommenen Investitionskosten der Umstellung des Betriebshofes auf das Elektrobuskonzept ermittelt. Die Investitionskosten werden unterteilt in Ladeinfrastruktur, Werkstatt und sonstige Kosten aufgestellt.

Hintergrund der Machbarkeitsstudie

Da die Platzverhältnisse auf dem Busbetriebshof Hindenburgstraße begrenzt sind, können nicht alle Forderungen an einen wirtschaftlichen E-Bus-Betriebshofs erfüllt werden. Wie im nachfolgenden Konzept erläutert, sind die möglichen Anpassungsmaßnahmen sehr begrenzt. Daher wird im fünften Arbeitspaket die Konzeption eines optimierten Elektrobusbetriebshofes als mittelfristige Alternative erarbeitet, welches dann an einem noch zu findenden geeigneten Standort implementiert wird.

1 AP 1-Betriebshofanalyse

1.1 AP 1.1 – Bestandsaufnahme Betriebshof

Der zu betrachtende Betriebshof in Ingolstadt, an der Hindenburgstraße 1 wurde 2009 in Betrieb genommen. Dort soll die Abstellung, Fahrfertigmachung (Revision), Innen- und Außenreinigung, sowie die Instandhaltung von den in der Stadtbus Ingolstadt eingesetzten Busse erfolgen. Die Fläche von ca. 6.630 m² ist größtenteils überdacht. Das Layout wurde nach einem Einbahnstraßensystem/ Kreisverkehrssystem mit Fahrtrichtung im Uhrzeigersinn konzipiert. Innerhalb des Betriebshofes sind trotz beengter Platzverhältnisse gegenwärtig bis zu 40 Abstellplätze für Solo- und Gelenkbusse (SL-Bus und GL-Bus) in Nutzung. Die Halle ist von einem 5 m breiten Streifen zur Feuerwehrumfahrung umgeben. Im nord-westlichen Bereich sind die Container der Abfallentsorgung entlang der Außenfassade angeordnet.

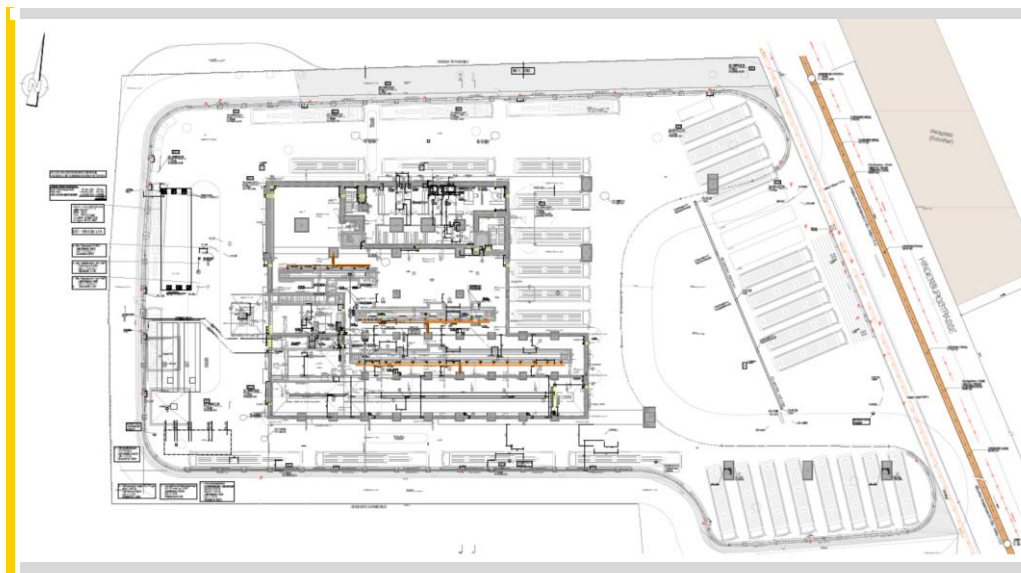


Abbildung 1.1: Grundriss Betriebshof Hindenburgstraße

Auf dem Betriebshof befindet sich ein unterkellertes, mehrgeschossiges Gebäude, in dem die Werkstatt und der Verwaltungstrakt untergebracht sind. Die Werkstatt

AP 1-Betriebshofanalyse

unterteilt sich in mehrere Arbeitsstände mit unterschiedlichen Aufgabebereichen und unterschiedlicher Ausstattung. Auf insgesamt 6 Montageplätzen werden Arbeiten mit dem Umfang von Ölwechsel bis hin zur Motor-, bzw. Getriebereparatur durchgeführt. Die Fahrzeugwäsche und Fahrzeugversorgung befinden im südlichen Gebäudeteil. Zudem gibt es eine Nebenwerkstatt, einen Schweißraum und Lagerflächen. Der Verwaltungstrakt beherbergt mehrere Büros, sowie Lagerräume. Da der Verwaltungstrakt keine Auswirkungen auf die Umstellung des Betriebshofes hat, wird auf eine detaillierte Betrachtung verzichtet.

Auf der gegenüberliegenden Seite der Hindenburgstraße befindet sich eine ca. 1.800 m² große Schotterfläche (siehe Abbildung 1.2., gelb), welche als Mitarbeiterparkplatz und Ausweichstellplatz für 5 weitere SL-Busse genutzt wird. Diese wurde Anfang 2023 um die nördlich angrenzende Schotterfläche mit ca. 1.600 m² (siehe Abbildung 1.2., rot) erweitert. Die gesamte Schotterfläche grenzt an ein Gelände der Deutschen Bahn (DB) an. Die Abtrennung ist mit Lärmschutzwänden bestückt.



Abbildung 1.2: Bereich der Schotterfläche

Aufgrund des Platzmangels gibt es keine feste Zuweisung der Stellplätze für die Busse. Die Abstellung nach der Revision erfolgt freihändig durch das Revisionspersonal.

Das Einfahren der Fahrzeuge findet über den ganzen Tag verteilt statt. Busse die nach 16 Uhr eintreffen, rücken erst am nächsten Tag wieder aus. Nach dem Abstellen der Busse, werden diese vom Werkstattpersonal gewaschen, betankt und

AP 1-Betriebshofanalyse

ein Abfahrtscheck wird durchgeführt (Revision). Dieser Vorgang wird in der Werkstatt auf den Arbeitsplätzen Fahrzeugwäsche und Fahrfertigmachung durchgeführt und wird mit einer Dauer von 1 Stunde pro Bus angegeben. Die Revision der Fahrzeuge findet wochentags von 16:00 bis 02:00 Uhr und am Wochenende zwischen 16:00 und 05:00 Uhr statt. In der Revision werden 2 Fahrzeuge parallel bearbeitet. Anschließend werden die Busse erneut auf einen freien Stellplatz auf dem Betriebshof abgestellt. Ein Betriebshofmanagementsystem gibt es bisher nicht. Die Abstellung erfolgt ohne feste Zuweisung der Stellplätze durch das Revisionspersonal. Die Ermittlung der Position der Fahrzeuge auf den Stellplätzen wird händisch durch die Disposition durchgeführt, um anschließend eine Fahrplan-Planung durchzuführen. Das Auslaufen der Fahrzeuge startet gegen 4:30 Uhr. Die überdachten Stellplätze haben eine Gesamthöhe von 4,5 m. Unter der Überdachung befindet sich ein Ladekabel für die Batterieladung der Dieselsebusse und die Druckluftversorgung auf einem Abroller-System.

Im Gebäude befindet sich die Werkstatt, wo Reparaturen und Service der Busse durchgeführt werden. Die Werkstatt ist wochentags von 8:00 bis 16:00 Uhr besetzt. Ein Zwei-Schichtsystem ist nicht geplant. Die Werkstatt besteht aus 1 Arbeitsplatz mit Radhebern und 4 Arbeitsplätzen mit Reparaturgruben. Die barrierefreie Gesamthöhe der Halle beläuft sich auf ca. 5,85 m. Die Breite der Arbeitsstände beträgt ca. 6,0 m.

Zwischen der Einfahrt und der Ausfahrt befindet sich ein unüberdachter Bereich, in dem mehrere Abstellplätze vor einer Trennwand zur Straße angeordnet sind. Diese Abstellplätze sind ebenfalls mit Druckluft und Ladekabeln ausgerüstet. Die dafür notwendigen Kabel, bzw. Leitungen sind hier jedoch unterirdisch verlegt.

1.2 AP 1.2 – Anforderungen Brandschutz

1.2.1 Ausgangslage

Während der Planung/ Errichtung des Betriebshofes in der Hindenburgstr. wurde ein Brandschutznachweis erteilt. Die Ertüchtigung des Betriebshofes zu einem Elektrobuss-Betriebshof bringt spezifische Gefährdungen mit sich und bedingt eine einzelfallbezogene Gefahrenanalyse. Diese kann als Grundlage zur Erstellung der Brandschutzplanung verwendet werden und um Abstimmungen mit Behörden, Versicherern und Brandschutzdienststellen der Feuerwehr zu führen.

Es ist immer zu prüfen, ob mit der Umstellung auf alternative Antriebe eine Nutzungsänderung oder eine bautechnische Veränderung von baulichen Anlagen vorliegt, die einer (neuen) Genehmigung bedürfen.

AP 1-Betriebshofanalyse

1.2.2 Brandentstehung/ Ursachen

Die Brandlast von Bussen ist durch die Innenraummaterialien generell hoch, weshalb E-Busse keine erhöhte Brandlast im Vergleich zu den Dieselnissen besitzen. Unterschiedlich sind vor allem die Ursachen für die Brände.

Brandursachen Dieselnissen	Brandursachen von E-Bussen
Undichte Einspritzleitungen der Kraftstoffversorgung	Fertigungsfehler/ Isolationsschäden (Separator) in der Batterie
Heiß gelaufene Kugellager (Riementrieb)	Kurzschluss in der Batterie durch Alterung bzw. Dendriten
Defekte an Abgasnachbehandlungssystemen (Standregeneration)	Fehlerhafte Hochvolt-Verschraubungen
Defekte am 24-V-Stromsystem	Defekte am 24-V-Stromsystem
Defekte an der fossilen Zusatzheizung	Defekte an der fossilen Zusatzheizung (falls vorhanden)
Mit Ruß zugesetzte (verkokte) Druckluftleitungen	

Tabelle 1.1: Brandursachen im Vergleich

Bei den Dieselnissen entfallen die Ursachen auf verschiedene Bereiche des Fahrzeugs. Von chemischen und mechanischen Ursachen, bis hin zu Bränden welche durch die Elektronik verursacht werden. Spezifische Brandrisiken von E-Bussen gehen von den Batterien und den Ladeinfrastrukturen aus. Im Rahmen des Beschaffungsprozesses sollte von den Herstellern der Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur eine Gefährdungsanalyse angefordert und in die Gefährdungsbeurteilung übernommen werden.

Die Schadenerfahrungen zeigen bisher keine höheren Brandwahrscheinlichkeiten bei Elektrobusen gegenüber Dieselnissen.

1.2.3 Brandverhalten/ Erkenntnisse und Auswirkungen

Der Brandschutz von Dieselnissen und E-Bussen unterscheidet sich deutlich. Die für Dieselnisse bereits vorgeschriebenen Brandunterdrückungssysteme (Motorraumlöschsystem) können nicht für E-Busse genutzt werden, da es bisher kein adäquat wirksames Löschmittel oder -system gibt. Daher ist die frühzeitige Branderkennung durch Batteriemonitoringsysteme von erhöhter Bedeutung um Anomalien rechtzeitig zu erkennen und ggf. den Ladeprozess zu unterbrechen sowie entsprechende Stellen zu informieren.

Eine brennende Batterie kann nach gegenwärtigem Stand der eingesetzten Technik nicht gelöscht werden. Direkter Kontakt der brennenden Batterie mit Löschwasser begünstigt elektrochemische Prozesse und setzt mehr Energie frei wodurch das Feuer weiter angefacht wird. Das Mittel der Wahl ist die Kühlung mit Wasser um eine Ausbreitung des Brandes weitestgehend einzudämmen.

1.2.4 Richtlinien

Folgende Richtlinien und Verordnungen sind bei der Erstellung dieses Berichtes betrachtet worden:

- EltBauVO - Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen
- ArbSchG - Arbeitsschutzgesetz
- BetrSichV - Betriebssicherheitsverordnung
- DIN 14675 – Brandmeldeanlagen
- ISO 17840 - Straßenfahrzeuge – Informationen für Ersthelfer und Rettungskräfte
- VDE 0100-731 - Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten
- VDV 825 - Anforderungen an Betriebshöfe und Werkstätten beim Einsatz von Linienbussen mit sauberen und/oder emissionsfreien Antrieben
- VdS 0825 - Brandschutz in Betriebshöfen für Linienbusse
- VdS 3103 - Lithium-Batterien

1.2.5 Allgemeine Maßnahmen

In diesem Abschnitt werden die empfohlenen Maßnahmen zur Umstellung eines Betriebshofes auf E-Busse aufgeführt.

1.2.5.1 Betrieblich organisatorischer Brandschutz

Der Betreiber ist nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) verpflichtet, in einer Gefährdungsbeurteilung die Gefahren, die von den technischen Einrichtungen und Geräten ausgehen können, einzuschätzen, zu beurteilen und daraus abzuleitende notwendige Schutzmaßnahmen umzusetzen. Es sind daher Gefährdungsbeurteilungen zu erstellen unter der Berücksichtigung von beaufsichtigten wie auch unbeaufsichtigten Ladevorgängen, Hochvoltarbeitsplätzen (HV-Arbeitsplätzen) und Dacharbeitsständen (DAS).

AP 1-Betriebshofanalyse

Brandschutzbeauftragter und Brandschutzhelfer

Der Brandschutzbeauftragte und die Brandschutzhelfer müssen über zu den neuen Gegebenheiten über die Beachtung im Brandfall bei E-Bussen geschult werden. Die Ausbildung von Brandschutzhelfern kann durch den Unternehmer oder die Unternehmerin, deren Beauftragte oder auch in Kooperation mit qualifizierten Anbietern oder Feuerwehren erfolgen.

Brandschutzkonzept

Beim Einsatz alternativer Antriebstechniken ist ein ganzheitliches Brandschutzkonzept (BSK) aufzustellen oder zu überarbeiten und bei brandschutzrelevanten Änderungen fortzuschreiben.

Das bestehende Brandschutzkonzept muss die oben aufgeführten, sowie ggf. zusätzlich abgestimmte Maßnahmen des Brandschutzes hinsichtlich der Abstimmung von E-Bussen und der Integration von Ladeinfrastruktur in den Betriebshof bewerten.

Beobachtungsfläche

Ein Bus mit einer potentiell beschädigten Lithium-Ionen-Batterie sollte auf einer Beobachtungsfläche abgestellt werden, so dass ein zeitlich verzögerter Fahrzeugbrand nicht auf benachbarte Objekte übergreifen kann. Eine Beobachtungsfläche (siehe Abbildung 1.3) existiert beim bestehenden Betriebshoflayout nicht und daher bei der Erstellung des Abstellkonzeptes berücksichtigt werden. Die Abmaße der Abstellfläche orientieren sich an den Maßen des größten Fahrzeugs zuzüglich eines Positionieraufschlags von 0,5 m zu jeder Seite. Die Beobachtungsfläche (hier veraltet Havariefläche) selber muss eine Mindestbreite von 5 m zu jeder Seite des Busses besitzen. Diese kann im Normalbetrieb zur Abstellung von Bussen oder Ersatzteilen genutzt werden, wenn sichergestellt ist, dass eine Räumung im Bedarfsfall möglich ist.

AP 1-Betriebshofanalyse

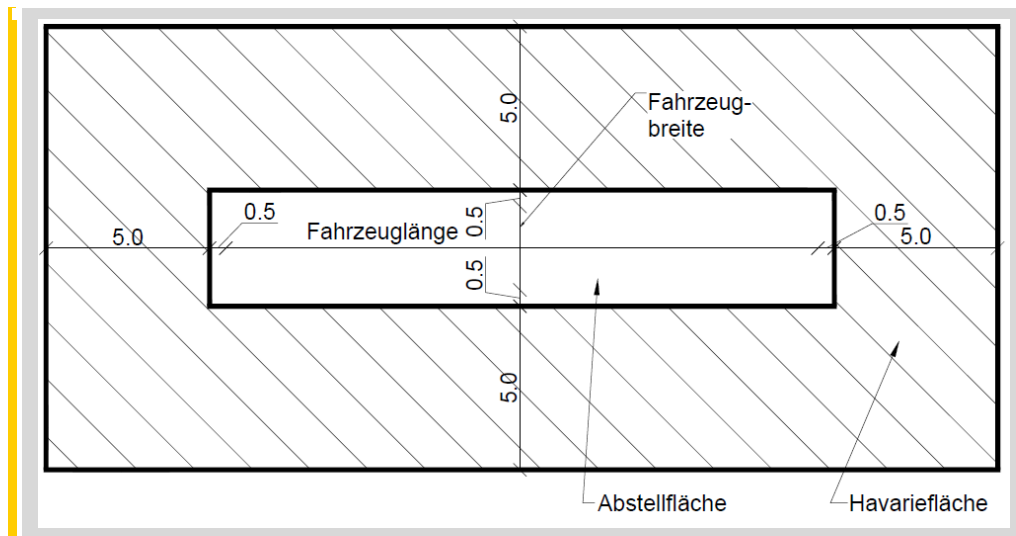


Abbildung 1.3: Abmaße der Beobachtungsfläche gem. VDV 825

Ergänzend sollten Überwachungsmöglichkeiten eingerichtet werden, um Brände frühzeitig zu erkennen. Hier empfiehlt sich der Einsatz einer Überwachung durch Wärmebildkamera, die den thermischen Verlauf überwacht, aufzeichnet und Anomalien an entsprechende Stellen weiterleitet. Des Weiteren ist es zu gewährleisten, dass der Zugang zu einem naheliegenden Hydranten gegeben ist, damit ein dort abgestelltes Fahrzeug im Bedarfsfall gekühlt bzw. gelöscht werden kann. Eine Abstimmung mit dem Fahrzeughersteller zu weiterreichenden Anforderungen an die Beobachtungsfläche ist durchzuführen. Der Untergrund ist mit nichtbrennbaren und versiegelnden Materialien, sowie einem Entwässerungsanschluss zum Auffangen austretender Betriebsstoffe bzw. zur Rückhaltung von Löschwasser auszuführen.

AP 1-Betriebshofanalyse

Notfallkonzept bei Fahrzeugbrand

Die Erstellung eines Notfallkonzeptes benötigt folgende Angaben des Fahrzeugherstellers:

- Busse mit alternativen Antrieben sind gem. ISO 17840 zu kennzeichnen. Rettungskarten/ Rettungsleitfäden sind bereitzustellen.
- Umgang mit beschädigten Batterien
- Kältemittel der Klimaanlage
- Hebe- und Bergekonzept
- Sicherungskonzept bei schweren Unfällen mit Deformationen im E-Bereich (Fahrzeug kann unter Spannung stehen)
- Sicherheitsdatenblätter: elektrische und chemische Bauteile und Komponenten, z. B. Batterien, Supercaps.
- Anforderungen an Beobachtungsflächen

Vor Inbetriebnahme der neu beschafften E-Busse müssen die zuständigen Rettungskräfte informiert werden. Dies sollte idealerweise bereits während der Abstimmungen zum BSK erfolgen.

Schulung

Das Personal, das bei technischen Defekten von Bussen im Linienbetrieb aktiv wird, muss speziell zur Absicherung des Arbeitsbereiches im öffentlichen Verkehrsraum und zum Umweltschutz geschult werden.

Bei der Unterweisung von Abschleppunternehmern muss auf die technischen Besonderheiten dieser Fahrzeuge hingewiesen werden. Es ist im Speziellen auf das Hebekonzept sowie die Dimensionen (Gewicht, Höhe) hinzuweisen. Weiterhin sind beim Abschleppvorgang und im Bergefall die Fahrzeugherstellervorgaben einzuhalten. Die Unterweisungsinhalte sind durch die SBI festzulegen, die Unterweisung ist zu dokumentieren.

1.2.5.2 Ladeinfrastruktur

Der Brandschutz für die Ladeinfrastruktur ist in der Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen (ElbBauVO) in den einzelnen Ländern festgelegt. Grundsätzlich sind die Maßgaben nach zusätzlichen Anforderungen an elektrische Betriebsräume für Transformatoren und Schaltanlagen mit Nennspannungen über 1 kV zu erfüllen. Die Regelungen für die Transformatoren sind analog auf die Ladeinfrastruktur anzuwenden.

Eine kontinuierliche Temperaturüberwachung der Ladeinfrastruktur ermöglicht eine frühzeitige Erkennung von Störungen und Fernüberwachung. Eine Verbindung an eine Leitzentrale ist sinnvoll.

1.2.5.3 Baulicher Brandschutz

Ziel des baulichen Brandschutzes ist die Reduzierung der Brandentstehungs- und Brandausbreitungsgefahr. Die allgemeinen Vorgaben zur Errichtung von Busabstellplätzen wie die Verwendung nichtbrennbarer Baustoffe und Tragwerken mit einer hohen Feuerwiderstandsdauer gelten bei der Umstellung auf E-Busse weiterhin. Da sich gezeigt hat, dass Rauch- und Wärmeabzug-Anlagen (RWA) nicht ausreichen um den Feuerüberschlag auf benachbarte Busse zu verhindern, ist die Errichtung von Brandwänden und Bildung von kleinen Brandabschnitten sinnvoll. Ab einem Ausfall von 15-20 % der Flotte kommt es zu erheblichen Einschränkungen des Fahrbetriebs. Die bisherige Erkenntnis der Brände in Betriebshöfen ist, dass alle Fahrzeuge in einem Brandabschnitt vernichtet wurden. Daher ist die Größe eines Brandabschnittes auf max. 20 % der Fahrzeugflotte zu begrenzen. In der Praxis hat sich eine Anordnung von ca. 20 Fahrzeugen pro Brandabschnitt bewährt. Die Brandabschnitte können durch eine „Räumliche Trennung“ oder „Bauliche Trennung“ voneinander getrennt werden. Für die räumliche Trennung ist ein Abstand von mindestens 10 m Abstand erforderlich. Die bauliche Trennung kann durch Wände mit einem ausreichend hohen Feuerwiderstand realisiert werden. Diese sollten mindestens 1 m über die Bushöhe hinausragen, um einen Brandüberschlag effektiv verhindern zu können.

1.2.5.4 Anlagentechnischer Brandschutz

Brandmeldeanlagen

Für den Einsatz einer Brandmeldeanlage (BMA) in der Abstellanlage für Busse ist ein abgestimmtes Brandmeldeanlagenkonzept (siehe DIN 14675 Brandmeldeanlagen) zu erstellen. Dabei ist insbesondere der Umgang mit ungewollten Alarmen z. B. durch Abgase zu klären oder eine Detektionstechnologie zu wählen, die auf die Art der Fahrzeugantriebe Rücksicht nimmt.

Brandbekämpfungsanlagen

Stationäre Brandbekämpfungsanlagen sind sehr wirkungsvolle Einrichtungen zur Brandbekämpfung. Ob diese jedoch eine Brandausbreitung zwischen Bussen eines Brandabschnittes zuverlässig verhindern, kann nach dem heutigen Stand der

AP 1-Betriebshofanalyse

Technik nicht beurteilt werden (VdS 0825 Kap. 7.2.2 Abs. 3). Ziel ist der Schutz von Gebäudestrukturen, um ein Versagen durch Verlust der Tragfähigkeit infolge der Erwärmung zu verhindern.

1.2.5.5 Abwehrender Brandschutz

Defensiver Feuerwehreinsatz

Folgende Mindestanforderungen sind für einen defensiven Feuerwehreinsatz erforderlich:

- Erstellung eines Feuerwahrplans mit Darstellung der Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden Bauteile
- Befahrbare Feuerwehrumfahrung gem. Musterrichtlinie über Flächen für die Feuerwehr
- Löschwasserversorgung entsprechend den Vorgaben „Löschwasserversorgung aus Hydranten in öffentlichen Verkehrsflächen“ mit einer Leistung von 192 m³/h (analog Industriegebäude)
- Elektrische Installationen wie die Ladeinfrastruktur sollen von außerhalb des Gebäudes von der Feuerwehr spannungsfrei geschaltet werden können
- Ggf. sind Maßnahmen zur Löschwasserrückhaltung erforderlich

Offensiver Feuerwehreinsatz

Für einen offensiven Feuerwehreinsatz ist aufbauend auf eine automatische Brandbekämpfungsanlage die Einhaltung folgender Parameter notwendig:

- Ein Gebäudeeinsturz ist nicht zu erwarten
- Es sind Anlagen zur Rauchableitung vorhanden
- Löschwasser-Anschlusseinrichtungen stehen zur Verfügung (Wandhydranten Typ F, Löschwasservolumen 200 l/min, Entnahme an drei Stellen gleichzeitig)
- Erschließungsgänge zwischen den Busreihen mit einer Breite von mind. 0,9 m

1.2.6 Maßnahmen im Objekt

In diesem Kapitel werden die notwendigen Maßnahmen des Brandschutzes für den Betriebshof Hindenburgstraße definiert.

1.2.6.1 Organisatorischer Brandschutz

Das bestehende Brandschutzkonzept ist hinsichtlich der neuen Anpassungen des Betriebshofes durch veränderte Brandlasten und -gefahren zu überarbeiten. Im Zuge der Planung und Umsetzung ist durch einen Brandschutzprüfer ein neues Brandschutzkonzept zu erstellen. Gemeinsam mit der örtlichen Brandschutzdienststelle sind Maßnahmen zu folgenden Punkten zu bewerten und festzulegen:

- Ggf. veränderte Fluchtwege durch Anpassungen der Fzg-Abstellung
- Anpassung der Brandmeldeanlage
- Anpassung der Brandbekämpfungsanlage
- Beobachtungsfläche
- Notabschaltungskonzept
- Löschwasserrückhaltung

1.2.6.2 Ladeinfrastruktur

Folgende Maßnahmen sind aus Sicht des Brandschutzes für die Ladeinfrastruktur im Betriebshof umzusetzen:

- Schaltgerätekombinationen (Schaltanlagen) sind in brandschutztechnisch getrennten Betriebsräumen „Abgeschlossene elektrische Betriebsstätte“ gem. DIN VDE 0100-731 zu betreiben.
- Ladeeinrichtungen sind aufgrund der hohen Leistungen zwingend fest an die Niederspannungsversorgung anzuschließen
- Mobile Ladegeräte die mit einer CEE-Steckverbindung betrieben werden, dürfen nur über einen kurzen Betriebszeitraum genutzt werden, bei längeren Zeiträumen sind ggf. über die gesetzliche Regelung hinausgehende Brandschutzmaßnahmen notwendig
- Stör- und Betriebsmeldungen sollten an eine ständig besetzte Stelle weitergeleitet werden, dort muss ein Alarmplan/ Ablaufplan vorhanden sein
- Schalträume sind durch Brandmeldeanlagen oder auch über geeignete funkvernetzte Gefahrenmeldeanlagen zu überwachen
- Die Abnahme muss durch Elektrofachkraft gem. VDE-1000-10 erfolgen, eine zusätzliche Abnahme durch einen VdS-anerkannten Sachverständigen wird empfohlen

AP 1-Betriebshofanalyse

1.2.6.3 Baulicher Brandschutz

Das derzeitige Abstellkonzept auf dem Betriebshof in Ingolstadt verfügt über Stellplätze für 23 Solobusse, 9 Gelenkbusse sowie 5 Stellplätze, die nach Bedarf für beide Busgefäßgrößen verwendet werden können. Das Abstellkonzept soll nur geringfügig verändert werden, da durch die beengte Situation jede inhaltliche Veränderung der Abstellung bauliche Änderungen erfordert (siehe Kapitel 2.1). Die Anpassung des Abstellkonzepts beschränkt sich daher auf eine Reduzierung der Stellplätze für Gelenkbusse bei Erhöhung der Stellplätze für Solobusse. Um dies zu kompensieren, soll die auf der gegenüberliegenden Straßenseite vorhandene Schotterfläche genutzt werden, um dort Gelenkbusse abzustellen und zu laden. Hier ist zu beachten, dass eine Abstellung nur auf versiegelten Flächen erfolgen darf. Da auf dieser Fläche nicht mehr als 15 Busse ohne Überdachung oder Einhausung stehen sollen, kann auf den Einsatz einer Brandbekämpfungsanlage verzichtet werden.

Die geplante Abstellung ermöglicht die Bildung von drei Brandabschnitten mit räumlicher Trennung im Betriebshof, sowie je eines Brandabschnittes im Gebäude und auf der Schotterfläche (siehe Abbildung 1.4).

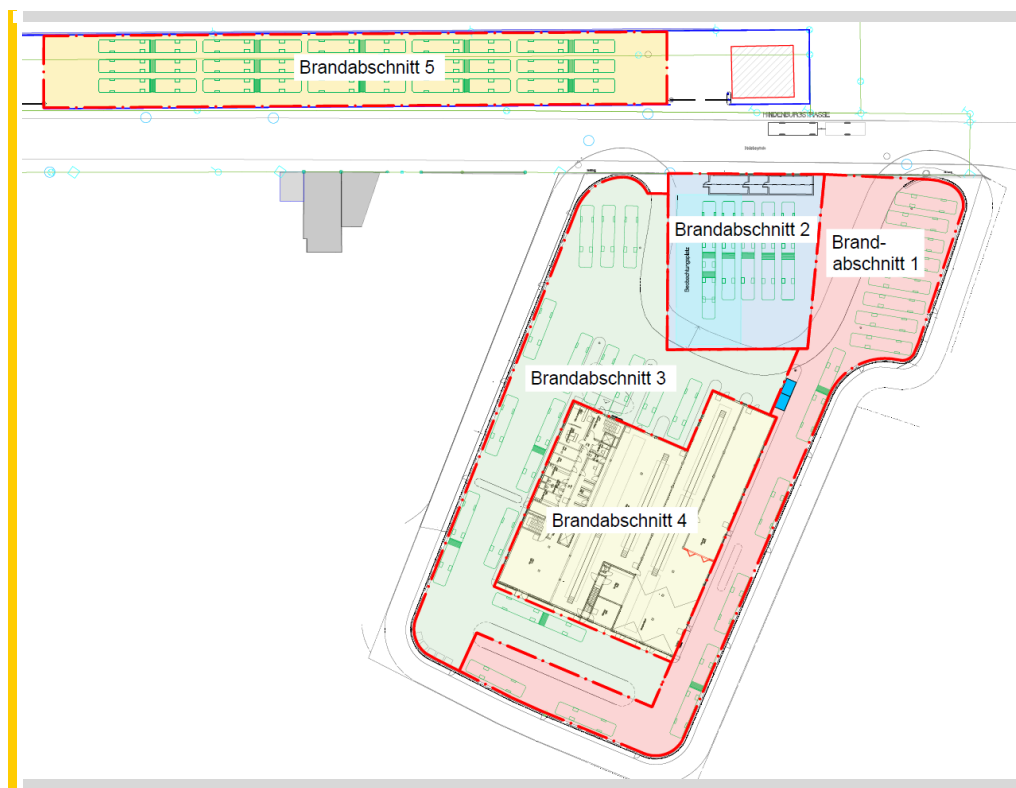


Abbildung 1.4: Empfohlene Brandabschnitte Betriebshof Hindenburgstraße

AP 1-Betriebshofanalyse

Hinweis: Im Zuge der Machbarkeitsstudie wurde die Nutzung der Schotterfläche zur Abstellung von E-Bussen aufgrund der komplizierten Abstimmungen mit der Deutsch Bahn verworfen.

Eine Lagerung von Energiespeichern ist bisher nicht vorhanden und muss dementsprechend geschaffen werden. Gemäß der Einteilung aus VdS 3103 gehören die in E-Bussen eingesetzten Batterien zu den Lithium-Batterien mit hoher Leistung. Da nach derzeitigem Stand keine gesicherten Kenntnisse zu adäquaten Sicherheitsmaßnahmen vorliegen, sind die Einzelmaßnahmen mit dem Sachversicherer zu regeln. Hierzu wird von Seiten der VCDB die Lagerung in speziellen Lagerbehältern zur Aufbewahrung von Li-Io-Akkus empfohlen, welche außerhalb der Werkstatt auf dem Hochbord zwischen der Waschanlage und Umfahrung angeordnet werden (siehe Abbildung 1.5). Diese Behälter können (bei entsprechender Ausführung) defekte Batterien aufnehmen und im Falle einer Zündung deren thermische Energie abschirmen (Separierung und räumliche Trennung). Eine Vorratslagerung neuer Batterien zum schnellen Austausch kann ebenfalls auf diese Art realisiert werden. Hierzu ist mit dem Hersteller die Notwendigkeit, bzw. ein Mengengerüst zu klären. Für das Abstellkonzept wird von einer Lagermenge von maximal 4 Akkus in stapelbaren Behältern ausgegangen.

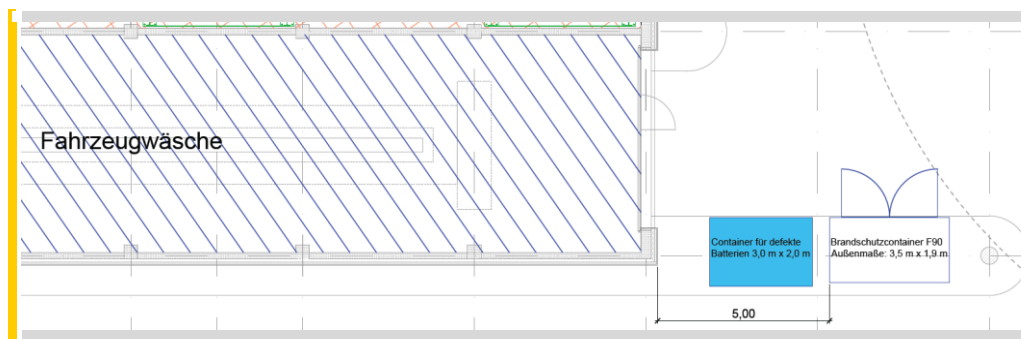


Abbildung 1.5: Lagerort von Li-Io-Akkus (blau)

1.2.6.4 Anlagentechnischer Brandschutz

Brandmeldeanlagen

Das bestehende BMA-Konzept ist zu überprüfen und ggf. anzupassen. Die Aktivierung durch Raucherkennung ist für die Überwachung von E-Bussen ungeeignet, da eine Rauchentwicklung erst bei ausgebrochenem Brand erfolgt. Eine Überwachung des Ladevorgangs mit Aufschaltung an eine zentrale Leitstelle ist grundsätzlich sicherzustellen.

AP 1-Betriebshofanalyse

Die derzeitige Auslegung der Sprinkleranlage muss mit dem Versicherer und einer anerkannten sachverständigen Stelle geprüft und ggf. angepasst werden.

Hinweis: Für Batterien von E-Bussen sind momentan (Stand 01/2023) noch keine geeigneten Brandunterdrückungssysteme verfügbar. Angaben von Herstellern zu Brandunterdrückungssystemen, die eine Löschwirkung bei Batteriebränden versprechen, sollten kritisch geprüft und hinterfragt werden.

1.2.6.5 Abwehrender Brandschutz

Defensiver Feuerwehreinsatz

Folgende Maßnahmen sind notwendig:

- Der bestehende Feuerwehrplan muss um das Gebäude der Ladeinfrastruktur erweitert werden
- Die bestehende Feuerwehrumfahrung erfüllt die Anforderungen
- Die bestehende Löschwasserversorgung erfüllt die Anforderungen
- Ein Notabschaltungskonzept muss bei der Planung und Umsetzung berücksichtigt werden
- Die Notwendigkeit einer Löschwasserrückhaltung ist vom Brandschutzprüfer mit der zuständigen Behörde abzustimmen

Offensiver Feuerwehreinsatz

Die Erfüllung der im Kapitel 1.2.5.5 aufgeführten Voraussetzungen ist vom Brandschutzprüfer mit der örtlichen Brandschutzdienststelle abzustimmen und ggf. zu erweitern.

1.2.7 Zusammenfassung

Im Zuge der konkreten Planung der Umstellung des Betriebshofes Hindenburgstraße ist durch den Objektplaner frühzeitig ein Brandschutzprüfer und die zuständige örtliche Brandschutzdienststelle in die Planung einzubeziehen. Schwerpunkte dabei sind:

- Erstellung Brandschutzkonzept
- Abstimmung der Alarmierung und Umgang mit Fehlalarmen
- Anpassung Brandmelde- und Brandbekämpfungsanlage in Abstimmung mit dem Versicherer
- Prüfung der Notwendigkeit einer Löschwasserrückhaltung

AP 1-Betriebshofanalyse

Für die Planung der Umstellung sind folgende Punkte mit dem Hersteller der E-Busse zu klären:

- Notwendigkeit und ggf. Mengengerüste zur (Zwischen-) Lagerung von Batterien auf dem Betriebshof
- Reaktionszeiten bei Austausch defekter Batterien bis Abholung vom Betriebshof

Die SBI muss innerbetrieblich folgende Maßnahmen zum Brandschutz sicherstellen:

- Erstellung neuer Gefährdungsbeurteilungen
- Erstellung eines Notfallkonzeptes
- Schulung und Unterweisung des Personals in die neuen Gegebenheiten bei technischen Defekten und im Brandfall

AP 2 – Betriebshofumstellung

2 AP 2 – Betriebshofumstellung

2.1 AP 2.1 – Konzeption Fahrzeugabstellung

Die Konzeptionierung der Fahrzeugabstellung erfolgt primär unter Maßgabe der ladesystemspezifischen Anforderungen, wobei für den Betriebshof geeignete Ladesysteme als Ladesäulen oder durch Deckenmontage installiert werden können. Das zu entwickelnde Abstellkonzept berücksichtigt die für die Integration der Ladeinfrastruktur benötigten Flächen sowie die für den Betriebsablauf notwendige Fahrwegführung.

Die Erhöhung der Abstellkapazitäten auf die maximal zu beschaffenden Fahrzeuge und der damit verbundene erforderliche Ausbau der Ladeinfrastruktur findet in der Konzeptionierung Berücksichtigung. Die Belange des Brandschutzes werden hierbei einbezogen.

Die ggf. notwendige Prüfung der Tragfähigkeit zur Integration der Ladeinfrastruktur an den Deckenträgern in der Abstellhalle erfolgt in Zuarbeit durch den Architekten. Die Lastannahmen sind im Kapitel Konzeption Ladeinfrastruktur aufgeführt.

2.1.1 Ausgangslage

Der Betriebshof Hindenburgstraße mit einer Fläche von 6.630 m² wird genutzt, um Diesel-Busse abzustellen, zu revisionieren, zu waschen, instandzuhalten und zu reparieren. Durch die räumlichen Einschränkungen des Werkstattgebäudes, der Umfahrung und den Einfahrtswegen werden gegenwärtig 40 Abstellflächen genutzt, die wie folgt aufgeteilt sind:

- 24 Solobusse
- 11 Gelenkbusse
- 5 Solo- oder Gelenkbusse

Die engen Raumverhältnisse machen teilweise Rangier- und Rückwärtsfahrten notwendig. Weiterhin ergeben sich Einschränkungen beim Ausrücken der Busse, da einige Busse erst „frei gefahren“ werden müssen.

AP 2 – Betriebshofumstellung

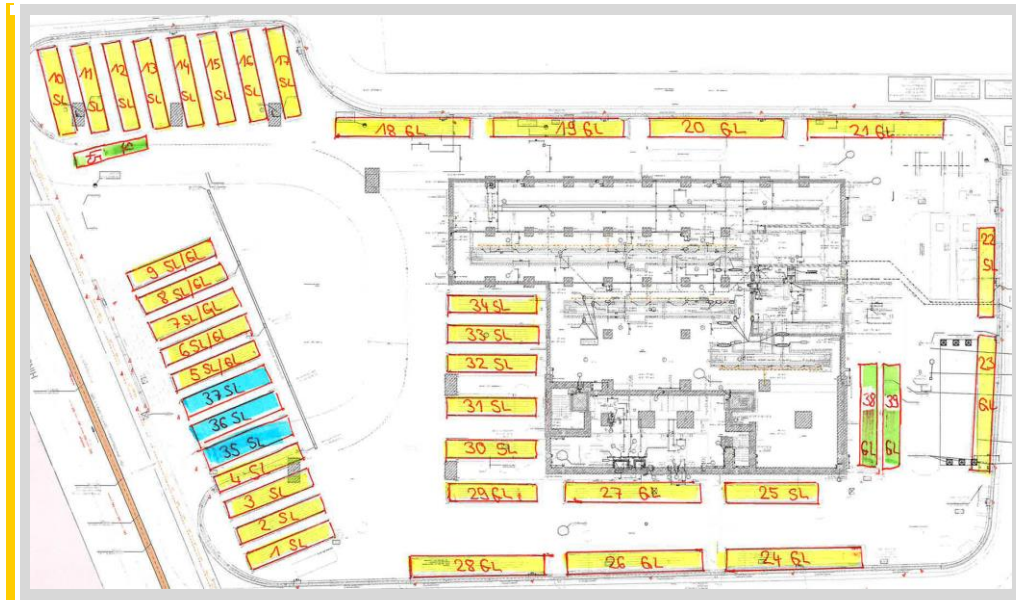


Abbildung 2.1: Derzeitiges Abstellkonzept

Die VDV 822 (Richtlinie für den Bau von Omnibus-Betriebshöfen) sieht bei einer Abstellung von 40 Bussen folgende Vorgaben an:

- Fläche Grundstück ohne Blockaufstellung:
 - Auslegung bei idealem Zuschnitt der Fläche und Blockaufstellung:

$$A \cong \left(1 + \frac{1 \cdot \text{Anzahl Solobusse} + 1,5 \cdot \text{Anzahl Gelenkbusse}}{5}\right) * F_B * 10^3 \text{ m}^2$$
 - Da eine Blockaufstellung nur teilweise realisiert werden konnte, wird der Faktor F_B mit 1,5 angenommen
 - **$A = 15900 \text{ m}^2$**
- Fahrzeuge sollen entsprechend der Rechtsfahrordnung entgegen dem Uhrzeigersinn fahren
- Rückwärtsfahren bzw. -rangieren ist zu vermeiden
- Empfohlene Anzahl Arbeitsstände bei 40 Bussen:
 - 1x Fahrzeugversorgung/ Innenreinigung u. Sonderarbeiten
 - 1x Fahrzeugwäsche
 - 1x Bremsenprüfung
 - 2x Instandsetzung
- Aufteilung der Arbeitsstände:
 - 2x mit Hebevorrichtung
 - 1x mit Arbeitsgrube

AP 2 – Betriebshofumstellung

2.1.2 Vorgaben und Randbedingungen

Auf dem Betriebshof Hindenburgstraße sind Stellplätze mit Ladeinfrastruktur für Elektrobusse vorzusehen. Geplant ist eine beidseitige Steckerladung. Die Depotboxen und Stecker sollen unter dem Dach befestigt werden, wodurch diese keinen weiteren Fläche benötigen. Die aus dem Fahrzeug herausragenden Stecker (angenommene Länge 0,3 m) verändern die benötigten Abstände zwischen den Fahrzeugen, um den Anforderungen von Rettungswegen (1,0 m), bzw. Arbeitsschutz (0,9 m) zu entsprechen (siehe Abbildung 2.2). Durch die benötigte Fläche zur Aufstellung der Ladeinfrastruktur (Gebäude der Ladegeräte und Niederspannungsverteilung mit ca. 88 m² angenommen) steigt der Flächenbedarf weiter.

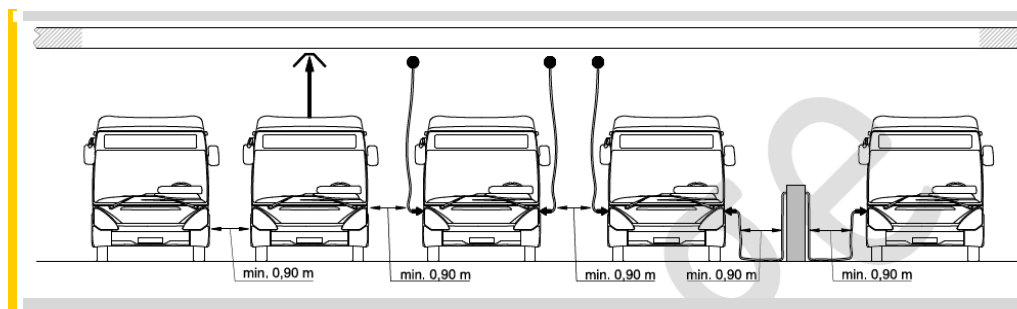


Abbildung 2.2: Mindestanforderung Abstände gem. VDV 825

2.1.3 Defizite des Betriebshofes

Eine Gegenüberstellung der Abweichungen des bestehenden Betriebshofs zu den Vorgaben der VDV 822 ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Parameter	Vorgabe VDV 822	Bestand Hindenburgstr.
Grundfläche	15.900 m ²	6.630 m ²
Fahrtrichtung	Gegen den Uhrzeigersinn	Im Uhrzeigersinn
Rückwärtsfahrten, Rangieren	Nein	Ja
Anzahl Arbeitsstände	5	6
Aufteilung Arbeitsstände	2 Hebevorrichtungen 1 Arbeitsgrube	1 Hebevorrichtung 4 Arbeitsgruben

Tabelle 2.1: Vergleich Betriebshof Hindenburgstraße mit Vorgaben VDV 822

AP 2 – Betriebshofumstellung

Die Prüfung des gegenwärtigen Abstellkonzeptes ergab folgendes:

- Eine Abstellung entsprechend der Empfehlungen der VDV 822 (Richtlinie für den Bau von Omnibus-Betriebshöfen) aufgrund der wesentlich kleineren Fläche ist nicht realisierbar
- Durch die Fahrtrichtung im Uhrzeigersinn sind die Fahrer gezwungen zur Straße hin auszusteigen, was mit einem erhöhten Unfallrisiko behaftet ist.
- Das notwendige Rückwärtsfahren/ Rangieren erhöht ebenfalls das Unfallrisiko
- Die höhere Anzahl der Arbeitsstände schränkt die Fläche der Abstellung weiter ein
- Die Aufteilung der Arbeitsstände wird im Kapitel 2.2 Konzeption Werkstatt betrachtet

Des Weiteren wurden folgende Defizite ermittelt:

- Abstellflächen in der Ausfahrt
- Erhöhter Flächenbedarf der Abstellflächen durch Steckerladung
- Vermeidung von baulichen Änderungen der Außenfassade (Rettungswege)
- Flächenbedarf Beobachtungsfläche (siehe 1.2.5.1 Absatz Beobachtungsfläche)

Die in der Ausfahrt positionierten Abstellflächen 35-37 (siehe Abbildung 2.1, blau dargestellt) können nicht zur Ladung genutzt werden, da die Ladeinfrastruktur die Ausfahrt (Feuerwehrezufahrt!) blockieren würde. Diese 3 Abstellplätze für Solobusse werden daher nicht weiterverfolgt und entfallen.

Bei seitlicher Steckerladung können die oben beschriebenen Abstände auf den Stellplätzen entlang der südöstlichen Außenwand (Abbildung 2.1 Plätze 18 bis 21) nicht erfüllt werden, da bei Ladung auf der rechten Fzg-Seite die Stecker 0,3 m weit in die Umfahrungsstraße hineinragen, bzw. bei linksseitiger Ladung die Busse mind. 0,3 m weiter von der Außenwand entfernt geparkt werden müssten. Die Umfahrungsstraße ist auf Höhe der Stellplätze 18-21 3,5 m breit, was dem zulässigen Minimum entspricht. Die seitliche Steckerladung führt daher zu unzulässigen Einschnürungen der Umfahrungsstraße auf 3,2 m.

Um die Anzahl der abzustellenden Fahrzeuge zu maximieren, wurde seitens der VCDB empfohlen, die Neufahrzeuge mit einem Ladestecker an der Front auszurüsten. Dies wird durch den Hersteller der Busse serienmäßig angeboten und wurde im Laufe der Planung mit diesem vereinbart. Die Ladung am vorderen Ende des Busses bedingt ebenfalls die oben aufgeführten Anforderungen an die

AP 2 – Betriebshofumstellung

Abstände. Bei Beibehaltung der gegenwärtigen Abstellung kollidiert diese Forderung mit den Rettungswegen/ Fluchttüren der Außenwand, da diese auf die Abmessungen der Busse ohne Stecker ausgelegt wurden. Da keine baulichen Änderungen an der Außenwand vorgenommen werden sollen, ist eine Änderung des Bus-Typs von GL-Bus auf SL-Bus notwendig, um den Abstellplatz nutzen zu können. Dies hat jedoch zur Folge, dass 4 Stellflächen für Gelenkbusse wegfallen und nur noch für Solobusse genutzt werden können.

2.1.4 Auslegung der Fahrzeugabstellung

Die ermittelten Defizite im Betriebshof widersprechen einer Auslegung des Abstellkonzeptes nach den Empfehlungen der VDV 822. Daher wird das bestehende Konzept weitestgehend übernommen und an die Vorgaben durch die Ladeinfrastruktur angepasst.

Unter Einhaltung der in Kapitel 2.1.2 aufgeführten Vorgaben konnte folgendes Abstellkonzept entwickelt werden. Es sind insgesamt 33 Abstellflächen vorgesehen, die wie folgt aufgeteilt sind:

- 23x SL-Busse
- 5x GL-Busse
- 5x für SL- oder GL-Busse

Die Abstellflächen welche im Bedarf von SL- und GL-Bussen genutzt werden können, sind vor dem Gebäude der Ladeinfrastruktur als Schnellladepunkte geplant.

AP 2 – Betriebshofumstellung

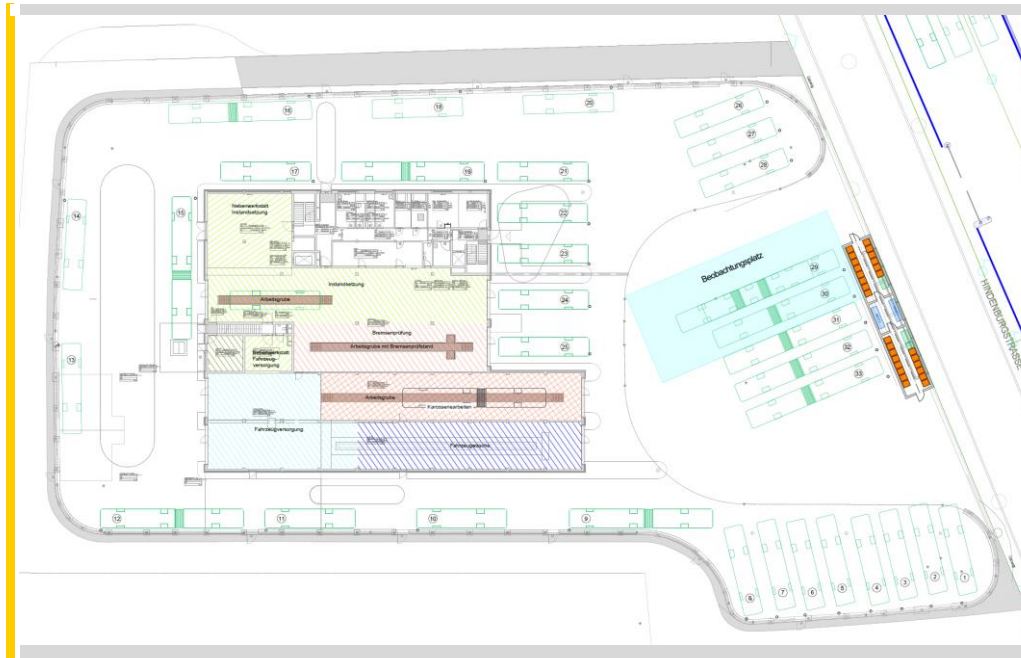


Abbildung 2.3: Abstellkonzept und Beobachtungsfläche Betriebshof Hindenburgstraße

2.1.5 Beobachtungsfläche

Die Beobachtungsfläche wurde auf dem nördlichsten Schnellladepunkt positioniert, da dieser nicht überdacht ist und von der Feuerwehr gut erreicht werden kann. Im Bedarfsfall muss der benachbarte Schnellladepunkt geräumt werden und kann für den Zeitraum der Beobachtung nicht genutzt werden. Die Beobachtungsfläche sollte einen Abstand von min. 5 m zu Gebäuden oder anderen Bussen aufweisen (siehe Abbildung 2.3, blauer Bereich), daher ist die Position der Beobachtungsfläche zur Abstellfläche nach Westen versetzt. Eine Bodenmarkierung zur Kenntlichmachung von Abstellfläche und Beobachtungsfläche ist zwingend erforderlich.

2.1.6 Nutzung Schotterfläche

Die Schotterfläche auf der gegenüberliegenden Straßenseite kann genutzt werden, um den Mangel von Abstellflächen für Gelenkbusse im Betriebshof zu kompensieren. Weiterhin soll im Norden der Fläche der Mitarbeiterparkplatz umgesetzt werden. Es sind 50 Pkw-Parkplätze vorzusehen. Ein weiterer Teil im Süden sollte freigehalten werden, da dort die Anbindung der Ladeinfrastruktur an das Netz der Stadtwerke positioniert werden soll. Da es sich hier um ein sehr schmales Grundstück handelt, welches sich nach Norden zunehmend zuspitzt, ist

AP 2 – Betriebshofumstellung

hier eine genaue Vermessung der bebaubaren Flächen notwendig. Weiterhin grenzt es östlich an ein Grundstück der Deutschen Bahn (DB). Es ist durch den noch zu bestimmenden Objektplaner zu prüfen, ob ein Bauantrag zu stellen ist, wenn z. B. bauliche Maßnahmen zur Montage von Beobachtungstechnik, Löschanlagen, Brandschutzwänden oder Löschwasserrückhalteeinrichtungen notwendig werden. Vor allem die Errichtung von Brandschutzwänden zu den Gleisanlagen hin ist hier kritisch zu prüfen, da die Lärmschutzwände der DB als solche nicht ausreichen. Eine Abstimmung mit der DB zur geplanten Umsetzung ist dringend zu empfehlen!

Untersucht wurde die Auswirkung der Abstimmungen mit der DB in zwei Varianten. Variante 1 betrachtet den „Best Case“ in dem eine Einigung mit der DB bzgl. Bebauung an der Grundstücksgrenze realisierbar ist, während in Variante 2 der „Worst Case“ betrachtet wird.

In Variante 1 kann die Fläche bis zur Lärmschutzwand der DB genutzt werden, was eine dreireihige Abstellung von GL-Bussen ermöglicht (siehe Abbildung 2.4). Es ist somit möglich 15 Abstellflächen für GL-Busse umzusetzen, welche nach dem „First in – First out“ Prinzip ein- und ausfahren. Die Ladeinfrastruktur muss in dieser Betrachtung an 5 Portalen über den Bussen befestigt werden.

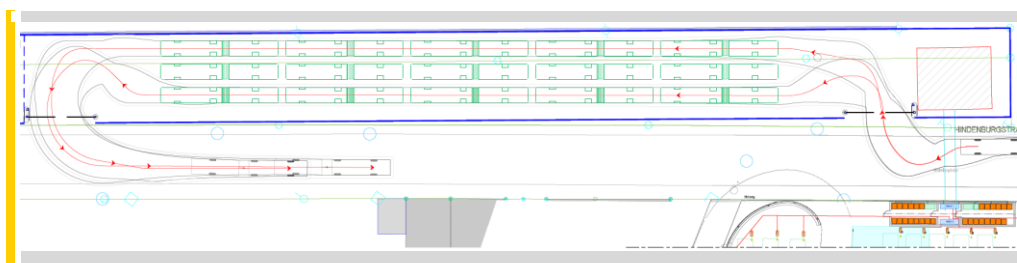


Abbildung 2.4: Abstellkonzept Schotterfläche Variante 1 „Best Case“

In Variante 2 wird die Einhaltung der Vorgaben der bayrischen Landesbauordnung zu den Abständen an der Grundstücksgrenze (0,4 Höhe, mind. 3 m) betrachtet. Durch die Vorgaben des Brandschutzes (10 m Abstand zu Bauwerken) kann nur eine Reihe von Bussen zur Abstellung von 5 GL-Bussen genutzt werden (siehe Abbildung 2.5). Die Ladeinfrastruktur kann hierbei über Portale oder Ladestationen auf dem Boden erfolgen.

AP 2 – Betriebshofumstellung

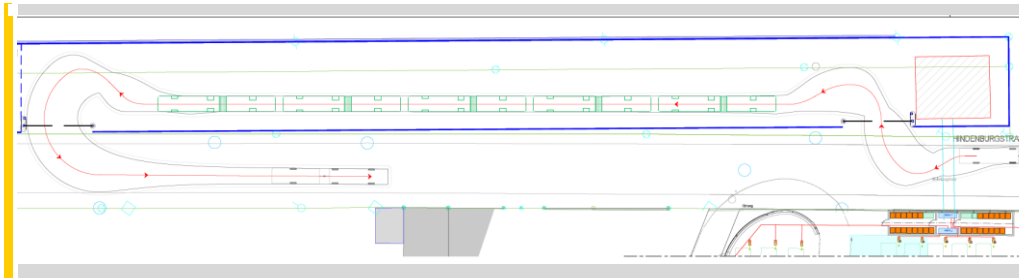


Abbildung 2.5: Abstellkonzept Schotterfläche Variante 2 „Worst Case“

In beiden Betrachtungen sollte das Gelände folgendermaßen ertüchtigt werden:

- Untergrund mit nicht brennbaren und versiegelten Flächen
- Zugangsbeschränkung durch Zaunanlagen und Schranken
- Markierung der Stellflächen und Abstände

Bei einer Abstellung von nicht mehr als 15 Bussen kann auf den Einsatz einer Brandbekämpfungsanlage verzichtet werden.

Es müssen Anlagen vom Grundsatz her so geplant, errichtet und betrieben werden, dass die bei Brandereignissen austretenden wassergefährdenden Stoffe, Lösch-, Berieselungs- und Kühlwasser sowie die entstehenden Verbrennungsprodukte mit wassergefährdenden Eigenschaften nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zurückgehalten werden. Die ursprüngliche Löschwasser-Rückhalterichtlinie (LöRüRL) wurde 2019 außer Kraft gesetzt, jedoch ist eine Nutzung als Berechnungsgrundlage empfohlen. Eine mögliche Rückhaltung sollte im Zuge der Planung bewertet werden.

Hinweis: Aufgrund schwieriger Abstimmungen mit der DB wurde im Zuge der Erstellung dieser Machbarkeitsstudie auf eine Nutzung der Schotterfläche zur Busabstellung verzichtet.

2.1.7 Zusammenfassung

Der größere Flächenbedarf durch Steckerladung und Beobachtungsfläche, sowie der Wegfall der Abstellplätze in der Ausfahrt bewirken eine Reduzierung der Anzahl von 40 auf 33 Abstellplätze. Zudem müssen 4 Abstellplätze in der Nutzung von GL- auf SL-Bus angepasst werden. Ein Ausgleich der entfallenen Abstellplätze auf der Schotterfläche konnte nicht realisiert werden. Dadurch ergibt sich folgendes Abstellkonzept im Betriebshof Hindenburgstraße:

AP 2 – Betriebshofumstellung

Anzahl Busse	Nutzung
23	SL-Bus
5	GL-Bus
5	SL-Bus / GL-Bus

Tabelle 2.2: Übersicht Abstellplätze Hindenburgstraße

Die Einschränkungen bewirken, dass die Flottenstruktur verändert wird. Der Einsatz von weniger und kleineren Busse hat negative Auswirkungen auf die Fahrgastzahlen! Weiterhin ist festzuhalten, dass die Gesamtzahl der zu beschaffenden Fahrzeuge (42 E-Busse) die Kapazitäten des Betriebshofes weit übersteigt! Daher muss ein weiterer Betriebshof errichtet und mit Ladeinfrastruktur ausgerüstet werden, um die angestrebte Anzahl von E-Bussen betreiben zu können.

2.2 AP 2.2 – Konzeption Werkstatt

Der konkrete Bedarf an Arbeitsständen, Lagerflächen und Werkstattausrüstung sowie der Schulungsbedarf ist vorrangig von der geplanten Instandhaltungstiefe abhängig. Dabei können einerseits die Wartung und Instandsetzung über einen mit dem Fahrzeughersteller abgeschlossenen Vollservicevertrag, d.h., dass sämtliche Leistungen durch den Hersteller erbracht werden, abgebildet werden. Andererseits kann die gesamte Bandbreite der Instandhaltung auch durch die Verkehrsbetriebe in Eigenleistung durchgeführt werden. Ein Kombiwartungsvertrag kann eine Zwischenlösung darstellen. Die Proportionalität von Anpassungsbedarf und Instandhaltungstiefe verdeutlicht nachfolgende Abbildung.

AP 2 – Betriebshofumstellung

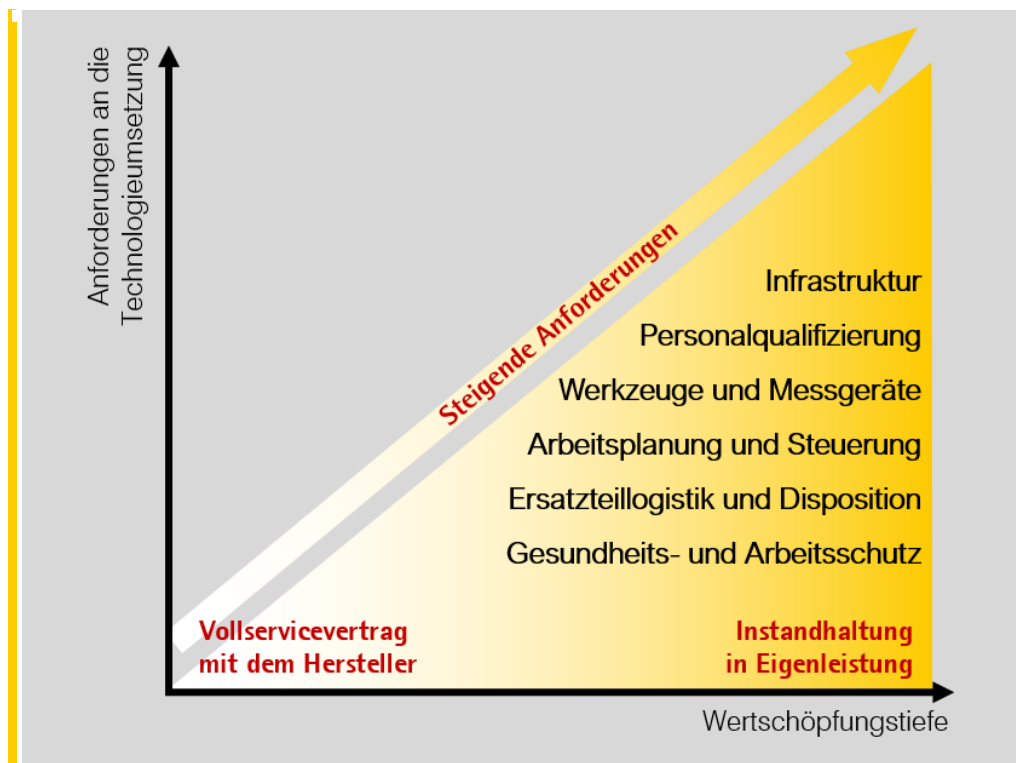


Abbildung 2.6: Wertschöpfungstiefe der Instandhaltung

Welcher Weg für ein Verkehrsunternehmen der Geeignete ist, hängt zum einen von der Flottengröße, der vorhandenen Werkstattausrüstung und dem bestehenden Grad der Personalqualifizierung ab. Zum anderen handelt es sich um eine wirtschaftliche und strategische Entscheidung. Bei kleineren Flotten kann ein Vollservicevertrag den Bedarf an Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten oftmals besser abbilden. Mit steigender Anzahl an Elektrobussen ist es sinnvoll, derartige Arbeiten zunehmend in Eigenleistung durchzuführen. Bei einer schrittweisen Flottenumstellung auf Fahrzeuge mit alternativem Antrieb können derartige Serviceverträge eine zweckmäßige Interimslösung während der Ertüchtigung der Werkstatt auf Elektrobuss-Betrieb darstellen.

SBI hat mit dem Hersteller der Busse einen umfassenden Servicevertrag abgeschlossen, wodurch die Anforderungen an die Instandhaltungstiefe stark verringert werden. Grundsätzlich ist SBI jedoch gewillt einen Großteil der Arbeiten selbst durchführen zu können, um eine Redundanz zu den Kapazitäten des Herstellers sicherzustellen und ein vertiefendes Verständnis zu Problemen und ggf. Schwächen der neuen Fahrzeuge zu entwickeln. Die SBI muss in der Lage sein, sämtliche Komponenten der E-Busse zu warten und ggf. austauschen zu können. Daher ist

AP 2 – Betriebshofumstellung

es notwendig einen Arbeitsstand so zu ertüchtigen, dass an diesem Arbeiten an Hochvolt-Systemen (HV-Systemen) durchgeführt werden können.

2.2.1 Ausgangslage

Die Werkstatt ist in mehrere Arbeitsbereiche untergliedert (siehe Kapitel 1.1).

- Bereich Instandsetzung
- Bereich Bremsenprüfung
- Bereich Karosseriearbeiten
- Bereich Fahrzeugversorgung
- Bereich Fahrzeugwäsche
- Nebenwerkstatt Instandsetzung (ca. 110 m²)
- Nebenwerkstatt Fahrzeugversorgung (ca. 30 m²)

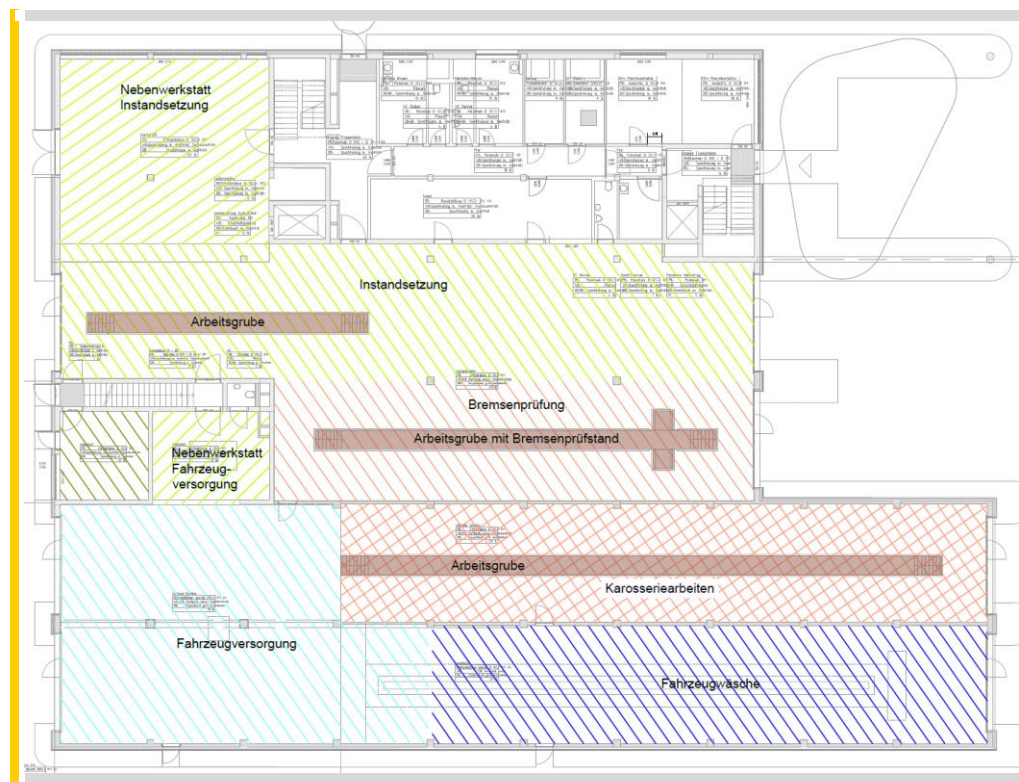


Abbildung 2.7: Grundriss Werkstatt

AP 2 – Betriebshofumstellung

In den einzelnen Bereichen der Werkstatt sind folgende Arbeitsstände vorhanden:

Arbeitsstand	Länge in m	Ausstattung	Sonderausstattung
Instandsetzung 1	17,5	Arbeitsgrube	
Instandsetzung 2	19,7	keine	Radgreifer
Bremsenprüfung 1	25,7	Arbeitsgrube	Bremsenprüfstand
Karosseriearbeiten 1	34,7	Arbeitsgrube	
Fahrzeugversorgung 1	15,9	Tankstelle	Medienversorgung
Fahrzeugversorgung 2	19,7	Tankstelle	Medienversorgung
Fahrzeugwäsche	29,7	Waschanlage	

Tabelle 2.3: Übersicht Arbeitsstände Werkstatt

Die Arbeitsstände sind mit stationären Abgasabsauganlagen ausgerüstet. Die Gruben werden technisch belüftet.

Die Nebenwerkstatt Instandsetzung dient als Zwischenlager für Verbrauchsmaterialien, Austauschkomponenten und Reinigungsgeräten sowie zur Aufnahme von Werkzeugen (Ständerbohrmaschine, Arbeitstische, Werkzeugkästen, etc.).

In der Nebenwerkstatt Fahrzeugversorgung sind mehrere Tische und Schränke zur Erstellung und Lagerung der Dokumentation aufgestellt.

Im 2. OG sind mehrere Lagerbereiche angeordnet. Diese werden mit einem Fahrstuhl (LxB in m: 2,8x1,8) angedient. Die im Rahmen der Elektrifizierung zu erwartenden Komponenten sind größer als die Tür des Fahrstuhls (1,0 m). Das OG ist daher zur Lagerung dieser Komponenten ungeeignet und wird nicht weiter betrachtet.

Die Bereiche Instandsetzung, Bremsenprüfung und Karosseriearbeiten sind wochentags von 8:00 bis 16:00 Uhr in Betrieb. Die Fahrzeugversorgung und -wäsche erfolgt wochentags von 16:00 bis 02:00 Uhr und am Wochenende zwischen 16:00 und 05:00 Uhr.

AP 2 – Betriebshofumstellung

2.2.2 Vorgaben und Randbedingungen

Nach Abstimmung mit der SBI soll das bereits bestehende Werkstattkonzept um einen Dacharbeitsstand zur Ausführung von Arbeiten an den Dachkomponenten der E-Busse erweitert werden. Um die Arbeiten ergonomisch zu gestalten, wurde im Zuge eines gemeinsamen Abstimmungstermin auf dem Betriebshof festgelegt, dass der Einsatz von Werkstattkränen notwendig ist. Diese sollen einen Austausch der Dachaufbauten (Akkupacks oder Klimaanlage) ermöglichen.

Die rein mechanischen Arbeiten an den Fahrzeugen (Arbeiten an Achsen, Rädern, Karosserie oder Innenarbeiten) sollen weiterhin ohne Einschränkungen auf den anderen Arbeitsständen durchgeführt werden. Eine stationäre Ladeinfrastruktur in der Werkstatt ist nicht vorgesehen. Es werden 2 mobile Ladegeräte eingesetzt.

Der Arbeitsstand für Arbeiten an HV-Systemen soll über folgende Ausstattung verfügen:

- Zutrittsbeschränkter Dacharbeitsstand (DAS)
- Krananlage

Da sowohl SL- als auch GL-Busse angeschafft werden, muss der umzurüstende Arbeitsstand eine Länge von ca. 20 m aufweisen, um beide Gefäßgrößen bedienen zu können. Der DAS muss auf dem Fußboden aufgeständert werden, wodurch die Breiten der (Rettungs-) Wege eingeschränkt werden können. Die Bodenplatte muss die Lasten aufnehmen können. Eine Abhängung vom Dach ist aufgrund der statischen Auslastung der Decke nicht wirtschaftlich umsetzbar. Die Krananlage muss die Dachkomponenten vom Fahrzeugdach anheben und auf dem Hallenboden absetzen können. Arbeitsgruben wirken sich hier negativ aus, da der Kran über deren Ende hinweg die Komponenten führen muss und sich so längere Wege ergeben.

Folgende Arbeitsstände werden aufgrund der Eignung betrachtet:

- Instandsetzung 2
- Bremsenprüfung 1
- Karosseriearbeiten 1

Der Arbeitsstand Instandsetzung 1 eignet sich aufgrund der knapp unterschrittenen Länge bedingt zur Umrüstung. Die fehlende Arbeitsgrube erleichtert jedoch die Umrüstung, da keine Einschnürungen von Rettungswegen entstehen. Dem entgegen steht jedoch der Einsatz der Radgreifer, welche auf keinem anderen Arbeitsstand eingesetzt werden können. Die relativ häufige Notwendigkeit ein Fahrzeug anzuheben widerspricht der Umrüstung für Arbeiten an HV-Systemen.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Der Arbeitsstand Bremsenprüfung 1 eignet sich aufgrund der Länge, besitzt jedoch eine Arbeitsgrube, welche den Umbau zum HV-Arbeitsstand erschwert. Der vorhandene Bremsenprüfstand widerspricht aufgrund der häufigen Nutzung der Umrüstung für Arbeiten an HV-Systemen.

Der Arbeitsstand Karosseriearbeiten 1 eignet sich aufgrund der Länge, besitzt jedoch eine Arbeitsgrube, welche den Umbau zum HV-Arbeitsstand erschwert. Auch das Fehlen von Sonderausstattung eignet sich für die Umrüstung für Arbeiten an HV-Systemen.

Die Wertung erfolgt in Punkten von:

- 0 Punkte – ungeeignet
- 1 Punkt – bedingt geeignet
- 2 Punkte – geeignet

Arbeitsstand	Länge	Arbeitsgrube	Sonderausstattung	Summe
Instandsetzung 2	1	2	0	3
Bremsenprüfung 1	2	1	0	3
Karosseriearbeiten 1	2	1	2	5

Tabelle 2.4: Wertungsmatrix zur Umrüstung Arbeitsstand

Der Arbeitsstand Karosseriearbeiten erzielt mit 5 Punkten die beste Eignung und wird als Vorzugsvariante zur Umrüstung zum HV-Arbeitsstand weiter betrachtet.

AP 2 – Betriebshofumstellung

2.2.3 Defizite der Werkstatt

Gemäß den Empfehlungen der VDV 822 sind bei einer Anzahl von 33 Bussen folgende Arbeitsstände vorzusehen (interpolierte Werte):

Art Arbeitsstand	SOLL gem. VDV 822	IST
Fahrzeugversorgung	1	2
Fahrzeugwäsche	1	1
Sondereinigungsstand	-	-
Fahrzeug-Innenreinigung und Sonderarbeiten	-	-
Bremsenprüfung	1	1
Karosserie- und Lackierarbeiten	-	1
Instandsetzung	1,3	2
Gesamt	4,3	7
Mit Arbeitsgrube	-	3
Mit Hebevorrichtung	1,3	1

Tabelle 2.5: SOLL/IST-Vergleich Anzahl Arbeitsstände

Die erhöhte Anzahl von Arbeitsständen für Fahrzeugversorgung und Instandsetzung ist dadurch begründet, dass verschiedene Gefäßgrößen (SL-Bus und GL-Bus) bewirtschaftet werden müssen. Es ist je ein Arbeitsstand mit einer Länge von ca. 15 m lang für Solobusse und ein Arbeitsstand mit einer Länge von min. 20 m für Arbeiten an Gelenkbussen vorhanden. Da diese jedoch hintereinander liegen ist eine vorausschauende Planung der Reihenfolge der Werkstattnutzung erforderlich.

2.2.4 Maßnahmen im Objekt

Für die Arbeiten an Elektro-Bussen und HV-Systemen werden spezielle Ausstattungen, bzw. Ausrüstungen notwendig:

- Hersteller-spezifisches Werkzeug und Prüfgerät
- Isoliertes Werkzeug und Geräte für die Arbeiten an HV-Systemen
- Dacharbeitsstand
- Kran
- Anschlagmittel

Weiterhin werden in den folgenden Kapiteln diese Themen betrachtet:

- Mobile Ladegeräte
- Lagerung und Transport von HV-Batterien
- Lagerung und Transport von unkritischen Dachkomponenten
- Bauliche Maßnahmen
- Personalqualifizierung

2.2.4.1 Werkstattausrüstung

Die Mengengerüste der Werkzeuge und Ausstattungen wurden für zwei Personen ausgelegt.

Die Beschaffung der Werkstattausrüstung sollte nach den Vorgaben des Herstellers erfolgen. Da zum Zeitpunkt der Berichterstellung die Angaben vom Hersteller noch nicht kommuniziert wurden, wird die Empfehlung der VDV 825 für die Mengenermittlung herangezogen:

- Fahrzeugherstellerspezifische Prüfbox
- Isoliertes HV-Spezialwerkzeug
- Zweipoliger Spannungsprüfer
- Kalibrierte Messgeräte
- Diagnoseeinheit
- Wärmebildkamera (siehe Kapitel 1.2.5.4)
- Persönliche Schutzausrüstungen
- Defibrillator
- Absperrmaterial

Die Abstimmung der SBI mit dem Fahrzeughersteller zur notwendigen Ausrüstung wird dringend empfohlen. Die Kostenannahme (siehe Kapitel 4.1) erfolgt auf

AP 2 – Betriebshofumstellung

Grundlage der Empfehlungen der VDV 825, die Ergebnisse der Abstimmung müssen anschließend berücksichtigt werden.

2.2.4.2 Dacharbeitsstand und Kran

Mit dem Nutzer wurde die Errichtung des Dacharbeitsstandes auf dem Arbeitsstand Instandhaltung abgestimmt (siehe Kapitel 2.2.2). Die Positionierung in der Halle erfolgt im östlichen Bereich. Es ist nicht wirtschaftlich den gesamten Arbeitsstand zu nutzen, sondern den Bereich zwischen Einfahrtstor und Fluchttür an Achse O. Damit ergibt sich eine Länge von ca. 23,0 m welche ausreichend ist um an GL-Bussen zu arbeiten. Die Gesamtlänge der Kranbahn (1 t Portalkran) beträgt ebenfalls ca. 23 m. Der Bereich vor dem Tor muss bekranbar sein, um entsprechende Komponenten vom Fahrzeugdach jenseits der Grube ablegen zu können. Demontierte Bauteile vom Dach des Busses werden mittels Paletten aufgenommen und mit einem entsprechendem Flurförderfahrzeug weitertransportiert. Der Dacharbeitsstand sollte von der Höhe so konstruiert werden, dass die Arbeitsebene in Höhe der Dachhaut liegt. Somit kann eine Beschädigung der Komponentenverkleidung durch den Dacharbeitsstand vermieden werden. Weiterhin sind die Arbeitsprozesse bei demontierten Verkleidungen am Busdach sicherer. Die Höhe der Arbeitsebene wird mit ca. 3 m angenommen. Die Gesamthöhe des Dacharbeitsstandes mit Kranbahn beträgt ca. 6,0 m, muss jedoch einen Sicherheitsabstand von min. 10 cm zu den installierten Heizelementen einhalten. Um das Risiko von Nachträgen und damit verbunden steigenden Kosten sowie Bauzeiten zu minimieren, empfiehlt die VCDB dringend eine Vermessung und Erstellung der TGA auf dem Arbeitsstand.

Hinweis: Der folgende Abschnitt wurde aufgrund fehlerhafter Planunterlagen mehrfach überarbeitet.

Aufgrund der beengten räumlichen Verhältnisse und der außermittigen Grube wurden verschiedene Varianten des Zugangs zum DAS betrachtet. Auf Grund der außermittigen Arbeitsgrube kann der DAS nicht symmetrisch aufgebaut werden. Da eine beidseitige Abstützung des DAS auf dem Fußboden den Arbeitsbereich unzulässig stark einschränken würde, ist ein DAS in Kragarmausführung oder Abhängung von oben notwendig. Eine Abhängung vom Hallendach ist aufgrund der bereits voll belasteten Statik nur mit umfangreichen Baumaßnahmen möglich und wird daher als unwirtschaftlich bewertet und nicht weiterverfolgt. Die dargestellten Maße sind eine Abschätzung aufgrund von VCDB-internen Erfahrungen anhand bereits nachgerüsteter DAS und weiteren Abstimmungen mit verschiedenen Herstellern. Diese müssen jedoch im Zuge der Werks- und Montageplanung des Ausrüsters überprüft und bestätigt werden. Der DAS ist so auszuführen, dass die

AP 2 – Betriebshofumstellung

Arbeitsfläche durch Ausschubelemente erweitert wird, welche aus- und einfahren können und somit den Spalt zwischen Bus und DAS nahezu eliminieren. Diese Ausschubelemente können mechanisch oder automatisch bedient werden. Dadurch wird das Risiko von Schäden und Unfällen durch herunterfallendes Werkzeug minimiert, sowie die Trittsicherheit erhöht wodurch gleichzeitige Arbeiten am Fahrzeug auf mehreren Ebenen ermöglicht werden. Die Ausschubelemente sind in Abbildung 2.9 sowie in Abbildung 2.11 dargestellt.

In **Variante 1** erfolgt der Aufstieg zum Dacharbeitsstand beidseitig vom östlichen Hallentor über Treppen. Die Treppen haben einen Abstand von ca. 1 m zur Außenwand sowie eine Gesamtlänge unter 25 m bis zum Tor und können somit als Flucht- und Rettungsweg genutzt werden (siehe Abbildung 2.8).

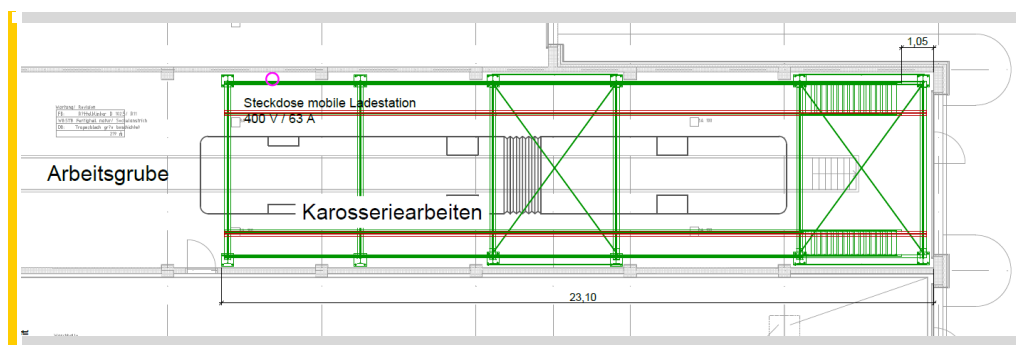


Abbildung 2.8: Grundriss DAS Variante 1

Durch die Außermittigkeit der Arbeitsgrube resultieren unterschiedliche Abstände zwischen der Grube und den Treppen. Bei einfahrendem Bus kann die empfohlene lichte Weite von zwischen Hindernis (südliche Treppe) und Bus von 0,5 m nur eingehalten werden, wenn die südliche Treppe vom Standardmaß abweicht und schmaler ausgeführt wird. Der südliche Arbeitsbereich zwischen Bus und Trennwand zur Waschhalle fällt dadurch ebenfalls schmaler aus (siehe Abbildung 2.9).

AP 2 – Betriebshofumstellung

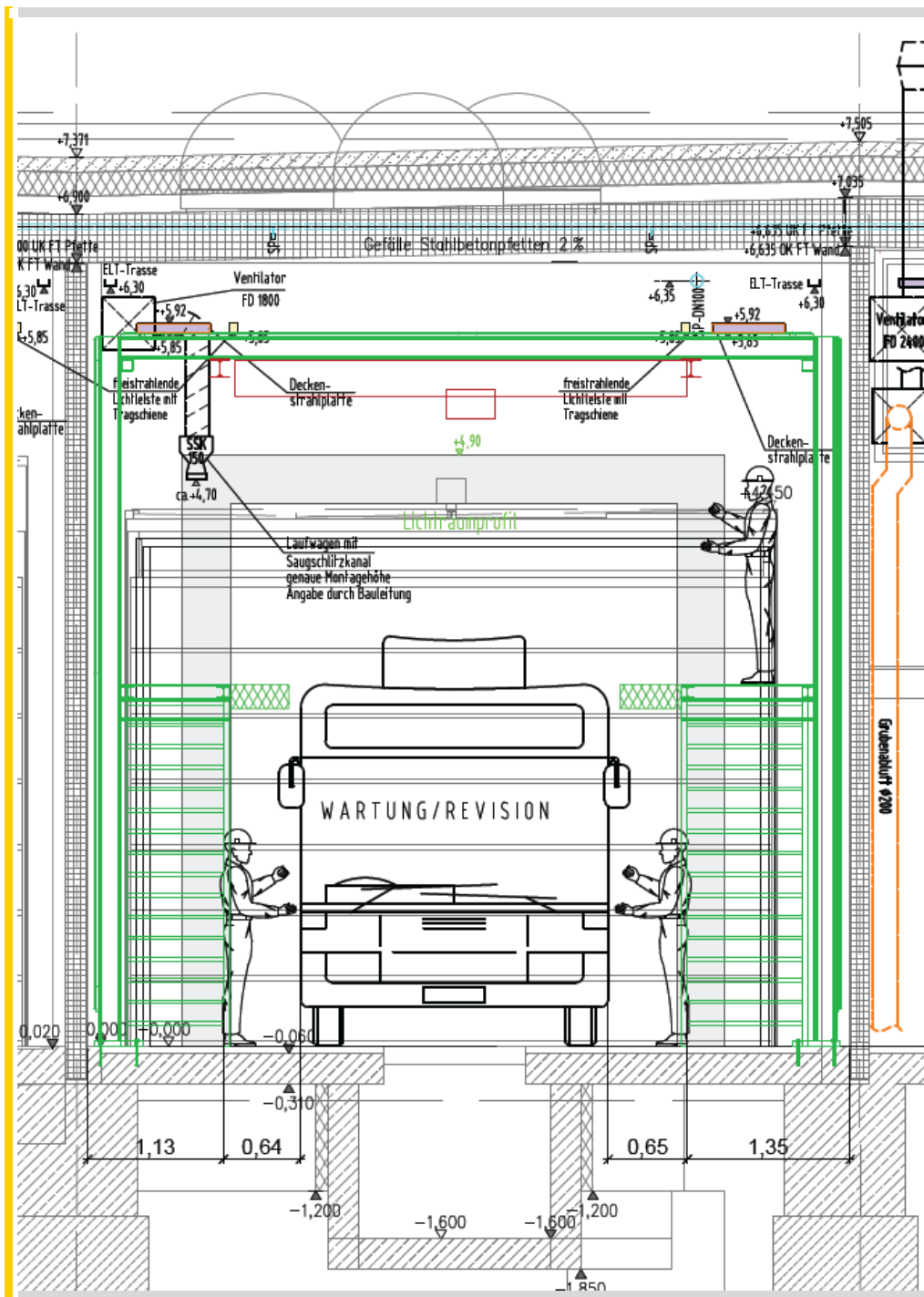


Abbildung 2.9: Querschnitt DAS mit Krananlage Variante 1

AP 2 – Betriebshofumstellung

In der **Variante 2** erfolgt der Zugang zum DAS ebenfalls über zwei Treppen, welche jedoch an der nördlichen Arbeitsebene positioniert sind. Die Gesamtlänge des DAS steigt dadurch auf 26,2 m. Auf eine Zugangstreppe zur südlichen Arbeitsebene wird verzichtet. Der Zugang dorthin erfolgt über das Fahrzeugdach. Zur Evakuierung der südlichen Arbeitsebene (Rettungsweg) ist eine Notleiter in räumlicher Nähe zum Tor vorzusehen. Die Evakuierung der nördlichen Arbeitsebene kann über zwei Treppen erfolgen (siehe Abbildung 2.10).

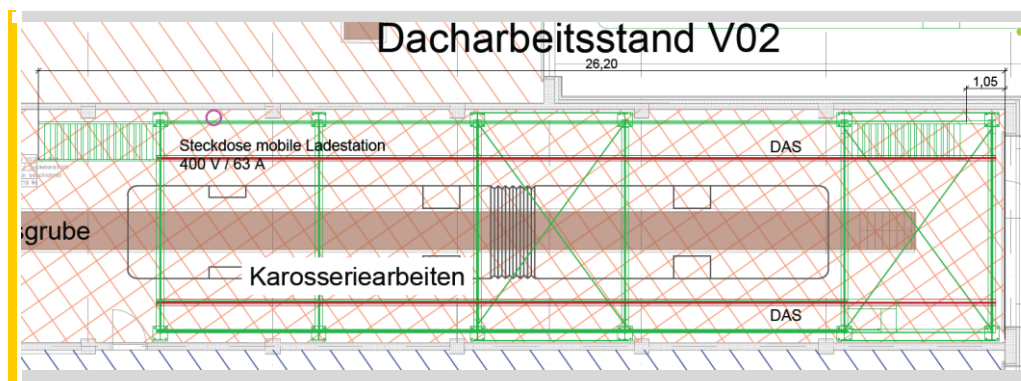


Abbildung 2.10: Grundriss DAS Variante 2

Vorteilhaft an Variante 2 ist, dass der südliche Arbeitsbereich nur durch die Stützen eingeschränkt wird und ansonsten als Transportweg oder für Werkzeugausrüstung frei bleibt. Die Abstände sind in Abbildung 2.11 dargestellt.

AP 2 – Betriebshofumstellung

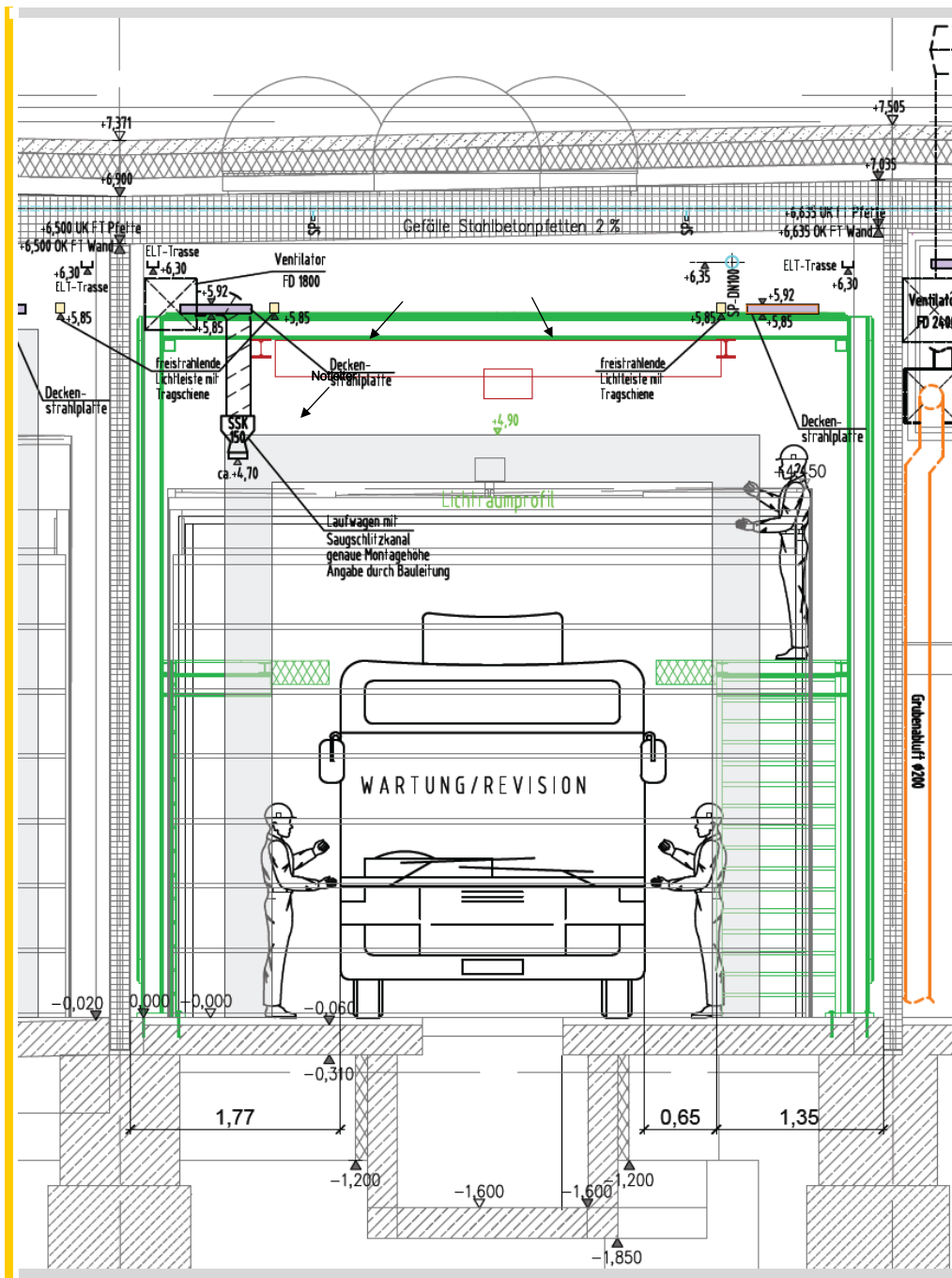


Abbildung 2.11: Querschnitt DAS mit Krananlage Variante 2

Nach Abstimmung mit dem Werkstattleiter und der SBI wurde die Variante 2 als Vorzugsvariante festgelegt.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Der Kran muss als Portalkran ausgeführt werden, um einen Schrägzug bei der Montage und Demontage von seitlich angeordneten Dachelemente zu vermeiden. Es wird empfohlen, den Kran in den DAS zu integrieren (siehe Abbildung 2.9 und Abbildung 2.11).

Die Kosten für ein Dacharbeitstand inkl. Krananlage werden mit 250 T€ (netto, Marktanalyse Stand 02/2023) angenommen.

Die Anschlagmittel müssen mit dem Hersteller der Fahrzeuge abgestimmt werden. Es ist während der Abstimmung durch die SBI oder den Werkstattleiter zu prüfen, ob die Länge der vom Hersteller vorgeschlagenen Anschlagmittel in Verbindung mit der Hubhöhe der Krananlage die beabsichtigten Arbeiten zulässt. Ggf. sind Sonderanschlagmittel (Traversen, o.ä.) notwendig.

Zuarbeit Statiker: Die Stützen für die geplante Kranbahn können auf der Bodenplatte ohne zusätzliche Maßnahmen aufgestellt werden.

2.2.4.3 Mobile Ladegeräte

Die VDV 825 empfiehlt eine Lademöglichkeit mittels CEE-Steckdose mit mind. 32 A-Absicherung vorzusehen. In Abstimmung mit der SBI werden zwei mobile Ladegeräte vorgesehen. Die mobilen Ladegeräte benötigen einen Starkstromanschluss, der je nach Ladeleistung eine entsprechende Absicherung/Anschlussleistung benötigt. Folgende Anschlüsse sind möglich:

- 10 kW Ladeleistung → 16 A-Absicherung
- 20 kW Ladeleistung → 32 A-Absicherung
- 40 kW Ladeleistung → 64 A-Absicherung

Für den vorgesehenen Anwendungsfall zur Fehlersuche und Spontanladung im Einzelfall in Verbindung mit den Ladekapazitäten der neuen Fahrzeuge, ist, abweichend von der Empfehlung der VDV 825, die 40 kW Ladeleistung mit 64 A-Absicherung zu priorisieren. Zu beachten ist hierbei, dass die Ladeleistung abhängig von Temperatur und Ladezustand der Batterien deutlich geringer sein kann (siehe Kapitel 2.3.1). Die mögliche Anschlussleistung in der Halle (Unterverteilung) ist vor der Beschaffung durch einen Elektro-Planer zu prüfen und der Anschluss dementsprechend auszulegen. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung wurde diese Prüfung als Interimsmaßnahme bereits beauftragt und wird daher nicht weiter betrachtet.

Weiterhin sollte darauf geachtet werden, dass die zu beschaffenden mobilen Ladegeräte über eine Überwachung des Ladeverlaufes und der Batteriedaten

AP 2 – Betriebshofumstellung

verfügen und diese Daten über eine Schnittstelle an die Brandmeldeanlage herausgeben kann. Mit dieser Überwachung des Ladesystems kann eine Übernachtladung in der Halle realisiert werden.

In Abstimmung mit der SBI und dem Werkstattleiter ist jeweils am HV-Arbeitsstand und an der Säule zwischen Bremsenprüfungsstand und Instandsetzungsstand eine Steckdose mit 64 A-Absicherung zum Anschluss der Ladegeräte vorzusehen (siehe Abbildung 2.12).

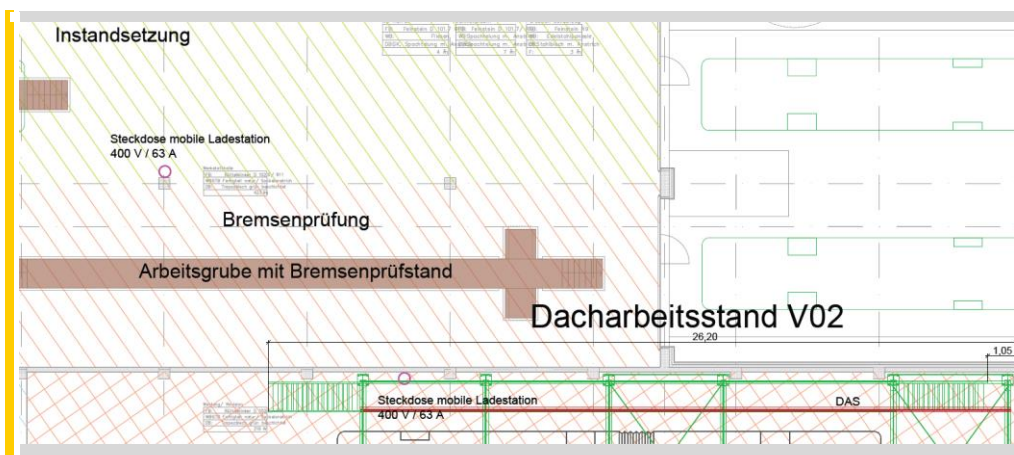


Abbildung 2.12: Position Steckdosen für mobile Ladegeräte

2.2.5 Logistische Maßnahmen

2.2.5.1 Logistik von HV-Batterien

Für die Lagerung und Bereitstellung von Lithium-Ionen-Batterien gibt es bisher keine öffentlich-rechtlichen Vorschriften. Es obliegt jedem Unternehmen, geeignete Maßnahmen festzulegen und umzusetzen. Für Batterien hoher Leistung liegen nach derzeitigem Stand noch keine gesicherten Kenntnisse hinsichtlich

AP 2 – Betriebshofumstellung

adäquater Schutzmaßnahmen vor. Schutzmaßnahmen sind daher in Absprache mit dem Sachversicherer für den Einzelfall zu regeln.

Folgende allgemeine Informationen bzw. Empfehlungen gibt es zur Lagerung von Lithiumbatterien:

- Keine Mischlagerung mit anderen Produkten
- Automatische Löschanlage bei beengten Verhältnissen
- Beschädigte oder defekte Lithiumbatterien in sicherem Abstand oder in einem brandschutz-technisch abgetrennten Bereich zwischenlagern und fachgerecht entsorgen
- Ganzheitliches Brandschutzkonzept wird empfohlen (siehe 1.2)
- Mitarbeiter fachgerecht unterweisen
- Lagerung in feuerbeständig abgetrennten Bereichen oder mit Einhaltung eines Sicherheitsabstands (räumliche Trennung von 5 m)

Für die Lagerung von demontierten, nicht auffälligen HV-Batterien können Brandschutzcontainer (siehe Abbildung 2.13) eingesetzt werden. Empfohlen wird eine Lagerung von HV-Batterien mit einem Ladestand von ca. 40 %. Für die Einlagerung werden evtl. spezielle Transport- und Lagerpaletten benötigt. Die endgültige Bestimmung der Art und Größe solcher Transporthilfsmittel bedarf einer Abstimmung der SBI mit dem Fahrzeughersteller.

Generell ist eine Beschriftung über den Inhalt (Herkunft und den Zustand) der Batterien von außen am Behälter bzw. am Container anzubringen.

Die Container weisen im Brandfall von HV-Batterien keine ausreichende Schutzwirkung der Umgebung auf. Deshalb dürfen die Container nur mit unauffälligen HV-Batterien bestückt werden. Wie in Abbildung 2.13 dargestellt ist, können diese Container mit Regalen ausgerüstet werden, um mehrere HV-Batterien einlagern zu können. Als Aufstellort für diesen Container ist das Hochbord auf der östlichen Seite der Waschhalle geplant (siehe Kapitel 2.1). Die Stütze am Ende des Hochbords schützt den Container zusätzlich vor Anfahren durch Fahrzeuge. Der Container sollte einen Abstand von 5 m zum Gebäude nicht unterschreiten, um den räumlichen Anforderungen des Brandschutzes zu entsprechen.

Die Anschaffungskosten betragen ca. 30.000 € (netto, Stand 02/2023).

AP 2 – Betriebshofumstellung



Abbildung 2.13: Brandschutzcontainer mit Regal von der Firma PROTECTO (02/2023)

Für defekte oder auffällige Batterien müssen Lagermöglichkeiten mit entsprechender Brandschutzwirkung vorgesehen werden. Geeignet sind z. B. Li-SAFE Lithium-Batterielager aus Beton zur Lagerung von mehreren auffälligen HV-Batterien. Diese Beton-Batterielager können mit weiteren Sicherheitsausstattungen ausgerüstet werden:

- technische Lüftung in explosionsgeschützter Ausführung / ATEX
- Potentialausgleich
- Druckentlastungsfläche
- Brandmelder
- Gaswarnanlage
- Klimaanlage
- Wärmedämmung

Diese Lagermöglichkeit benötigt jedoch einen größeren Platzbedarf (kleinstes Standardangebot LxB 2,76 m x 2,0 m) und ist stationär. Es gibt jedoch die Möglichkeit für individuelle Anfertigungen.

Die Anschaffungskosten betragen ca. 50.000 € (ohne weitere Sicherheitsausrüstung, Stand 02/2023).

Eine Möglichkeit einzelne defekte bzw. auffällige Batterien zu lagern, ist in Abbildung 2.14 dargestellt. Diese Behälter sind transportabel und stapelbar. Somit

AP 2 – Betriebshofumstellung

können diese Behälter bei Nichtgebrauch platzsparend eingelagert werden. Die Abmessungen der Behälter betragen LxB ca. 2,9 m x 1,9 m. Wenn auffällige Batterien in diesem Behälter gelagert werden, ist dieser Behälter auf die Havariefläche zu stellen. Die Havariefläche ist bei aktiver Nutzung zu sichern und zu überwachen. Die Lagerbehälter werden in verschiedenen Ausführungen angeboten. Zu unterscheiden sind Behälter, welche für den Transport von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zugelassen sind und Behälter die lediglich für die Lagerung und den innerbetrieblichen Transport vorgesehen sind.

Die Preisspanne liegt je nach Ausführung (BAM-Zulassung) und Anbieter zwischen 20.000 € bis 35.000 € (netto, Stand 02/2023).

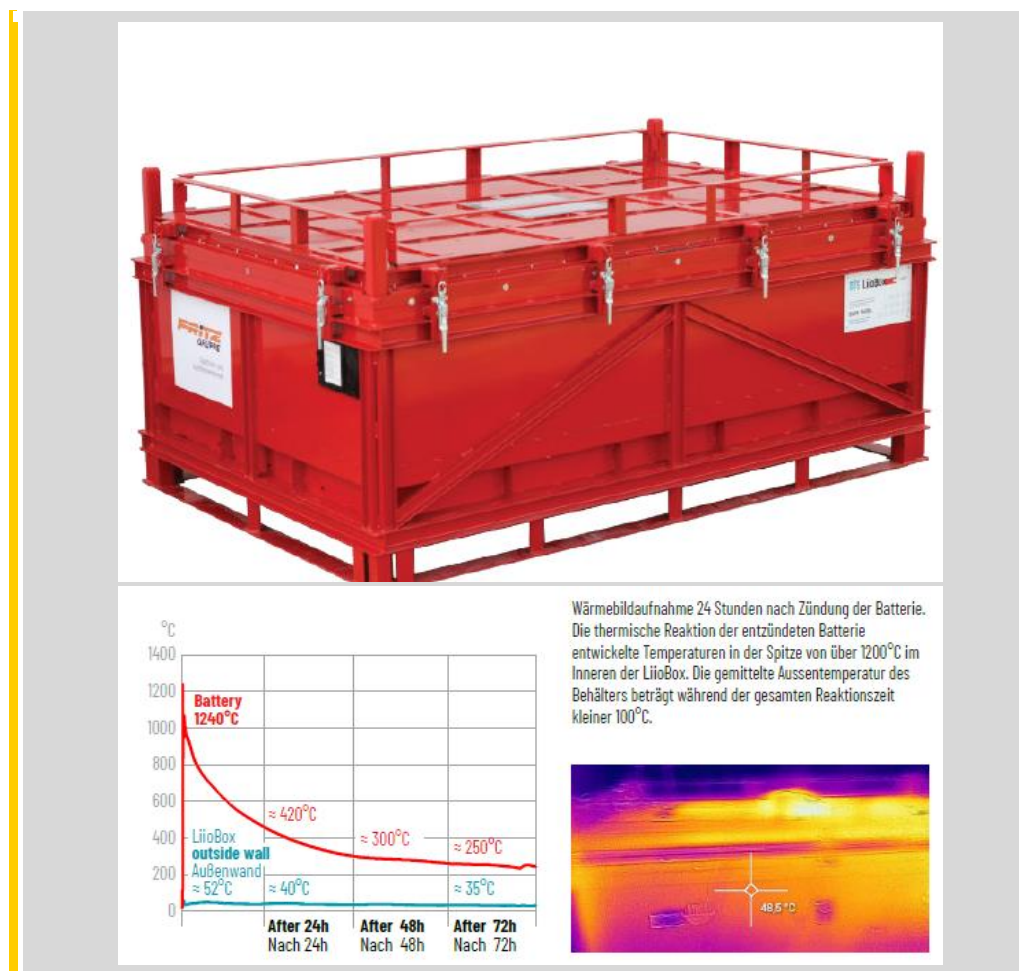


Abbildung 2.14: LioBox Red (Fa. Lion Care 02/2023) Lagerbehälter für auffällige Batterien

Nach Abstimmung mit der SBI und dem Werkstattleiter wird der Einsatz von transportablen Lagerbehältern als Vorzugsvariante festgelegt.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Vor der Beschaffung ist durch die SBI in Abstimmung mit dem Hersteller der E-Busse zu klären, ob der Einsatz von BAM-zugelassenen Lagerbehältern sinnvoll ist.

2.2.5.2 Logistik von unkritischen Dachkomponenten

Die Demontage und Montage der Dachkomponenten erfolgt mittels Portalkran, welcher im Dacharbeitsstand integriert ist (siehe 2.2.4.2). Mit Hilfe des Krans werden die Komponenten vom Fahrzeugdach gehoben und direkt vor das östliche Tor transportiert. An dieser Stelle werden die Komponenten auf Paletten abgesetzt und mit einem Flurförderfahrzeug (Stapler) aufgenommen und weitertransportiert.

Zu den unkritischen Komponenten zählen alle Komponenten für die keine speziellen Auflagen bei der Lagerung und Transport erfüllt werden müssen. Es wird von einer Einlagerung auf Europaletten (EPAL) mit Aufsetzrahmen ausgegangen. Ein Übereinanderstapeln der Paletten ist nicht vorgesehen. Für die Zwischenlagerung der unkritischen Dachkomponenten wird die Nebenwerkstatt Instandsetzung genutzt und mit Palettenregalen ausgerüstet. Die Nordseite der Nebenwerkstatt ist dafür ungeeignet, da sich dort Fensterbänder, Waschbecken und mehrere Steckdosen befinden. Westlich der mittig angeordneten Stütze können Palettenregale angeordnet werden. Ein Abstand von 0,5 m zur Außenwand wird festgelegt, um die vorhandene TGA (Heizung) nicht versetzen zu müssen. Die direkte Nähe zum Eingangstor erleichtert die Andienung. Eine dynamische Lagerhaltung wird angestrebt. Dafür ist es notwendig den Inhalt der Paletten gut sichtbar anzubringen. Da die Abstimmungen zwischen SBI und dem Hersteller zum Zeitpunkt der Berichterstellung nicht abgeschlossen sind, wurde gemeinsam mit dem Werkstattleiter Annahmen zur Lagerkapazität getroffen. Angenommen wird, dass ausreichend Lagerplätze für Dachkomponenten eines Fahrzeuges (GL-Bus) zur reinen Zwischenlagerung notwendig sind. Die Anzahl der Lagerplätze (EPAL) pro Fahrzeug wird mit 12 Stück angenommen. Die Traglast wird mit max. 800 kg pro Palette angenommen. Höhere Lasten können im untersten Regalfach auf dem Boden eingelagert werden.

Vor den Regalen sind Bedienflächen frei zu lassen. Die Abmaße dieser Flächen ergeben sich gem. VDI 2198 aus der Breite des Transportguts und dem Wendradius des Flurförderzeuges. Vor den Regalen ist daher ein Bereich von 2,5 m Breite freizuhalten (siehe Abbildung 2.17). Diese Breite ergibt sich aus der Abstimmung mit dem Werkstattleiter, dass ein Hochhubwagen für Europaletten beschafft werden soll. Die Kosten für einen entsprechenden Hubwagen werden mit ca. 1600 € (Stand 02/2023, netto) angenommen. Bei der Wahl eines anderen

AP 2 – Betriebshofumstellung

Flurfördermittels müssen die Bedienflächen, den Vorgaben der VDI 2198 entsprechend, angepasst werden.

Vorteilhaft ist ein Palettenregal mit Regalböden, welches zur Einlagerung von kleineren Teilen die ohne Palette genutzt werden kann. Die Aufteilung des ca. 4 m langen Regals in zwei Bereiche mit 3 Ebenen ist ebenfalls vorteilhaft, da durch die kleine Spannweite (1,8 m) und die relativ kleine Traglast sich geringere Konsolenhöhen und damit eine effizientere Höhenausnutzung ergeben. Dies sollte Beachtung finden, da die Nebenwerkstatt eine relativ geringe lichte Raumhöhe aufweist. Ein solches Regalsystem mit 12 Lagerplätzen, Durchschubsicherung und Anfahrschutz ist in Abbildung 2.15 dargestellt.

Regalplätze welche nicht durch Dachkomponenten belegt sind, können mit anderem Lagergut belegt werden und somit die blockierte Fläche für die Aufstellung des Regals kompensieren.

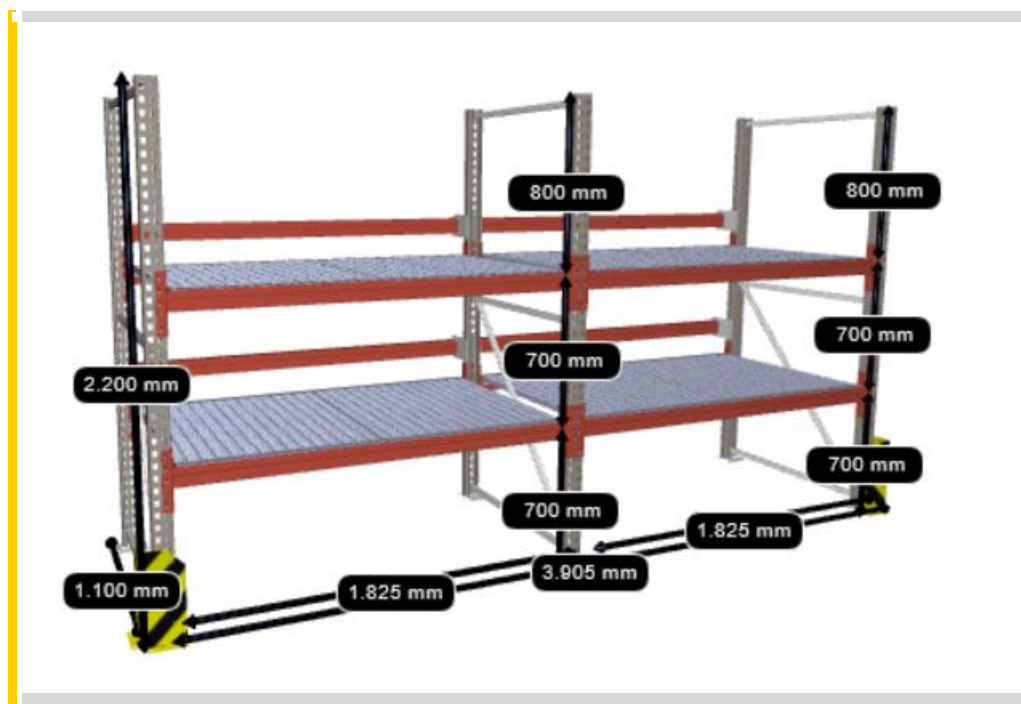


Abbildung 2.15: Regalkonzept (Meta Regalkonfigurator 02/2023)

Aufgrund der beengten Räumlichkeiten in der Nebenwerkstatt Instandsetzung, der bereits vorhanden Ausrüstung (Bohrmaschine, hydraulische Presse, Werkbänke, etc.) und den dort ausgeführten Arbeiten wurden mehrere Varianten mit unterschiedlichen Lagermengen betrachtet.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Variante 1 verfügt über eine Regalreihe mit 12 Lagerflächen im süd-westlichen Bereich der Nebenwerkstatt. Die Positionierung und Anordnung der freizuhaltenen Bedienflächen ist in Abbildung 2.16 dargestellt. Die Fachlast von 800 kg ergibt eine Feldlast von 3200 kg.

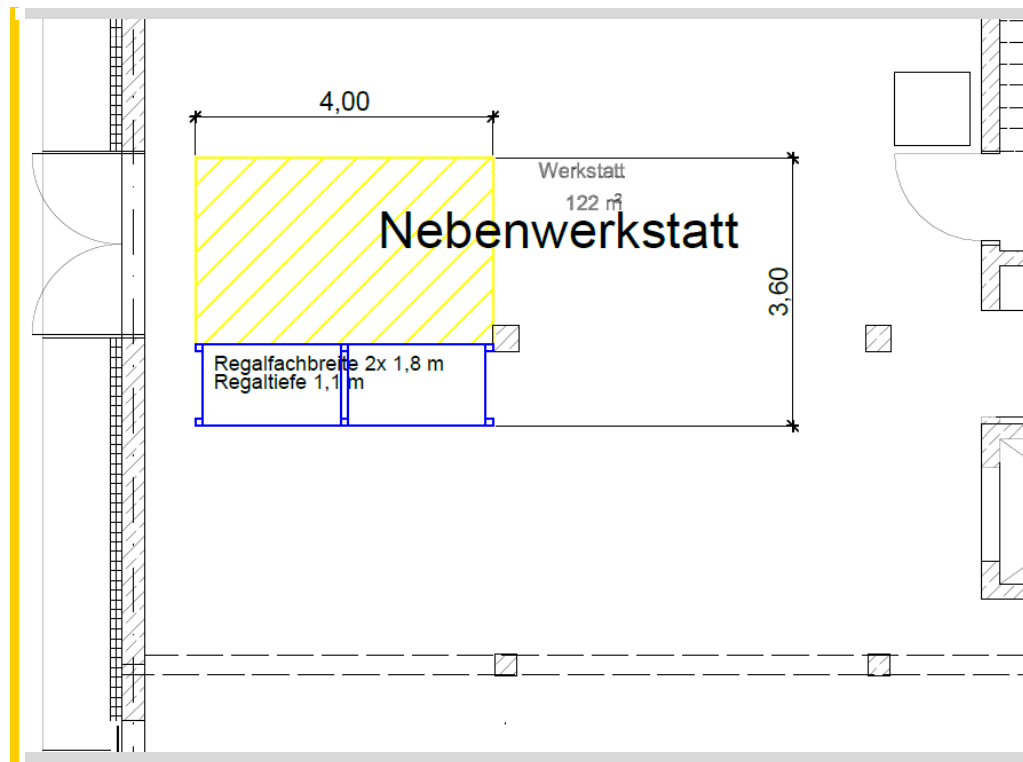


Abbildung 2.16: Regalsystem Variante 1

Anzahl	Abmaße in m (LxBxH)	Lagerplätze EPAL
1	4,0 x 1,1 x 2,0	12
Gesamt	4,0 x 1,1 x 2,0	12

Tabelle 2.6: Übersicht Regale Variante 1

AP 2 – Betriebshofumstellung

Variante 2 des Regalsystems verfügt über zwei Regalreihen mit jeweils 12 Lagerplätzen und ist in Abbildung 2.17 dargestellt. Die Erhöhung der Lagerplätze soll die Einschränkung der nutzbaren Fläche kompensieren. Das Regalsystem kann von beiden Seiten bedient werden. Die Fachlast von 800 kg ergibt eine Feldlast von 3200 kg.

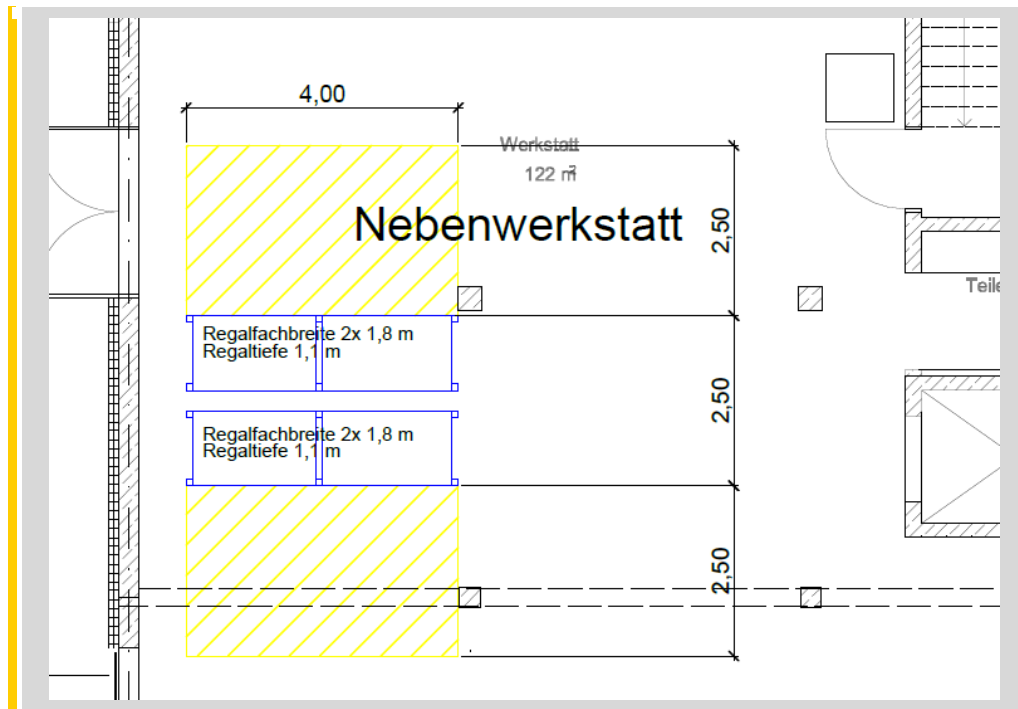


Abbildung 2.17: Regalsystem Variante 2

Anzahl	Abmaße in m (LxBxH)	Lagerplätze EPAL
2	4,0 x 1,1 x 2,0	12
Gesamt	4,0 x 2,5 x 2,0	24

Tabelle 2.7: Übersicht Regale Variante 2

AP 2 – Betriebshofumstellung

In **Variante 3** wird die untere Regalreihe aus Variante 2 um ein weiteres Element verlängert um noch mehr Lagerfläche zu schaffen und vorhandene Ausrüstung zu integrieren. Die Variante 3 verfügt über 2 Regalreihen und 30 Lagerplätze. Die Rückseite des zusätzlichen Regals kann genutzt werden, um die vorhandene Presse zu platzieren (siehe Abbildung 2.18). Die Fachlast von 800 kg ergibt eine Feldlast von 3200 kg.

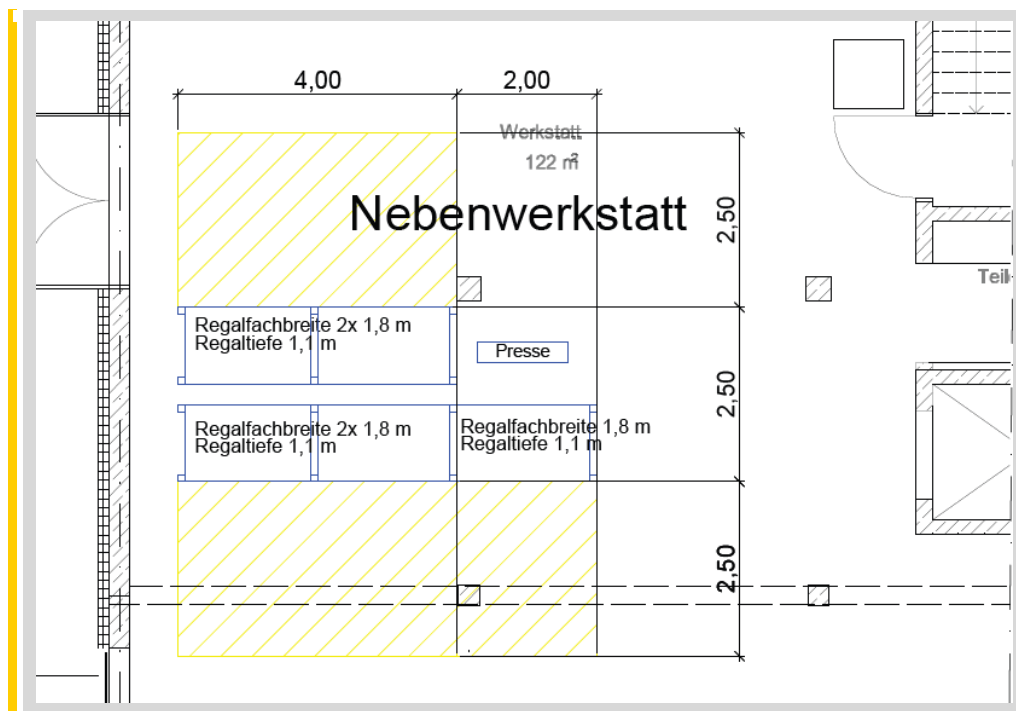


Abbildung 2.18: Regalsystem Variante 3

Anzahl	Abmaße in m (LxBxH)	Lagerplätze EPAL
1	4,0 x 1,1 x 2,0	12
1	6,0 x 1,1 x 2,0	18
Gesamt	6,0 x 2,5 x 2,0	30

Tabelle 2.8: Übersicht Regale Variante 3

AP 2 – Betriebshofumstellung

Variante 4 (siehe Abbildung 2.19) sieht ein weiteres Palettenregal mit einer größeren Spannweite an der Stirnseite der Regalreihen vor. Die Variante 4 weist 24 Lagerplätze für EPAL und 3 Lagerplätze für Sonderpaletten (SP) auf. Diese Variante hat den Vorteil, dass größere Bauteile bis zu einer Länge von 2,6 m gelagert werden können. Die Fachlast von 800 kg ergibt eine Feldlast von 3200 kg. Das Palettenregal mit der größeren Spannweite weist eine Feldlast von 4800 kg auf.

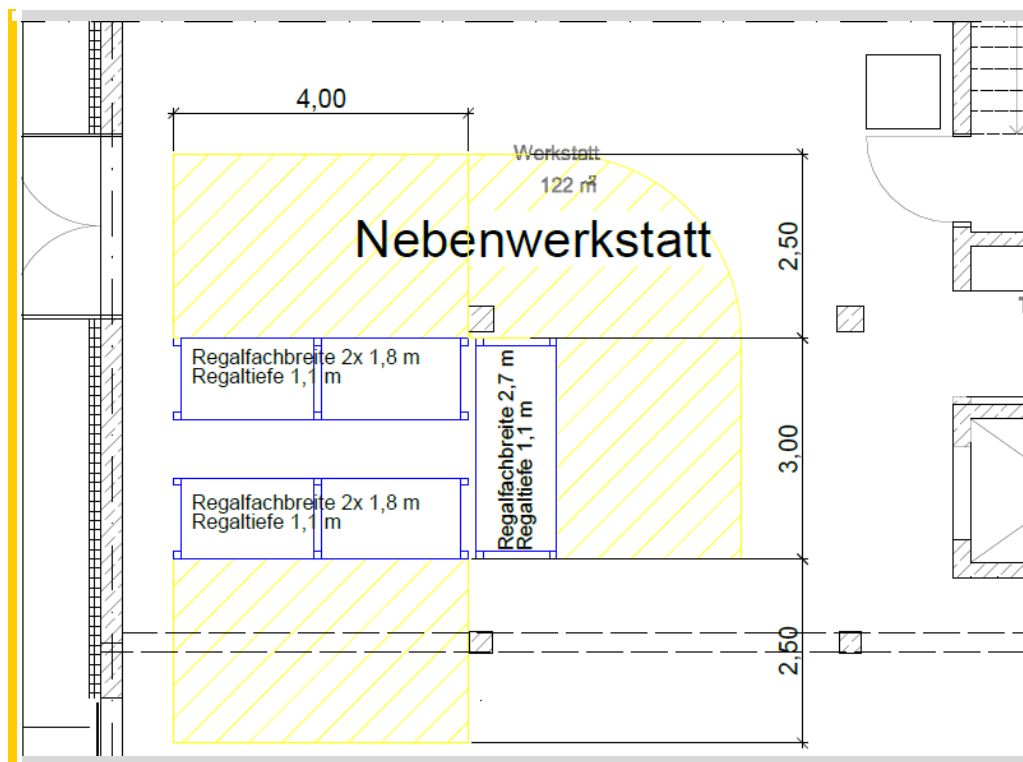


Abbildung 2.19: Palettenregal mit Bedienflächen Variante 4

Anzahl	Abmaße in m (LxBxH)	Lagerplätze EPAL
2	4,0 x 1,1 x 2,0	12
1	6,0 x 1,1 x 2,0	3 SP
Gesamt	5,2 x 2,5 x 2,0	24 + 3

Tabelle 2.9: Übersicht Regale Variante 4

AP 2 – Betriebshofumstellung

In der folgenden Tabelle sind die Parameter der Varianten zusammengefasst:

Variante	Aufstellfläche	Bedienfläche	Lagerplätze	Kosten, netto
Variante 1	4,4 m ²	10,0 m ²	12 EPAL	3000 €
Variante 2	10,0 m ²	20,0 m ²	24 EPAL	6000 €
Variante 3	12,2 m ²	25 m ²	30 EPAL	7000 €
Variante 4	13 m ²	27,5 m ²	24 EPAL + SP	8000 €

Tabelle 2.10: Zusammenfassung der Regalvarianten

Die mit zunehmender Regalanzahl steigenden Bedienflächen schränken die Nutzbarkeit der Nebenwerkstatt Inbetriebnahme stärker ein, als die geschaffenen Lagerflächen ausgleichen können. Daher ist Variante 1 nach Abstimmung mit der SBI und dem Werkstattleiter als Vorzugsvariante bestimmt worden. Die Kosten werden ca. 3.000 € (netto, Stand 06/2023) angenommen.

2.2.6 Bauliche Maßnahmen

Zur effektiven Nutzung des HV-Arbeitsstandes müssen bauliche Maßnahmen in der Werkstatt durchgeführt werden. Die hier aufgeführten Maßnahmen sind durch einen Architekten zu planen und kostentechnisch zu bewerten.

Trennung von Fahrzeugwäsche und HV-Arbeitsstand

Der HV-Arbeitsstand ist räumlich von der Fahrzeugwäsche zu trennen, da Sprühnebel und die erhöhte Luftfeuchtigkeit die Sicherheit der HV-Arbeiten ggf. einschränken, bzw. zu Korrosion an Kontaktstellen führen kann.

Für die Trennung ist die Montage eines weiteren Tores auf Höhe des Wandendes (siehe Abbildung 2.20) mit entsprechendem Wandelement bis zur Decke vorgesehen. Die bestehenden Deckeninstallationen sind ggf. anzupassen oder umzubauen. Ebenso sollte die Einlaufrinne der Waschanlage bis unter den Torgummi verschlossen werden. Dazu kann die vorhandene Einlaufabdeckung durch eine geschlossene Abdeckung ersetzt werden. Die Fluchttür zwischen Waschanlage und DAS sollte bei laufender Fahrzeugwäsche geschlossen bleiben.

AP 2 – Betriebshofumstellung

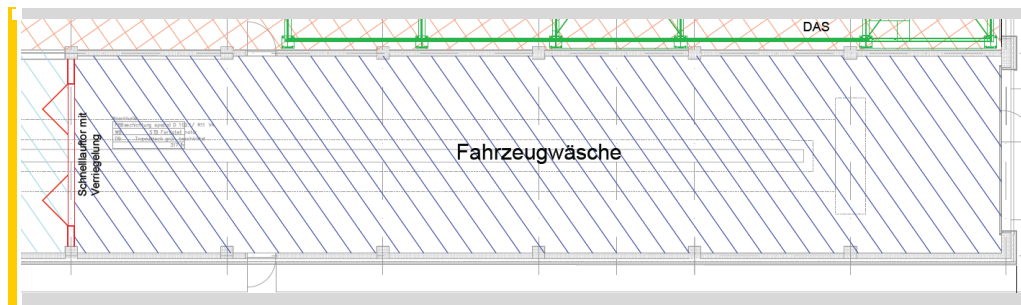


Abbildung 2.20: Angedachte Toranordnung an der Fahrzeugwäsche

Abgasabsaugung

Eine bestehende Abgasabsaugung auf dem HV-Arbeitsstand ist auf Grund von Kollision mit der geplanten Abstützung des DAS zurückzubauen oder für den Übergangszeitraum zu versetzen. Als alternative Übergangsmaßnahme können Aufsatzfilter für Dieselfahrzeuge genutzt werden.

Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Weiterhin ist während der planerischen Umsetzung der Elektrifizierung des Betriebshofes die Anpassung der TGA (Heizung und Beleuchtung) unterhalb und oberhalb des DAS durch einen Planer zu überprüfen und ggf. anzupassen. Auf den Arbeitsebenen sind notwendige Medienanschlüsse (Strom, DL und ggf. Wasser) nach den Vorgaben des Werkstattleiters vorzusehen. Für die Fahrzeugdiagnose sollten weithin Netzwerkanschlüsse vorgesehen werden, die einen direkten Kontakt zum Servicepartner gestatten.

2.2.7 Personalqualifizierung

Bei Elektrobussen treten neue Gefahrenpotentiale durch Hochvolt-Systeme auf. Um Mitarbeiter vor Gefahren wie Körperdurchströmung oder Lichtbogenbildung zu schützen, sind sie zu sensibilisieren und zu qualifizieren. Die Schulungen müssen vor Inbetriebnahme der Elektrobusse abgeschlossen worden sein. Der Schulungsbedarf in einem Verkehrsunternehmen richtet sich nach den Vorgaben der berufsgenossenschaftlichen Informationsschrift DGUV-Information 209-093, welche seit August 2021 die Vorgängerschrift DGUV-I 200-005 abgelöst hat. Je höher die Qualifikationsstufe, desto mehr Befugnisse und Fähigkeiten hat das betroffene Personal, wie nachfolgende Abbildung verdeutlicht.

AP 2 – Betriebshofumstellung



Abbildung 2.21: HV-Qualifikation nach DGUV-Information 209-093

Die Qualifizierungen bauen aufeinander auf; die Dauer der Qualifizierungsmaßnahmen hängt von der Eingangs- und Zielqualifikation der Beschäftigten ab. Neben dem Werkstattpersonal müssen auch das Fahr- und Servicepersonal bei den Qualifizierungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Die Qualifizierungsmaßnahmen sind in folgender Tabelle zusammenfassend aufgeführt:

Qualifizierungsmaßnahme	Stufe	Beschreibung
Erstschulung		
HV-Bus	S	Sensibilisierung für Gefahren bei Kraftfahrzeugen mit HV-Systemen
	1S	Fachkundig unterwiesene Person Hochvolt (FuP) nach DGUV Information 209-093
	2S	Fachkundige Person Hochvolt (FHV). Arbeiten an Serienfahrzeugen
	3S	Fachkundige Person für Arbeiten an unter Spannung stehenden HV-Komponenten
	vEfk	Verantwortliche Elektrofachkraft für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltssystemen
Wiederholung		
Jahresunterweisung für (HV-Bus 1S & 2S)	JA-HV	Jahresunterweisung für Absolventen der Schulungen zur Stufe 2 und 3 "Arbeiten an nicht HV-eigensicheren Systemen" entsprechend ArbSchG § 12 und DGUV Vorschrift 1 § 4
Wiederholungskurs für (HV-Bus 3S, alle 4 Jahre)	WA3a	Wiederholungsausbildung zur Fachkunde für Arbeiten an nicht HV-eigensicheren Systemen unter Spannung (AuS) nach Stufe 3 der DGUV Information 209-093.
Jahresunterweisung verantw. Elektrofachkraft (HV- Bus vEfk)	Jahresunterweisung HV-Bus-vEfk	Jahresunterweisung der verantwortlichen Elektrofachkräfte (vEfk) nach DGUV 1 und ArbSchG

Tabelle 2.11: HV-Qualifikationsstufen nach DGUV-I 209-093, Batteriebus

Für das sichere Arbeiten an HV-Komponenten an Elektrobussen sind besondere Schutzmaßnahmen und Qualifikationen für das Werkstattpersonal erforderlich. Beim Werkstattpersonal wird im HV-Bereich zwischen nicht-elektrotechnischen Arbeiten (Service und mechanische Arbeiten), elektrotechnischen Arbeiten (im spannungsfreien Zustand / unter Spannung) und der Übernahme der Unternehmerverantwortung (verantwortliche Elektrofachkraft) unterschieden.

AP 2 – Betriebshofumstellung

2.2.7.1 HV-Bus S

Das Fahrpersonal benötigt zum Fahren von Elektrobussen eine Qualifizierung zur elektrotechnisch unterwiesenen Person für Fahrtätigkeiten (HV-Bus S). Dazu sind keinerlei elektrotechnische Vorkenntnisse notwendig. Im Rahmen der Sensibilisierung wird das Fahrpersonal auf die Bedienung und das optimale Führen des Fahrzeuges geschult. Darüber hinaus wird u. a. das richtige Verhalten bei Pannen und im Gefahrenfall (Unfall) hingewiesen. Die Schulung der Fahrdienstmitarbeiter kann extern oder intern durch eine sachkundige Person (FHV) erfolgen. Sofern unternehmenseigene FahrlehrerInnen zur Verfügung stehen, können die Schulungen in Eigenregie über Multiplikatoren durchgeführt werden.

2.2.7.2 HV-Bus 1S

Das für Reinigungsarbeiten vorgesehene Servicepersonal ist zu elektrotechnisch unterwiesenen Personen für Reinigungstätigkeiten zu qualifizieren. Dazu sind keinerlei elektrotechnische Vorkenntnisse notwendig. Im Rahmen der Unterweisung wird das Servicepersonal auf mögliche Gefahrenquellen durch HV-Komponenten hingewiesen sowie u. a. das Vorgehen bei Außen- und Innenreinigungen geschult. Die Unterweisung kann extern oder intern durch eine sachkundige Person (FHV) erfolgen.

2.2.7.3 HV-Bus 2S

Die Arbeit an HV-Systemen darf ausschließlich von geschultem Personal betrieben werden. Das Werkstattpersonal für Instandhaltung und Service-Arbeiten ist zur Fachkundigen Person Hochvolt (FHV) zu qualifizieren. Dies gilt mit einer abgeschlossenen Ausbildung zum Kfz-Mechatroniker als erfüllt. Ältere Abschlüsse zum Kfz-Mechaniker müssen durch eine externe Schulungsmaßnahme qualifiziert werden. Es ist vorgesehen, dass zwei Mitarbeiter gleichzeitig auf einem Arbeitsstand an HV-Systemen arbeiten, jedoch grundsätzlich jeder Mechatroniker (8 Mechatroniker in der Werkstatt) dazu befähigt ist.

2.2.7.4 HV-Bus 3S und vEfK

Die Qualifikation eines Mitarbeiters zum Arbeiten an unter Spannung stehenden HV-Komponenten (HV-Bus 3S) oder zur verantwortlichen Elektrofachkraft für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen (vEfK) ist derzeit nicht geplant und wird aufgrund der geplanten Instandhaltungstiefe (Wartung und Austausch von Komponenten, siehe Kapitel 2.2) nicht empfohlen.

2.2.8 Leistungspositionen der Werkstatt

Folgende Leistungspositionen der Werkstatt sind notwendig:

- Arbeitsstand Inbetriebnahme:
 - 1 Satz fahrzeugherstellerspezifische Prüfbox
 - 1 Satz isoliertes HV-Spezialwerkzeug
 - 2 Stück zweipoliger Spannungsprüfer
 - 1 Satz kalibrierte Messgeräte
 - 1 Satz Diagnoseeinheit
 - 1 Stück Wärmebildkamera
 - 8 Satz persönliche Schutzausrüstungen
 - 1 Stück Defibrillator
 - 3 Satz Absperrmaterial
 - 1 Stück zweiseitig stationärer Dacharbeitsstand inkl. Krananlage
 - 1 Stück mobiles Ladegerät
 - Rückbau Abgasabsauganlage (Zuarbeit Architekt)
 - Anpassung TGA im Bereich Dacharbeitsstand (Zuarbeit Architekt)
- Arbeitsstand Instandsetzung
 - 1 Stück mobiles Ladegerät
- Arbeitsstand Fahrzeugwäsche
 - Bauliche Trennung Waschanlage und Anpassung TGA (Zuarbeit Architekt)
- Nebenwerkstatt Instandhaltung
 - 1 Stück Palettenregal
 - 1 Stück Hochhubwagen
- Hochbord vor Waschanlage
 - 1 Stück Lagercontainer für Batterien
 - 3 Stück Behälter für auffällige oder defekte Batterien

2.3 AP 2.3 – Konzeption Ladeinfrastruktur

2.3.1 Auslegung der Ladeinfrastruktur

Für die Ladung von Batteriebussen ist der Aufbau von Ladeinfrastruktur in jedem Fall erforderlich. Der Umgang unterscheidet sich je nach Ladekonzept. Für die Vollladung ist die umfangreiche Installation von Ladeinfrastruktur im Betriebshof notwendig. Es wird davon ausgegangen, dass keine Zwischenladung im Betreibergebiet installiert wird. Weiterhin wird definiert, dass jeder Umlauf mit vollständig

AP 2 – Betriebshofumstellung

gefülltem Energiespeicher (Batterie) ausrückt, auch wenn dies für die Sicherstellung der Umläufe nicht in jedem Fall notwendig ist. Die im Tagesverlauf benötigte Energie soll ggf. während Aufenthalt im Depot nachgeladen werden.

Zum Laden der Batteriebusse ist eine leistungsfähige, zuverlässige und flexible Ladeinfrastruktur aufzubauen. Aufgrund des hohen Leistungsbedarfs sollte der Anschluss der Ladeinfrastruktur an das Mittelspannungsnetz des Netzbetreibers SW-I erfolgen. Aufgrund der Größe des Betriebshof und den damit verbundenen Entfernungen kann auf den Aufbau eines betriebsinternen Mittelspannungsnetzes auf dem Betriebsgelände verzichtet werden.

Für die Ladeinfrastruktur wird zunächst von folgendem Konzept ausgegangen, dessen Tragfähigkeit mit Blick auf die übermittelten Umlaufdaten überprüft wird:

An jedem Abstellort wird ein Ladepunkt installiert werden. Die Ladeleistung kann für den Großteil der Ladepunkte mit 75 kW festgelegt werden. Direkt vor dem Gebäude der Ladeinfrastruktur sind fünf Schnellladepunkte mit 150 kW vorgesehen um eine größere Flexibilität im Betrieb zu ermöglichen. In der folgenden Betrachtung ist zu überprüfen, inwieweit diese Anzahl ausreichend ist. Um den Spitzenleistungsbedarf zu senken, bietet sich der Einsatz eines Lademanagementsystems in Verbindung mit einem Betriebshofmanagementsystem, welches auf den Einsatz von Batteriebussen vorbereitet ist, an.

Als Kontaktsystem kommt prinzipiell das Plug-In-System mit CCS2-Ladekabel unter Nutzung einer Depotbox mit Kabelabroller in Frage. Die Verortung der Ladetechnik auf dem Betriebshof wird in Kapitel 2.3.4. genauer untersucht.

Für die Dimensionierung der energetischen Versorgung der Busflotte werden die von der SBI zur Verfügung gestellten Umlaufdaten mit Stand 02/2022 für die GL-Busse und Umlaufdaten mit Stand 12/2022 für die SL-Busse verwendet. Es wurden Umlaufdaten für vier verschiedene Betriebstage übermittelt: Montag bis Donnerstag, Freitag, Samstag sowie Sonn- und Feiertag. Dabei wurden konkrete Wagenumläufe sowie auch eine Umsetzungstabelle für den ggf. notwendigen Wechsel der Busse zwischen den einzelnen Umläufen übermittelt. Die Wagenumläufe der SL-Busse waren dreigeteilt und die der GL-Busse zweigeteilt.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Bustyp	Betriebstag	Summierte Laufleistung in km			
		Umlauf 1	Umlauf 2	Umlauf 3	alle Umläufe
Solo	Mo bis Do	827	1.020	686	2.533
	Fr	827	1.020	1.077	2.924
	Sa	747	1.636		2.383
	So / Feiertag	306	565		871
Gelenk	Mo bis Do	1.434	2.121		3.555
	Fr	1.434	2.284		3.718
	Sa	837	1.130		1.967
	So / Feiertag	168	226		394

Tabelle 2.12 Laufleistungen der einzelnen Betriebstage

Obwohl der Freitag der umlaufstärkste Betriebstag ist, wird aus den zugrundeliegenden Umlauflängen ersichtlich, dass es vor allem bei den SL-Bussen im dritten Teil des Umlaufes zu deutlich höheren Laufleistungen kommt. Da die SL-Busse am Samstag jedoch zum Teil deutlich später ausrücken, reicht die Betrachtung des Betriebstags Mo bis Do als anspruchsvollster Betriebstag für die Auslegung der Ladeinfrastruktur aus.

Es wird die erforderliche Energiemenge zum Laden der Batteriebusse berechnet und der maximale Leistungsbedarf bestimmt. Dabei werden basierend auf den Angaben des Herstellers der demnächst gelieferten Solo- und Gelenkfahrzeuge die Angaben für den SORT 2-Verbrauch inkl. für die Innenraumklimatisierung und zwar für die anspruchsvollsten Bedingungen zugrunde gelegt (siehe Tabelle 2.13). Die korrespondierenden Reichweiten können darüber hinaus zu den geplanten Teilumlaufwegen in Relation gesetzt werden.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Gefäßgröße	SORT 2 – Energieverbrauch inkl. HLK in kWh/km		
	jährlicher Durchschnitt	minimale Reichweite	Wert für Betrachtung
Solo	0,951	1,050	1,05
Gelenk	1,371	1,474	1,45
	Reichweiten in km		
	jährlicher Durchschnitt	minimale Reichweite	maximale Umlauflänge in Umlaufplanung
Solo	324	294	Mo bis Fr – 135 Sa + So/Feiertag – 196
Gelenk	312	279	Mo bis Fr – 202 Sa + So/Feiertag – 175

Tabelle 2.13 Energiebedarf der Busse für Ermittlung des Leistungsbedarfes

Aufgrund der vorgenommenen Teilung der Wagenumläufe in geteilte Umläufe mit Umlauflängen bis zu einer Größenordnung von 200 km haben alle Umläufe noch deutliche Reserven (> 30 % im Vergleich zur geringsten Reichweite, die vom Hersteller zugesichert wird) im Falle der Störung der betrieblichen Abläufe. Im Rahmen der übermittelten Umläufe werden zunächst nur 15 Gelenk- und 13 SL-Busse geplant.

Mit der Auslegung der Infrastruktur und der Fahrzeuge für den energetisch anspruchsvollsten Betriebstag können auch Betriebstage mit weniger Fahrplankilometer vollständig bedient werden. Zur Ermittlung der erforderlichen Anschlussleistung zur Anbindung an das Stromnetz wurden die Umläufe des Betriebstages „Montag bis Donnerstag“ untersucht.

Basierend auf den vorgegebenen Umlaufdaten sowie den jährlichen, mittleren Verbrauchswerten (siehe Tabelle 2.13) kann ein entsprechender Jahresbedarf an Energie unter Annahme eines Wirkungsgrades von 90 % vom Mittelspannungsanschluss bis zur Batterie des Fahrzeuges in der Größenordnung von 2,4 Mio. kWh abgeschätzt werden.

Der Gesamtleistungsbedarf setzt sich aus der für alle Ladevorgänge benötigten, aufsummierten Ladeleistung zusammen. Im grundlegenden Konzept wird dabei

AP 2 – Betriebshofumstellung

zunächst davon ausgegangen, dass fünf der Ladepunkten als Schnellladepunkten mit 150 kW Ladeleistung (bedingt durch die Begrenzung der Steckerladung via CCS2) und alle weiteren Ladepunkte mit einer Ladeleistung von 75 kW versorgt werden. Der Einsatz von Schnellladepunkten ermöglicht einerseits das schnelle Laden im regulären Betrieb als auch die Möglichkeit mehr Flexibilität im Falle von Störungen im Betriebsablauf (z. B. schneller Wiedereinsatz eines Busses nach Werkstattaufenthalt).

Im Falle der Ladung über ein ungekühltes CCS-Kabel ist der Strom bedingt durch die thermische Erhitzung des Kabels und der Kontakte im Stecker in der Regel dauerhaft auf einen Wert von 200 A_{DC} begrenzt. Da die Batteriespannung erst im Laufe des Ladevorganges in Abhängigkeit des Ladezustandes (SoC) allmählich steigt, kann im Falle des Schnellladepunktes bei einer Batteriespannung unter 750 V_{DC} die technisch vom Ladegerät lieferbare Ausgangsleistung von 150 kW nicht komplett vom Bus abgerufen werden. Um diesen Effekt abzubilden, werden die Ladezeiten durch einen Faktor 0,85 dividiert bzw. um einen Faktor von 17,6 % verlängert. Zum Nachladen einer Energiemenge von 75 kWh wird für einen normalen Ladepunkt mit 75 kW nicht genau einer Stunde Ladezeit, sondern eine Dauer von $60\text{ min} / 0,85 = 70,6\text{ min}$ zugrunde gelegt.

Die Vorkonditionierung der Fahrzeuge und das Batterie-Balancing mit typischen Leistungen von 20 kW beim Solo- und 30 kW beim Gelenkbus über eine Zeitdauer von 30 min wird nicht gesondert betrachtet, da für die Ladevorgänge über Nacht ausreichend Zeit zur Verfügung steht. Eine Vorkonditionierung der Busse erhöht nur geringfügig den Gesamtenergiebedarf und hat keine Auswirkung auf die benötigte Anschlussleistung.

Das Lademodell 1 bildet die „ungesteuerte Ladung“ ab. Ein Ladevorgang startet, sobald das Fahrzeug den Ladepunkt erreicht hat. Nur beim letzten Teil des Wagenumlauf wird die bereits von der SBI berücksichtigte Zeit von 30 min für die tägliche Revision der Fahrzeuge berücksichtigt. Dabei wird zunächst untersucht, ob der Umlauf mit einer Nachladung am normalen Ladepunkt mit 75 kW ausreichend ist oder ein Nachladung am Schnellladepunkt erfolgen muss.

AP 2 – Betriebshofumstellung

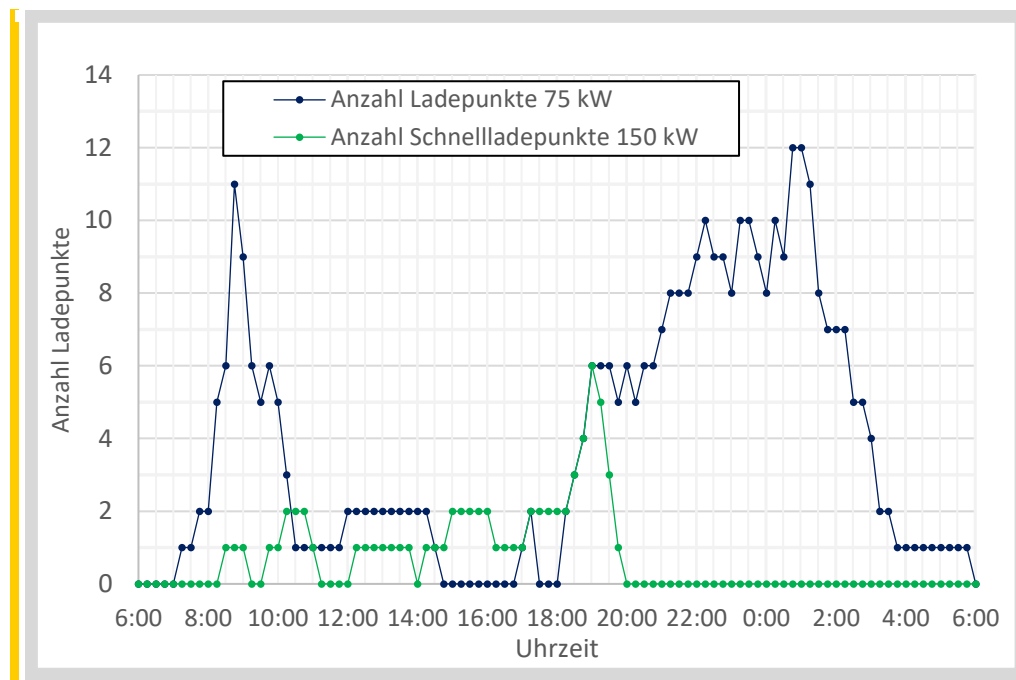


Abbildung 2-22: Ungesteuerte Ladung – Anzahl der belegten Ladepunkte

In der Abbildung 2-22 ist die Anzahl der belegten Schnell- und normalen Ladepunkte ersichtlich, wenn der Ladevorgang sofort bei Anwesenheit des Busses beginnt. Anhand der Belegung erkennt man sehr deutlich die Teilung der Umläufe sowie das Nachladen nach der morgendlichen Spitze sowie am Abend nach dem Berufsverkehr. Die aus der Belegung resultierende Leistungsbedarf ist in der folgenden Abbildung 2-23 dargestellt. Die Ermittlung der benötigten Energiemengen zur Nachladung erfolgt im Rahmen des AP 3.

Darüber hinaus fällt in Abbildung 2-22 auf, dass die Belegung der Schnellladepunkte den Wert sechs erreicht, was die zusätzliche Ausstattung eines Ladepunktes als Schnellladepunkt bedeuten würde. Hier ist nun zu prüfen, inwieweit die Zeiten der Schnellladung innerhalb der Aufenthaltszeiten der Busse verschoben werden können.

AP 2 – Betriebshofumstellung

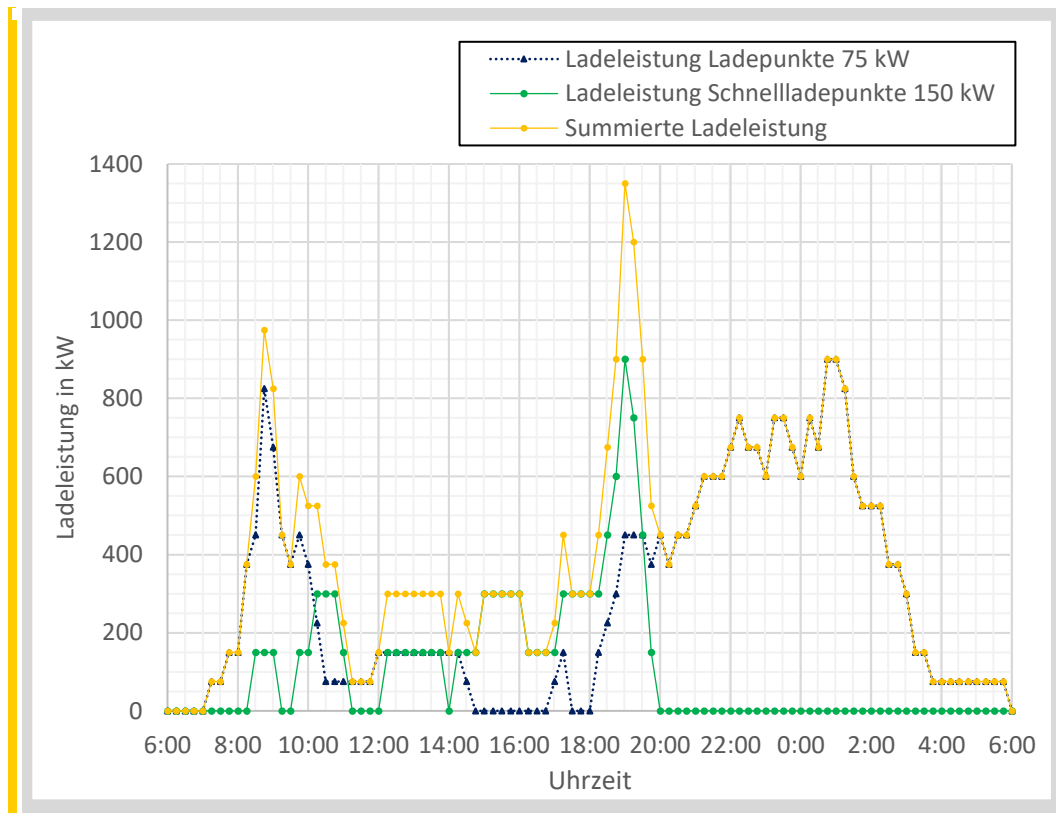


Abbildung 2-23: Ungesteuerte Ladung - Leistungsbedarf

Durch eine entsprechende Verschiebung zweier Ladevorgänge an den Schnellladepunkten kann deren maximale, zeitgleiche Nutzung auf vier gesenkt werden. Diese Verschiebung der Schnellladung wird im Lademodell 2 abgebildet.

Diese Verschiebung bedeutet einen späteren Start des Ladevorganges am Schnellladepunkt und nicht zeitgleich mit der Abstellung des Busses. Allerdings bleibt dabei unberücksichtigt, dass für den späteren Start des Ladevorganges gegebenenfalls ein Umsetzen des Busses gegenüber der ursprünglichen Abstellposition notwendig ist. Bei der Belegung Schnellladepunkte wurde die nachträgliche Pause bis zum erneuten Ausrücken nach dem eigentlichen Ladevorgang, die diesen Schnellladepunkt im Betrieb blockieren würde, nicht berücksichtigt. Es wurde vereinfachend zunächst davon ausgegangen, dass der Bus nach der erfolgten Schnellladung gegebenenfalls Platz für einen anderen Bus macht, der ebenfalls eine Schnellladung benötigt.

Aus der Abbildung 2-24 lässt sich jedoch erkennen, dass sich einerseits durch die Verschiebung des Beginns der Schnellladung die Anzahl der zeitgleich genutzten Schnellladepunkte auf vier reduzieren lässt. Andererseits werden im Tagesverlauf

AP 2 – Betriebshofumstellung

nur in der Zeit von 19 bis 20 Uhr mehr als zwei der fünf vorgesehenen Schnellladepunkte zeitgleich genutzt werden. Die Problematik der Überlappung der Stand- und Ladezeiten an den Schnellladepunkten relativiert sich damit deutlich. Eine ganz konkrete Belegungsplanung der Schnellladepunkte würde den Rahmen dieser Machbarkeitsstudie sprengen und wird im Betrieb durch ein entsprechendes Last- und Lademanagementsystem entsprechend abgebildet.

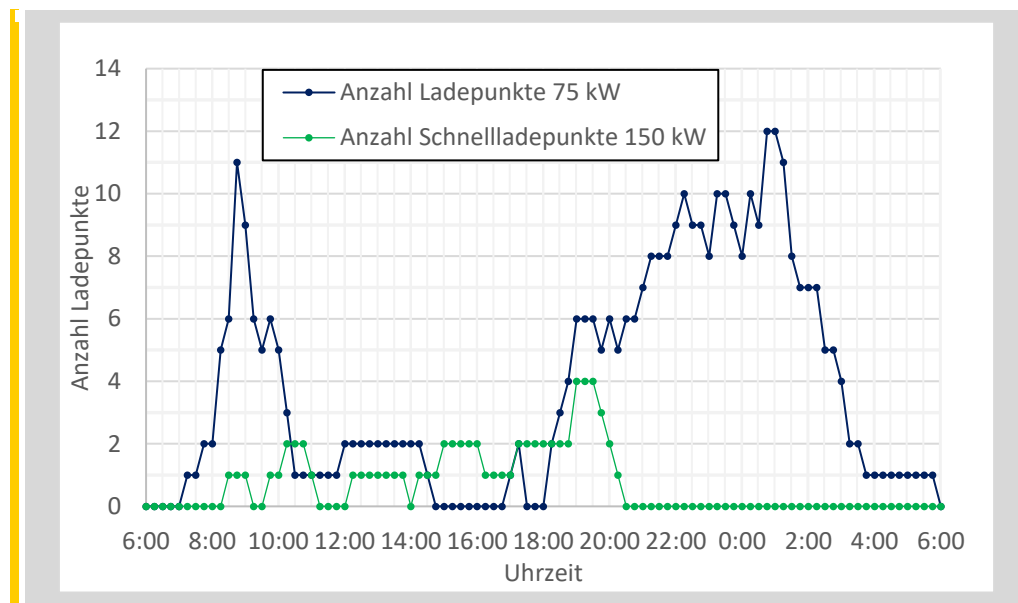


Abbildung 2-24: Ungesteuerte Ladung mit Verschiebung der Schnellladung – Belegung der Ladepunkte

In Abbildung 2-25 ist der sich ergebende Leistungsbedarf im Falle der Verschiebung der Schnellladung abgebildet.

AP 2 – Betriebshofumstellung

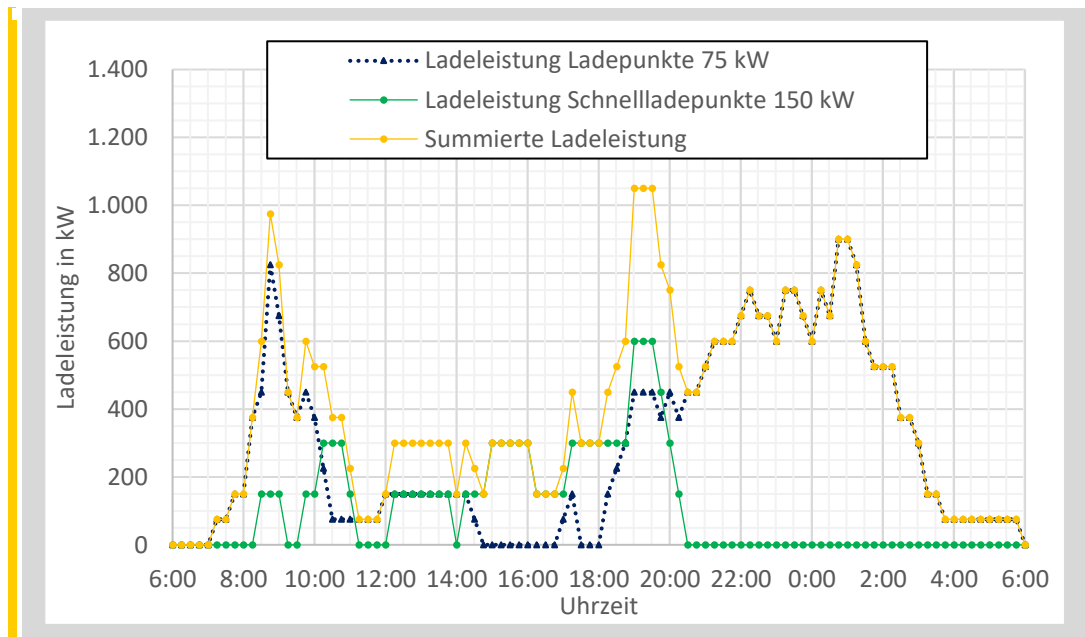


Abbildung 2-25: Ungesteuerte Ladung mit Verschiebung der Schnellladung – Leistungsbedarf

In einem weiteren Lademodell 3 wird nun die gleichmäßige Ladung betrachtet. Die erforderliche Ladeleistung passt sich an die nachzuladende Energiemenge und die zur Verfügung stehende Zeit an. Die Ladung beginnt ebenfalls zum frühestmöglichen Zeitpunkt und endet, sobald der Traktionsspeicher ist. Die zur Verfügung gestellte Ladeleistung wird auf die zur Ladung verfügbare Zeit angepasst. Bei einer langen Standzeit wird eine geringere Ladeleistung bereitgestellt, bei einer kurzen Standzeit ist die Ladeleistung entsprechend höher.

Mit Ausnahme der Busse, die auf die Nutzung eines Schnellladepunktes angewiesen sind, werden alle Busse nur mit der gleichmäßigen Ladeleistung geladen. Bei den Umläufen die nachts über mit 75 kW geladen werden und die erst nach 6 Uhr wieder ausrücken, wird die Darstellung dahingehend vereinfacht, dass auch sie bereits bis 6 Uhr wieder vollständig geladen sein sollen.

Dies betrifft drei GL-Busse, die erst um 6:50 Uhr, 8:20 Uhr und 10:25 Uhr ausrücken sowie vier SL-Busse, die alle kurz nach 6 Uhr (6:05 Uhr oder 6:10 Uhr) vom Betriebshof ausrücken.

AP 2 – Betriebshofumstellung

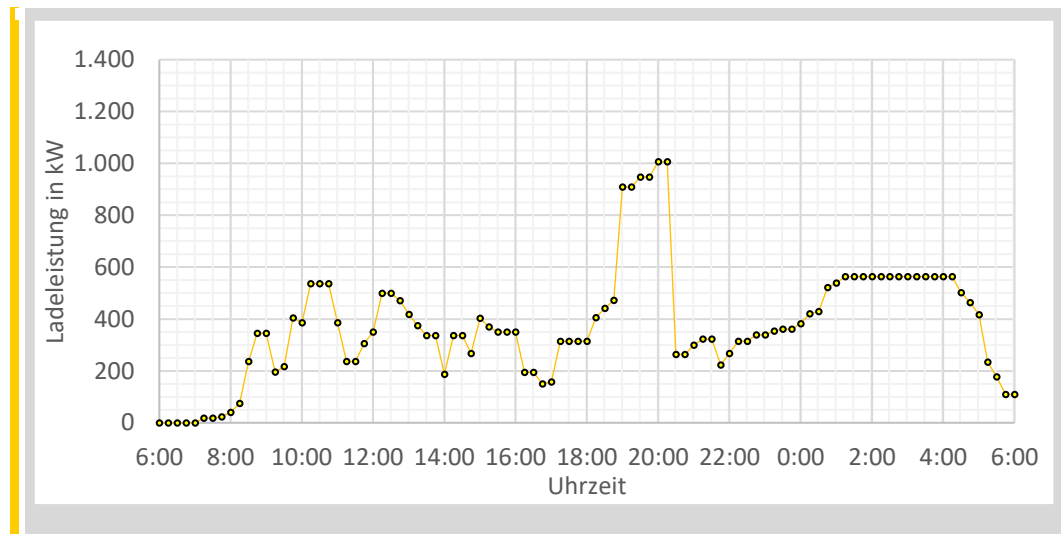


Abbildung 2-26: Gleichmäßige Ladung mit Ausnahme der Schnellladepunkte – gesamter Leistungsbedarf

Betrachtet man die gleichmäßige Ladung in Abbildung 2-26 so ergibt sich bereits ein gleichmäßigeres Bild, insbesondere verteilt sich die Last am Morgen und in der Nacht deutlich gleichmäßiger im Vergleich zur ungesteuerten Ladung.

Versucht man nun wie in Lademodell 4 den Ladevorgang weiter gezielt durch die Verschiebung der Ladevorgänge zu optimieren, so kann die Spitzenlast von 1.050 kW auf 900 kW deutlich reduziert werden (siehe Abbildung 2-27). Durch die Teilung der Umläufe der SL-Busse und deren großen Nachladebedarf im Bereich von 18 bis 20 Uhr und parallel die Nutzung der Schnellladepunkte sind der Reduktion der Spitzenlast umlaufbedingt jedoch deutliche Grenzen gesetzt.

AP 2 – Betriebshofumstellung

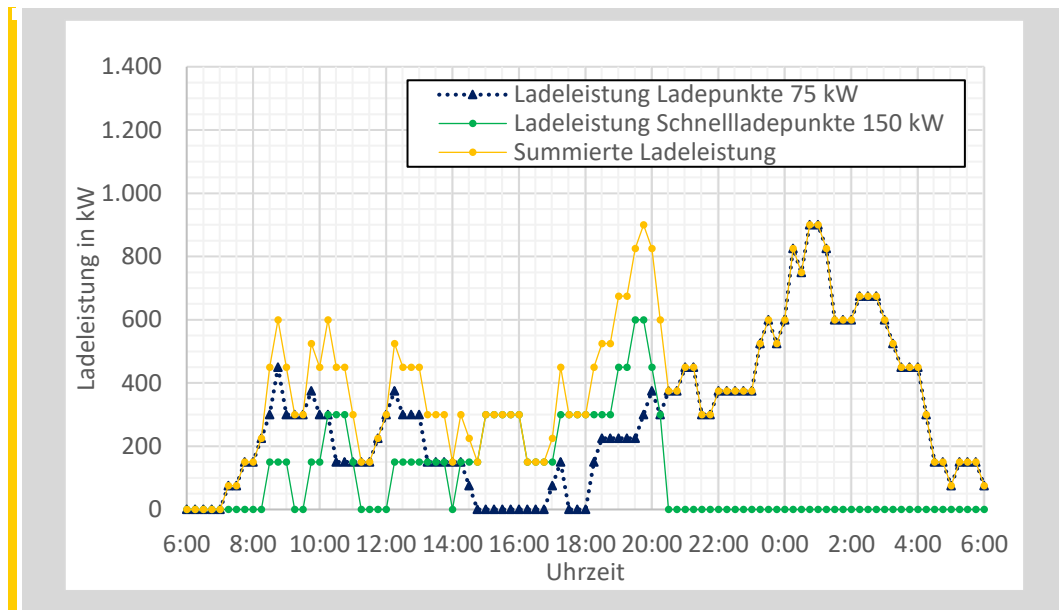


Abbildung 2-27: Gesteuerte Ladung - Leistungsbedarf

Um die Energieversorgung für die ermittelten Leistungsbedarfe zu realisieren, ist entsprechende Ladeinfrastruktur erforderlich. Diese Komponenten umfassen Ladestationen mit Ladegeräten, Transformatoren und eine Übergabestation zur Anbindung an das Mittelspannungsnetz des Verteilnetzbetreibers. Ausgehend von einer zu errichtenden Übergabestation zur elektrischen Anbindung des Betriebshofes und der Realisierung der Schutz- und Messstellenfunktionen erfolgt die weitere Verteilung im Betriebshof. Der Betriebshof ist vorbereitend mit entsprechenden Transformatoren auszustatten. Die benötigten Ladegeräte sowie Depotboxen zur Kommunikation mit entsprechenden CCS-Kabeln sind ebenfalls vorzusehen.

Um aus der ermittelten Spitzenlast von 900 kW Ladeleistung eine konkrete Anschlussleistung zu ermitteln, müssen weitere Effekte berücksichtigt werden. Dies sind einerseits der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ als Maß für mögliche aufzubringende Blindleistung durch das Netz, der für die Ladetechnik mit einem Wert von 0,95 abgeschätzt werden kann. Andererseits müssen die Umwandlungsverluste in den Transformatoren, der Niederspannungsverkabelung und insbesondere in den Ladegeräten berücksichtigt werden. Hierbei kann bei konservativer Abschätzung von einem Gesamtwirkungsgrad von etwa 90 % ausgegangen werden. Um eine Spitzenlast von 900 kW am Ausgang der Ladetechnik bereitstellen zu können, wäre eine Anschlussleistung von $900 \text{ kW} / (0,95 \times 0,9) = 1052 \text{ kVA}$ am Abgang des versorgenden Mittelspannungsnetzes nötig.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Da jedoch bereits fünf Schnellladepunkte mit jeweils einer Ladeleistung von 150 kW vorgesehen sind, die benötigen diese bereits in ihrem Betrieb eine Leistung von 750 kW. Darüber hinaus werden für 33 Busse Ladepunkte vorgesehen, d. h. es gibt noch fünf Busse, die aktuell noch keinem konkreten Umlauf am Betriebstag Mo bis Do zugeordnet worden sind. Für diese Busse ist außerdem noch ein entsprechender Aufschlag als Reserve vorzunehmen.

Um sowohl die möglichst uneingeschränkte Nutzung der Schnellladepunkte zu gewährleisten als auch die bisher unberücksichtigten Busse flexibel nachladen zu können, wird eine Leistungsreserve von mindestens 300 kW vorgeschlagen. Diese Leistungsreserve von 300 kW, also eine Reserve für den Betrieb von vier weiteren, normalen Ladepunkten, wird zusätzlich zu der bisher ermittelten Spitzenlast von 900 kW vorgesehen. Dies ermöglicht ein Laden von vier dieser fünf Busse völlig unabhängig von den bisher erfolgten Umlaufplanungen und sichert der SBI auch zukünftig ausreichend Spielraum, der gegebenenfalls für zukünftige Angebotsanpassungen benötigt wird. Bezüglich der Anschlussleistung ergibt sich mit der zusätzlichen Leistungsreserve von 300 kW damit ein Wert von $1.200 \text{ kW} / (0,95 \times 0,9) = 1.400 \text{ kVA}$ ergeben.

Basierend auf den 28 Ladepunkten mit 75 kW sowie 5 Schnellladepunkten mit 150 kW ergibt sich folgende Übersicht zur Ladetechnik:

Art des Ladepunktes	Ladeleistung in kW	Anzahl	Leistung in kW
Schnellladepunkt	150	5	750
Ladepunkt	75	28	1.875
Mobiles Ladegerät	40	2	80
Gesamt		35	2.930

Tabelle 2.14 Übersicht über die Ladetechnik

Setzt man die 1.200 kW ins Verhältnis zur installierten Leistung der Ladetechnik von 2930 kW (inkl. der mobilen Ladegeräte), so erhält man einen Gleichzeitigkeitsfaktor von etwa 41 % der deutlich weniger als 50 % beträgt. Der Gleichzeitigkeitsfaktor ist aufgrund der Anforderungen der vorliegenden Umläufe relativ gering, d. h. man könnte mit der entsprechenden Anschlussleistung gut 40 % aller Ladepunkte gleichzeitig unter voller Last betreiben.

In einer konservativen Auslegung durch zwei Transformatoren mit jeweils 1.000 kVA würde sich eine mittlere Belastung von etwa 70 % in diesem Fall

AP 2 – Betriebshofumstellung

einstellen. Ein Vorteil einer solchen Auslegung mit zwei Transformatoren wäre zudem die Möglichkeit beim Ausfall eines Transformators durch eine entsprechende Kopplung auf der Niederspannungsseite den verbliebenen Transformator unter Umständen ggf. auch in Überlast zu betreiben. Ein Großteil der benötigten Leistung könnte damit auch von einem Transformator kurzzeitig zur Verfügung gestellt werden. Eine die Redundanz erhöhende Kopplung auf Seiten der NS-Verteilung ist mit zusätzlichen Investitionskosten verbunden. Ohne eine solche Kopplung wäre im Ausfall des Transformators nur der von ihm versorgten NS-Unterverteilung mit ihren Ladepunkten nutzbar.

Sollte sich die SBI für eine größere Leistungsreserve von 450 kW zusätzlich, d. h. in Summe 1.350 kW bzw. 1578 kVA als Anschlussleistung entscheiden, wäre auch die Nutzung von zwei Transformatoren mit einer Leistung von jeweils 1.250 kVA denkbar, um die Leerlaufverluste zu senken und die Transformatoren mit geringerer Belastung zu betreiben.

Inwieweit bei der Auslegung des sogenannten Gleichzeitigkeitsfaktor noch weitere Leistungsreserven zu den bisher angesetzten Reserven z. B. für eine zukünftige Angebotsausweitung sinnvoll sind, muss die SBI bewerten. Diese sind bei der Anmeldung der benötigten Anschlussleistung beim Netzbetreiber mit zu berücksichtigen. Die aktuelle Auslegung kann nur die aktuellen Vorgaben aus den Überlegungen zur Umlaufplanung mit Elektrobussen widerspiegeln, die eine Momentaufnahme abbildet, sowie eine erste Abschätzung zu möglichen, sinnvollen Leistungsreserven im Allgemeinen und die nicht berücksichtigten Busse in der Umlaufplanung im Besonderen.

Die Verortung der Ladetechnik auf dem Betriebshof wird in Kapitel 2.3.4. genauer untersucht.

2.3.2 Systemkomponenten Ladeinfrastruktur Betriebshof

Im Abstellbereich des Betriebshofes Hindenburgstraße ist für jeden Elektrobus ein Ladegerät, das jeweils eine Ladeleistung von 75 kW bereitstellt, vorgesehen. Zudem sind 5 Ladegeräte mit einer Ladeleistung von 150 kW zu errichten. Am Abstellort erhalten die Elektrobuse eine dauerhafte Ladung, die einerseits als Erhaltungsladung sowie zum Balancing des Traktionsspeichers und andererseits für die Vorkonditionierung des Fahrzeugs vor dem Ausrücken (Klimatisierung des Fahrgastraums und der Batterien, Druckluftanlage etc.) dient.

Die elektrische Energiezuführung zwischen Ladeinfrastruktur und Fahrzeug erfolgt über das Docking-Station-System. Aus Platzgründen sollen Steckverbindungen

AP 2 – Betriebshofumstellung

zum Einsatz kommen, so dass in dem überdachten Bereich des Betriebshofes nur die Depotboxen unterhalb der Decke montiert werden müssen. Für jeden Elektrobus ist ein Ladepunkt mit Depotbox und Kabelabroller vorzusehen.

Es hat eine ortskonkrete Integration der Ladeinfrastruktur in den bestehenden Betriebshof zu erfolgen. Die Elektrobusse stellen spezielle Anforderungen an die Ladeinfrastruktur und deren Integration in den Betriebshof. In der Konzeptionierung wurden entstehende Wirkungsgradverluste der Komponenten berücksichtigt. Entsprechend wurden die Infrastrukturkomponenten positioniert.

Für den Einsatz in der Werkstatt sind für Lade- und Testzwecke 2 mobile Ladegeräte mit einer Ladeleistung von 40 kW vorgesehen.

Um einen sicheren Ladebetrieb gewährleisten zu können, ist der Ausbau der Infrastruktur im Betriebshof unter Berücksichtigung folgender Leistungsbereiche notwendig:

- Sicherstellung der notwendigen Netzanbindung unter Berücksichtigung des Leistungsbedarfs
- Herstellen der elektrischen Grundversorgung auf dem Betriebshof
- Optimale Integration der Ladegeräte in den Betriebshof
- Einpassen der Ladepunkte in die Fahrzeugabstellung

2.3.3 Systemabgrenzung Ladung

Aufgrund des hohen Leistungsbedarfs erfolgt der Anschluss der Ladeinfrastruktur an das Mittelspannungsnetz. Der Anschluss an das Versorgungsnetz des Netzbetreibers Stadtwerke Ingolstadt (SW-I) erfolgt über die Übergabe- und Transformatorstation auf der Schotterfläche. In der Übergabe- und Transformatorstation wird die Leistung über eine Niederspannungshauptverteilung (NSHV) zu den NS-Unterverteilungen im Ladetechnik Gebäude verteilt. Um diese Station in den Betriebshof zu integrieren, wird ein Gebäude zwischen Ein- und Ausfahrt des Betriebshofes errichtet. Darin befinden sich zwei separat voneinander versorgte Niederspannungsunterverteilungen (NSUVen), welche die Ladetechnik versorgen. Die Versorgung Ladetechnik ist zweifach aufgeteilt, um eine höhere Ausfallsicherheit zu gewährleisten. Bei Ausfall eines Transformators wird eine Kupplung zwischen den Abgängen in der NSHV vorgenommen, sofern diese Art der resilienteren Auslegung von der SBI gewünscht wird. So kann der Betrieb mit geringerer Ladeleistung über nur den verbliebenen Transformator weiterlaufen. Durch eine gezielt stärkere Belastung des verbliebenen Trafos als im normalen Betrieb kann die notwendige Reduktion der noch zur Verfügung stehenden Leistung bei Ausfall

AP 2 – Betriebshofumstellung

reduziert werden. Alternativ kann die Kopplung auch erst auf Seiten der NSUVen erfolgen – dies geht aber mit höheren Investitionskosten für die größere Anzahl an benötigten Kabeln sowie der relativ aufwändigen und damit kostenintensiven Querung der Straße mit einer Verlegung von Leerrohren einher. Der Betriebshof wird ladetechnisch in den südlichen und den nördlichen Bereich unterteilt um die Ausfallsicherheit zu erhöhen (siehe Kapitel 1.2.6.3).

Eine schematische Darstellung der benötigten Komponenten vom Verteilnetzbetreiber (VNB), den Stadtwerken, über die MSSA (MS-Schaltanlage) für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz und die Transformatoren, der Kupplung der beiden Abgänge in der NSHV, die NSHV mit entsprechenden Abgangsfeldern für die zu speisenden NSUVen sowie den von ihnen versorgten Ladegeräten ist der folgenden Abbildung 2.28 zu entnehmen.

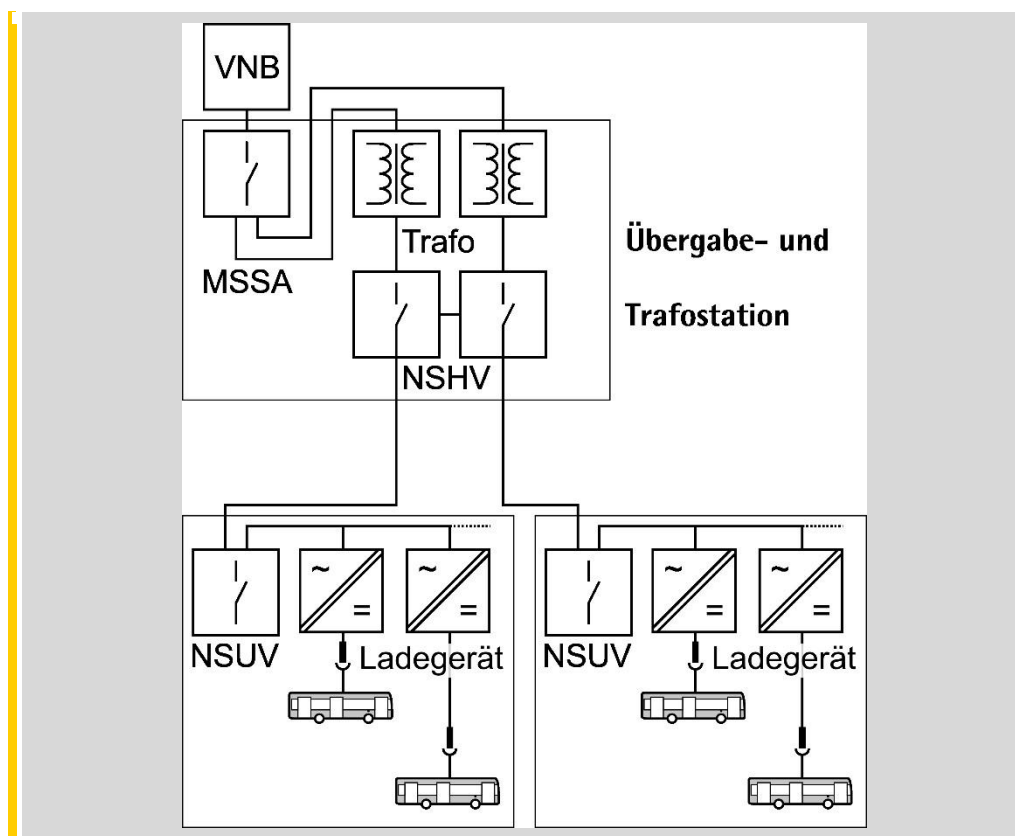


Abbildung 2.28: Schema Ladeinfrastruktur inklusive der vorgelagerten Versorgungsinfrastruktur

Die Ladegeräte der einzelnen Abschnitte sind räumlich und brandschutztechnisch voneinander getrennt (siehe Abbildung 2-29).

AP 2 – Betriebshofumstellung

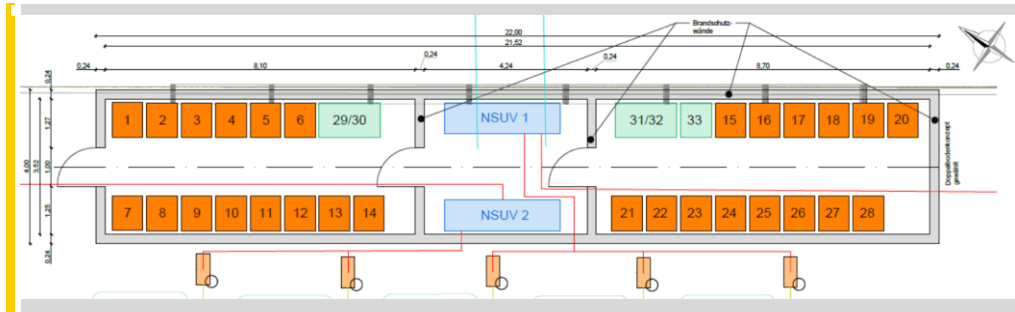


Abbildung 2-29: Gebäude Ladeinfrastruktur

Das Ladegerät stellt die elektrische Leistung aus dem Stromnetz dem Batteriebus zur Verfügung. Die Ladung erfolgt mit Gleichstrom (DC). Die Kontaktstelle zum Fahrzeug wird über CCS2-Stecker realisiert. Die Anzeige des Ladestatus sowie die Kommunikation zwischen Ladegerät und Fahrzeug erfolgen über die Depotbox am Ladepunkt. Die Kommunikation erfolgt über ISO 15118 und die Anbindung an weitere IT-Systeme über OCPP (Open Charge Point Protocol).

2.3.4 Betriebshofkonzept zur Integration Ladeinfrastruktur

Das in Abbildung 2-30 aufgeführte Konzept zur Integration der Ladeinfrastruktur in den Betriebshof nimmt als Grundlage die vorgesehene Abstellung der Fahrzeuge auf und ist Voraussetzung für die weiterführende Planung der Ladeinfrastrukturkomponenten.

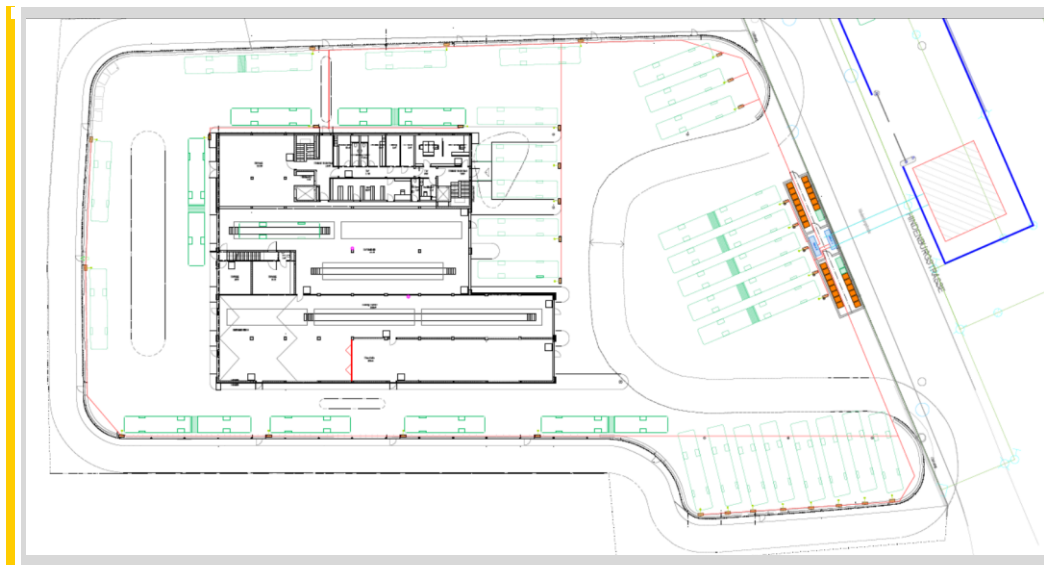


Abbildung 2-30: Konzeption zur Integration der Ladeinfrastruktur in den Betriebshof

AP 2 – Betriebshofumstellung

In Anlage 5 ist die vergrößerte Darstellung der Konzeptionierung beigelegt.

Im Folgenden werden die geplanten Infrastrukturkomponenten erläutert.

Elektrische Grundversorgung

Für die Versorgung der Ladeinfrastruktur auf dem Betriebshof ist ab dem Übergabepunkt des Netzbetreibers (Übergabestation) über das Ladetechnik-Gebäude mit der Ladetechnik bis zu den Ladepunkten die elektrische Grundversorgung herzustellen.

Durch den Netzbetreiber SW-I ist sicherzustellen, dass die benötigte Anschlussleistung von mindestens 1.400 kVA zur Verfügung gestellt wird. Der benötigte Leistungsbedarf resultiert aus den zu erwartenden kumulierten Ladeleistungen am Tag und in der Nacht. Zur Bereitstellung der für die Elektrobusladung notwendigen Leistung soll ein separater Netzanschluss hergestellt werden. Dadurch können die Energiemengen zum Zweck der Ladung sowie der Betriebshofversorgung, die über den bestehenden Netzanschluss erfolgt, genau abgegrenzt werden,

Für die Speisung der mobilen Ladegeräte sind CEE-Dosen in der Werkstatt und die entsprechende Kabelanlage vorgesehen. Eine entsprechend gesonderte Versorgung dieser CEE-Dosen zur genauen messtechnischen Abgrenzung erscheint nicht verhältnismäßig bzw. die interne Messung des Ladegeräts ist ggf. bereits ausreichend.

Die elektrische Grundversorgung muss normgerecht und nach den Bedarfen für einen sicheren Betriebsablauf ausgeführt werden.

Übergabe- und Transformatorstation

Zur Versorgung der Ladeinfrastruktur auf dem Betriebshof ist es notwendig, eine Übergabestation als Kundenstation zu errichten. Aufgrund der Platzverhältnisse und den zu erwartenden Distanzen sollten die benötigten Transformatoren ebenfalls in der Übergabestation bereits enthalten sein.

Die Versorgung der Übergabestation erfolgt über die Einbindung in das Mittelspannungsnetz des Netzbetreibers. Eine sichere und unterbrechungsfreie Versorgung ist durch den Netzbetreiber zu gewährleisten. In der Übergabestation sind die Felder für Mittelspannungsabgänge zur direkten Versorgung der Transformatoren, sowie Speise-, Kupplungs- und Messfelder einzurichten. Die Stromentnahme erfolgt über den Mittelspannungsanschluss. Die Betriebsnennspannung des Netzbetreibers beträgt 10 kV.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Entsprechend den Vorgaben des Netzbetreibers müssen Transformationsabgangsfelder sowie Übergabe- und Messfelder vorgesehen werden.

Die Übergabestation soll im südöstlichen Bereich der Schotterfläche aufgestellt und mittels Leerrohre mit dem Gebäude für die Ladeinfrastruktur verbunden werden.

Ladegeräte

Die Ladung der Fahrzeuge erfolgt über die Ladegeräte, die die anliegende Wechselspannung zu der für die Fahrzeugladung benötigten Gleichspannung umrichten. Die Ladegeräte stellen die vom Elektrobus geforderte Spannung und den geforderten Strom ein. Die Ladeleistung je Ladegerät beträgt 75 für die normalen Ladepunkte bzw. 150 kW für die Schnellladepunkte bei einer Nennspannung von 750 V_{DC}. Je Fahrzeug ist ein Ladepunkt und dem entsprechend je ein Ladegerät vorgesehen. Die Ladegeräte sind innerhalb des Gebäudes für die Ladetechnik zu positionieren. Geschützt durch die Gebäudehülle kann ein langlebiger und wartungsfreundlicher Betrieb der Ladetechnik ermöglicht werden.

Für den Werkstattbereich sind zwei mobile Ladegeräte mit einer Ladeleistung von jeweils 40 kW vorgesehen.

Ladepunkte und Traverse

Aufgrund der beengten räumlichen Verhältnisse im Betriebshof und der durchgehenden Überdachung ist infrastrukturseitig die Deckenmontage der technischen Komponenten notwendig. Das Hallendach muss zur Aufnahme der technischen Komponenten, bestehend aus Depotboxen, Kabelabroller und der Kabelanlage, statisch geprüft und als tragfähig eingestuft werden. Ist dies aus statischen Gründen nicht möglich, ist es vorgesehen, mehrere Traversen als Unterkonstruktionen zum Hallendach zu errichten.

Der Bereich vor dem Gebäude der Ladeinfrastruktur ist nicht überdacht. Hier wird trotzdem eine Deckenmontage der technischen Komponenten mittels zu errichtender Traverse vorgesehen, da eine Verlegung der Kabel im Erdreich zu höheren Verlusten führt, was insbesondere bei den Schnellladepunkten ungünstige Auswirkungen hat.

Die Traversen müssen durch einen Statiker ausgelegt und von einem Architekten kostenseitig geprüft werden.

AP 2 – Betriebshofumstellung

Zuarbeit Statiker: Es sind entsprechend dimensionierte Träger (Stahl od. Holz) als Auflager erforderlich. Diese können an den Dachträgern festgemacht werden.

Soweit die Ladestationen nicht auf der Bodenplatte aufgestellt, sondern abgehängt werden sollen, sind auch hierfür zusätzliche Lagerträger zu berücksichtigen. Die Stahlkonstruktion kann die beschriebenen Lasten zusätzlich aufnehmen.

2.3.5 Leistungspositionen Ladeinfrastruktur Betriebshof

Systembedingt sind insgesamt folgende Ladeinfrastrukturkomponenten im Betriebshof vorgesehen:

- Baukostenzuschuss (siehe Kapitel 3.1)
- MS-Anschluss und Inbetriebnahme (siehe Kapitel 3.1)
- Übergabe- und Transformatorstation
- Ladetechnik-Gebäude (Zuarbeit Architekt)
- NSUVen und NS-Verkabelung im Ladetechnik-Gebäude
- Ladegeräte:
 - 28 Ladegeräte (75 kW)
 - 5 Ladegeräte (150 kW)
- DC-Verkabelung sowie Kommunikationskabel von der Ladetechnik zu den Ladepunkten
- Traversen zur Aufnahme von Depotboxen, Kabelabrollern und Kabelanlagen (Zuarbeit Architekt)
- Kabeltrassen zur Kabelführung
- 33 Depotboxen inkl. Signalisierung
- 33 Kabelabroller

AP 3 – Energiebereitstellung

3 AP 3 – Energiebereitstellung

3.1 AP 3.1 – Netzanbindung und elektr. Grundversorgung

Für die Netzanbindung der zu errichtenden Ladeinfrastruktur wird ein entsprechender Mittelspannungsanschluss benötigt, der durch den lokalen Verteilnetzbetreiber (SW-I) bereitgestellt wird. Im Rahmen der Erstellung der Machbarkeitsstudie fanden Abstimmungen zwischen SW-I und VCDB statt.

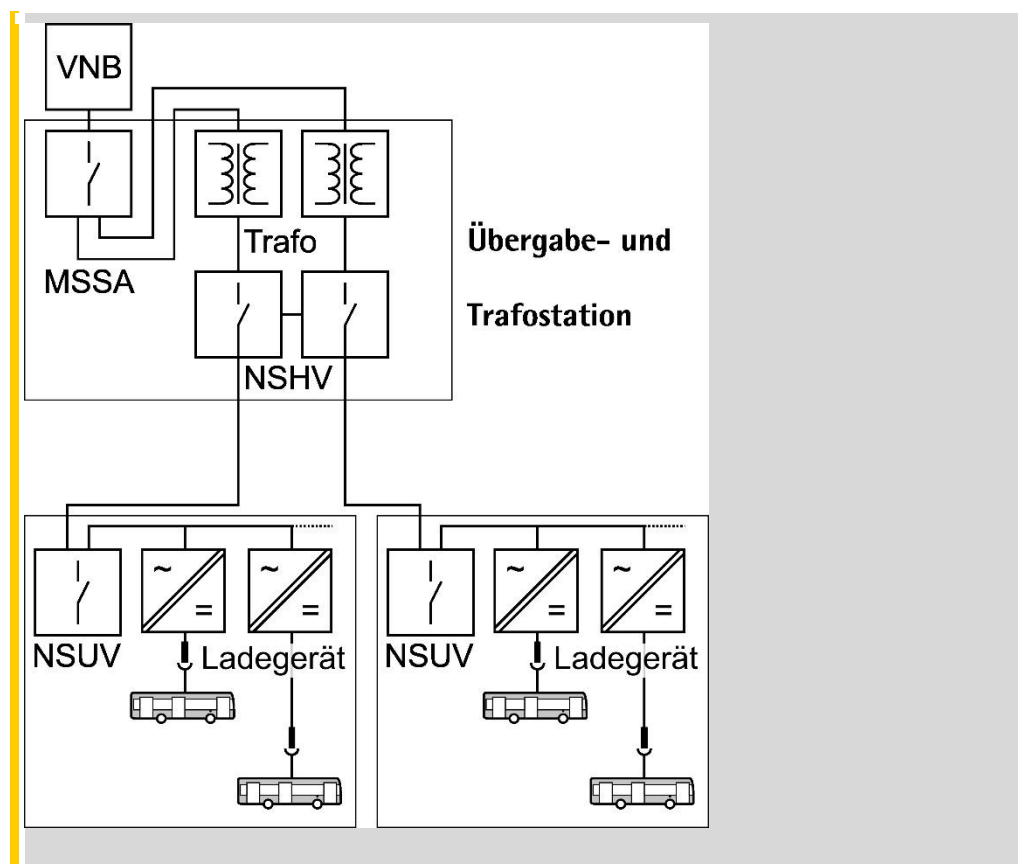


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung zur Netzanbindung und Energiebereitstellung

Für die Auslegung des Mittelspannungsanschlusses ist eine entsprechende Zuarbeit zur Angabe des benötigten Leistungsbedarfs von 1,5 MVA (inkl. Reserve, siehe Kapitel 2.3.1) gegenüber dem Verteilnetzbetreiber (SW-I) notwendig.

Für den MS-Anschluss wird nach Angaben der SW-I ein neues MS-Kabel gelegt, das auch die Hindenburgstraße queren wird, um den Anschluss der Übergabe- und Trafostation gegenüber dem Betriebshof zu ermöglichen. Im Rahmen dieser

AP 3 – Energiebereitstellung

Querung der Straße könnten für einen einfacheren Bauablaufes auch entsprechende Leerrohre für die benötigten NS-Kabel mit ins Erdreich gelegt werden. Diese zusätzlichen Leerrohre dienen der AC-Versorgung von der NSHV in der noch zu errichtenden Übergabe- und Trafostation zu den NSUVen auf dem Betriebshof, der sich auf der gegenüberliegenden Straßenseite befindet.

In der Abbildung 3.1 sind die einzelnen benötigten Komponenten für die Netzanbindung noch einmal schematisch dargestellt. Dabei kann prinzipiell zwischen den beiden Bereichen Netzanbindung und Energieverteilung sowie der Ladetechnik (bestehend im Wesentlichen aus den Ladegeräten) unterschieden werden.

Unabhängig von der Art der Aufteilung in verschiedene Leistungsumfänge (Netzanbindung und Energieverteilung einerseits sowie Ladeinfrastruktur andererseits) ist es sinnvoll, die Wartung und Instandhaltung der Netzanbindung und Energieverteilung durch einen externen Dienstleister, der auch der Errichter der Anlagen sein kann, vornehmen zu lassen. Die SBI als reiner Busbetrieb besitzt momentan kein entsprechend qualifiziertes Personal (z. B. mit MS-Schaltberechtigung), welches die Anlagen entsprechend warten als auch z. B. nach einem Störfall wieder in Betrieb nehmen könnte. Deshalb wird der Abschluss eines Wartungs- und Servicevertrages empfohlen, da andernfalls das Vorhalten entsprechend qualifizierten Personals für nur eine einzige Anlage unwirtschaftlich ist.

Die Wartung und Instandhaltung der Ladetechnik erfolgt in der Regel durch einen gesonderten Service-Partner des Ladetechnikherstellers vor Ort, das in der Regel gesondert von ihm für die Wartung explizit zertifiziert wird.

Es werden im Folgenden drei mögliche Varianten bezüglich der Ausgestaltung, durch wen diese Anlagen für die Netzanbindung und Energieverteilung errichtet werden, vorgestellt werden:

Variante 1 – Anschluss ans MS-Netz durch SW-I:

- SW-I stellt Anschluss an das MS-Netz bereit
- Anschluss an das MS-Netz
- Leerrohre zur Versorgung des Betriebshofes von der Übergabe- und Trafostation werden durch SW-I zur Querung der Hindenburgstraße gelegt
- Schnittstelle: Übergabepunkt im MS-Netz

AP 3 – Energiebereitstellung

Variante 2 – Übergabe- und Trafostation sowie NSHV von SW-I:

- SW-I stellt Anschluss an das MS-Netz zur Verfügung
- Lieferung, Installation und Inbetriebnahme der Übergabe- und Trafostation durch SW-I
- Leerrohre zur Versorgung des Betriebshofes von der Übergabe- und Trafostation werden durch SW-I zur Querung der Hindenburgstraße gelegt
- Schnittstelle: NSHV nach den Transformatoren in der Übergabe- und Trafostation

Variante 3 – Übergabe- und Trafostation inkl. NSHV und NSUV von SW-I:

- SW-I stellt Anschluss an das MS-Netz zur Verfügung
- Lieferung, Installation und Inbetriebnahme der Übergabe- und Trafostation sowie der NSHV und NSUV durch SW-I
- Leerrohre zur Versorgung des Betriebshofes von der Übergabe- und Trafostation werden durch SW-I zur Querung der Hindenburgstraße gelegt
- Schnittstelle: NSUV auf dem Betriebshofgelände

3.1.1 Variante 1 – Anschluss ans MS-Netz durch SW-I

In der **Variante 1** stellt die SW-I nur den Anschluss an das MS-Netz bereit und parallel zur Verlegung der dazu benötigten MS-Leitung auch die benötigten Leerrohre zur Querung der Hindenburgstraße um den Betriebshof und die Trafos zu verbinden.

Sowohl die Übergabe- und Trafostation als auch die Ladetechnik müssen ausgeschrieben werden. Für die Erstellung der Ausschreibung wird ein Fachplaner benötigt. Aufgrund der aktuell langen Lieferfristen¹ von Transformatoren von 60 Wochen zusätzlich zur vorausgehenden Planung und Ausschreibung benötigt diese Variante entsprechend Zeit in der Umsetzung.

Es besteht die Möglichkeit die beiden Leistungsbereiche der Übergabe- und Trafostation sowie die Ladetechnik auch in zwei voneinander getrennten Losen auszuschreiben (**Variante 1a**). In diesem Falle könnten die NSUVen und verbleibende AC-Verkabelung sowie die gesamte Ladetechnik (DC-Kabel und Ladegeräte usw.) in einer gesonderten Ausschreibung ausgeschrieben werden. Aufgrund der noch nicht standardisierten Ladetechnik ist eine funktionale Ausschreibung für die Ladetechnik unter Angabe entsprechender Rahmenbedingungen (Platzbedarfe, Konzeption als Basis der Ausschreibung) empfehlenswert. Somit gäbe es zwei voneinander getrennte Leistungsbereiche mit

¹ Einschätzung der SW-I vom 16.06.2023

AP 3 – Energiebereitstellung

einer entsprechenden Schnittstelle zwischen diesen beiden Leistungsbereichen sowie einer Schnittstelle (Übergabepunkt) zum VNB auf MS-Ebene. Hierbei werden für die Ladetechnik kürzere Lieferfristen als 1 Jahr als möglich erachtet. Da nur ausgewählte Ladeinfrastrukturhersteller auch eine entsprechende unternehmensinterne Abteilung mit entsprechender Technik zur Energieverteilung (MSSA, Trafos, NSHV) haben, ergeben sich dann entsprechende Schnittstellen zwischen dem Anbieter der Gesamtlösung und den von ihm eingebundenen Unterauftragnehmern. Dabei kann der Lieferant der Ladeinfrastruktur sowohl als Auftragnehmer, aber auch als Unterauftragnehmer eines typischen Energieversorgungsunternehmens auftreten.

Alternativ zur geteilten Ausschreibung wird die gesamte in Abbildung 3.1 dargestellte Technik von der Schnittstelle zum Verteilnetzbetreiber (Übergabepunkt zum MS-Netz) bis zum Ladepunkt als ein Leistungsbereich (**Variante 1b**) ausgeschrieben.

Unabhängig von der Wahl von Variante 1a oder 1b ist noch der Abschluss eines Wartungs- und Service-Vertrages für die Energieverteilung sinnvoll. Für die Ladetechnik wird in der Regel ein Servicepartner vor Ort des Ladetechnikherstellers oder entsprechend zertifiziertes Personal eingesetzt. Dies sollte sinnvollerweise bereits im Rahmen der Ausschreibung für den Ladetechnik-Teil bei einem Los (Variante 1b) oder der Ausschreibung für die Ladetechnik bei getrennter Ausschreibung (Variante 1a) erfolgen.

3.1.2 Variante 2 – Übergabe- und Trafostation sowie NSHV von SW-I

In der **Variante 2** stellt die SW-I ebenfalls den Anschluss an das MS-Netz als auch parallel zur Verlegung der dazu benötigten MS-Leitung auch Leerrohre in der Hindenburgstraße zur Querung der Straße bereit. Darüber hinaus liefert und errichtet sie die Übergabe- und Trafostation und die benötigte NSHV im gleichen Gebäude für die SBI und nimmt dieses in Betrieb.

Allerdings müsste der Leistungsbereich, der nicht direkt mit der Errichtung des MS-Anschlusses verbunden ist, aufgrund des Investitionsvolumens (siehe Kapitel 4.1.2) ausgeschrieben werden. Sollte die SW-I für diese Ausschreibung den Zuschlag erhalten, würde die entsprechende Schnittstelle zwischen Verteilnetzbetreiber (VNB) und dem Errichter der Übergabe- und Trafostation entfallen.

Für die verbleibende Technik wäre auch eine entsprechende Ausschreibung nötig. Aufgrund der noch nicht standardisierten Ladetechnik ist eine funktionale Ausschreibung für die Ladetechnik unter Angabe entsprechender

AP 3 – Energiebereitstellung

Rahmenbedingungen (Konzeption als Basis der Ausschreibung, Platzbedarfe) empfehlenswert.

Darüber hinaus können Wartung und Service durch einen lokalen Anbieter vor Ort, der die Anlagen unter Umständen auch zugleich errichtet hat, mit geringeren Reaktionszeiten verbunden sein. Für die Ladetechnik wird in der Regel ein Servicepartner vor Ort des Ladetechnikherstellers mit entsprechend zertifiziertem Personal eingesetzt, dessen Einsatz bereits mit der Beschaffung der Ladetechnik ausgeschrieben wird.

3.1.3 Variante 3 – Übergabe- und Trafostation inkl. NSHV und NSUV von SW-I:

In der **Variante 3** stellt die SW-I ebenfalls den Anschluss an das MS-Netz als auch parallel zur Verlegung der dazu benötigten MS-Leitung auch Leerrohre in der Hindenburgstraße zur Querung der Straße bereit. Darüber hinaus liefert und errichtet sie die Übergabe- und Trafostation und die benötigte NSHV im gleichen Gebäude als auch die NSUV im Ladetechnikgebäude auf dem Betriebshof für die SBI und nimmt dieses in Betrieb.

In diesem Fall könnte die SBI sich als Kunde auf Niederspannungsebene anschließen lassen und sich die Ausschreibung für die Übergabe- und Trafostation inklusive der Transformatoren, die von den Lieferzeiten den kritischen Pfad in der Umsetzung darstellen, vermeiden. Für die Realisierung dieser Variante benötigt die SW-I entsprechende Angaben zur Ausgestaltung der NSUVen für die Ladetechnik sowie den Schnittstellen zur TGA, die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht festgelegt sind. Weiterhin würde die SW-I einen Nachunternehmer für die Errichtung der NSUVen im Ladetechnikgebäude beauftragen und die Kosten der SBI in Rechnung stellen. Dies ist vergaberechtlich nicht zulässig und wird daher als förderschädlich bewertet.

Die verbleibenden Leistungsbereiche, also im Wesentlichen die Traversen zur Befestigung der Kabeltrassen und Kabelabroller, das Ladeinfrastrukturgebäude sowie die gesamte Ladetechnik als solche, wären auch in dieser Variante auszusprechen. Für die Ladetechnik werden jedoch kürzere Lieferzeiten als für die Transformatoren erwartet.

Die Möglichkeit die Umsetzung durch die Wahl dieser Variante zu beschleunigen, ist aufgrund der Förderschädlichkeit nicht gegeben.

3.1.4 Zusammenfassung

Aufgrund des Investitionsvolumens (siehe Kapitel 4.1.2) und dem damit verbundenen Überschreiten der Schwellenwerte, ganz unabhängig von der Frage der

AP 3 – Energiebereitstellung

Förderschädlichkeit, sind die folgenden Leistungen mit Ausnahme der Bereitstellung des MS-Anschlusses (Variante 1) entsprechend auszuschreiben:

- Errichtung der Übergabe- und Trafostation inklusive MS-Schaltanlage, Transformatoren und NSHV
- Ladeinfrastrukturgebäude inkl. TGA
- Traversen zur Aufnahme der Lasten der Kabelführung
- NSUV im Ladeinfrastrukturgebäude
- Ladetechnik (stationär und mobil) inkl. Kabelabroller und Depotboxen
- Trassenführung sowie AC- und DC-Verkabelung

In Abhängigkeit des gewählten Vergabeverfahrens (offenes Verfahren, Verhandlungsverfahren mit/ohne Teilnahmewettbewerb) ergeben sich unterschiedliche Zeitabläufe aufgrund der zugrundeliegenden vergaberechtlichen Fristen. Dabei ist zu beachten, dass zeitliche Verzögerungen durch eine große Anzahl von Bietern in der Angebotsauswertung, Wünsche der Bieter nach Fristverlängerung sowie weiterer Klärungsbedarf bei der Angebotsprüfung hinzukommen können. Im Vorfeld der Ausschreibungen ist je nach gewähltem Vergabeverfahren die Erstellung eines detaillierten Leistungsverzeichnisses oder die Erstellung eines funktionalen Lastenheftes durch einen Fachplaner notwendig. In der weiteren Bearbeitung der Machbarkeitsstudie wird von VCDB ein funktionales Lastenheft für die Ladetechnik (Ladetechnik inkl. Kabelabroller und Depotboxen, Trassenführung sowie AC- und DC-Verkabelung) werden, dass der SBI zur Verfügung gestellt wird.

Die Aufteilung des Leistungsumfangs in entsprechende Lose bzw. Leistungsbereiche und die Wahl des geeigneten Ausschreibungsverfahrens obliegt der Vergabestelle, also der SBI.

3.2 AP 3.2 – Potentiale der Energiebereitstellung

3.2.1 Einbindung erneuerbarer Energie

Um eine nachhaltige Dekarbonisierung des Busverkehrs bei der SBI zu erzielen, stellt der Einsatz von Batteriebussen zunächst nur die lokale Emissionsfreiheit im Betrieb sicher. Erst durch den Bezug bzw. die Nutzung von Elektroenergie aus erneuerbaren Quellen (üblicherweise als grüner Strom bezeichnet) wird eine nachhaltige Dekarbonisierung bezüglich der gesamten Wirkungsgradkette von der Energieerzeugung bis zur Nutzung sichergestellt.

Dazu werden im Folgenden die Einbindung der Erzeugung erneuerbarer Energie auf dem Gelände der SBI betrachtet sowie mögliche Kooperationspartner, die

AP 3 – Energiebereitstellung

erneuerbaren Energie im lokalen Umfeld der SBI im Radius von 50 km um den Standort der SBI erzeugen, aufgezeigt.

3.2.1.1 Photovoltaik auf dem Betriebshof

Gemäß der bayrischen Bauordnung besteht seit 1.3.2023 eine Pflicht zur Errichtung von Photovoltaikanlagen auf verfügbaren Dachflächen nur für Gewerbe- und Industrieneubauten sowie sonstige Neubauten von Nicht-Wohngebäuden ab 1.7.2023. Für Bestandsgebäude wird eine Photovoltaikpflicht nur bei Erneuerung der Dachhaut ab 1.1.2025 eingeführt. Nach aktueller Rechtslage besteht also keine Pflicht zur Errichtung einer Photovoltaikanlage auf den Bestandsgebäuden der SBI.

Wird keine gesonderte Traversenkonstruktion für die Trassen und die Kabelabroller für die Ladetechnik im Bereich des Daches der Abstellung eingebracht wird, wird davon ausgegangen, dass keine weiteren zusätzlichen Lasten zur Errichtung von Photovoltaik vom Tragwerk des Daches aufgenommen werden können. Die Bestätigung durch den Statiker steht zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch aus.

Um das Potential der verbleibenden Fläche des Werkstattgebäudes (unabhängig von möglichen Beschränkungen der vorhandenen Tragfähigkeiten des Daches) abzuschätzen, wurden in Abbildung 3.2 mögliche Areale eingezeichnet, die die vorhandenen Oberlichter als auch die Zugänglichkeit zu den bestehenden Lüftungsanlagen für die Lüftungsanlagen berücksichtigen.

AP 3 – Energiebereitstellung

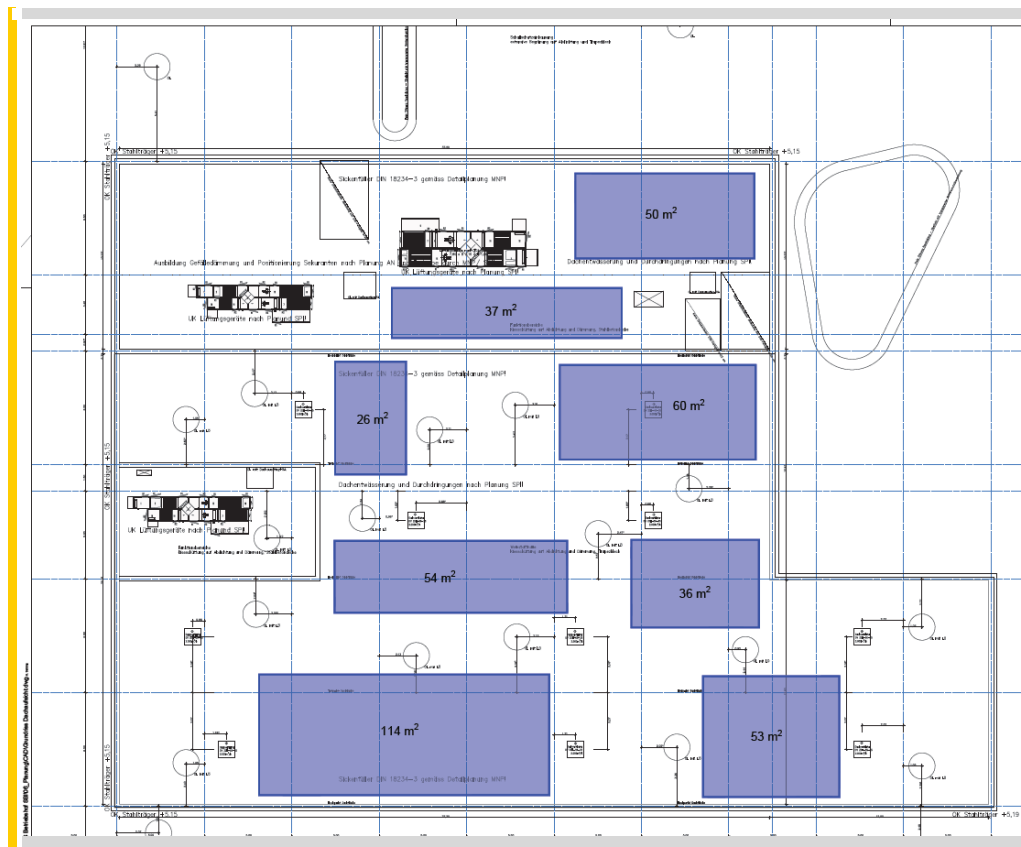


Abbildung 3.2: Mögliche Flächen zur Photovoltaiknutzung auf dem Werkstattgebäude

Unter Berücksichtigung des optimalen Neigungswinkels von 37° unter Vernachlässigung der Abschattung der Module untereinander ergibt sich nach Tabelle 3.1 eine Aufstellfläche von 430 m^2 , aus der aufgrund der Neigung von 37° eine Modulfläche von 538 m^2 ermittelt werden kann. Setzt man als Abschätzung eine Modulfläche der Größe von 6 m^2 pro Kilowatt peak (kW_{peak}) Spitzenleistung an, ergibt sich eine mögliche installierbare Photovoltaikleistung von rund $90 \text{ kW}_{\text{peak}}$. Jedoch kann es durch die geneigt aufgestellten Module zu einer Reduktion des

AP 3 – Energiebereitstellung

Lichteinfalls durch die Oberlichter kommen. Die ermittelten Flächen stellen sich wie folgt auf:

Fläche in m²
50
37
26
60
54
36
114
53
Summe: 430

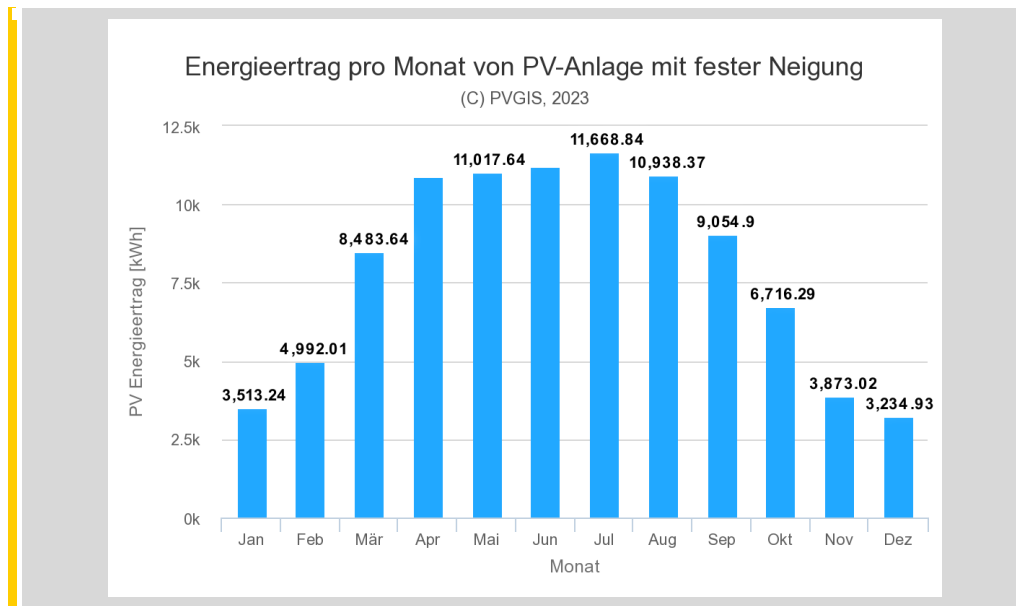
Tabelle 3.1: Aufstellung der möglichen Flächen zur Photovoltaiknutzung

Damit ergibt sich laut Berechnungstool² bei einem angenommenen typischen Systemverlust (verursacht durch den Wechselrichter, Leitungsverluste, Verschmutzung der Module, altersbedingte Degradation) von 14 % eine Ertragsabschätzung von rund 95,5 MWh pro Jahr am Standort Hindenburgstraße des Betriebshofes. Diese Energiemenge ist im Vergleich zu der zur Ladung der Busse benötigten Energiemenge von über 2.400 MWh relativ gering.

Darüber hinaus variiert die erzeugte Energiemenge entsprechend natürlich stark zwischen den einzelnen Monaten und wird tagsüber erzeugt. Der Großteil des Energiebedarfes erfolgt jedoch in den Abend- und Nachtstunden auf dem Betriebshof.

² https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/de/

AP 3 – Energiebereitstellung

Abbildung 3.3: Abschätzung des möglichen Energieertrags bei installierter Leistung von 90 kW_{peak}

Die Errichtung einer Photovoltaikanlage auf dem Dach der Werkstatt kann, nach erfolgter Prüfung der Tragfähigkeit des Daches und weiterer detaillierter Planungen, tagsüber insbesondere im Sommer einen kleineren Teil der benötigten Energie für die Ladung der Busse zur Verfügung stellen.

3.2.1.2 Photovoltaik auf lokaler Ebene

In einem weiteren Schritt wurden im Radius von 50 km um den Betriebshof nach großen Anlagen zur Erzeugung von erneuerbaren Energien zur möglichen Einbindung lokaler Akteure untersucht.

Die Stadtwerke Ingolstadt bieten die Belieferung mit grünem Strom aus Wasserkraftwerken entlang der Donau an.

Als weitere interessante Quellen wurden Photovoltaik-Freiflächenanlagen im Umfeld Ingolstadts basierend auf dem Bayrischen Energieatlas erfasst, da nur sie auch eine entsprechende Anlagengröße erreichen können. Dies ist bei typischen Aufdachanlagen in der Regel nicht der Fall bzw. Gewerbeimmobilien mit Aufdachanlagen werden die erzeugte Energie im Eigenverbrauch nutzen.

Dazu wurden die vorhandenen größeren PV-Freiflächenanlagen der Übersicht halber innerhalb einer Gemeinde aufsummiert. Bei den imposant erscheinenden Leistungsangaben in MW_{peak} in der Tabelle 3.2 muss berücksichtigt werden, dass

AP 3 – Energiebereitstellung

dieser Wert ein Vergleichswert unter Normbedingungen³ ist und in der Regel nur selten erreicht wird. Die Vollaststundenzahl beträgt bei den 3 PV-Freiflächenanlagen in der Gemeinde Berg im Grau mit 121 MW_{peak} nur 757 Vollaststunden, d.h. im Mittelwert (über Tag und Nachtstunden gemittelt) wird eine Leistung von 10,45 MW zur Verfügung gestellt.

Darüber hinaus fällt ein Großteil der Energie im Sommer sowie tagsüber an, wenn nur ein Teil der Busse geladen wird. Eine direkte Nutzung zum Nachladen der Busse ist mit Energie aus Photovoltaik deshalb nur begrenzt gegeben.

Rein bilanziell betrachtet, erzeugen bereits PV-Freiflächenanlagen (je Art der Aufstellung und Ausrichtung) bereits im mittleren einstelligen MW_{peak}-Bereich aufs Jahr hochgerechnet mehr Energie als die von der SBI benötigte Menge zum Nachladen der Busse von rund 2.400 MWh.

³ Leistungseinheit kW_{peak} wird unter Normbedingungen (Lichteinstrahlung, Strahlungsspektrum, Neigungswinkel sowie Temperatur) zum Vergleich der Leitungsfähigkeit verschiedener Photovoltaikmodule definiert

AP 3 – Energiebereitstellung

Hier eine Übersicht der größten lokalen Akteure:

Standort der Anlage – Gemeindezugehörigkeit	Leistung in MW _{peak}	Standort der Anlage – Gemeindezugehörigkeit	Leistung in MW _{peak}
Gemeinde Berg im Grau	121	Stadt Aichbach	16,1
Stadt Parsberg	61,7	Gemeinde Volken- schwand	15,9
Stadt Greding	48,1	Gemeinde Bruckberg	15,5
Stadt Mainburg	32,3	Gemeinde Denkendorf	14,8
Gemeinde Rudelzhausen	27,8	Stadt Geisenfeld	14,3
Stadt Berching	27,5	Gemeinde Adelschlag	14,3
Markt Lupburg	24,2	Gemeinde Höttingen	12,8
Gemeinde Brunnen	23	Gemeinde Mühlhausen	11,8
Stadt Hipoltstein	20	Markt Kipfenberg	10,8
Gemeinde Aiglsbach	19,3	Große Kreisstadt Donau- wörth	10,4
Markt Schierling	17,9	Stadt Pappenheim	10,4
Stadt Ellingen	17,1	Stadt Abensberg	10,4
Gemeinde Allmanns- hofen	16,7	Gemeinde Solnhofen	10

Tabelle 3.2: Auflistung größerer PV-Freiflächenanlagen im Umfeld Ingolstadts

3.2.1.3 Windkraft auf lokaler Ebene

Im Falle der Windkraft kann auch in der Abend- und Nachtstunden Energie erzeugt werden. Darüber hinaus wurde eine Liste größerer Ansammlungen von Windkraftanlagen in Windparks im Umfeld Ingolstadts recherchiert. Zum Vergleich wird für die 21 Windkraftanlagen in der Markt Titting mit einer Nennleistung von 52,9 MW eine Volllaststundenzahl von 1658 h im Jahr 2021 angegeben. Hier ist also schon mit einer deutlich höheren mittleren Leistung zu rechnen als im Vergleich zur Photovoltaik.

AP 3 – Energiebereitstellung

Hier eine Übersicht der umliegenden Windparks und deren Nennleistungen:

Standort der Anlagen – Gemeindezugehörigkeit	Nennleistung in MW
Markt Titting, Markt Thalmässing	63,6
Gemeinde Raitenbuch, Verwaltungsgemeinschaft Eichstätt	52,8
Gemeinde Bergen, Gemeinde Ettenstatt, Große Kreisstadt Weißenburg i. Bay., Gemeinde Burgsalach	27,3
Stadt Berching	15,9
Gemeinde Denkendorf	14,1
Gemeinde Pollenfeld	9,7
Markt Kinding, Markt Titting	9,4
Markt Hohenwart	9,2
Gemeinde Walting	8,3
Gemeinde Holzheim	8,3
Gemeinde Gerolsbach	7,2
Stadt Aibach	7,2
Gemeinde Sielenbach, Verwaltungsgemeinschaft Dasing	7,2
Gemeinde Baar (Schwaben)	6,0

Tabelle 3.3: Auflistung größerer Windparks im Umfeld Ingolstadts

3.2.1.4 Biomasse

Auf eine Auflistung von Biomasseanlagen wurde bewusst verzichtet, da sie zwar grundlastfähig sind, jedoch häufig bereits Abnehmer von Wärme und/oder Elektroenergie durch den in der Regel ländlichen Erzeuger haben. Darüber hinaus gibt es bei der Biomasse auch noch die generelle Frage der Nachhaltigkeit (Nutzung von Abfall- oder Reststoffen oder Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion). Dieser Aspekt der Nutzungskonkurrenz wird auch in der von der Bundesregierung im Oktober 2022 verabschiedeten Nationalen Biomassestrategie (NABIS) adressiert, die

AP 3 – Energiebereitstellung

noch entsprechend umgesetzt werden soll. Bei Windkraftanlagen oder entsprechend senkrecht aufgestellte PV-Anlagen wird die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen nur zu kleinen Teilen eingeschränkt.

3.2.1.5 Zusammenfassung

Im näheren Umfeld Ingolstadts existieren zahlreiche auch größere Erzeuger erneuerbarer Energien. Damit gibt es im näheren lokalen Umfeld zum Betriebshof zahlreiche lokale Erzeugungskapazitäten erneuerbaren Energien. Sofern eine direkte Belieferung von Seiten der SBI gewünscht wird, sind hierzu weitere Abstimmungen durch die SBI vorzunehmen.

Vor Inbetriebnahme des Energieversorgungsinfrastruktur muss die SBI intern einen geeigneten Energielieferanten bestimmen und einen entsprechenden Liefervertrag abschließen.

3.2.2 Potential von Last- und Lademanagement

Im Rahmen der Konzeption des Ladeinfrastruktur wurden bereits in Kapitel 2.3 verschiedene Szenarien bezüglich der Nachladung der Busse betrachtet: ungesteuerte Ladung, ungesteuerte Ladung mit Verschiebung der Schnellladung, gleichmäßige Ladung mit Ausnahme der Schnellladepunkte untersucht und miteinander verglichen. Durch die zeitliche Verschiebung der Schnellladung an den Schnellladepunkten konnte bereits gezeigt werden, dass die benötigte Spitzenlast im Tagesverlauf entsprechend gesenkt werden kann.

In der bisherigen betrieblichen Praxis nutzt die SBI kein Betriebshofmanagementsystem (BHMS), sondern die Busse werden einfach auf den frei verfügbaren Stellplätzen freihändig abgestellt.

Um insbesondere die geplanten fünf Schnellladepunkte effektiv nutzen zu können, ist neben einem Last- und Lademanagementsystem (LLMS) auch die Nutzung eines Betriebshofmanagementsystems nötig. Das BHMS stellt die Verknüpfung sowie räumliche Vorortung der Busse mit den zu bewältigenden Umläufen bzw. vorzunehmenden Wartungsarbeiten einerseits sowie den Abstellplätzen in der Abstellung bzw. im Wartungsbereich andererseits dar.

Das LLMS regelt die Ladepunkte im Betriebshof und sorgt für eine optimierte Verteilung der Ladeleistung auf alle zu ladenden Fahrzeuge. Die Leistungsverteilung kann aus verschiedenen Gründen notwendig und vorteilhaft sein. Notwendig ist es, um beim Laden mehrerer Fahrzeuge einen als maximale Netzanschlussleistung definierten Wert nicht zu überschreiten. Ein LLMS verteilt diese auf die

AP 3 – Energiebereitstellung

angeschlossenen Fahrzeuge. Dies kann statisch oder dynamisch erfolgen. Beim statischen Lastmanagement wird die Ladeleistung gleichmäßig auf alle Ladepunkte verteilt, egal ob die angeschlossenen Fahrzeuge geladen werden oder nicht. Im Fall der dynamischen Variante richtet sich die Verteilung nach der Anschlusskapazität, welche bei Bedarf ausgeschöpft wird. Berücksichtigt werden können aber auch andere, zusätzliche Verbraucher wie z. B. die Werkstatt. Vorteil und Ziel des LLMS ist damit auch eine gleichmäßige Verteilung der Ladezeiten über den Tag und einen damit verbundenen konstanten Bezug geringerer Ladeleistungen aus dem Netz. Dies führt zu einer Vermeidung von Lastspitzen sowie der Möglichkeit, den Netzanschluss für das Laden geringer auszulegen und damit Kosten zu verringern. Für das Laden von Bussen kann ein dynamisches LLMS um eine fahrplanbasierte Variante erweitert werden. Dabei wird die verfügbare Ladeleistung nicht nur in Abhängigkeit der Anschlusskapazität verteilt. Hinzu kommen bei der Steuerung der Ladevorgänge neben dem Energiebedarf auch die Fahr- und Einsatzzeiten der Busse. Darüber hinaus kann auch der schnelle Wiedereinsatz von Bussen nach erfolgter Wartung entsprechend über das LLMS in Verbindung mit dem BHMS geplant werden.

Bei der Optimierung der Spitzenlast in Kapitel 2.3 mit der Verschiebung der Schnellladung wurden die bestehenden Umläufe zugrunde gelegt, aber außerdem auch angenommen, dass alle Busse nach dem Ladevorgang wieder vollständig geladen sein müssen. Bei Berücksichtigung der Fahrpläne der einzelnen Busse und den nach einer Zwischenladung noch im weiteren Tagesverlauf zu erbringenden Fahrleistungen muss ggf. auch keine vollständige Ladung tagsüber erfolgen, sondern erst im Rahmen der nächtlichen Ladung. Dadurch könnten die Spitzenlasten weiter gesenkt werden.

Um die Busse entsprechend der benötigten Energiebedarfe fahrplan- und zeitgerecht nachzuladen, um Lastspitzen mit Blick auf die benötigte Spitzenlast zu reduzieren und ggf. die Möglichkeit einen vergünstigten Energiebezug in der Nacht (sofern vom Energielieferanten angeboten) optimal zu nutzen, wird die Beschaffung sowohl eines Betriebshofmanagementsystems als auch eines Last- und Lademanagementsystems für eine wirtschaftliche Nutzung der vorhandenen Infrastruktur des Betriebshofes unbedingt empfohlen. Ohne eine LLMS und BHMS besteht die Gefahr unnötiger hoher Spitzenlasten, die sich entsprechend hohen Kosten niederschlagen.

Die Beschaffung des BHMS und des LLMS kann aufgrund definierter Standards des Zugriffs auf die Ladetechnik unabhängig von der Ladetechnik erfolgen – das BHMS und das LLMS sollten jedoch aufeinander abgestimmt sein. Die entsprechenden Schnittstellen für das BHMS und LLMS sollten bei den Planungen als

AP 3 – Energiebereitstellung

auch den Ausschreibungen für die Ladetechnik und weiterer Technik bereits Berücksichtigung finden.

AP 4 – Betriebswirtschaftliche Bewertung

4 AP 4 – Betriebswirtschaftliche Bewertung

In diesem Arbeitsschritt werden die Kosten für die Einführung des alternativ angetriebenen Busbetriebs strukturiert und ausgewiesen. Das Modul BeSystO®-TCO ermöglicht eine detaillierte Ermittlung der jeweiligen Stückkosten unter konkreter Berücksichtigung der spezifischen Systemauslegung. Dabei erfolgt eine Untergliederung der Kosten in:

- Kosten für Ladeinfrastruktur
 - Mittelspannungsversorgung
 - Ladegeräte
 - Tragkonstruktionen und Ladeschnittstellen
- Kosten für Werkstatt/Wartungsinfrastruktur
 - Ausrüstung
 - Havarieflächen
 - Brandschutztechnische Maßnahmen
- Sonstige Kosten
 - Schulung von Personal
 - Planungskosten
 - Baunebenkosten

4.1 AP 4.1 – Investitionskostenermittlung

4.1.1 Datengrundlage

Im Zuge der Datenerfassung bei der SBI wurden neben den Daten für die technisch-betriebliche Untersuchung auch eine Reihe von wirtschaftlichen Basisdaten aufgenommen, die als Parameter in die wirtschaftlichen Untersuchungen eingehen.

Bei sämtlichen aufgeführten Kosten handelt es sich um Netto-Angaben.

AP 4 – Betriebswirtschaftliche Bewertung

4.1.1.1 Investitionskosten

Es fließen sämtliche Investitionskosten unter Berücksichtigung der exakten Systemauslegung in die Betrachtung ein. Als Investitionskosten sind folgende Punkte mit ihren einzelnen Bestandteilen zu unterscheiden:

- Ladeinfrastruktur Betriebshof
- Anpassung Werkstattausrüstung
 - Ausrüstung
 - Werkzeuge
- Bau- und Umbaukosten (Zuarbeit Architekt)
- Sonstige Kosten
 - Personalschulung
 - sonstige Projektkosten

Die Grundlage für die Ermittlung der Investitionskosten bilden verifizierte Kosten, welche fortlaufend mit den am Markt verfügbaren Technologien und den dazugehörigen Kosten abgeglichen werden. Sofern zum Betrachtungszeitpunkt keine Kostenangaben vorlagen, wurden auf Grundlage von Marktanalysen Kostenschätzungen durchgeführt.

Die zugearbeiteten Kosten des Architekten wurden durch aktuelle Abstimmungen mit Firmen vor Ort ermittelt.

4.1.2 Ermittelte Kosten

In diesem Abschnitt werden die ermittelten Kosten getrennt nach Investitionskosten Ladeinfrastruktur, Anpassung Werkstatt und den sonstigen Kosten aufgeführt.

4.1.2.1 Investitionskosten Ladeinfrastruktur

Insgesamt ergeben sich für die Ladeinfrastruktur im Betriebshof Hindenburgstraße Investitionskosten von ca. 3,01 Mio. EUR.

AP 4 – Betriebswirtschaftliche Bewertung

Leistungsposition	Menge	Einheitspreis	Kosten, netto
Baukostenzuschuss	1.125 kW	100 €/kW	112.500 €
MS-Anschluss und Inbetriebnahme	psch		83.000 €
Übergabe- und Transformatorstation	psch		230.000 €
Ladetechnik-Gebäude (Zuarbeit Architekt)	psch		380.000 €
NSUVen und NS-Verkabelung im Ladetechnik-Gebäude	psch		40.000 €
Ladegerät 75 kW	28	33.000 €	924.000 €
Ladegerät 150 kW	5	65.000 €	325.000 €
DC-Verkabelung	2.100 m	90 €/m	189.000 €
Traversen (Zuarbeit Architekt)	psch		300.000 €
Kabeltrassen	450 m	220 €/m	99.000 €
Depotbox inkl. Signalisierung	33	4.000 €	132.000 €
Kabelabroller	33	6.000 €	198.000 €
Gesamt			3.012.500 €

Tabelle 4.1: Investitionskosten Ladeinfrastruktur

AP 4 – Betriebswirtschaftliche Bewertung

4.1.2.2 Anpassung Werkstattausrüstung

Insgesamt ergeben sich für die Anpassung der Werkstatt im Betriebshof Hindenburgstraße Investitionskosten von 0,59 Mio. EUR.

AP 4 – Betriebswirtschaftliche Bewertung

Leistungsposition	Menge	Einheitspreis	Kosten, netto
Fahrzeughersteller-spezifische Prüfbox	1 Satz	5.000 €	5.000 €
isoliertes HV-Spezialwerkzeug	1 Satz	15.000 €	15.000 €
Zweipoliger Span-nungsprüfer	2 Stk	400 €	800 €
kalibrierte Messge-räte	1 Satz	1.100 €	1.100 €
Diagnoseeinheit	1 Satz	5.000 €	5.000 €
Wärmebildkamera	1 Stk	5.000 €	5.000 €
persönliche Schutz-ausrüstungen	8 Satz	800 €	6.400 €
Defibrillator	1 Stk	1.500 €	1.500 €
Absperrmaterial	3 Satz	500 €	1.500 €
zweiseitig stationärer Dacharbeitsstand inkl. Krananlage	1 Stk	250.000 €	250.000 €
mobiles Ladegerät	2 Stk	20.000 €	40.000 €
Anpassung TGA im Bereich Dacharbeits-stand	psch		50.000 €
Bauliche Trennung, Schnellauftr und An-passung TGA im Bereich WA	psch		67.000 €
Palettenregal	1 Stk	3.000 €	3.000 €
Hochhubwagen	1 Stk	1.600 €	1.600 €
Lagercontainer für Batterien	1 Stk	30.000 €	30.000 €
Behälter für auffällige oder defekte Batte-rien	3 Stk	35.000 €	105.000 €
Gesamt			587.900 €

Tabelle 4.2: Investitionskosten Anpassung Werkstatt

AP 4 – Betriebswirtschaftliche Bewertung

4.1.2.3 Sonstige Kosten

Da die Mitarbeiter der SBI bereits in die Nutzung und Bewirtschaftung von E-Bussen eingewiesen, bzw. geschult sind, werden für Personalschulungen keine Kosten angenommen.

Die Baunebenkosten werden prozentual zur Investitionssumme ermittelt. Ein in vergleichbaren Projekten angewandter Wert von 30 % hat sich bewährt.

Insgesamt ergeben sich sonstige Kosten von 1,1 Mio. EUR.

Leistungsposition	Investitionskosten	Kostenansatz	Kosten, netto
Baunebenkosten	3.600.400 €	30 %	1.080.120 €
Gesamt			1.080.120 €

Tabelle 4.3: Baunebenkosten

Da die Umsetzung der Ertüchtigung des Betriebshofes zeitlich noch nicht terminiert ist, muss die Kostenermittlung um eine Risikobewertung erweitert werden. Üblich sind je nach Umsetzungshorizont Aufschläge von 5 % bis 40 % der Investitionskosten. Dies muss von der SBI nach Terminierung der Umsetzung auf die Gesamtkosten aufgeschlagen werden.

4.1.2.4 Gesamtkosten

Die ermittelten Gesamtkosten der Ertüchtigung des Betriebshofs Hindenburgstraße zum Elektrobus-Betriebshof betragen 4,68 Mio. EUR.

Position	Investitionskosten, netto, gerundet
Ladeinfrastruktur	3.013.000 €
Anpassung Werkstatt	588.000 €
Sonstige Kosten	1.080.000 €
Gesamt	4.681.000 €

Tabelle 4.4: Gesamtinvestitionskosten Ertüchtigung Betriebshof Hindenburgstraße

5 AP 5 Wissenstransfer

Das Projekt besteht aus 2 unabhängigen Teilprojekten, welche separat geplant und beantragt werden müssen:

- Umbau des Betriebshofes Hindenburgstraße
- Errichtung eines neuen Betriebshofes

Jedes dieser Teilprojekte setzt sich aus mehreren Projektstufen zusammen, welche in einzelne Arbeitsschritte untergliedert sind. In zeitlicher Hinsicht definieren generell folgende fünf Projektphasen den Projektablauf:

1. Projektvorbereitung
2. Planung
3. Ausführungsvorbereitung
4. Ausführung
5. Projektabschluss.

Über Umfang und zeitliche Einordnung der nächsten Projektschritte hat die SBI zu entscheiden. Die wesentlichen Anforderungen und Meilensteine der einzelnen Projektstufen sind als Gesamtüberblick in Abbildung 5.1 aufgeführt.

AP 5 Wissenstransfer

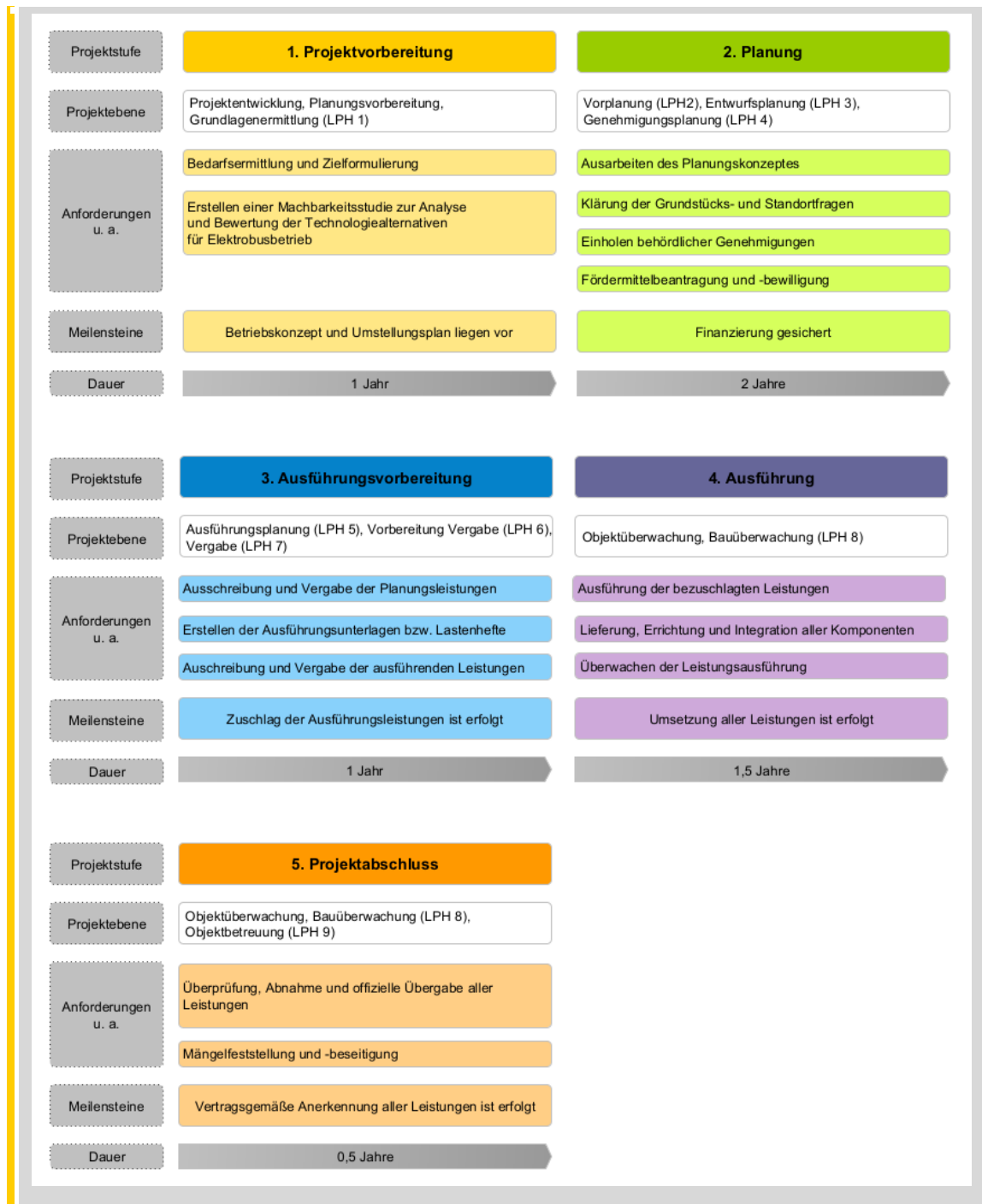


Abbildung 5.1: Projektstufen

Eine Orientierung für den Inhalt der einzelnen Projektstufen einer Umstellung auf Elektrobusbetrieb sollen die folgenden Ausführungen geben.

AP 5 Wissenstransfer

1. Projektvorbereitung: Auf Grundlage der Ergebnisse aus der Machbarkeitsstudie kann ein Umstellungskonzept definiert werden, welches maßgebend für die sukzessive Umstellung der Busflotte auf Elektrobusbetrieb ist.

2. Planung: Sobald das Betriebskonzept und der Umstellungsplan abgestimmt vorliegen, ist unter Berücksichtigung aller fachspezifischer Anforderungen schrittweise das Planungskonzept aufzustellen. Hauptbestandteil ist die konkrete Planung der notwendigen Infrastruktur sowie die Konzeption der Fahrzeuge. Des Weiteren ist die Ausrichtung der Werkstatt und der IT-Systemarchitektur auf die neue Technologie zu planen. Baubehördlich bewilligungspflichtige Baumaßnahmen sind zu identifizieren und im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens die Baugenehmigung zu erwirken. Der Zeitraum von der Erstellung der Bauantragsunterlagen bis zum Ausreichen der Baugenehmigung hat maßgeblichen Einfluss auf die Dauer dieser Projektstufe. Alle fachspezifischen Zusammenhänge, Vorgänge und Bedingungen sind im Rahmen dieser Projektstufe zu klären und im Planungskonzept verbal und zeichnerisch darzulegen. Ein Projektzeitplan sowie Kosten- und Finanzierungsplan sind aufzustellen.

Es wird angestrebt, begleitend Fördermittel zur Kofinanzierung des Vorhabens zu akquirieren. Hauptelement eines Fördermittelantrags ist der Projektplan, bestehend aus einem Kostenplan, einem Zeit- und Meilensteinplan und einer detaillierten Leistungsbeschreibung. Die Notwendigkeit der angestrebten Förderung ist durch den systembedingten Mehraufwand bei der Einführung von emissionsfreien Bussen und zugehöriger Infrastruktur zu belegen. Nicht zuletzt ist der ökologische Mehrwert aufzuzeigen.

3. Ausführungsvorbereitung: Sobald die Projektplanung durchgeführt wurde, der genehmigte Bauplan feststeht und die Finanzierung, bestenfalls durch das Bereitstellen öffentlicher Zuwendungen, gesichert ist, startet offiziell das Projekt. Es sind nun alle die Ausführungsvorbereitung betreffenden Maßnahmen umzusetzen. Mit dem Ziel, alle für die Projektumsetzung erforderlichen Leistungen an die ausführenden Firmen zu vergeben, ist für alle Leistungsbilder eine ausführungsfähige Planung zu erstellen. Diese stellt Grundlage für die Ausschreibung der Leistungen dar. Die Durchführung der Ausschreibungs- und/oder Vergabeverfahren für die Beschaffung und Integration aller für das Elektrobussystem relevanten Komponenten – Fahrzeug, Infrastruktur, IT-Systeme, Werkstatteinrichtung, sicherheitstechnische Maßnahmen – ist wesentlicher Bestandteil dieser Projektstufe.

4. Ausführung: Mit Auftragserteilung beginnt die Ausführung der bezuschlagten Leistungen. Es erfolgt die Lieferung, Errichtung und Inbetriebnahme aller

Systemkomponenten. Die Ausführungsleistungen umfassen die Fertigung und Lieferung der Fahrzeuge, die Lieferung und Installation der Ladeinfrastruktur, die Ausführung der Bauleistungen, die Umsetzung sicherheitstechnischer Maßnahmen, die Entwicklung und Modifizierung der IT-Systeme, die Ausstattung der Werkstatt sowie die Durchführung der Fahr- und Werkstattpersonalschulungen. Auf Einhaltung der vertraglich vereinbarten Leistungen, Kosten und Termine ist durch den Auftraggeber im Rahmen der Objektüberwachung hinzuwirken. Die Beschaffung und Errichtung der Infrastruktur kann getrennt nach Gewerken oder über einen Generalunternehmer erfolgen. Parallel zur Durchführung der Bauleistungen und zur Lieferung und Installation der Ladeinfrastruktur sind die IT-Systeme zu entwickeln bzw. zu modifizieren. Begleitend sind die Ausstattung der Werkstatt sowie alle vorgesehenen Fahr- und Werkstattpersonalschulungen durchzuführen.

5. Projektabschluss: Abschließend erfolgen die Überprüfung, Abnahme und offizielle Übergabe des fertiggestellten Gesamtsystems. Eventuelle Mängel werden erfasst, behoben und alle relevanten Unterlagen übergeben, um den Übergang zur Nutzung zu ermöglichen. Nach erfolgreicher Integration des Gesamtsystems in den bestehenden Betriebsablauf erfolgt der Probetrieb, vorzugsweise außerhalb des realen Betriebs oder unter realen Einsatzbedingungen, mit Option zu jederzeitigem Wechsel auf Dieselseinsatz im Problemfall. Im Probetrieb sollten verschiedene betriebliche und verkehrliche Szenarien getestet werden. Nach Demonstration der vollen Betriebsfähigkeit des Systems kann die neue Antriebstechnik in den Regelbetrieb überführt werden.

5.1 Umsetzungsstrategie Umbau Hindenburgstraße

Auf Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse wird eine Umsetzungsstrategie für die schrittweise Umstellung des Betriebes auf den Einsatz von alternativen Antrieben vorgeschlagen. Zielstellung ist es, Umstellungsphasen und Ausbaustufen für die Beschaffung von Fahrzeugen, Infrastruktur und Planungssystemen sowie zur Ertüchtigung der Werkstätten und der Qualifizierung der Mitarbeiter auf den geplanten Busbetrieb zu definieren.

Zum Zeitpunkt der Finalisierung dieser Machbarkeitsstudie bzw. Erarbeitung der Umsetzungsstrategie ist die Bereitstellung öffentlicher Fördermittel i. V. m. den in den nächsten etwa 3 Jahren bei der SBI anstehenden Ersatzbeschaffungen entscheidend.

Die kurzfristige Umsetzungsempfehlung lautet, in den kommenden 3 Jahren den Umbau des Betriebshofes Hindenburgstraße in mehreren Stufen bei laufendem Betrieb durchzuführen.

AP 5 Wissenstransfer

Mittel- bis langfristig ist die Errichtung eines weiteren Betriebshofes notwendig, um die Anzahl der neu zu beschaffenden Fahrzeuge betreiben zu können (siehe Tabelle 5.1). Die zeitliche Umsetzung der Umbaustufen orientiert sich hier an der Anzahl der benötigten Ladeplätze und kann verkürzt werden (siehe Kapitel 5.1.9 und 5.2).

Jahr	Geplante Anzahl Busse	Anzahl Lade- punkte Hindenburgstr.	Anzahl fehl- ender Ladepunkte	Umbaustufe Hinden- burgstr.
2023	6		6	
2024	6		6	
2025	11	5	6	Stufe I
2026	17	19		Stufe II
2027	23	33		Stufe III
2028	29	33		
2029	35	33	2	
gesamt	35	33	2	

Tabelle 5.1: Übersicht benötigte Ladepunkte gem. Beschaffungsquote

Für die Zeiträume mit fehlenden Ladepunkte sind durch die SBI geeignete Maßnahmen zu bestimmen.

Es werden die zur Umsetzung der Elektrifizierung des Betriebshofes notwendigen Arbeitspakete (SBI X) in den folgenden Kapiteln benannt und die jeweiligen Arbeitsschritte (SBI X.X) definiert.

5.1.1 SBI 1 Projektmanagement

SBI 1 ist ein durchgängiges Arbeitspaket, welches das Vorhaben „Umbau Betriebshof Hindenburgstraße“ während seiner gesamten Laufzeit begleitet.

Es umfasst sämtliche organisatorischen, kommunikativen und administrativen Maßnahmen zur Durchführung des Vorhabens, zur finanziellen und terminlichen

Kontrolle, zu dessen Dokumentation sowie zur Abrechnung und Nachweisführung gegenüber dem Zuwendungsgeber.

5.1.2 SBI 2 Fahrzeuge

SBI 2 umfasst den Prozess der Fahrzeugbeschaffung bis zur erfolgreichen Inbetriebnahme beim Verkehrsbetrieb. Dieser Prozess findet parallel zur Erstellung der Machbarkeitsstudie statt und ist nur vollständigheitshalber aufgeführt.

Folgende Arbeitspakete sind hierzu erforderlich:

- ▶ SBI 2.1 Planung Fahrzeuge
- ▶ SBI 2.2 Beschaffung Fahrzeuge
- ▶ SBI 2.3 Fertigung Fahrzeuge
- ▶ SBI 2.4 Inbetriebnahme Fahrzeuge

5.1.2.1 SBI 2.1 Planung Fahrzeuge

Ziel des SBI 2.1 ist die Erstellung der zur Ausschreibung der Fahrzeuge notwendigen Unterlagen und die Stellung des Fördermittelantrags.

Die Analyse von Fuhrpark, Betriebshof, Strecken und Einsätze dienen zur Festlegung der Antriebstechnologie, der Fahrzeugkategorie und schließlich der Festlegung des Fahrzeugkonzeptes.

Anschließend wird die Fahrzeugkonfiguration anhand der abgestimmten Parameter in einem Lastenheft zusammengefasst.

5.1.2.2 SBI 2.2 Beschaffung Fahrzeuge

Ziel des SBI 2.2 ist die Bestellung der Fahrzeuge beim Lieferanten nach Abschluss des Vergabeverfahrens.

Die Durchführung des Vergabeverfahrens schließt schwerpunktmäßig die Festlegung der Vergabe-/Verfahrensart, die Erstellung der technischen und kaufmännischen Vergabeunterlagen, die Bewerbungs- und Angebotsphase, die Angebotsprüfung, die Durchführung der technischen Verhandlungsgespräche mit dem Fahrzeughersteller, die Zuschlagserteilung und zusammenfassend die Dokumentation des Vergabeverfahrens ein.

Die Beauftragung bedingt das Vorliegen eines Zuwendungsbescheids bzw. das Ausreichen einer Förderunschädlichkeit durch den Zuwendungsgeber.

AP 5 Wissenstransfer

5.1.2.3 SBI 2.3 Fertigung Fahrzeuge

Vor Beginn des Fahrzeugfertigungsprozesses ist durch den Fahrzeughersteller eine Fahrzeugdokumentation in Form einer technischen Beschreibung zu erstellen und durch die SBI freizugeben.

Der Fahrzeugfertigungsprozess wird durch die SBI und durch den Fahrzeughersteller kontinuierlich begleitet und dokumentiert.

Auf Grundlage der technischen Beschreibung findet eine Rohbauprüfung statt, wobei die Busse einer Sichtprüfung gemäß geltenden Normen und Regelwerken unterzogen werden. Die Prüfung erfolgt in der Regel am ungestrahlten Rohbau, nachdem alle schweißtechnischen Arbeiten und entsprechende Maßnahmen zur Qualitätssicherung durch den Fahrzeughersteller abgeschlossen wurden. Ziel der Rohbauprüfung ist, den Zustand der Fahrzeuge zu erfassen und eventuelle Abweichungen vom Sollzustand festzustellen.

5.1.2.4 SBI 2.4 Inbetriebnahme Fahrzeuge

Die Überführung der Fahrzeuge zum Verkehrsunternehmen erfolgt nach abgeschlossener Werkschlussprüfung, d. h. nach Inbetriebnahme der Fahrzeuge und durchgeführter förmlicher Abnahme der Fahrzeuge im Werk des Fahrzeugherstellers.

Im Rahmen der Werkschlussprüfung erfolgt die Prüfung und Dokumentation der Endmontage der Fahrzeuge, nach Bereitstellung der Fahrzeuge durch den Hersteller. Diese wird auf Grundlage der einschlägigen Vorschriften sowie der in Deutschland geltenden Zulassungsbestimmungen durchgeführt. Grundlage bildet darüber hinaus die Einhaltung der technischen Beschreibung des Fahrzeugherstellers, der geforderten Qualität der Ausführung sowie sonstiger getroffener Vereinbarungen zur Auftragserteilung. Festgestellte Mängel und Abweichungen werden dem Fahrzeughersteller zur Nachbesserung übergeben.

Mit der förmlichen Abnahme der Fahrzeuge erklärt die SBI, die vertragsgemäße Anerkennung der Lieferleistung.

5.1.3 SBI 3 Umbau Betriebshof

Ziel von SBI 3 ist die notwendige bauliche Anpassung des Betriebshofes zur Aufnahme der geplanten Ladeinfrastruktur und Werkstatteinrichtung.

Die Leistungen umfassen die Planung, Genehmigung, Ausschreibung und Errichtung der zugehörigen Hoch- und Tiefbaumaßnahmen.

Folgende Arbeitspakete sind hierzu erforderlich:

- ▶ SBI 3.1 Planung und Genehmigung der Hoch- und Tiefbauarbeiten
- ▶ SBI 3.2 Ausschreibung der Hoch- und Tiefbauarbeiten
- ▶ SBI 3.3 Umsetzung Hoch- und Tiefbauarbeiten
- ▶ SBI 3.4 Abnahme Hoch- und Tiefbauarbeiten

Die Ermittlung und Abstimmungen der notwendigen sicherheitsrelevanten Maßnahmen aus Brandschutz und Gefährdungsanalyse sind durch den Objektplaner mit den zuständigen Behörden zu führen. Diese sind im Kapitel 5.1.6 detailliert aufgeführt, müssen aber zeitlich parallel zur Planung durchgeführt werden, um in diese integriert werden zu können.

5.1.3.1 SBI 3.1 Planung und Genehmigung der Hoch- und Tiefbauarbeiten

Die Planungsleistungen können gewerkespezifisch separat oder gemeinsam vergeben werden. Die Wahl des Verfahrens ist von der SBI festzulegen.

Die Planung der verschiedenen Gewerke wird federführend durch den Architekten/Objektplaner koordiniert und zusammengefasst. Es werden die Kostenberechnung und der Terminplan erstellt sowie die Schnittstellen der Gewerke untereinander definiert. Die Planung wird in einem Erläuterungsbericht zusammengefasst, von der SBI geprüft und anschließend den Genehmigungsbehörden sowie Fördermittegebern zur Verfügung gestellt.

Folgende Vorhaben im Betriebshof werden als baugenehmigungspflichtig eingeschätzt und müssen bei der entsprechenden Genehmigungsbehörde beantragt werden:

- ▶ Errichten des Gebäudes für die Übergabestation (Schotterfläche)
- ▶ Errichten der Gebäude für Trafo-Ladetechnik-Stationen inkl. Aufständigung
- ▶ Errichtung der Traversen zwischen dem Gebäude der Ladeinfrastruktur und dem Dach der Abstellhalle zur Aufnahme der Ladekabel

Diese Aufzählung ist durch einen Architekten zu prüfen und ggf. zu vervollständigen.

AP 5 Wissenstransfer

Weitere Bestandteile der Hoch- und Tiefbauarbeiten sind:

- ▶ Abtrennung der Waschhalle von der Werkstatt
- ▶ Vorbereitung des Arbeitsstandes zur Aufnahme des Dacharbeitsstandes
- ▶ Anpassung der TGA im Bereich des Dacharbeitsstandes

Nach Prüfung und ggf. Anpassung der Planung an die behördlichen Vorgaben ist die Planung soweit zu präzisieren, dass ausführungsfähige Planunterlagen erstellt werden können und der Bauablauf terminlich definiert werden kann.

5.1.3.2 SBI 3.2 Ausschreibung der Hoch- und Tiefbauarbeiten

Ziel des SBI 3.2 ist die Beauftragung der Leistungen zur notwendigen baulichen Anpassung des Betriebshofes zur Aufnahme der geplanten Ladeinfrastruktur und Werkstatteinrichtung nach Abschluss des durchgeführten Vergabeverfahrens.

Die Durchführung des Vergabeverfahrens schließt schwerpunktmäßig die Festlegung der Vergabe-/Verfahrensart, die Erstellung der technischen und kaufmännischen Vergabeunterlagen, die Bewerbungs- und Angebotsphase, die Angebotsprüfung, die Durchführung der Verhandlungsgespräche mit den Bietern, die Zuschlagserteilung und zusammenfassend die Dokumentation des Vergabeverfahrens ein.

Grundsätzlich ist im Rahmen der Festlegung der Vergaben-/Verfahrensart durch die SBI zu bestimmen, ob die Planung und Ausführung des Vorhabens separat erfolgen oder in Hand durch einen Vertragspartner (Generalübernehmer) übernommen werden soll. Ebenfalls kann die Vergabe der Ausführungsleistungen gewerkespezifisch separat oder gemeinsam erfolgen. Der beauftragte Planer hat die Planung nach HOAI-Leistungsphase 5 (Ausführungsplanung) auszuführen. Die erstellte Planung wird durch die SBI freigegeben.

Anschließend werden die entsprechenden Leistungsverzeichnisse erstellt, durch die SBI geprüft und freigegeben.

Die SBI ist als öffentlicher Auftraggeber die zuständige Vergabestelle und hat den Vergabeprozess durchzuführen. Sollte die notwendigen Kompetenzen dazu im Konzern nicht vorhanden sein oder nicht ausreichen, ist rechtzeitig juristische Unterstützung einzuholen.

Die Beauftragung einer Leistung nach erfolgtem Vergabeprozess bedingt das Vorliegen eines Zuwendungsbescheids bzw. das Ausreichen einer Förderunschädlichkeit durch den Zuwendungsgeber.

5.1.3.3 SBI 3.3 Umsetzung Hoch- und Tiefbauarbeiten

SBI 3.3 umfasst die Durchführung der Planung der Hoch- und Tiefbauarbeiten (inkl. TGA) zur Aufnahme der LIS und zum Umbau der Werkstatt.

Die beauftragten Leistungen werden durch die SBI im Rahmen der Bauleitung überwacht. Diese Leistung kann auch an Objektplaner/Architekten/Fachplaner vergeben werden (HOAI LPH8).

SBI 3.3 schließt mit der erfolgreichen Errichtung des Gebäude LIS, dem Umbau der Werkstatt und der Errichtung der Traversen über Ein- und Ausfahrt ab.

5.1.3.4 SBI 3.4 Abnahme Hoch- und Tiefbauarbeiten

SBI 3.4 umfasst die Inbetriebnahme und förmliche Abnahme der auf dem Betriebshof erfolgten Arbeiten.

Die Abnahme erfolgt durch die SBI, bzw. gemeinsam mit einem von der SBI beauftragten Bauleiter.

5.1.4 SBI 4 Ladeinfrastruktur Betriebshof

Ziel von SBI 4 ist die Integration der für den Elektrobusbetrieb notwendigen Infrastruktur im Betriebshof.

Folgende Ladeinfrastrukturkomponenten bestimmen das Leistungsbild:

- ▶ Übergabestation
- ▶ Trafo-Ladetechnik-Station
- ▶ Ladehauben und Depotboxen
- ▶ Traverse zur Aufnahme der Ladehauben und Depotboxen in der Abstellhalle
- ▶ Mittelspannungs-/Niederspannungskabel zum Anschluss der Komponenten

Folgende Arbeitspakete sind hierzu erforderlich:

- ▶ SBI 4.1 Planung Ladeinfrastruktur Betriebshof
- ▶ SBI 4.2 Beschaffung Ladeinfrastruktur Betriebshof
- ▶ SBI 4.3 Umsetzung Ladeinfrastruktur Betriebshof
- ▶ SBI 4.4 Inbetriebnahme Ladeinfrastruktur Betriebshof

Parallel ist die Abstimmung mit den Stadtwerken zur Anbindung des Niederspannungsanschlusses zu führen, damit die Versorgung bei Errichtung der

AP 5 Wissenstransfer

Ladeinfrastruktur gegeben ist. Die hohen Lieferzeiten (ca. 12 Monate) der Trafos erfordern fristgerechtes Handeln!

5.1.4.1 SBI 4.1 Planung Ladeinfrastruktur Betriebshof

Ziel des SBI 4.1 ist die Auslegung der benötigten Ladeinfrastruktur und Anschlusswerte sowie die Bestimmung der notwendigen Systemkomponenten.

Inhalt der Planung ist die Auswertung der Fahrzeugumläufe zur Ermittlung der benötigten Energiemenge und daraus abgeleitet die Bestimmung der benötigten Ladeleistung unter Betrachtung verschiedener Lademodelle.

Die ermittelten Parameter werden in einem Lastenheft zusammengefasst.

5.1.4.2 SBI 4.2 Beschaffung Ladeinfrastruktur Betriebshof

Ziel des SBI 4.2 ist die Beauftragung der Leistungen zur Planung und Lieferung der auf dem Betriebshof notwendigen Ladeinfrastruktur nach Abschluss des durchgeführten Vergabeverfahrens.

Die Durchführung des Vergabeverfahrens schließt schwerpunktmäßig die Festlegung der Vergabe-/Verfahrensart, die Erstellung der technischen und kaufmännischen Vergabeunterlagen, die Bewerbungs- und Angebotsphase, die Angebotsprüfung, die Durchführung der Verhandlungsgespräche mit den Bietern, die Zuschlagserteilung und zusammenfassend die Dokumentation des Vergabeverfahrens ein.

Grundsätzlich ist im Rahmen der Festlegung der Vergaben-/Verfahrensart durch die SBI zu bestimmen, ob die Planung und Ausführung des Vorhabens separat erfolgen oder in Hand durch einen Vertragspartner (Generalübernehmer) übernommen werden soll. Ebenfalls kann die Vergabe der Planungs- und Ausführungsleistungen der gewerkespezifisch separat oder gemeinsam erfolgen.

Die Beauftragung bedingt das Vorliegen eines Zuwendungsbescheids bzw. das Ausreichen einer Förderunschädlichkeit durch den Zuwendungsgeber.

5.1.4.3 SBI 4.3 Umsetzung Ladeinfrastruktur Betriebshof

SBI 4.3 umfasst die Durchführung der Planung zur Umsetzung der Ladeinfrastruktur sowie die Herstellung der Ladeinfrastrukturkomponenten, deren Errichtung auf dem Betriebshof.

Der beauftragte Planer bzw. Generalübernehmer hat die Planung nach HOAI-Leistungsphase 5 (Ausführungsplanung) auszuführen. Die erstellte Planung wird durch die SBI freigegeben.

SBI 4.3 schließt mit der erfolgreichen installierten LIS und dem Anschluss an das Energieversorgungsnetz ab.

5.1.4.4 SBI 4.4 Inbetriebnahme Ladeinfrastruktur Betriebshof

SBI 4.4 umfasst die Inbetriebnahme und förmliche Abnahme der auf dem Betriebshof integrierten Ladeinfrastrukturkomponenten.

Im Zuge der Inbetriebnahme erfolgt die technische Überprüfung der übergebenen Leistungen auf Funktionsfähigkeit und Nutzbarkeit. Die Funktionstest werden jeweils separat für die Einzelkomponenten sowie im Zusammenspiel zwischen den Komponenten, ggf. dem Lademanagement und den Fahrzeugen getestet. Es werden sämtliche gesetzlich geforderte Nachweise und Dokumentationen erbracht, um mit der Betriebsdurchführung beginnen zu können.

Mit der förmlichen Abnahme der auf dem Betriebshof integrierten Ladeinfrastrukturkomponenten erklärt die SBI die vertragsgemäße Anerkennung der Bauleistungen. Das Ergebnis der Abnahme wird protokolliert.

5.1.5 SBI 5 Werkstatteinrichtung

In SBI 5 wird die Buswerkstatt im Betriebshof für den Einsatz der Elektrobusse vorbereitet. Dies umfasst die Beschaffung spezieller Ausrüstungsgegenstände für den Umgang mit Hochvolttechnik.

Folgende Arbeitspakete sind hierzu erforderlich:

- ▶ SBI 5.1 Planung Werkstatteinrichtung
- ▶ SBI 5.2 Beschaffung Werkstatteinrichtung
- ▶ SBI 5.3 Umsetzung Werkstatteinrichtung
- ▶ SBI 5.4 Inbetriebnahme Werkstatteinrichtung

5.1.5.1 SBI 5.1 Planung Werkstatteinrichtung

Ziel der SBI 5.1 ist die Klärung und Planung der für den Elektrobusbetrieb notwendigen Werkstattausrüstungsgegenstände und der Dacharbeitsstände.

AP 5 Wissenstransfer

Die Abstimmungen mit dem Nutzer zur Festlegung der Instandhaltungstiefe und zur Klärung standort-spezifischer Vorgaben sind Grundlage für die Auslegung der Werkstattausrüstung. Die Erstellung eines Erläuterungsberichtes schließt Planunterlagen, die Definition notwendiger Umbaumaßnahmen und die Aufstellung der Kosten ein.

5.1.5.2 SBI 5.2 Beschaffung Werkstatteinrichtung

Ziel des SBI 5.2 ist die Bestellung der für den Elektrobusbetrieb notwendigen Werkstattausrüstungsgegenstände und der Dacharbeitsstände.

Die Durchführung des Vergabeverfahrens schließt schwerpunktmäßig die Festlegung der Vergabe-/Verfahrensart, die Erstellung der technischen und kaufmännischen Vergabeunterlagen, die Bewerbungs- und Angebotsphase, die Angebotsprüfung, die Durchführung der Verhandlungsgespräche mit den Bietern, die Zuschlagserteilung und zusammenfassend die Dokumentation des Vergabeverfahrens ein.

Die Beauftragung bedingt das Vorliegen eines Zuwendungsbescheids bzw. das Ausreichen einer Förderunschädlichkeit durch den Zuwendungsgeber.

5.1.5.3 SBI 5.3 Umsetzung Werkstatteinrichtung

SBI 5.3 umfasst die Lieferung der Werkstattausrüstungsgegenstände, die Lieferung und Montage der Lagereinrichtungen sowie die Installation des Dacharbeitsstandes in die Werkstatt.

5.1.5.4 SBI 5.4 Inbetriebnahme Werkstatteinrichtung

SBI 5.4 umfasst die Inbetriebnahme der gelieferten Werkstattausrüstungsgegenstände sowie die Inbetriebnahme und förmliche Abnahme der errichteten Dacharbeitsstände.

Im Zuge der Inbetriebnahme erfolgt die technische Überprüfung der übergebenen Leistung auf Funktionsfähigkeit und Nutzbarkeit. Das Werkstattpersonal wird durch die Hersteller in die Handhabung und Funktionsweise der Werkstatteinrichtungsgegenstände eingewiesen.

Mit der förmlichen Abnahme der Dacharbeitsstände erklärt die SBI die vertragsgemäße Anerkennung der übergebenen Leistung. Das Ergebnis der Abnahme wird durch die SBI protokolliert.

5.1.6 SBI 6 Sicherheitstechnische Maßnahmen

Ziel von SBI 6 ist die Umsetzung der beim Elektrobusbetrieb erforderlichen sicherheitstechnischen Maßnahmen. Diese werden durch Abstimmungen mit Branddirektion und den zuständigen Behörden bestimmt. Die Umsetzung erfolgt teilweise durch bauliche Maßnahmen und ist daher eng mit SBI 3 verknüpft.

Zu den sicherheitstechnischen Maßnahmen gehören u.a. die Einrichtung von Brandabschnitten in der Abstellhalle, die Überwachung durch Wärmebildkameras, die Aufschaltung auf der Brandmeldeanlage auf den Notruf und das Ablaufverfahren bei Alarmierung(inkl. Fehllarm), die Errichtung von Brandunterdrückungsanlagen sowie die Errichtung eines Havarieplatzes außerhalb der Abstellhalle.

Folgende Arbeitspakete sind hierzu erforderlich:

- ▶ SBI 6.1 Planung sicherheitstechnischer Maßnahmen
- ▶ SBI 6.2 Beschaffung sicherheitstechnischer Maßnahmen
- ▶ SBI 6.3 Umsetzung sicherheitstechnischer Maßnahmen
- ▶ SBI 6.4 Inbetriebnahme Sicherheitstechnischer Maßnahmen

5.1.6.1 SBI 6.1 Planung sicherheitstechnischer Maßnahmen

In SBI 6.1 wird das vorliegende Konzept sicherheitstechnisch spezifiziert und mit den zuständigen Behörden auf lokale Gegebenheiten abgestimmt. Dies umfasst das Brandschutzgutachten und die für den Bauantrag benötigten Daten (Emissionswerte). Die geforderten Maßnahmen sind zusammenzufassen und planerisch zu bewerten bzw. umzusetzen.

Die erstellte Planung wird durch die SBI freigegeben.

5.1.6.2 SBI 6.2 Beschaffung sicherheitstechnischer Maßnahmen

In SBI 6.2 wird auf Basis der Planung die Ausführung der sicherheitstechnischen Maßnahmen ausgeschrieben. Dies kann innerhalb oder parallel zu SBI 3.2 erfolgen.

Die Durchführung des Vergabeverfahrens schließt schwerpunktmäßig die Festlegung der Vergabe-/Verfahrensart, die Erstellung der technischen und kaufmännischen Vergabeunterlagen, die Bewerbungs- und Angebotsphase, die Angebotsprüfung, die Durchführung der Verhandlungsgespräche mit den Bietern,

AP 5 Wissenstransfer

die Zuschlagserteilung und zusammenfassend die Dokumentation des Vergabeverfahrens ein.

Die Beauftragung bedingt das Vorliegen eines Zuwendungsbescheids bzw. das Ausreichen einer Förderunschädlichkeit durch den Zuwendungsgeber.

5.1.6.3 SBI 6.3 Umsetzung Sicherheitstechnischer Maßnahmen

Durch die bezuschlagte Fachfirma ist für jede Einzelmaßnahmen, soweit diese nicht in den anderen Arbeitspaketen enthalten ist, eine spezifische, technische Beschreibung zu erstellen, die durch die SBI freizugeben ist. Auf dieser Grundlage erfolgt die Umsetzung der jeweiligen Einzelmaßnahme.

Die Leistungen werden durch die bezuschlagte Fachfirma durchgeführt.

Der Baufortschritt wird durch die SBI und die ausführende Fachfirma begleitet und dokumentiert.

5.1.6.4 SBI 6.4 Inbetriebnahme Sicherheitstechnischer Maßnahmen

SBI 6.4 umfasst die Inbetriebnahme und förmliche Abnahme der errichteten Brandschutzwand und Brandschutztore sowie der errichteten Havariefläche.

Im Zuge der Inbetriebnahme erfolgt die technische Überprüfung der übergebenen Leistungen auf Funktionsfähigkeit und Nutzbarkeit.

Mit der förmlichen Abnahme erklärt die SBI die vertragsgemäße Anerkennung der übergebenen Leistung. Das Ergebnis der Abnahme wird durch die SBI protokolliert.

5.1.7 SBI 7 Lademanagementsystem

SBI 7 umfasst die Beschaffung und Integration eines Lademanagementsystems in die vorhandene IT-Systemlandschaft.

Folgende Arbeitspakete sind hierzu erforderlich:

- ▶ SBI 7.1 Planung Lademanagementsystem
- ▶ SBI 7.2 Beschaffung Lademanagementsystem
- ▶ SBI 7.3 Integration Lademanagementsystem
- ▶ SBI 7.4 Inbetriebnahme Lademanagementsystem

5.1.7.1 SBI 7.1 Planung Lademanagementsystem

Ziel von SBI 7.1 ist der Vergleich der benötigten Anschlussleistung bei ungesteuerter, bzw. gesteuerter Ladung. Die Beurteilung einer möglichen Senkung der Anschlussleistung durch den Einsatz eines Lademanagementsystems ermöglicht eine wirtschaftliche Bewertung.

5.1.7.2 SBI 7.2 Beschaffung Lademanagementsystem

Ziel von SBI 7.2 ist die Beauftragung zur Lieferung und Einrichtung eines Lademanagementsystems zur Planung, Überwachung und Steuerung aller Ladevorgänge nach Abschluss des Vergabeverfahrens.

Voraussetzung dafür ist die detaillierte Erstellung der Leistungsbeschreibung, welche alle notwendigen Funktionen einschließlich der Schnittstellen zum Betriebshofmanagementsystem, Betriebsleitsystem, Fahr- und Umlaufplanungsprogramm sowie Werkstattmanagementsystem beschreibt. Die Durchführung des Vergabeverfahrens schließt schwerpunktmäßig das Festlegen der Vergabe-/Verfahrensart, die Erstellung der technischen und kaufmännischen Vergabeunterlagen, die Bewerbungs- und Angebotsphase, die Angebotsprüfung, die Durchführung der Verhandlungsgespräche mit den Bietern, die Zuschlagserteilung und zusammenfassend die Dokumentation des Vergabeverfahrens ein.

Die Beauftragung bedingt das Vorliegen eines Zuwendungsbescheids bzw. das Ausreichen einer Förderunschädlichkeit durch den Zuwendungsgeber.

Die Lademanagementsysteme können ggf. zusammen mit den Ladeinfrastrukturkomponenten ausgeschrieben werden, um beide Systeme aus einer Hand kommen zu lassen. Bei getrennter Ausschreibung ist besonderes Augenmerk auf die Kommunikationsschnittstelle und Erweiterbarkeit beider Anlagen zu achten.

5.1.7.3 SBI 7.3 Integration Lademanagementsystem

Im Anschluss an die erfolgreiche Beschaffung erfolgt die technische Beschreibung des Systemherstellers zur geforderten Leistung und zur Integration in die vorhandene IT-Systemlandschaft beim Verkehrsbetrieb. Es folgt die Installation, Einrichtung und Schnittstellenanbindung.

5.1.7.4 SBI 7.4 Inbetriebnahme Lademanagementsystem

Es erfolgt die Inbetriebnahme und Gesamtsystemabnahme.

AP 5 Wissenstransfer

Da es sich bei dem Lademanagementsystem um ein innovatives und komplexes Produkt handelt und möglicherweise nicht alle Verhaltensweisen des Systems antizipiert werden können, soll das System in der Einführungsphase im praktischen Betrieb erprobt werden. Beim Testen wird das Verhalten des Systems im Front- und Backend beobachtet, mit der technischen Beschreibung des Systemherstellers abgeglichen und ungewünschte Verhaltensweisen festgehalten. Festgestellte Mängel und Abweichungen werden dem Systemhersteller zur Nachbesserung übergeben.

Mit der förmlichen Abnahme des integrierten Lademanagementsystems erklärt die SBI die vertragsgemäße Anerkennung der Lieferleistung. Das Ergebnis der Abnahme wird protokolliert

5.1.8 SBI 8 Systemimplementierung

SBI 8 greift alle erforderlichen betrieblichen Maßnahmen zur Überführung der Fahrzeuge und Infrastrukturkomponenten in den laufenden Betrieb auf. Dies umfasst die vollständige administrative Vorbereitung, die Qualifizierung des Fahr- und Werkstattpersonals und die Durchführung des Probetriebs als Zusammenspiel des Gesamtsystems.

Ziel ist die Aufnahme der Elektrobusse im regulären Linienbetrieb sowie die Aufnahme aller beschafften Infrastrukturkomponenten in den Betriebsablauf der SBI.

Folgende Arbeitspakete sind hierzu erforderlich:

- ▶ SBI 8.1 Planung Systemimplementierung
- ▶ SBI 8.2 Schulung Fahrpersonal
- ▶ SBI 8.3 Schulung Werkstattpersonal
- ▶ SBI 8.4 Probetrieb

5.1.8.1 SBI 8.1 Planung Systemimplementierung

In SBI 8.1 werden die erforderlichen betrieblichen Maßnahmen zur Gesamtsystemimplementierung geplant. Diese umfassen vornehmlich die Erstellung des Einsatzkonzepts für die beschafften Elektrobusse, die Erstellung von Handlungsleitfäden für die Leitstelle und den Betrieb sowie die Erstellung von Schulungsplänen zur Qualifizierung von Fahr- und Werkstattpersonal.

5.1.8.2 SBI 8.2 Schulung Fahrpersonal

In SBI 8.2 wird das Fahrpersonal der SBI gemäß des in SBI 8.1 erstellten Schulungsplans für den Elektrobuseinsatz geschult.

5.1.8.3 SBI 8.3 Schulung Werkstattpersonal

In SBI 8.3 wird das Werkstattpersonal der SBI gemäß des in SBI 8.1 erstellten Schulungsplans für den Elektrobuseinsatz geschult.

5.1.8.4 SBI 8.4 Probebetrieb

Ziel von SBI 8.4 ist erfolgreiche Aufnahme der Elektrobusse im Linienbetrieb der SBI.

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme der ersten Fahrzeuge sowie nach Inbetriebnahme der Ladeinfrastruktur der ersten Ausbaustufe, werden auf vorab definierten Linien die ersten Fahrzeuge im Probebetrieb durch das geschulte Fahrpersonal eingesetzt und deren Einsatz dokumentiert. Es werden die Betriebsabläufe - vom reinen Einsatz der Fahrzeuge im Liniennetz bis zum Laden der Fahrzeuge im Betriebshof - abgebildet.

Die vorgesehenen Tätigkeiten in der Werkstatt und auf der Havariefläche werden möglichst realitätsnah nachgebildet.

Sobald alle Fahrzeuge in den Linienbetrieb überführt wurden, alle infrastrukturellen Maßnahmen abgeschlossen und das Lademanagementsystem integriert wurden, erfolgt die Endabnahme des Gesamtsystems und deren Dokumentation.

5.1.9 Termine

Grundlage für die Terminplanung ist die Annahme, dass sich der Umbau des Betriebshofes zur Schaffung von Ladeplätzen nicht an der Anzahl von Neufahrzeugen orientiert (siehe Tabelle 5.1), sondern einen möglichst schnellen Abschluss aller Maßnahmen priorisiert.

Die inhaltliche Reihenfolge und der zeitliche Ablauf sind in Anhang 9 *Terminplan Umbau Hindenburgstraße* dargestellt. Die kritischen Pfade (entscheidend für den Endtermin) sind rot dargestellt.

Die Arbeitspakete des Jahres 2023 werden als bereits umgesetzt angenommen. Der Terminplan ist eine Best-Case Betrachtung. Sollte es zu Problemen in der

AP 5 Wissenstransfer

Genehmigung oder Beschaffung einzelner Komponenten kommen, verschiebt sich der Beginn des Probebetriebes.

Besonderes Augenmerk ist auf die Beschaffung der LIS zu legen, da die Voraussetzung des Vorliegens eines Zuwendungsbescheids in Verbindung mit den hohen Lieferzeiten (ca. 12 Monate) das größte terminliche Risiko birgt. Alternativ kann eine Ausschreibung ohne Zuwendungsbescheid, mit Beauftragung nach Erhalt des Zuwendungsbescheides, durch das Ausreichen einer Förderunschädlichkeit durch den Zuwendungsgeber ermöglicht werden.

5.2 Bauphasen Umbau Betriebshof Hindenburgstraße

Der Umbau des Betriebshofes Hindenburgstraße umfasst folgende Maßnahmen:

- ▶ Errichtung des Gebäudes Ladeinfrastruktur zwischen Ein- und Ausfahrt
- ▶ Anpassung des Werkstattgebäudes
- ▶ Errichtung der Traversen zur Aufnahme der Ladekabel über Ein- Und Ausfahrt
- ▶ Verlegung der Ladekabel und Montage der Depotboxen

Durch diese Umbauarbeiten kommt es teilweise zu starken Einschränkungen im Betriebshof. Da die SBI über nicht über ausreichende Ausweichkapazitäten verfügt um den Betriebshof vorrübergehend stillzulegen, ist ein Umbau bei laufendem Betrieb anzustreben. Daher ist die Bildung mehrerer Bauabschnitte sinnvoll, um die Belastung auf den Betrieb zu reduzieren. Folgende Bauabschnitte werden vorgeschlagen:

- ▶ BA 1: Errichtung des Gebäudes Ladeinfrastruktur
- ▶ BA 2: Errichtung Ladeinfrastruktur südliche Abstellung
- ▶ BA 3: Errichtung Ladeinfrastruktur nördliche Abstellung
- ▶ BA 4: Umbau Werkstatt

Die Bauabschnitte sind in Abbildung 5.2 graphisch dargestellt.

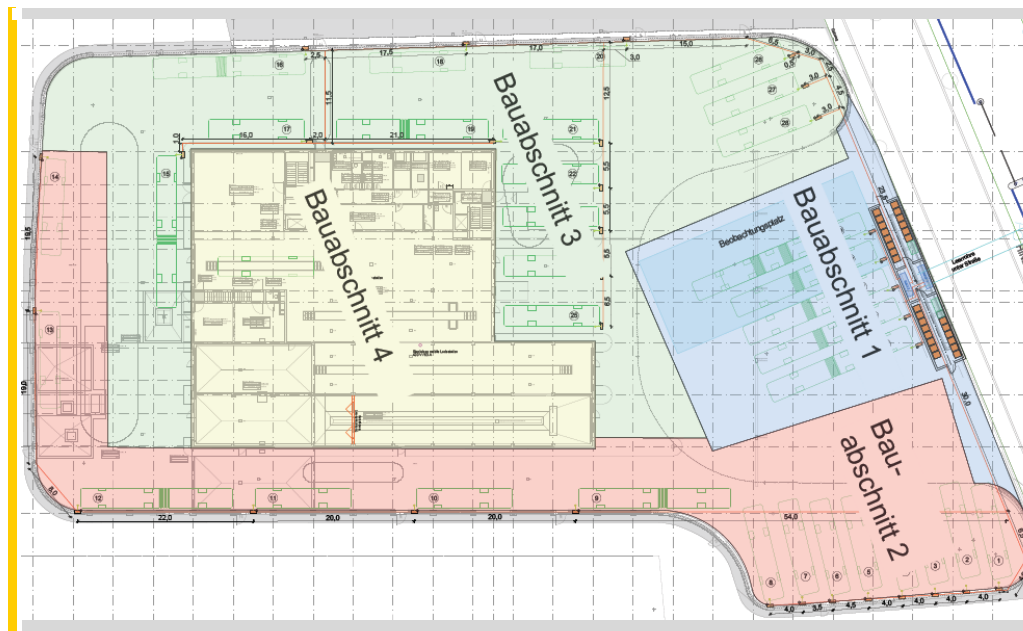


Abbildung 5.2: Bauabschnitte Hindenburgstraße

5.2.1 BA 1 – Errichtung des Gebäudes Ladeinfrastruktur

Ziel des ersten Bauabschnittes ist die Errichtung des Gebäudes der Ladeinfrastruktur (LIS) zwischen den Einfahrten und der Traversen über den Einfahrten sowie die Errichtung und Inbetriebnahme der 5 Schnellladeplätze vor dem Gebäude der LIS.

Folgende Arbeiten sind umzusetzen:

- Bau Gebäude LIS (Sperrung max. einer Zufahrt)
- Errichtung südlicher Traverse (Sperrung der südlichen Zufahrt)
- Errichtung nördlicher Traverse (Sperrung der nördlichen Zufahrt)
- Lieferung und Aufstellung der Ladegeräte im Gebäude LIS
- Lieferung und Montage der Schnellladepunkte vor dem Gebäude LIS
- Inbetriebnahme der Schnellladepunkte

5.2.2 BA 2 – Errichtung Ladeinfrastruktur südliche Abstellung

Ziel des zweiten Bauabschnittes ist die Errichtung und Inbetriebnahme der 14 südlichen Ladepunkte.

AP 5 Wissenstransfer

Folgende Arbeiten sind umzusetzen:

- Lieferung und Verlegung der Ladekabel, sowie Lieferung und Montage der Depotboxen
- Inbetriebnahme der südlichen Ladepunkte

5.2.3 BA 3 – Errichtung Ladeinfrastruktur nördliche Abstellung

Ziel des dritten Bauabschnittes ist die Errichtung und Inbetriebnahme der 14 nördlichen Ladepunkte.

Folgende Arbeiten sind umzusetzen:

- Lieferung und Verlegung der Ladekabel, sowie Lieferung und Montage der Depotboxen
- Inbetriebnahme der nördlichen Ladepunkte

5.2.4 BA 4 – Umbau Werkstatt

Ziel des vierten Bauabschnittes ist die Umrüstung der Werkstatt auf die Erfordernisse zur Reparatur von Elektrobussen.

Der vierte Bauabschnitt ist von den anderen Bauabschnitten unabhängig und kann ggf. parallel zu den anderen erfolgen, um die Gesamtumbaudauer zu verkürzen.

Folgende Arbeiten sind umzusetzen:

- Herrichtung des Lagerraums
- Abtrennung Waschanlage
- Einbau Dacharbeitsstand
- Lieferung und Aufbau der Werkstatteinrichtung

5.3 Neubau Betriebshof der Zukunft

5.3.1 Betriebshofkonzept

Es wurde ein von der SBI vorgegebenes Grundstück untersucht. Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung der maximalen Anzahl Stellplätze für GL-Busse. Aus Gründen der Geheimhaltung konnten seitens der SBI für das Grundstück keine exakten Planungsunterlagen zur Verfügung gestellt werden. Ausgangslage ist das in Abbildung 5.3 dargestellte Dokument.

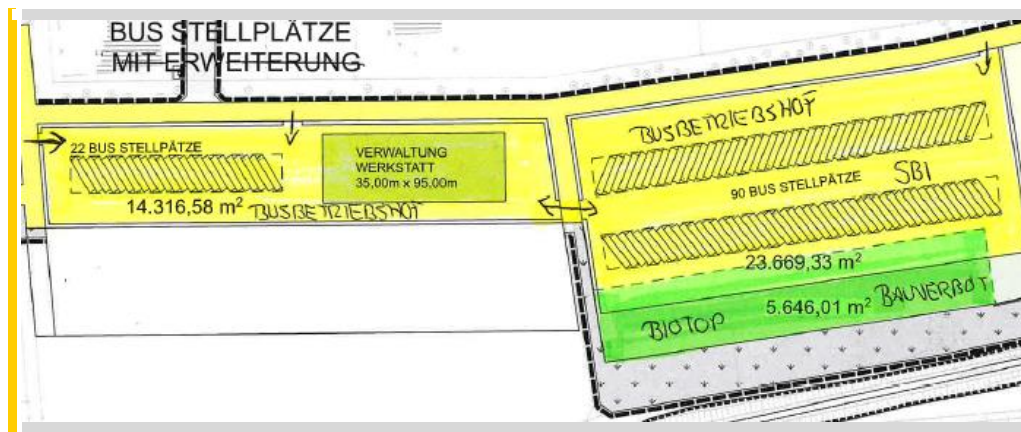


Abbildung 5.3: Grundstück Betriebshof der Zukunft

Das Grundstück grenzt an ein Biotop (siehe Abbildung 5.3, grüner Bereich) an. Es wird zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass das Biotop weder befestigt noch überfahren werden kann und wird daher nicht als nutzbare Fläche eingestuft. Eine Überprüfung ob es weitere Einschränkungen gibt, konnte aufgrund der Geheimhaltung bisher nicht erfolgen und muss nachträglich durch die SBI mit dem zuständigen Landratsamt erfolgen.

Die SBI wünscht eine Abstellung mit dem Fischgrätenmuster, um schnell und flexibel auf alle Busse zugreifen zu können, ohne andere Busse wegfahren zu müssen.

Die Fahrzeugabstände sind für eine seitliche Steckerladung ausgelegt.

Die Position und die Abmaße des Gebäudes für Werkstatt und Verwaltung wurden gem. Vorgabe der SBI übernommen.

AP 5 Wissenstransfer

5.3.1.1 Layout 1 – Fischgrätenabstellung

Im Layout 1 wurde die Fischgrätenabstellung untersucht. Das Werkstattgebäude soll von beiden Seiten angefahren werden.

Folgende Ergebnisse konnten ermittelt werden:

- 98 Busse in Fischgrätenabstellung
- Werkstatt mit 6 Arbeitsständen, von West und Ost befahrbar
- Maximal 13 Fahrzeuge je Brandabschnitt

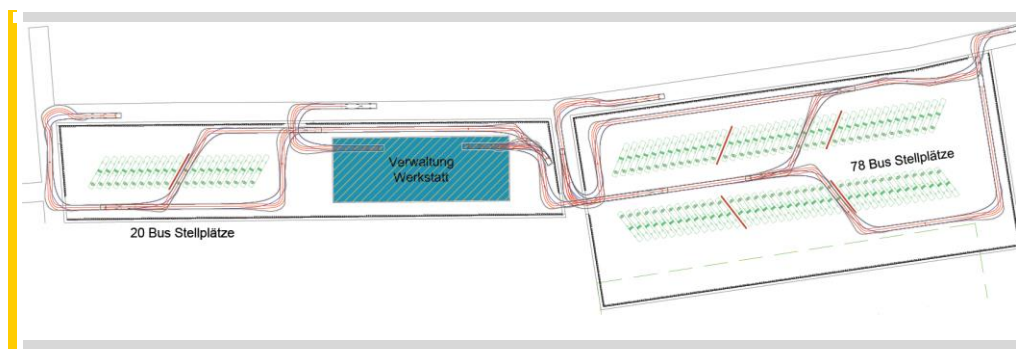


Abbildung 5.4: Betriebshofkonzept Layout 1

Die westliche Abstellung kann als Pufferzone für die Werkstatt genutzt werden. Die Zufahrt der Werkstatt von Osten her ist sehr eng bemessen und ist daher nicht empfehlenswert. Die Abstellflächen sind durch Brandschutzmauern voneinander getrennt, um möglichst kleine Brandabschnitte zu bilden.

Die Planunterlage ist in Anhang 6 *Betriebshof der Zukunft Layout 1* aufgeführt.

5.3.1.2 Layout 2 – Fischgrätenabstellung

Im Layout 2 wurden die Ergebnisse des Layout 1 berücksichtigt, daher wird die Werkstatt nur von Westen her befahren. Diese ergeben eine geänderte Positionierung der Ein- und Ausfahrt und eine veränderte Ausrichtung der westlichen Abstellung.

Folgende Ergebnisse konnten ermittelt werden:

- 98 Busse in Fischgrätenabstellung
- Werkstatt mit 3 Arbeitsständen, von West befahrbar
- Maximal 13 Fahrzeuge je Brandabschnitt
- Geänderte Ein- und Ausfahrt, geänderte Befahrung/ Abstellung auf dem westlichen Hof

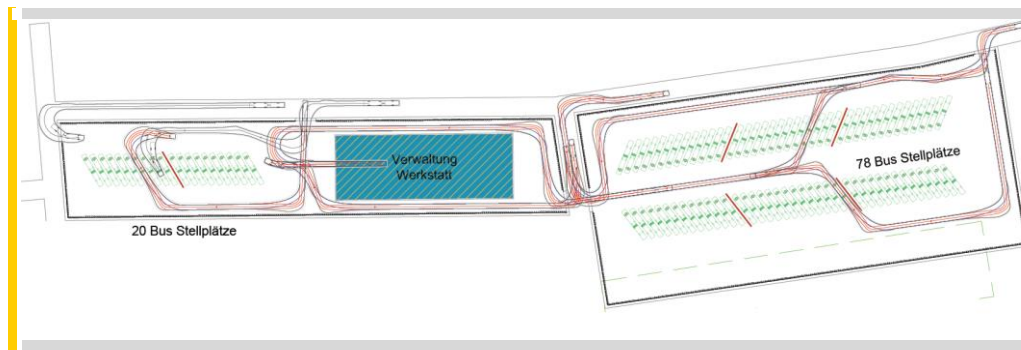


Abbildung 5.5: Betriebshofkonzept Layout 2

Wie in Layout 1 kann die westliche Abstellung als Pufferzone für die Werkstatt genutzt werden. Die Abstellflächen sind durch Brandschutzmauern voneinander getrennt um möglichst kleine Brandabschnitte zu bilden.

Die Planunterlage ist in Anhang 7 *Betriebshof der Zukunft Layout 2* aufgeführt.

5.3.1.3 Layout 3 – Blockabstellung

In Layout 3 wurde die Blockabstellung untersucht. Das Werkstattgebäude wird wie in Layout 2 nur von Westen her befahren.

Folgende Ergebnisse konnten ermittelt werden:

- 108 Busse in Blockabstellung
- Werkstatt mit 3 Arbeitsständen, von West befahrbar
- Maximal 16 Fahrzeuge je Brandabschnitt

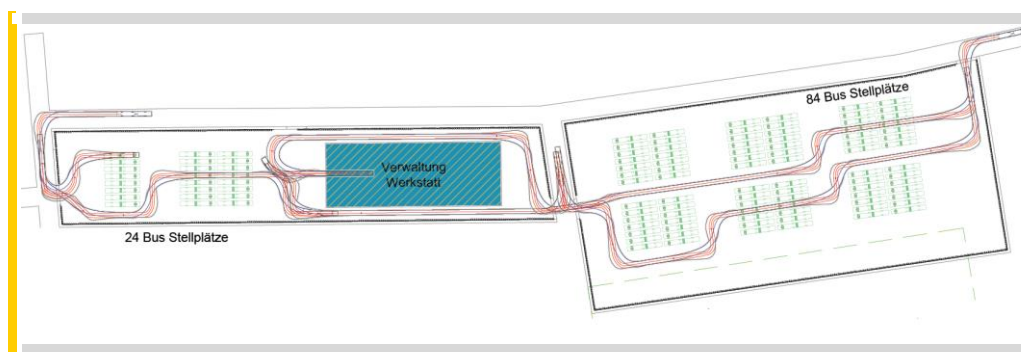


Abbildung 5.6: Betriebshofkonzept Layout 3

Um die gewünschte Flexibilität beim Ausrücken der Fahrzeuge zu gewährleisten, erfolgt die Trennung der Brandabschnitte nicht durch Brandschutzmauern,

AP 5 Wissenstransfer

sondern durch ausreichende Abstände. Weiterhin erfolgt die Abstellung in 2er-Blocks, wodurch die Nachteile der Blockabstellung minimiert werden.

Die Planunterlage ist in Anhang 8 *Betriebshof der Zukunft Layout 3* aufgeführt.

5.3.1.4 Zusammenfassung

Die VCDB empfiehlt die Verfolgung des Layout 3 aufgrund der höheren Abstellkapazität und der möglichen Minimierung der Nachteile durch die Blockaufstellung.

Die für die Untersuchung angenommenen Grundfläche der Werkstatt ist aus Sicht der Werkstattplanung in Größe und Positionierung ungeeignet, da nur 3 Arbeitsstände angefahren/ umgesetzt werden können. Aufgrund der ohnehin sehr engen Raumverhältnisse empfiehlt die VCDB nach Projektstart die Klärung des tatsächlichen Nutzerbedarfs vor Ort, um die tatsächlich benötigte Fläche für das Werkstatt- u. Verwaltungsgebäude zu ermitteln und eine optimale Positionierung des Gebäudes zu ermöglichen. Eine detaillierte Auflistung der dazu zu ermittelnden Flächen ist in Kapitel 5.3.2.1 aufgeführt.

5.3.2 Handlungsempfehlung

5.3.2.1 Projektstufe 1 – Projektvorbereitung

Ziel der Projektstufe 1 ist es, aus den ermittelten Nutzerbedarfen und entwickelten Konzepten eine Aufgabenstellung für die Planung zu erstellen.

Folgende Arbeitsschritte sind notwendig:

- Ermittlung Nutzerbedarf / Festlegung der benötigten Flächen für:
 - Werkstatt/Verwaltungsgebäude
 - Instandhaltungstiefe → Anzahl und Art Arbeitsstände
 - Lagerflächen
 - Nebenwerkstätten
 - Büros
 - LIS
 - Abstellflächen
 - Transportwege
 - Havariefläche
 - MA-Parkplätze
- Klärung der Einschränkungen durch Biotop
- Konzepterstellung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie
- Erstellen der Aufgabenstellung für Planer
- Ausschreibung der Planungsleistung

5.3.2.2 Projektstufe 2 – Planung

Ziel der Projektstufe 2 ist es, die in Projektstufe 1 ermittelten Ergebnisse planerisch soweit umzusetzen, dass die erforderlichen behördlichen Genehmigungen eingeholt und Fördermittel beantragt werden können. Meilenstein der Projektstufe 2 ist die Sicherung der Finanzierung des Projektes.

Folgende Arbeitsschritte sind notwendig:

- Beauftragung Planungsteam (entweder als Arbeitsgemeinschaft oder einzeln nach Gewerken)
- Planung LPH 2-4 HOAI
 - Erstellung Kostenberechnung
 - Erstellung Planungsterminplan
 - Erstellung Erläuterungsbericht
- Beantragung der behördlichen Genehmigungen (Bauantrag)
- Stellen des Fördermittelantrags

5.3.2.3 Projektstufe 3 – Ausführungsvorbereitung

Das Ziel der Projektstufe 3 ist es, die notwendigen Leistungen auszuschreiben und zu beauftragen. Dazu muss die in Projektstufe 2 erarbeitete Planung auf

AP 5 Wissenstransfer

Ausführungsniveau gebracht werden. Auf dieser Grundlage werden die Ausschreibungsunterlagen erstellt.

Folgende Arbeitsschritte sind notwendig:

- Erstellung Ausführungsplanung (LPH 5 HOAI)
 - Festlegung der Schnittstellen zu den Leistungsbeschreibungen
 - Ausschreibungsterminplan
 - Baeterminplan
 - Planunterlagen
- Erstellung Ausschreibungsunterlagen (LPH 6 HOAI)
 - Aufstellen von Leistungsverzeichnissen und Lastenheften
 - Kostenermittlung
- Prüfung und Wertung der Angebote (LPH 7 HOAI)
 - Einholen der Angebote
 - Aufstellen Preisspiegel
 - Führung von Bietergesprächen
 - Kostenkontrolle durch Vergleich von Kostenberechnung, Kostenermittlung und Ausschreibungsergebnissen
 - Erstellen Vergabevorschläge und Dokumentation
- Zuschlagserteilung

5.3.2.4 Projektstufe 4 – Ausführung

Ziel der Projektstufe 4 ist die planungsgemäße Umsetzung aller erbrachten Leistungen.

Folgende Arbeitsschritte sind notwendig:

- Lieferung, Errichtung und Umsetzung aller Leistungen
- Objekt- und Bauüberwachung
 - Dokumentation des Bauablaufs
 - Prüfen und Bewerten von Änderungen und Nachträgen
 - Koordinierung aller am Projekt Beteiligten
 - Überwachen und Fortschreiben des Baeterminplans
 - Antrag und Durchführung behördlicher Abnahmen
 - Kostenfeststellung
 - Prüfung der Revisionsunterlagen
 - Zusammenstellung der Dokumentation

5.3.2.5 Projektstufe 5 – Projektabschluss

Ziel der Projektstufe 5 ist die vertragsgemäße Anerkennung aller Leistungen und vollständige Inbetriebnahme des Betriebshofes.

Folgende Arbeitsschritte sind notwendig:

- Abnahme der Leistungen (vertragsgemäße Anerkennung)
- Probebetrieb
- Mängelfeststellung und Beseitigung

5.3.2.6 Termine

Grundlage für den Terminplan sind Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten zur Errichtung eines Betriebshofes und sind als Richtwert zu betrachten. Im Zuge der Umsetzung ist der Terminplan fortlaufend zu präzisieren und fortzuschreiben.

Die inhaltliche Reihenfolge und der zeitliche Ablauf sind in Anhang 10 *Terminplan Neubau Betriebshof* dargestellt.

Als Startdatum wurde fiktiv der 01.01.2024 gewählt, da ein Projektbeschluss, bzw. die Klärung des Grundstücks, derzeit noch nicht terminiert werden kann.

Anhangsverzeichnis

Anhangsverzeichnis

- Anhang 1: Grundriss Betriebshof mit Abstellkonzept
- Anhang 2: Grundriss Werkstatt
- Anhang 3: Grundriss Schotterfläche
- Anhang 4: Grundriss Brandabschnitte
- Anhang 5: Grundriss Betriebshof mit Ladeinfrastruktur und Ladetechnik-Gebäude
- Anhang 6: Betriebshof der Zukunft Layout 1
- Anhang 7: Betriebshof der Zukunft Layout 2
- Anhang 8: Betriebshof der Zukunft Layout 3
- Anhang 9: Terminplan Umbau Hindenburgstraße
- Anhang 10: Terminplan Neubau Betriebshof