REGIOBUS Mittelsachsen GmbH

Einsatz von Bussen mit alternativen Antrieben am Betriebshof Hartmannsdorf

Umsetzung für
5 Kleinbusse

Koblenz/Hamburg
06.06.2024
www.bpv-consult.de

Umsetzungskonzept zur Umstellung von 5 Kleinbussen auf Batterieantrieb

1. **Fahrzeuganalyse (AP1)**
2. Infrastrukturbedarf (AP2)
3. Ökonomische Bewertung (AP3)
4. Zeitplanung und betriebliche Auswirkungen (AP4)
5. Variantenvergleich und Gesamtbewertung (AP5)

1. Fahrzeuganalyse (AP1) – Fahrzeugverfügbarkeit auf dem Markt

Liste der aktuellen verfügbaren Fahrzeuge auf dem Markt für Kleinbusse

Hersteller	Modell	Länge (mm)	Breite (mm)	Höhe (mm)	Batteriekapazität (kWh)	Nutzbare Batterie-kapazität (kWh)	Reichweite* (km)	Niederflur	Ladeleistung (kW)	Platzanzahl	Türen
Minibus (6 - 8 m PtJ; 118 km Reichweite min.; 21 Plätze min.)											
Rampini	Sixtron	6.110	2.100	2.980	210	168	220	k.A.	k.A.	28 (10 Sitz.; 1 Roll.; 17 Steh.)	1+0 (Breite Schwenktür)
Otokar	E- Centro C	6.605	2.453	2.895	110	88	107	k.A.	k.A.	Max. 32 Fahrgäste	2+0
Eversum	E-Shuttle MK II 400	6.900	2.300	3.150	126	101	117	k.A.	150	30 (9 Sitz.; 1 Roll.)	2+0
Mellor	Sigma 7	6.990	2.080	3.100	114	91	104	ja	k.A.	33 (11 Sitz.; 1 Roll.; 3 Klapp.)	1+0
Unvi	eC24s	7.000	2.500	k.A.	289	231	264	k.A.	k.A.	12 Sitz; 29 Steh	2+0
Altas	Novus Cityline	7.367	1.993	2.880	115	92	100	k.A.	100	22 (13 Sitz.; 1 Roll., 2 Klapp.)	1 (Beifahrer) +2
Tremonia	Sprinter City 45 E	7.367	2.020	k.A.	115	92	100	k.A.	120	Max. 22 Fahrgäste	2+0
K-Bus	E-Solar City III	7.385	2.060	2.960	k.A.	75	81	k.A.	k.A.	20-30 (11 Sitz.; 1 Roll.; 4 Klapp.)	2+1
Altas	V 7	7.490	2.095	3.100	140	112	120	k.A.	120	Max. 33 (Max. 16 Sitz.; 1 Roll.; 2 Klapp.)	2+0
Altas	Novus Cityline LW	7.667	1.993	2.880	115	92	96	k.A.	100	18 (14 Sitz.; 1 Roll.; 3 Klapp.)	1 (Beifahrer) +2
Anadolu Isuzu	Novociti Volt	7.957	2.463	3.250	268	214	216	k.A.	k.A.	49 (19-21 Sitz.; 22-26 Steh.; 0-4 Falt.; 0 - 1 Roll.)	1+2 (Innenschwenktür)
Rampini	Eltron	8.000	2.200	3.250	281	225	225	k.A.	k.A.	48 (13 Sitz.; 30-34 Steh., 1 Roll.)	1+2+1 (Dreh- oder Schiebefunktion)

Passende Fahrzeuge mit errechneter Reichweite

*eigene Berechnung

- Der Umlaufplan ergibt eine erforderliche Reichweite von mind. 118 km.
- Bei den Fahrzeuglängen 6 – 8m können mind. 5-6 Fahrzeuge diese Reichweite einhalten.

1. Fahrzeuganalyse (AP1) – Fahrzeugparametrierung

Parametrierung der Fahrzeuge in Vorbereitung der Beschaffung

- In Anlehnung an die aktuellen Kleinbusse in der Fahrzeugflotte kann die Länge auf 6 – 7,5m reduziert werden. Hierbei sind mind. 3-4 Fahrzeuge möglich. Davon sind ausschließlich 2 Fahrzeuge schmal.
- Laut Angaben der Hersteller können mehrere Fahrzeuge eine Mindestreichweite von 120 km einhalten. Dabei ist ggf. der Einsatz einer Dieselzusatzheizung im Winter zu beachten.
- Unabhängig von der Reichweite können die Fahrzeuge der genannten Längenkategorie mind. 22 Fahrgäste befördern und verfügen über max. 1 Tür.

Fahrzeugparametrierung		Kleinbus
Länge (mm)	min	6.000
	max	7.500
Breite (mm)	min	1.900
	max	2.200
Mind. Batteriekapazität (kWh)		110
Erforderliche Reichweite (km)		120
Reichweite mit Puffer (km)		130
Mind. Anzahl Plätze	Sitzplätze	9
	Stehplätze	5
	Klappsitz	0
	Rollstuhlfläche	1
	Gesamt	20
Türen		2+0 (oder breitere Tür)

Umsetzungskonzept zur Umstellung von 5 Kleinbussen auf Batterieantrieb

1. Fahrzeuganalyse (AP1)
2. **Infrastrukturbedarf (AP2)**
3. Ökonomische Bewertung (AP3)
4. Zeitplanung und betriebliche Auswirkungen (AP4)
5. Variantenvergleich und Gesamtbewertung (AP5)

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Auswahl der Ladetechnik

Variante 1: mobile Ladegeräte auf Rollen

- Die Ladepunkte (Kabel) sind in einem Ladegerät integriert.
- Sie besitzen Rollen und sind demnach beweglich.
- Eine typische Ladeleistung liegt bei 40 kW, wobei die Bandbreite sich von ca. 20 bis 80 kW erstreckt.

Quelle:EKOENERGETYKA

Vorteile

- **Kein Tiefbau notwendig**
- **Mobil einsetzbar**
- **Geringe Anschlusskosten**
- **„Umzug“ vereinfacht**

Nachteile

- **Teilweise kein LMS möglich (Fernzugriff)**
- **Diebstahlgefahr**
- **Vorkonditionierung potentiell nicht verfügbar**

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Auswahl der Ladetechnik

Variante 2: Ladegeräte und -punkte mit Bodenaufbau

- Die Ladepunkte (Kabel) sind vom Ladegerät i.d.R. getrennt.
- Sie sind hinter oder neben der Fahrzeuge am Boden montiert.
- Eine typische Ladeleistung liegt bei 150-180 kW, wobei die max. Ladeleistung des Fahrzeuges (150 kW) bestimmend ist.

Quelle: ElekBu 2020

Vorteile

- **LMS möglich (Fernzugriff)**
- **Diebstahlgefahr gering**
- **Unterstützt Vorkonditionierung**

Nachteile

- **Tiefbau erforderlich**
- **Nicht mobil einsetzbar (feste Punkte)**
- **Im Verhältnis hohe Anschlusskosten**
- **„Umzug“ erschwert**

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Auswahl der Ladetechnik

Variante 3: Ladepunkte von oben über Kabel

- Die Ladepunkte sind vom Ladegerät i.d.R. getrennt.
- Die Ladegeräte sind auf dem Boden montiert und die Ladepunkte sind oberhalb der Fahrzeuge auf einer Traverse platziert.
- Eine typische Ladeleistung liegt bei 150-180 kW, wobei die max. Ladeleistung des Fahrzeuges (150 kW) bestimmend ist.

Quelle: Hamburger Hochbahn AG

Vorteile

- **LMS möglich (Fernzugriff)**
- **Diebstahlgefahr gering**
- **Unterstützt Vorkonditionierung**

Nachteile

- **Tiefbau erforderlich**
- **Nicht mobil einsetzbar (feste Punkte)**
- **Im Verhältnis hohe Anschlusskosten**
- **„Umzug“ erschwert**

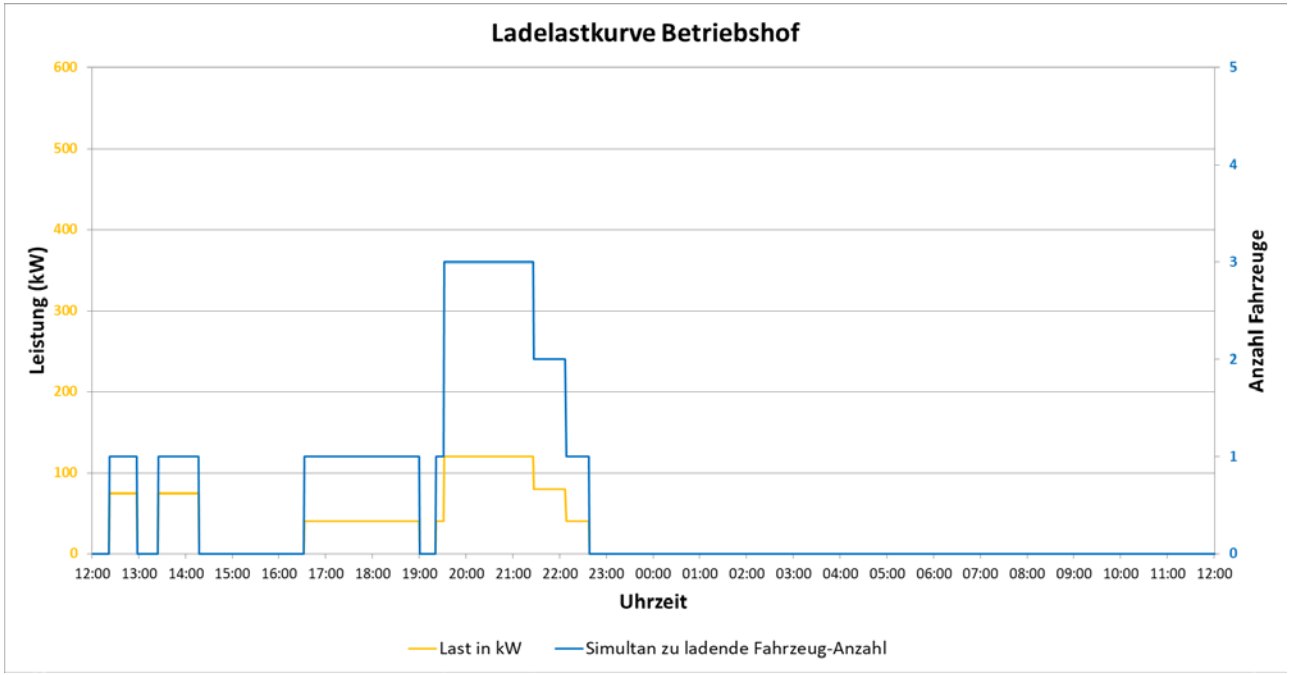
2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Dimensionierung der Ladeinfrastruktur

Ladeinfrastruktur: Annahme zur Berechnung der Ladelastkurve

- Für die Nachtladung wird ein Puffer von 1 h nach Umlaufende und 20 Min vor Umlaufbeginn festgelegt (Auf- und Abrüstzeit, Innenreinigung, Waschen). In dieser Zeit wird kein Ladevorgang eingeplant.
- Es werden zwei unterschiedliche Leistungsstufen kalkuliert: 40 kW (V1) und 150 kW (V2 und V3) für die Nachtladung und 75 kW für eine Schnellladung am Tag.
- Disposition: Jedes Fahrzeug fährt möglichst immer den gleichen Umlauf. Ein Umlaufwechsel wird nur bei Bedarf eingeführt.
- Alle Ladeprozesse (Nachtladung sowie Zwischenladung am Tag) werden betrachtet.
- Der Energiebedarf wurde erhöht (Basis Solobusse: 0,922 kWh/km; Reserve gesondert berücksichtigt) zur Betrachtung der potentiellen Anwendung einer 100 %-elektrischen Heizung.

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Dimensionierung der Ladeinfrastruktur

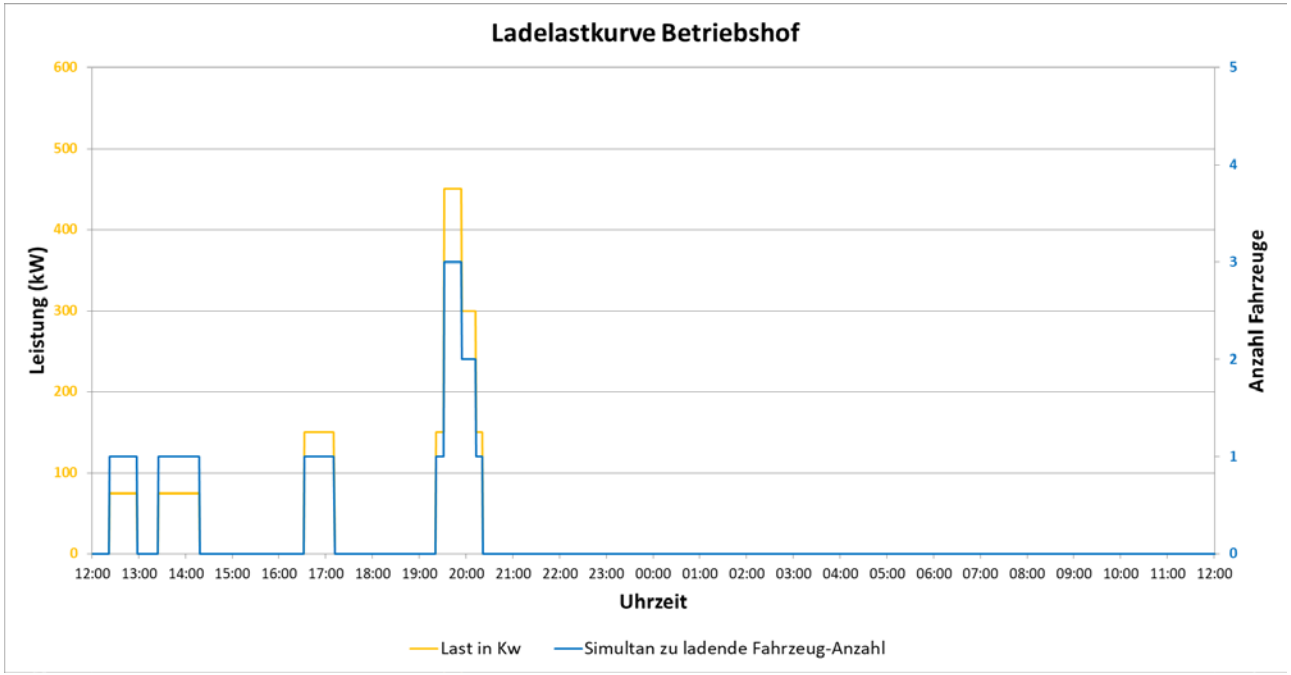
Ladelastkurve im Betriebshof ohne Optimierung – Variante 1



- Die Ladelastkurve führt ohne Optimierung zu einer erforderlichen Anschlussleistung von **120 kW** (mit Puffer: **220 kW**).
- Es werden 4 **Ladekabel** (5 mit Reserve) und 4 **Ladegeräte** (mit Reserve: 5) benötigt.
- Die **Optimierung** der Ladelast-kurve ist zunächst durch die geringe erforderliche Anschlussleistung nicht zwingend notwendig.

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Dimensionierung der Ladeinfrastruktur

Ladelastkurve im Betriebshof ohne Optimierung – Variante 2 und 3



- Die Ladelastkurve führt ohne Optimierung zu einer erforderlichen Anschlussleistung von **450 kW** (mit Puffer: **500 kW**).
- Es werden 4 **Ladekabel** (5 mit Reserve) und 2 **Ladegeräte** (mit Reserve: 3) benötigt.
- Die **Optimierung** der Ladelast-kurve ist zunächst durch die geringe erforderliche Anschlussleistung nicht zwingend notwendig.

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Dimensionierung der Ladeinfrastruktur

Ladeinfrastruktur: Annahme zur Berechnung der Ladelastkurve

- Im Ergebnis liegt der geringste Anschlussbedarf bei der Variante 1. Dabei ist zu beachten, dass zur Sicherstellung der Schnellladung am Tag (2 Ereignisse) ein Ladegerät mit einer Leistung von 75-80 kW erforderlich ist. Für die restlichen Ladegeräte ist eine Ladeleistung von 40 kW als Standard zu erwarten.
- In Variante 1 ist standardmäßig 1 Ladepunkt/Ladegerät zu erwarten. Lösungen mit 2 Ladekabel/Ladegerät sind ebenfalls vorhanden (insb. für die 80 kW-Version).
- In Varianten 2 bis 3 sind standardmäßig 2 Ladepunkte/Ladegerät (mit 150 kW) zu erwarten.

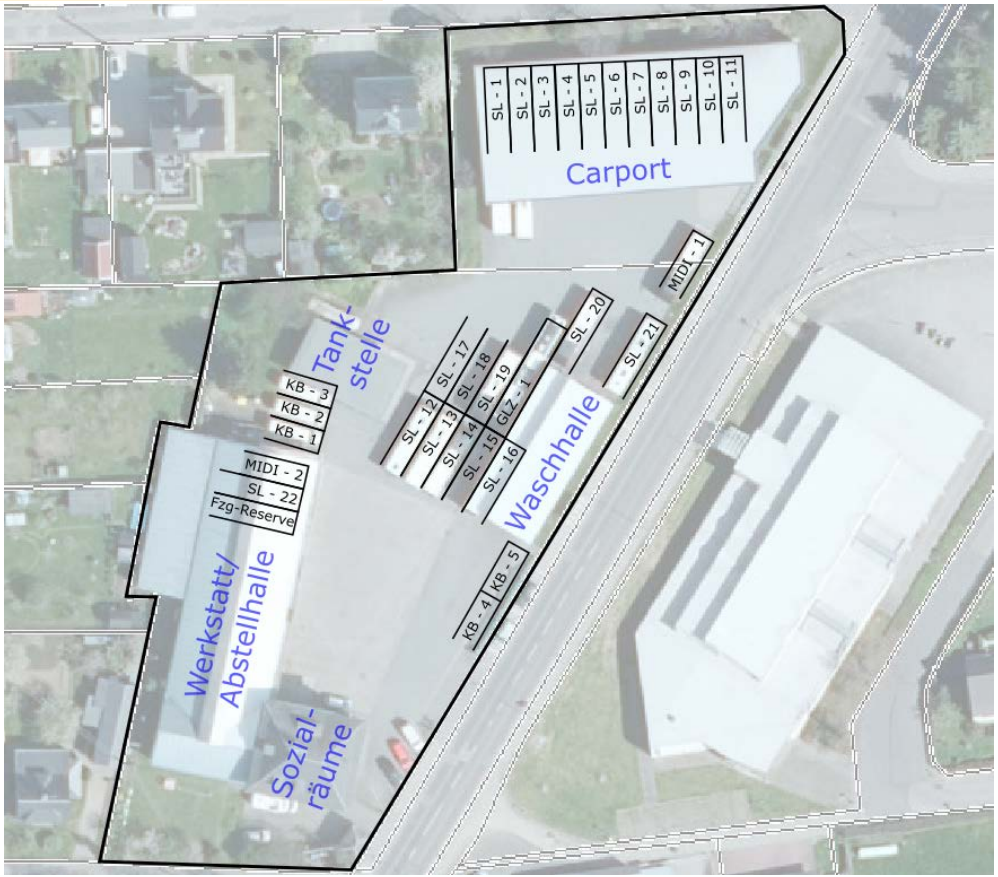
Variante	Last (kW)	Anschlussbedarf täglicher Betrieb (kW)	Anz. Ladegeräte inkl. Reserve	Bemerkung	Anschlussbedarf beim gleichzeitigem Aufladen (kW)	Anschlussbedarf inkl. Puffer weg. Leitungsverlusten (kW)
1 - Mobile Ladegeräte	120	132	5	wahrscheinlich kein LMS	200	**220**
2 - Bodenaufbau	450	495	3	kleines LMS möglich	450	**495**
3 - Kabel von oben	450	495	3	kleines LMS möglich	450	**495**

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Sonstige Infrastruktur

Erstbedarf an Werkstatt und sonstiger betrieblicher Infrastruktur

- Zur Durchführung von Wartungsarbeiten:
  - Einrichtung von **mobilen Hocharbeitsplätzen** inkl. Absturzsicherung
  - **Hallenhöhe** prüfen: 4,50 m (absolutes Minimum) bis ca. 8,00 m (komfortabel).
  - **Mess- und Diagnosegeräte** (z.B. Spannungsprüfer)
  - **Isolierte Werkzeuge** (Spannungen bis 1.000 V)
  - **Persönliche Schutzausrüstungen** (z.B. Schutzhandschuhe, Augen- und Gesichtsschutz)
- Sicherheitseinrichtungen:
  - Brandabschnitte schwierig einzuplanen. Vorzugsweise Abstellung der Fahrzeuge im Außenbereich.
  - **Beobachtungsplatz** von 13,5 x 19 m (257 m^2) in direkter Umgebung einzuplanen.

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Erstplatzierung



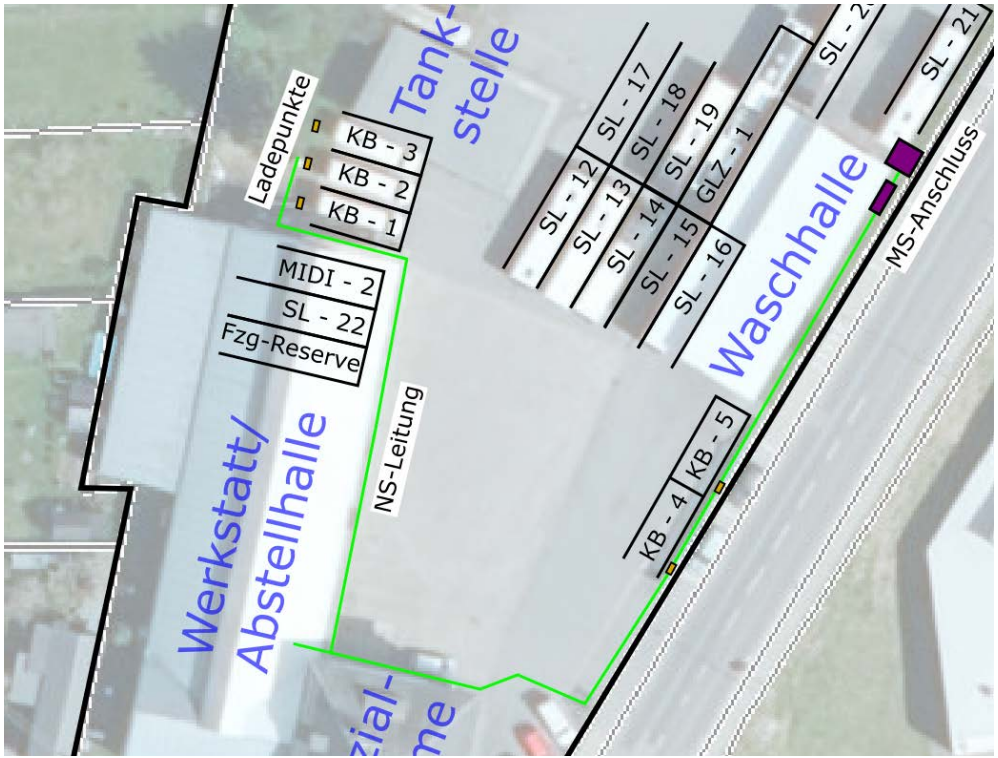
Platzierung der Fahrzeuge

- Nachbildung der aktuell üblichen Fahrzeugabstellung
- Anzahl der Fahrzeug-Umläufe: 29

Fahrzeugtyp	GLZ	KB	Midi	SL	Gesamt
Stadtverkehr Burgstädt	0	4	0	0	4
PlusBus- und restliche Linien	1	0	2	22	25
Gesamt	1	4	2	22	29

- Anzahl Abstellplätze: ca. 30
- Bedarf eines zusätzlichen Abstellplatzes für den 5. Kleinbus
- Die Kleinbusse werden im Außenbereich abgestellt.

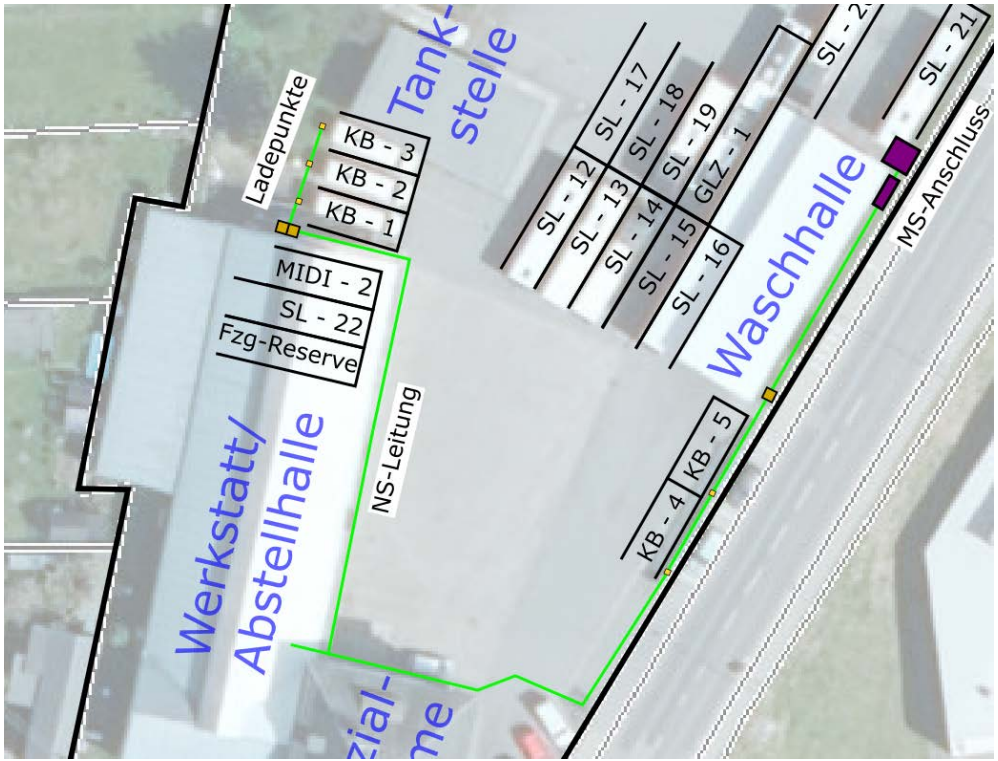
2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Erstplatzierung



Platzierung der Ladeinfrastruktur: V1

- Die mobilen Ladegeräte befinden sich hinter bzw. neben den Fahrzeugen.
- Der MS-Hausanschluss liegt an der Grundstückgrenze hinter der Waschhalle. Eine Platzierung im südlichen bzw. im nördlichen Bereich wäre mit längerer NS-leitung ebenfalls denkbar.
- Ein Anschluss in der Werkstatt für die ggf. Anwendung von mobilen Geräten ist ebenfalls möglich.

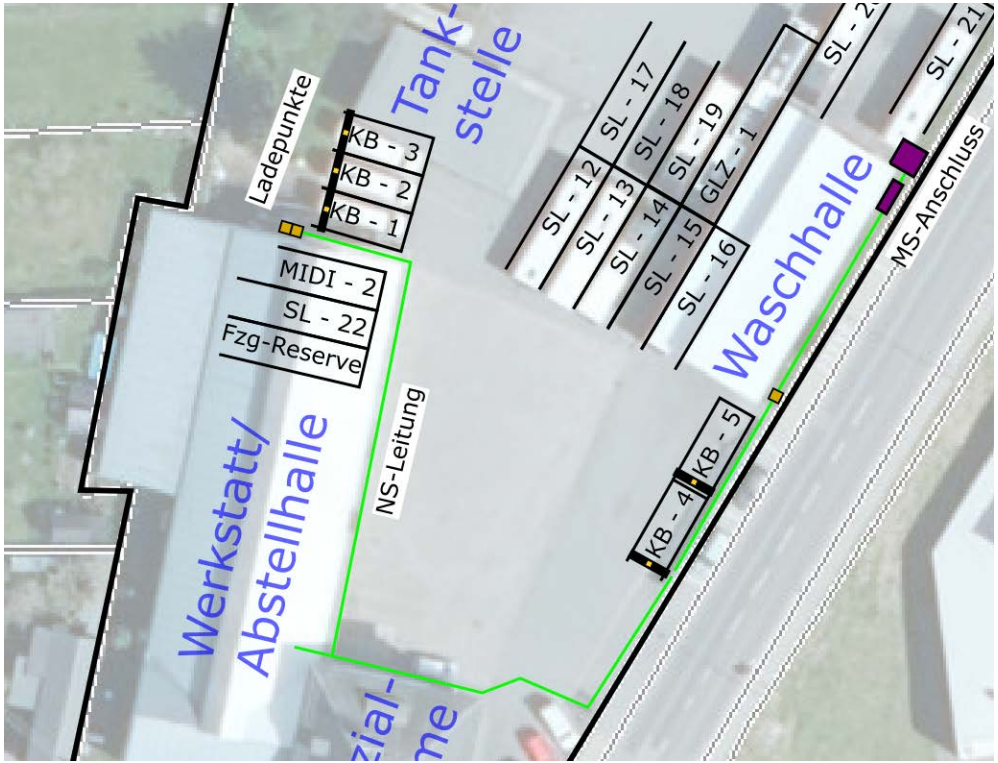
2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Erstplatzierung



Platzierung der Ladeinfrastruktur: V2

- Die festen Ladegeräte befinden sich in direkter Umgebung der Fahrzeuge.
- Die Ladepunkte mit Kabel sind von den Ladegeräten getrennt.
- Der MS-Hausanschluss liegt an der Grundstückgrenze hinter der Waschhalle. Eine Platzierung im südlichen bzw. im nördlichen Bereich wäre mit längerer NS-leitung ebenfalls denkbar.
- Ein Anschluss in der Werkstatt für die ggf. Anwendung von mobilen Geräten ist ebenfalls möglich.

2. Infrastrukturbedarf (AP2) – Erstplatzierung



Platzierung der Ladeinfrastruktur: V3

- Die festen Ladegeräte befinden sich in direkter Umgebung der Fahrzeuge.
- Die Ladepunkte mit Kabel sind von den Ladegeräten getrennt und befinden sich über einer Traverse oberhalb der Fahrzeuge.
- Der MS-Hausanschluss liegt an der Grundstückgrenze hinter der Waschhalle. Eine Platzierung im südlichen bzw. im nördlichen Bereich wäre mit längerer NS-Leitung ebenfalls denkbar.
- Ein Anschluss in der Werkstatt für die ggf. Anwendung von mobilen Geräten ist ebenfalls möglich.

Umsetzungskonzept zur Umstellung von 5 Kleinbussen auf Batterieantrieb

1. Fahrzeuganalyse (AP1)
2. Infrastrukturbedarf (AP2)
3. **Ökonomische Bewertung (AP3)**
4. Zeitplanung und betriebliche Auswirkungen (AP4)
5. Variantenvergleich und Gesamtbewertung (AP5)

3. Ökonomische Bewertung (AP3)

Abschätzung Gesamtinvestitionen für die Anschluss- und Ladetechnik sowie der Fahrzeuge

Bezeichnung (Maß)	Einheiten (EH)			Einheitspreis (EH-Preis)	Summe		
	V1	V2	V3	-	V1	V2	V3
MS-Hausanschluss für 220 kW bzw. 500 kW	220 kW	500 kW	500 kW	-	25.000 €	55.000 €	55.000 €
Anschlusstechnik für 220 kW bzw. 500 kW	220 kW	500 kW	500 kW	-	365.000 €	375.000 €	375.000 €
Ladegeräte mit 150 kW	0	3	3	45.000 €	0 €	135.000 €	135.000 €
Mobile Ladegeräte	5	1	1	15.000 €	75.000 €	15.000 €	15.000 €
Ladepunkte mit Kabel - Bodenaufbau	0	5	0	10.000 €	0 €	50.000 €	0 €
Ladepunkte mit Kabel von oben	0	0	5	35.000 €	0 €	0 €	175.000 €
Lademanagementsystem	0	1	1	60.000 €	0 €	60.000 €	60.000 €
Summe Investition Infrastruktur (€)	**-**	**-**	**-**	**-**	**465.000 €**	**690.000 €**	**815.000 €**
Pot. Umzugskosten der Ladeinfrastruktur	0	8	8	7.000 €	0 €	56.000 €	56.000 €
Summe der Varianten - Infrastruktur (€)	**-**	**-**	**-**	**-**	**465.000 €**	**746.000 €**	**871.000 €**
Fahrzeuge	**5**	**5**	**5**	270.000 €	1.350.000 €	1.350.000 €	1.350.000 €
Summe der Varianten (€)	**-**	**-**	**-**	**-**	**1.815.000 €**	**2.096.000 €**	**2.221.000 €**

- Die höchsten Kosten liegen bei den Fahrzeugen. Hierbei gibt es kein Unterschied zwischen den Varianten.
- Variante 1 weist die geringsten Infrastrukturkosten auf.

Umsetzungskonzept zur Umstellung von 5 Kleinbussen auf Batterieantrieb

1. Fahrzeuganalyse (AP1)
2. Infrastrukturbedarf (AP2)
3. Ökonomische Bewertung (AP3)
4. **Zeitplanung und betriebliche Auswirkungen (AP4)**
5. Variantenvergleich und Gesamtbewertung (AP5)

4. Zeitplanung und betriebliche Auswirkungen (AP4)

Zeitbedarf für die weiteren Schritte

- Vorbereitung der Vergabeverfahren: 3 Monate
- Vergabeverfahren für Busse und Infrastruktur: 6 Monate (parallel)
- Produktion und Lieferung der Busse sowie der Infrastruktur: 12 Monate
- Abbau der Infrastruktur für einen Umzug: 2 Monate
    - Davon „Abbau“ der Ladegeräte und –punkte (V1): 1 Tag
    - Davon Abbau der Ladegeräte und –punkte (V2-3): 15 Tage (Minimum)

4. Zeitplanung und betriebliche Auswirkungen (AP4)

Betriebliche Auswirkungen

- Beeinträchtigung der Verkehrswege für die Verkabelung und für die Unterbringung der Anschluss- und Ladeinfrastruktur
- Beeinträchtigung bzw. Sperrung der Busabstellplätze zur Installation der Ladesäulen
- Mitnutzung der Verkehrswege

➢ Es führt zu Ausfallzeiten für die Abstellung der Busse. Diese Ausfallzeiten können bis zu 2 Monate betragen, wobei in der Umsetzung der weitere Betrieb zum Teil parallel laufen kann.

➢ V1 hat aufgrund der mobilen Ladegeräte eine potentiell geringere Ausfallzeit zu erwarten.

Umsetzungskonzept zur Umstellung von 5 Kleinbussen auf Batterieantrieb

1. Fahrzeuganalyse (AP1)
2. Infrastrukturbedarf (AP2)
3. Ökonomische Bewertung (AP3)
4. Zeitplanung und betriebliche Auswirkungen (AP4)
5. **Variantenvergleich und Gesamtbewertung (AP5)**

5. Variantenvergleich und Gesamtbewertung (AP5)

Skala der Bewertung		
Kriterium	**Note**	**Notenbeschreibung**
Wirtschaftlichkeit	1	kostenintensivste Variante
	5	-
	10	günstigste Variante
Zeitplanung (Umsetzung und Ausfallzeiten)	1	langsam
	5	-
	10	schnell
Flexibilität (Bewegung auf dem Gelände, Austausch im Fall von Defekten, Transportfähigkeit)	1	gering
	5	ausreichend
	10	optimal
Diebstahlgefahr	1	hoch
	5	mittig
	10	gering
Fernsteurung	1	nicht möglich
	5	nur bedingt möglich
	10	möglich

Bewertung der Varianten			
Kriterium	**V1**	**V2**	**V3**
Wirtschaftlichkeit	10	5	1
Zeitplanung (Umsetzung und Ausfallzeiten)	5	5	5
Flexibilität (Bewegung auf dem Gelände, Austausch im Fall von Defekten, Transportfähigkeit)	10	1	1
Diebstahlgefahr	1	5	5
Fernsteurung	5	10	10
Gesamtnote	**6,2**	**5,2**	**4,4**

- Variante 1 schneidet in der Bewertung vorläufig am besten ab. Die finale Entscheidung wird jedoch von der Gewichtung und Auswertung der Kriterien stark beeinflusst.

DANKE

für Ihre Aufmerksamkeit!

Ihre Ansprechpartner:

Vianney Petit
Vianney.Petit@bpv-consult.de
+49 (0)40 · 38 67 79 – 75

Christoph Zimmer
Christoph.zimmer@bpv-consult.de
+49 (0)261 · 20 16 50 - 0

BPV Consult GmbH | Löhrstraße 113 | 56068 Koblenz
Tel +49 (0)261 ·20 16 50 - 0 | Fax +49 (0)261 ·20 16 50 - 99