



Machbarkeitsstudie zur Erweiterung der Busflotte mit alternativen Antrieben

Endergebnisse - BOGESTRA

EMCEL GmbH
Gelsenkirchen | 17. April 2024

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

-
- 1. Einführung – Ziele und Szenarien**
 - 2. Bewertung der technischen und betrieblichen Randbedingungen**
 - 3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**
 - 4. Zusammenfassung und Handlungsempfehlung**
-

Erstellung einer Machbarkeitsstudie zur Erweiterung der Busflotte mit alternativen Antrieben

- › Wesentliche Betrachtung von zwei Betriebshofstandorten:
 - Bestandsdepot in Gelsenkirchen (BwU): 31 D-NL, 10 E-NL und 66 D-NG (insgesamt 107 Busse aktuell)
 - Neubau Bochum (BwB): 33 D-NL, 13 E-NL und 108 D-NG (insgesamt ca. 150 Busse aus Bochum (BwW) und Witten (BwC))
- › Bewertung der alternativen Antriebe im Kontext von Liniennetz, Fahrplänen und lokalen Gegebenheiten
- › Bewertende Gegenüberstellung hinsichtlich Technik, Betrieb und Wirtschaftlichkeit

Ziel: Handlungsempfehlungen für die Planungs- und Umsetzungsphase

Betriebshof Gelsenkirchen (BwU)

1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Gelsenkirchen Hbf., Herne Bf., Buer Rathaus

Betriebshof Bochum (BwB)

1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Castrop Münsterplatz, Ruhr-Universität, Bochum Hbf., Hattingen
Mitte, Ruhr Park

Annahmen für Batteriebusse

- › Maximale Reichweite: 250 km
- › Maximale Flexibilität im Einsatz der Fahrzeuge (gleiche Batteriekapazität für alle Fahrzeuge)

Bewertung der technischen und betrieblichen Randbedingungen

Betriebshof Gelsenkirchen (BwU)

Betriebshof Gelsenkirchen (BwU)

1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Gelsenkirchen Hbf., Herne Bf., Buer Rathaus

Betriebshof Bochum (BwB)

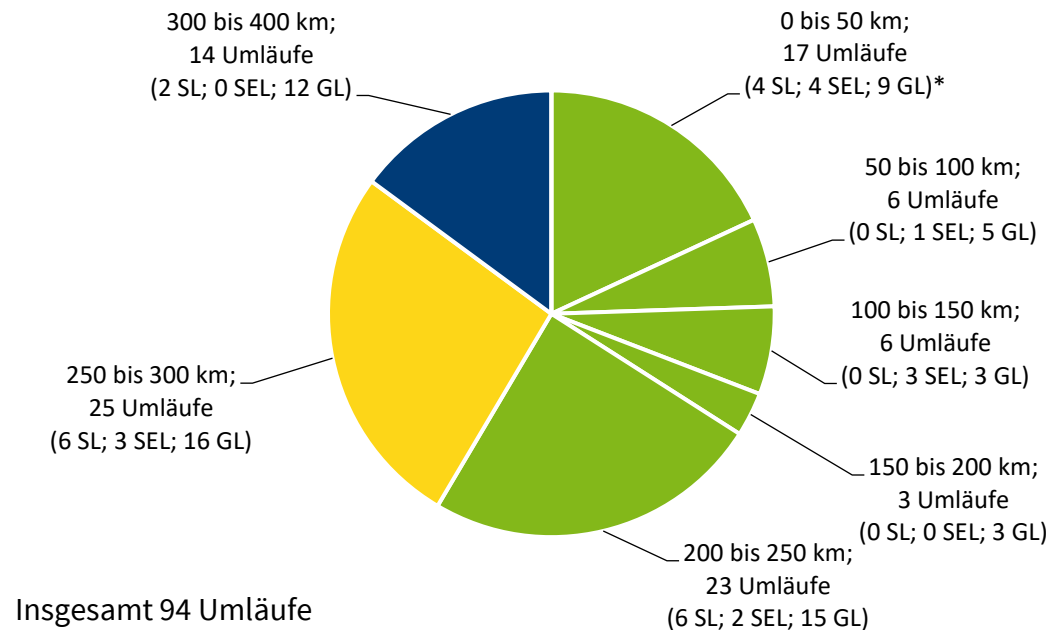
1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Castrop Münsterplatz, Ruhr-Universität, Bochum Hbf., Hattingen
Mitte, Ruhr Park

Analyse und Simulation im Rahmen der Machbarkeitsstudie

Berücksichtigung von:

- › Aktuelle Fahrplanung und Umläufe sowie mögliche neue Umlaufkombinierungen
- › Zukünftige Zwischenladungen an definierten Endhaltestellen
- › Pausen- und Standzeiten am Depot und der Endhaltestelle
- › Einsatz der Fahrzeuge für den Schienenersatzverkehr
- › Aktueller Stand der Technologie (z.B. Reichweite)

Einteilung der Fahrleistung



Anzahl an Umläufen, Einteilung nach Tagesfahrleistung

- 0 bis 250 km pro Tag
- 250 bis 300 km pro Tag
- über 300 km pro Tag

* SL = Solobus; SEL = Solo-Elektrobus; GL = Gelenkbus

Einsatz von Batteriebussen – Umlaufanalyse

- › Insgesamt 94 Umläufe, 13 davon bereits elektrifiziert
- › Ca. 59 % der Umläufe (55 Umläufe) liegen unterhalb 250 km
- › Ca. 41 % der Umläufe (39 Umläufe) liegen oberhalb 250 km

Ergebnis

- › Ca. 59 % der Flotte kann heute 1-zu-1 mit Batteriebussen ersetzt werden, bzw.:
 - › Ca. 90 %, wenn Umläufe getrennt /neu kombiniert werden und Zwischenladungen gezielt auf der Strecke möglich sind
- › Eine 100 % Umstellung der Flotte ist mit einer moderaten Erweiterung der Flotte (+ ca. 5 – 10 %) möglich.

Infrastrukturbedarfe im Depot

Parameter	Flotte
Anzahl Fahrzeuge	107
Anzahl erforderlicher Zusatzfahrzeuge	ca. 7 – 13 (+ ca. 5 – 10 %)
Flächenbedarf Fahrzeuge + Ladeinfrastruktur (im Vergleich zur heutigen Abstellfläche: ca. 7.204 m ²)	+ ca. 10 – 25 %
Benötigte Netzanschlussleistung	ca. 13,5 MVA ¹

¹ Inkl. Sicherheitsaufschlag und Berücksichtigung von LMS

- › Der zusätzliche Flächenbedarf bezieht sich auf die heutige Abstellfläche der Busse (ca. 7.204 m²). Der Mehrflächenbedarf steht in Abhängigkeit der gewählten Aufstellung. Eine Optimierung der Aufstellungsfläche, z.B. durch Aufstellung der Ladegeräte auf dem Dach, ist möglich.
- › Die angenommenen maximalen Ladeleistungen pro Ladepunkt liegen bei ca. 50 kW – 150 kW. Die tägliche Ladeleistungen pro Bus können geringer sein, insbesondere bei Einsatz eines Lade- und Betriebshofmanagementsystems.

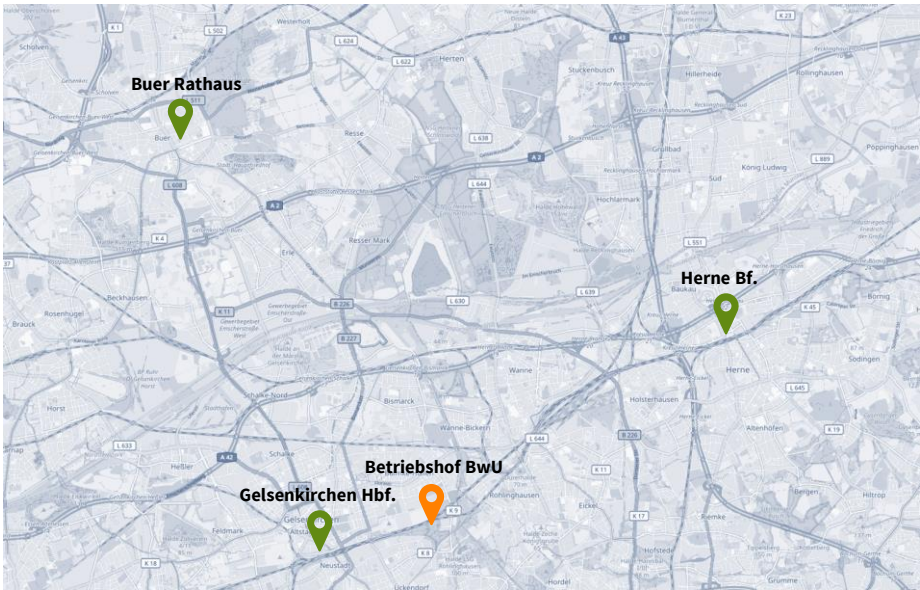
Infrastrukturbedarfe an der Strecke

Haltestelle	Anzahl an Ladepunkten ¹ Mind. 150 kW ²	Netzanschlussleistung [MVA] ³
Gelsenkirchen Hbf	5 - 6 (davon 1-2 à 300 kW erforderlich)	ca. 0,95 – 2,3
Herne Bf (Pause)	1 - 2	ca. 0,2 – 0,75
Buer Rathaus	1 - 2	ca. 0,2 – 0,75
Summe	7 – 10 (davon 1-2 à 300 kW erforderlich)	ca. 1,35 – 3,8

¹ In Abhängigkeit gewünschter Redundanzen

² 300 kW zur erhöhten Sicherheit möglich

³ Annahme: 150 kW bzw. 300 kW max. Ladeleistung pro Ladepunkt



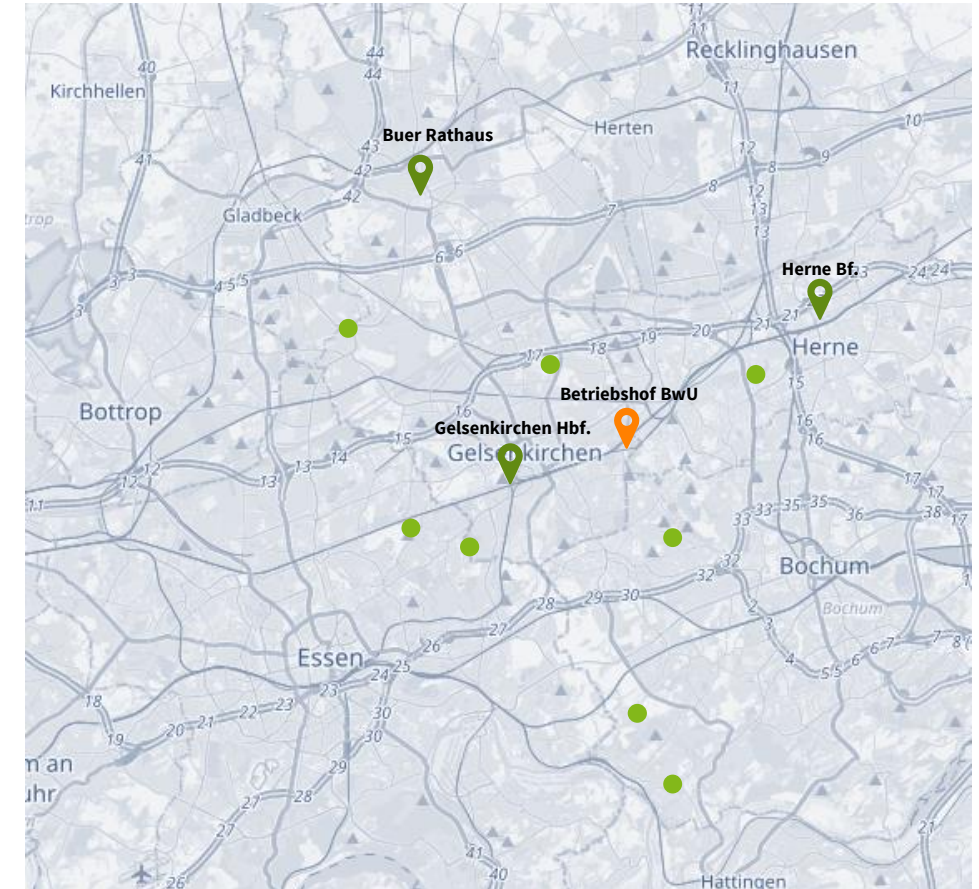
Bildquelle: OpenStreetMap

- › Eine Reduzierung der erforderlichen Infrastrukturbedarfe an der Strecke hat eine Erhöhung der Zusatzbusse zur Folge.
- › Durch den Aufbau von Ladepunkten an weiteren Haltestellen ist eine Reduzierung der Zusatzfahrzeuge möglich. Ggf. ungünstiges Verhältnis von Anzahl an erforderlichen Ladepunkten zu elektrifizierten Fahrzeugen.

Infrastrukturbedarfe an der Strecke – Weitere potenzielle Haltestellen

Haltstelle
Landschede
Drosselweg
Abzweig Katernberg
Trinenkamp
Buerer Straße
Zilleweg
Linden Mitte
Roonstraße

- › Weitere potenzielle Haltestellen sind nicht im Rahmen der Analyse betrachtet worden
- › Umsetzbarkeit (z.B. Flächen- und Verkehrsverhältnisse) sind im Einzelnen zu prüfen
- › Potenzielle Einsparungen an Zusatzfahrzeugen sind für die einzelnen Linien detailliert zu analysieren (z.B. Pause- und Wendezeiten)



Bildquelle: OpenStreetMap

Betriebshof Gelsenkirchen (BwU)

1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Gelsenkirchen Hbf., Herne Bf., Buer Rathaus

Betriebshof Bochum (BwB)

1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Castrop Münsterplatz, Ruhr-Universität, Bochum Hbf., Hattingen
Mitte, Ruhr Park

Analyse und Simulation im Rahmen der Machbarkeitsstudie

Berücksichtigung von:

- › Gleiche Aspekte wie Szenario 1 (z.B. aktuelle Umläufe, Umlaufkombinierung, Zwischenladung an der Strecke etc.), und
- › Eine Mischflotte mit Batteriebussen und 20 Brennstoffzellen-Bussen

Ergebnis

- › Die Brennstoffzellenbusse übernehmen die längsten Umläufe ohne Notwendigkeit einer Umlauftrennung
- › Der Bedarf an Zusatzbussen reduziert sich von 5 - 10 % auf ca. + 1 – 2 %
- › Reduzierung von bis zu vier Ladepunkten entlang der Strecke
(z.B. Gelsenkirchen Hbf.: ca. 1 – 2 Ladepunkte weniger, keine Infrastruktur erforderlich)

Infrastrukturbedarfe im Depot

Parameter	Flotte
Anzahl Fahrzeuge	107
Anzahl erforderlicher Zusatzfahrzeuge	ca. 1 - 2 (+ ca. 1 - 2 %)
Flächenbedarf Fahrzeuge + Ladeinfrastruktur + H ₂ -Tankstelle (im Vergleich zur heutigen Abstellfläche: ca. 7.204 m ²)	+ ca. 10 - 25 %
Flächenbedarf H ₂ -Tankstelle (ca. 20 BZ-Busse)	ca. 450 - 600 m ²
Benötigte Netzanschlussleistung	ca. 10,5 - 11 MVA ¹

Einsatz von 20
Brennstoffzellen-
Bussen

¹ Inkl. H₂-Tankstelle, Sicherheitsaufschlag und Berücksichtigung von LMS

- › Der zusätzliche Flächenbedarf bezieht sich auf die heutige Abstellfläche der Busse (ca. 7.204 m²). Der Mehrflächenbedarf steht in Abhängigkeit der gewählten Aufstellung. Eine Optimierung der Aufstellungsfläche, z.B. durch Aufstellung der Ladegeräte auf dem Dach, ist möglich.
- › Die angenommenen maximalen Ladeleistungen pro Ladepunkt liegen bei ca. 50 kW – 150 kW. Die täglichen Ladeleistungen pro Bus können geringer sein, insbesondere bei Einsatz eines Lade- und Betriebshofmanagementsystems. Netzanschlussleistung der H₂-Tankstelle liegt bei ca. 0,5 – 1 MVA.

H₂-Infrastruktur

- › Wasserstofftankstelle für 20 BZ-Busse kann auf dem Betriebshof realisiert werden
- › Durch Erhöhung des Anlieferzyklus kann die Betankungskapazität der H₂-Tankstelle um ca. 50 %¹ erhöht werden. Hierdurch können ca. 1 – 2 Ladepunkte an der Strecke eingespart werden.
- › Vor-Ort-Produktion per Elektrolyse aufgrund geringer Platzkapazitäten erschwert
- › Synergiepotenzial mit lokalen Wasserstoffproduzenten
 - › Klimahafen Gelsenkirchen – Errichtung einer 20 MW Elektrolyseanlage, Inbetriebnahme ca. 2027
 - › Stadtwerke Bochum – 20-prozentige Beteiligung an 20 MW Elektrolyseanlage in Hamm, Inbetriebnahme ca. 2026
- › Geplante H₂-Tankstelle im Klimahafen Gelsenkirchen bietet Redundanz für die Versorgung der BZ-Busse (Leerfahrten sind zu berücksichtigen – ca. 9 km Entfernung zum Depot, einfache Strecke, Umstellung der Linien im Umkreis der Tankstelle)
- › Öffentliche H₂-Tankstelle kann auch als alleinige Betankungslösung genutzt werden (oder als Einstieg für die ersten Busse)

¹ ggf. ist Aufteilung der Betankungszeiträume notwendig oder die Erweiterung der Kompressorkapazität

Bewertung der technischen und betrieblichen Randbedingungen

Betriebshof Bochum (BwB)

Betriebshof Gelsenkirchen (BwU)

1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Gelsenkirchen Hbf., Herne Bf., Buer Rathaus

Betriebshof Bochum (BwB)

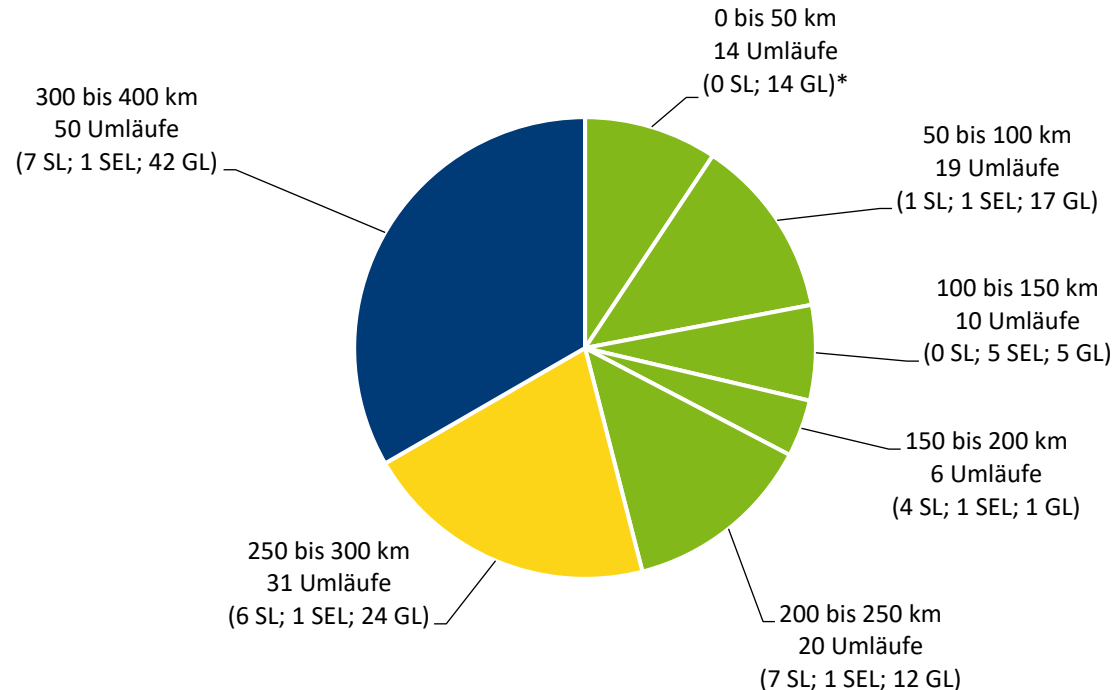
1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Castrop Münsterplatz, Ruhr-Universität, Bochum Hbf., Hattingen
Mitte, Ruhr Park

Analyse und Simulation im Rahmen der Machbarkeitsstudie

Berücksichtigung von:

- › Aktuelle Fahrplanung und Umläufe sowie mögliche neue Umlaufkombinierungen
- › Zukünftige Leerfahrten bedingt durch den neuen Standort
- › Zukünftige Zwischenladungen an definierten Endhaltestellen
- › Pausen- und Standzeiten am Depot und der Endhaltestelle
- › Einsatz der Fahrzeuge für den Schienenersatzverkehr
- › Aktueller Stand der Technologie (z.B. Reichweite)

Einteilung der Fahrleistung



Anzahl an Umläufen, Einteilung nach Tagesfahrleistung

- 0 bis 250 km pro Tag
- 250 bis 300 km pro Tag
- über 300 km pro Tag

* SL = Solobus; SEL = Solo-Elektrobus; GL = Gelenkbus

Einsatz von Batteriebussen – Umlaufanalyse

- › Insgesamt 150 Umläufe, 10 davon sind bereits elektrifiziert
- › Ca. 46 % der Umläufe (69 Umläufe) liegen unterhalb 250 km
- › Ca. 54 % der Umläufe (81 Umläufe) liegen oberhalb 250 km

Ergebnis

- › Ca. 46 % der Flotte kann heute 1-zu-1 mit E-Bussen ersetzt werden, bzw.:
 - › Ca. 90 %, wenn Umläufe getrennt /neu kombiniert werden und Zwischenladungen gezielt auf der Strecke möglich sind
- › Eine 100 % Umstellung der Flotte ist mit einer moderaten Erweiterung der Flotte (+7 – 12 %) möglich.

Infrastrukturbedarfe im Depot

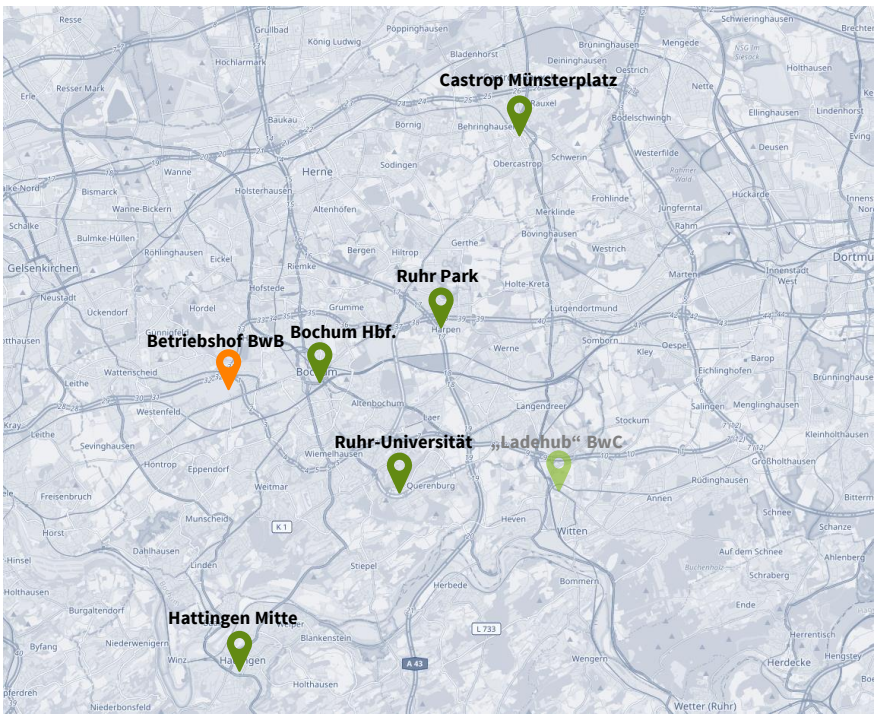
Parameter	Flotte
Anzahl Fahrzeuge	150
Anzahl erforderlicher Zusatzfahrzeuge	ca. 11 – 18 (ca. + 7 – 12 %)
Flächenbedarf Fahrzeuge + Ladeinfrastruktur	ca. 11.500 – 12.500 m ²
Benötigte Netzanschlussleistung	ca. 18 MVA ¹

¹ Inkl. Sicherheitsaufschlag und Berücksichtigung von LMS

- › Der neue Betriebshof bietet ausreichend Fläche für die Elektrifizierung der Flotten aus Weitmar und Witten, die benötigte Netzanschlussleistung ist im Rahmen der Planung zu berücksichtigen.
- › Die angenommenen maximalen Ladeleistungen pro Ladepunkt liegen bei ca. 50 kW – 150 kW. Die täglichen Ladeleistungen pro Bus können geringer sein, insbesondere bei Einsatz eines Lade- und Betriebshofmanagementsystems.

Infrastrukturbedarfe an der Strecke

Haltstelle	Anzahl an Ladepunkten ¹ Mind. 150 kW ²	Netzanschlussleistung [MVA] ³
Castrop Münsterplatz	2 - 3	ca. 0,4 – 1,1
Ruhr-Universität	3 - 4	ca. 0,6 – 1,5
Bochum Hbf.	4 - 5	ca. 0,75 – 1,85
Hattingen Mitte	1 - 2	ca. 0,2 – 0,75
Ruhr Park	2 - 3	ca. 0,4 – 1,1
Summe	12 – 17	ca. 2,35 – 6,3



Bildquelle: OpenStreetMap

¹ In Abhängigkeit gewünschter Redundanzen; ² 300 kW zur erhöhten Sicherheit möglich; ³ Annahme: 150 kW bzw. 300 kW

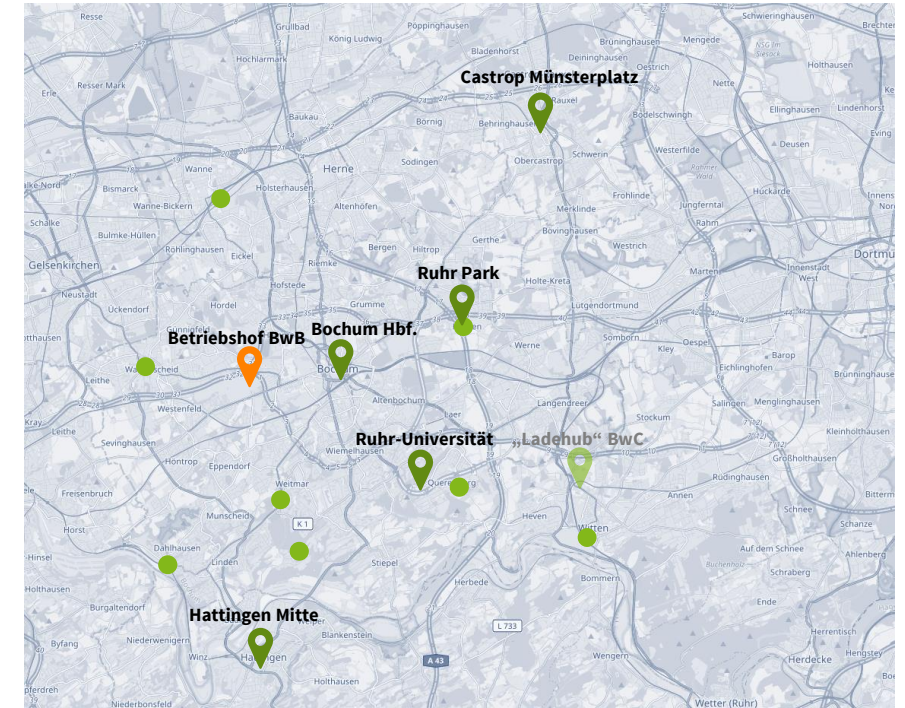
- › Eine Reduzierung der erforderlichen Infrastrukturbedarfe an der Strecke hat eine Erhöhung der Zusatzbusse zur Folge.
- › Durch den Aufbau von Ladepunkten an weiteren Haltestellen ist eine Reduzierung der Zusatzfahrzeuge möglich. Ggf. ungünstiges Verhältnis von Anzahl an erforderlichen Ladepunkten zu elektrifizierten Fahrzeugen.
- › Möglichkeit: Nutzung des Standorts in Witten als reinen Ladehub. Einsparung von ca. 3 - 5 Zusatzfahrzeugen und ggf. 1 - 2 Ladepunkten im Einsatzgebiet möglich.

Infrastrukturbedarfe an der Strecke – Weitere potenzielle Haltestellen

Haltstelle
Blankensteiner Str.
BO-Dahlhausen (S)
Ruhr Park/UCI ¹
Witten HBF
Wanne-Eickel Hbf
Freiheitsstraße
Fachhochschule Bochum
Sundern

- › Weitere potenzielle Haltestellen sind nicht im Rahmen der Analyse betrachtet worden
- › Umsetzbarkeit (z.B. Flächen- und Verkehrsverhältnisse) sind im Einzelnen zu prüfen
- › Potenzielle Einsparungen an Zusatzfahrzeugen sind für die einzelnen Linien detailliert zu analysieren (z.B. Pause- und Wendezeiten)

¹ Kann ggf. mit Haltestelle „Ruhr Park“ kombiniert werden



Bildquelle: OpenStreetMap

Betriebshof Gelsenkirchen (BwU)

1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Gelsenkirchen Hbf., Herne Bf., Buer Rathaus

Betriebshof Bochum (BwB)

1. **100 % Batteriebusse**
inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke
 2. **Mischflotte**
Batteriebusse inkl. Ladeinfrastruktur an der Strecke und BZ-Busse
- › **Geeignete Haltestellen für Ladeinfrastruktur** an der Strecke:
Castrop Münsterplatz, Ruhr-Universität, Bochum Hbf., Hattingen
Mitte, Ruhr Park

Analyse und Simulation im Rahmen der Machbarkeitsstudie

Berücksichtigung von:

- › Gleiche Aspekte wie Szenario 1 (z.B. aktuelle Umläufe, Umlaufkombinierung, Zwischenladung an der Strecke etc.), und
- › Eine Mischflotte mit Batteriebussen und 20 Brennstoffzellen-Bussen

Ergebnis

- › Die Brennstoffzellen-Busse übernehmen die längsten Umläufe ohne Notwendigkeit einer Umlauftrennung, dennoch bleibt ein höherer Bedarf an Ladeinfrastruktur entlang der Strecke (insgesamt ca. 2 – 3 Ladepunkte weniger im Einsatzgebiet, z.B. an Ruhr Universität und Castrop Münsterplatz)
- › Der Bedarf an Zusatzbussen reduziert sich von max. 12 % auf ca. + 0 – 3 %
- › Eine größere Flotte von Brennstoffzellen-Bussen (z.B. 50 oder 100 Fahrzeuge) kann den Bedarf an Ladeinfrastruktur auf der Strecke reduzieren bzw. sogar komplett entfallen lassen. Ggf. erhöhte Anforderungen in der Genehmigung der Tankstelle sind zu berücksichtigen.

Infrastrukturbedarfe im Depot

Parameter	Flotte
Anzahl Fahrzeuge	150
Anzahl erforderlicher Zusatzfahrzeuge	ca. 0 - 5 (ca. + 0 - 3 %)
Flächenbedarf Fahrzeuge + Ladeinfrastruktur + H ₂ -Tankstelle ¹	ca. 10.600 – 11.600 m ²
Flächenbedarf H ₂ -Tankstelle (ca. 20 BZ-Busse)	ca. 450 – 600 m ²
Benötigte Netzanschlussleistung	ca. 16,5 – 17 MVA ³

Einsatz von 20
Brennstoffzellen-
Bussen

¹ Inkl. H₂-Tankstelle, Sicherheitsaufschlag und Berücksichtigung von LMS

- › Der neue Betriebshof bietet ausreichend Fläche für die Elektrifizierung der Flotten aus Weitmar und Witten, die benötigte Netzanschlussleistung ist im Rahmen der Planung zu berücksichtigen.
- › Die angenommenen maximalen Ladeleistungen pro Ladepunkt liegen bei ca. 50 kW – 150 kW. Die täglichen Ladeleistungen pro Bus können geringer sein, insbesondere bei Einsatz eines Lade- und Betriebshofmanagementsystems. Netzanschlussleistung der H₂-Tankstelle liegt bei ca. 0,5 – 1 MVA.

Dimensionierung von H₂-Tankstellen

Sinnvolle Einstiegsgröße für eine eigene H₂-Tankstelle auf dem Betriebshof liegt bei ca. 15 – 20 BZ-Bussen

20 Brennstoffzellen-Busse	50 Brennstoffzellen-Busse	100 Brennstoffzellen-Busse
Ungefährer Flächenbedarf: ca. 450 – 600 m ²	Ungefährer Flächenbedarf: ca. + 35 % ¹	Ungefährer Flächenbedarf: ca. + 110 % ¹
Netzanschlussleistung: ca. 0,5 – 1 MVA	Netzanschlussleistung: ca. + 55 % ¹	Netzanschlussleistung: ca. + 100 % ¹
Kosten ca. 7.000.000 €	Kosten ca. + 30 % ¹	Kosten ca. + 70 % ¹

¹ Im Vergleich zum Basisszenario H₂-Tankstelle für 20 BZ-Busse

- › 20 BZ-Busse stellen die Mindestgröße einer Flotte dar. Größere BZ-Flotten können mit überschaubarem Mehraufwand eingeführt werden.
- › Einführung von BZ-Flotten > 100 Fahrzeuge nach aktuellem Stand der Gesetze ggf. schwierig (Einschränkung der Lagerkapazität durch die StörfallVO).
- › Wirtschaftliche Auswirkungen der Dimensionierung werden im Rahmen der Kostenbetrachtung berücksichtigt.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Annahmen

Kosten Busse (Solo / Gelenk)

- › Diesel: 312.000 € / 420.000 €; Bat.: 611.500 € / 818.000 €; BZ: 630.000 € / 840.000 €
- › Aktuelle Marktpreise, zukünftige Reduzierungen der alternativen Antriebe zu erwarten

Kosten Ladeinfrastruktur

- › Depot: 60.000 € / Ladepunkt; Strecke: 300.000 € / Ladepunkt
- › Depot: zzgl. Kosten für Erweiterung der Netzanschlussleistung und Maßnahmen auf dem Betriebshof, z.B. Trafo, Kabel, Tiefbau, Installation etc.

Kosten H₂-Infrastruktur

- › 20 BZ-Busse: 7.000.000 €; 50 BZ-Busse: 9.000.000 €; 100 BZ-Busse: 12.000.000 €

Energiekosten

- › Wasserstoff: Öffentliche Betankung: 9 €/kg; H₂-Lieferung: 7 €/kg (20 BZ-Busse), 6,50 €/kg (50 BZ-Busse), 5 €/kg (100 BZ-Busse)
- › Strom: 0,40 €/kWh
- › Diesel: 2,00 €/l

Lebens- und Abschreibungsdauer

- › Laufzeit der Fahrzeuge: 10 Jahre
- › Nutzungsdauer der Ladeinfrastruktur: 10 Jahre
- › Nutzungsdauer der Betankungsinfrastruktur: 14 Jahre
- › Nutzungsdauer sonstiger Infrastrukturen (Trafo): 20 Jahre

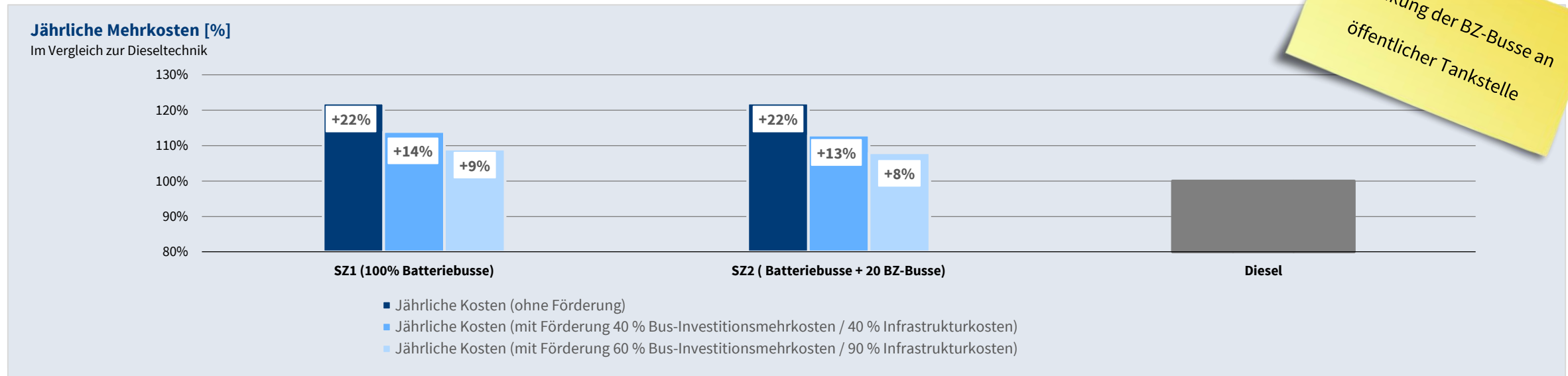
Nicht berücksichtigt

- › Zusätzliche Kosten für Umbaumaßnahmen (z.B. neue Abstellhalle, Brandschutzmaßnahmen) und Neubau des Betriebshofes
- › Finanzierungs- und Kapitalkosten

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Betriebshof Gelsenkirchen (BwU)

Prozentuale Mehrkosten pro Jahr im Vergleich zur Referenztechnologie – mit und ohne Förderung

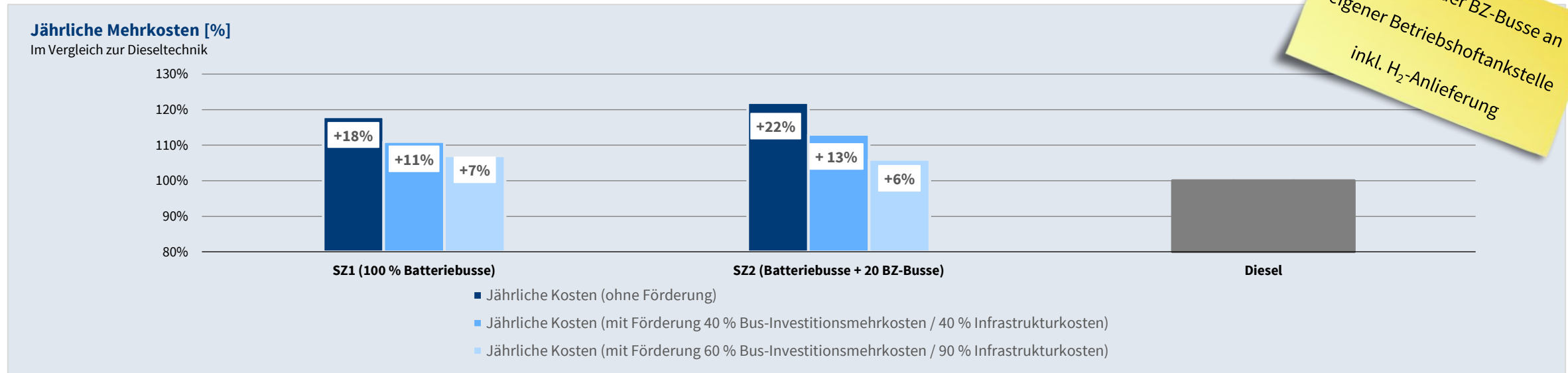


- › Die jährlichen Mehrkosten im Vergleich zur Referenztechnologie liegen im Szenario **100 % Batteriebusse bei ca. + 22 %** und im Szenario **Mischflotte bei ca. + 22 %**. Durch die Berücksichtigung von Fördermitteln können die jährlichen Mehrkosten auf ca. +14 % bis + 9 % (100 % Batteriebusse) bzw. auf ca. + 13 % bis + 8 % (Mischflotte) reduziert werden.
- › Zusätzliche Kosten für Umbaumaßnahmen am Betriebshof (neue Abstellhalle, Brandschutzmaßnahmen) sind nicht berücksichtigt. Diese werden sowohl in Szenario 1 als auch in Szenario 2 erforderlich.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Betriebshof Bochum (BwB)

Prozentuale Mehrkosten pro Jahr im Vergleich zur Referenztechnologie – mit und ohne Förderung

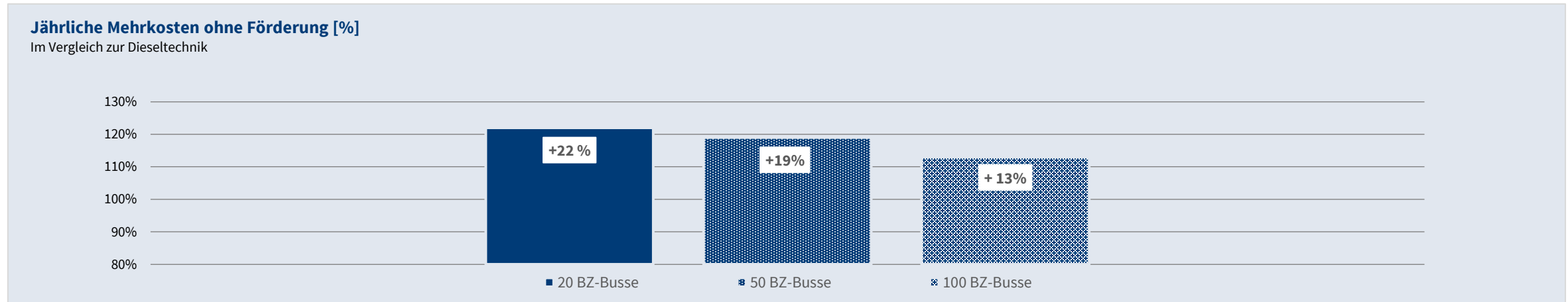


- › Die jährlichen Mehrkosten im Vergleich zur Referenztechnologie liegen im Szenario **100 % Batteriebusse bei ca. + 18 %** und im Szenario **Mischflotte bei ca. + 22 %**. Durch die Berücksichtigung von Fördermitteln können die jährlichen Mehrkosten auf ca. +11 % bis + 7 % (100 % Batteriebusse) bzw. auf ca. + 13 % bis + 6 % (Mischflotte) reduziert werden.
- › Keine Berücksichtigung von Bau- und Planungskosten für den Neubau des Betriebshofes. Diese werden sowohl in Szenario 1 als auch in Szenario 2 erforderlich.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Betriebshof Bochum (Bwb) – Sensitivitätsbetrachtung H₂-Tankstelle (Szenario 2 „Mischflotte“)

Szenario 2 „Mischflotte“ - Wirtschaftlicher Einfluss der Dimensionierung einer H₂-Tankstelle für 20, 50 und 100 BZ-Busse



- › Berücksichtigung von Skaleneffekten für die H₂-Infrastruktur und den H₂-Lieferpreis und von Reduktionen in der Anzahl an notwendigen Ladepunkten im Depot und auf der Strecke inkl. der erforderlichen Netzanschlussleitung
- › Die jährlichen Mehrkosten (ohne Förderung) für den Einsatz von **50 BZ-Bussen reduzieren sich auf ca. + 19 %**, für den Einsatz von **100 BZ-Bussen auf ca. + 13 %** im Vergleich zur Referenztechnologie.
- › Bei einem Einsatz von 50 BZ-Bussen kann die notwendige Ladeinfrastruktur im Einsatzgebiet um ca. 50 % reduziert werden, bei 100 BZ-Bussen ist keine weitere Ladeinfrastruktur erforderlich.

Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Betriebshof Gelsenkirchen

- › Eine Elektrifizierung des Betriebshofes Gelsenkirchen ist sowohl mit dem Umsetzungsszenario 1 (100 % Batteriebusse) als auch mit dem Umsetzungsszenario 2 (Mischflotte) möglich.
- › Die jährlichen Mehrkosten liegen für die beiden Umsetzungsszenarien in einem vergleichbaren Rahmen (ca. + 22 % bis ca. + 8 % in Abhängigkeit von der Förderung)
- › Unabhängig vom betrachteten Szenario ist eine optimierte Anordnung der Infrastruktur auf dem Betriebshof (z.B. Ladegeräte auf Dach, kompakte H₂-Tankstelle) erforderlich, um die vorhandenen Flächenkapazitäten einzuhalten. Dafür sind kurz- bis mittelfristig ggf. Umbaumaßnahmen notwendig. Der neue Standort in Bochum (BwB) bietet deutlich mehr Platz und kann mittel- bis langfristig zur Entlastung genutzt werden.

Empfehlung

- › Der Standort Gelsenkirchen bietet sich gut für eine Fortführung der Elektrifizierung mit reinen Batteriebussen an.
- › Eine Entscheidung zur Einführung einer zweiten Technologie (Brennstoffzelle) muss heute nicht getroffen werden. Zunächst sollte die Elektrifizierung mit reinen Batteriebussen vorangetrieben werden.
- › In der Zwischenzeit können der Markt, die Erfahrungen Dritter und auch die lokalen Aktivitäten weiter analysiert und bewertet werden. Eine öffentliche H₂-Tankstelle kann die Einführung der ersten BZ-Bussen vereinfachen und perspektivisch als Redundanz zur eigenen Infrastruktur dienen.

Betriebshof Bochum

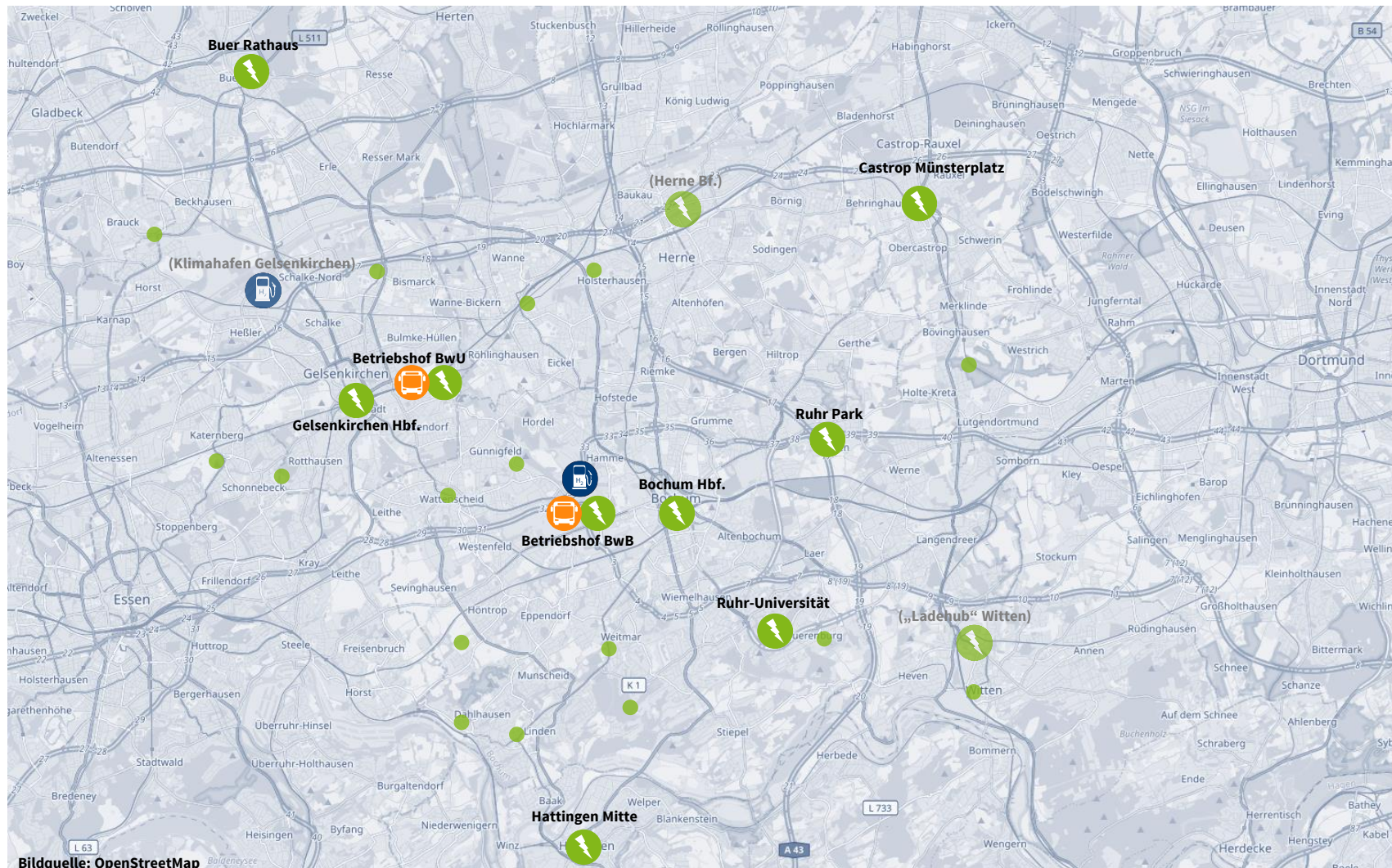
- › Eine Elektrifizierung am zukünftigen Standort Bochum ist sowohl mit dem Umsetzungsszenario 1 (100 % Batteriebusse) als auch mit dem Umsetzungsszenario 2 (Mischflotte) möglich.
- › Die jährlichen Mehrkosten der Umsetzungsszenarien liegen in einem vergleichbaren Rahmen (ca. + 22 % bis ca. + 6 % abhängig von der Förderung), mit geringer Tendenz hin zum Umsetzungsszenario 1 (100 % Batteriebusse).
- › Das Umsetzungsszenario 2 (Mischflotte) reduziert den betrieblichen und infrastrukturellen Aufwand (an der Strecke) gegenüber Umsetzungsszenario 1. Durch die Einführung einer größeren Anzahl an Fahrzeugen (z.B. 50 Busse) können die jährlichen Mehrkosten reduziert werden. Lokale H₂-Aktivitäten (Stadtwerke Bochum, Klimahafen Gelsenkirchen, zukünftige H₂-Pipeline) bieten Potenzial für attraktive H₂-Preise.

Empfehlung

- › Der neue Betriebshof in Bochum soll technologieoffen geplant werden. Im Gegensatz zu Gelsenkirchen sind bei der Neuplanung eines Elektrobus-Betriebshofes bessere Voraussetzungen für die Einführung von zwei Technologien gegeben.
- › Der parallele Betrieb von zwei Technologien ist kurzfristig aufwendiger, kann jedoch mittel- bis langfristig im Hinblick auf Kraftstoffdifferenzierung, Betriebsstabilität und Flexibilität von strategischer Bedeutung sein
- › Bei der Einführung von BZ-Bussen (Szenario 2) sind 20 Fahrzeuge das Minimum für einen wirtschaftlichen Betrieb. Die Beschaffung einer größeren Anzahl an Fahrzeugen (mind. 50 Busse) ist zu empfehlen, um betriebliche, infrastrukturelle und auch wirtschaftliche Aufwände zu optimieren.

Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

„Vision“ BOGESTRA 2040



-  **Betriebshof BOGESTRA**
 -  **Ladeinfrastruktur**
(● potenzielle weitere LIS)
 -  **Wasserstofftankstelle**
- › Zwei zentrale E-Bus-Betriebshöfe in Gelsenkirchen und Bochum
 - › Ca. 20 – 30 Ladepunkte entlang der Strecke, zusätzlich im Depot
 - › 1 zentrale Wasserstofftankstelle
 - › Über 250 E-Busse (Batterie und Brennstoffzelle)
 - › Über 1,7 Mio. Tonnen lokale CO₂-Einsparung pro Jahr



**Ingenieurbüro für Brennstoffzelle,
Wasserstofftechnologie und Elektromobilität**

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

... damit Ihre Energiewende gelingt!

Bjarne Heidelberg

Fon +49 (0)221 29 26 95 – 224

Fax +49 (0)221 29 26 95 – 229

bhe@emcel.com

Nicolò Queirazza

Fon +49 (0)221 29 26 95 – 213

Fax +49 (0)221 29 26 95 – 229

nq@emcel.com

EMCEL GmbH

Am Wassermann 28a

50829 Köln

www.emcel.com

EMCEL GmbH

Am Wassermann 28a
50829 Köln

Die in dieser Präsentation aufgeführten Gedanken, Ideen und Aktionen sind in ihrer Gesamtheit, sowie einzeln und in jeder daraus abgeleiteten Form geistiges Eigentum der EMCEL GmbH und unterliegen den geltenden Urhebergesetzen.

Die Verwirklichung von Ideen und Ideenansätzen ist nur mit vorheriger vertraglicher Vereinbarung mit dem Rechteinhaber möglich.

Die ganze oder teilweise Vervielfältigung sowie jede Weitergabe an Dritte ist nicht gestattet. Der Empfänger dieser Unterlagen haftet bei unberechtigter Verwendung oder Weitergabe an Dritte für daraus entstehenden Schaden.

Dem Empfänger werden durch die Überlassung der Unterlagen keine Nutzungsrechte eingeräumt. EMCEL GmbH widerspricht durch die Überlassung der Unterlagen ausdrücklich einer wirtschaftlichen Verwertung durch den Empfänger. EMCEL GmbH behält sich in jedem Fall der Zuwiderhandlung die Geltendmachung von Schadensersatzansprüchen vor.

Der Empfänger dieser Unterlagen bestätigt durch Entgegennahme der Unterlagen absolute Vertraulichkeit und absolutes Stillschweigen über die darin genannten Ideen und Vorschläge zu wahren.

Alle angegebenen Preise sind als Richtpreise zu verstehen. Die Preise sind derzeit am Markt üblich. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass den angegebenen Preisen keine spezifischen Angebote mit einem detaillierten Lastenheft zugrunde liegen. (Stand April 2024)

Anhang

Betriebshof Gelsenkirchen (BwU) – Annahmen – Szenario 1 (100 % Batteriebusse)

Parameter	Technologie	
Fahrzeug	Batterie	Diesel
Durchschnittliche Fahrleistung Bus pro Tag [km]	ca. 200	ca. 200
Fahrzeugpreis ¹ Solobus 12m [€]	611.500	312.000
Fahrzeugpreis ¹ Gelenkbus 18m [€]	818.00	420.000
Nutzungsdauer Fahrzeug [Jahre]	10	10
Wartungskosten [€/km]	0,30	0,33
Infrastruktur¹		
Kosten Ladeinfrastruktur Depot [€ / Bus]	ca. 60.000	-
Sonstige Kosten Ladeinfrastruktur Depot ² [€]	6.900.000 €	-
Kosten Umbaumaßnahmen (Abstellhalle, Brandschutz, etc.)	?	-
Kosten Ladeinfrastruktur Strecke [€ / Ladepunkt]	300.000 €	-
Energiekosten¹		
Diesel [€/l]	-	2,00
Strom [€/kWh]	0,40	-
Wasserstoff [€/kg]	-	-
Personalkosten		
Anzahl Fahrer pro Bus	2,6 Fahrer	

› inkl. Werkstattertüchtigung, Schulung, Batteriewechsel über die Lebenszeit, THG-Prämie, bereits beschaffter Batteriebusse und Ladeinfrastruktur

Parameter	Technologie		
Fahrzeug	Batterie	Brennstoffzelle	Diesel
Durchschnittliche Fahrleistung Bus pro Tag [km]	ca. 170	ca. 310	ca. 200
Fahrzeugpreis ¹ Solobus 12m [€]	611.500	630.000	312.000
Fahrzeugpreis ¹ Gelenkbus 18m [€]	818.00	840.000	420.000
Nutzungsdauer Fahrzeug [Jahre]	10	10	10
Wartungskosten [€/km]	0,30	0,33	0,33
Infrastruktur ¹			
Kosten Ladeinfrastruktur Depot [€ / Bus]	ca. 40.000	-	-
Sonstige Kosten Ladeinfrastruktur Depot ² [€]	6.400.000 €	-	-
Kosten Umbaumaßnahmen (Abstellhalle, Brandschutz, etc.)	?	?	-
Kosten Ladeinfrastruktur Strecke [€ / Ladepunkt]	300.000 €	-	-
Kosten Wasserstoffinfrastruktur [€]	-	Über H ₂ -Preis (öffentliche Tankstelle)	-
Energiekosten ¹			
Diesel [€/l]	-	-	2,00
Strom [€/kWh]	0,40	-	-
Wasserstoff [€/kg]	-	9	-
Personalkosten			
Anzahl Fahrer pro Bus	2,6 Fahrer		

Betriebshof Bochum (BwB) – Annahmen – Szenario 1 (100 % Batteriebusse)

Parameter	Technologie	
Fahrzeug	Batterie	Diesel
Durchschnittliche Fahrleistung Bus pro Tag [km]	ca. 230	ca. 230
Fahrzeugpreis ¹ Solobus 12m [€]	611.500	312.000
Fahrzeugpreis ¹ Gelenkbus 18m [€]	818.00	420.000
Nutzungsdauer Fahrzeug [Jahre]	10	10
Wartungskosten [€/km]	0,30	0,33
Infrastruktur¹		
Kosten Ladeinfrastruktur Depot [€ / Bus]	ca. 40.000	-
Sonstige Kosten Ladeinfrastruktur Depot ¹ [€]	10.000.000 €	-
Kosten Planung und Bau neuer Betriebshof	?	-
Kosten Ladeinfrastruktur Strecke [€ / Ladepunkt]	300.000 €	-
Energiekosten¹		
Diesel [€/l]	-	2,00
Strom [€/kWh]	0,40	-
Wasserstoff [€/kg]	-	-
Personalkosten		
Anzahl Fahrer pro Bus	2,6 Fahrer	

› inkl. Werkstatteertüchtigung, Schulung, Batteriewechsel über die Lebenszeit, THG-Prämie, bereits beschaffter Batteriebusse und Ladeinfrastruktur

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Betriebshof Bochum (BwB) – Annahmen – Szenario 2 (Mischflotte)



Parameter	Technologie		
Fahrzeug	Batterie	Brennstoffzelle	Diesel
Durchschnittliche Fahrleistung Bus pro Tag [km]	ca. 210	ca. 250	ca. 230
Fahrzeugpreis ¹ Solobus 12m [€]	611.500	630.000	312.000
Fahrzeugpreis ¹ Gelenkbus 18m [€]	818.00	840.000	420.000
Nutzungsdauer Fahrzeug [Jahre]	10	10	10
Wartungskosten [€/km]	0,30	0,33	0,33
Infrastruktur ¹			
Kosten Ladeinfrastruktur Depot [€ / Bus]	ca. 40.000	-	-
Sonstige Kosten Ladeinfrastruktur Depot ² [€]	135 DL: 9.000.000 € 105 DL: 8.000.000 € 55 DL: 5.000.000 €	-	-
Kosten Planung und Bau neuer Betriebshof	?	?	-
Kosten Ladeinfrastruktur Strecke [€ / Ladepunkt]	300.000 €	-	-
Kosten Wasserstoffinfrastruktur [€]	-	20 BZ-Busse: 7.000.000 50 BZ-Busse: 9.000.000 100 BZ-Busse: 12.000.00	-
Energiekosten ¹			
Diesel [€/l]	-	-	2,00
Strom [€/kWh]	0,40	-	-
Wasserstoff [€/kg]	-	20 BZ-Busse: 7 50 BZ-Busse: 6,50 100 BZ-Busse: 5	-
Personalkosten			
Anzahl Fahrer pro Bus	2,6 Fahrer		

¹ Es handelt sich um Netto-Preise ² inkl. Erweiterung der Netzanschlussleistung und Maßnahmen auf dem Betriebshof, z.B. Trafo, Kabel, Tiefbau etc.