

Expertenrunde 5
Neue Mobilitätskonzepte

Technische, betriebliche und wirtschaftliche Aspekte bei der Dekarbonisierung des Bus-ÖPNV

eMOKON MKK
16. Juni 2023



...zurück in die Zukunft?



Für Sie heute vor Ort in Bad Soden-Salmünster - wir freuen uns auf die gemeinsame Diskussion mit Ihnen!



Jürgen Langwost
Geschäftsführer Technik



eebc European Electrical Bus Company GmbH
Haus Gravener Str. 159
40764 Langenfeld (Niederlassung NRW)
+49 2173 8932 873
+49 172 401 66 55
j.langwost@eebc.gmbh



Felix Krewerth
Senior Associate



PwC Düsseldorf
Georg-Glock-Straße 22
40474 Düsseldorf
+49 211 9814382
+49 160 6200709
felix.krewerth@pwc.com



Unser interdisziplinäres Beratungsteam verfügt über umfassende strategische, technische, betriebliche und wirtschaftliche Expertise



BMWK-Begleitforschung E-Bus

- Einblick und Auswertung anonymisierter Betriebsdaten von rund 60 geförderten E-Bus-Projekten
- umfassende Marktinformationen zum Fahrzeugangebot und -kosten

Strategische Beratungsprojekte für Verkehrsunternehmen und Aufgabenträger

- Vielzahl erfolgreicher strategischer Beratungsprojekte zur Einführung von E-Bussen bei Verkehrsunternehmen unterschiedlicher Größe
- ganzheitliche Betrachtung strategischer, technischer, betrieblicher, kaufmännischer (und rechtlicher) Aspekte
- Entwicklung eines landesweiten E-Bus-Beratungskonzepts für den Freistaat Sachsen
- Fördermittelberatung

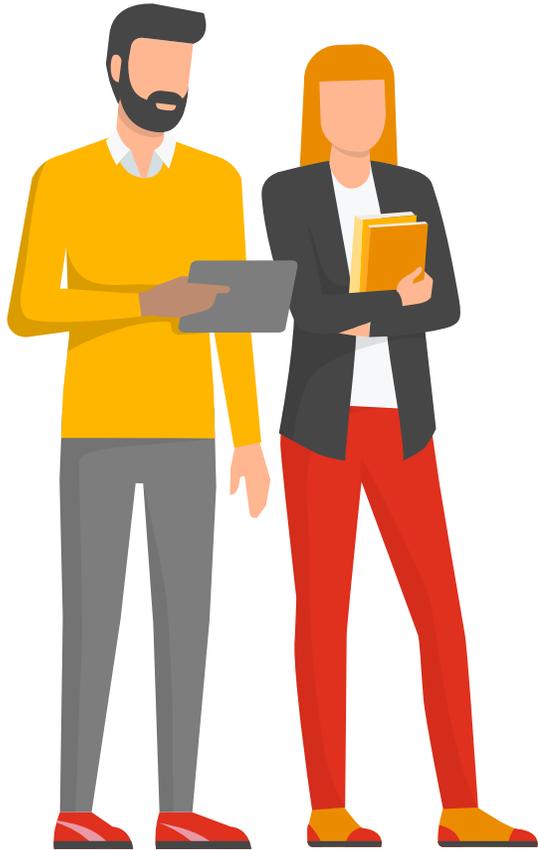
Betriebswirtschaftliche und strategische Beratung im ÖPNV und ÖSPV

- Verkehrs- und Mobilitätskonzepte für Städte und Ministerien
- Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (elektrifizierter) Linienbündel
- betriebswirtschaftliche Prüfungen und Benchmarkingkreise für großstädtische Busunternehmen

Erfahrung aus Forschung, Entwicklung und Projektumsetzung

- patentierter Ladealgorithmus für kostenoptimierte Ladesysteme
- jahrelange Erfahrung in der realen Umsetzung von E-Bus-Projekten

Agenda



1

Technische Aspekte



2

Rechtliche, strategische und wirtschaftliche Aspekte



3

Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Es existieren grundsätzlich verschiedene Antriebstechnologien für alternativ angetriebene Busse

Elektrobusse (EV)

Batteriebus (BEV)

- Voll-lader/Depot-lader (Overnight-Charging)
- Gelegenheits-lader (Opportunity Charging)



Brennstoffzellenbus (FCEV)

- BZ-Hybridbus
- BZ-Range Extender



Oberleitungsbus

- Voll-O-Bus
- Hybrid-O-Bus



Plug-In-Hybridbus (PHEV)

- Diesel-Hybridbus seriell/parallel
- Erdgas-Hybridbus seriell/parallel



Fossile Brennstoffe

Gasbus

- Erdgas (CNG)
- Flüssiggas (LPG)*



Jede Technologie funktioniert und ist einsetzbar für jeden Verkehrsbetrieb – aber was sind die notwendigen Änderungen im Betrieb und wie hoch sind die Mehrkosten?

Es sind viele Aspekte im strategischen Ansatz zu beachten



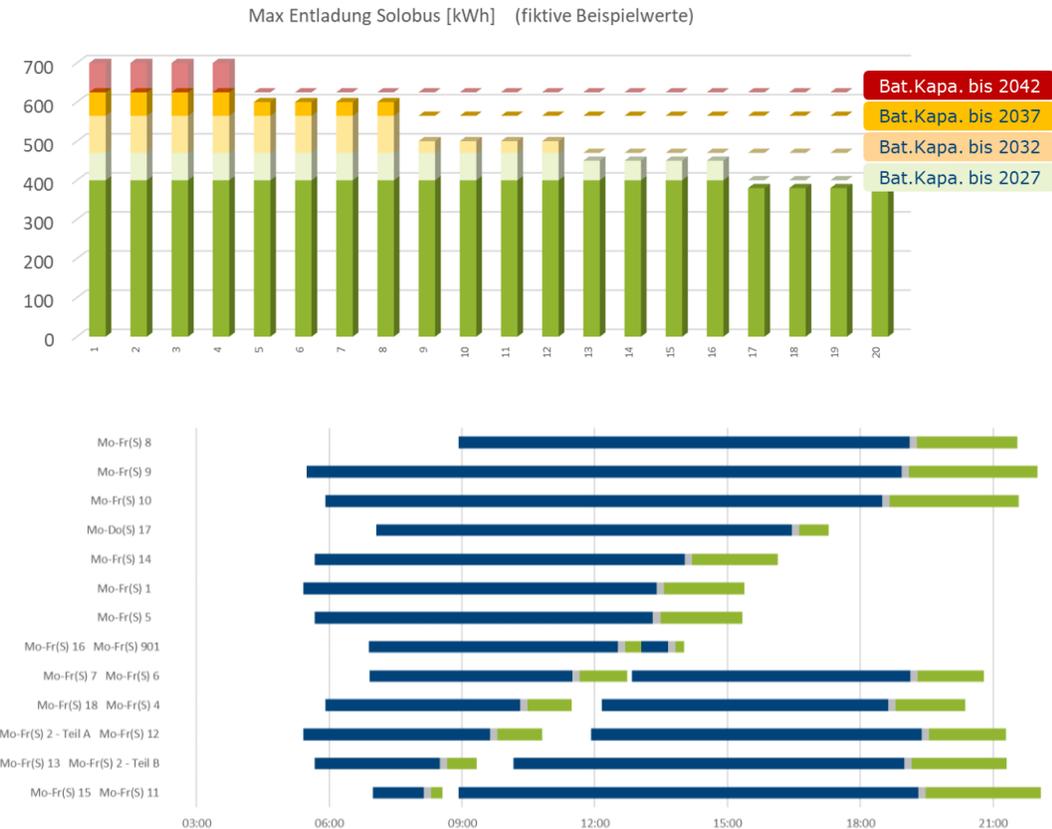
Fahrzeugumläufe – Reichweite und Einsatz

Reicht der Energieinhalt der Batterie bzw. des H₂-Tanks aus, um die bestehenden Umläufe zu betreiben?

- Sowohl Batterie- als auch Brennstoffzellenbusse haben eine deutlich geringere Reichweite als Dieselbusse
- Berechnung der benötigten Energiemenge, abhängig vom Fahrprofil und der Topographie
- Untersuchung, ob an Endhaltestellen etc. nachgeladen werden kann

Können die Fahrzeuge wie bisher eingesetzt werden?

- Berücksichtigung verlängerter Tankzeiten bzw. Ladezeiten
- Fahrzeugumläufe müssen ggf. angepasst werden an techn. Grenzen
- Ggf. Fahrzeug- und Personalmehrbedarf bestimmen



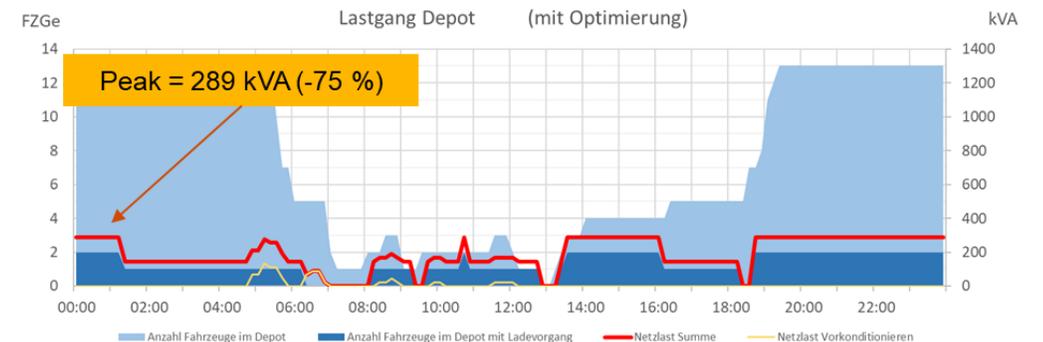
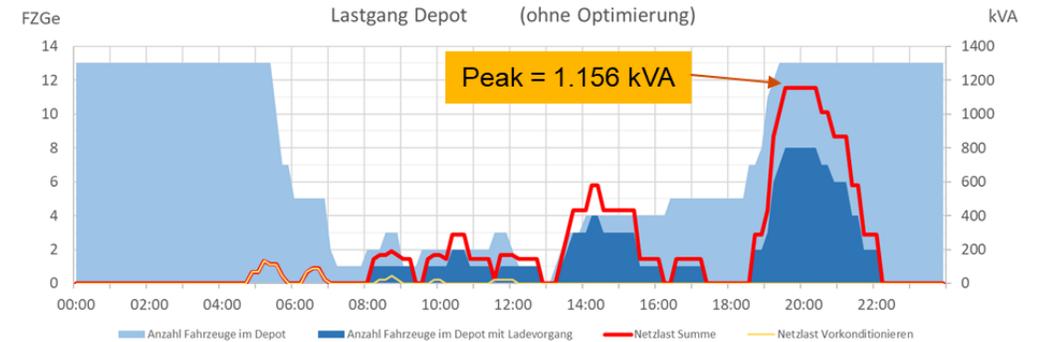
Energiebedarf und -Bereitstellung

In den Betriebspausen muss nachgeladen werden

- Wann muss welches Fahrzeug geladen werden?
- Wie viel Zeit steht zur Nachladung zur Verfügung?
- Wie viele Fahrzeuge müssen gleichzeitig geladen werden?
- Wie kann die Leistungsaufnahme minimiert werden?

Die Energie muss bereitgestellt werden

- Gespräch mit Netzbetreiber / Auslegung Transformatoren
- Dimensionierung der Ladeinfrastruktur
- Planung des schrittweisen Ausbaus der Ladeinfrastruktur
- Auslegung unter den Prämissen Kosten, Flexibilität, Verfügbarkeit



Ladeinfrastruktur

Wie lade ich mein Fahrzeug?

- Mit Stecker oder Pantograph
- Zuführung des Kabels von unten oder oben

Wie lade ich meine Flotte?

- Ladeinfrastruktur für Flotten muss mehr können als eine Ansammlung einzelner Ladestationen
- Maximierung des Ausnutzungsgrads der teuren Elektronik
- Platzsparender Aufbau der Ladepunkte
- Nacheinander laden, aber fast gleichzeitig alle Fahrzeuge vorheizen

Was für Software brauche ich?

- Lademanagement für Lastminimierung und Vorheizen
- Energiemanagement-Systeme für Einkauf des Stroms, netzdienliches Laden, Ausnutzung kostengünstiger Tarife



Bei der Erarbeitung einer Dekarbonisierungsstrategie berücksichtigen wir ganzheitlich technische, betriebliche, rechtliche und wirtschaftliche Aspekte

Analyse des Status Quo

technisch, betrieblich

- Umläufe
- Liniencharakteristika
- Betriebshöfe



strategisch, wirtschaftlich

- rechtl. Rahmenbedingungen
- Fuhrpark / Beschaffung
- betriebswirts. Rahmenbedingungen



Erarbeitung einer Dekarbonisierungsstrategie

Erarbeitung Technologiestrategie

- Gegenüberstellung möglicher Antriebstechnologien
- technologieine Lösungen vs. Technologiemix
- Abschätzung Zukunftsfähigkeit, technologische Entwicklungen
- Ableitung vorzugswürdige(r) Antriebstechnologie(n) als Grundlage für technische Ausarbeitung



Erarbeitung kommerzielle Transformationsstrategie

- Ableitung der Auswirkung bestehender gesetzlichen Vorgaben
- Bewertung und Einschätzung rechtlicher Entwicklungen
- Erstellung und Bewertung möglicher Transformationspfade
- Betrachtung möglicher Beschaffungs- und Betreibermodelle
- integrierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Nutzenbewertung



Ausarbeitung einer passgenauen Umsetzungsstrategie und Maßnahmenplan



Das SaubFahrzeugBeschG bzw. die CVD sind derzeit maßgeblich für die Beschaffung von Fahrzeugen bzw. Verkehrsleistung, eine Anschlussregelung ist in Sicht (2030+)

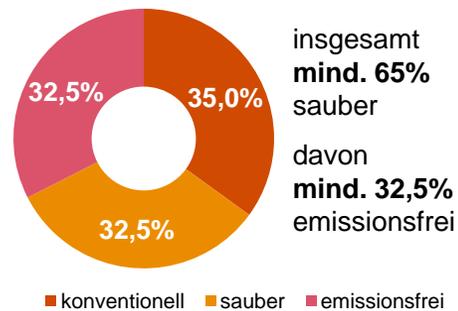
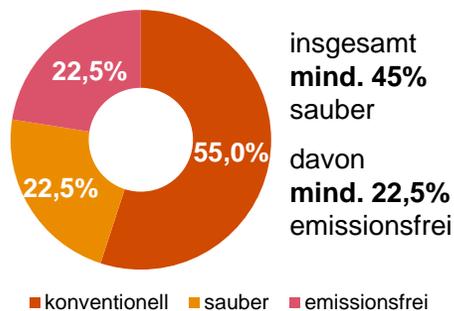
Jahre 2021 - 2030

Die Clean Vehicles Directive (CVD) gibt Quoten für die Beschaffung von E-Bussen vor

- für öffentliche Aufträge und Beschaffungsvorhaben (Zuschlag nach 2. August 2021)
- Busse: aktuell nur für Fahrzeuge Klasse M₃ Klasse I und A – „Stadtbusse“
- **auch die Fahrzeugklassen M1, M2 und N1, N2 betroffen!**

2. August 2021 bis Ende 2025

2026 bis 2030



Sektorenauftraggeber → Fahrzeugbeschaffung
Aufgabenträger → Fahrzeugeinsatz

Jahre nach 2030

Der Koalitionsbeschluss zum Modernisierungspaket für Klimaschutz und Planungsbeschleunigung mit Anschlussregelung für das SaubFahrzeugBeschG nach 2030

emissionsfreie Busse und öffentliche Fuhrparks

Änderung der Vorgaben des SaubFahrzeugBeschG

1. ausschließliche **Beschaffung „bilanziell emissionsfreier Fahrzeuge“** (insb. Nahverkehrs-Busse) im Rahmen der öffentlichen Auftragsvergabe **ab 2030**
2. **Verlängerung** der bestehenden Förderung klimaneutraler Busse einschl. Infrastrukturen **bis 2028**

+

Verbesserung des ÖPNV

Ausbau- und Qualitätsoffensive ÖPNV

1. **Ausbau** des ÖPNV-Angebots, besonders im **suburbanen und ländlichen Raum** in Folge der **Nachfragesteigerung** durch die Einführung des Deutschlandtickets
2. **Bereitstellung erheblicher Finanzmittel** für **Investitionen** und den **Betrieb** in den kommenden Jahren

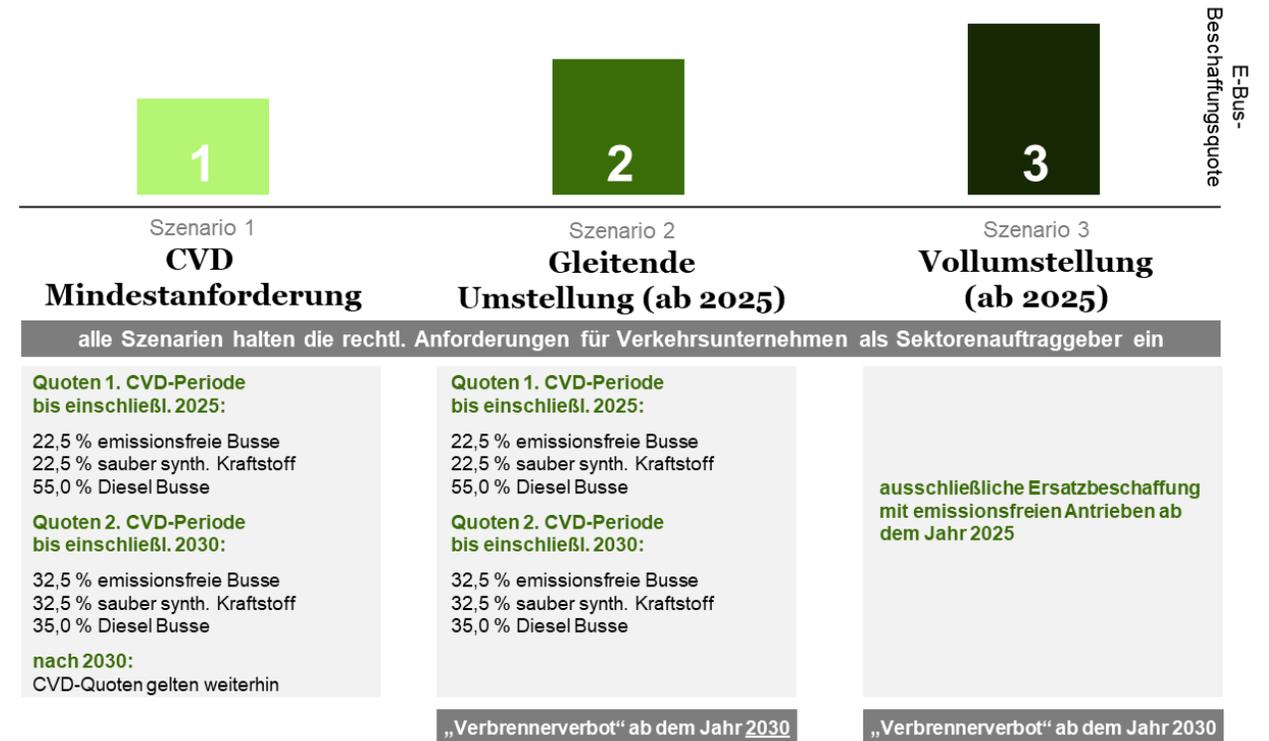
Die rechtlichen Rahmenbedingungen an die Fahrzeugbeschaffung sind Grundlage für die Erstellung der Transformationspfade aus Sicht der Sektorenauftraggeber

Inhalte/Methodik/Vorgehensweise

- strukturierte Erhebung des Fuhrparks, nach:
 - Fahrzeugtyp, Antriebsart, Schadstoffklasse
 - Alter/voraussichtliche Ausflottung
 - weitere relevante Infos (z. B. Förderung und Zweckbindung, Treibstoffverbrauch)
- Analyse der Fuhrparkstruktur
- Ableitung eines Beschaffungsplans **inkl. Auftragsunternehmer**
- Rückkopplung mit Infrastrukturausbau

Ergebnisse/Ziele

- Darstellung möglicher Migrationspfade in verschiedenen Szenarien
- Auswahl „Flottentransformationsszenario“

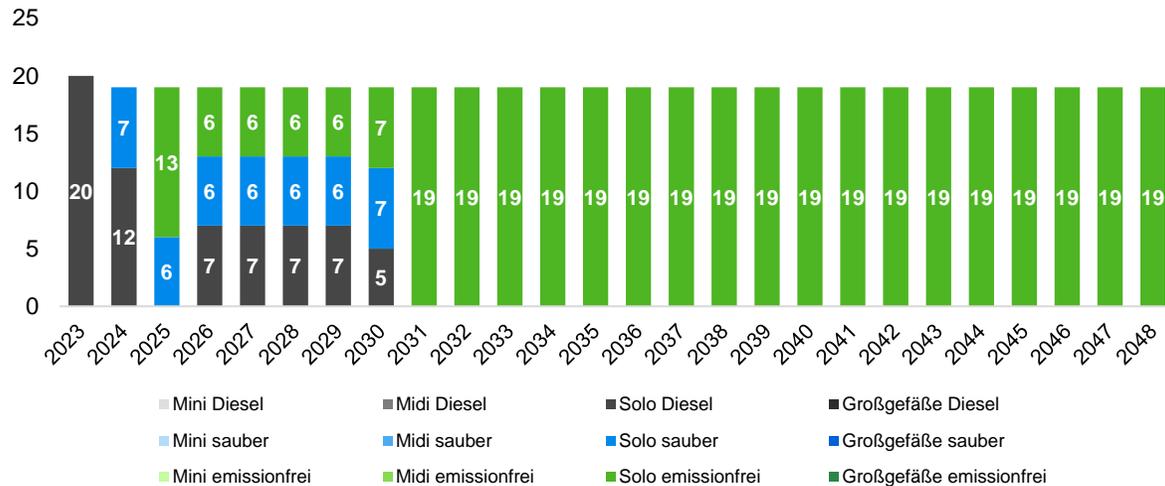


Die gleitende Beschaffungsplanung in Szenario 2 führt bereits frühzeitig zu einem Anteil sauberer und emissionsfreier Busse im Fuhrpark

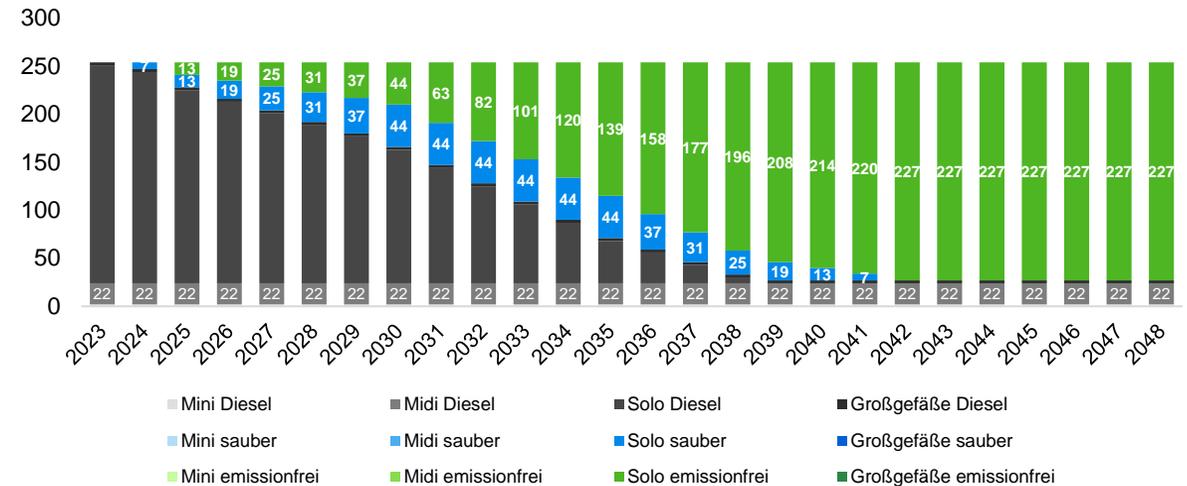
Sicht Verkehrsunternehmen als Sektorenauftraggeber

Beispiel - Szenario 2

Beschaffungsplanung Szenario 2 - Gleitende Umstellung ab 2025



Fuhrparkentwicklung Szenario 2 - Gleitende Umstellung ab 2025

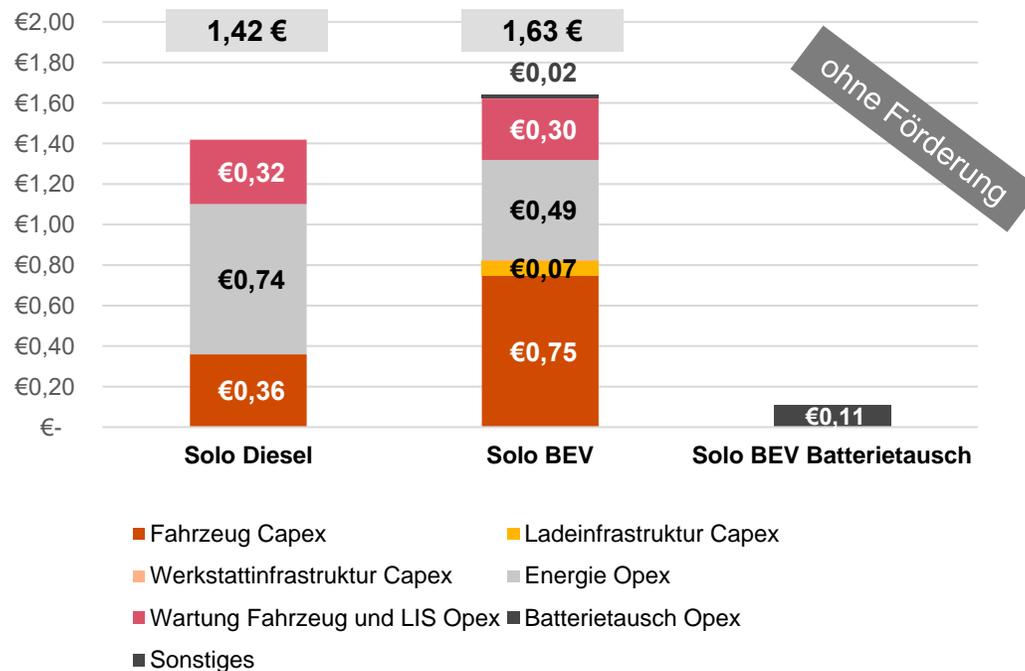


- Szenario 2 befolgt die CVD-Richtlinien für den gesamten Fuhrpark (M3 Klasse I und II) eines Regionalverkehrsunternehmens und stellt damit eine **Übererfüllung** der gesetzlichen Anforderungen dar, ist zugleich aber auch ein **Beitrag zur Emissionseinsparung**
- erste **saubere Fahrzeuge** (z. B. mit GTL-Betankung) ab dem Jahr 2024, **emissionsfrei** ab 2025

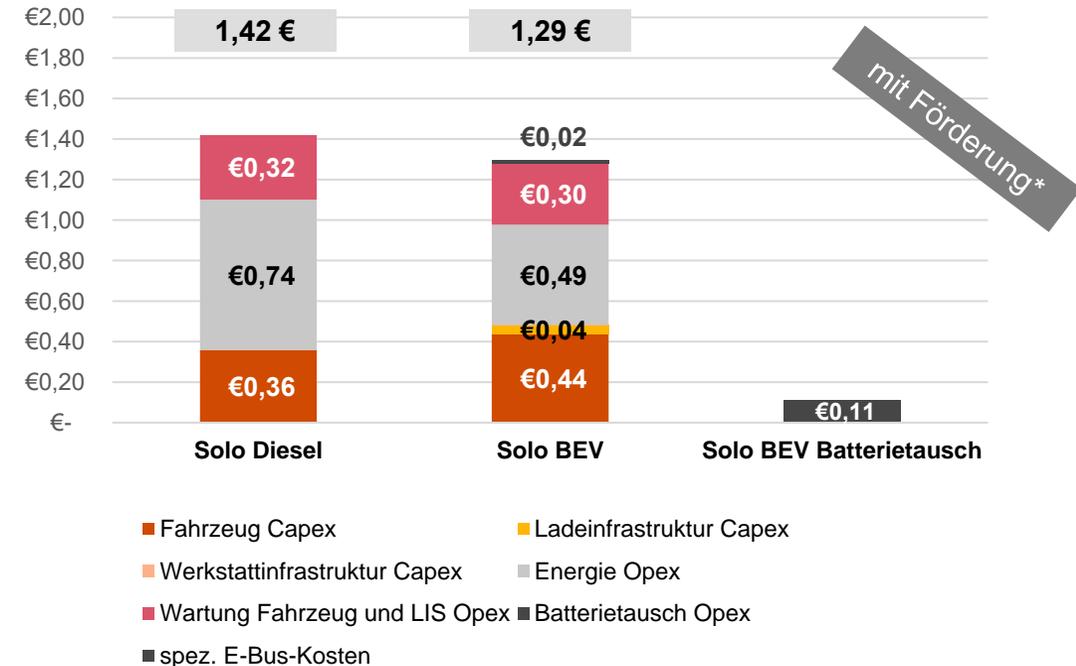
- im Jahr 2030 besteht die Flotte entsprechend zu 40 % aus sauberen und emissionsfreien Solo-Bussen
- die **vollständige Umstellung** auf rein emissionsfreie wird erst in 2042 erreicht, wenn auch die sauberen Aggregate wieder ausgeflottet sind

Die TCO-Analyse dient der Bewertung der fahrzeugbezogenen Investitions- und Betriebskosten unterschiedlicher Antriebsarten und Gefäßgrößen

Total Costs of Ownership nach Antriebsarten Solobusse
 Basisjahr 2023 (€/km, Basis: 60.000 Wagen-km p.a.,
 12 Jahre Nutzungsdauer), ohne Förderung



Total Costs of Ownership nach Antriebsarten Solobusse
 Basisjahr 2023 (€/km, Basis: 60.000 Wagen-km p.a.,
 12 Jahre Nutzungsdauer), mit Förderung



*Berücksichtigung der Förderquoten- und -bedingungen der aktuellen Bundesförderung (BMDV)

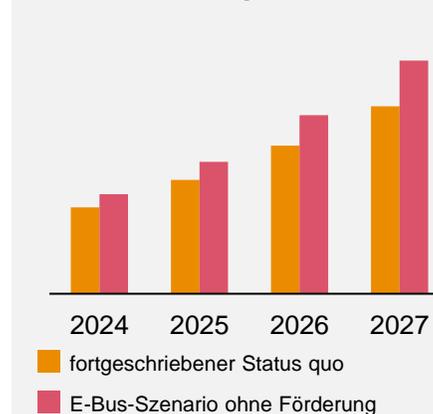
Der PwC-Green-Mobility-Calculator ermöglicht die ganzheitliche Ermittlung der wirtschaftlichen und umweltschutzseitigen Effekte

Aktivitäten und Ziele

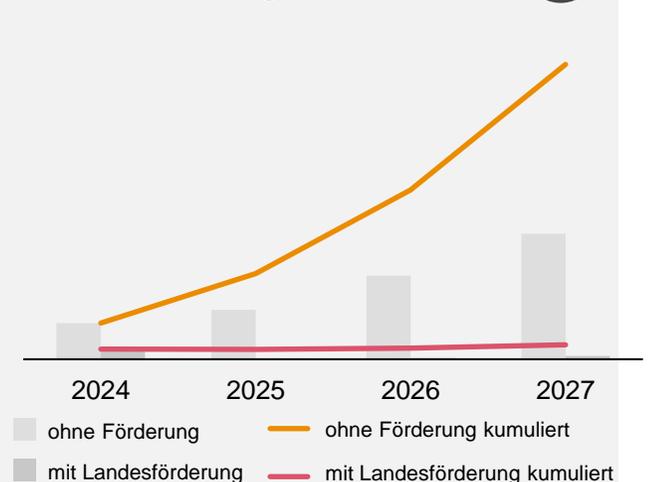
- Ermittlung der mit der Umstellung auf alternative Antriebe **verbundenen Kosten** (Fahrzeuge, Infrastruktur, Energiebezug, Wartungs- und Instandhaltung, Reinvestition, Personal, Übergangszeit/Doppelaufwand etc.)
- Berücksichtigung relevanter **Förder- und Finanzierungsprogramme** (EU, Bund, Land, Potentiale des THG-Quotenhandels)
- Darstellung der **Auswirkungen der Umstellung auf Umwelt- und Klimaschutz** (vor Ort)



Aufwendungen des fortgeschriebenen Status quo und der Umstellung ohne Förderung



Mehraufwendungen durch E-Bus-Einführung



Zusammenfassung und Ausblick

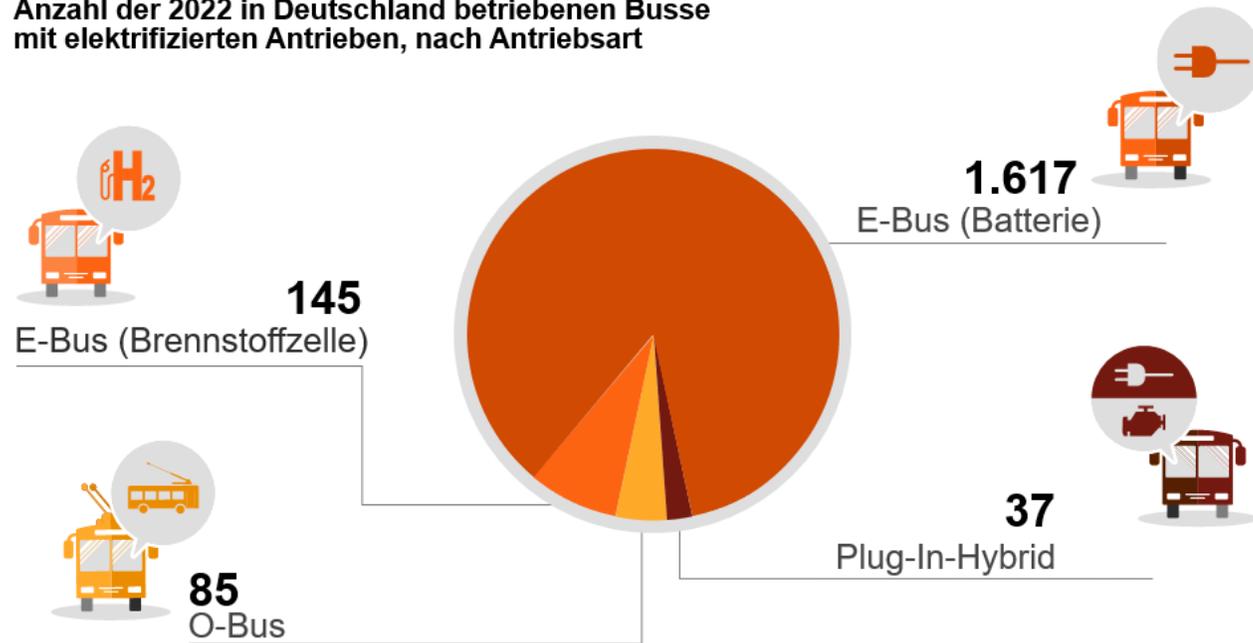
Die Dekarbonisierung des Bus-ÖPNV ...

- 1 ... muss **technisch machbar** sein (z. B. Energiebereitstellung, ausreichende Reichweiten)
- 2 ... muss **wirtschaftlich darstellbar** sein (d. h. Dekarbonisierung der Busflotte darf nicht zu Angebotskürzung führen)
- 3 ... soll möglichst zu **keinem Fahrpersonalmehrbedarf** führen – bereits jetzt existiert ein Mangel an Fahrpersonal
- 4 ... muss die gegebenen **infrastrukturellen Voraussetzungen berücksichtigen**
- 5 ... muss die **Einhaltung der rechtlichen Anforderungen (CVD)** fokussieren



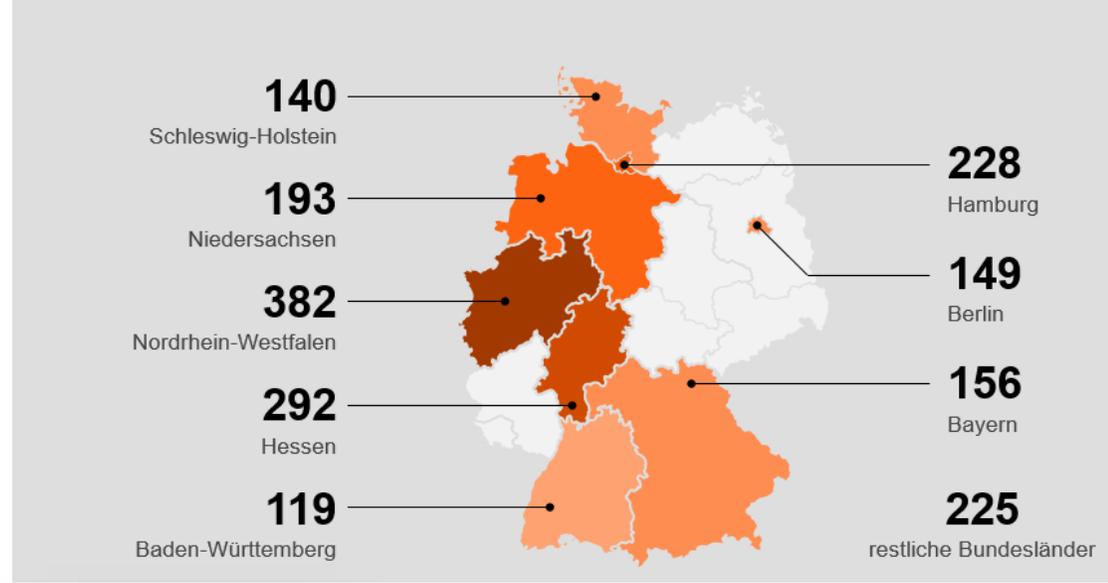
Das Jahrzehnt des E-Busses nimmt Fahrt auf!

Anzahl der 2022 in Deutschland betriebenen Busse mit elektrifizierten Antrieben, nach Antriebsart



Quelle: PwC E-Bus-Radar 2023

Top 8 Bundesländer nach Anzahl der betriebenen Busse mit elektrifizierten Antrieben



E-BUS-RADAR HESSEN 2022
Einsatz von Bussen mit elektrischem Antrieb im ÖPNV

HessenAgentur
HA Hessen Agentur GmbH

Immer mehr E-Busse in Hessen

<https://www.hessen-agentur.de/news/immer-mehr-e-busse-in-hessen-2023>

Ihre Ansprechpartner



Jürgen Langwost
Geschäftsführer Technik



eebc European Electrical Bus Company GmbH
Haus Gravener Str. 159
40764 Langenfeld (Niederlassung NRW)
+49 2173 8932 873
+49 172 401 66 55
j.langwost@eebc.gmbh



Felix Krewerth
Senior Associate



PwC Düsseldorf
Georg-Glock-Straße 22
40474 Düsseldorf
+49 211 9814382
+49 160 6200709
felix.krewerth@pwc.com



Maximilian Rohs
Senior Manager

PwC Düsseldorf
Georg-Glock-Straße 22
40474 Düsseldorf
+49 211 9814252
+49 170 2210268
maximilian.rohs@pwc.com



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



© 2023 PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft.

Alle Rechte vorbehalten. "PwC" bezeichnet in diesem Dokument die PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, die eine Mitgliedsgesellschaft der PricewaterhouseCoopers International Limited (PwCIL) ist. Jede der Mitgliedsgesellschaften der PwCIL ist eine rechtlich selbstständige Gesellschaft.