

# Studie „Alternative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV im Main-Kinzig-Kreis“

**Abschlussdokumentation**

Kreisverkehrsgesellschaft Main-Kinzig mbH (KVG)

WBS: DEE00089855.1.1



# Inhalt

**1** Auftrag und Auftragsdurchführung

**2** Vorgehensweise

**3** **LB 1:** Technikübersicht

**4** **LB 2:** Fördermöglichkeiten

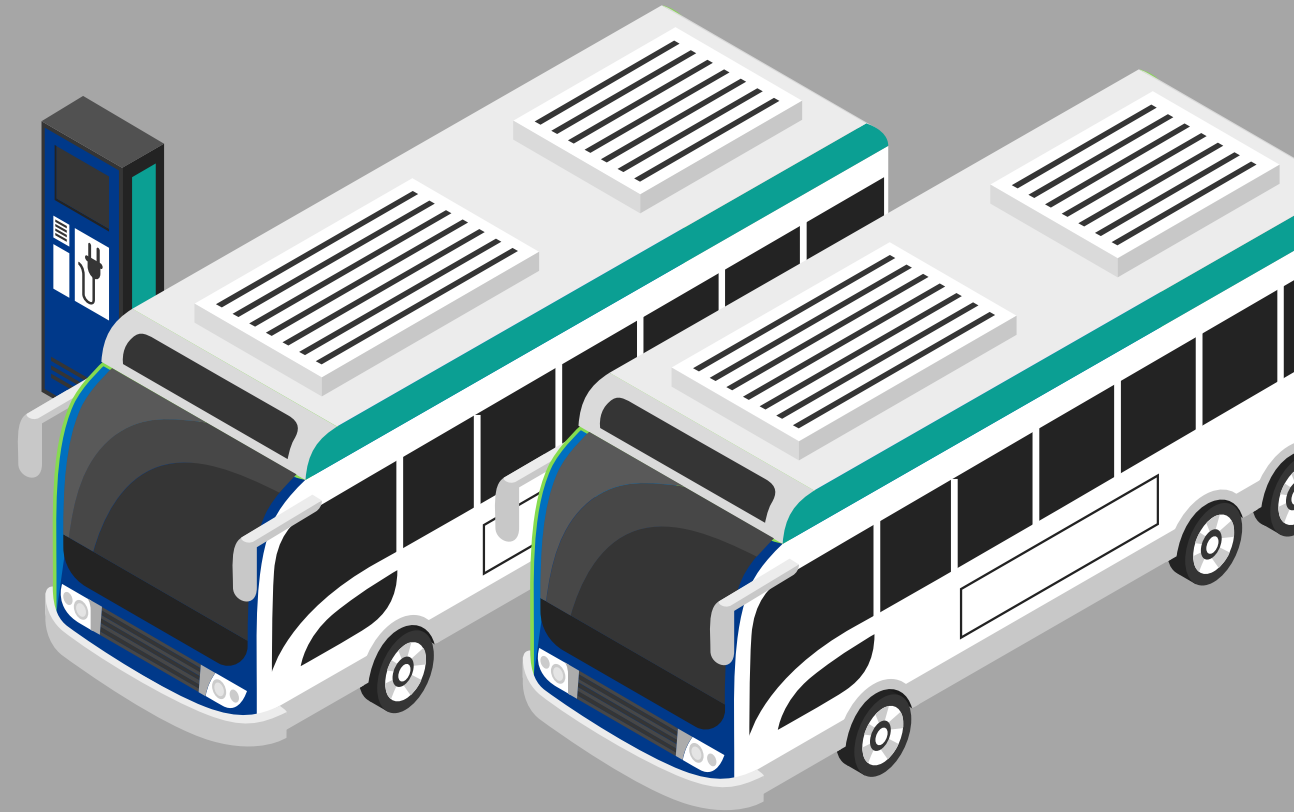
**5** **LB 3:** Status Quo ÖPNV MKK

**6** **LB 4:** Konzeptionelle Möglichkeiten

**7** **LB 5:** Maßnahmenplan

# 1

# Auftrag und Auftragsdurchführung



# Auftrag und Auftragsdurchführung

## Unser Auftrag DEE00089855.1.1

---

Mit Schreiben vom 1. Dezember 2022 hat uns die

**Kreisverkehrsgesellschaft Main-Kinzig mbH**

(im Folgenden kurz die „KVG“ genannt)

beauftragt, die Einführung von emissionsfreien Antrieben für den ÖPNV im Main-Kinzig-Kreis im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu untersuchen.

Die Auftragsbearbeitung erfolgte in den Monaten Dezember 2022 bis Juli 2024 auf Grundlage der uns von der KVG zur Verfügung gestellten Daten.

Düsseldorf, den 1. Juli 2024

PricewaterhouseCoopers GmbH  
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft



Maximilian Rohs  
Director



ppa. Hendrik Reinhardt

# Auftrag und Auftragsdurchführung

## Ausgangslage (1/5)

---

Der Main-Kinzig-Kreis („MKK“) ist ein Flächenlandkreis im Regierungsbezirk Südhessen, bestehend aus 29 Kommunen auf einer Gesamtfläche von 1.400 km<sup>2</sup> mit insgesamt 423.000 Einwohnern (mit Stand Dezember 2021). Einen Sonderstatus besitzt die kreisangehörige Stadt Hanau mit rund 98.000 Einwohnern auf einer Fläche von 76,5 km<sup>2</sup>, für die ein eigener Nahverkehrsplan gilt, der durch die *Lokale Nahverkehrsgesellschaft* („LNO“) der Stadt Hanau erstellt wurde. Das Kreisgebiet ist Teil des *Rhein-Main-Verkehrsverbundes* („RMV“), vollständig in dessen Verbundtarif integriert und umfasst regionale Schienenverkehrsangebote sowie regionale Buslinien, welche sich in der Zuständigkeit des RMV befinden.

Der MKK ist der zuständige ÖPNV-Aufgabenträger in seinem Kreisgebiet. Als für die Planung, Finanzierung und Organisation des öffentlichen Nahverkehrs des MKK im RMV zuständige Regieorganisation wurde am 1. Oktober 1994 die *Kreisverkehrsgesellschaft Main-Kinzig mbH* („KVG“) gegründet. Als hundertprozentige Tochtergesellschaft des Kreises nimmt sie dessen Interessen im RMV wahr. In den Aufgabenbereich der KVG fallen insbesondere auch die Erstellung des Nahverkehrsplans im Auftrag des Kreistages des Main-Kinzig, die Beplanung der ÖPNV-Linienbündel zusammen mit den Kommunen und die europaweite Ausschreibung der ÖPNV-Linienbündel. Aktuell werden im ÖPNV auf dem Gebiet des MKK rund 50 Buslinien in zehn Linienbündeln durch verschiedene Verkehrsunternehmen bedient.

# Auftrag und Auftragsdurchführung

## Ausgangslage (2/5)

---

Eine Besonderheit bildet dabei das Busangebot in der Stadt Maintal und angrenzenden Kommunen. Dieses wurde mittels öffentlichem Dienstleistungsauftrag (ÖDA) von der Stadt Maintal direkt an das stadteigene Verkehrsunternehmen *Stadtverkehr Maintal GmbH* vergeben. Im Juli 2020 wurde hier der erste Elektrobus im MKK, gefördert durch das Land Hessen, in Betrieb genommen. Im Oktober 2021 hat die KVG das Leitbild Mobilität verabschiedet. Das Leitbild enthält die übergeordneten Ziele und Strategien mit Schwerpunkt ÖPNV sowie den einbezogenen Schnittstellen. Die öffentliche Mobilität rund um den ÖPNV soll dabei zukunftsfähig, ressourcen- und umweltschonend gestaltet werden.

Die Ambitionen der KVG, die Leistungserbringung noch umweltfreundlicher zu gestalten, wird durch die zum 1. August 2019 von der EU aktualisierte Clean Vehicles Directive (CVD) untermauert. Diese beinhaltet umfangreiche Vorgaben für die öffentliche Beschaffung von sauberen Straßenfahrzeugen. Hierzu zählen auch Busse (ohne Reisebusse) der Fahrzeugklasse M3 (I und A), also Busse, die im öffentlichen Verkehr eingesetzt werden. Die EU verfolgt damit das Ziel, den Beitrag des Verkehrssektors zur Erreichung von Umwelt- und Klimazielen zu verbessern. Die Vorgaben umfassen länderspezifische Quoten als Mindestziele für die öffentliche Auftragsvergabe von Bussen und sind erstmalig anwendbar auf Vergabeverfahren mit einer Bekanntmachung ab dem 2. August 2021. Mit dem Saubere Fahrzeuge Beschaffungsgesetz (SaubFahrzeugBeschG), beschlossen durch den Bundestag am 5. Mai 2021 und mit anschließender Zustimmung des Bundesrates, wurde die CVD schließlich in nationales Recht in Deutschland übertragen.

# Auftrag und Auftragsdurchführung

## Ausgangslage (3/5)

---

Die zeitliche Umsetzung der CVD bzw. des SaubFahrzeugBeschG gliedert sich in zwei Referenzperioden. Referenzperiode 1 bezieht sich auf Vergabeverfahren, deren Beendigung („Zuschlag“) bis zum 31. Dezember 2025 erfolgt, während Vergabeverfahren mit einer Beendigung zwischen dem 1. Januar 2026 und dem 31. Dezember 2030 in die Referenzperiode 2 fallen. Für die beiden Referenzperioden wurden unterschiedliche Beschaffungsquoten hinsichtlich des Anteils von sauberen und emissionsfreien Fahrzeugen an der Gesamtbeschaffung definiert, wie die folgende Abbildung zeigt.

Für Deutschland gilt, dass in der ersten Periode bis Ende 2025 mindestens 45 % der neu zu beschaffenden Fahrzeuge „sauber“ und davon mindestens die Hälfte (22,5 %) „emissionsfrei“ sein müssen. In der zweiten Periode bis Ende 2030 verschärfen sich die Anforderungen auf 65 % bzw. 32,5 %. Während Fahrzeuge bereits als „sauber“ gelten, wenn sie teilweise mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden (z. B. auch dieselbetriebene Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge), müssen „emissionsfreie“ Fahrzeuge weniger als 1g CO<sub>2</sub>/kWh oder weniger als 1g CO<sub>2</sub>/km ausstoßen. Das Kriterium „emissionsfrei“ erfüllen nach aktuellem Stand in der Praxis nur Elektrobusse (mit einer Batterie, Brennstoffzelle, Oberleitung etc.).

# Auftrag und Auftragsdurchführung

## Ausgangslage (4/5)

---

Zur Einhaltung der CVD bzw. des SaubFahrzeugBeschG sind die öffentlichen Auftraggeber (Gemeinde, Kreis, Zweckverband, AöR) – auch im Kontext der Vergabe öffentlicher Dienstleistungsaufträge („öDA“) - sowie die Sektorenauftraggeber (konzessionierte Verkehrsunternehmen – eigenwirtschaftlich und gemeinwirtschaftlich) verpflichtet. Subunternehmer sind mittelbar über den jeweiligen Verkehrsvertrag/öDA verpflichtet. Das SaubFahrzeugBeschG sieht vor, dass die Einhaltung der Quote auf Ebene der einzelnen Bundesländer sicherzustellen ist. Zudem können sich mehrere Bundesländer hinsichtlich der Einhaltung der Quoten zusammenschließen. Die Länder haben in § 5 des Gesetzes die Möglichkeit erhalten, Branchenvereinbarungen abzuschließen mit dem Ziel, die Einhaltung der gesetzlichen Mindestziele auf der Ebene des jeweiligen Landes insgesamt sicherzustellen und gemeinsame Mindestziele zwischen den Ländern zu bilden. Für die erste Referenzperiode bis Ende des Jahres 2025 wurde im November 2023 eine entsprechende Branchenvereinbarung getroffen. 14 Bundesländer und zahlreiche Spitzen- und Verkehrsverbände beteiligen sich an dieser Branchenvereinbarung zur Umsetzung des SaubFahrzeugBeschG (Ausnahme Berlin und Baden-Württemberg), die die Zielsetzung der Zusammenarbeit und gemeinsamen Erfüllung der erforderlichen Mindestbeschaffungsquoten verfolgt. Davon jedoch noch unbenommen ist die Verpflichtung der KVG MKK, das SaubFahrzeugBeschG zu erfüllen.



# Auftrag und Auftragsdurchführung

## Ausgangslage (5/5)

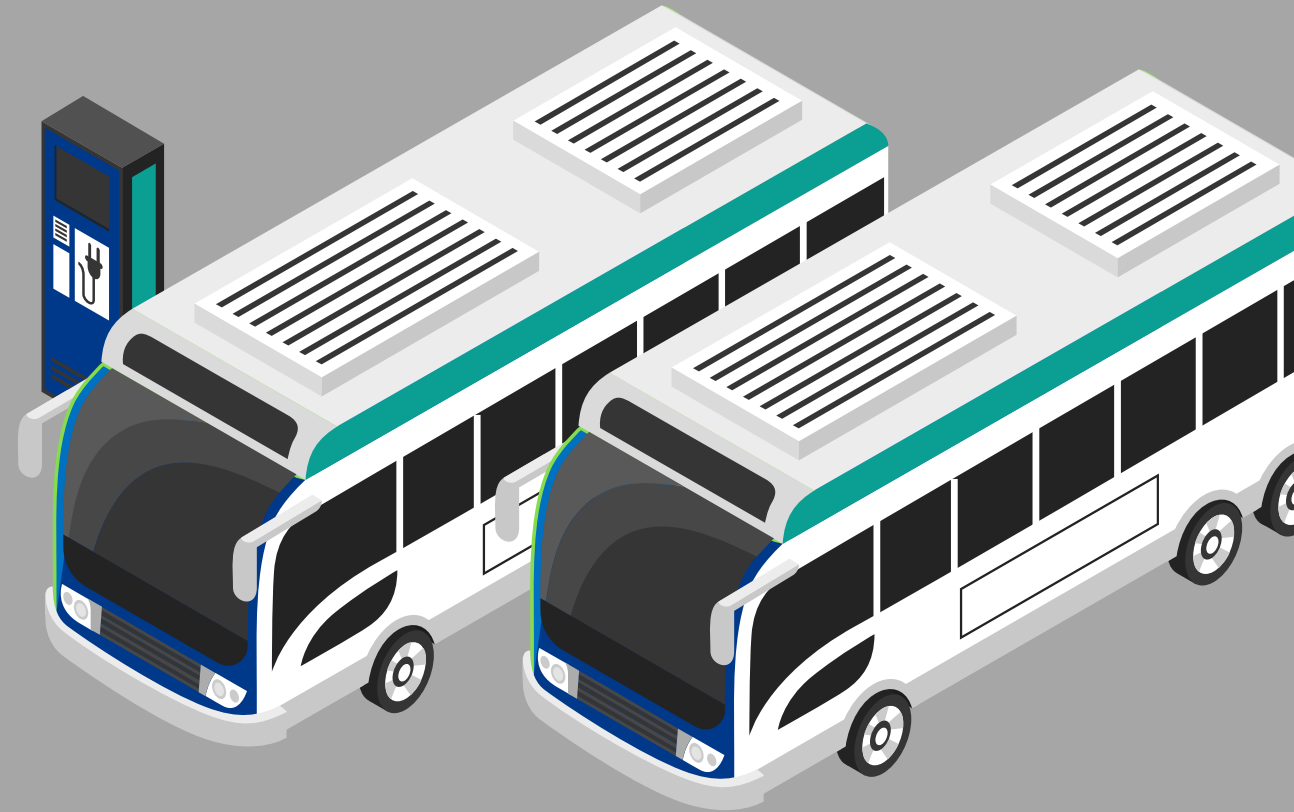
---

Die Umstellung der ÖPNV-Busflotten auf emissionsfreie, umweltfreundliche Antriebe ist mittlerweile in vollem Gange. Der E-Bus-Bestand in Deutschland ist in den letzten Jahren deutlich gewachsen, wie ein Blick ins PwC-E-Bus-Radar zeigt. Mit Stand vom 31. Dezember 2023 gab es bereits über 2.600 E-Busse im deutschen ÖPNV.

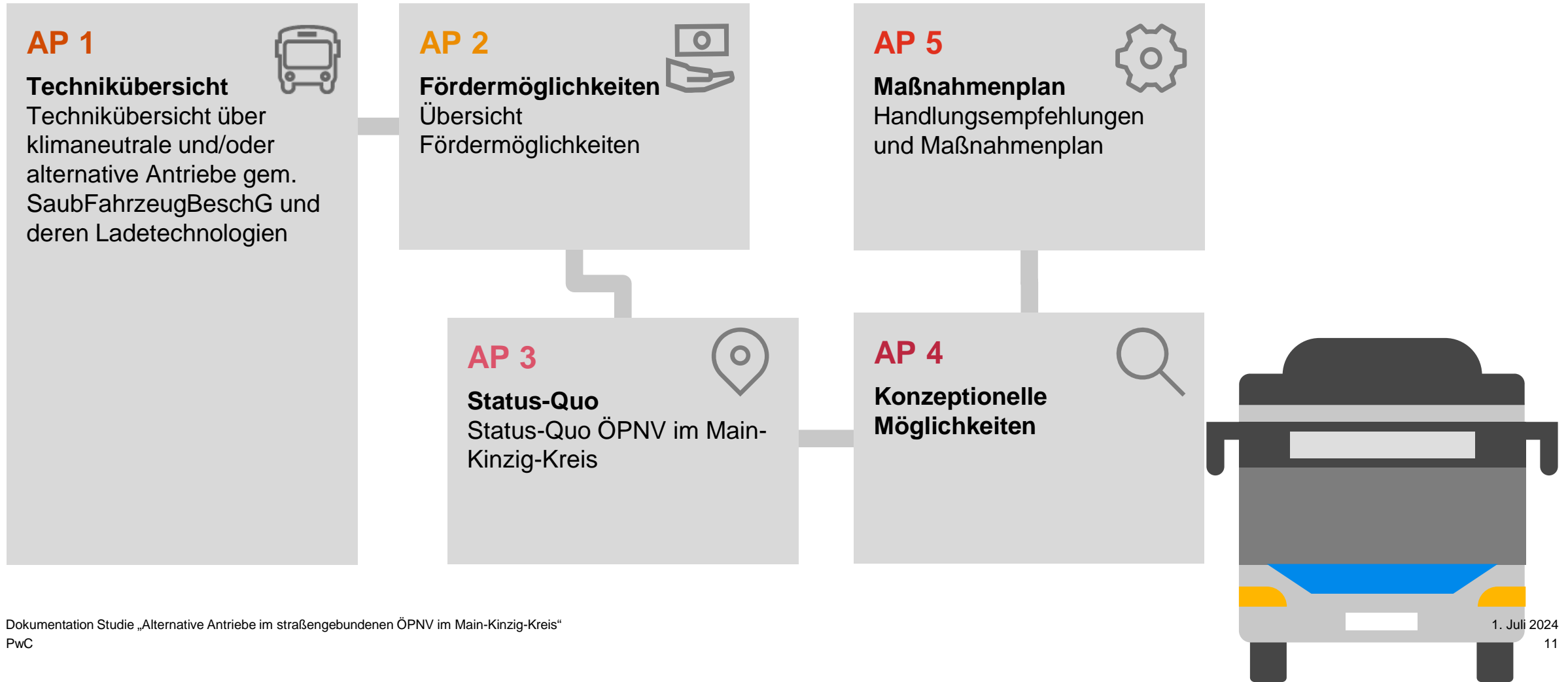
Die aktuell dominierende Antriebsart ist dabei der Batteriebus. Doch auch Brennstoffzellenbusse nehmen in ihrer Bedeutung zu und immer mehr Städte und Kommunen planen den Einsatz von diesen Fahrzeugen. Aufgrund der aktuellen dynamischen Diskussion im Bereich der Brennstoffzellenantriebe, die insbesondere auch durch die Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung und die damit zusammenhängenden Fördermöglichkeiten erzeugt wird, ergeben sich neben batteriebetriebenen Bussen weitere Lösungsansätze, die es zu betrachten und abzuwägen gilt.

Im Rahmen der Neuaufstellung des Nahverkehrsplans für den MKK ist das Thema „Alternative Antriebe“ vor diesem Hintergrund ein wesentlicher Baustein. Die Erstellung der verfahrensgegenständlichen Studie „Alternative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV im Main-Kinzig-Kreis“ wurde daher sowohl in zeitlicher als auch in inhaltlicher Sicht in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber und unter Berücksichtigung der Vorgaben aus dem Leitbild Mobilität erarbeitet.

## 2 Vorgehensweise



# Für die Erarbeitung der Machbarkeitsstudie sind fünf Leistungsbausteine vorgesehen



# Die Machbarkeitsstudie gliedert sich in fünf Leistungsbausteine für die Dekarbonisierung der ÖPNV-Leistung im Main-Kinzig-Kreis

## LB 1: Technikübersicht

### Beschreibung der Varianten und Systemeigenschaften

- Betrachtung emissionsfreier Antriebe Marktüberblick Hersteller und Modelle
- Aufbau, Komponenten, technische Leistungsfähigkeit (Reichweiten etc.)
- Einordnung zum Stand der Technik und der zukünftigen Entwicklungen
- Vor- und Nachteile der Techniken

### Varianten von Lade- und Tankinfrastruktur

- Aufbau, Eigenschaften und Anforderungen
- Welche Infrastruktur für welche Fahrzeuge?
- Betrachtung der Wertschöpfungskette der wasserstoffbasierten Technologie

### Markseitige Fahrzeugverfügbarkeit

- Übersicht und Spezifikationen der angebotenen Fahrzeuge auf dem europäischen Markt

## LB 2: Fördermöglichkeiten

### Fördermittelscreening

- Identifikation von relevanten Fördermöglichkeiten für die Flottentransformation im MKK
- Aufbereitung, Analyse und Darstellung der Zuwendungsvoraussetzungen, des Zuwendungsverfahrens, der Auswahlkriterien und der Vorschriften

### Strukturierte Darstellung der Fördermöglichkeiten in Steckbriefen

- Gegenstand der Förderung (z. B. Fahrzeug/(Lade-)Infrastruktur/ Konzepterstellung)
- Höhe und Art der Förderung (z. B. Anteilsförderung und Förderquote),
- Antragsvoraussetzungen
- Laufzeit des Förderprogramms sowie
- Sonstige entscheidungsrelevante Eigenschaften

## LB 3: Status Quo ÖPNV MKK

### Bestehende Infrastruktur und Betriebshöfe

- Erforderliche Lade- bzw. Tankinfrastruktur
- Erfassung von wesentlichen Daten, die maßgeblich für die Umstellung auf alternative Antriebe sind (Anbindungsmöglichkeiten, Bauräume, Installationsorte)

### Bestehende Angebotskonzeptionen

- Erfassung des akt. Betriebsprogramms
- Detailinformationen zu Fahrzeugumläufen, Linien und Linienbündeln sowie Fahrplänen
- Abfrage ergänzender Linieninformationen Betrachtungsgrundlage für Machbarkeitsuntersuchungen im Kontext der folgenden NVP-Neuplanung

### Validierung und Zuordnung der Daten

- Plausibilitätsprüfung
- Zuordnung der Datensätze zu LB

## LB 4: Konzeptionelle Möglichkeiten

- Energieverbrauchs- und Machbarkeitsanalyse Antriebstechnik
- Potenzialanalyse Optimierungsmaßnahmen
- Identifikation geeigneter Umläufe und Linien für Systemumstellung
- Empfehlung & Abstimmung geeigneter Antriebstechnologie(n)
- Infrastrukturbedarf und -anforderungen Betriebshöfe inkl.
  - Lastgangoptimierung (für elektrische Depotladeinfrastruktur)
  - Infrastrukturbedarf Depot & Liniennetz
- Lösungen zur Batterie-, Lade- und Energiebeschaffung
- Beurteilung Wechselwirkung NVP Neuplanung und dekarbonisierte Antriebe (Planungsanforderung, Erweiterungspotential)

## LB 5: Maßnahmenplan

### Erstellung Umsetzungskonzept der Flottentransformation

- Entwicklung Migrationspfaden für unterschiedliche Szenarien der Umstellung
- Ermittlung der notwendigen Anzahl an Fahrzeugen und des Infrastrukturbedarfs unter Berücksichtigung möglicher Synergieeffekte
- Ableitung wesentlichen Fahrzeuganforderungen

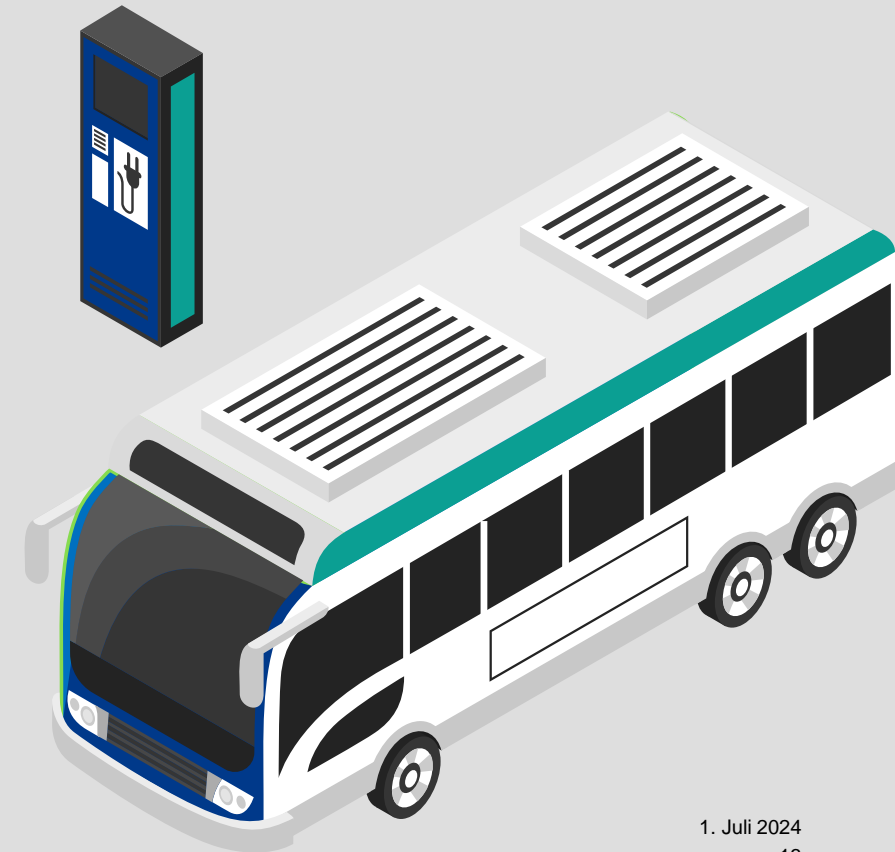
### Integrierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

- Darstellung Mehrkosten bzw. Kosteneinsparpotenziale
- Darstellung Auswirkungen auf den Zuschussbedarf
- Darstellung Investitionsbedarf, Ableitung Finanzierungsplans
- Bewertung LCC und CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen
- Ableitung Förderkonzept

# LB 1: Technikübersicht

## Inhalte

1. Saubere Fahrzeuge Beschaffungsgesetz
2. Alternative Antriebstechnologien und dazugehörige Lade- bzw. Betankungsinfrastrukturen
  - a) Batteriebusse (BEV)
  - b) Brennstoffzellenbusse (FCEV)
  - c) CNG- bzw. Biomethan
  - d) Verwendung von GtL-Kraftstoffen
3. Gegenüberstellung der Antriebstechnologien und Stand der Technik
4. Nebenaggregate
5. Werkstätten, Brandschutz, Schulungen
6. Marktübersicht und Wirtschaftlichkeit



# Es existieren grundsätzlich verschiedene Antriebstechnologien für alternativ angetriebene Busse

## Elektrobusse (EV) – „emissionsfrei“

### Batteriebus (BEV)

- Volllader/Depotlader (Overnight-Charging)
- Gelegenheitslader (Opportunity Charging)



### Brennstoffzellenbus (FCEV)

- BZ-Hybridbus
- BZ-Range Extender



### Oberleitungsbus

- Voll-O-Bus
- Hybrid-O-Bus (BOB)



## Fossile Brennstoffe – „sauber“

### Plug-In-Hybridbus (PHEV)

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



### Alternative Kraftstoffe

- Erdgas (CNG)
- HVO
- E-Fuels



# Die aktualisierte Clean Vehicles Directive (CVD) beinhaltet umfangreiche Vorgaben für die öffentliche Beschaffung von Straßenfahrzeugen – Richtlinie (EU) 2019/1161

## Persönlicher Anwendungsbereich



**Öffentliche Auftraggeber**  
(Gemeinde, Kreis, Zweckverband, AöR)



**Sektorenauftraggeber**  
(Konzessionierte Verkehrsunternehmen –  
eigenwirtschaftlich und gemeinwirtschaftlich)



**Subunternehmer**  
Subunternehmer werden nur mittelbar über Verkehrsvertrag  
verpflichtet; es sind die CVD-Vorgaben für den öDA gesamthaft zu  
beachten

## Sachlicher Anwendungsbereich

**01**

Verträge über den Kauf, das Leasing, die Anmietung oder den  
Ratenkauf

**02**

Öffentliche Dienstleistungsaufträge im Sinne der Verordnung  
(EG) Nr. 1370/2007  
(Direktvergabe, Inhouse-Vergabe sowie wettbewerbliche Vergabe)

**03**

Dienstleistungsaufträge über Verkehrsdienste  
bei Verpflichtung zur Anwendung der Vergaberichtlinien  
(Subunternehmerverträge, freigestellter Schülerverkehr)

## Betroffene Fahrzeugklassen



**Pkw,  
leichte Nutzfahrzeuge**  
Fahrzeugklassen M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>



**Schwere  
Nutzfahrzeuge**  
Fahrzeugklassen N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>



**Busse (ohne Reisebusse)**  
Fahrzeugklasse M<sub>3</sub>  
→ **nur Klasse I und A**

# Der Bundestag hat am 5. Mai 2021 das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz (SaubFahrzeugBeschG) zur nationalen Umsetzung der CVD beschlossen

- Beschaffungsquoten gelten für öffentliche Aufträge und Beschaffungsvorhaben, die ab dem 2. August 2021 gestartet wurden.
- Beschaffungsquoten gelten nicht nur auf Bundesebene, sondern auf Bundesländerebene.
- Für Fahrzeuge der Klasse M3 I und A ("Stadtbusse") wurden die Beschaffungsquoten für zwei Perioden definiert, die 2025 bzw. 2030 enden – „Überlandbusse“ fallen vorerst **nicht** unter die CVD:

## „Saubere“ Antriebe:



## „Emissionsfreie“ Antriebe:

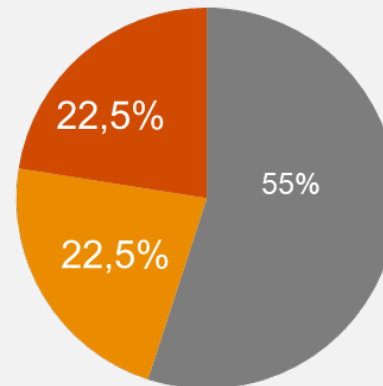


gemäß § 2 Nr. 6b SaubFahrzeugBeschG **keine** PtX-Kraftstoffe

### 2. August 2021 bis Ende 2025

insgesamt  
mind. 45 %  
sauber

davon mind.  
22,5 %  
emissionsfrei

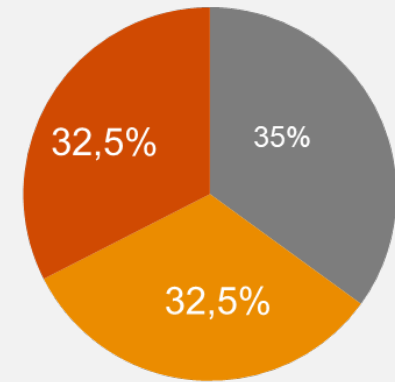


■ konventionell ■ "sauber" ■ emissionsfrei

### 1. Januar 2026 bis Ende 2030

insgesamt  
mind. 65 %  
sauber


davon mind.  
32,5 %  
emissionsfrei



■ konventionell ■ "sauber" ■ emissionsfrei



# Für leichte Nutzfahrzeuge der EG-Fahrzeugklassen M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, N<sub>1</sub> gelten andere CVD-Vorgaben



**leichte  
Nutzfahrzeuge**  
Fahrzeugklassen M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>

**M<sub>1</sub>** Personenbeförderung  
max. 8 Sitzplätze (ohne Fahrer)

**M<sub>2</sub>** Personenbeförderung  
mehr als 8 Sitzplätze (ohne Fahrer)  
zulässige Gesamtmasse bis 5t


**N<sub>1</sub>** Güterbeförderung  
zulässige Gesamtmasse bis 3,5t

**CVD-Vorgaben:**  
Gelten für **38,5 %** der beschafften Fahrzeuge

**Periode 1:**

- max. **50 g CO<sub>2</sub>/km**
- max. 80% der Luftschadstoffemissionsgrenzwerte im Fahrbetrieb

**Periode 2:**  
**0 g CO<sub>2</sub>/km**  
→ „emissionsfreie“ Fahrzeuge



**Busse (ohne Reisebusse)**  
Fahrzeugklasse M<sub>3</sub>  
→ **nur Klasse I und A**

**M<sub>3</sub>** Personenbeförderung  
mehr als 22 Sitzplätze (ohne Fahrer)  
zulässige Gesamtmasse größer 5t  
Stadtbusse

**CVD-Vorgaben:**

**Periode 1:**

- min. **22,5%** der beschafften Fahrzeuge „sauber“
- min. **22,5%** „emissionsfrei“

**Periode 2:**

- min. **32,5%** der beschafften Fahrzeuge „sauber“
- min. **32,5%** „emissionsfrei“

# „Saubere“ Fahrzeuge nutzen im Sinne der CVD Kraftstoffe, die zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen (CVD Art. 4 Nr. 4)

## Sauber ist ...

„ein Fahrzeug der Klasse M3 (...) das mit **alternativen Kraftstoffen** im Sinne von Art. 2 Nr. 1 und 2 der Richtlinie 2014/94/EU betrieben wird (...).“

## Alternative Kraftstoffe sind ...

„Kraftstoffe oder Energiequellen, die **zumindest teilweise als Ersatz für Erdöl als Energieträger für den Verkehrssektor** dienen und die zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen und die Umweltverträglichkeit des Verkehrssektors erhöhen können.“ (2014/94/EU) Hierzu zählen



**Elektrizität**  
(auch Plug-in-Hybrid)



**Erdgas (inkl. Biomethan)**  
CNG und LNG



**Biokraftstoffe** (gemäß 2009/28/EG Art. 1, i)



**Wasserstoff**



**Flüssiggas**



**Synthetische und paraffinhaltige Kraftstoffe**

# Praktische Bedeutung als „emissionsfreie“ Fahrzeuge haben insbesondere batterieelektrische und Brennstoffzellenantriebe

CVD Art. 4 Nr. 5

## Emissionsfrei ist ...

ein sauberes Fahrzeug ohne Verbrennungsmotor oder mit einem Verbrennungsmotor, der weniger als 1 g CO<sub>2</sub>/kWh (Messung nach (EG) Nr. 595/2009) ausstößt oder der weniger als 1 g CO<sub>2</sub>/km (Messung nach (EG) Nr. 715/2007) ausstößt.



**E-Bus mit Batterie**



**E-Bus mit Brennstoffzelle**

# ? FAQ – SaubFahrzeugBeschG

## ? Welche Zählweise ist im Zuge der Erfüllungskontrolle anzusetzen?

### a) Ebene Aufgabenträger

- öDA: abzustellen auf Anzahl der Straßenfahrzeuge, die für Erbringung der Dienstleistung im Rahmen des öDA im Referenzzeitraum eingesetzt werden sollen
- abgerechnet wird am Ende des Referenzzeitraums
- gilt auch, wenn Auftrag erst gegen Ende des Referenzzeitraums erteilt wurde

### b) Ebene Verkehrsunternehmen

- grundsätzlich Einzelbetrachtung bei Lieferverträgen
- Auffassung, dass Unterschreitungen durch entsprechende Überschreitungen innerhalb eines Referenzzeitraums kompensiert werden können, ist vertretbar

## ? Inwieweit sind Subunternehmer bei einer „Anmietung mit Fahrer“ einzubeziehen?

- die Auffassung, dass bei Anmietung von Bussen mit Fahrer die angemieteten Fahrzeuge der Subunternehmer nicht einzubeziehen sind, ist vertretbar (Gesetz nennt entsprechenden CPV-Code nicht)
- im Übrigen müssen Fahrzeuge der Subunternehmer berücksichtigt werden

# ? FAQ – SaubFahrzeugBeschG

## ? Wie ist bei der Verrechnung der Quoten auf die beschafften bzw. eingesetzten Fahrzeuge mit ununden Zahlen umzugehen?

- ergibt sich bei Anwendung des jeweiligen Prozentsatzes eine unrunde Zahl, dürfte **kaufmännisch** zu runden sein

## ? Müssen die angeschafften sauberen bzw. emissionsfreien Fahrzeuge zwingend im Fahrbetrieb eingesetzt werden?

- saubere bzw. emissionsfreie Fahrzeuge zu beschaffen, diese dann aber nicht einzusetzen, könnte als Umgehung eingestuft werden
- Ausnahme: Bei Beschaffung bestand Absicht, Fahrzeuge einzusetzen, dies ist aber aus technischen oder anderen Gründen dann unmöglich geworden

## ? Besteht die Möglichkeit der Kompensation zwischen den Einzelquoten der unterschiedlichen Fahrzeugklassen (z. B. M3 und M1)?

- alle Einzelquoten für Fahrzeugklassen müssen eingehalten werden
- Unterschreitung bei einer Quote kann nicht durch Überschreitung bei anderer Quote ausgeglichen werden

## 3.2 Vorstellung der Inhalte des LB1

### Inhalte

#### 2. Alternative Antriebstechnologien und dazugehörige Lade- bzw. Betankungsinfrastrukturen

- a) Batteriebusse (BEV)
- b) Brennstoffzellenbusse (FCEV)
- c) CNG- bzw. Biomethan
- d) Verwendung von GtL-Kraftstoffen





# Batteriebusse (BEV) und Ladeinfrastruktur



# Aufbauschema Elektrobusse

## Energiezuführung

CCS Steckkontakt  
bis 200 A (ca. 130 kW)



Pantograph/Stromabnehmer  
>600 A (500 kW +)



Brennstoffzelle  
konfigurationsabhängig



## Traktionsbatterie



### Energiebatterie

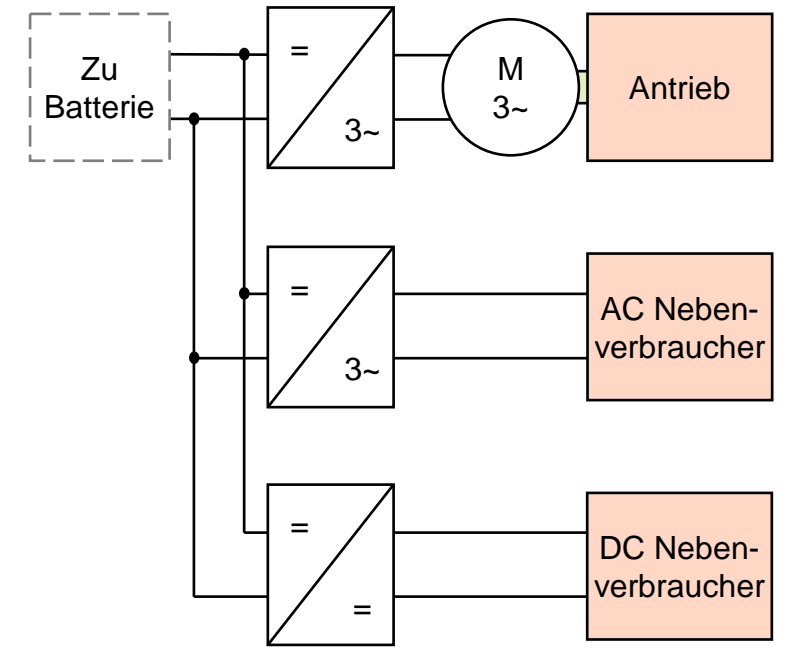
- z. B. NMC/LFP/Festkörper
- Hohes Speichervermögen
  - Typ. >400 kWh
- geringes Leistungsvermögen
  - Typ. 1,5 C



### Leistungsbatterie

- z. B. LTO
- Geringes Speichervermögen
  - Typ. <150 kWh
- Hohes Leistungsvermögen
  - Typ. >4 C

## Elektrischer Antriebsstrang

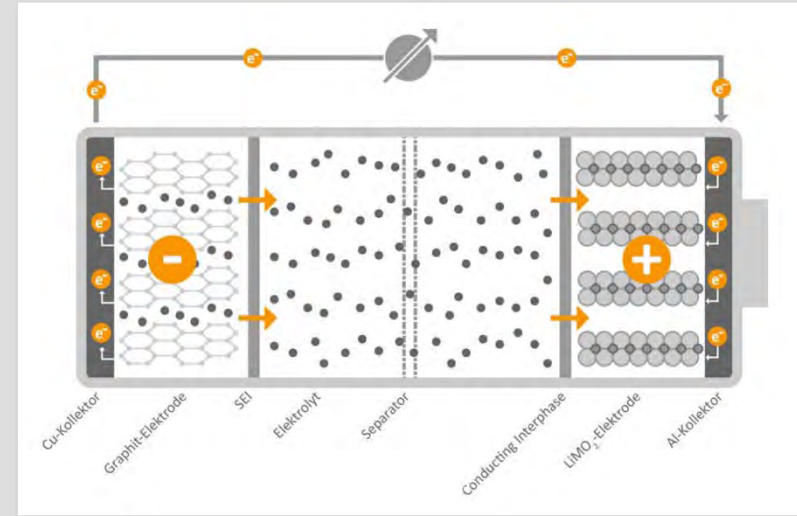




# Traktionsbatterien

## Lithium-Ionen Batterie

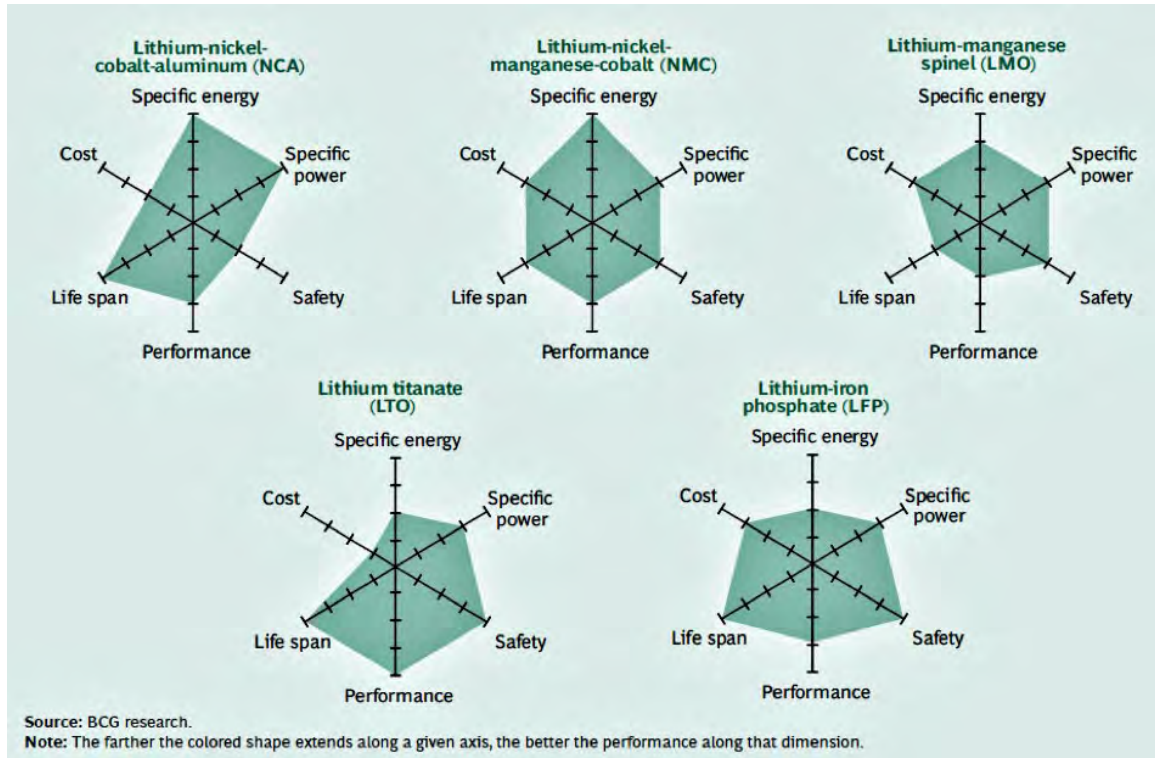
- i** elektrochemischer Energiespeicher
- i** Stand der Technik für Batterieelektrische Busse & Pkw und Nfz
- i** verschiedene Zellchemien am Markt (z. B. LTO, NMC, LFP) mit unterschiedlichen Eigenschaften
- i** primär Unterscheidung in: Energie- und Leistungsbatterie
- i** **Energiebatterie**  
hohe Kapazität & reduzierte Ladeleistung
- i** **Leistungsbatterie**  
hohe Ladeleistung & reduzierte Kapazität



Energiespeicherung durch chemische Prozesse an Anode und Kathode. Ionen können innerhalb der Zelle „wandern“, Elektroden werden über äußeren Stromkreis geführt  
⇒ Entnahme oder Eintrag elektrischer Arbeit

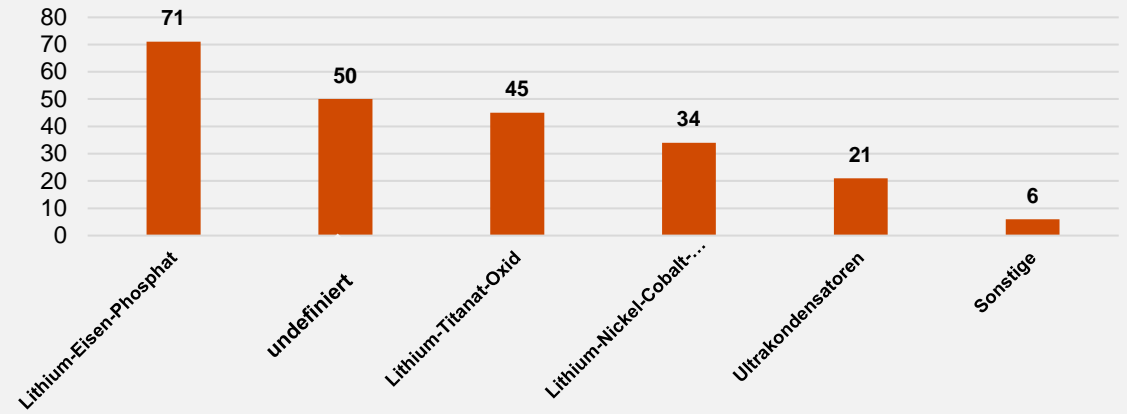
# Vergleich der unterschiedlichen Zellchemien

## Kathodenaktivmaterial für Lithium-Ionen-Batterien



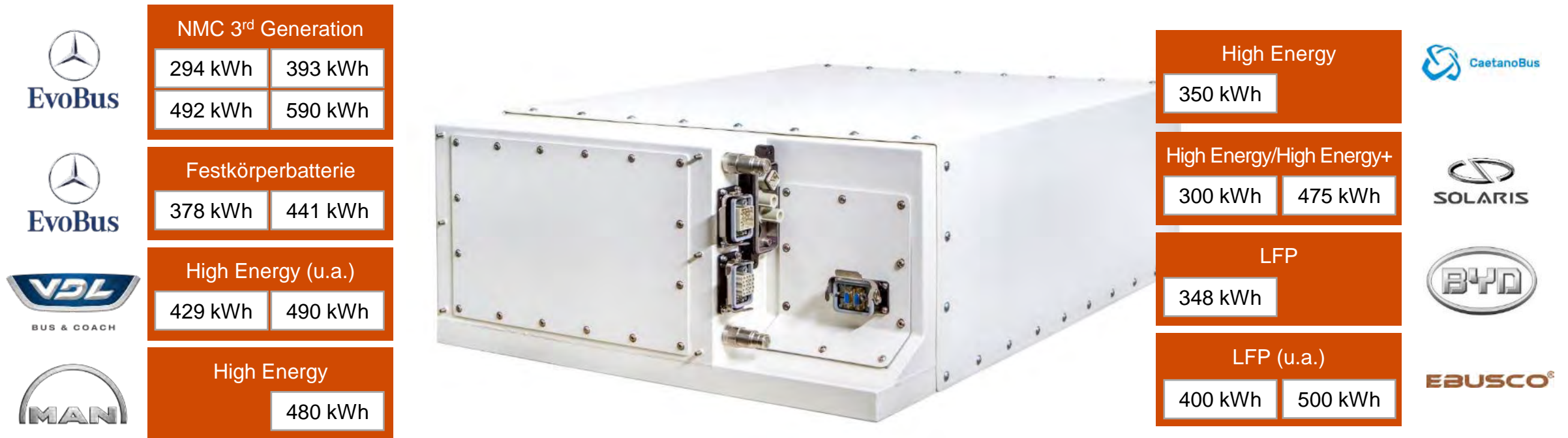
### Verteilung der angebotenen Fahrzeugmodelle nach Batterietechnologie

(n=227)



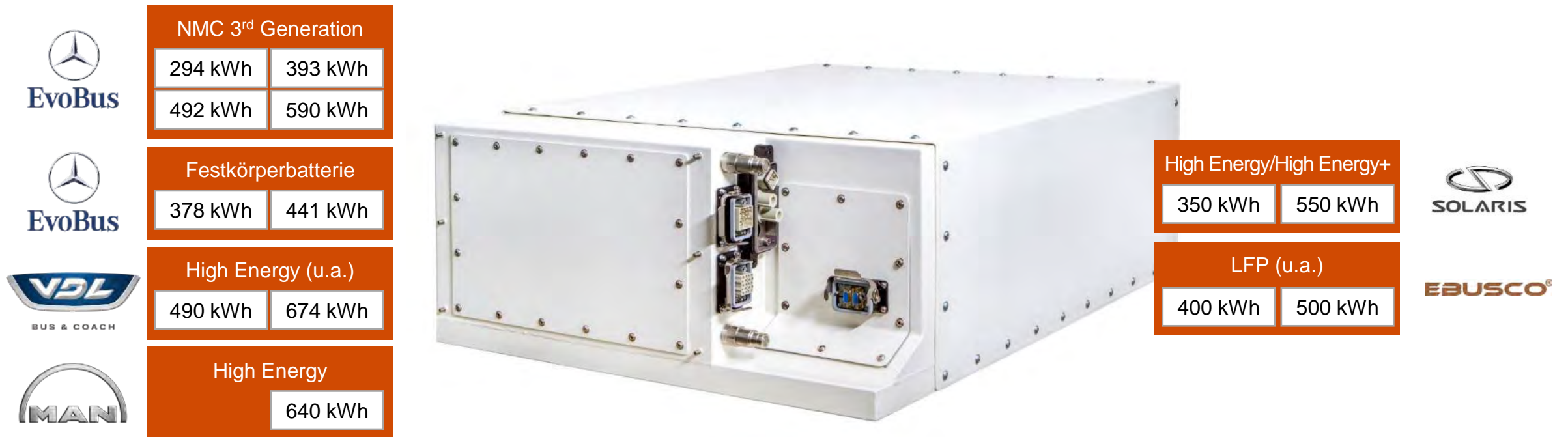
Ein Zusammenhang hinsichtlich der Zellchemie ist mit Blick auf die Hersteller und deren Herkunftsland festzustellen. Während ein großer Teil (15) der europäischen Hersteller Lithium-Nickel-Cobalt-Mangan (NMC) für batterieelektrische Busse verwendet, ist diese Zellchemie bei keinem der chinesischen Hersteller zu finden. Alle chinesischen Hersteller haben hingegen Fahrzeugmodelle mit Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie (LFP) im Angebot.

# Die installierten Batteriekapazitäten für 12m-Busse erreichen bereits Werte von über 500 kWh (installiert)



Bei einem SOC Fenster von 70-80 % ermöglicht der Spitzenreiter eine nutzbare Kapazität zwischen 410 und 470 kWh.

# Die installierten Batteriekapazitäten für 18m-Busse reichen bis knapp unter 700 kWh



Bei einem SOC Fenster von 70-80 % ermöglicht der Spitzenreiter eine nutzbare Kapazität zwischen 470 und 540 kWh.

# Das Laden von E-Bussen kann über verschiedene Lade-Schnittstellen erfolgen

## Steckkontakt

- Standardisiert als CCS-Steckkontakt
- Ausführung z. B. als Ladesäule oder Zuführung von oben („Kabeltrommel“)



Bild: Stemmann Technik

## Pantographenkontakt

- Standardisierte Kommunikationsschnittstelle
- Ausführung ausfahrbar (vom Fahrzeugdach) oder absenkbar (von Ladestation)



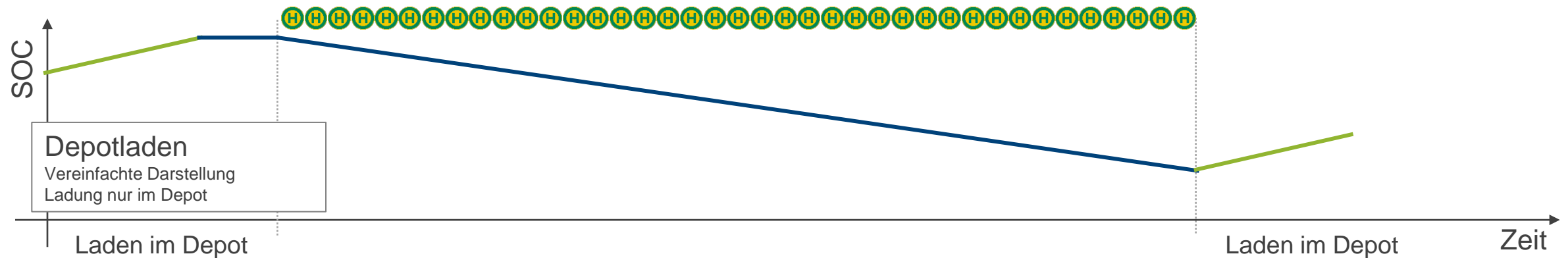
Bild: Schunk



## Hinweis

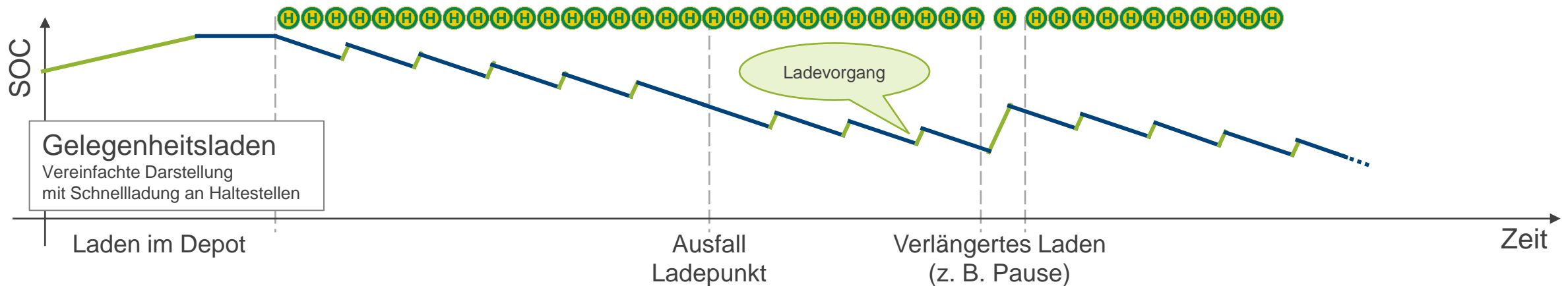
Alle E-Busse werden mit DC-Ladesystemen geladen!

# Beim Depotladen erfolgen alle Ladevorgänge in längeren Betriebspausen an einem zentralen Ladeplatz



-  Ladevorgänge erfolgen nur im Depot
-  Ladeleistung tendenziell gering (typisch: 75 - 130 kW), Lange Ladedauer (typisch: 3 - 8 h)  
Üblicherweise Einsatz von „Energiebatterien“

# Die E-Bus Gelegenheitsladung erfolgt direkt im Liniennetz an geeigneten Haltestellen



- i** Ladevorgänge erfolgen an Haltestellen im Liniennetz (z. B. Wendestellen, zentrale Haltestellen mit hohem Fahrtakt)
- i** Ladeleistung tendenziell hoch (bis zu 500 kW und mehr), kurze Ladedauer (typisch: wenige Minuten)  
Üblicherweise Einsatz von „Leistungsbatterien“
- i** Das System muss so ausgelegt sein, dass der Ausfall einer Ladestation (kurzzeitig) kompensiert werden kann

# Mit steigender Flottengröße müssen verschiedene Netzspannungsebenen genutzt werden

## Niederspannung (400 V)

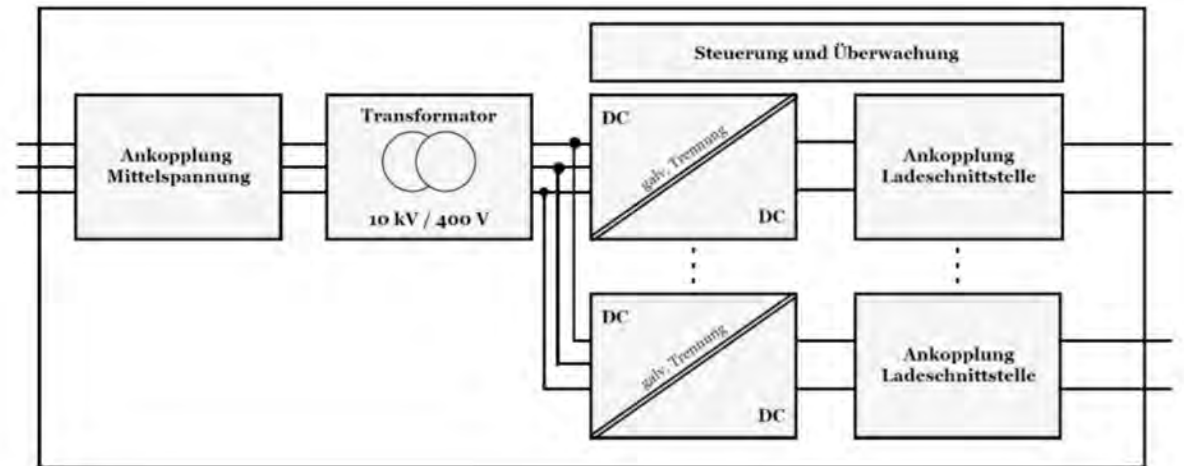
- Nur für einzelne oder mobile Systeme

## Mittelspannung (10 kV)

- Anbindung über Trafostation
- Ab ca. 3 Ladestationen erforderlich

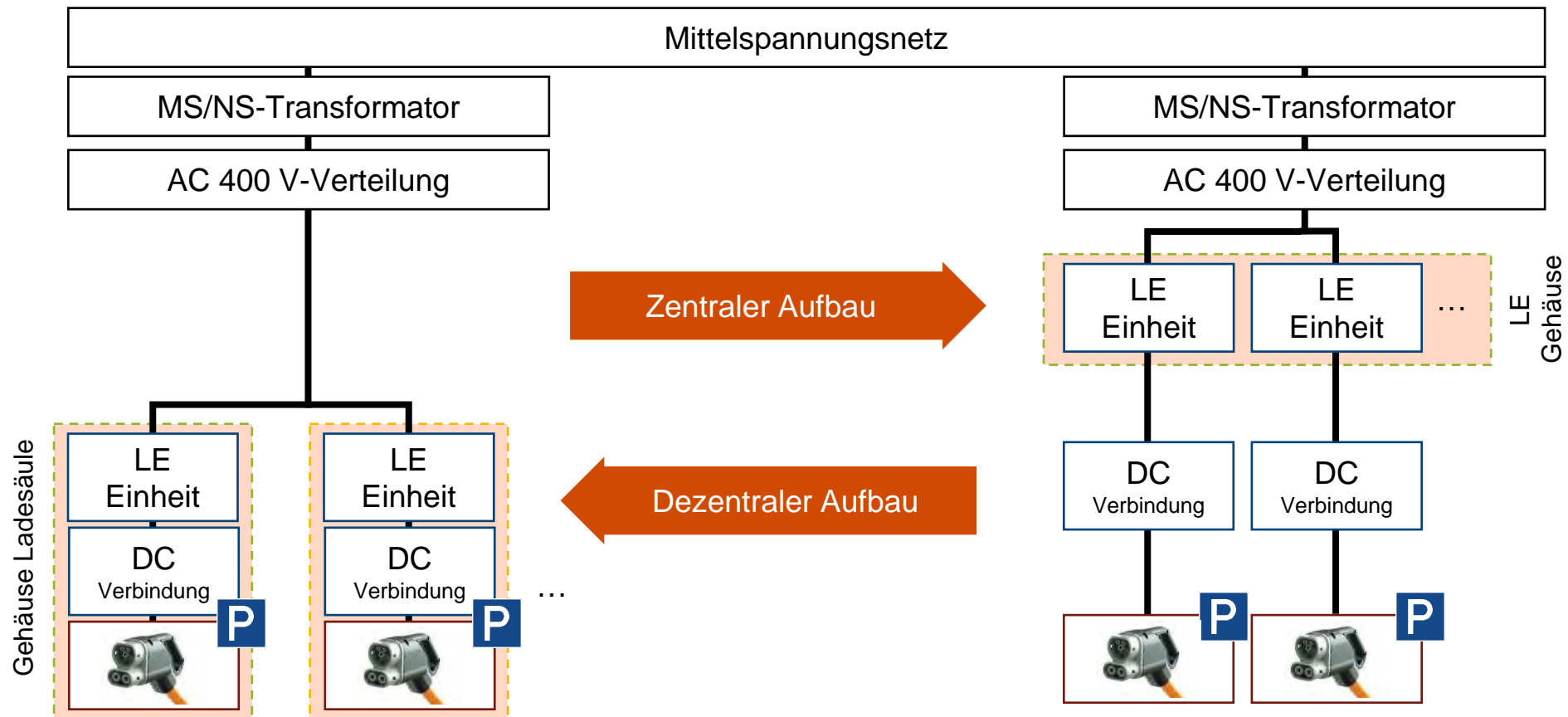
## Hochspannung (110 kV)

- Anbindung über Trafostation
- Notwendig, wenn MS Netz ausgelastet
  - Faustwert: Mehrere MW gleichzeitig (ab 70-100 Ladestationen)





# Ladeinfrastruktur kann zentral oder dezentral gruppiert und aufgebaut werden



Oder mobil

# Leistungselektronik kann zur Ladung mehrerer E-Busse genutzt werden: Kosten- und Bauraumeffizienz



## Standardansatz (Stand-Alone)

- Jede Ladestation hat eine eigene Leistungselektronik Einheit (LE)



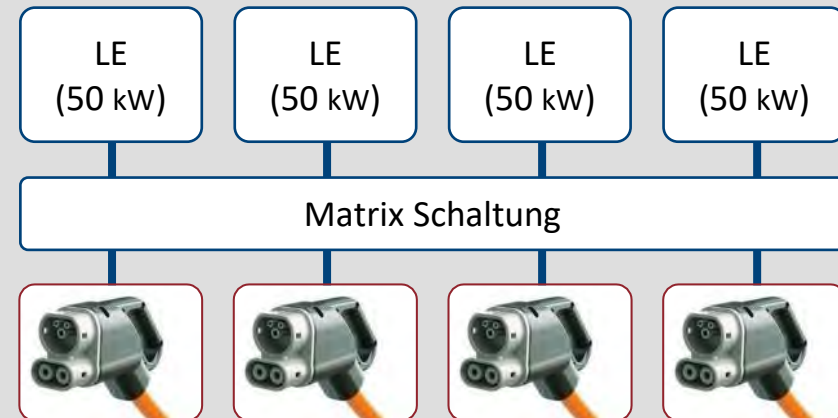
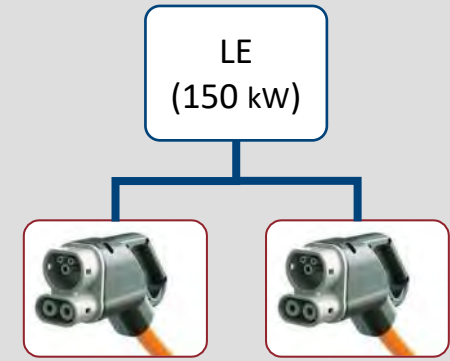
## Umschaltbarer Ansatz

- Eine LE Einheit kann nacheinander mehrere Ladepunkte bedienen (Umschaltung)



## Vernetzter Ansatz (Matrix)

- Mehrere (i. d. R. kleinere) LE Einheiten können gleichzeitig auf mehrere Ladepunkte geschaltet werden. Mehrere Module können ihre Leistung kombinieren



# Die Ladung von E-Bus Flotten bedeutet auch Anforderungen an die Betriebshofgestaltung und die betrieblichen Abläufe

## Abstellung der Fahrzeuge in Blockaufstellung

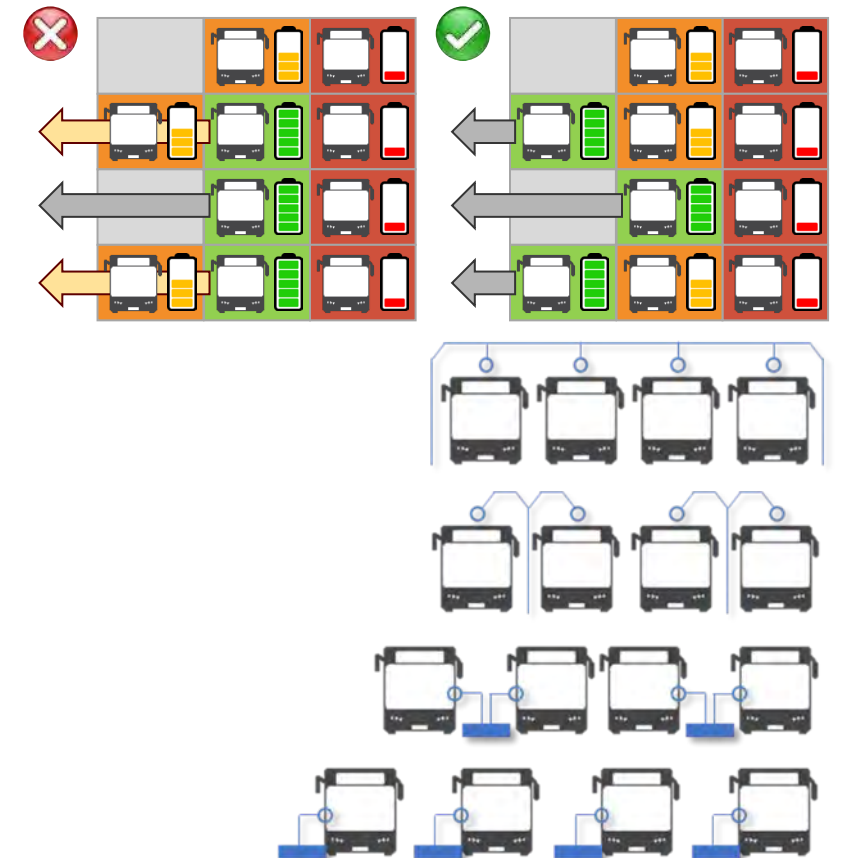
- Abfahrtsreihenfolge beim Laden beachten/optimieren
- Management-Systeme müssen Blockaufstellung unterstützen

## Zusätzliche Flächen für Infrastruktur

- Platzbedarf für Trafos und Leistungselektronik
- Platzbedarf für Wasserstoff-Tankstelle und -speicher

## Platzbedarf für Ladeschnittstellen/Abstellung Fahrzeuge anpassen

- Stecker stehen seitlich hervor, Platz für Kabel



# Durch gesteigerte Systemintelligenz kann Ladeinfrastruktur effizienter betrieben werden

## Keine Systemintelligenz

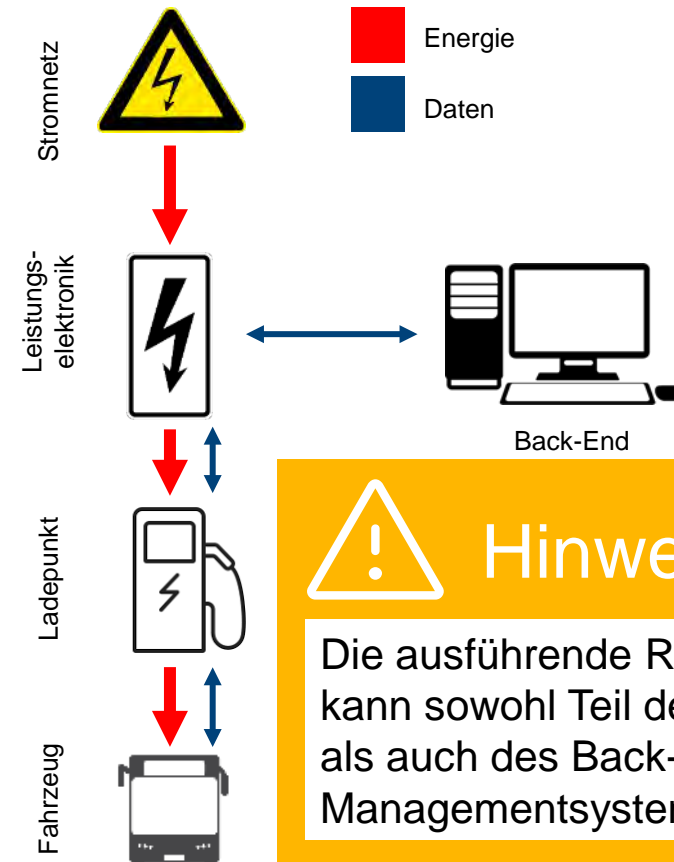
- Standardausführung Ladesäule als reiner Aktor

## Passive Intelligenz

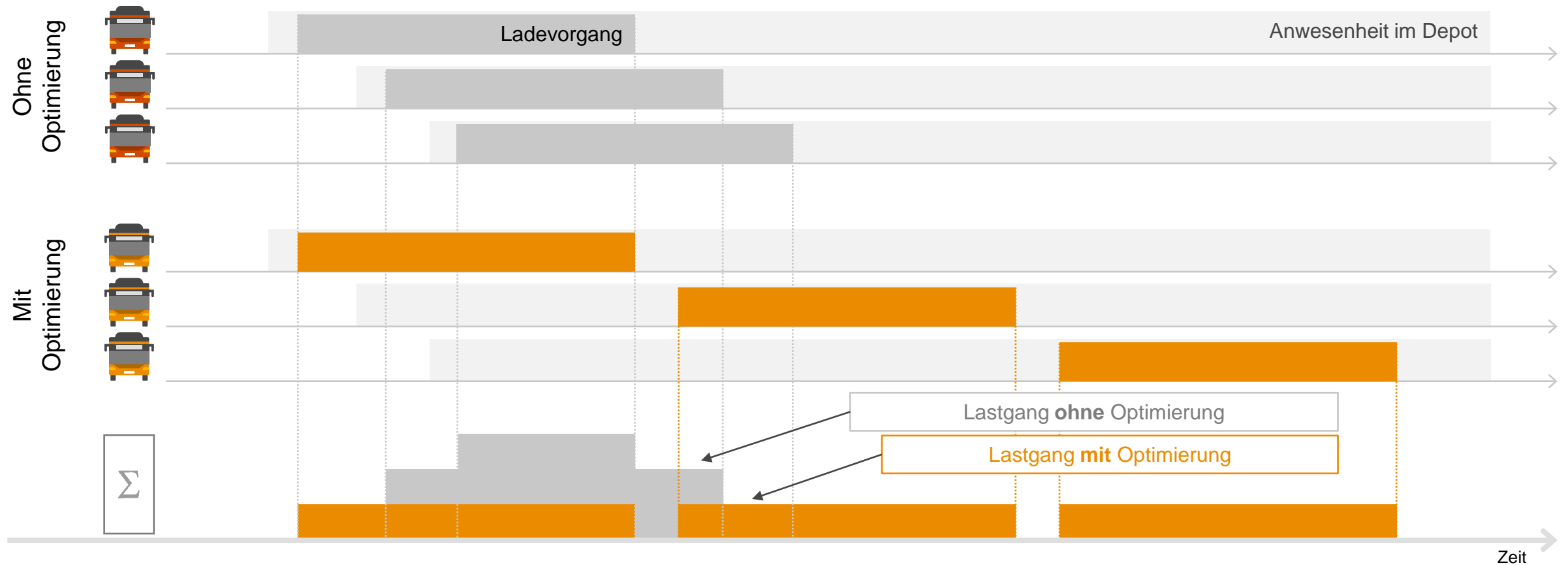
- Intelligenz ist „statisch“ und extern vorgegeben (z. B. feste Zeitpläne oder Grenzwerte). Ladesystem wird nach festen Vorgaben gesteuert (Freigabe, Sperrung oder Leistungsbegrenzung von Ladepunkten)

## Aktive Intelligenz

- Vollautomatische Algorithmen steuern den Ladeablauf in Teilen autark. Externe Kenngrößen (z. B. Wetter, Energiepreis) werden dynamisch ausgewertet.



# Durch Verschiebung von Ladevorgängen im Ladeplan wird die Netzlast optimiert



# Die Netzlastoptimierung birgt großes Kosten-Einsparpotential

## Direkte Betriebskosten

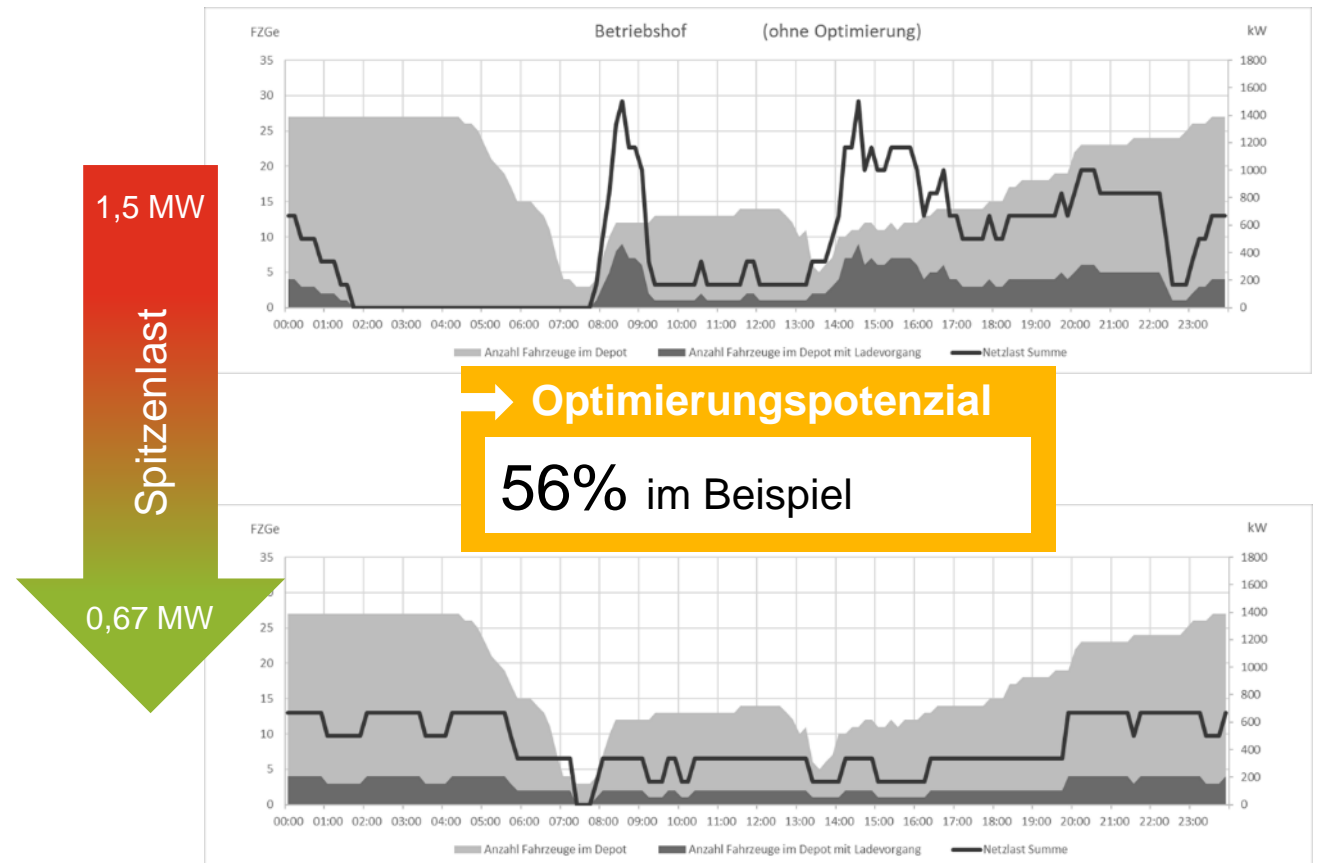
- Energiemenge
- Netz-Spitzenlast

## Netz-Spitzenlast ist doppelt kostenrelevant

- Tarifgestaltung
- Dimensionierung Netzanschlusskomponenten

## Netzlastoptimierung

- Durch „zeitliches Verteilen“ der Ladeintervalle



# Charakteristika der elektrischen Ladeinfrastruktur im Überblick

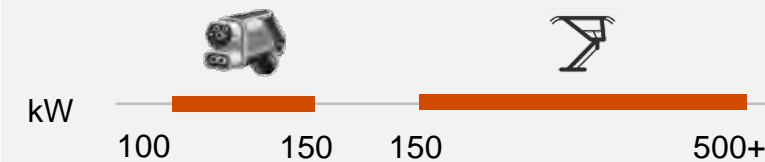


## Unterscheidungsmerkmale

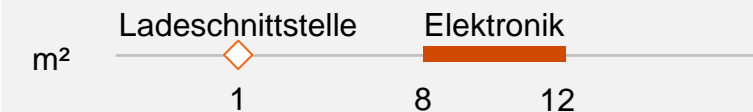
- Ladeschnittstelle
- Ladeleistung
- Systemverbund oder einzelne Ladesäulen
- räumliche Trennung oder Zentralaufbau von Schnittstelle und Elektronik
- Systemintelligenz

## Technische Daten

### Max. Ladeleistung



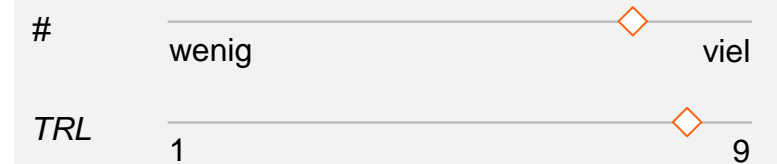
### Flächenbedarf Gelegenheitsladung (1 Schnelldadepunkt mit Netzanschluss)



### Flächenbedarf Depotladung (System für ca. 10 Busse)



## Anbieter und Modelle



## Nutzenmaximierung

**Matrixsystem:** eine Ladeinfrastruktur (LIS) lädt mehrere Busse nacheinander (oder parallel)



### Potenzial

gleiche Performance bei 25 – 50 % LIS-Bedarf

### Bedingung

spezifische Planung und Systemauslegung

# Elektrobus-Systeme sind sehr gut skalierbar und können flexibel erweitert werden

## Systemkomponente



Fahrzeug



Ladeschnittstelle Depot



Ladeelektronik Depot



Transformator / Netzanschluss



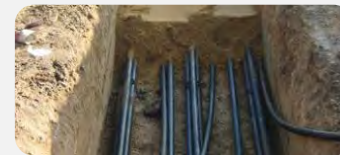
Gehäuse



Fundamente



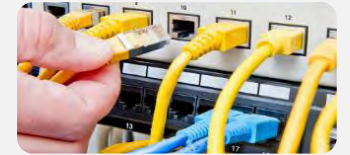
Tiefbaumaßnahmen



Kabel- / Leitungsverlegung



Ladeinfrastruktur Linie



Management Systeme (IT)



Netzausbau

## Skalierbarkeit

pro Fahrzeug

pro ca. 10 Fahrzeuge

abhängig von individuellen Faktoren

Einzelausführung notwendig





# Brennstoffzellenbusse (FCEV) und Betankungsinfrastruktur



# Brennstoffzellen- und Batteriebusse haben das gleiche Aufbauschema

## Energiezuführung

CCS Steckkontakt  
bis 200 A (ca. 130 kW)



Pantograph/Stromabnehmer  
>600 A (500 kW +)



Brennstoffzelle  
konfigurationsabhängig



## Traktionsbatterie



### Energiebatterie

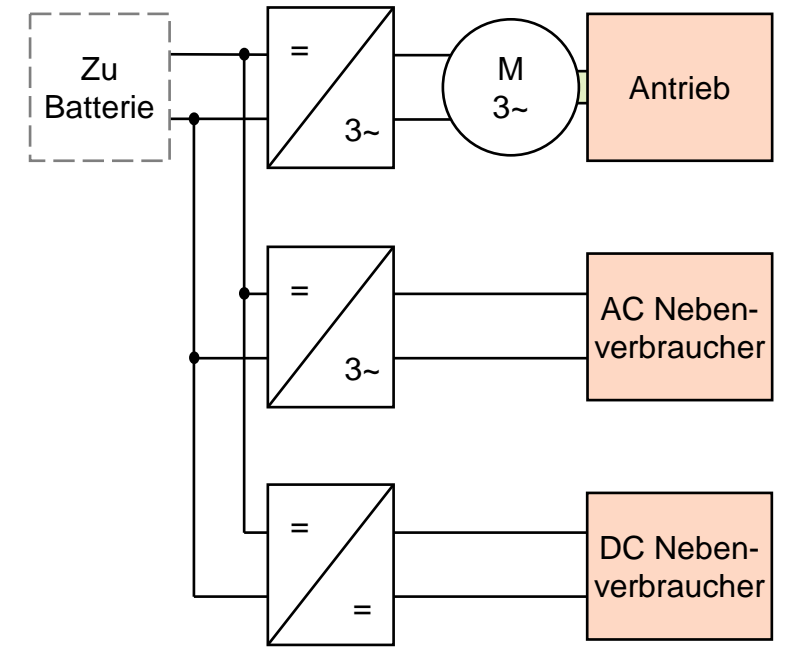
- z. B. NMC/LFP/Festkörper
- Hohes Speichervermögen
  - Typ. >400 kWh
- geringes Leistungsvermögen
  - Typ. 1,5 C



### Leistungsbatterie

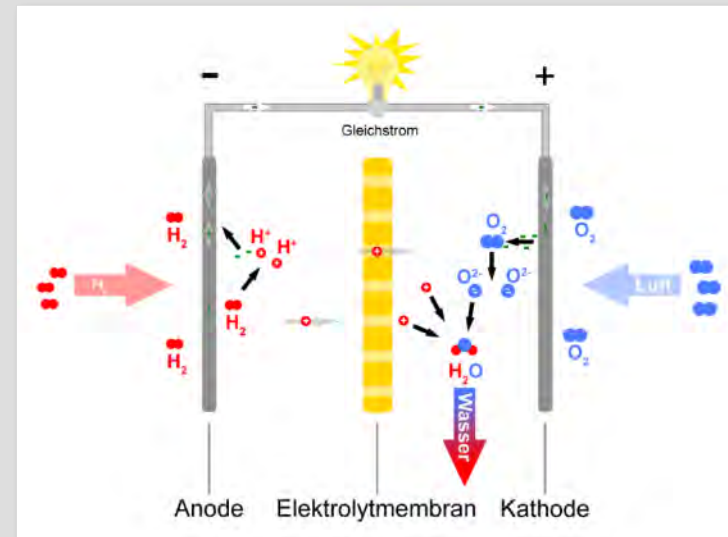
- z. B. LTO
- Geringes Speichervermögen
  - Typ. <150 kWh
- Hohes Leistungsvermögen
  - Typ. >4 C

## Elektrischer Antriebsstrang



# Brennstoffzellen erzeugen elektrische Energie aus Wasserstoff – vollkommen emissionsfrei

- i** Energiewandler, kein Energiespeicher
- Energiespeicher ist Wasserstoff ( $H_2$ )
- i** Oxidationsmittel ist Sauerstoff ( $O_2$ ) aus der Umgebungsluft
- i** vorherrschender Typ:  
Proton Exchange Membrane (PEM)
- i** erfordert Umgebungskomponenten wie Kompressoren
- i** möglichst statischer Betrieb gewünscht (Lebensdauer, Effizienz)



Energiewandlung durch umgekehrte Elektrolyse: Auf Anodenseite werden dem  $H_2$  Elektronen entzogen und über einen äußeren Stromkreis geführt (elektrische Arbeit). Die Membran ist für Protonen durchlässig. Auf Kathodenseite oxidieren  $H_2$  Protonen, Elektronen und  $O_2$  zu  $H_2O$

# Die H<sub>2</sub>Tankkapazität ist innerhalb einer Fahrzeugklasse sehr ähnlich



Vertriebsaussage

37,5 kg



EvoBus

Medienberichte

30 ... 40 kg



SOLARIS

Medienberichte

36,8 kg



Wuppertal/RVK

38,5 kg

Medienberichte

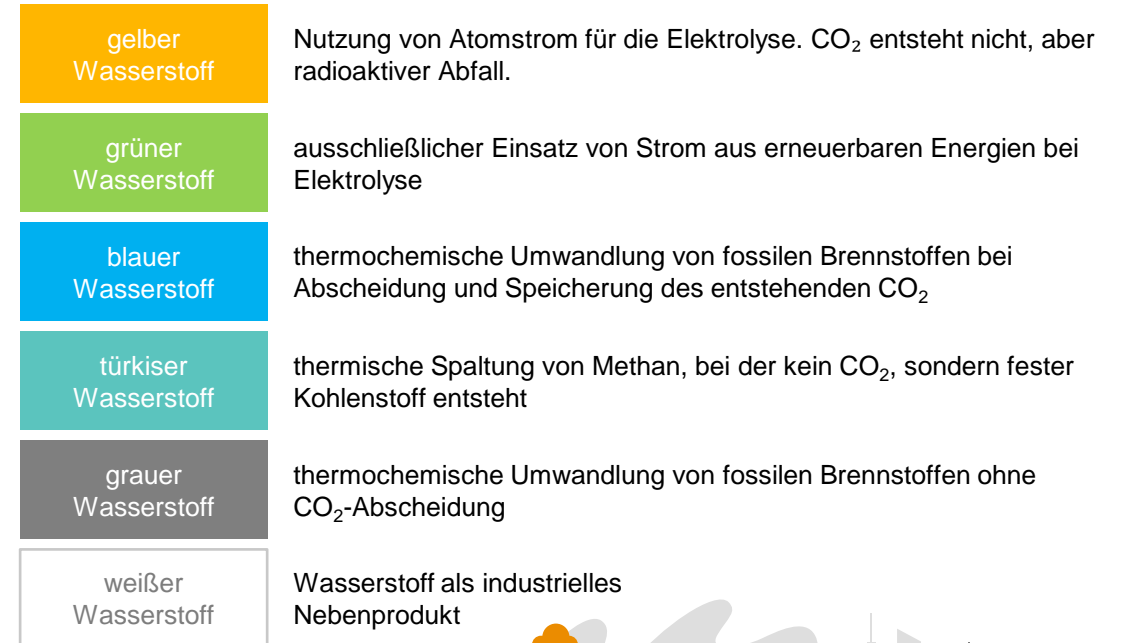
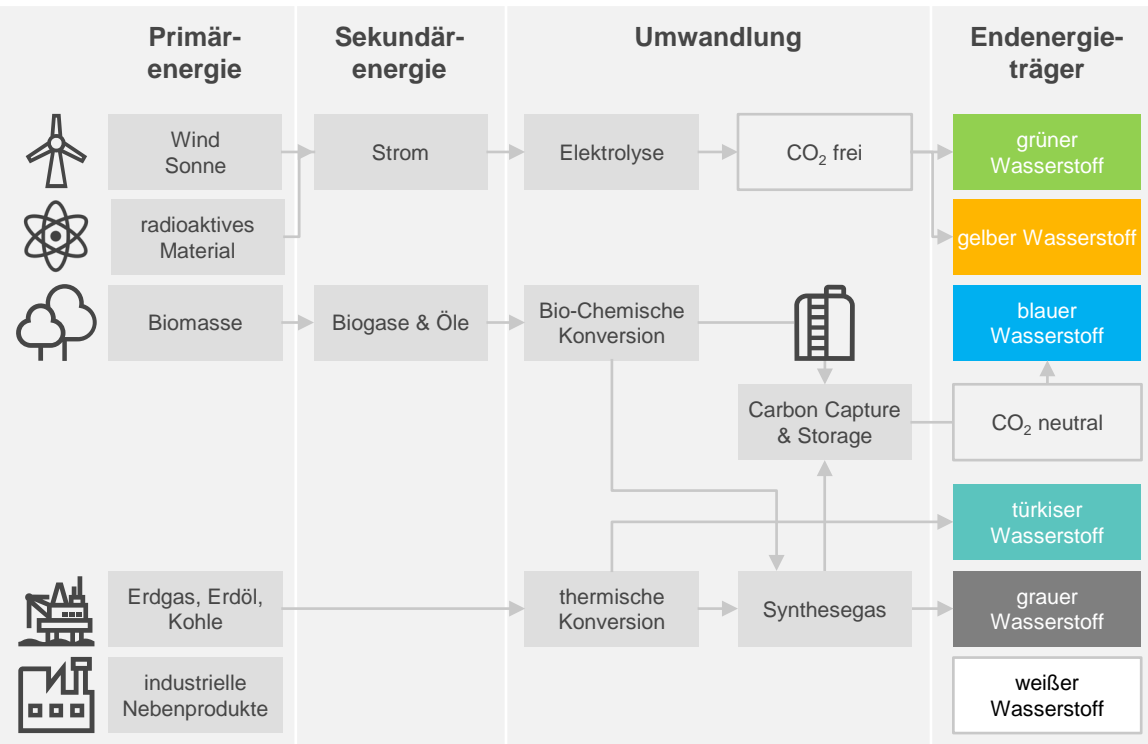
51,2 kg



SOLARIS

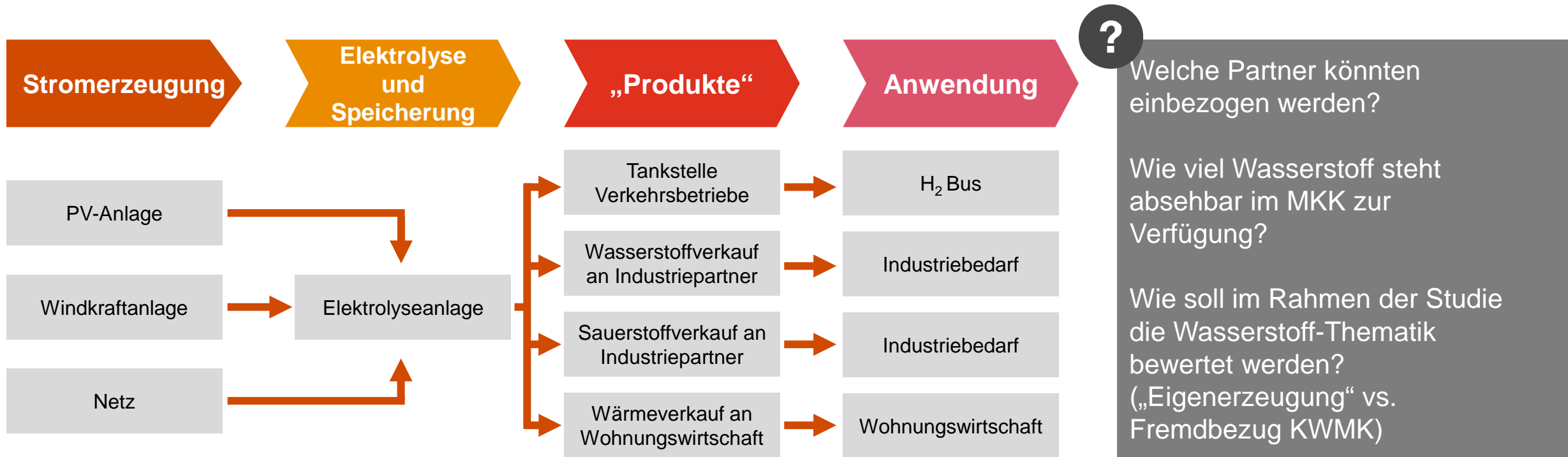
# Je nach Produktionsverfahren kann zwischen unterschiedlichen Arten bzw. „Farben“ von Wasserstoff unterschieden werden

Die am häufigsten verwandte Farbenlehre unterscheidet zwischen grünem, blauem, türkisen und grauem Wasserstoff – Grüner Wasserstoff steht in Deutschland im Fokus, allerdings werden künftig große Wasserstoffmengen importiert werden



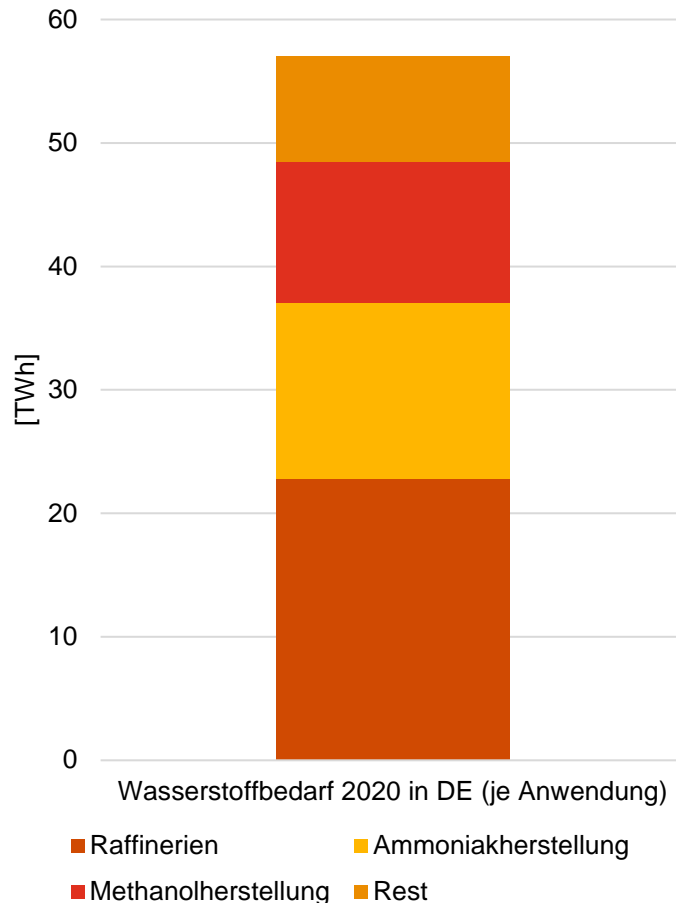
# H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette von Stromerzeugung bis Anwendung

Entlang der H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette lassen sich viele Haupt- und Nebenprodukte vermarkten



# Grüner H2 ist für eine Vielzahl stark unterschiedlicher Endverbraucher relevant

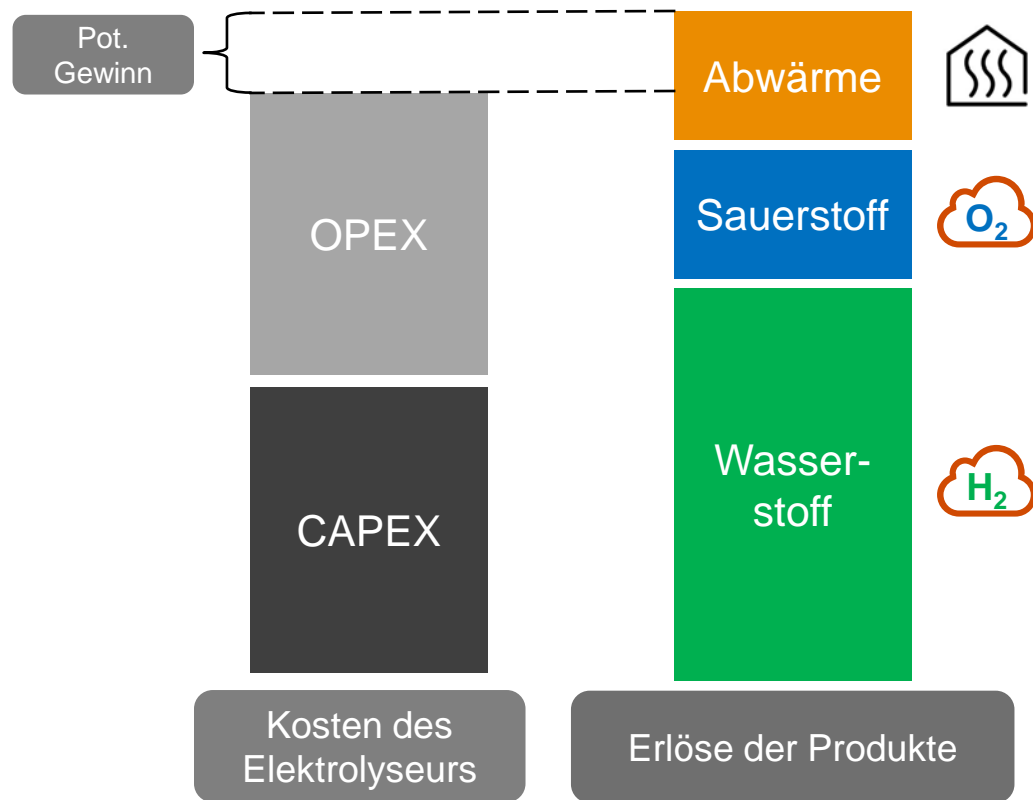
## Wasserstoff-Bedarf heute



## Mögliche zukünftige Nachfragesektoren für grünen Wasserstoff

Sektor	EVG	Anwendung	Einsatz	Relevanz
Industrie		Primärstahl	Feedstock	●
		Ammoniakherstellung	Ersatz grauer H <sub>2</sub>	●
		Methanolherstellung	Ersatz grauer H <sub>2</sub>	●
		HVC	Feedstock	●
		Sekundärstahl	Energieträger	●
		Hochtemperatur Prozesse (Glas, Kalk, Zement)	Energieträger	●
		Papier	Energieträger	●
		Weitere Niedertemp.prozesse	Energieträger	●
		Nichteisenmetalle (Kupfer, Aluminium)	Vsl. Keiner	●
Verkehr		Luft- & Schiffsverkehr	Energieträger	●
		LKW und Busse	Energieträger	●
		PKW	Energieträger	●
Gebäude		Wärmenetze	Energieträger	●
		Dezentrales Heizen	Energieträger	●
Umwandlung		Raffinerien	Feedstock	●
		Rückverstromung	Energieträger	●

# Den Produktionskosten für Wasserstoff stehen potenzielle Erlöse für drei Endprodukte gegenüber



## Erläuterung zur Methodik

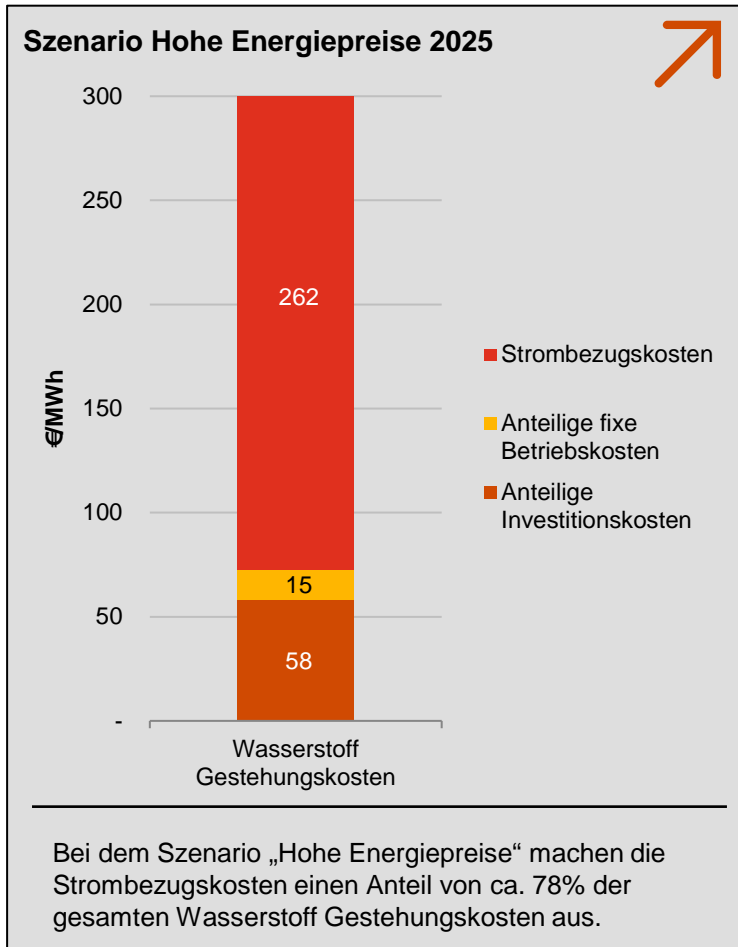
- **Ermittlung der Produktionskosten** für den Betrieb eines Elektrolyseurs
- Elektrolyseur hat großen Gesamtkostenblock (OPEX+CAPEX)
- **Gegenüberstellung mit den Erlösen** für die drei Produkte (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Abwärme)
- **Ermittlung der potentiellen Zahlungsbereitschaft** für die drei Produkte kombiniert mit der potentiell verfügbaren Menge
- Erlösblöcke sollten, auch durch den Vertrieb der Nebenprodukte, höher sein als der Kostenblock



Business Case insbesondere auch abseits des ÖPNV



# Die Strombezugskosten orientieren sich an Marktpreisen und machen den Hauptbestandteil der Gesteungskosten von Wasserstoff aus

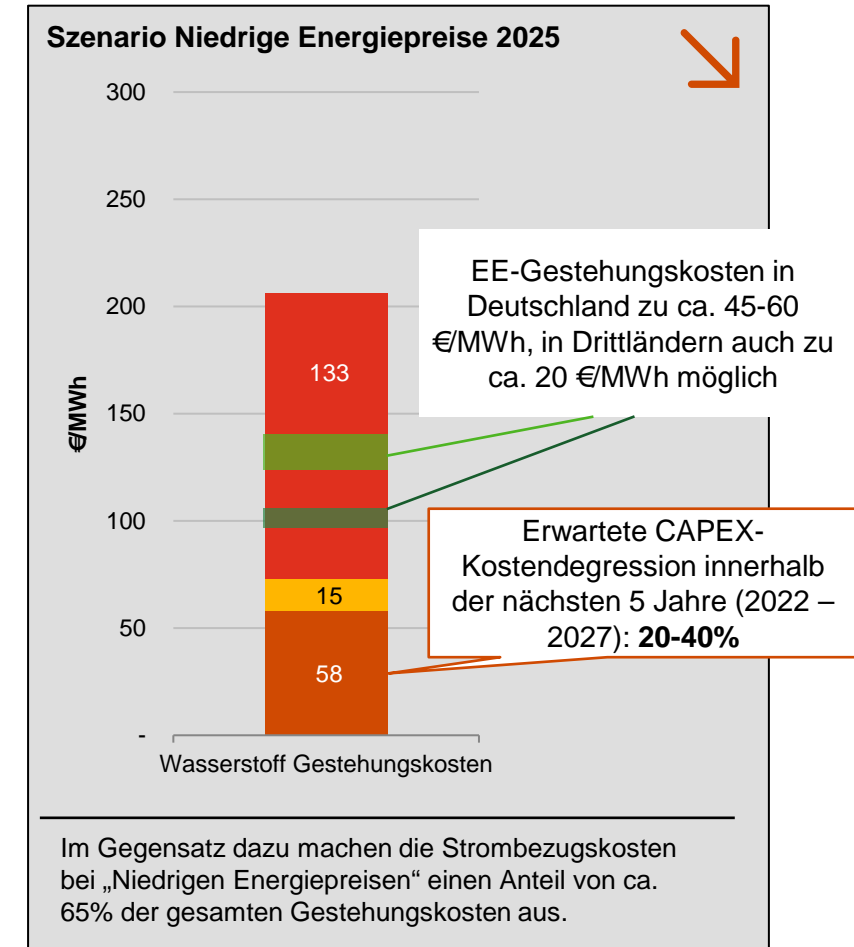


	Terminmarktpreise für 2025	Szenario „Niedrige Energiepreise“ *	Szenario „Hohe Energiepreise“ **	Quellen
<b>Strom für Elektrolyseur (Base)</b>	€/MWh	93	183	Basierend auf Terminmarktpreisen laut EEX
<b>Grüner Wasserstoff (Gesteungskosten)</b>	€/kg	7	11	Eigene Berechnungen basierend auf den angegebenen Inputparametern

Parameter Elektrolyseur	Werte
Leistung	1 MW <sub>el</sub>
Lebensdauer	21 Jahre
Volllaststunden pro Jahr (VBH)	3.250
Wasserstoffproduktion pro Jahr	67 kgH <sub>2</sub> /kW <sub>el</sub>
Wirkungsgrad	70 %

\*durchschnittliche Terminmarktpreise 2025 von März 2022  
 \*\*durchschnittliche Terminmarktpreise 2025 von Oktober 2022  
 Quellen: Wuppertal Institut, DIW (2020), PwC Research



# Charakteristika einer Wasserstoff-Tankstelle

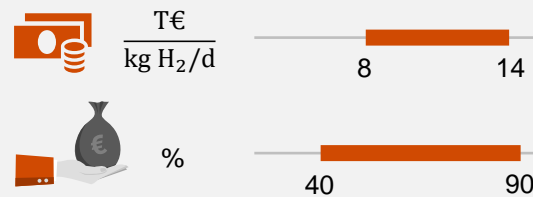
An einem Tankanschluss können etwa 3 - 4 Fahrzeuge pro Stunde vollständig betankt werden



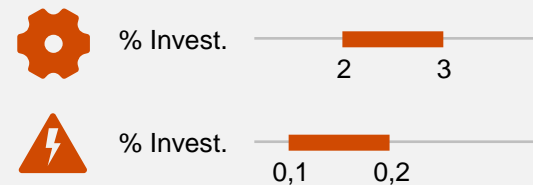
## Wasserstoff-Tankstelle

- Wasserstoff-Tankstelle mit 500 bar-Speicher zur Betankung von Fahrzeugen mit 350 bar
- Anlieferung via Trailer oder Erzeugung vor Ort

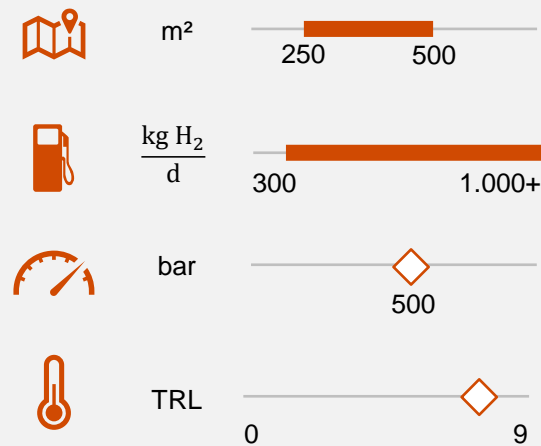
## CAPEX



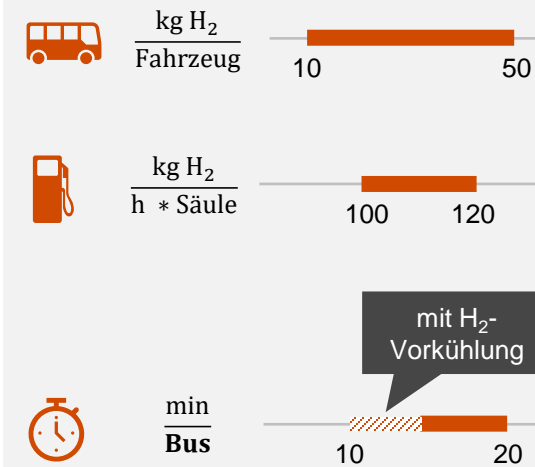
## OPEX



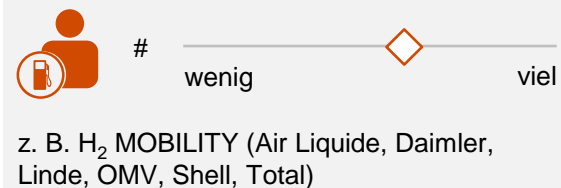
## Technische Daten



## Tankvorgang



## Anbieter & Modelle



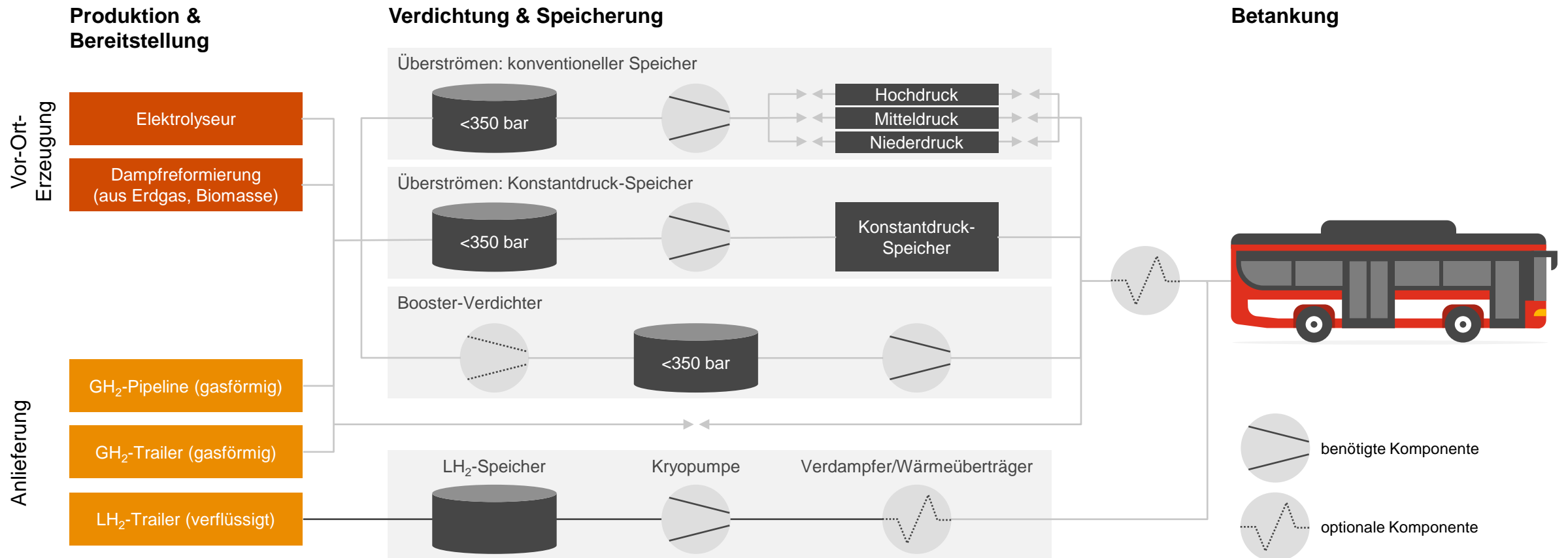
## Wasserstoff-Bedarf bei 50 Bussen

- bei 200 km pro Bus und Tag sowie 10 kg H<sub>2</sub> je 100 km → 1.000 kg pro Tag
- Strombedarf ca. 55.000 kWh pro Tag, wenn 55 kWh Strom je erzeugtem kg H<sub>2</sub>
- Gesamtbedarf für ein Jahr ca. 300 t H<sub>2</sub>, d. h. ca. 19.250 MWh Strom

## Kosten der Tankstelle für 50 Busse

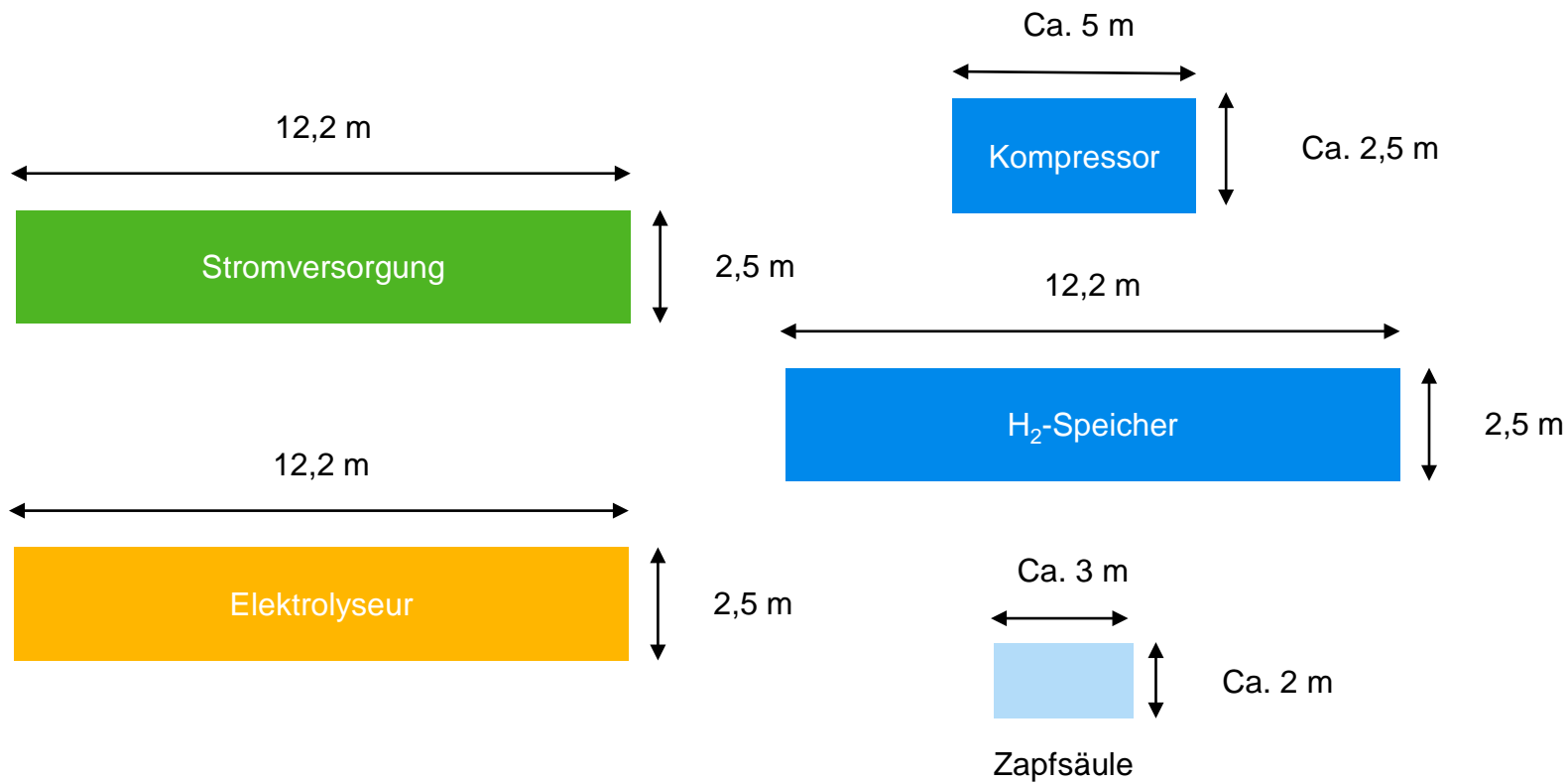
- **Investition: ca. 8 Mio. €** (bei 40% Förderung ca. 4,8 Mio. €)
- Betriebskosten: ca. 200 T€ p. a.
- **ca. 2,8 Mio. € jährliche Kosten** für Wasserstoff der gesamten Flotte bei Erzeugung durch Elektrolyse

# Schematischer Aufbau einer Wasserstoff-Tankstelle



# Platzbedarf der H<sub>2</sub>-Infrastruktur

Der tatsächliche Aufbau von Elektrolyseur, Speicher und Tankstelle erfolgt modular und angepasst an die Gegebenheiten der Standorte



## Elektrolyseur:

- Bis 2 MW in einem 40 ft Container
- Ca. 1 weiterer Container für Stromversorgung
- Ggf. extra Trafo oder Gleichrichter

## Speicher

- Bis zu 1.000 kg H<sub>2</sub> in einem 40 ft Container bis 500 bar
- Kompressor zur Verdichtung auf Speicherdruck

## Zapfsäule

- 1 Zapfsäule für bis zu 100-120 kg H<sub>2</sub> pro Stunde
- Ggf. HD-Zwischenspeicher

## Absicherung Tankstelle:

- Variante 1 Anfahrtschutz: Sicherheitszone von mind. 5 m
- Variante 2 Brandschutzmauer: deutlich geringere Sicherheitszone notwendig

# Abhängig von der Flottengröße oder als Übergangslösung, kann die Anlieferung von H<sub>2</sub> per Trailer eine Option darstellen

Wasserstoff kann als Energieträger eingekauft werden. Für eine wirksame Dekarbonisierung des Verkehrs muss **grüner Wasserstoff** (emissionsfrei erzeugt) eingekauft werden.

Grauer, oder anderer Wasserstoff kann eine Übergangslösung darstellen, wenn beispielsweise eine eigene Elektrolyseanlage im Aufbau ist. Nicht emissionsfreier Wasserstoff ist keine langfristige Option, da **Wirkungsgradnachteile** in Kauf genommen werden, **ohne wesentliche Umweltvorteile** zu erzielen!

## Mobile H<sub>2</sub> Tankstellen



Bild: Westfalen AG, Münster

Mobile H<sub>2</sub> Tankstellen werden in ISO Containern aufgebaut und können per Trailer (und ggf. Kran) ortsungebunden platziert werden.

Das System ist aufgrund des verbauten Haupttanks (Größenordnung 250 kg) auf Kleinstflotten zugeschnitten!

## Grundproblematik Trailer-Anlieferung

- Mit wachsender Flotte steigt der H<sub>2</sub> Bedarf
- Annahme: 25-27 kg H<sub>2</sub> pro Solo-Bus (Flottenmittelwert unter harten Anforderungen, aus Referenzprojekt)
  - Bei Einsatz als Härtefalllösung oder von Gelenkbussen steigt der Bedarf pro Bus!
- Kapazität Haupttank = 250 kg H<sub>2</sub> (mobile Tankstelle)
  - ⇒ 9 - 10 Betankungen
- Kapazität Haupttank = 500 kg H<sub>2</sub> (Liefertrailer nach Stand der Technik)
  - ⇒ 18 - 20 Betankungen
- Kapazität Haupttank = 1.000 kg H<sub>2</sub> (Liefertrailer zukünftig erwartete Größe)
  - ⇒ 37 - 40 Betankungen

Bereits bei 20 H<sub>2</sub> Solobussen kann eine tägliche H<sub>2</sub> Anlieferung erforderlich sein!

# Genehmigungsverfahren für die Errichtung eines Elektrolyseurs berühren die Bereiche Immissionsschutz, Umweltverträglichkeit und Baurecht



## Immissionsschutz

- **Genehmigungsbedürftige Anlage** – Nr. 4.1.12 der 4. BImSchV – Anhang I; Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung erforderlich
- Überwachungsverpflichtungen gem. § 52a BImSchG und Umsetzung der besten verfügbaren Techniken (BVT)
- Nr. 2.44 der 12. BImSchV – Anhang I: Wasserstoff als „gefährlichen Stoff“ – die bezeichneten Mengenschwellen von 5.000 kg und 50.000 kg begründen bei Überschreitung abgestufte Anforderungen zur Störfallvermeidung



## Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

- Gem. § 7 Abs. 1 S. 1 UVPG i. V. m. Anhang 1 Nr. 4.2 ist eine **allgemeine Vorprüfung** des Einzelfalls zur Feststellung der UVP-Pflicht durchzuführen. Die dabei anzuwendenden Kriterien werden in Anlage 3 des UVP-Gesetzes näher festgelegt.



## Baurecht

### Unbeplanter Außenbereich – Privilegierung (+)

§ 35 BauGB ist zu beachten: Privilegierung nach Abs.1 erforderlich:

- Abs. 1 Nr. 3 sieht eine Privilegierung vor für Vorhaben, die „**der öffentlichen Versorgung mit Elektrizität, Gas, (...) oder einem ortsgebundenen gewerblichen Betrieb**“ dienen
- Abs. 1 Nr. 5 privilegiert Vorhaben, die „**der Erforschung, Entwicklung oder Nutzung der Wind- oder Wasserenergie dienen**“
- öffentliche Belange nach § 35 Abs. 3 BauGB dürfen nicht entgegenstehen – z. B. drohende Umwelteinwirkungen

### Privilegierung (-)

- wird eine Privilegierung von der Baubehörde nicht angenommen, so ist ein **Bauleitplanverfahren** durchzuführen; Aufstellung eines entsprechenden Bebauungsplans (Festsetzungen nach §§ 8, 9,11 oder 14 BauNVO möglich)

# Impressionen einer Wasserstoff-Tankstelle



H2 Tankstelle (Hauptspeicher) ESWE Wiesbaden

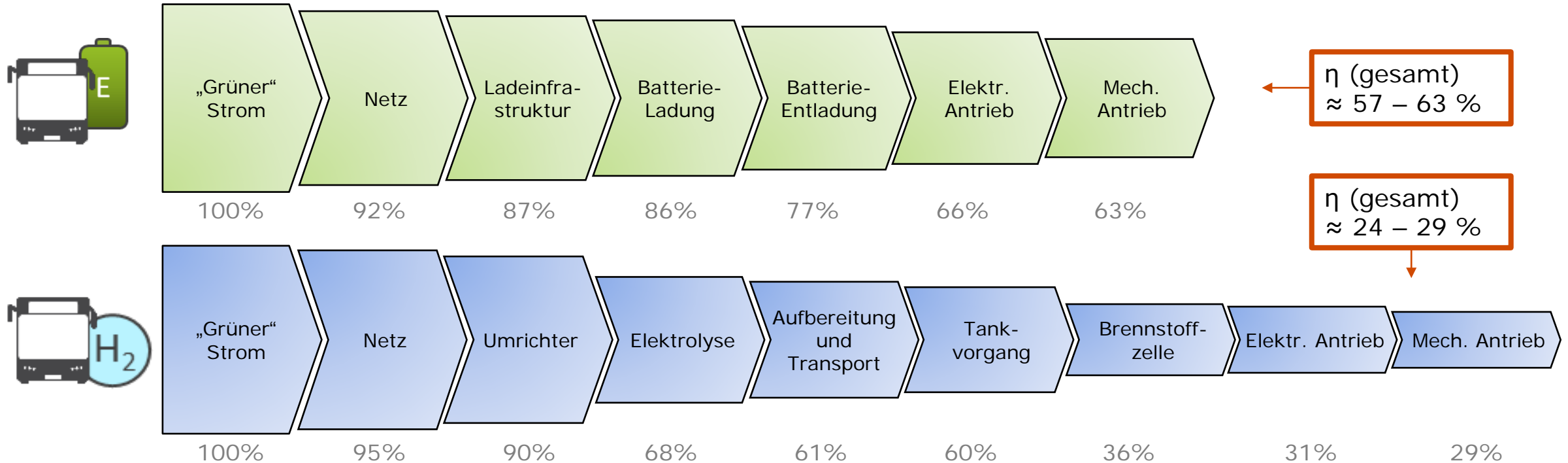


H2 Tankstelle ESWE Wiesbaden



H2 Tankstelle Hafencity Hamburg

# „Von der Quelle bis zum Rad“ ergeben sich wesentliche Abweichungen beim Gesamtwirkungsgrad

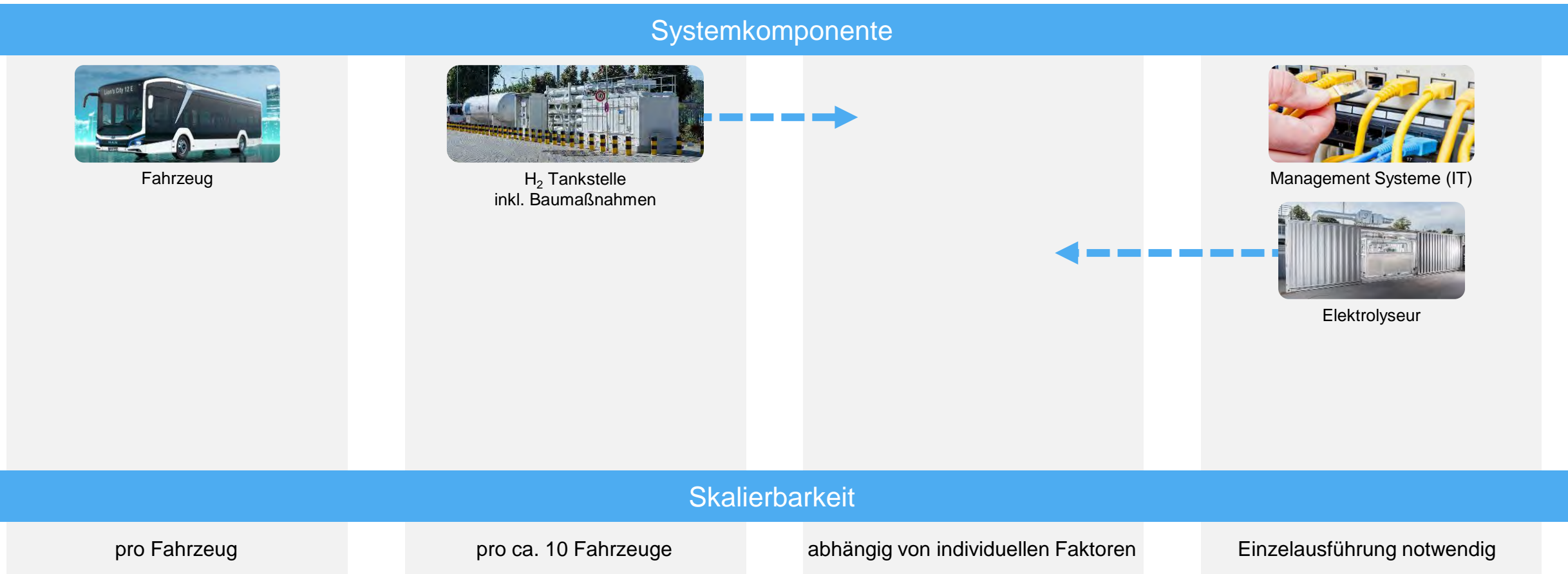


Der Einsatz von Wasserstoff macht Sinn, wenn die Umstände den zusätzlichen Energieaufwand rechtfertigen, z. B. wenn

- lokal ausreichende Strom-Überschussmengen (langfristig!) vorliegen und nicht anderweitig genutzt werden („Verwenden statt Verschenden“)
- höhere Betriebskosten gerechtfertigt sind (z.B. sehr lange Umläufe außerhalb des Kernnetzes, wenn kein Verkürzen möglich ist)
- der Einsatz z.B. als Teil einer regionalen Wasserstoffstrategie erforderlich ist (Demonstrator oder ähnliches)



# Brennstoffzellenbus-Systeme sind nur stufenweise skalierbar und erfordern in regelmäßigen Abständen große Aufwendungen

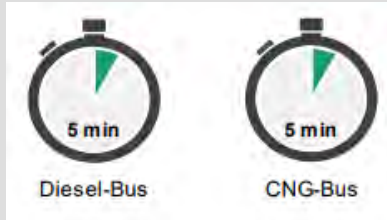




# Übergangstechnologie: CNG bzw. Biomethan

# Busse mit Erdgasantrieb – umweltfreundlicher als Dieselse

## Tankvorgang



- Gasdichte Schlauch- und Tankkupplung
- Speichertank 300 bar (Tankstelle)
- Speichertank Fzg. 200-250 bar (abh. v. Temp.)
- Tankdauer ähnlich Dieselse



energie-und-management.de

## Emissionen gegenüber Dieselse

- CO<sub>2</sub> : Ca. -15 % (fossil) / -90 % (Biomethan)
- NO<sub>x</sub>: Ca. -40%
- Feinstaub: Ca. -90%
- Lärm: Ca. -50%

eurotransport.de & DVGW Bewertung von Gasbussen für den öffentlichen Personennahverkehr und Vergleich mit Alternativkonzepten (Busstudie 2019)

## Speicherung

- Gastanks (200-250 bar) auf Fahrzeugdach
- Reichweiten:
- bis zu 500 km (laut MAN)
  - 300 bis 450 km (laut Betreiberbefragung)



DVGW Busstudie & <https://www.genius-community.com/>

## Wirkungsgrad

- Dieselmotor: Bis zu 50 % (Bosch /Weichai Power)

eurotransport.de

- CNG Motor: Bis zu 44 % (MAN E3872)

MAN

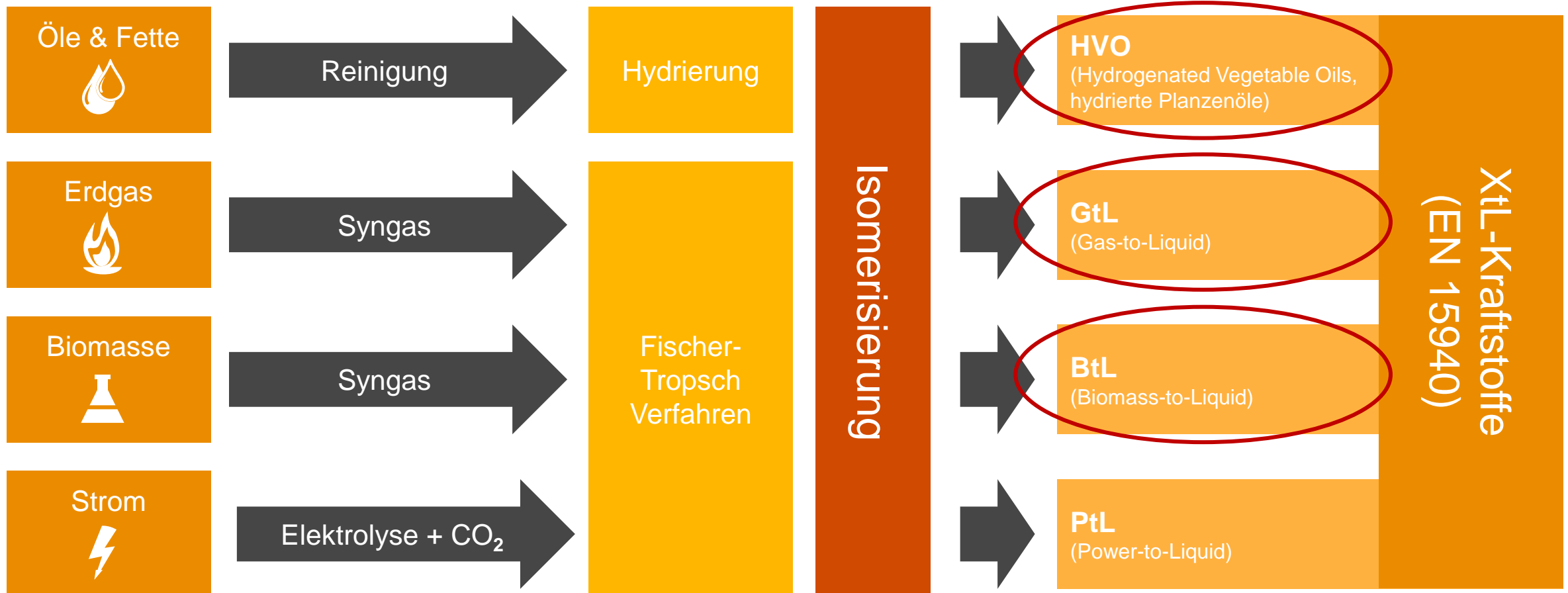


# Übergangstechnologie: konventioneller Antrieb mit GtL-Kraftstoffen



# Es gibt verschiedene Arten synthetischer, paraffinischer Dieselkraftstoffe – diese sind nach CVD jedoch nur „sauber“

## XtL-Kraftstoffe im Überblick – Synthetische, paraffinische Dieselkraftstoffe



## 3.3 Vorstellung der Inhalte des LB1

### Inhalte

#### 3. Gegenüberstellung der Antriebstechnologien und Stand der Technik

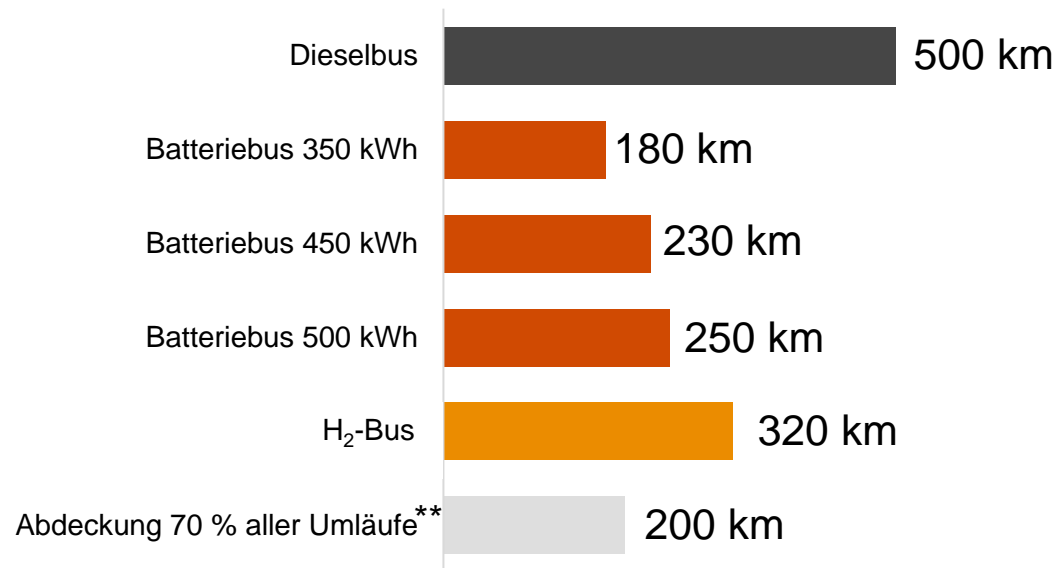


# Einschätzung der technologischen Reife, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Infrastruktur

		Technik	Entwicklungsstand (Reife)	Marktangebot (Verfügbarkeit) Fahrzeug	Zuverlässigkeit Fahrzeug	Marktangebot (Verfügbarkeit) Infrastruktur	Zuverlässigkeit Infrastruktur	Besonderheit	
		Gelenkbusse							
			Solobusse	Kleinbusse					
emissionsfrei	E-Bus	Serienreife						Reichweite und Angebot der Kleinbusse sehr eingeschränkt	
	H <sub>2</sub> Bus	Serienreife					Angebot ausreichend		Gelenkbusse angekündigt
sauber	CNG Bus (Biomethan)	Serienreife							Überschaubares Angebot, da Nachfrage überschaubar
	GTL-Kraftstoffe	Serienreife (Vertriebsaussage)							Umweltnutzen begrenzt. Basiert auf „sauberer“ Verbrennung. Kein Tankstellenverkauf.

# Bei Batteriebussen sind derzeit Tagesfahrleistungen von bis zu 250 km (ohne Zwischenladung) möglich, die Reichweite der Brennstoffzellenbusse liegt bei >300 km

## Reichweiten Solobusse\*



\*Solo-Bus im Stadtverkehr (SORT2); \*\* Fraunhofer IVI-Auswertung von 2.500 Umlaufplänen von 16 VU

↗ Es ist mit einem weiteren Anstieg der Reichweiten der E-Busse mit Batterie zu rechnen



## 3.4 Vorstellung der Inhalte des LB1

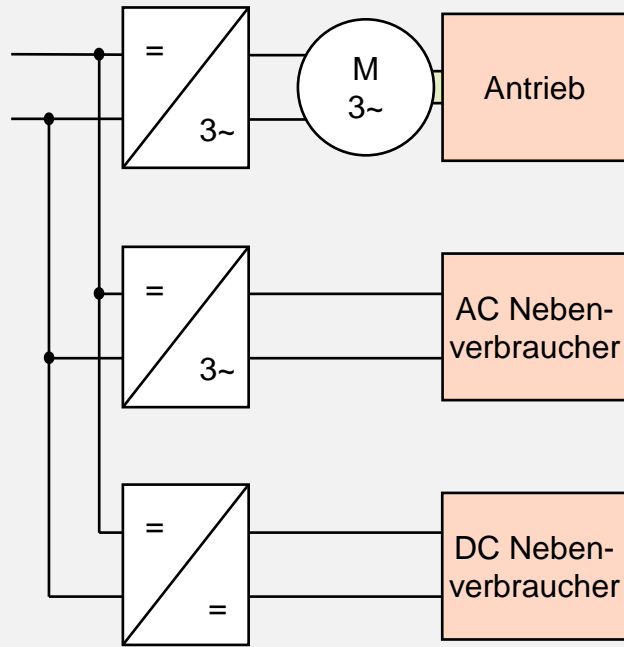
### Inhalte

#### 4. Nebenaggregate



# Alle Nebenverbraucher bei Elektrobussen sind elektrisch!

## Elektrischer Antriebsstrang

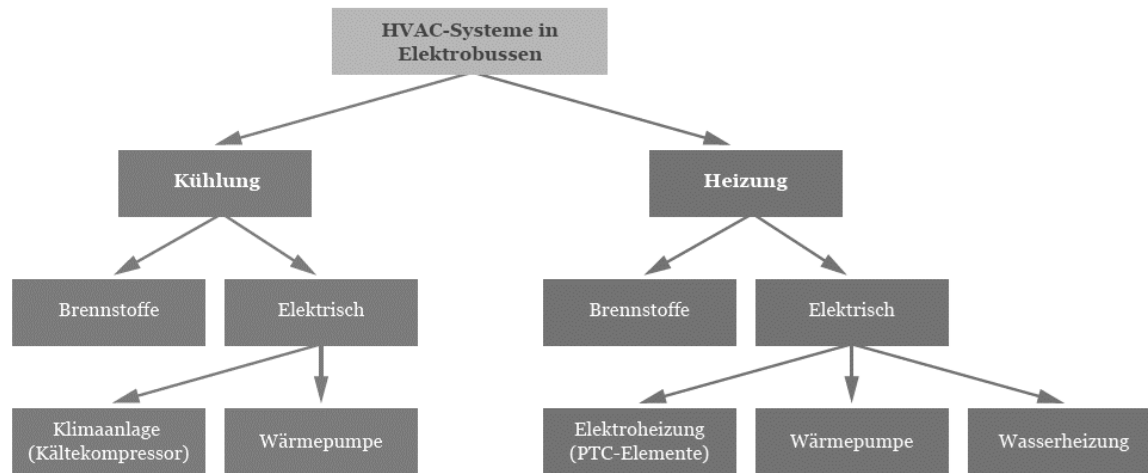


## Nebenverbraucher im Elektrobus

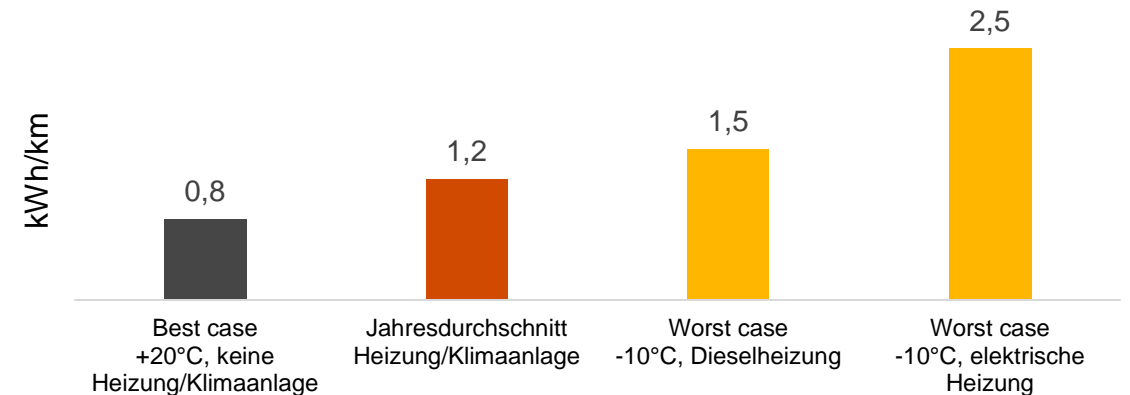
- Fahrzeug-Klimatisierung (HVAC)
  - Wärmepumpe
  - Widerstandsheizung
  - Biodiesel
- Lenkhilfepumpe
- Druckluftkompressor
- Fahrgastinformation
- Innen-/Außenbeleuchtung
- Monitoringsysteme
- Steuereinheiten/Bordrechner



# HVAC-Systeme in E-Bussen: Insbesondere mit dem Einsatz moderner Wärmepumpen kann die Energieeffizienz erhöht werden



Elektrischer Energieverbrauch eines typischen 12m Busses



## Erhöhung der Energieeffizienz

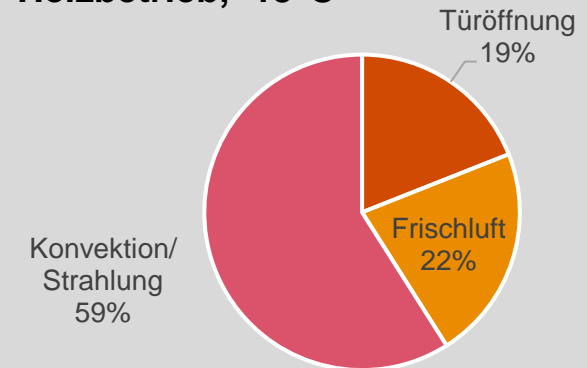
- Moderne Wärmepumpen können in einem erweiterten Einsatzbereich effizient betrieben werden
- bei entsprechender Vorkonditionierung eignen sie sich auch bei tiefen Temperaturen prinzipiell als ganzheitliche Heizlösung
- CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen ermöglichen Einsparungen von ca. 50 % ggü. herkömmlichen Elektroheizungen
- die Einsatzbereiche der Wärmepumpen sollen nach Herstellerangaben künftig erweitert und die Effizienz weiter gesteigert werden

# Es bestehen zudem weitere Möglichkeiten zur Verringerung des Energiebedarfs beim Heizen und Klimatisieren

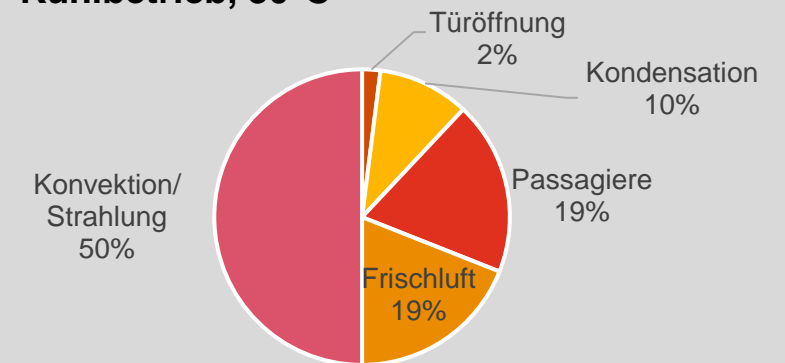
## Maßnahmen zur Verringerung des Energiebedarfs

- Speziallackierungen und spezielle Verglasungen (z. B. Doppelverglasung bzw. Wärmeschutzverglasung)
- Verbesserte Wärmeisolierung der Karosserie (z. B. mit Hochleistungsdämmschaum) und der Dachkanäle
- Belüftungsstrategien mit bedarfsgerechter Regelung der Frischluftzufuhr (z. B. Luftgüte-Sensor)
- Luftvorhang („air-curtain“), um den Austausch der temperierten Luft des Fahrgastraums mit der Umgebungsluft zu verhindern
- Thermisch vom Fahrgastinnenraum getrennter Fahrerplatz
- Vor- bzw. Überkonditionierung der Busse (Karosserie + Batterie) im Depot
- Innenausstattung (z. B. Sitze) aus wärmespeichernden Materialien
- Durch innovative Systeme sollen weitere Einsparungen erzielt werden können (z. B. Systeme zur Abwärme Nutzung, Wärmespeichersysteme, Infrarotheizer)

### Heizbetrieb, -15°C



### Kühlbetrieb, 30°C



## 3.5 Vorstellung der Inhalte des LB1

### Inhalte

#### 5. Werkstätten, Brandschutz, Schulungen



# Busbrände in Busdepots bei Diesel- und E-Bussen: nicht nur Batteriebusse verursachen Brände (Auszug)

**Datum:** 21.09.2015  
**Zerstörte Busse:** 7  
**Schadenshöhe:** 800.000 / 1,2 Mio. €\*  
**Ursache E-Bus:** nein

**Datum:** 25.12.2011  
**Zerstörte Busse:** 68  
**Schadenshöhe:** 17 Mio. / 22 Mio. €\*  
**Ursache E-Bus:** nein

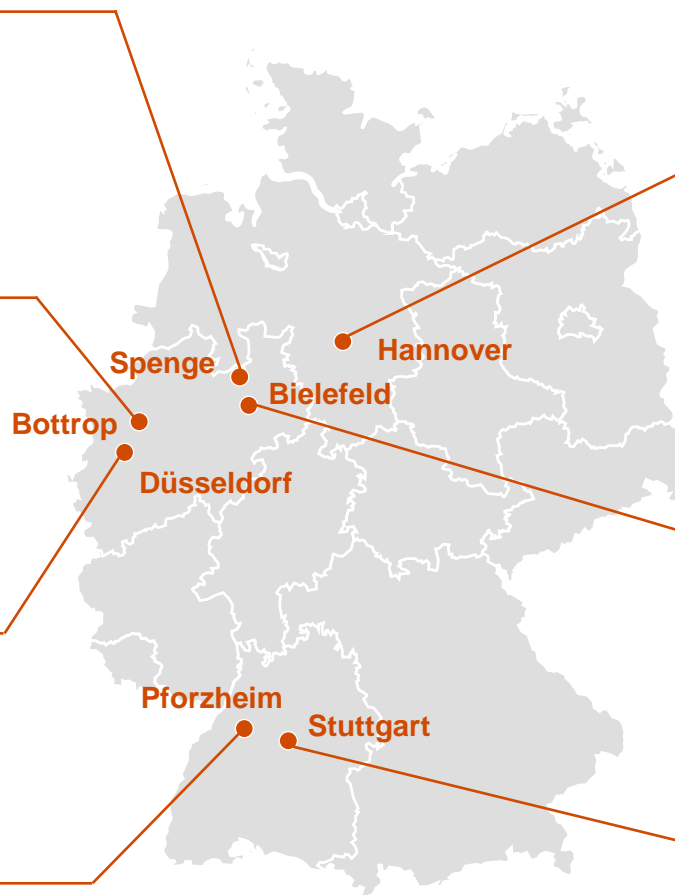
**Datum:** 01.04.2021  
**Zerstörte Busse:** 38  
**Schadenshöhe:** 20. Mio. / 50 Mio. €\*  
**Ursache E-Bus:** nein

**Datum:** 03.12.2016  
**Zerstörte Busse:** 6  
**Schadenshöhe:** „Millionen Höhe“  
**Ursache E-Bus:** nein

**Datum:** 05.06.2021  
**Zerstörte Busse:** 9  
**Schadenshöhe:** „Millionen Höhe“  
**Ursache E-Bus:** unklar

**Datum:** 15.01.2019  
**Zerstörte Busse:** 5  
**Schadenshöhe:** 1,5 Mio. €  
**Ursache E-Bus:** nein

**Datum:** 30.09.2021  
**Zerstörte Busse:** 25  
**Schadenshöhe:** „Millionen Höhe“  
**Ursache E-Bus:** ja



\* unterschiedliche Angaben zu je nach Quelle

# Entstehung von Bränden, Brandlast und Brandverhalten

## Verbrennungsdreieck

- drei Bedingungen Zündquelle, Sauerstoff und brennbarer Stoff müssen gleichzeitig auftreten
- durch Elimination einer Bedingung kann der Brand gelöscht werden



## Brandlast

- Busse insbesondere durch Innenraummaterialien mit hoher Brandlast
- Diesel- und E-Bus mit vergleichbarer Brandlast (VDV)
- Brandlast wird durch die steigende Verwendung von Kunststoffen (Leichtbau) weiter zunehmen

## Brandverhalten

- Brandausbreitung im Bus bis zum Vollbrand in der Regel innerhalb weniger Minuten
- geringe Zwischenräume zwischen Bussen in Abstellanlagen begünstigen den Brandüberschlag, der ohne Schutzmaßnahmen ohne wesentliche Zeitverzögerung geschieht
- in kürzester Zeit entwickeln sich große Rauchgas- und Wärmemengen sowie häufig auch explosionsfähige Gasgemische

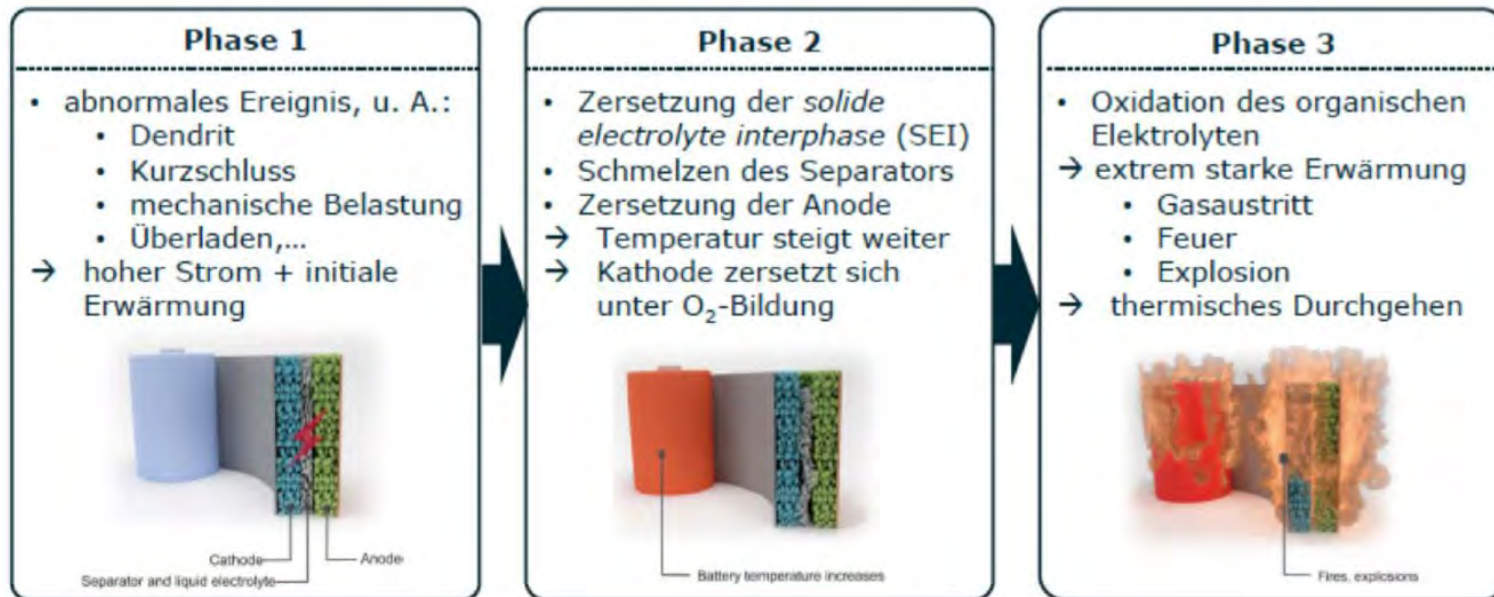
Quellen: DGUV, VDV

# Gefahren durch Batterien in E-Bussen

## Thermal Runaway

### Auf die Entzündung von Lithium-Ionen-Batterien folgt meist der „Thermal Runaway“

Der Thermal Runaway bzw. das Thermische Durchgehen ist eine sich selbst beschleunigende Zersetzungsreaktion, Dabei entstehen brennbare bzw. toxische Gase (Fluorverbindungen)



Quellen: Dr. Pampel (BAM), VDV

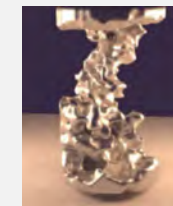
### Auslösende Faktoren

**Mechanisch:** Beschädigung, Penetration, Vibration, Verformungen

**Elektrisch:** interner Kurzschluss (Dendriten), Ladevorgang nach Tiefenentladung, Überladung

**Thermisch:** Temperatur zu hoch / zu niedrig

Das aktive Material der Kathode, die Bauart der Batterie, der Ladezustand (SOC), die Anzahl der Ladezyklen, das Alter der Batterie sind dabei **beeinflussende Faktoren** auf die Brandentstehung und das Brandverhalten.



**Dendriten** „wachsen“ zwischen Anode und Kathode und führen zu einem Kurzschluss in der Zelle



# Brandschutz in Abstellanlagen

## Allgemeines



Busabstellhallen sind in der Regel Sonderbauten, für die ein **Brandschutzkonzept** erstellt werden muss. Bei der Planung sollte mindestens die **Feuerwehr** und der **Gebäudeversicherer** mit einbezogen werden.



Die frühzeitige Erkennung von Bränden ist zwingend notwendig, sowohl im Bus (Batterie) als auch an der **Ladeinfrastruktur**! Es ist daher sinnvoll, die Zelltemperatur und die Zellspannung beim Ladevorgang **laufend zu überwachen** und bei Unregelmäßigkeiten den Ladevorgang automatisch zu unterbrechen.



Die frühzeitige Erkennung von Bränden ist zwingend notwendig, sowohl im Bus (Batterie) als auch an der **Ladeinfrastruktur**! Es ist daher sinnvoll, die Zelltemperatur und die Zellspannung beim Ladevorgang **laufend zu überwachen** und bei Unregelmäßigkeiten den Ladevorgang automatisch zu unterbrechen (BMS, Lademanagement-System, Leitstelle).



Auf Grund der geschlossene Bauweise der Batterien ist ein Brand rein **optisch erst spät erkennbar**. Die frühzeitige Auslösung der gebäudeseitigen Brandmeldeanlage (mit genauer Ortung) und, falls vorhanden, der automatischen Brandunterdrückungsanlage (Sprinkleranlage bzw. HD-Wassernebel) sollte sichergestellt werden.

# Blick in die „Hallen“ der BVG...

**Status Brandfrüherkennung E-Bus**

z.B. iBMS

Noch nicht vorhanden

Energieverteilung  
Batteries  
Management  
System (BMS)

**Brandmeldeanlage überwacht nicht die Batterien!**  
Aktiv bei 24V Bordspannung  
→ sendet Information an Fahrerdisplay

Aktuell:  
Batterie Management System (bei 24V Bordspannung oder beim Laden) liefert Zelltemperatur und Zellspannung  
→ Daten im Fahrzeug vorhanden, Fehlermeldung Dashboard Fahrer, kein aktives Monitoring

Zielstellung:  
→ **Aktives Sicherheitsmonitoring auf Modulebene der HV Batterien mit frühzeitiger Warnmeldung - im Frontend - beim Erreichen eines kritischen Zustandes**

29 / Ulrich Peik / 12.05.2022



Quelle: BVG, Ulrich Peik

Busdepot üstra Hannover

A 7

A 8



# Brandschutz in Abstellanlagen

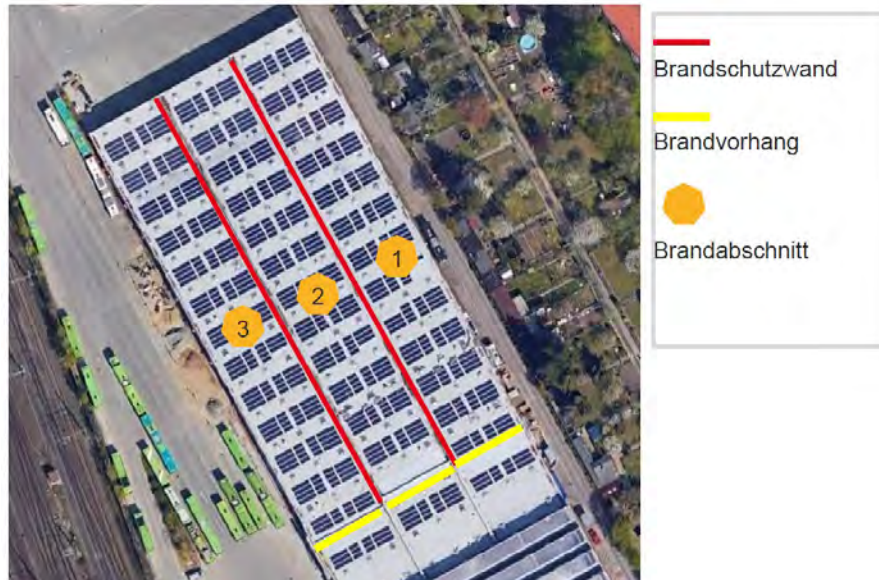
## Brandabschnitte



Es ist zu empfehlen, die Abstellhalle in **einzelne Brandabschnitte** zu unterteilen.

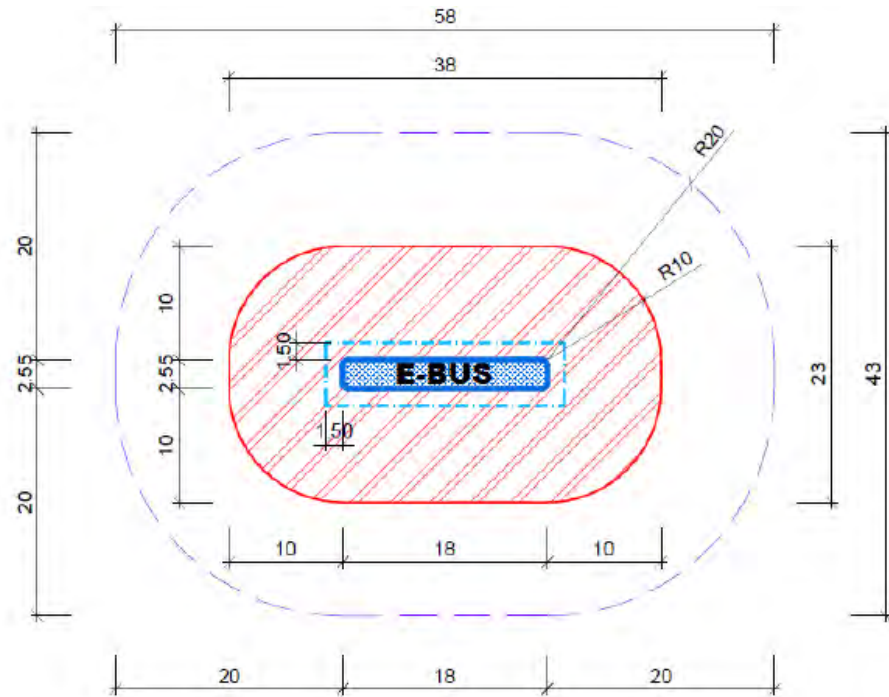
Der VDV empfiehlt, die Brandabschnitte bzw. in einem Bereich abgestellten Busse sowohl in Hallen als auch in Carports und bei Freiaufstellung auf ca. **20 Busse** zu begrenzen.




Anzahl von 20 „verlorenen“ Bussen ist **versicherungstechnisch und organisatorisch** noch relativ gut handhabbar.



Quellen: VDV, Üstra  
Bilder Betriebshof Mittelfeld,  
Hannover

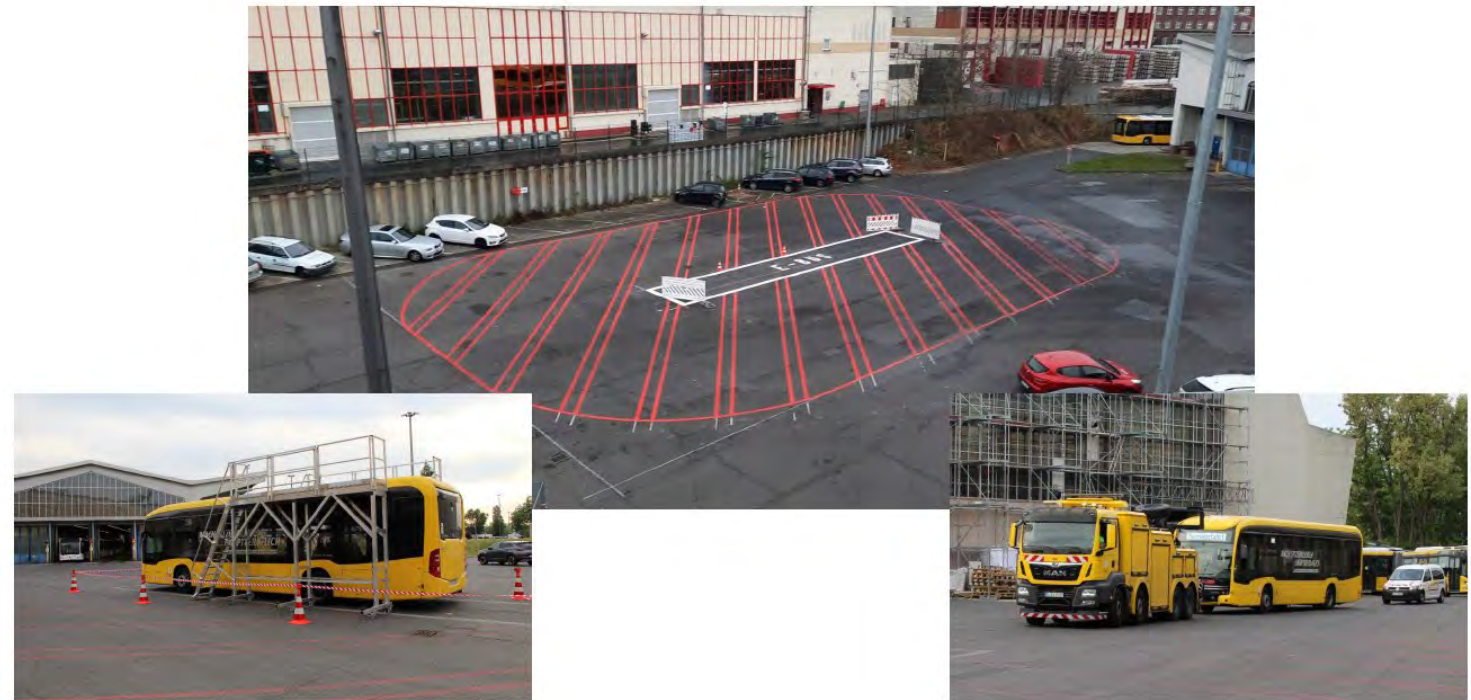
# Brandschutz in Abstellanlagen der Beobachtungsplatz



-  Sicherheitsabstand zu Gebäuden
-  Sicherheitsabstand Arbeitsschutz
-  Brandlastfreie Zone + Halteverbot

Quellen: BVG, Feuerwehr Berlin

Beobachtungsplatz BVG Indira-Gandhi-Straße



**Genauere Vorgaben für einen Beobachtungs- oder Havarieplatz gibt es bisher noch nicht.**

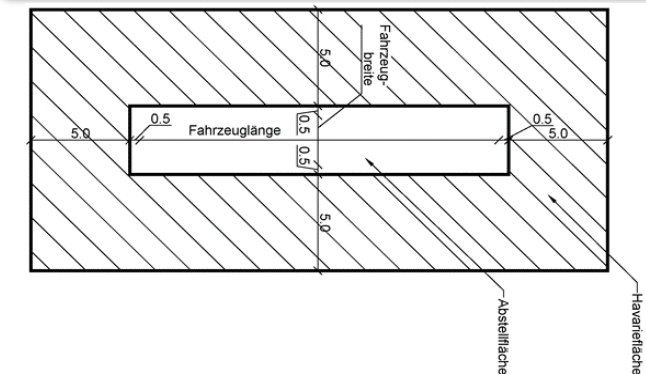
# Werkstätten müssen für den Einsatz an E-Bussen vorbereitet werden

## Ausstattung der Werkstätten mit:

- Dacharbeitsbühne
- Krananlage mit 1t Hubkraft
- Test- und Messgeräte für Elektrobusse/H<sub>2</sub>-Busse
- Sicherheitseinrichtungen für H<sub>2</sub> Technik (Gaswarner, Entlüftung)
- Mobile Ladegeräte für Zwischenladung der Fahrzeuge
- Persönliche Schutzausrüstung für Mitarbeiter

## Freifläche draußen für:

- „Beobachtungsplatz“ Elektrobus

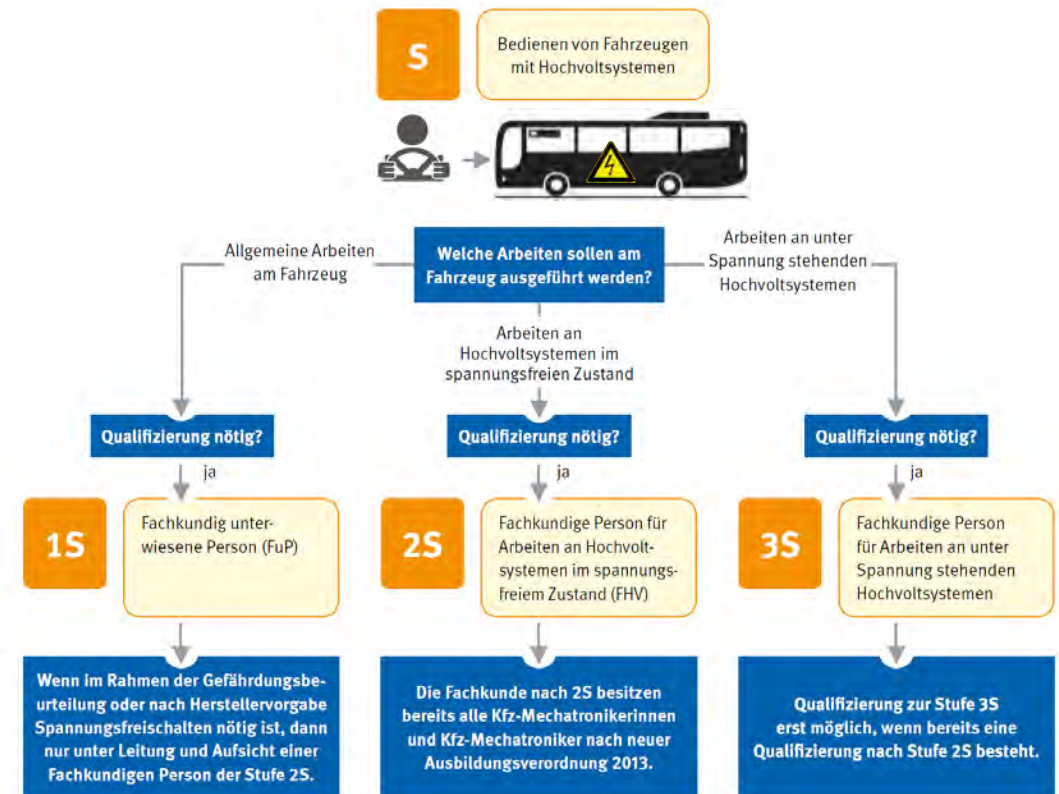


# Personalschulung schafft Qualifikation der Mitarbeiter und kann Ängste bzw. Rückhalte in der Belegschaft abbauen

## Schulung der Mitarbeiter in aufsteigender Tiefe

- Servicepersonal
- Fahrdienst
- Werkstatt – keine Hochvolt-Arbeiten
- Werkstatt – Hochvolt-Arbeiten nicht unter Spannung
- Werkstatt – Hochvolt-Arbeiten unter Spannung

## Grundlage: DGUV Information 209-093



Quelle: DGUV

## 3.6 Vorstellung der Inhalte des LB1

### Inhalte

#### 6. Marktübersicht und Wirtschaftlichkeit



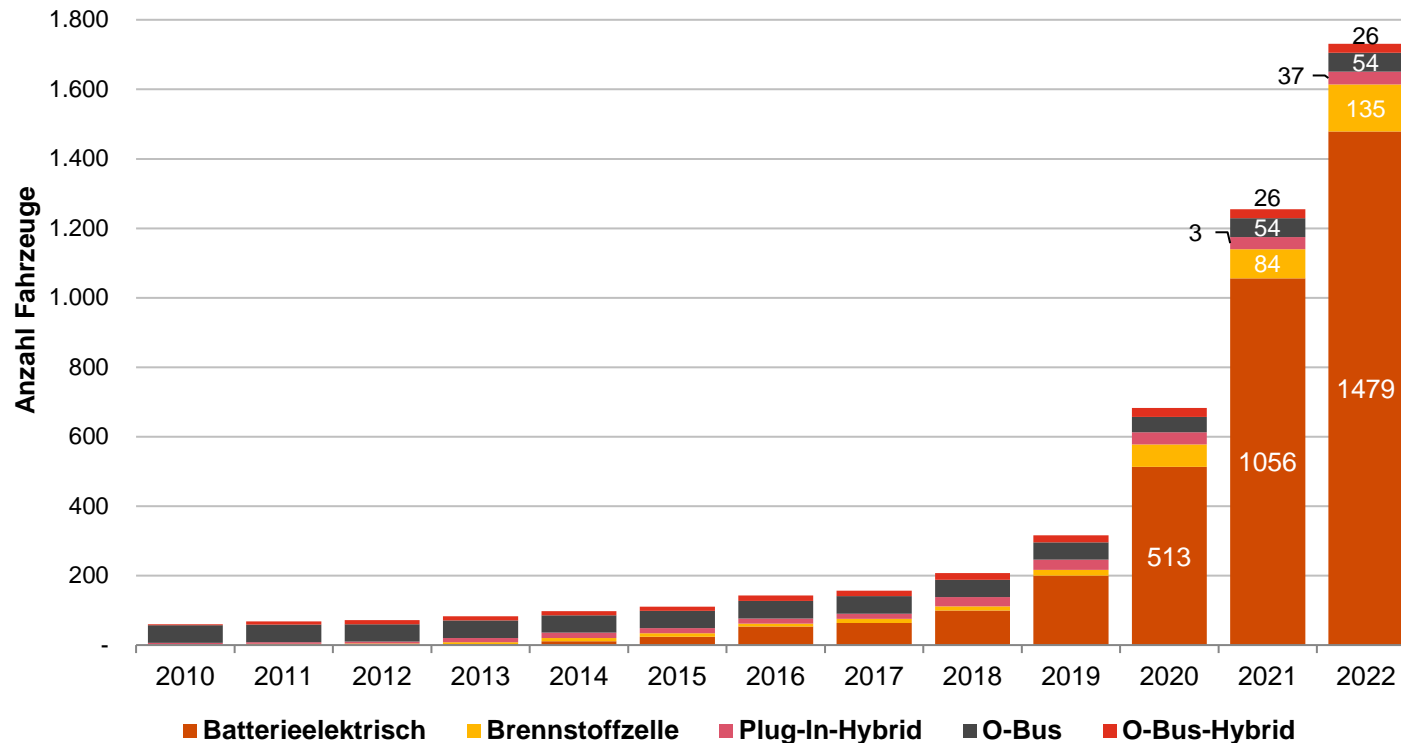


# Der Bestand an Batteriebussen wächst seit 2015 stärker als bei allen übrigen elektrischen Antriebsarten zusammen

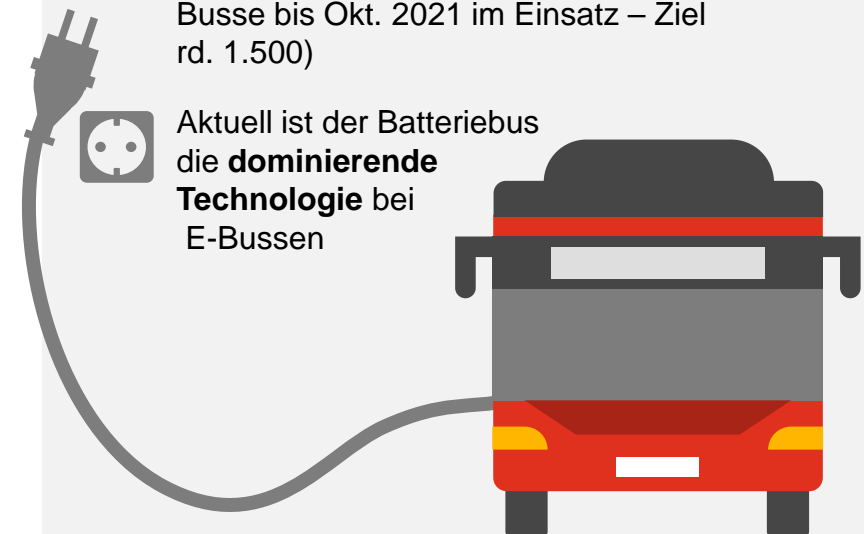
Datenstand: Oktober 2022

## Entwicklung E-Bus-Bestand in Deutschland

n = 1.731



- Seit 2018 **verdoppeln** sich die jährlichen Zuwächse mindestens
- Jüngste Zuwächse des E-Bus-Bestands durch **Batteriebusse**
- BMU-Förderprogramm hat großen **Anteil am Markthochlauf** (mehr als 450 geförderte Busse bis Okt. 2021 im Einsatz – Ziel rd. 1.500)
- Aktuell ist der Batteriebus die **dominierende Technologie** bei E-Bussen



# Es gibt bereits ein breites Angebot verschiedener Hersteller aus diversen Ländern

ausgewählte Beispiele

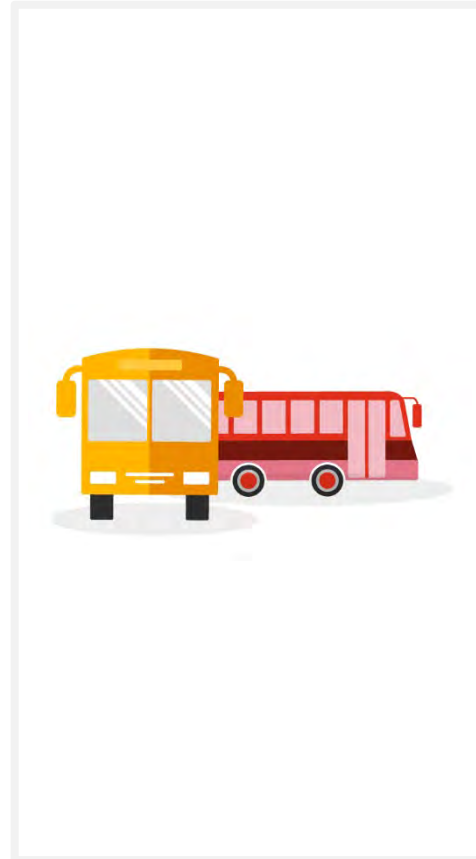
## Frankreich



## Deutschland



## Niederlande



## Polen



## China



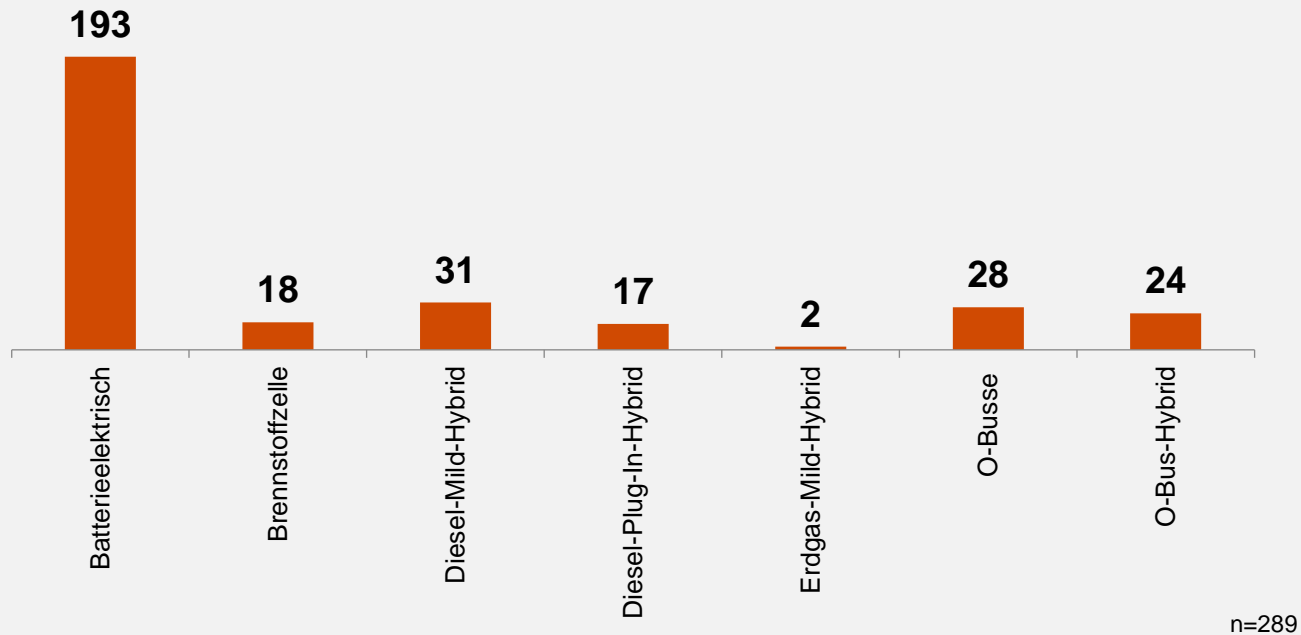
## Weitere Länder



# Das Angebot an Brennstoffzellenbussen ist bisher begrenzt, der Markt wird sich jedoch absehbar weiterentwickeln

Stand: Dezember 2021

## Verteilung der verfügbaren Fahrzeugmodelle nach Antriebsart



## Hersteller mit BZ-Bussen im Angebot:



**aber:** Angebot beschränkt sich bislang zumeist auf Solobusse für den ÖPNV








➔ **Solaris, Evobus, Van Hool und Caetano planen Markteinführung von BZ-Gelenkbussen im Jahr 2023**




## Hersteller, die neue BZ-Busse planen:



# Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen Bau- und Antriebsart der E-Bus-Modelle ableiten

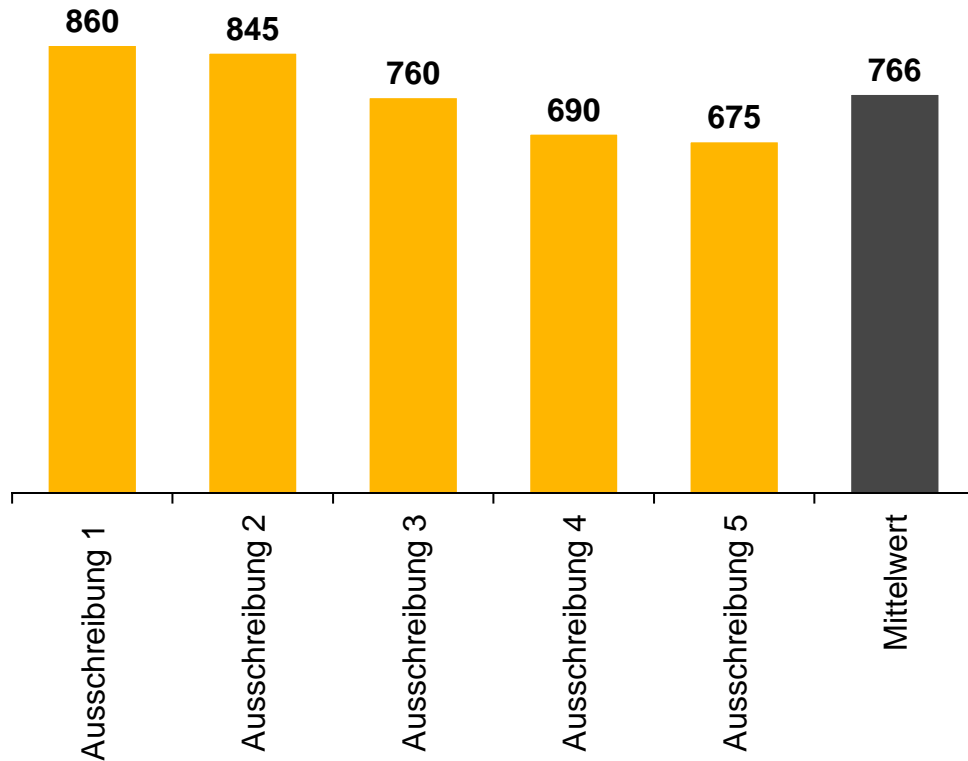
Stand: Dezember 2021

	Batterie- elektrisch 	Brennstoff- zelle 	Diesel-Mild Hybrid 	Diesel-Plug- In-Hybrid 	Erdgas- Mild-Hybrid 	O-Bus 	O-Bus- Hybrid 	Summe
<b>Doppeldecker</b>	4	2	5	1	0	0	0	12
<b>Doppelgelenk</b>	1	1	1	0	0	0	3	6
<b>Gelenk</b>	31	1	10	3	1	1	13	60
<b>Standard-3-Achs</b>	4	0	0	2	0	0	0	6
<b>Standard-Solo</b>	90	9	12	10	1	3	8	133
<b>Midi</b>	37	4	3	1	0	0	0	45
<b>Mini</b>	17	1	0	0	0	0	0	18
<b>Klein</b>	9	0	0	0	0	0	0	9
<b>Summe</b>	<b>193</b>	<b>18</b>	<b>31</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>289</b>

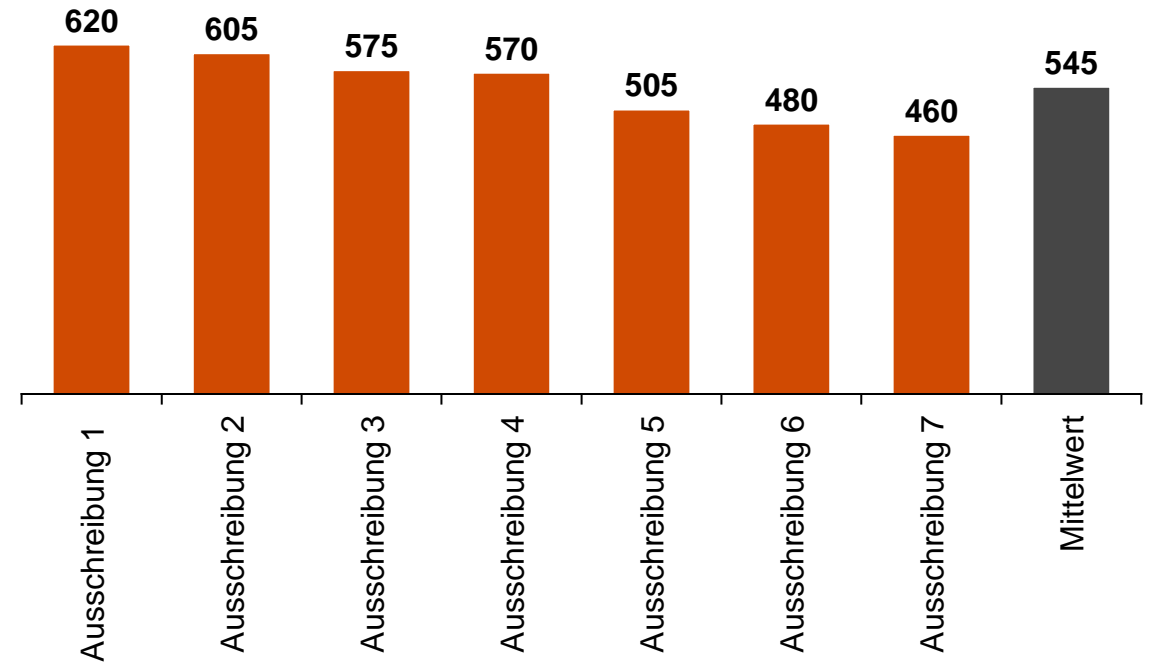
-  der Standard-Solo-Bus zeigt die breiteste Marktverfügbarkeit und wird zum größten Teil batterieelektrisch angetrieben
-  kleinere Bauarten sind tendenziell häufiger mit dem batterieelektrischen Antrieb ausgestattet
-  bei den beiden größten Bauarten ist der batterieelektrische Antrieb hingegen nicht die häufigste Antriebsart

# Die Preise von E-Bussen schwanken nach Hersteller und Ladekonzept, eine Spanne ist jedoch erkennbar

Gelenk-Busse – Anschaffungspreise je Fzg.



Solo-Busse – Anschaffungspreise je Fzg.



in TEUR

# Infrastrukturangebot

## Elektrische Ladeinfrastruktur



A Member of the Shell Group

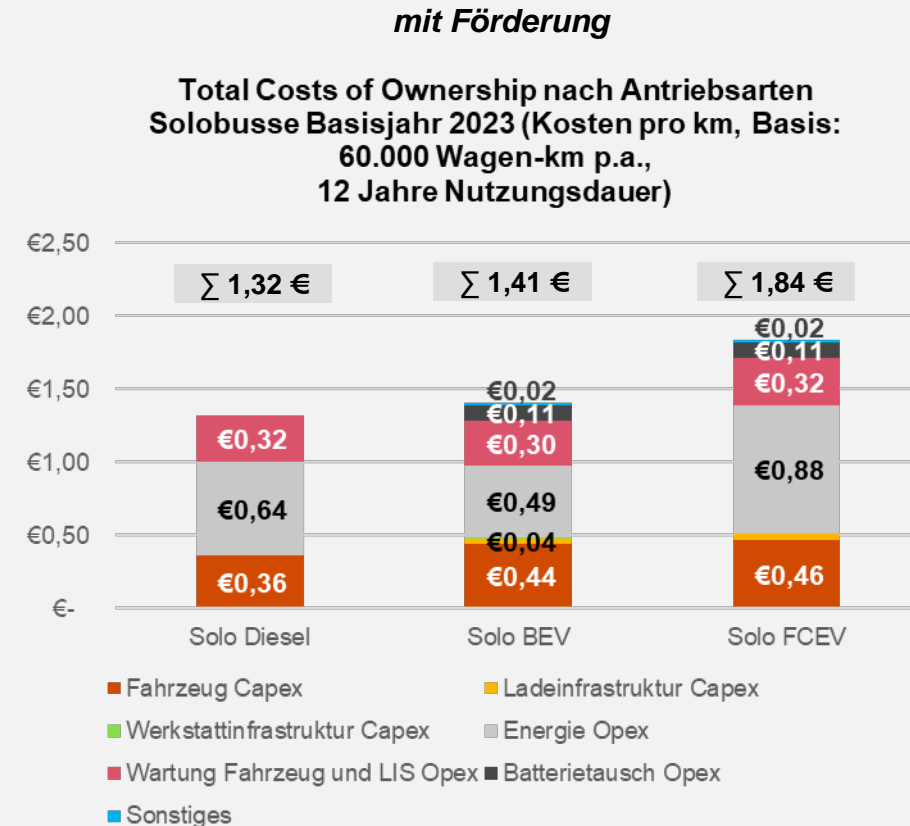
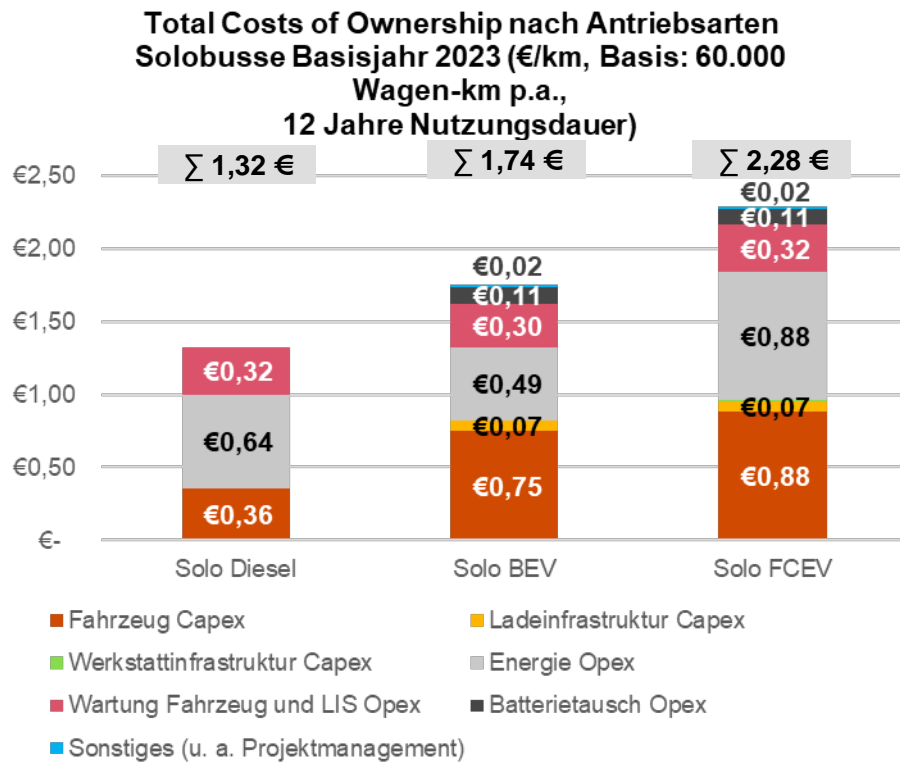


## Wasserstoff Tankinfrastruktur



# Total Cost of Ownership - Solobusse

## Vergleich der Investitions- und Betriebskosten



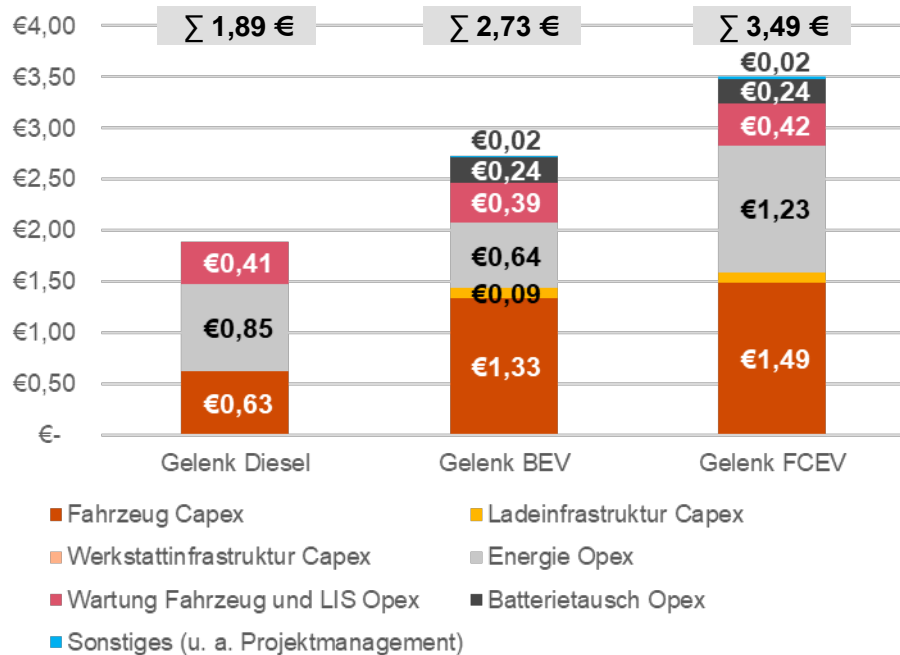
ohne Berücksichtigung Fahrzeugmehrbedarf und individueller Rahmenbedingungen

# Total Cost of Ownership - Gelenkbusse

## Vergleich der Investitions- und Betriebskosten

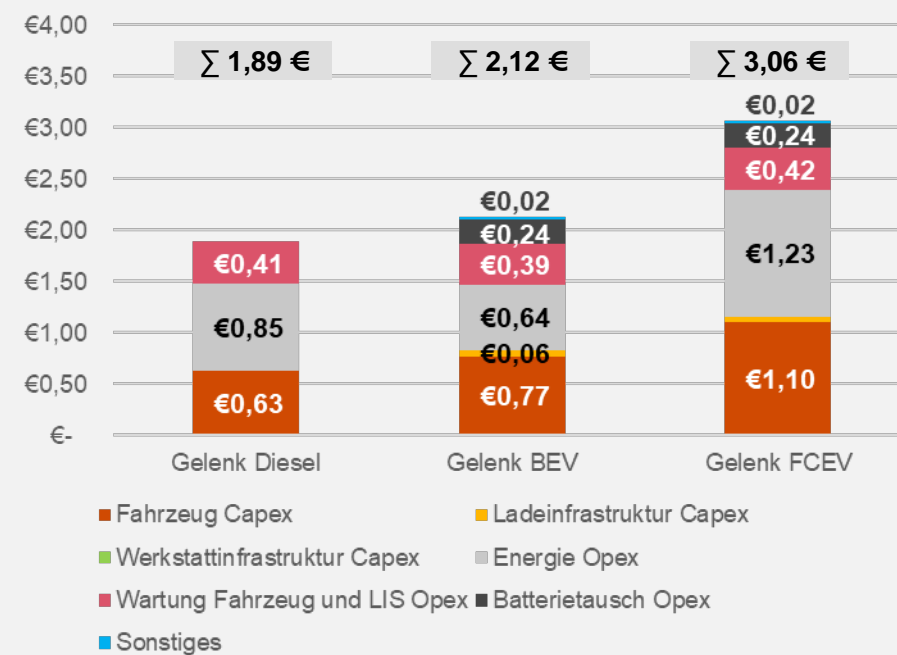


**Total Costs of Ownership nach Antriebsarten**  
 Gelenkbusse Basisjahr 2023 (€/km, Basis: 45.000  
 Wagen-km p.a.,  
 12 Jahre Nutzungsdauer)



*mit Förderung*

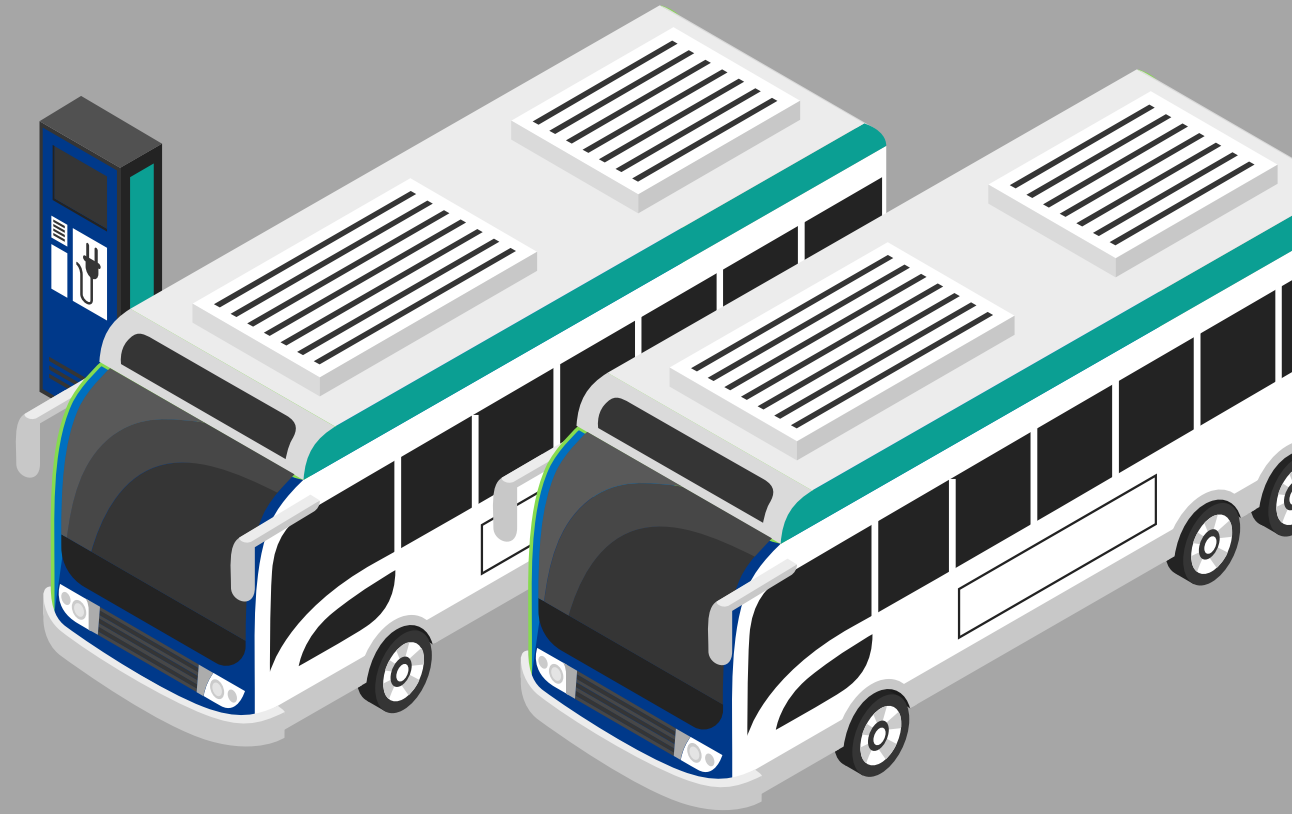
**Total Costs of Ownership nach Antriebsarten**  
 Gelenkbusse Basisjahr 2023 (Kosten pro km, Basis:  
 45.000 Wagen-km p.a.,  
 12 Jahre Nutzungsdauer)



ohne Berücksichtigung Fahrzeugmehrbedarf und individueller Rahmenbedingen



## 4 LB 2: Fördermöglichkeiten



# Förderprogramme und Finanzierungsinstrumente auf EU-Ebene

## Förderprogramme der Europäischen Union

Förderprogramm	Fördergebiet	Fördergegenstand	Förderart/-höhe	Antragsberechtigte	Ansprechpartner	Laufzeit	Status	Quellen	Kumulierbar
<b>Europäischer Fond für regionale Entwicklung (EFRE)</b>	bundesweit	Stärkung des wirtschaftliche, territorialen und sozialen Zusammenhang der EU durch Beseitigung von Ungleichheiten  - u.a. durch Förderung von Nachhaltigkeit im Verkehr	<b>Förderung als Zuschuss</b>  - Höhe hängt von Art und Umfang der Maßnahme ab, maximal jedoch 50% der zuwendungsfähigen Gesamtausgaben	- Städte, Gemeinden, Regionen, Stadtbezirke, Ballungsräume - Regionale und nationale Behörden - Universitäten und Forschungseinrichtungen	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	2021-2027	aktiv	<a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1058&amp;from=EN">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1058&amp;from=EN</a>  <a href="https://www.efre-thueringen.de/fileadmin/user_upload/PDF/Verordnungen/VO_1058_2021__EFRE_.pdf">https://www.efre-thueringen.de/fileadmin/user_upload/PDF/Verordnungen/VO_1058_2021__EFRE_.pdf</a>	Ja
<b>European Local Energy Assistance (ELENA)</b>	bundesweit	ELENA bietet eine Förderung für u.a. <u>innovative</u> Lösungen im Stadtverkehr  - Investitionen in innovative Lösungen, die den Einsatz alternativer Kraftstoffe im Stadtverkehr fördern  - Investitionen in die breite Einführung neuer, energieeffizienterer Verkehrslösungen in städtischen Gebieten (z. B. Shared Mobility, Projekte für Stadtlogistik, intelligente Verkehrssysteme sowie städtische Infrastruktur	<b>Förderung als Zuschuss oder Darlehen</b>  - i.d.R. Projekte > 30 Mio EUR - Zuschüsse für Projektentwicklung von der Europäischen Kommission (maximal 90% der förderfähigen Kosten) - Darlehen für Finanzintermediäre mit dem Ziel, kleinere Projekte zu fördern (bis 50 Mio EUR)	- Öffentliche Einrichtungen (Länder, Kommunen, staatliche Organisationen, öffentliche Unternehmen) - Privatwirtschaftliche Einrichtungen, die förderfähige Vorhaben planen und unterstützen (Verbände etc.)	Europäische Investitionsbank (EIB)	keine Angaben	aktiv	<a href="https://www.eib.org/de/products/advising/elena/index.html">https://www.eib.org/de/products/advising/elena/index.html</a>  <a href="https://www.umweltpakt.bayern.de/werkzeuge/foerderfibel/programme/173/elena-european-local-energy-assistance/">https://www.umweltpakt.bayern.de/werkzeuge/foerderfibel/programme/173/elena-european-local-energy-assistance/</a>	keine Angaben

# Förderprogramme und Finanzierungsinstrumente auf EU-Ebene

## Förderprogramme der Europäischen Union

Förderprogramm	Fördergebiet	Fördergegenstand	Förderart/-höhe	Antragsberechtigte	Ansprechpartner	Laufzeit	Status	Quellen	Kumulierbar
<b>Connecting Europe Facility (CEF) - 2 Transport - Alternative Fuels Infrastructure Facility (Cohesion and General Envelope)</b>	bundesweit	Das EU-Programm CEF fördert Investitionen in europäische Digital-, Energie- und Transportinfrastruktur.  Im Bereich Transportinfrastruktur werden über das Vorhaben "Alternative Fuels Infrastructure Facility - Works - Zero Emissions" - elektrische Ladeinfrastruktur (Ladestationen in Bus-Depots, Opportunity-Based Ladeinfrastruktur) - Anlagen zur Energiespeicherung im Einzugsgebiet der Urban Nodes des europäischen TEN-T Netzwerks gefördert.	<b>Förderung als Zuschuss</b>  - Projekte sollten idealerweise ein Volumen von > 1 Mio. EUR aufweisen - i.d.R. werden 50% der förderfähigen Kosten für elektrische Infrastruktur und Fahrzeuge, 20% der förderfähigen Kosten für LNG Infrastruktur und Fahrzeuge übernommen	- Unternehmen - Kommunen - Öffentliche Einrichtungen	European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency	2021-2023	Aktiv – letzte Antragsstellung zum 23.09.2023 möglich)	<a href="https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/cef/wp-call/2021/call-fiche_cef-t-2021-afifcoen_en.pdf">https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/cef/wp-call/2021/call-fiche_cef-t-2021-afifcoen_en.pdf</a>	keine Angaben
<b>Europäische Energieeffizienzfonds (EEEF)</b>	bundesweit	Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 auf mind. 55%  - Nutzung erneuerbaren Energien soll um mind 32% gesteigert werden - Energieeffizienz um mindestens 32,5% verbessert werden EEEF investiert in geeignete Projekte oder Finanzinstitutionen, die ihrerseits Projekte fördern	<b>Förderung als Darlehen, Garantie, Beteiligung u.a. Finanzinstrumente</b>  - Finanzierung zu Marktbedingungen bis zu 15 Jahre - Direktinvestitionen zwischen 5 Mio. EUR und 25 Mio. EUR	- Kommunen - Öffentliche Einrichtungen - Unternehmen	EEEF	keine Angaben	aktiv	<a href="https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/europaeischer-energieeffizienzfonds-eeef.html">https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/EU/europaeischer-energieeffizienzfonds-eeef.html</a>	Ja, z.B. mit ELENA

# Das BMDV förderte technologieoffen die Beschaffung alternativ angetriebener Busse für den ÖPNV

Bundesförderung

## Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr des BMDV



### Antragsberechtigte

- juristische Personen des öffentlichen Rechts und des Privatrechts sowie natürliche Personen, soweit sie wirtschaftlich tätig sind → Unternehmen, die Personenverkehre mit Bussen erbringen



### organisatorische Instanzen

- Fördergeber BMDV
- Koordination durch NOW GmbH
- Projektträger PTJ Forschungszentrum Jülich



### Fördergegenstand und Verfahren

- Beschaffung von Bussen mit alternativen Antrieben insbesondere in kommunalen Flotten und der hierfür benötigten Lade-/Betankungsinfrastruktur (Flottenprogramm)
- Förderrichtlinie ist technologieoffen: Batteriebusse (BEV), Batterie-O-Busse, Brennstoffzellenbusse (FCEV) sowie Biogasbusse werden gefördert
- Erarbeitung kommunaler Elektromobilitätskonzepte
- Förderung von Forschung und Entwicklung zur Unterstützung des Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen
- Schwerpunkt liegt auf kommunalen und gewerblichen Flotten mit hoher Verkehrsleistung
- insgesamt stehen (zunächst) 1,25 Mrd. Euro bereit
- zweistufiges Verfahren: 1. Skizze, 2. Förderantrag
- aktuell läuft der 2. Aufruf zur Skizzeneinreichung



### Finanzieller Effekt

- investives Förderinstrument
- Bezuschussung der Investitionsmehrkosten der Fahrzeuge

80 %

- Bezuschussung der Investitionskosten der Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur und Werkstattinfrastruktur

40 %



### Zeithorizont und Ausblick

- dritter Aufruf in Q3/2023
- Busse müssen nach 6 Monaten ausgeschrieben und nach 12 Monaten bestellt werden
- Vorhabenslaufzeit bis max. 30. Juni 2025



### Projekte mit Förderbescheid (Auszug)

- Bescheide aus dem ersten Aufruf für 1.700 Busse (davon ca. 1.400 BEV, 150 FCEV, 50 O-Busse und 100 Gasbusse) übergeben
- Hamburger Hochbahn: 289 BEV und 486 Ladeeinheiten
- VHH Hamburg: 183 BEV und 216 Ladeeinheiten
- Transdev Berlin: 325 BEV, 40 FCEV, 110 Biomethan



### Chancen und Herausforderungen

- Überzeichnung des 1. Aufrufs → Förderbedarf ist wesentlich höher als bereitstehende Mittel
- Förderbedarf auch für Projekte, die (initiale) Beschaffungen für 2. CVD-Periode vorsehen (ab 2026)

# Durch die Bezuschussung sind lediglich 20 % der Investitionsmehrkosten eines Batteriebusses ggü. dem Referenz-Dieselsbus durch die Verkehrsunternehmen zu tragen

## Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr des BMDV

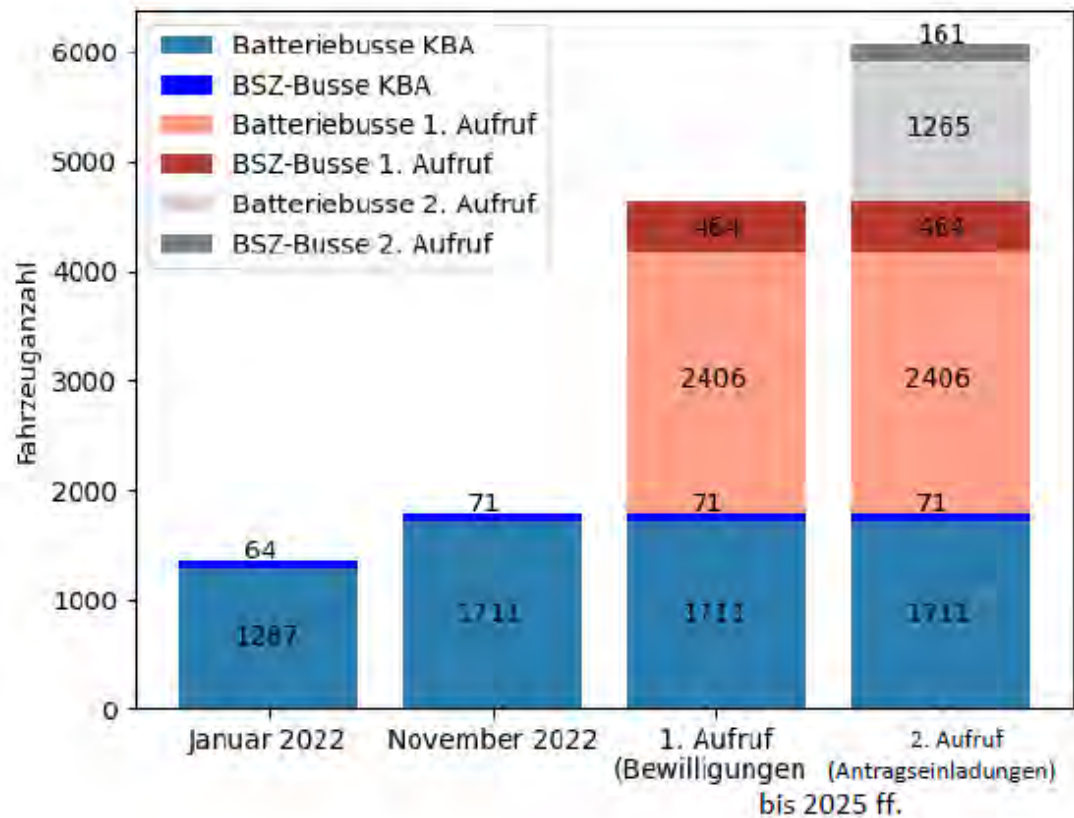
### Rechenbeispiel 12 m Solo-Batteriebus (ohne Ladeinfrastruktur)

Kosten Batteriebus:	550 T€
Kosten Dieselsbus (Referenz):	230 T€
Investitionsmehrausgaben:	320 T€
maximale Zuwendung:	256 T€
Kosten Batteriebus gefördert:	294 T€
Mehrkosten zu Dieselsbus gefördert:	64 T€



Quelle: Ebusco, BVG

# Der im Rahmen des 1. Aufrufs des BMDV Förderprogramms wurde die Förderung von 2.406 Batteriebussen bewilligt



Quelle: NOW GmbH, 2022



# Das Land Hessen fördert die Beschaffung von Elektrobussen für einen umweltfreundlichen ÖPNV



## Förderung der Elektromobilität in Hessen

### Antragsberechtigte

- natürliche und juristische Personen des öffentlichen und privaten Rechts mit Sitz oder Betriebsstätte in Hessen; eine Beschränkung auf KMU besteht nicht.

### organisatorische Instanzen

- Fördergeber: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
- Koordination und Projektträger: HA Hessen Agentur

### Fördergegenstand und Verfahren

- Gefördert werden hauptsächlich Forschungs- und Entwicklungsvorhaben. Das Förderprogramm ist dabei grundsätzlich für alle Technologien offen, die im Rahmen der elektrischen Mobilität - mit Batterie und/oder Brennstoffzelle - von Bedeutung sind
- **In besonderen Einzelfällen** kann auch die Beschaffung von E-Fahrzeugen und Lade- bzw. Tankinfrastruktur gefördert werden (Investitionsförderung). Hierzu zählen elektrische Nutzfahrzeuge, Transport- und Sonderfahrzeuge, die in Wirtschaft und öffentlichem Gemeinwesen eingesetzt werden. Ausdrücklich zu beachten ist, dass gängige Elektro-PKW, Hybridfahrzeuge wie auch Elektrozweiräder hiervon ausgenommen sind.
- Einstufiges Antragsverfahren für Beschaffungsprojekte, Antragsstellung jederzeit möglich, einzureichen ist ein Formblatt (max. 20 Seiten) mit u.a. Projektbeschreibung, Terminplanung, techn. Spezifikationen und einer Finanzierungsplanung

### Finanzieller Effekt

- Bezuschussung der Investitionsmehrkosten der Fahrzeuge

40 %

- Bezuschussung der Investitionskosten der Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur, Werkstattausstattung sowie Schulung und Batterietausch

40 %

- Netzanschluss

100 T€



Landesförderung



### Zeithorizont und Ablauf

- Beginn des Programms im Juni 2017
- Einreichung von Anträgen aktuell möglich  
<https://www.innovationsfoerderung-hessen.de/elektrobusse>

### Projekte mit Förderbescheid (Auszug)

- BZ-Bus Winzenhöher
- Ladeinfrastruktur (DC) für 10 BZ-Busse bei der ESWE
- 13 BZ-Busse und Wasserstoffbetankungsanlage bei der ICB Frankfurt
- Elektro-Midibusse Stadtwerke Marburg

### Chancen und Herausforderungen

- Mittel stehen bereit, Antragsstellung jederzeit möglich
- geringere Förderquote im Vergleich zur Bundesförderung

Infoseite HA Hessen Agentur: Einreichungen aktuell nicht möglich, Förderung befindet sich in Überarbeitung

# Energetische Förderung im Rahmen des Hessischen Energiegesetzes

- Förderart: Zuschuss
- Förderbereich: Energieeffizienz & Erneuerbare Energien, Forschung & Innovation (themenspezifisch), Smart Cities & Regionen
- Fördergebiet: Hessen
- Förderberechtigte: Unternehmen, Forschungseinrichtung, Hochschule, Kommune, Privatperson, Verband/Vereinigung, Öffentliche Einrichtung
- Ansprechpartner: WI-Bank (Antrag ist hier einzureichen)
- Konditionen: Es werden je nach geförderter Maßnahme im Wege der Anteilsfinanzierung Zuschüsse in Höhe von 30 Prozent, 50 Prozent und bis zu 100 Prozent der förderfähigen Kosten gewährt
- Im Rahmen der Richtlinie können ggf. Mittel aus dem EFRE bewilligt werden.
- Gefördert werden:
  - investive kommunale Maßnahmen nach § 3 HEG; die Förderung erfolgt auf Grundlage der Kommunalrichtlinie,
  - Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien nach § 5 HEG,
  - innovative Energietechnologien nach § 6 HEG,
  - kommunale Energiekonzepte, Energieeffizienzpläne und Konzepte zur Erzeugung und Verteilung von erneuerbaren Energien nach § 7 HEG,
  - Energieberatung und Akzeptanzmaßnahmen nach § 8 HEG, etwa Einrichtungen und Maßnahmen zur Energieberatung, Maßnahmen zur Qualifikations- und Informationsvermittlung von Technologien auf dem Gebiet der Energieeffizienz und erneuerbarer Energien, betriebliche Energieeffizienz-Netzwerke,
  - Energiewende im Quartier – Unterstützung für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanagement in hessischen Kommunen nach §§ 7, 8 HEG.
- <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Land/Hessen/energetische-foerderung-im-rahmen-des-hessischen.html>



# Ziel der THG-Quote ist u. a. die Beschleunigung der Energiewende im Verkehrssektor

## THG-Quote = Treibhausgasminderungsquote

- gültig in dieser Form seit dem **1. Januar 2022 bis mindestens 2030**
- regelt für Mineralölunternehmen den Pflichtanteil alternativer Kraftstoffe am gesamten Kraftstoffangebot
- basierend auf:
  - Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungsquote (verabschiedet 5/2021)
  - der „Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminderung bei Kraftstoffen – 38. BImSchV“
  - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) - §37



## Mineralölunternehmen

Unternehmen, die mind. 5.000 Liter fossile Brennstoffe pro Jahr in Umlauf bringen

- jährliche Steigerung der THG-Quote:  
2022: 7%; 2030: 25%



## Halter von E-Fahrzeugen

Halter von zugelassenen batterieelektrisch-betriebenen Fahrzeugen (Plug-in-Hybride ausgeschlossen) oder Brennstoffzellenfahrzeugen

- individueller Strommix, mit dem das Fahrzeug geladen wird, irrelevant (nationaler Strommix relevant)
- reale Fahrleistung irrelevant
- Betankung mit „grünem Wasserstoff“ zwingend

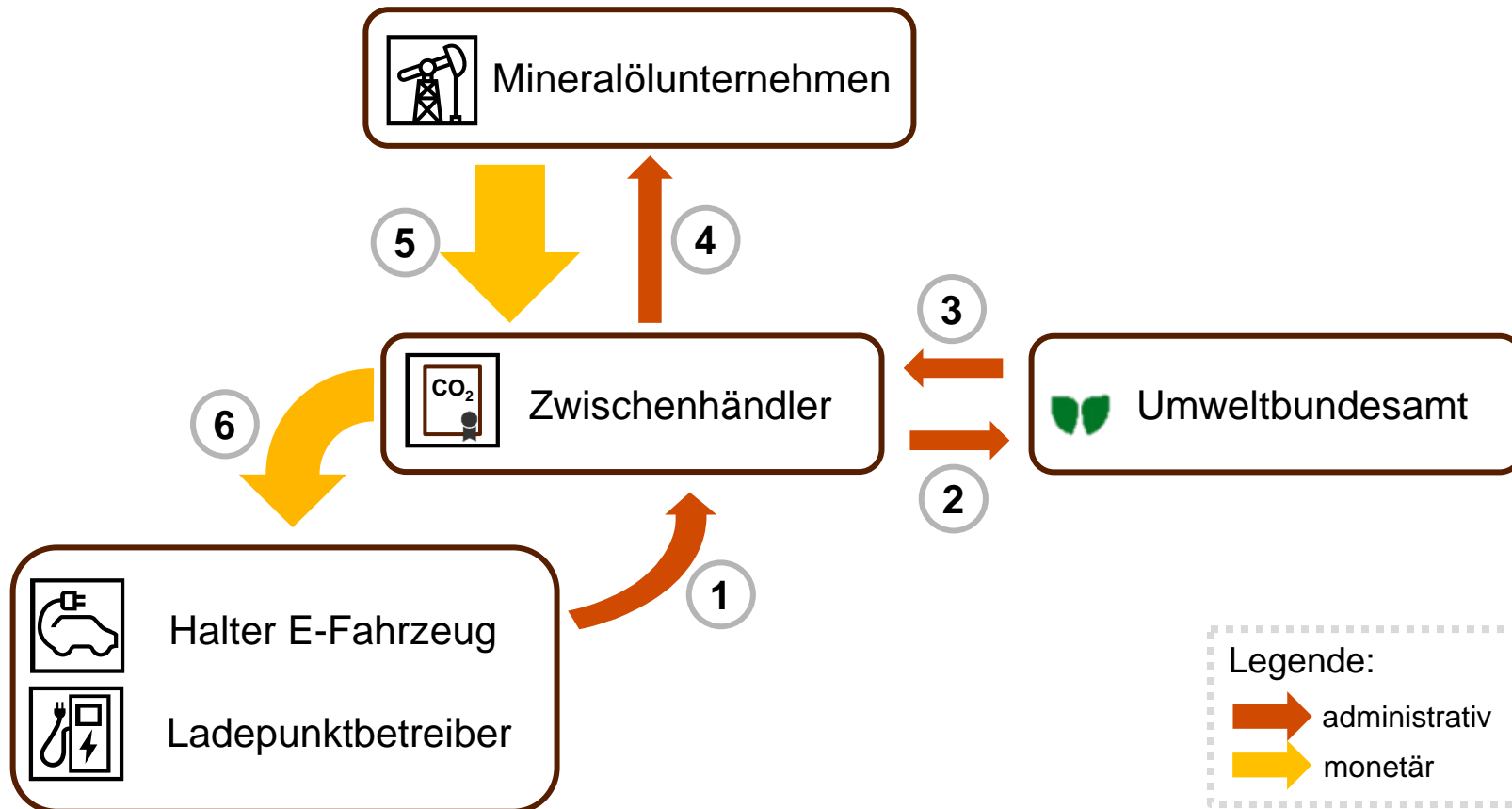


## Ladepunktbetreiber und H<sub>2</sub>-Elektrolyse

Betreiber öffentlicher und halböffentlicher Ladepunkte

- höhere Erlöse bei netzentkoppelter Verwendung von Strom aus regenerativen Quellen

# THG-Quotenhandel wird derzeit häufig über Zwischenhändler abgewickelt, ist aber auch in Eigenregie möglich

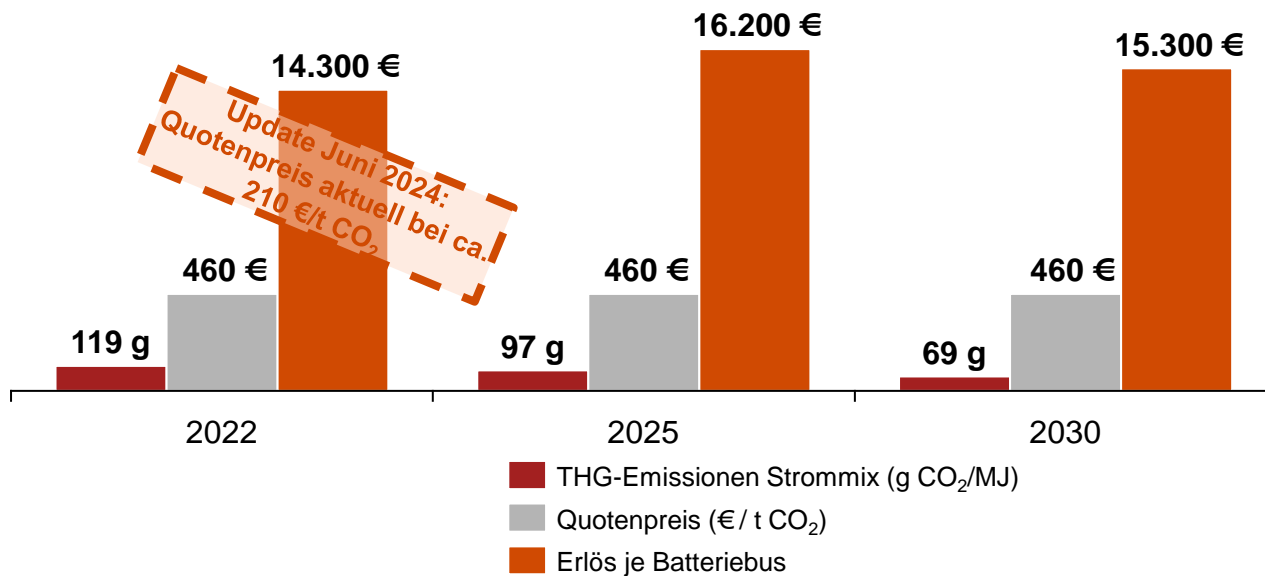


## Ablauf THG-Quotenhandel:

- 1** Registrierung
- 2** Weitergabe der Anträge zur Überprüfung
- 3** Rückgabe der zertifizierten Anträge
- 4** Verkauf der gesammelten zertifizierten Anträge
- 5** Zahlung der „Quotenpreise“
- 6** Erhalt der Prämie abzgl. einer Zwischenhändler-Provision (nach bis zu 12 Wochen)

# Durch den THG-Quoten-Handel sind zusätzliche Erlöse von ~ 14 T€ pro Batteriebus und Jahr möglich (BZ-Bus: 20 T€) - technologiebedingte Mehrkosten lassen sich so teilweise kompensieren

## Abschätzung der Entwicklung der Erlöspotenziale (Batteriebus)



### Prämissen

- Berücksichtigung der THG-Quote (2022: 7 %; 2025: 10,5 %; 2030: 25 %)
- sinkende THG-Emissionen des Strommix (stärkere Verminderung verursacht weiteren Anstieg der Erlöse)
- beispielhaft Quotenpreis (Marktpreis) von 460 €/t CO<sub>2</sub> konstant unterstellt



Der Quotenpreis ist insbesondere abhängig von der jährlichen THG-Quote und dem vorherrschenden Marktpreis je Tonne CO<sub>2</sub>

### Berechnung je Fahrzeug

1. **Netto-THG-Minderung [t CO<sub>2</sub>]**  
Berechnung mit: THG-Emissionen Kraftstoff, THG-Quote, THG-Emissionen Strommix, Faktor Antriebseffizienz, durchschnittlicher Verbrauch nach Fahrzeugklasse
2. **Quotenpreis**  
= Netto-THG-Minderung [t CO<sub>2</sub>] \* Preis/ Tonne CO<sub>2</sub> [€/ t CO<sub>2</sub>]
3. **effektiver Erlös**  
= Quotenpreis – (Quotenpreis \* Provision Zwischenhändler)



Provisionen liegen je nach Zwischenhändler bei 10 – 20 % des Quotenpreises



# Halter von E-Bussen können Zusatzerlöse von bis zu 18.600 € pro Batteriebus und Jahr im THG-Quotenhandel generieren

## Treibhausgasminderungsquote (THG-Quote)



### Antragsberechtigte

- Halter von zugelassenen batterieelektrisch-betriebenen (keine Plug-in-Hybride) und Brennstoffzellen-Fahrzeugen (grüner Wasserstoff)
- Betreiber (halb-)öffentlicher Ladepunkte



### organisatorische Instanzen

- Umweltbundesamt
- Hauptzollamt Frankfurt (Oder)



### weitere Beteiligte

- Inverkehrbringer von Kraftstoff (Mineralölunternehmen)
- ggf. Intermediäre (Zwischenhändler)



### Fördergegenstand und Verfahren

- Gesetze zur Treibhausgasminderungsquote (THG-Quote) gültig in dieser Form seit dem 1. Januar 2022 bis mindestens 2030
- Höhe der THG-Quote ist in §37a BImSchG festgelegt und steigt jährlich (aktuell bei 7 % bis 25 % in 2030)
- dient der Beschleunigung der Energiewende im Verkehrssektor und regelt den Pflichtanteil für Mineralölunternehmen an alternativen Kraftstoffen am gesamten Angebot an fossilen Kraftstoffen
- THG-Quotenhandel läuft i.d.R. über einen Intermediär, der die Anträge der Halter von E-Fahrzeugen an das Umweltbundesamt zur Überprüfung übergibt und nach der Zertifizierung gesammelt an Inverkehrbringer von Kraftstoffen (Mineralölunternehmen) verkauft



### Finanzieller Effekt

- Batteriebus bis zu **14.300 €** (mit Intermediär) je Fahrzeuge und Jahr oder **18.600 €** (ohne Intermediär) je Fahrzeug und Jahr
- Brennstoffzellenbus bis zu **20.800 €** (mit Intermediär) je Fahrzeuge und Jahr oder **26.000 €** (ohne Intermediär) je Fahrzeug und Jahr
- Erlöse abhängig vom aktuellen (verhandelten) Preis je Tonne CO<sub>2</sub> und ggf. von Provisionsabschlägen der Intermediäre



### Zeithorizont und Ausblick

- Quotenhandel möglich seit Beginn 2022, Laufzeit bis mindestens 2030
- Anpassung der gesetzlichen Grundlagen möglich (aufgrund der Überarbeitung der als Grundlage dienenden EU-Richtlinie REDII)



### Laufende oder umgesetzte Projekte

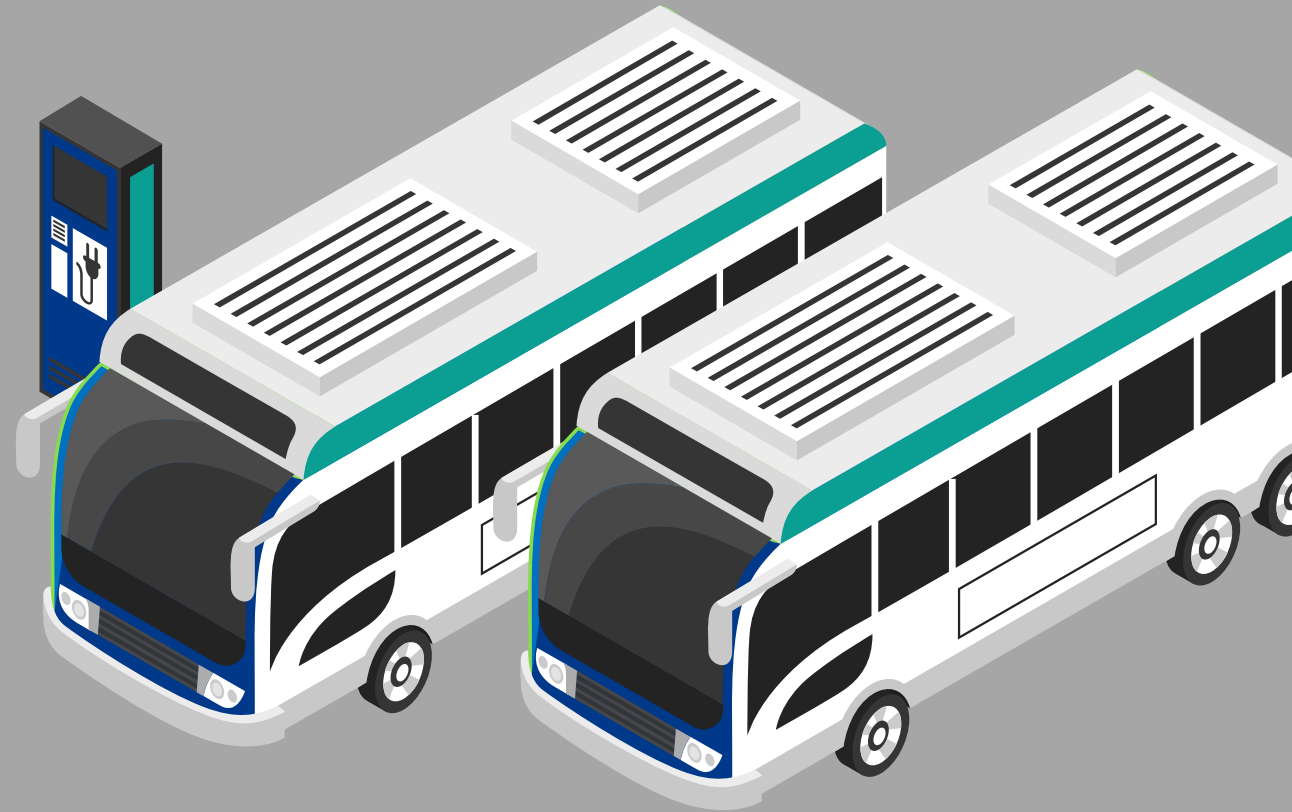
- Verkehrsunternehmen derzeit bereits in Umsetzung oder in Vorbereitung (Überprüfung der eigenen Abwicklung oder über einen Intermediär)



### Chancen und Herausforderungen

- Zusatzerlöse pro Bus können die Mehrkosten der Flottentransformation deutlich reduzieren
- Zusatzerlöse keine feste Plangröße, variieren je nach Quotenpreis und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Strommixes

# LB 3: Status Quo ÖPNV MKK



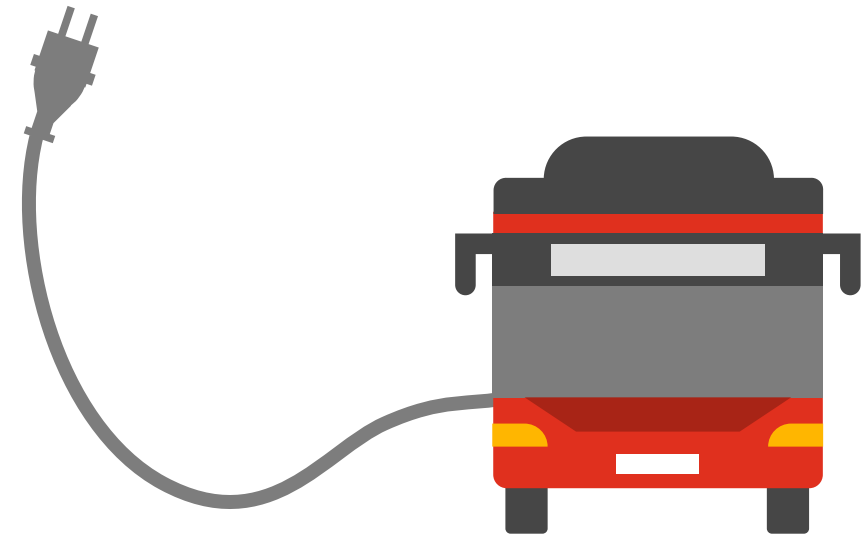
# Grundsätzliche Hinweise / Disclaimer

- Die von der KVG übermittelten Datensätze decken den Großteil aller aktuellen Linienbündel ab.
- LB 04 MKK-X-Bus (heute Stroh) wurde aus der Betrachtung gestrichen, da keine Umlaufdaten vorliegen.
- Die Ergebnisse für LB 08 und 09 wurden aus der RVMK-Vorstudie (2022) übernommen und bei Bedarf überarbeitet.

## Abkürzungen:

SL = Solo-Linienbus  
GL = Gelenk-Linienbus  
AN = Anhänger

BEV = Battery Electric Vehicle, Batteriebus  
FCEV = Fuel Cell Electric Vehicle, Brennstoffzellen-Bus





# Methodik und Allgemeines

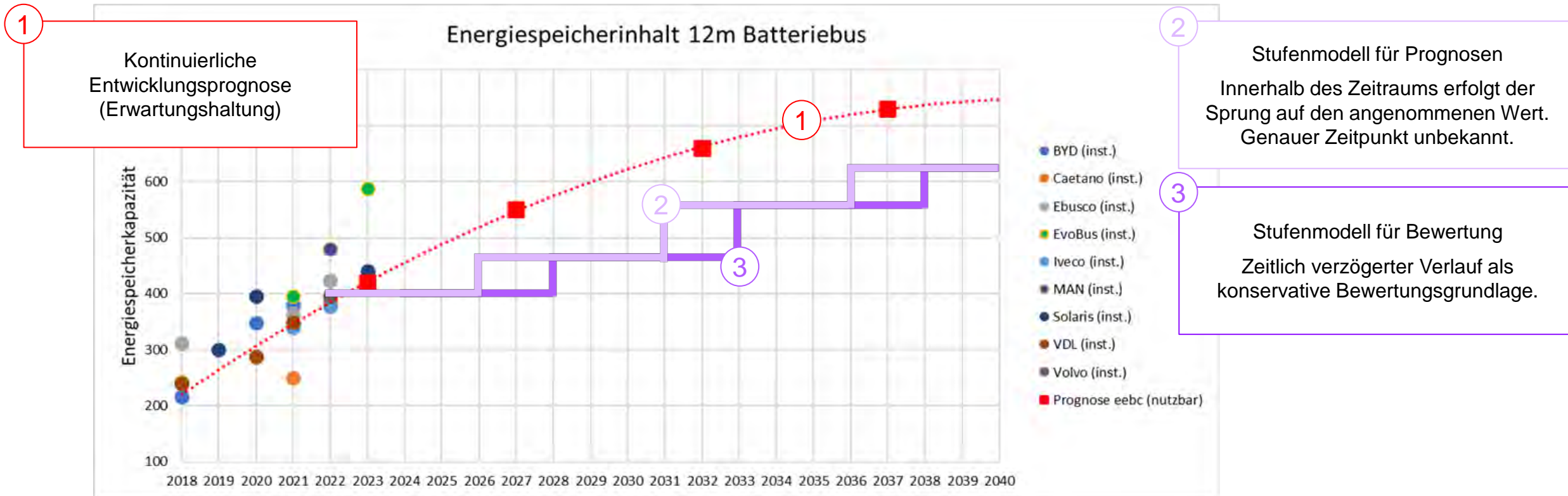


# Solobus Anhängerzüge

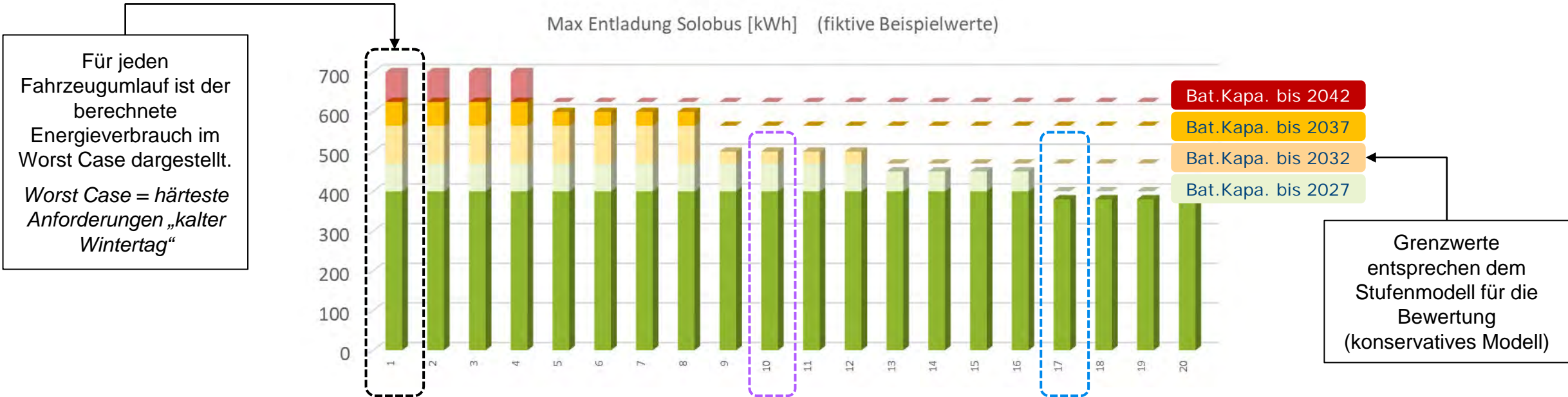
- Aktuell werden vielfach Solobusse mit Personenanhängern eingesetzt
- Im Feld alternativer Antriebe sind **heute** keine dafür passenden Zugfahrzeuge am Markt
  - Es kann angenommen werden, dass entsprechende Modelle im Zuge des Ausbaus der Elektromobilität am Markt verfügbar sein werden
- Im Rahmen der Untersuchung wird nach Abstimmung unterstellt, dass entsprechende Modelle verfügbar sind
  - In Umlaufdaten sind Segmente „mit und ohne“ Anhänger differenzierbar ausgewiesen
  - In Intervallen „mit Anhänger“ wird ein erhöhter Verbrauch aufgrund der zusätzlichen Last bilanziert
- In der Auswertung werden Solobusse i.d.R. nur als Solobus geführt
  - Erfolgt unabhängig davon, ob zeitweise ein Anhänger gezogen wird
  - In Einzelfällen sind Solobusse, die zeitweise mit Anhänger fahren, als „SL-AN“ bezeichnet
- Ausnahme ist hier LB 08-09
  - Im Rahmen der vorangegangenen Detailanalyse wurden Umlauflisten erstellt, bei denen Anhängerzüge ersetzt wurden (z. B. durch Dopplung von Umläufen)
  - Hier wird Umlaufliste aus Detailanalyse verwendet



# Aufgrund der technischen Entwicklung im Batteriesektor, muss auch dessen Bewertung „über einer Zeitachse“ erfolgen



# Erläuterung der Verbrauchsgrafiken



Balken unterhalb eines Grenzwertes werden in diesem Zeitraum als unkritisch bewertet!

Beispiel **Umlauf 10**: Balken zwischen Grenzwert ‚bis 2032‘ und ‚bis 2037‘

⇒ Umlauf gilt bis 2032 als kritisch, ab 2033 unkritisch.

Beispiel **Umlauf 17**: Balken liegt unterhalb Grenzwert ‚bis 2027‘

⇒ Umlauf ist bereits heute, mit gegebener Kapazität, unkritisch

# Im Vordergrund der Betrachtung steht der Betriebstag mit den meisten gefahrenen Streckenkilometern

- Für die Machbarkeitsanalyse werden stets die härtesten Bedingungen in den Vordergrund gestellt
  - Worst Case Szenario mit maximal harten Umgebungsbedingungen (Temperatur / Auslastung)
  - Betriebstag mit maximalen Fahranforderungen (Auswahl anhand Gesamtfahrstrecke pro Tag)

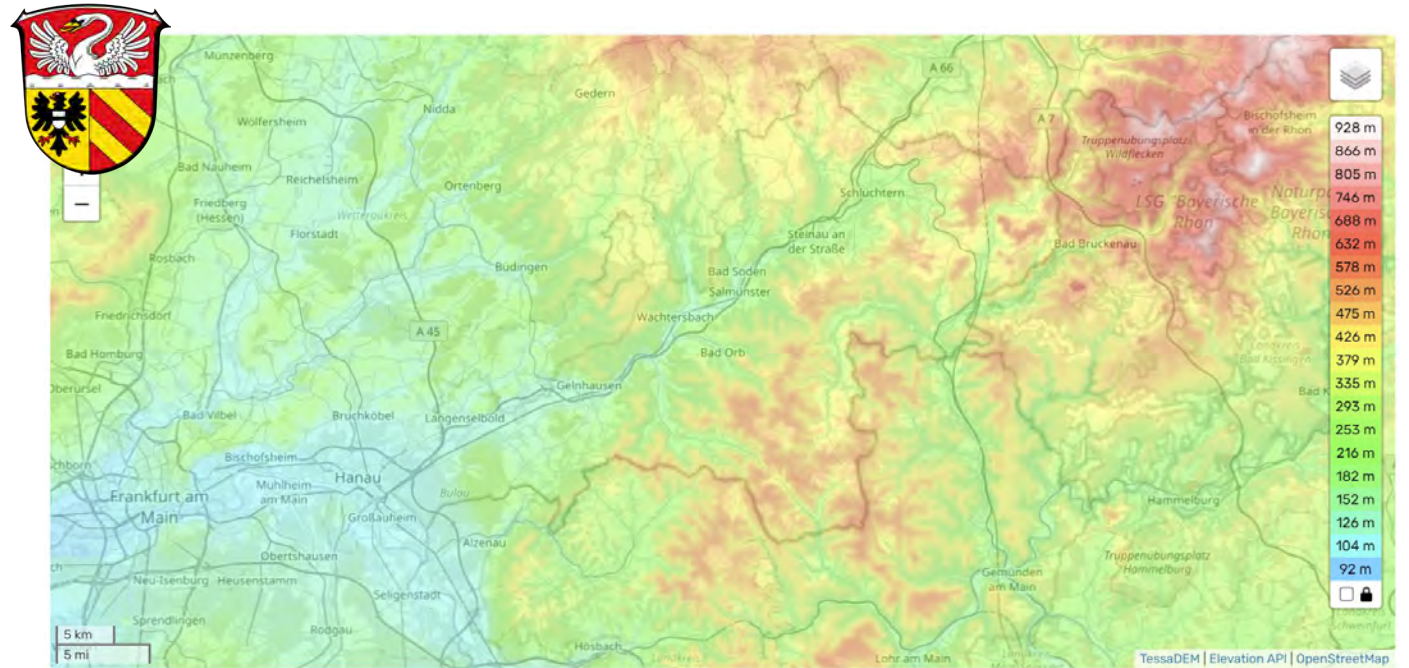


Wochentag Schule ist die Berechnungsgrundlage für die Machbarkeitsanalyse

# Um die wechselnde Topografie abzubilden, wurden hohe Basis-Verbrauchswerte angesetzt.

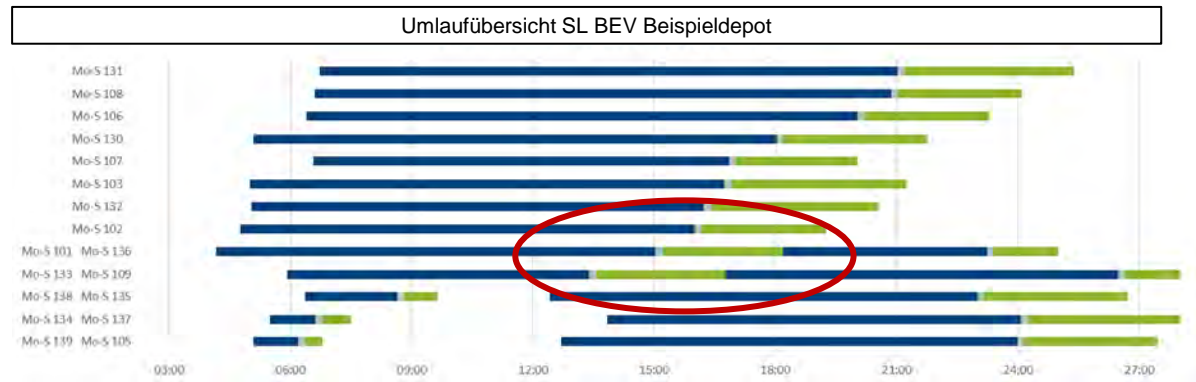
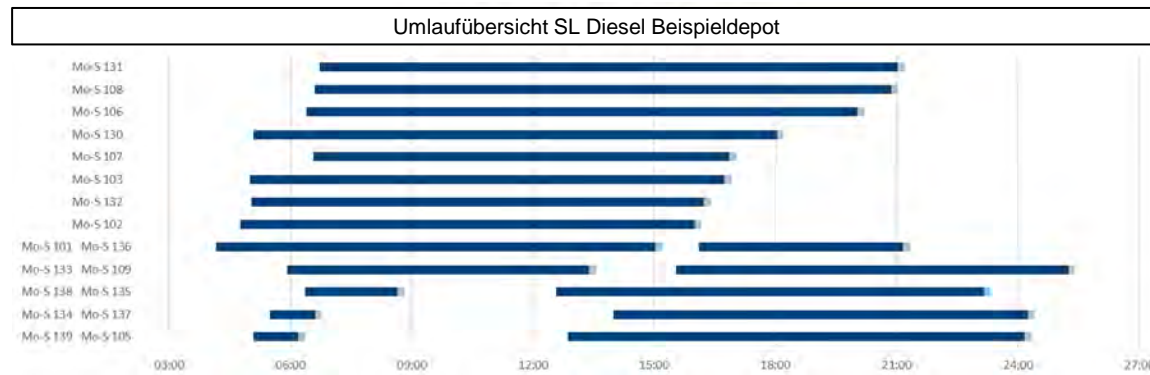
- Die Topografie wird als anspruchsvoll eingeschätzt
- Aufgrund der Topografie wird eine pessimistische Einschätzung vorgenommen
- Angesetzt wird ein Mehrverbrauch der reinen Traktionsleistung\* von 30-40 % gegenüber dem Verbrauch in der Ebene angesetzt (hoher Sicherheitsfaktor)

\* Energiemengen der Nebenverbraucher werden im Auswertungstool als zeitabhängige Größen unabhängig vom Fahrprofil berechnet.



Quelle: <https://de-de.topographic-map.com/>

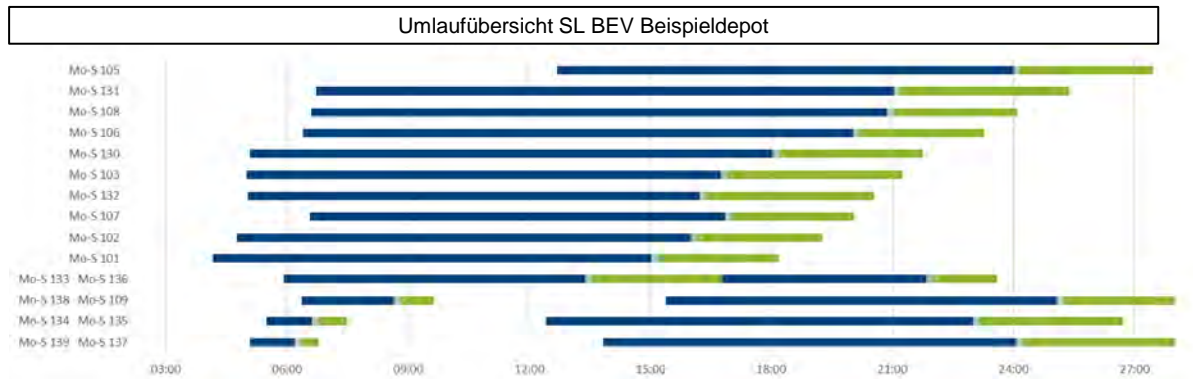
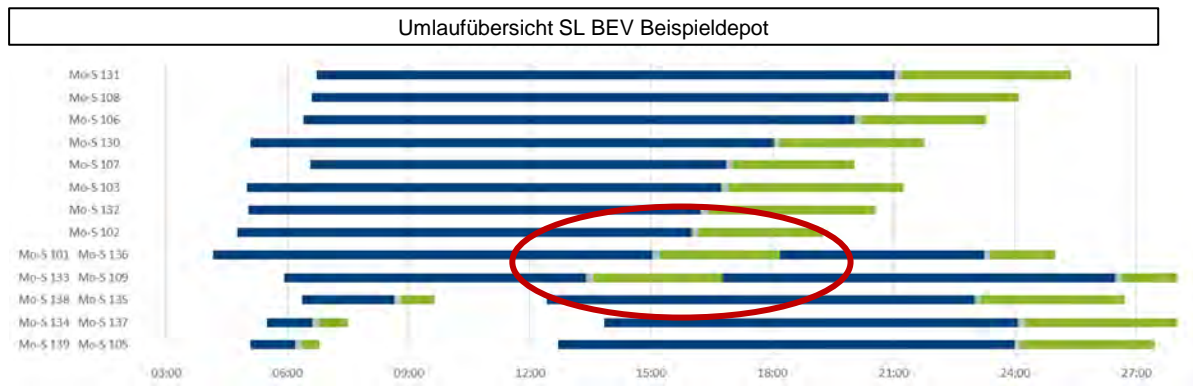
# Bei der Verknüpfung von Einzel- zu Fahrzeugtagesumläufen wird untersucht, ob die Zwischenintervalle zur Nachladung ausreichen



■ Fahrzeit ■ Rangierzeit ■ Ladezeit

- Vergleichsbasis: Umlaufverknüpfung ohne Ladeintervalle (Dieselbus)
  - Sicherstellung derselben Herangehensweise für Vergleichsbasis und BEVs
- Übertrag auf BEV
  - Berücksichtigung der Nachladung im Depot
  - Ladung per CCS Kontakt mit 130 kW
- Im Beispiel BEV
  - Überlappung von Ladung und Fahrt (markiert)
  - Detailprüfung erforderlich, möglich sind
    - Teilladung zwischen Umläufen, wenn Energiebilanz in Summe ausreicht für alle Umläufe
    - Neukonstellation der Umlaufzuordnung (erfordert zusätzliche Busse)

# Im Beispiel ist ein zusätzlicher Bus erforderlich



- Im Beispiel
  - Detailprüfung zeigt, dass Zusatzbus erforderlich ist
  - Statt 13 sind 14 Busse im Vollausbau erforderlich

- Hier folgend werden nur die Ergebnisse der Analyse dargestellt (Aus Übersichtsgründen)

Anmerkung:

- Die dargestellten Mehrbedarfe beziehen sich zunächst rein auf die Umlaufverknüpfung.
- Abhängig vom Migrationspfad **kann** ein **zusätzlicher** Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren.
- Dennoch sind Zusatzfahrzeuge aufgrund der Umlaufverknüpfung in der Regel zusätzlich als Springerbusse für reichweitenkritische Umläufe nutzbar
- Der resultierende Fahrzeugmehrbedarf ist in der Regel kleiner als die Summe von Mehrbedarf aufgrund von Reichweite und Umlaufverknüpfung

# Umlaufanalyse



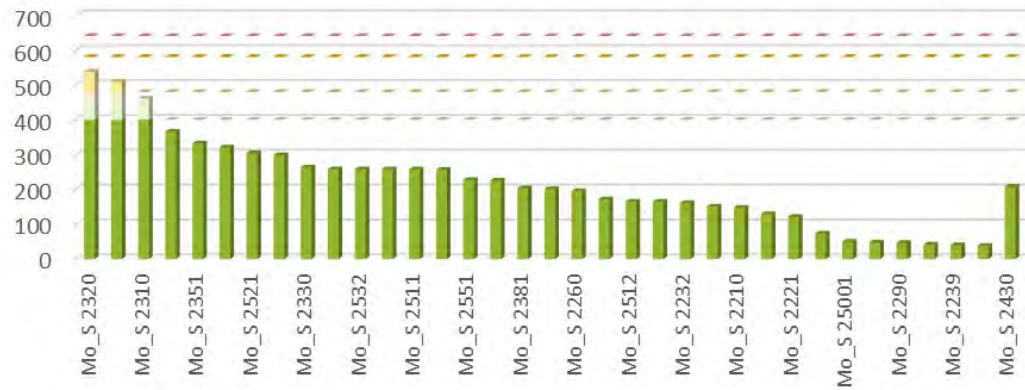
# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

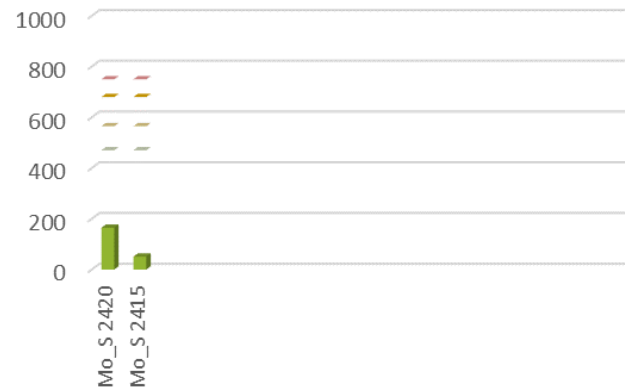


# Umlaufanalyse Zwischenergebnis SV Maintal (BEV, Wochentag Schule)

Max Entladung Solobus [kWh]

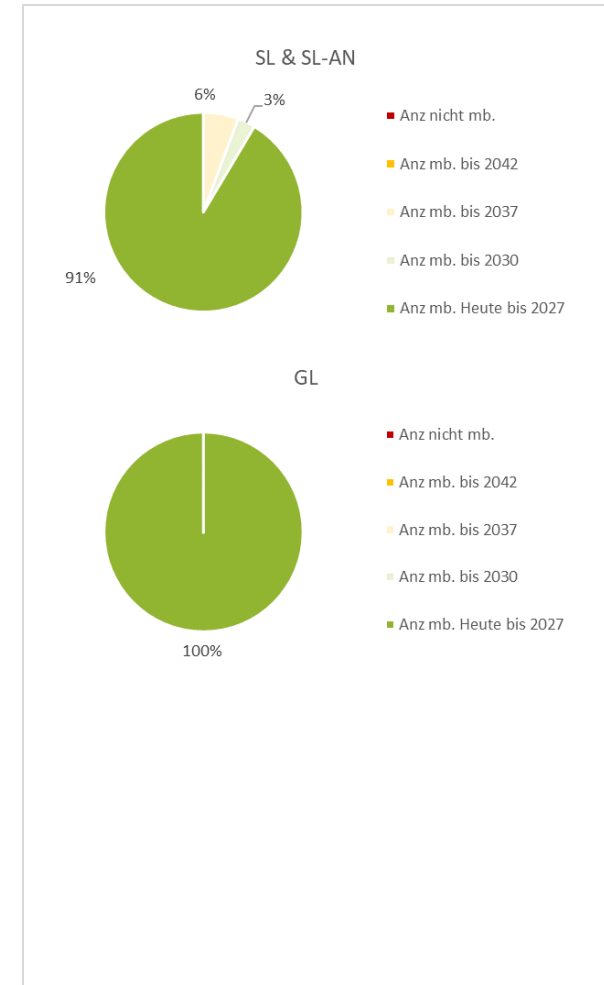


Max Entladung Gelenkbus [kWh]



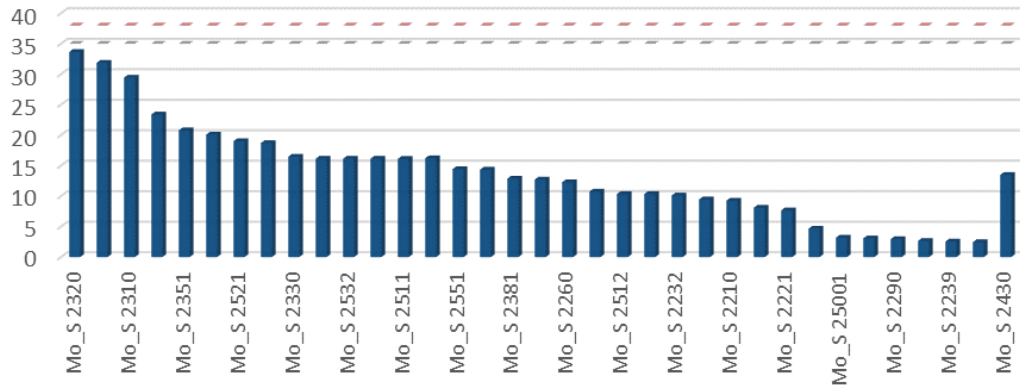
## Erste Interpretation

- Ergebnisse positiv
  - Geringe Anteile heute kritischer Umläufe
- Einschätzung: Kein oder geringer Fzg.-Mehrbedarf SL zu erwarten. Alle weiteren kein Mehrbedarf erwartet .

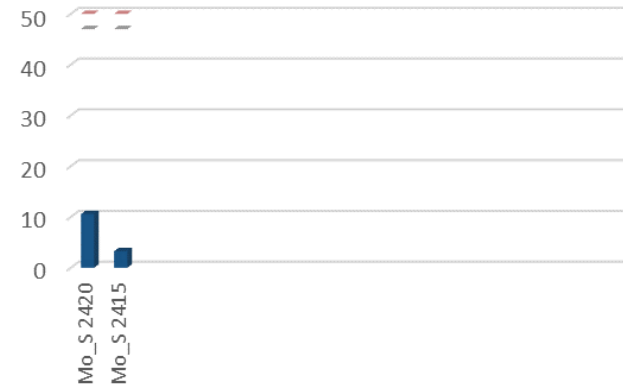


# Umlaufanalyse Zwischenergebnis SV Maintal (FCEV, Wochentag Schule)

H<sub>2</sub> Menge Solobus [kg]



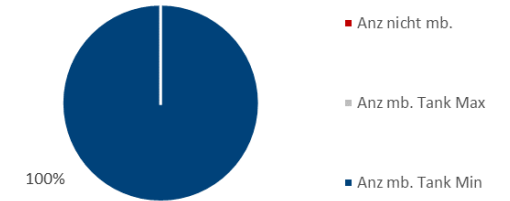
H<sub>2</sub> Menge Gelenkbus [kg]



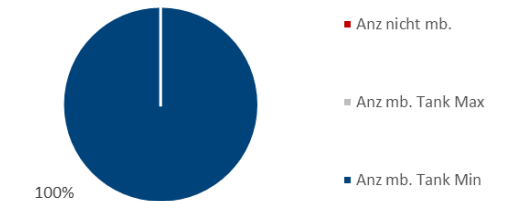
## Erste Interpretation

- Ergebnisse positiv
  - Geringe Anteile heute kritischer Umläufe
- Einschätzung: Kein oder geringer Fzg.-Mehrbedarf SL zu erwarten. Alle weiteren kein Mehrbedarf erwartet .

SL & SL-AN



GL



# Vergleich BEV und FCEV – SV Maintal

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (35 Umläufe)	BEV	32	33	35	35	0
	FCEV	35	35	35	35	0
Gelenk (2 Umläufe)	BEV	2	2	2	2	2
	FCEV	2	2	2	2	2

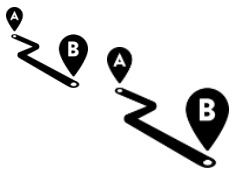
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis SV Maintal (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Solo (35 Umläufe)	19	20	19	19	Ansatz mit Teilladung. Max Entladung bei ca. 420 kWh (heute). Gut möglich, dass bereits vor 2028 die Umstellung ohne Mehrbedarf möglich ist.
Gelenk (2 Umläufe)	2	2	2	2	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!

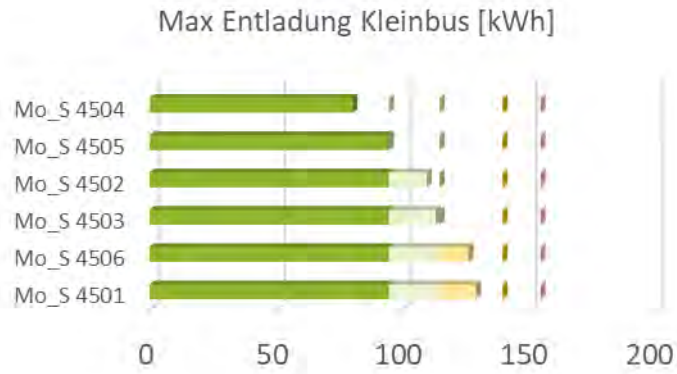


# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

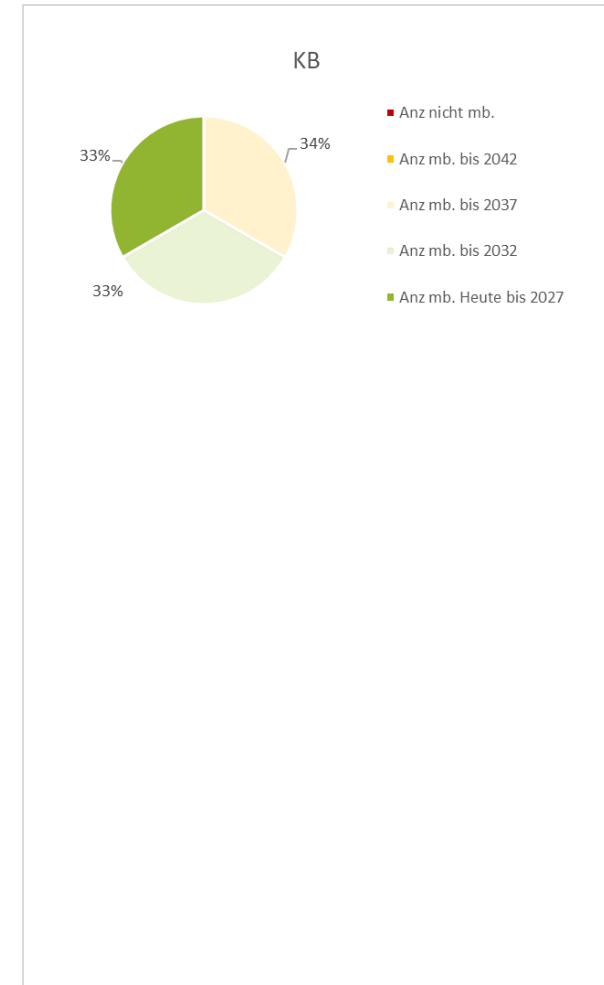
# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Stroh LB 2

## (BEV, Wochentag Schule)

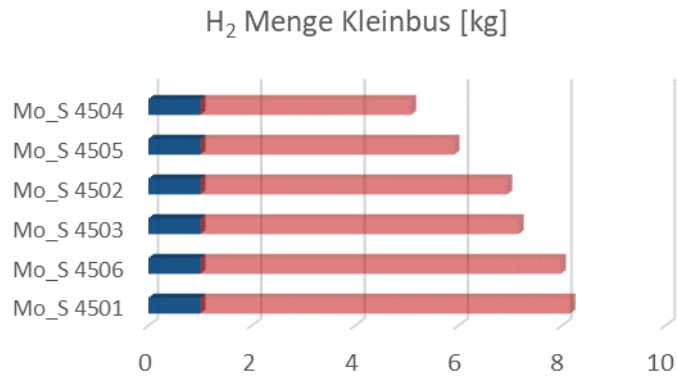


### Erste Interpretation

- Ergebnisse neutral
  - Mittlere Anteile nach 2028 kritischer Umläufe
  - Viele unkritische Umläufe nah am Grenzwert
- Einschätzung: Fzg.-Mehrbedarf ist wahrscheinlich. Genaue Menge muss berechnet werden

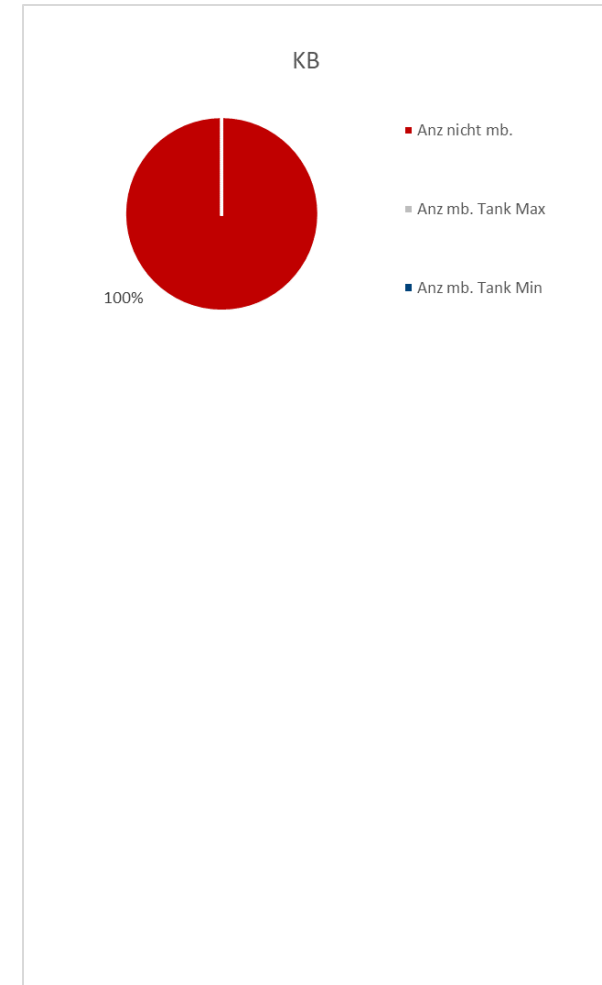


# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Stroh LB 2 (FCEV, Wochentag Schule)



## Erste Interpretation

- Ergebnisse neutral
  - Mittlere Anteile nach 2028 kritischer Umläufe
  - Viele unkritische Umläufe nah am Grenzwert
- Einschätzung: Fzg.-Mehrbedarf ist wahrscheinlich. Genaue Menge muss berechnet werden



# Vergleich BEV und FCEV – Stroh LB 2

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Kleinbus (6 Umläufe)	BEV	2	4	6	6	0
	FCEV	0	?	?	?	?

\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.

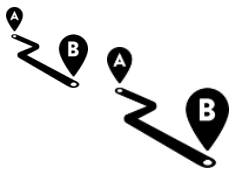




# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis Stroh LB 2 (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Kleinbus (6 Umläufe)	5	6	6	5	Mit fünf Bussen möglich ab einer Kapazität von 120 kWh (für Kleinbusse schwer abschätzbarer Zeitpunkt)

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!

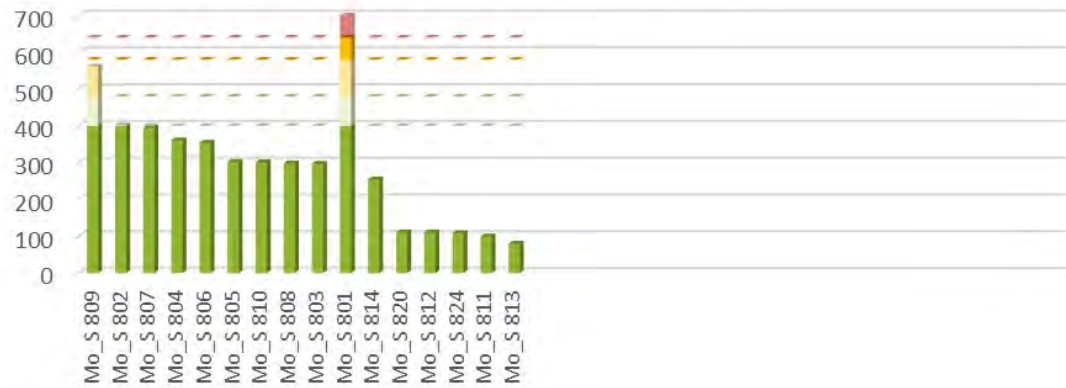


# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

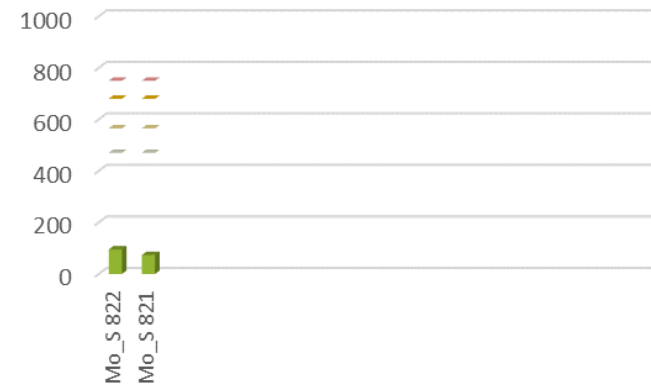
LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Racktours (BEV, Wochentag Schule)

Max Entladung Solobus [kWh]



Max Entladung Gelenkbus [kWh]

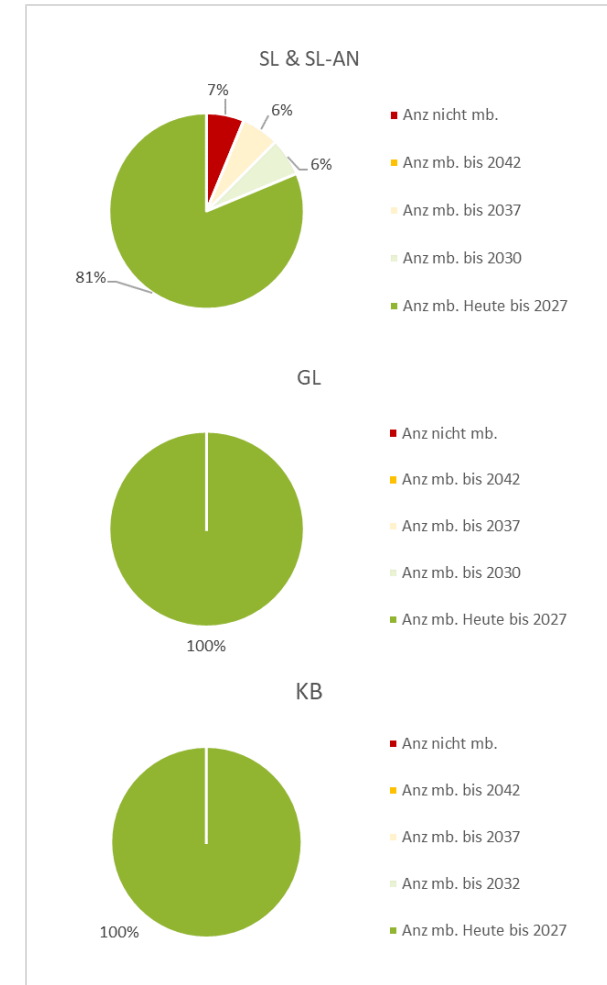


Max Entladung Kleinbus [kWh]



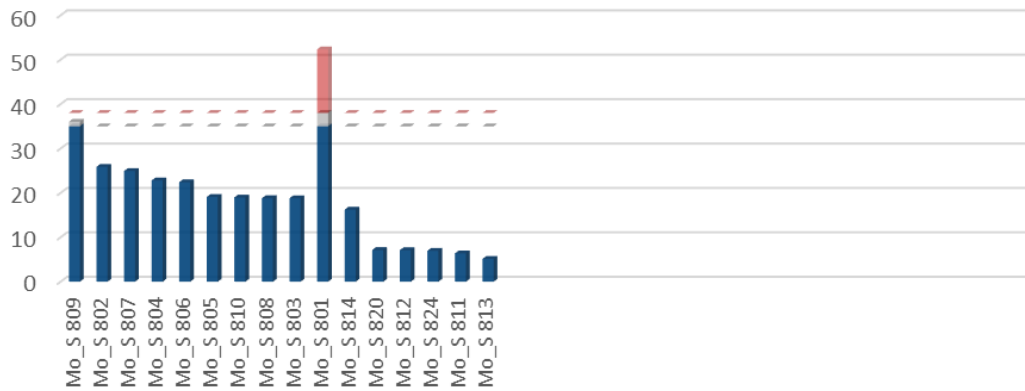
## Erste Interpretation

- Ergebnisse positiv
  - Geringe Anteile heute kritischer Umläufe (Dabei vielfach nur geringe Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Geringer Fzg.-Mehrbedarf SL zu erwarten. Alle weiteren kein Mehrbedarf erwartet

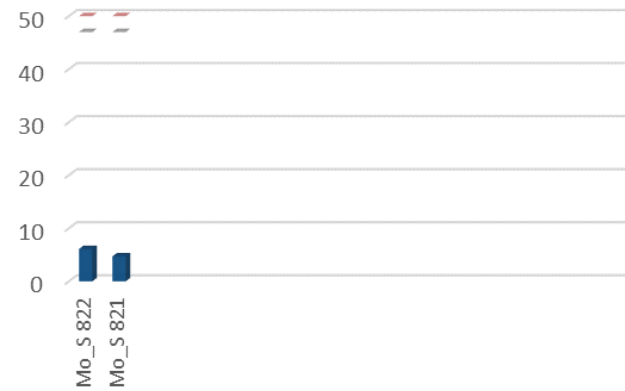


# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Racktours (FCEV, Wochentag Schule)

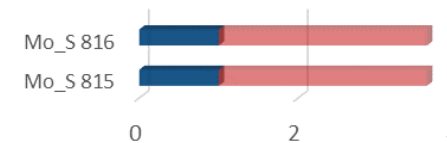
H<sub>2</sub> Menge Solobus [kg]



H<sub>2</sub> Menge Gelenkbus [kg]

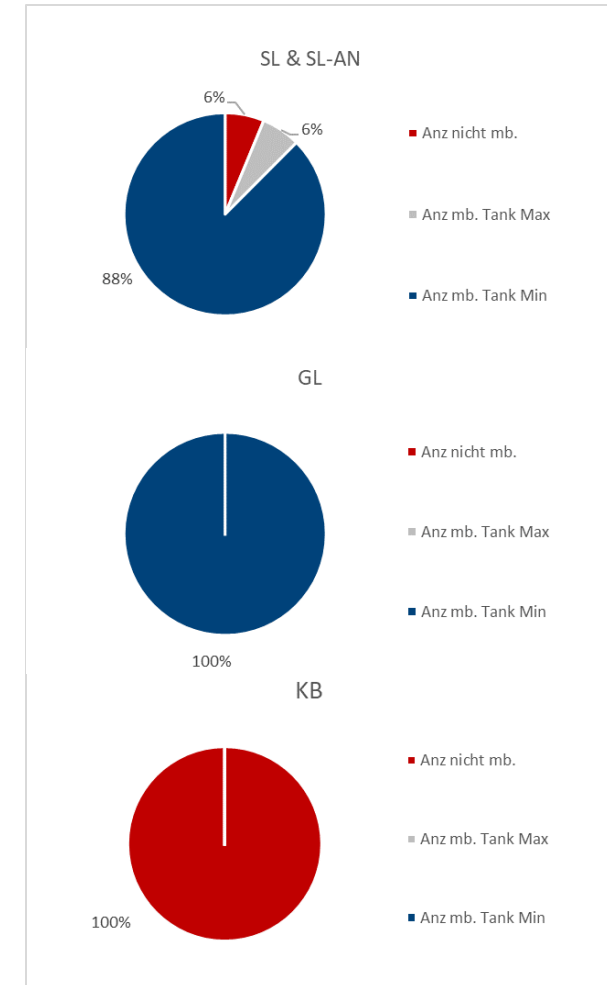


H<sub>2</sub> Menge Kleinbus [kg]



## Erste Interpretation

- Ergebnisse positiv
  - Geringe Anteile heute kritischer Umläufe (Dabei vielfach nur geringe Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Geringer Fzg.-Mehrbedarf SL zu erwarten. Alle weiteren kein Mehrbedarf erwartet



# Vergleich BEV und FCEV – Racktours

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (16 Umläufe)	BEV	13	14	15	15	1
	FCEV	15	15	15	15	1
Gelenk (2 Umläufe)	BEV	2	2	2	2	0
	FCEV	2	2	2	2	0
Kleinbus (2 Umläufe)	BEV	2	2	2	2	0
	FCEV	0	?	?	?	?

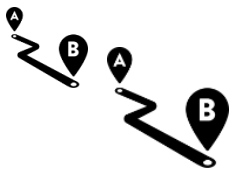
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis Racktours (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Solo (16 Umläufe)	9	12	11	11	
Gelenk (2 Umläufe)	1	1	1	1	
Kleinbus (2 Umläufe)	1	2	2	1	Mit einem Bus möglich ab einer Kapazität von 127 kWh (für Kleinbusse schwer abschätzbarer Zeitpunkt)

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!

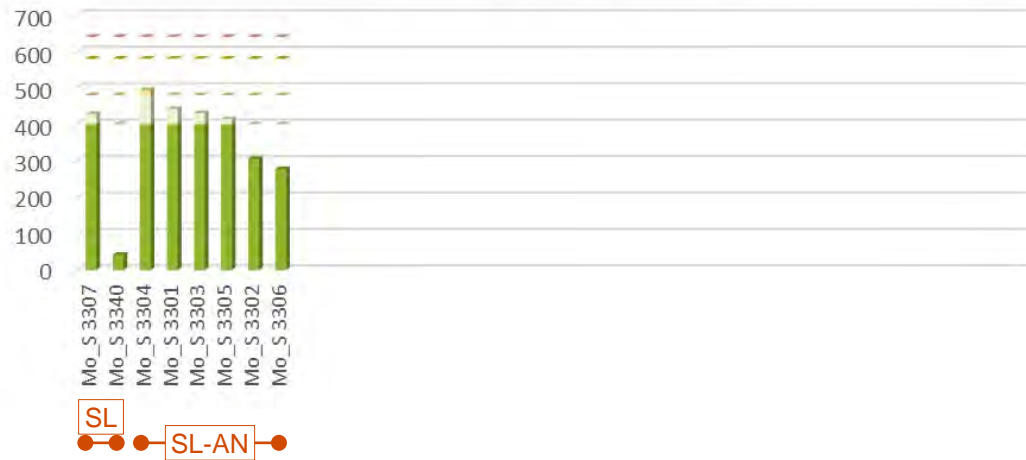


# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

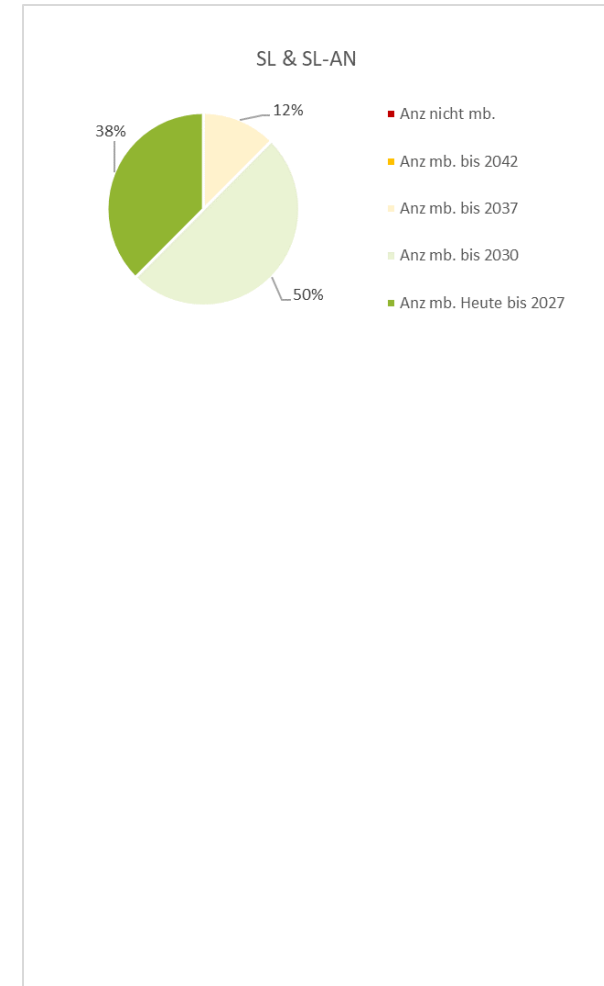
# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Arge (BEV, Wochentag Schule)

Max Entladung Solobus [kWh]



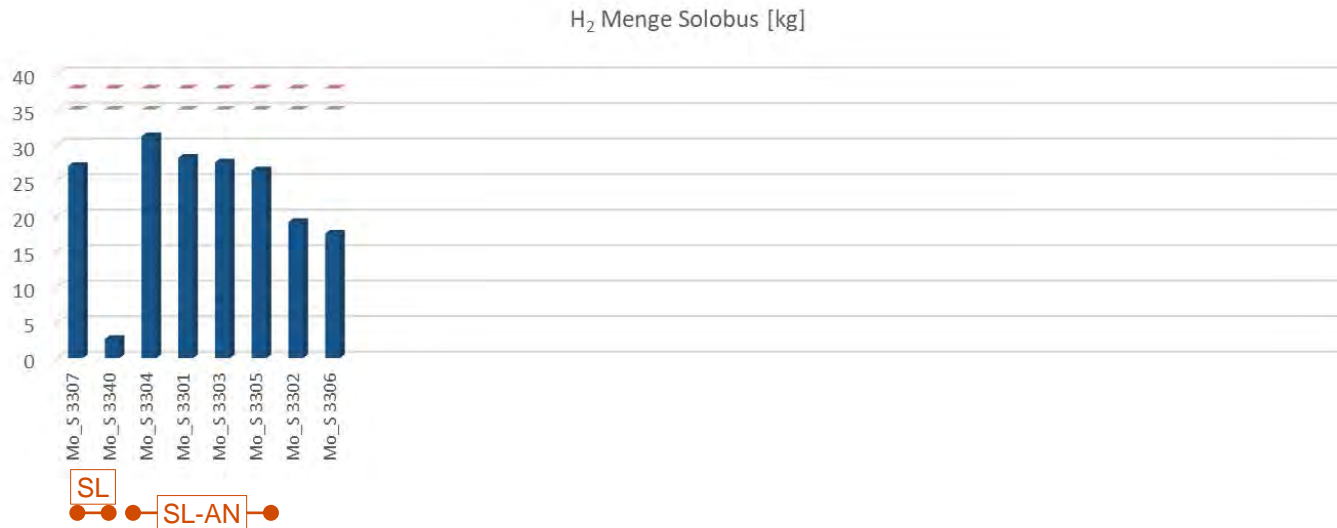
## Erste Interpretation

- Ergebnisse positiv
  - Sehr geringe Anteile nach 2028 kritischer Umläufe (Dabei vielfach nur geringe Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Geringer Fzg.-Mehrbedarf SL zu erwarten.



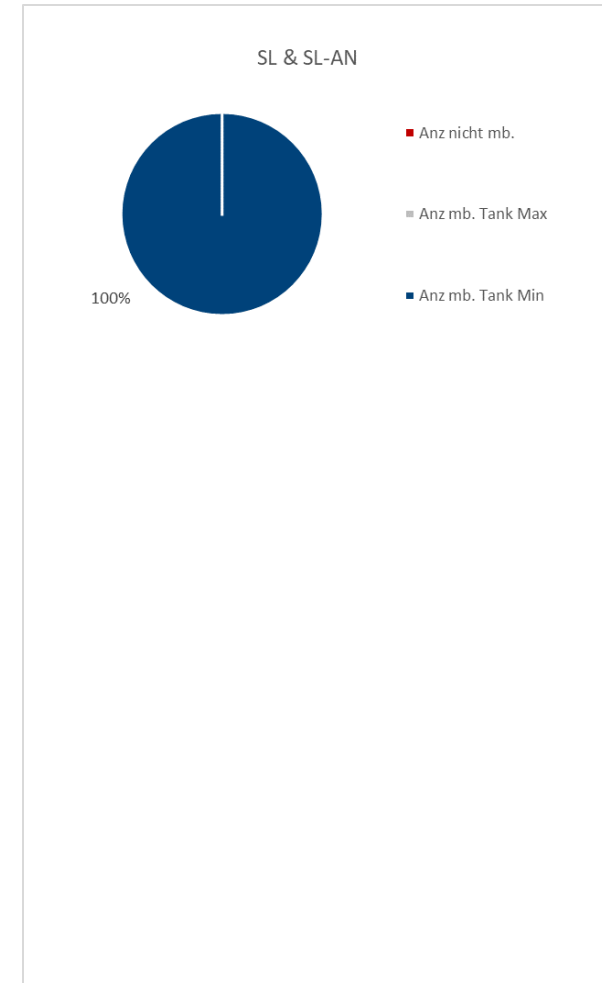


# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Arge (FCEV, Wochentag Schule)



## Erste Interpretation

- Ergebnisse positiv
  - Sehr geringe Anteile nach 2028 kritischer Umläufe (Dabei vielfach nur geringe Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Geringer Fzg.-Mehrbedarf SL zu erwarten.



# Vergleich BEV und FCEV – ARGE

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (8 Umläufe)	BEV	3	7	8	8	0
	FCEV	8	8	8	8	0

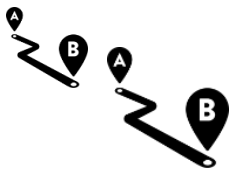
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis ARGE (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Solo (8 Umläufe)	5	6	5	5	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!

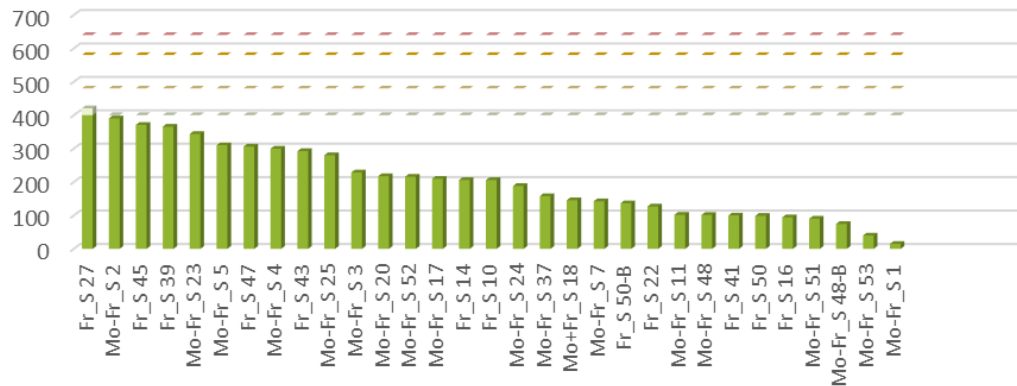


# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

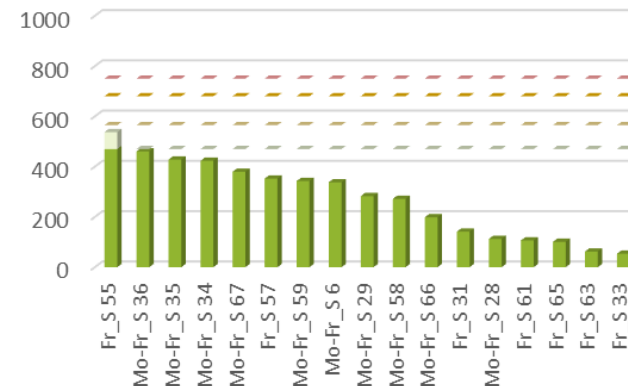
LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

# Umlaufanalyse Zwischenergebnis DB Regio (BEV, Wochentag Schule)

Max Entladung Solobus [kWh]

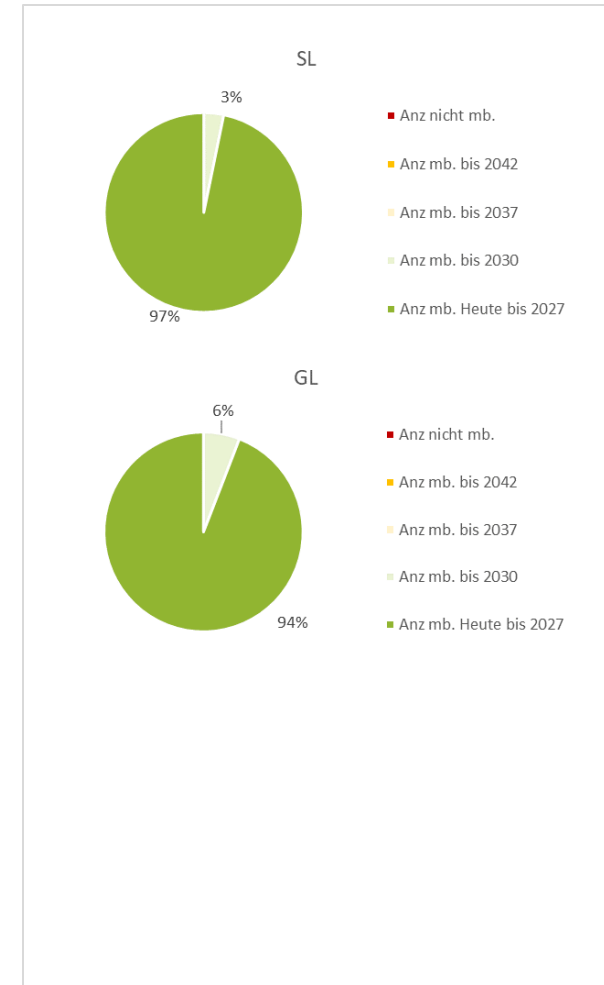


Max Entladung Gelenkbus [kWh]



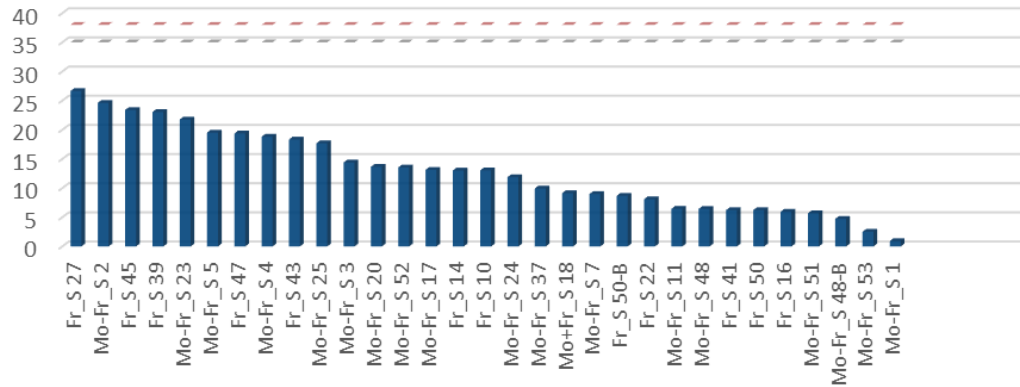
## Erste Interpretation

- Hier: Alle 3 Depots (zunächst) als Zentraldepot interpretiert
- Ergebnisse sehr positiv
  - Sehr geringe Anteile heute kritischer Umläufe (Dabei nur geringe Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Geringer Fzg.-Mehrbedarf zu erwarten. Gilt auch bei separater Depotbetrachtung

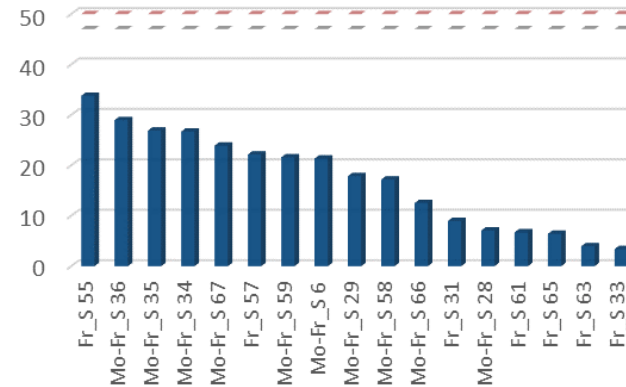


# Umlaufanalyse Zwischenergebnis DB Regio (FCEV, Wochentag Schule)

H<sub>2</sub> Menge Solobus [kg]

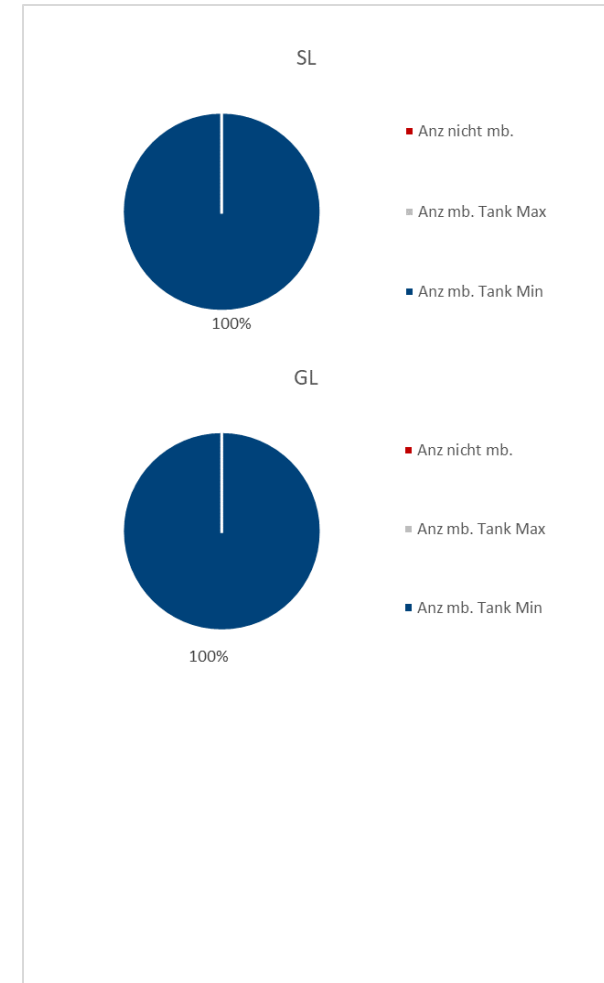


H<sub>2</sub> Menge Gelenkbus [kg]



## Erste Interpretation

- Hier: Alle 3 Depots (zunächst) als Zentraldepot interpretiert
- Ergebnisse sehr positiv
  - Sehr geringe Anteile heute kritischer Umläufe (Dabei nur geringe Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Geringer Fzg.-Mehrbedarf zu erwarten. Gilt auch bei separater Depotbetrachtung



# Vergleich BEV und FCEV – DB Regio

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (31 Umläufe)	BEV	30	31	31	31	0
	FCEV	31	31	31	31	0
Gelenk (17 Umläufe)	BEV	16	17	17	17	0
	FCEV	17	17	17	17	0

\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis DB Regio (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Depot AN Hof					
Solo (5 Umläufe)	3	3	3	3	
Gelenk (1 Umlauf)	1	1	1	1	
Abstellplatz Nidderau-Heldenbergen					
Solo (13 Umläufe)	8	8	8	8	
Gelenk (7 Umlauf)	5	5	5	5	
Abstellplatz Hanau					
Solo (13 Umläufe)	6	6	6	6	
Gelenk (7 Umlauf)	5	5	5	5	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!



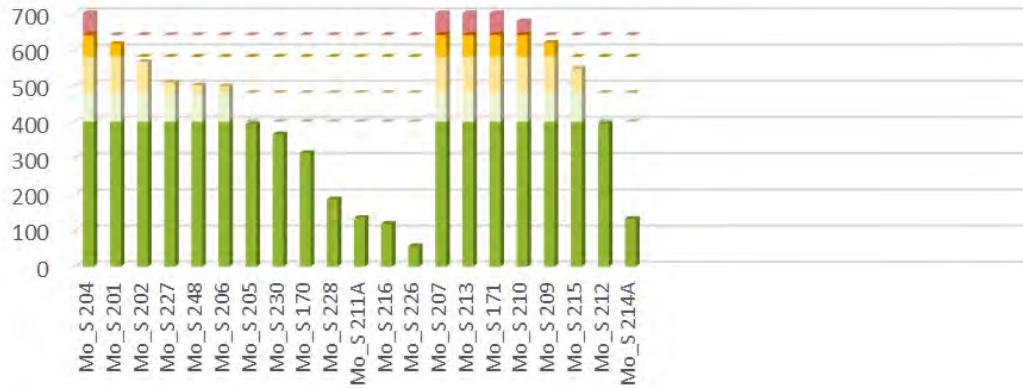


# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

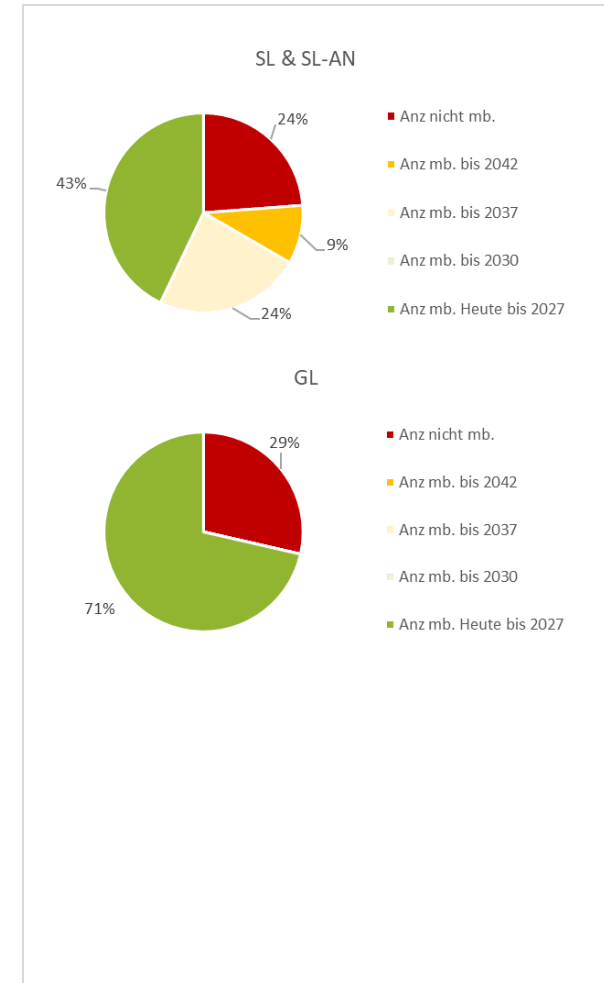
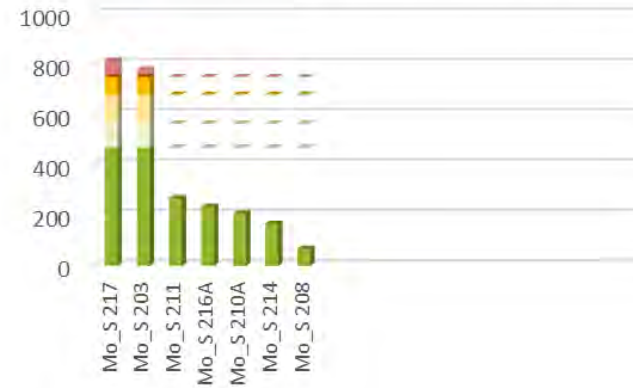
LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
<b>LB 05</b>	<b>(heute Stroh LB 05)</b>
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Stroh LB 5 (BEV, Wochentag Schule)

Max Entladung Solobus [kWh]



Max Entladung Gelenkbus [kWh]

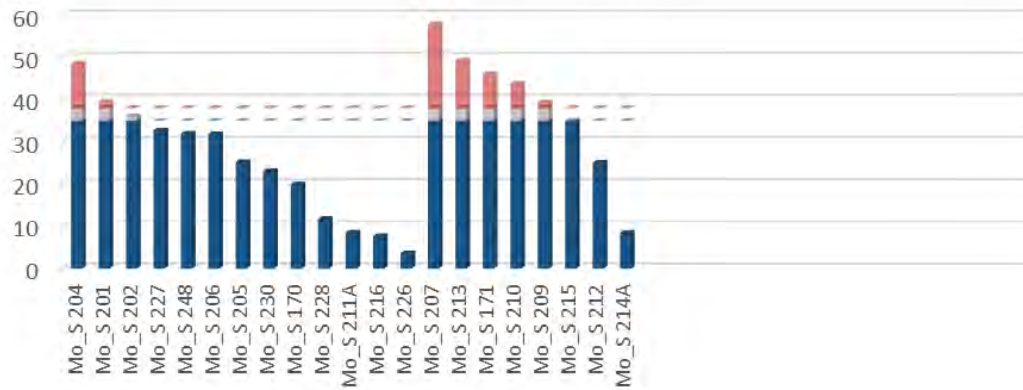


## Erste Interpretation

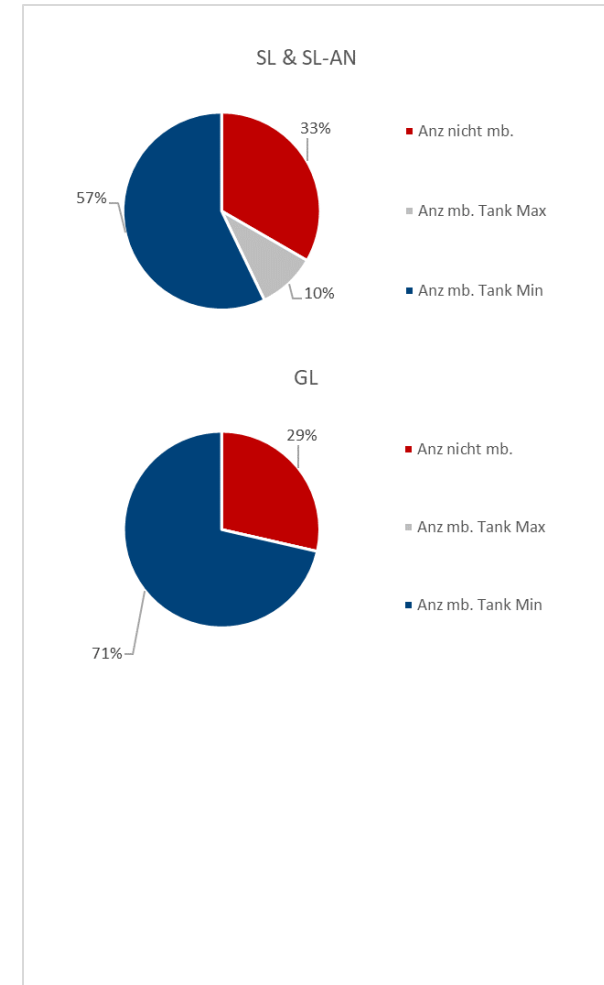
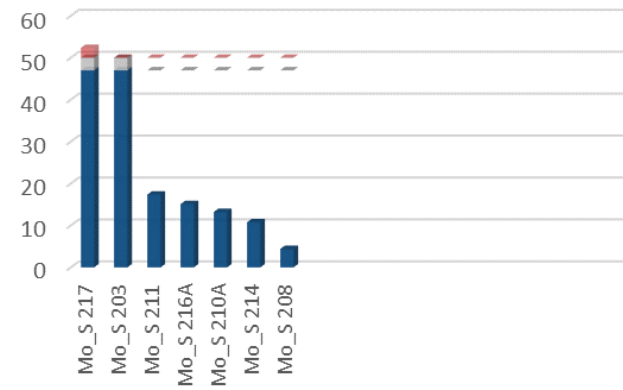
- Ergebnisse tendenziell negativ
  - Hohe Anteile nach 2028 kritischer Umläufe (Dabei primär deutliche Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Für SL deutlicher Fzg.-Mehrbedarf zu erwarten. Für GL sollte Umlaufanpassung ausreichen

# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Stroh LB 5 (FCEV, Wochentag Schule)

H<sub>2</sub> Menge Solobus [kg]



H<sub>2</sub> Menge Gelenkbus [kg]



## Erste Interpretation

- Ergebnisse tendenziell negativ
  - Hohe Anteile nach 2028 kritischer Umläufe (Dabei primär deutliche Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Für SL deutlicher Fzg.-Mehrbedarf zu erwarten. Für GL sollte Umlaufanpassung ausreichen

# Vergleich BEV und FCEV – Stroh LB-5

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (21 Umläufe)	BEV	9	9	14	16	5
	FCEV	14	14	14	14	7
Gelenk (7 Umläufe)	BEV	5	5	5	5	2
	FCEV	5	5	5	5	2

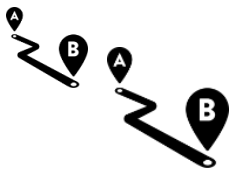
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis Stroh LB-5 (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Solo (21 Umläufe)	17	18	18	18	
Gelenk (7 Umläufe)	5	5	5	5	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!

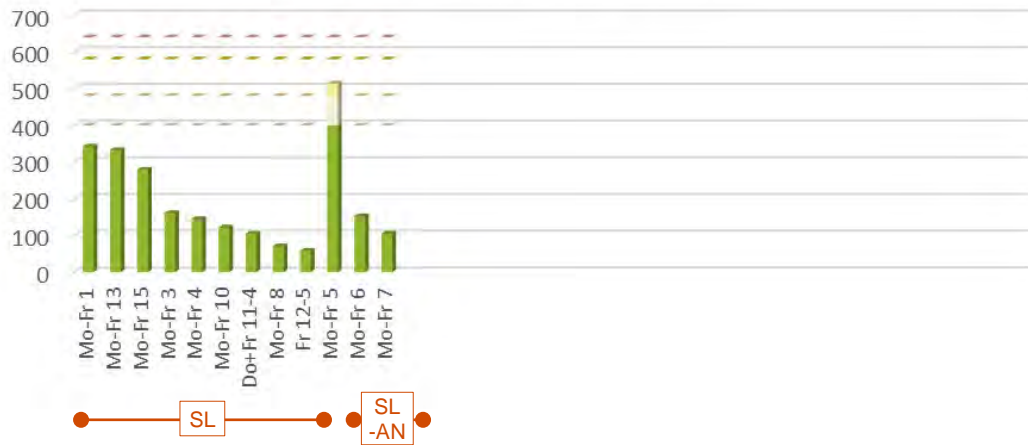


# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
<b>LB 06 Teil 1</b>	<b>(heute RDG Gründau)</b>
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

# Umlaufanalyse Zwischenergebnis RDG Gründau (BEV, Wochentag Schule)

Max Entladung Solobus [kWh]



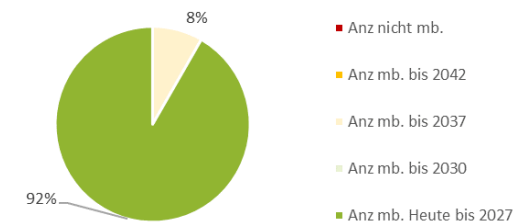
Max Entladung Midibus [kWh]



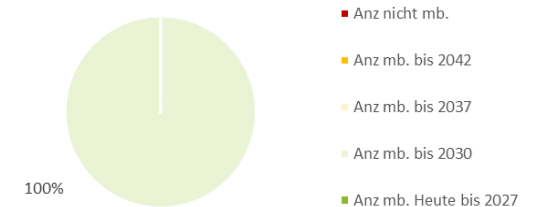
## Erste Interpretation

- Ergebnisse positiv
  - Sehr geringe Anteile heute kritischer Umläufe
- Einschätzung: Geringer Fzg.-Mehrbedarf zu erwarten.

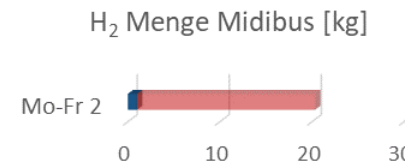
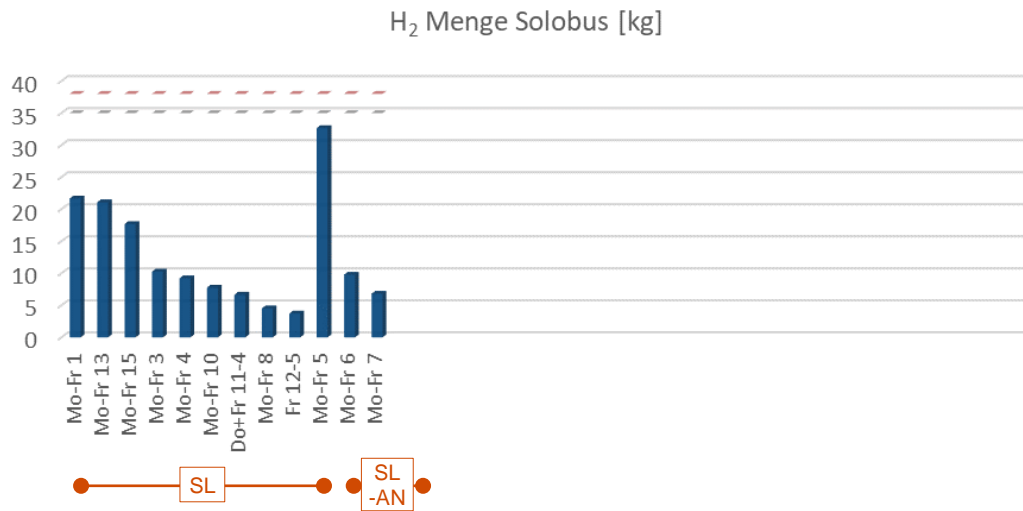
SL & SL-AN



MI

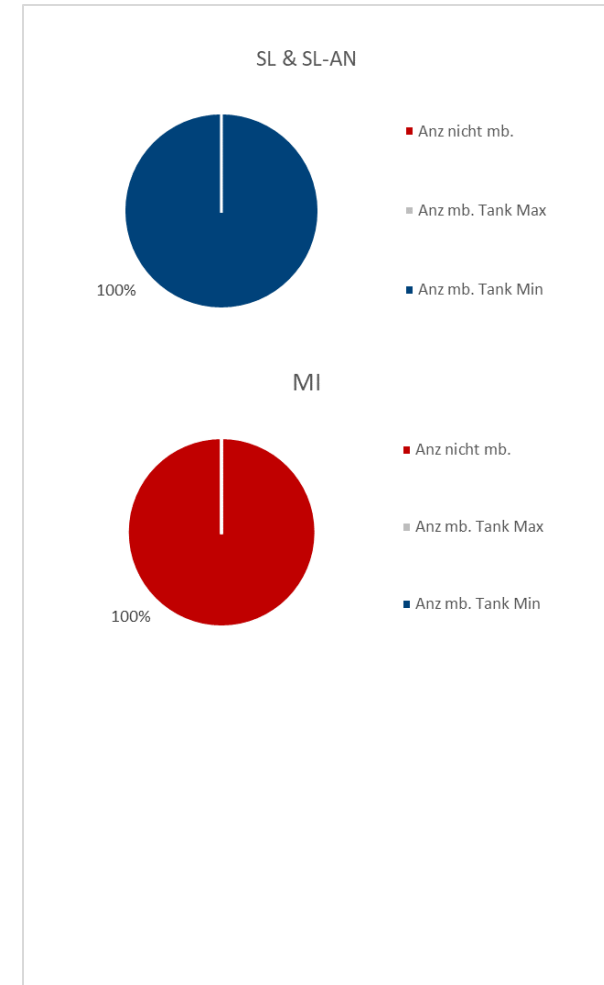


# Umlaufanalyse Zwischenergebnis RDG Gründau (FCEV, Wochentag Schule)



## Erste Interpretation

- Ergebnisse positiv
  - Sehr geringe Anteile heute kritischer Umläufe
- Einschätzung: Geringer Fzg.-Mehrbedarf zu erwarten.





# Vergleich BEV und FCEV – RDG Gründau

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (12 Umläufe)	BEV	11	11	12	12	0
	FCEV	12	12	12	12	0
Midi (1 Umlauf)	BEV	0	1	1	1	0
	FCEV	0	?	?	?	?

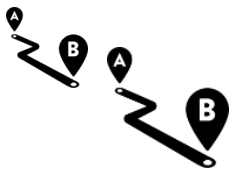
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis RDG Gründau (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Solo (12 Umläufe)	7	7	7	7	
Midi (1 Umlauf)	1	1	1	1	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!

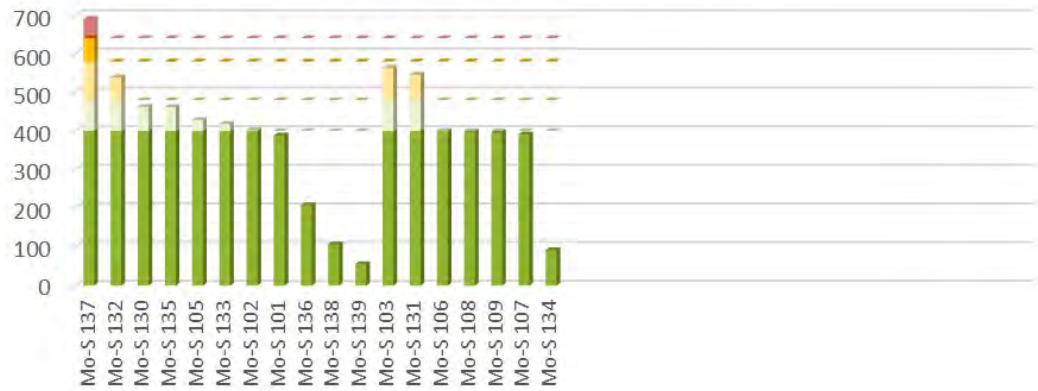


# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Heuser (BEV, Wochentag Schule)

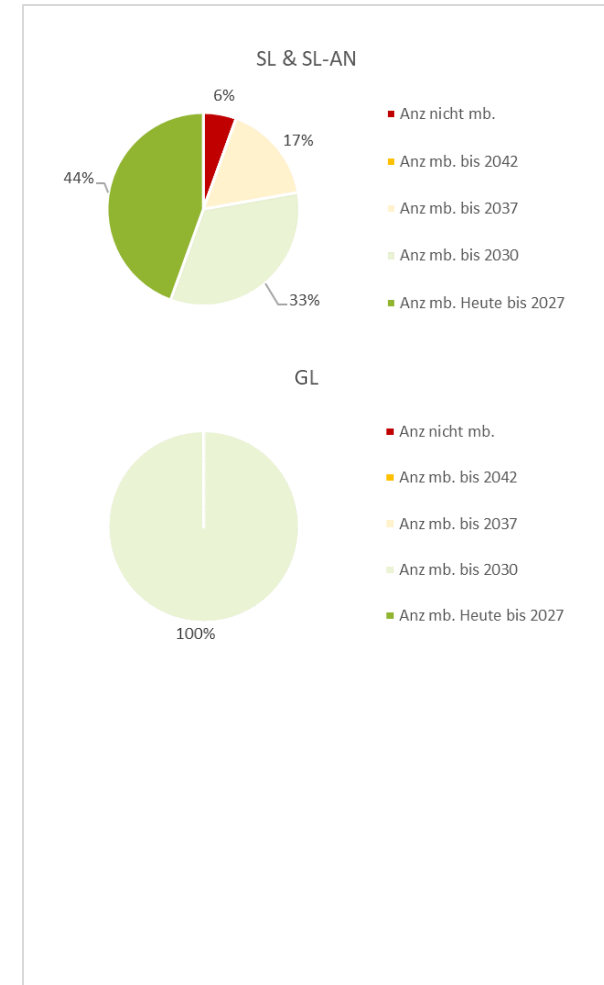
Max Entladung Solobus [kWh]



## Erste Interpretation

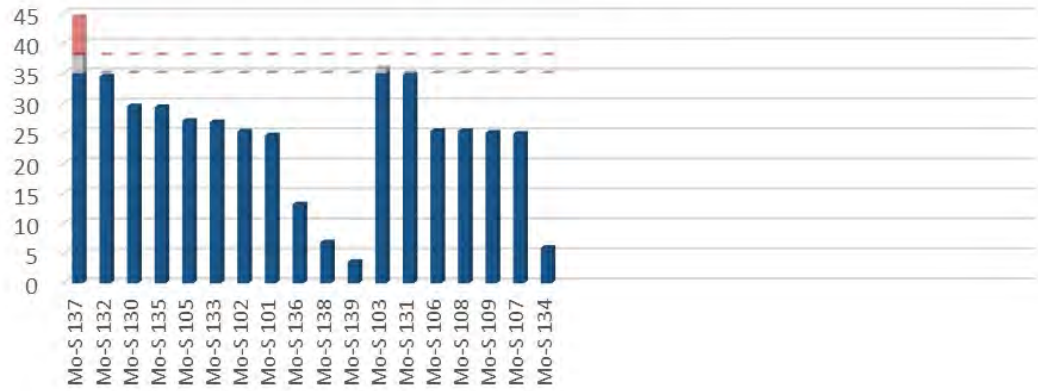
- Ergebnisse neutral
  - Mittlere Anteile nach 2028 kritischer Umläufe
  - Viele unkritische Umläufe nah am Grenzwert
- Einschätzung: Fzg.-Mehrbedarf ist wahrscheinlich. Genaue Menge muss berechnet werden

Max Entladung Gelenkbus [kWh]



# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Heuser (FCEV, Wochentag Schule)

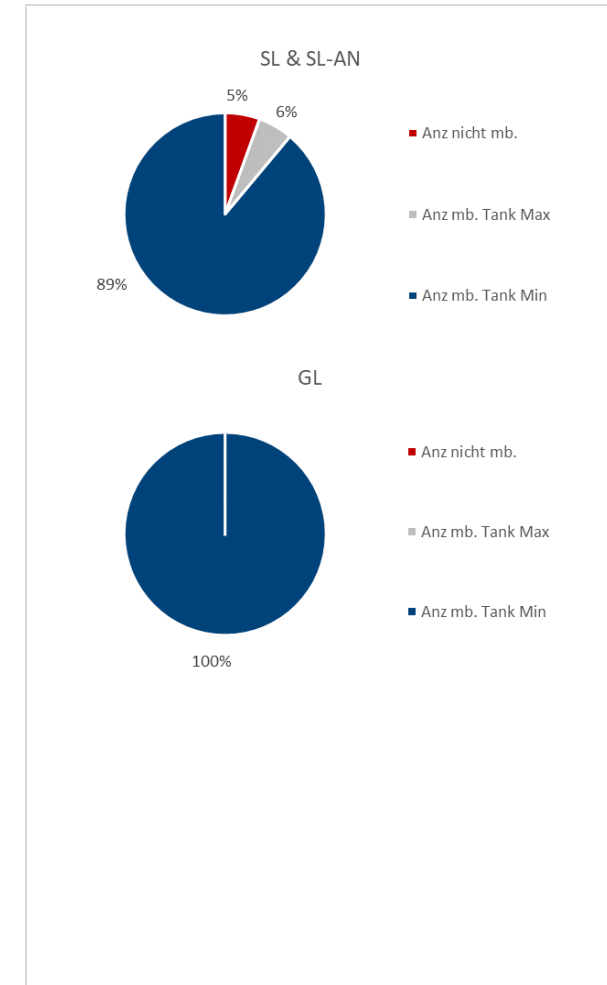
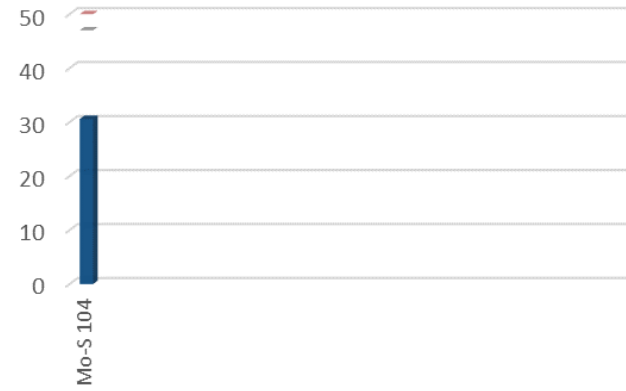
H<sub>2</sub> Menge Solobus [kg]



## Erste Interpretation

- Ergebnisse neutral
  - Mittlere Anteile nach 2028 kritischer Umläufe
  - Viele unkritische Umläufe nah am Grenzwert
- Einschätzung: Fzg.-Mehrbedarf ist wahrscheinlich. Genaue Menge muss berechnet werden

H<sub>2</sub> Menge Gelenkbus [kg]



# Vergleich BEV und FCEV – Heuser

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (18 Umläufe)	BEV	8	14	17	17	1
	FCEV	17	17	17	17	1
Gelenk (1 Umlauf)	BEV	0	1	1	1	0
	FCEV	1	1	1	1	0

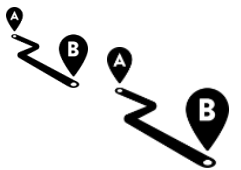
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis Heuser (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Solo (18 Umläufe)	13	14	14	13	
Gelenk (1 Umlauf)	1	1	1	1	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!



# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)



# Die Ergebnisse RVMK Detailstudie fließen in den Bewertungsansatz für die KVG MKK ein

- Vorstudie RVMK
  - Ausgeführt von PwC und eebc
  - Analyse des RVMK Einsatzgebietes (Stadt- und Regionalbus)
  - Abschluss Ende 2022
- Ergebnisse werden hier in zwei Untergruppen differenziert
  - Stadtbusbetrieb mit kleinen Gefäßgrößen (Midibus, Standort Altenhaßlau)
  - Regionalbusbetrieb mit größeren Gefäßen (Solo- und Gelenkbusse)
- Besonderheiten
- - Fahrzeugtypen Maxi und Buszug wurden kundenseitig ersetzt (gewählt wurden SL und GL Busse)
    - Teilweise hier Dopplung der Umläufe, um Passagierkapazitäten zu gewährleisten (Ohne Einfluss auf Technologieauswahl. BEV und FCEV können Buszug-Kapazitäten nicht decken)
  - Umläufe beinhalten teilweise Wartezeiten in Depots / Stellplätzen
    - Für **BEV Modelle** werden diese Zeiten als **Nachladeintervall** genutzt

# Umlaufanalyse Zwischenergebnis RVMK - Regionalbusverkehr (BEV, Wochentag Schule)

Max Entladung Solobus [kWh]



SL

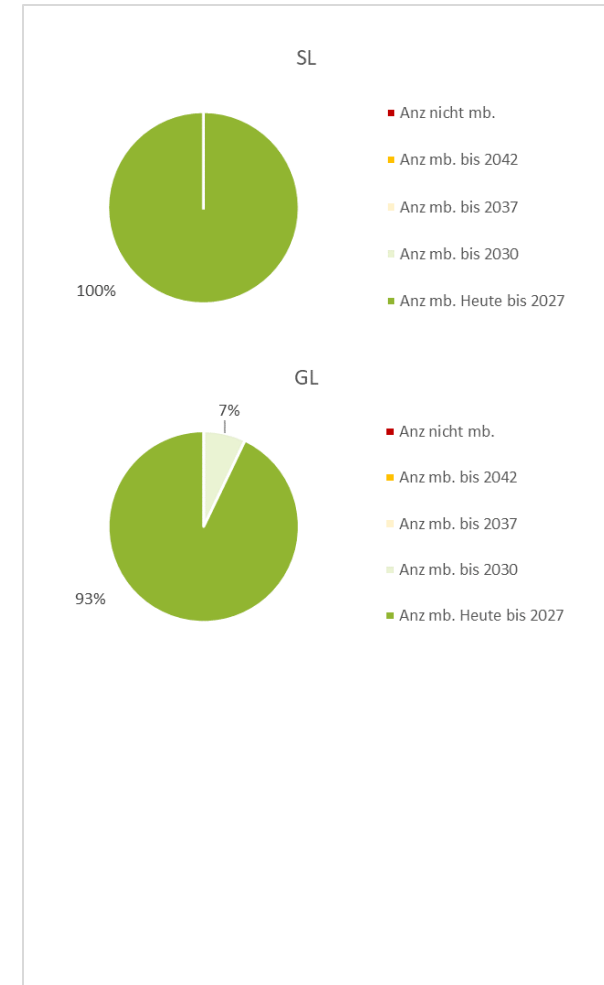
Max Entladung Gelenkbus [kWh]



## Erste Interpretation

- Ergebnisse sehr positiv
  - Nahezu alle Umläufe bereits heute machbar
  - Ein einzelner Umlauf (GL) heute kritisch aber ab 2028 machbar (knapp über Grenzwert)
- Einschätzung: Fzg.-Mehrbedarf ist unwahrscheinlich

**Besonderheit:** Umläufe beinhalten Wartezeiten in Depots, die zur Nachladung über Depot-Ladeinfrastruktur berücksichtigt werden



# Umlaufanalyse Zwischenergebnis RVMK - Regionalbusverkehr (FCEV, Wochentag Schule)

H<sub>2</sub> Menge Solobus [kg]

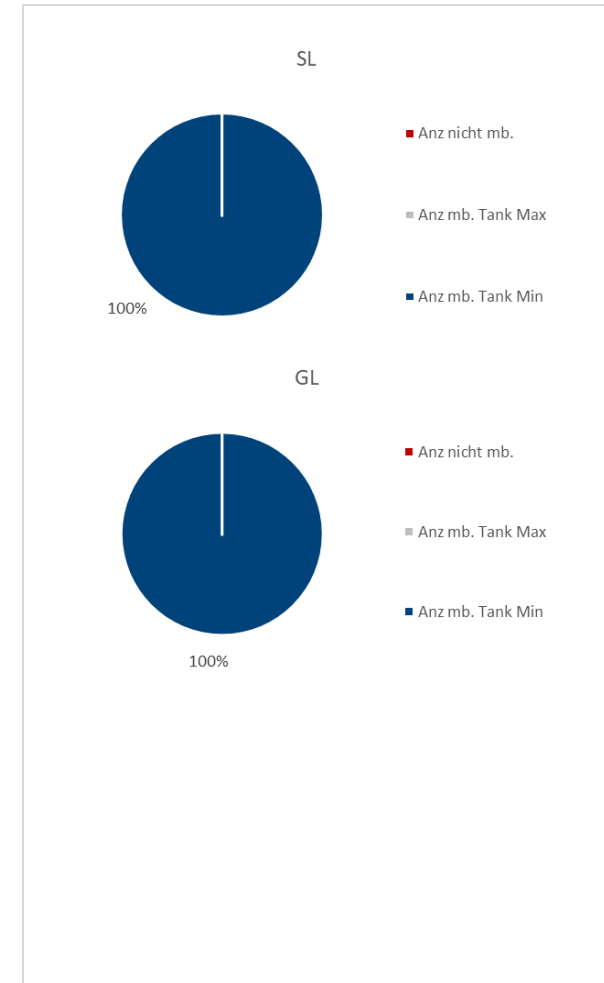


SL

## Erste Interpretation

- Ergebnisse sehr positiv
  - Alle Umläufe bereits heute machbar
- Kein Fahrzeugmehrbedarf

H<sub>2</sub> Menge Gelenkbus [kg]



# Vergleich BEV und FCEV – RVMK - Regionalbusverkehr

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (25 Umläufe)	BEV	25	25	25	25	0
	FCEV	25	25	25	25	0
Gelenk (14 Umlauf)	BEV	13	14	14	14	0
	FCEV	14	14	14	14	0

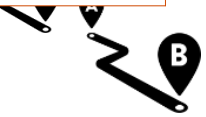
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis RVMK Regional (BEV, Wochentag Schule, Einzeldepots), (1/2)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Abstellplatz Bad Orb					
Solo (3 Umläufe)	2	3	3	2	Ansatz mit Teilladung. Max Entladung bei ca. 480 kWh. Gut möglich, dass bereits vor 2033 die Umstellung ohne Mehrbedarf möglich ist
Abstellplatz Birstein					
Solo (7 Umläufe)	6	6	6	6	
Gelenk (2 Umläufe)	2	2	2	2	
Depot Altenhaßlau (ohne Midibusse)					
Solo (5 Umläufe)	5	5	5	5	
Gelenk (1 Umlauf)	1	1	1	1	

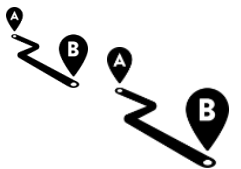
\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis RVMK Regional (BEV, Wochentag Schule, Einzeldepots), (2/2)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Depot Bieber					
Solo (3 Umläufe)	3	3	3	3	
Gelenk (5 Umläufe)	5	5	5	5	
Eiserne Hand (aktuell Wächtersbach)					
Solo (7 Umläufe)	6	6	6	6	
Gelenk (6 Umlauf)	6	6	6	6	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!



# RMVK Stadtbusverkehr

- Einsatz von Midibussen
  - **BEV als emissionsfreier Technikansatz alternativlos** (kein FCEV Marktangebot namhafter Hersteller)
  - Problematisch sind Durchfahrtsbreiten. Modellauswahl < 2,55 m ist limitiert
  - Bewertung (2022) anhand Referenzmodell Karsan E-Atak (nutzbare Kapazität etwa bei 165-175 kWh)
    - Hier berücksichtigt aktuelle Modelle mit verbesserten Systemparametern (Höhere mögliche Ladeleistung ohne Einfluss auf Machbarkeitsbewertung)
- Zwei Umsetzungsalternativen denkbar
  - Regelmäßiges Zwischenladen an Haltestelle Meerholz am Schwarzerlich
    - Technisch attraktives Modell ohne Fahrzeugmehrbedarf (umsetzbar mit 5 Bussen)
    - Minimale Umlaufanpassungen
    - Ladeinfrastruktur im Wohngebiet ist ggf. problematisch
  - Ausschließliche Ladung im Depot
    - Erhöhte Transferstreckenmengen und Lenkzeiten, jedoch keine Infrastruktur im Wohngebiet
    - Umsetzbar mit 6 Bussen (Mehrbedarf: +1 Bus)
- Technologieempfehlung: BEV

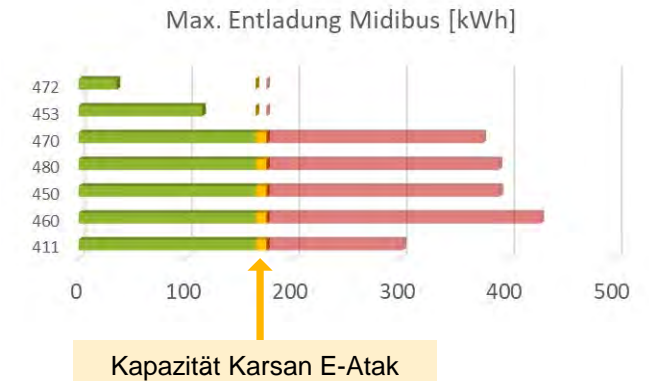
Variante mit Depotladung (+1 Midibus) ist bereits in Umsetzung.

Im Folgenden wird angenommen, dass dies keinen Mehrbedarf erzeugt, um die Darstellungen weiterverfolgen zu können.

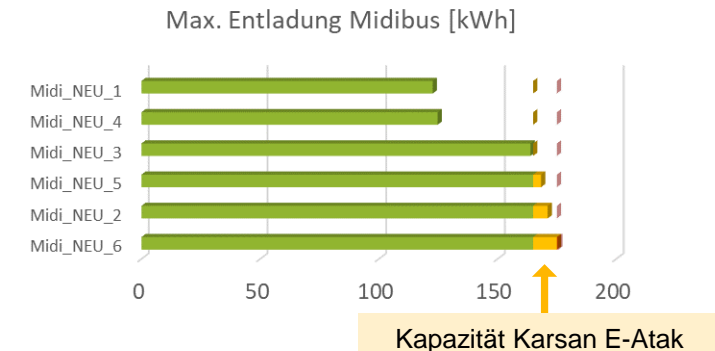
# RMVK Stadtbusverkehr

- In der aktuellen Umlaufkonstellation ist der Stadtbusbetrieb problematisch
  - Angesetzte Referenzwerte Karsan E-Atak (165-175 kWh)
- Im Rahmen der damaligen Detailstudie wurde eine Umlaufanpassung exemplarisch ausgeführt
  - Reichweiten & Ladeleistung ausgerichtet auf Karsan E-Atak
    - Heute größere Kapazitäten und höhere Ladeleistungen verfügbar („entspannt Anforderungen bei Abweichungen vom Sollbetrieb“)
  - Nach Anpassung sind sechs Fahrzeuge erforderlich
  - Betrieb der Stadtbuslinien wird nach Anpassung als unproblematisch eingeschätzt
  - Umlaufkonstellation „nach Anpassung“ wird hier als Status-Quo aufgefasst, da Umsetzung bereits eingeleitet
  - Für Energiekonzept wird lediglich höhere Ladeleistung angenommen (Verbessert Potenzial Lastgangoptimierung)

## Umlaufübersicht vor Anpassung



## Umlaufübersicht nach Anpassung

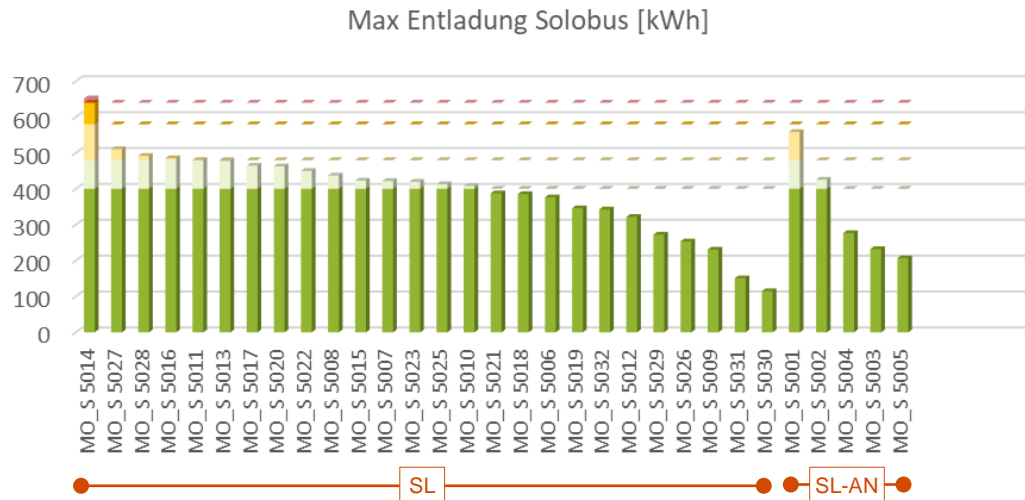




# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

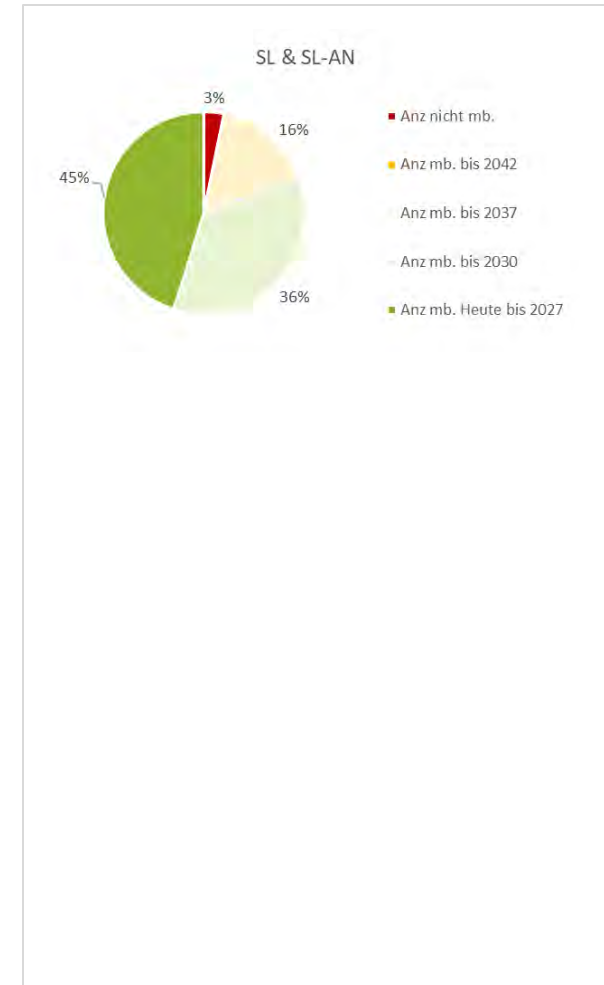
LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)

# Umlaufanalyse Zwischenergebnis VGF Fulda (BEV, Wochentag Schule)

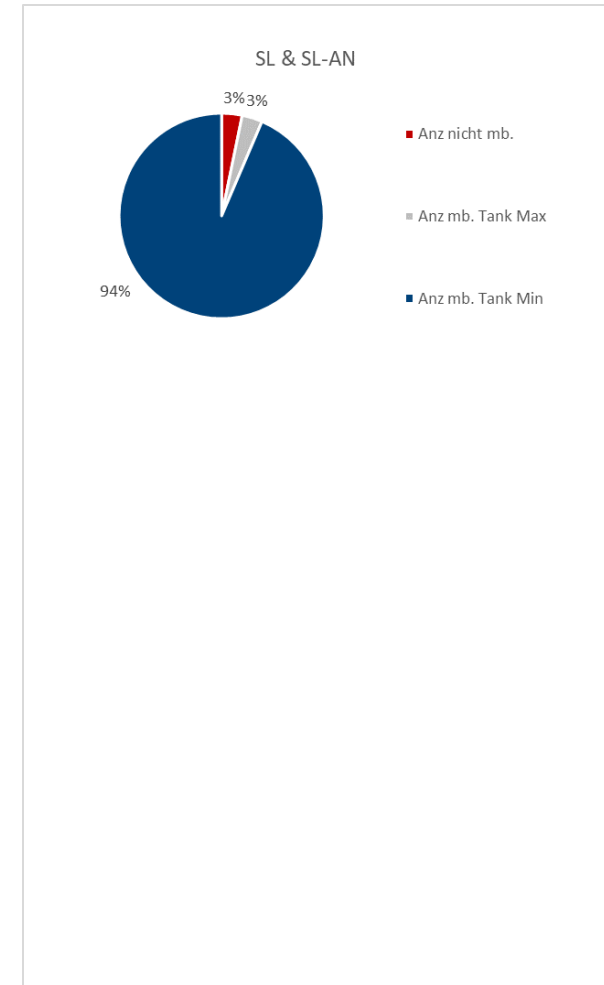
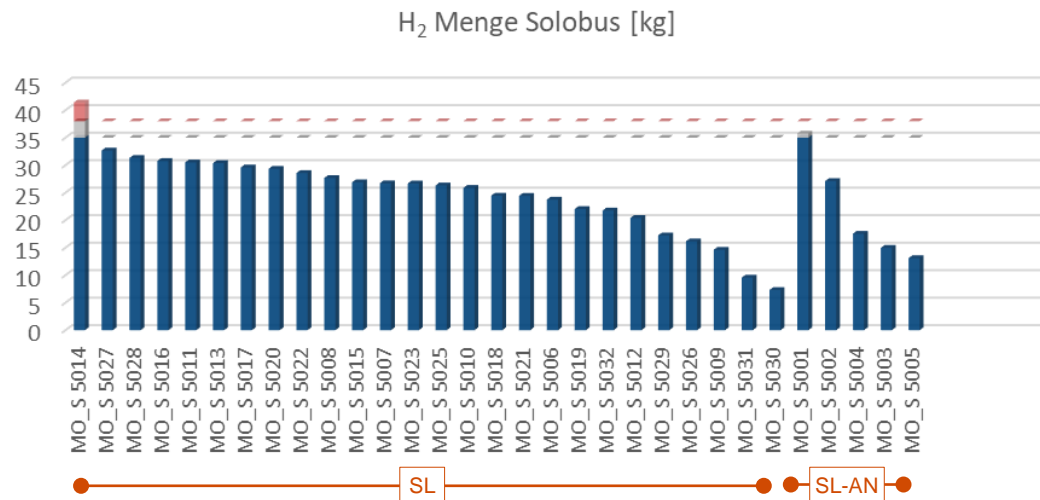


## Erste Interpretation

- Hier: Alle 8 Depots (zunächst) als Zentraldepot interpretiert
- Ergebnisse tendenziell positiv
  - Geringe Anteile nach 2028 kritischer Umläufe (Dabei primär nur geringe Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Bei Interpretation als Zentraldepot geringer Fzg.-Mehrbedarf zu erwarten. Bei Interpretation als 8 Einzeldepots zu prüfen



# Umlaufanalyse Zwischenergebnis VGF Fulda (FCEV, Wochentag Schule)



## Erste Interpretation

- Hier: Alle 8 Depots (zunächst) als Zentraldepot interpretiert
- Ergebnisse tendenziell positiv
  - Geringe Anteile nach 2028 kritischer Umläufe (Dabei primär nur geringe Grenzwertüberschreitung)
- Einschätzung: Bei Interpretation als Zentraldepot geringer Fzg.-Mehrbedarf zu erwarten. Bei Interpretation als 8 Einzeldepots zu prüfen

# Vergleich BEV und FCEV – VGF Fulda

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (31 Umläufe)	BEV	14	25	30	30	1
	FCEV	30	30	30	30	1

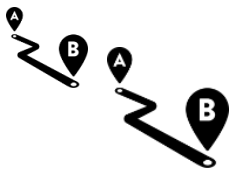
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis VGF Fulda (BEV, Wochentag Schule, alle Depots gemeinsam)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Solo (31 Umläufe)	28	29	29	28	Ansatz mit Teilladung. Max Entladung bei ca. 540 kWh. Gut möglich, dass bereits vor 2033 die Umstellung ohne Mehrbedarf möglich ist

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis VGF Fulda (BEV, Wochentag Schule, Einzeldepots), (1/2)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Abstellplatz Schlüchtern Dreispitzenhohle					
Solo (2 Umläufe)	2	2	2	2	
Abstellplatz Bad Soden - Salmünster					
Solo (3 Umläufe)	3	3	3	3	
Abstellplatz Sannerz Sportplatz					
Solo (2 Umläufe)	2	2	2	2	
Depot Schlüchtern					
Solo (12 Umläufe)	10	11	11	10	Ansatz mit Teilladung. Max Entladung bei ca. 540 kWh. Gut möglich, dass bereits vor 2033 die Umstellung ohne Mehrbedarf möglich ist

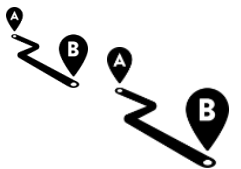
\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis VGF Fulda (BEV, Wochentag Schule, Einzeldepots), (1/2)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Abstellplatz Altengronau					
Solo (4 Umläufe)	4	4	4	4	
Depot Schreiber					
Solo (2 Umläufe)	2	2	2	2	
Depot Gass					
Solo (3 Umläufe)	3	3	3	3	
Depot Klüh					
Solo (3 Umläufe)	3	3	3	3	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!



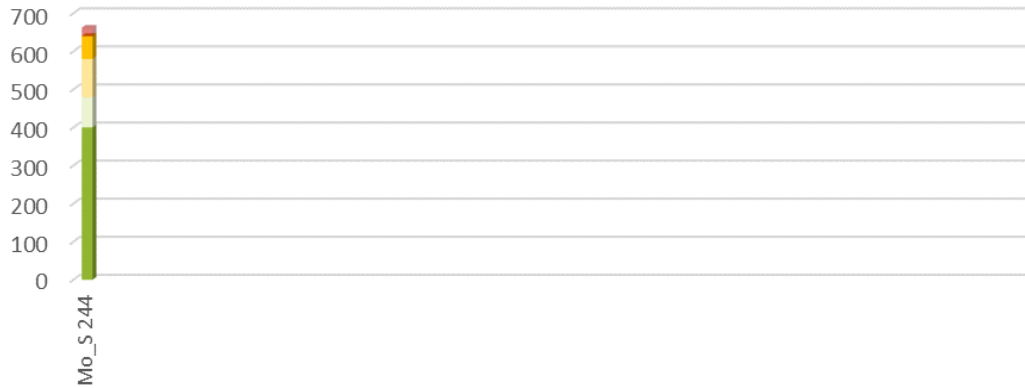
# Übersicht der betrachteten Linienbündel in der Umlaufanalyse

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 02	(heute Stroh LB 02)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 03 Teil 2	(heute ARGE)
LB 04 (MKK-Nord-Süd)	(heute DB Regio)
LB 05	(heute Stroh LB 05)
LB 06 Teil 1	(heute RDG Gründau)
LB 06 Teil 2	(heute Heuser)
LB 08 & 09	(heute RVMK)
LB 10	(heute VGF Fulda)
AB-30a	(heute Stroh)



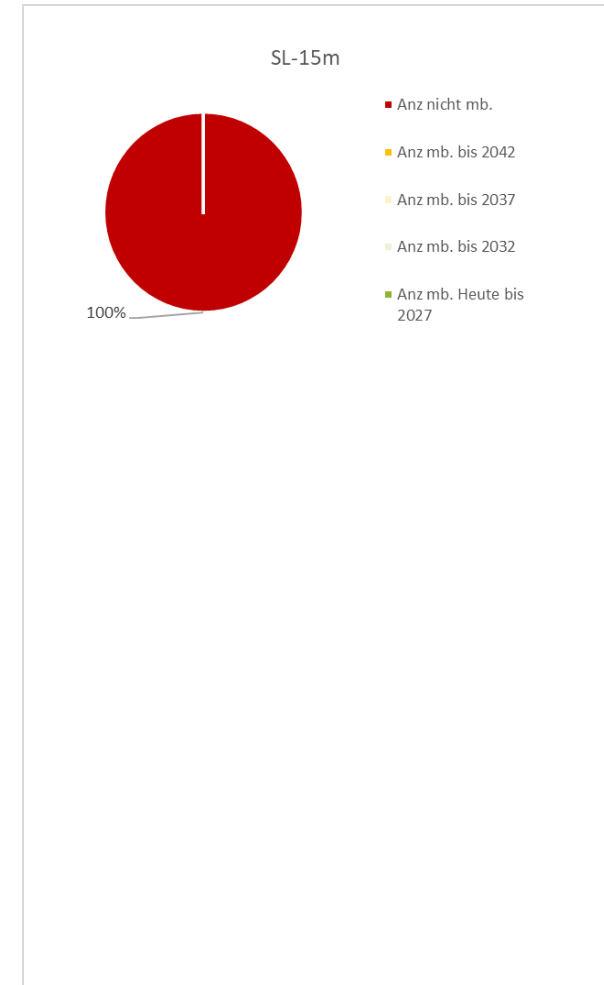
# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Stroh AB-30a (BEV, Wochentag Schule)

Max Entladung Solobus 15m [kWh]



## Erste Interpretation

- Ergebnisse negativ
  - Einziger Umlauf liegt wesentlich über Grenzwert
- Einschätzung: Zusatzfahrzeug erforderlich



# Umlaufanalyse Zwischenergebnis Stroh AB-30a (FCEV, Wochentag Schule)

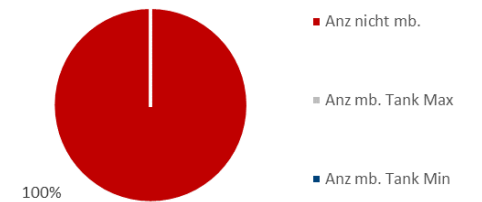
H<sub>2</sub> Menge Solobus 15m [kg]



## Erste Interpretation

- Ergebnisse negativ
  - Einziger Umlauf liegt wesentlich über Grenzwert
- Einschätzung: Zusatzfahrzeug erforderlich

SL-15m



# Vergleich BEV und FCEV – Stroh AB-30a

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich				
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch
Solo (1 Umlauf)	BEV	0	0	0	0	1
	FCEV	0	0	0	0	1

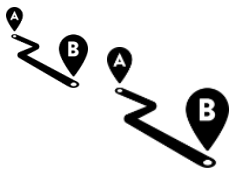
\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Umlaufverknüpfung Zwischenergebnis Stroh AB-30a (BEV, Wochentag Schule)

Fahrzeugtyp	Fahrzeugzahl Diesel	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung heute)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2028)	Fahrzeugzahl BEV* (Umstellung nach 2033)	Anmerkung
Solo-15m (1 Umläufe)	1	1	1	1	

\* Die notwendige Fahrzeugzahl (inklusive Mehrbedarf) bezieht sich zunächst ausschließlich auf die Umlaufverknüpfung. Abhängig vom Migrationspfad kann ein zusätzlicher Mehrbedarf resultieren, um reichweitenkritische Umläufe zu kompensieren (Umlaufanpassung). Dargestellt ist nicht die abschließende Fahrzeugzahl für BEVs!



# Vergleich BEV und FCEV – Alle Linienbündel außer Stroh X-Bus

		Anzahl machbarer / langfristig kritischer Umläufe im Vergleich					
Fahrzeugtyp	Technik*	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Langfristig kritisch	Davon „keine Technik“ (FCEV)
Solo (198 Umläufe)	BEV	145	169	187	189	9	
	FCEV	187	187	187	187	11	0
Gelenk (43 Umläufe)	BEV	38	41	41	41	2	
	FCEV	41	41	41	41	2	0
Midibus (7 Umlauf)	BEV	6	7	7	7	0	
	FCEV	0	0	0	0	7	7
Kleinbus (8 Umläufe)	BEV	4	6	8	8	0	
	FCEV	0	0	0	0	8	8
Alle (211 Umläufe)	BEV	149	178	198	200	11	
	FCEV	189	189	189	189	22	9

\* BEV entspricht der Prognose über die Zeitachse. FCEV sind für die „große“ Tankvariante dargestellt. Bei kleineren Tankgrößen, kann sich das Ergebnis weiter zugunsten BEV entwickeln.



# Vergleich BEV und FCEV – Alle Linienbündel außer Stroh X-Bus

## Erste Interpretation der Ergebnisse

- Heute weisen FCEV Reichweitenvorteile auf
  - Gleichzeitig existiert eine ausreichende Menge „unkritischer“ BEV Umläufe
  - Für beide Technikalternativen scheint ein ausreichendes Potenzial vorzuliegen, um E-Busse einzuführen
- Ab 2028-2033 bewegen sich beide Alternativen vielfach auf Augenhöhe
  - Im Detail (pro Fahrzeugtyp und Depot) schwanken Vorteile zwischen BEV und FCEV in diesem Intervall
- Spätestens ab 2038 sind BEV vollkommen gleichwertig oder sogar ‚überlegen‘
- Für kleine Fahrzeugtypen fehlt ein belastbares (renommiertes) FCEV Marktangebot
  - BEV sind verfügbar
- Technische Entwicklung FCEV Technik aktuell nicht absehbar aber nicht ausgeschlossen

**Kernfrage:** Gibt es eine Motivation schon heute die „schwersten Umläufe“ zu Dekarbonisieren und im Zuge dessen eine kostenintensive H<sub>2</sub> Infrastruktur aufzubauen? Zu berücksichtigen sind dabei auch die (typischerweise) höheren Anschaffungs- und Betriebskosten von FCEV gegenüber BEV.

# Neuer Nahverkehrsplan



# Ziel der Betrachtung ist die Identifikation von besonderen Herausforderungen bei Leistungserhöhung, die gegen einzelne Technologiealternativen sprechen

- Die technologische Bewertung basiert auf dem Status-Quo
  - Konkrete Umlaufdaten liegen nur für den aktuellen Betrieb vor
- Ein Angebotsausbau ist bereits in Planung
  - Im Rahmen eines neuen Nahverkehrsplans (NVP) für
    - LB 03 Teil 1
    - LB 05 und 08
- Ziel der Betrachtung
  - Zu erwartende Mehraufwendungen bei Angebotsausbau
  - Identifikation besonderer Herausforderungen („böse Überraschungen“)
  - Mögliche Gründe für eine Technologieauswahl, die erst langfristig relevant sind
- Erste Umlaufdaten NVP liegen vor, sind jedoch nicht für die Bewertung geeignet
  - Kein finaler Planungsstand
  - Nicht auf Status-Quo Umläufe übertragbar (Vgl. nächste Folie)



# Aufgrund besonderer Umstände, sind die Umlaufdaten für den neuen NVP hier als Bewertungsgrundlage ungeeignet

- Die Umlauflisten neuer NVP wurden vor einem anderen Planungshintergrund entworfen
  - Ziel: Absolutes Minimum an Fahrzeugen auf tendenziell langen Umläufen
  - Abgebildet ist ein mögliches NVP Szenario, die letzte Umsetzung ist noch in Diskussion
- Umlauflisten neuer NVP und Status-Quo sind nicht voneinander abgrenzbar
  - Teilweise gelten neue Daten **zusätzlich** zu den bestehenden Umlauflisten im Status-Quo
  - Teilweise gelten neue Daten **ersatzweise** für bestehende Umlauflisten
  - Teilweise sind Abschnitte eines Umlaufs zusätzlich und andere Abschnitte ersatzweise
- Für diesen Sonderfall kann eine Skalierung der Ergebnisse aus dem Status Quo herangezogen werden
  - Von KVG MKK können Planwerte der Fahrzeugzahl für LB nach aktuellem und neuen NVP mit hoher Genauigkeit beigestellt werden
  - Der Zuwachs der Fahrzeuge ist in erster Näherung proportional zum Leistungszuwachs
  - Es kann angenommen werden, dass Energieverbrauch (in Summe) und Sondermaßnahmen (wie Zusatzfahrzeuge) in demselben Verhältnis, wie die Planwerte der Fahrzeugzahl, steigen

# Übersicht der betrachteten Linienbündel im Kontext des neuen NVPs

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 08 & 09	(heute RVMK)

# LB01 im Kontext des neuen NVPs - Skalierungsfaktor

- Ergebnisse aus dieser Untersuchung werden bewertet
  - Darstellung erfolgt anhand Einsatzpotenzialen „für Vollumstellung zum Umstellungszeitpunkt“
    - Als Tendenz für langfristige Orientierung (Vollumstellung)
    - Bei Teilumstellung (nur CVD / CVD Plus) liegen reduzierte Anforderungen vor
- Skalierungsfaktor neuer NVP wird in Summe aus Zuwachszahlen für LB 01 hergeleitet.
  - Angaben Kunde: Fahrzeugzahl 2023 = 21 Busse; Fahrzeugzahl „neuer NVP“ = 23; Zuwachs = +2 Busse
  - ➔ Hergeleiteter Faktor:  $2 / 21 \cong 9,5 \% \Rightarrow 10 \%$  (gerundet)

# LB01 im Kontext des neuen NVPs (Auswirkung Vollumstellung)

Linienbündel	Fahrzeug	Angesetzte BEV-Kapa. von (Jahr)	Anzahl Bus Diesel ohne Reserve	Anzahl Bus Diesel mit Reserve	Anzahl Bus machbar*	Anzahl Bus nicht machbar*	Mehrbedarf MIN**	Mehrbedarf MAX**	Kommentar
Berechnung nach Status Quo									
LB 01 (SV Maintal)	Solo	2028	19	22	17	2	0	1	Sehr wahrscheinlich nur +0
	Gelenk	2028	2	3	2	0	0	0	
Berechnung nach Skalierung mit +10 %									
LB 01 (SV Maintal)	Solo	2028	21	24	18-19	2-3	0	2	Sehr wahrscheinlich nur +0
	Gelenk	2028	3	4	3	0	0	0	

- Es wird angenommen, dass sich der Anteil „machbarer“ Einsätze in demselben Verhältnis ändert, wie die Fahrzeugmenge insgesamt
- Die resultierenden Ergebnisse decken die bisherigen Ergebnisse
  - Sowohl Szenario CVD als auch CVD-PLUS sind mit BEV gut erfüllbar
  - Selbst eine Vollumstellung ist vermutlich in 2028 mit keinem oder sehr geringen Mehrbedarf weiterhin möglich

Für CVD Erfüllung „NVP Neu“ erforderlich:

- 6 Busse (nur CVD),
- 13 Busse (CVD-PLUS)

➔ **unproblematisch**

# LB 01 im Kontext des neuen NVPs - Auswertung

- Sondermaßnahmen
  - Keine Sondermaßnahmen erforderlich für CVD Erfüllung
- Alternativtechnologie
  - Es sind keine Indikatoren für ein Abweichen der bisher gewählten Technologie erkennbar
  - BEV können in der gewählten Form im neuen NVP weiter verfolgt werden
- Skalierung
  - Flottengröße kann nach Ansatz mit +10 % hochskaliert werden, da keine Sondermaßnahmen erforderlich
- Sicherheitsaufschläge
  - Hier: Modellhafte Prognose
  - Fahrzeugbedarf teilweise abhängig von besonderen Effekten, die hier nicht absehbar sind
  - ➔ Ein sehr geringer Fahrzeugmehrbedarf (Einzelfälle) kann hier nicht gänzlich ausgeschlossen werden

# Übersicht der betrachteten Linienbündel im Kontext des neuen NVPs

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 08 & 09	(heute RVMK)

# LB03 Teil 1 im Kontext des neuen NVPs - Skalierungsfaktor

- Ergebnisse aus dieser Untersuchung werden bewertet
  - Darstellung erfolgt anhand Einsatzpotenzialen „für Vollumstellung zum Umstellungszeitpunkt“
    - Als Tendenz für langfristige Orientierung (Vollumstellung)
    - Bei Teilumstellung (nur CVD / CVD Plus) liegen reduzierte Anforderungen vor
- Skalierungsfaktor neuer NVP wird in Summe aus Zuwachszahlen für LB 03 Teil 1 hergeleitet.
  - Angaben Kunde: Fahrzeugzahl 2023 = 11 Busse; Fahrzeugzahl „neuer NVP“ = 14; Zuwachs = +3 Busse
  - ➔ Hergeleiteter Faktor:  $3 / 11 \cong 27,2 \% \Rightarrow 30 \%$  (gerundet)

# LB03 Teil 1 im Kontext des neuen NVPs (Auswirkung Vollumstellung)

Linienbündel	Fahrzeug	Angesetzte BEV-Kapa. von (Jahr)	Anzahl Bus Diesel ohne Reserve	Anzahl Bus Diesel mit Reserve	Anzahl Bus machbar*	Anzahl Bus nicht machbar*	Mehrbedarf MIN**	Mehrbedarf MAX**	Kommentar
Berechnung nach Status Quo									
LB 03 Teil 1 (Rackours)	Solo	Heute	9	11	5	4	0	2	
	Gelenk	Heute	1	2	1	0	0	0	
	Klein	Heute	1	2	0	1	1	1	Alternativ: Kapa > 120 kWh KB
Berechnung nach Skalierung mit +30 %									
LB 03 Teil 1 (Rackours)	Solo	Heute	12	15	6-7	5-6	0	3	
	Gelenk	Heute	2	3	2	0	0	0	
	Klein	Heute	2	3	0-1	1-2	1	2	Alternativ: Kapa > 120 kWh KB

- Es wird angenommen, dass sich der Anteil „machbarer“ Einsätze in demselben Verhältnis ändert, wie die Fahrzeugmenge insgesamt
- Die resultierenden Ergebnisse decken die bisherigen Ergebnisse
  - Sowohl Szenario CVD als auch CVD-PLUS sind mit BEV gut erfüllbar
  - Selbst eine Vollumstellung ist vermutlich bereits heute mit einem zusätzlichen Mehrbedarf möglich

Für CVD Erfüllung „NVP Neu“ erforderlich:

- 5 Busse (nur CVD),
- 9 Busse (CVD-PLUS)

➔ **unproblematisch**



# LB 03 Teil 1 im Kontext des neuen NVPs - Auswertung

- Sondermaßnahmen
  - Keine Sondermaßnahmen erforderlich für CVD Erfüllung
- Alternativtechnologie
  - Es sind keine Indikatoren für ein Abweichen der bisher gewählten Technologie erkennbar
  - BEV können in der gewählten Form im neuen NVP weiter verfolgt werden
- Skalierung
  - Flottengröße kann nach Ansatz mit +30 % hochskaliert werden, da keine Sondermaßnahmen erforderlich
- Sicherheitsaufschläge
  - Hier: Modellhafte Prognose
  - Fahrzeugbedarf teilweise abhängig von besonderen Effekten, die hier nicht absehbar sind
  - ➔ Ein sehr geringer Fahrzeugmehrbedarf (Einzelfälle) kann hier nicht gänzlich ausgeschlossen werden

# Übersicht der betrachteten Linienbündel im Kontext des neuen NVPs

LB 01	(heute SV Maintal)
LB 03 Teil 1	(heute Racktours)
LB 08 & 09	(heute RVMK)

# LB08 & LB09 im Kontext des neuen NVPs - Skalierungsfaktor

- Ergebnisse aus dieser Untersuchung werden bewertet
  - Darstellung erfolgt anhand Einsatzpotenzialen „für Vollumstellung zum Umstellungszeitpunkt“
    - Als Tendenz für langfristige Orientierung (Vollumstellung)
    - Bei Teilumstellung (nur CVD / CVD Plus) liegen reduzierte Anforderungen vor
- Skalierungsfaktor neuer NVP wird in Summe aus Zuwachszahlen für LB 08 & 09 (alle Technologien) hergeleitet.
  - Angaben Kunde: Fahrzeugzahl 2023 = 37 Busse; Fahrzeugzahl „neuer NVP“ = 42; Zuwachs = +5 Busse
  - ➔ Hergeleiteter Faktor:  $5 / 37 \cong 13,5 \% \Rightarrow 15 \%$  (gerundet)

# LB08 & LB09 im Kontext des neuen NVPs (Auswirkung Vollumstellung)

Linienbündel	Fahrzeug	Angesetzte BEV-Kapa. von (Jahr)	Anzahl Bus Diesel ohne Reserve	Anzahl Bus Diesel mit Reserve	Anzahl Bus machbar*	Anzahl Bus nicht machbar*	Mehrbedarf MIN**	Mehrbedarf MAX**	Kommentar
Berechnung nach Status Quo									
LB 08+09 Regional (RVMK)	Solo	2028	22	26	21	1	0	1	Sehr nah am Grenzwert, ggf. ohne Mehrbedarf möglich
	Gelenk	2028	14	17	14	0	0	0	
LB 08+09 S (RVMK)	Midi	2028	6	7	6	0	0	0	Mehrbedarf bereits enthalten. Umsetzung bereits eingeleitet
Berechnung nach Skalierung mit + 15 %									
LB 08+09 Regional (RVMK)	Solo	2028	26	30	24-25	1-2	0	1	
	Gelenk	2028	17	20	17	0	0	0	
LB 08+09 S (RVMK)	Midi	2028	7	8	7	0	0	0	

- Es wird angenommen, dass sich der Anteil „machbarer“ Einsätze in demselben Verhältnis ändert, wie die Fahrzeugmenge insgesamt
- Die resultierenden Ergebnisse decken die bisherigen Ergebnisse
  - Sowohl Szenario CVD als auch CVD-PLUS sind mit BEV gut erfüllbar
  - Selbst eine Vollumstellung ist vermutlich in 2028 mit keinem oder sehr geringen Mehrbedarf weiterhin möglich

Für CVD Erfüllung „NVP Neu“ erforderlich:

- 20 Busse (nur CVD),
- 38 Busse (CVD-PLUS)

➔ **unproblematisch**

# LB08 & LB09 im Kontext des neuen NVPs - Auswertung

- Sondermaßnahmen
  - Sondermaßnahmen im sehr überschaubaren Umfang erforderlich
  - Hier aufgrund Ladeintervall zwischen zwei Umläufen
    - Werte „nah am Grenzwert“
    - Möglich: Keine Sondermaßnahmen erforderlich
- Alternativtechnologie
  - Es sind keine Indikatoren für ein Abweichen der bisher gewählten Technologie erkennbar
  - BEV und FCEV können in der gewählten Form im neuen NVP weiter verfolgt werden
- Skalierung
  - Flottengröße kann nach Ansatz mit +15 % hochskaliert werden, da keine Sondermaßnahmen erforderlich
- Sicherheitsaufschläge
  - Hier: Modellhafte Prognose
  - Fahrzeugbedarf teilweise abhängig von besonderen Effekten, die hier nicht absehbar sind
  - ➔ Ein sehr geringer Fahrzeugmehrbedarf (Einzelfälle) kann hier nicht gänzlich ausgeschlossen werden

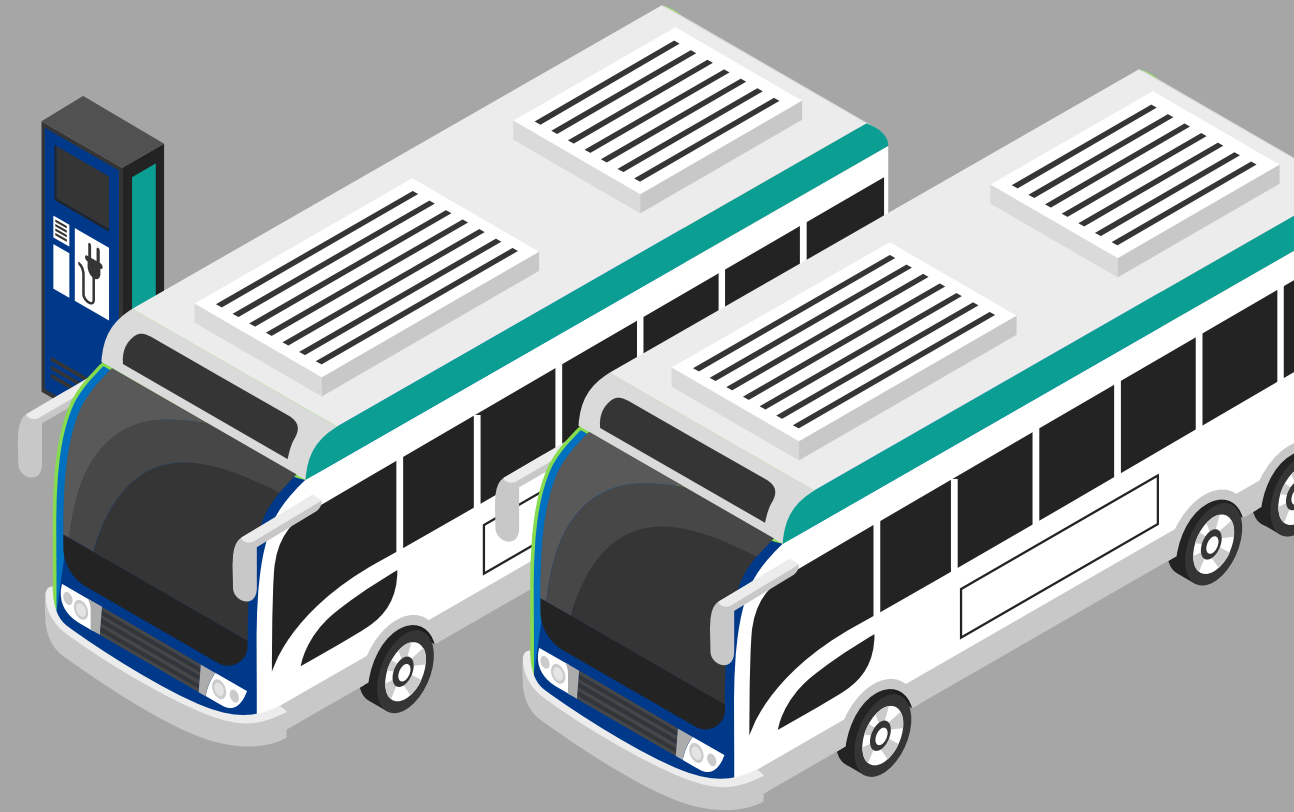
# Auch mit Hinblick auf den neuen NVP sind keine Argumente für den Einsatz einer Alternativtechnologie erkennbar

- Die Berechnung erfolgt modellbasiert anhand eines Skalierungsfaktors
  - Auf Basis der Datengrundlage keine Alternativen möglich
  - Abweichungen und Ungenauigkeiten müssen in Kauf genommen werden
  - „Sicherheitsreserven“ für die Fahrzeugmenge sollten in jedem Fall berücksichtigt werden, bis belastbare Berechnungen möglich sind
- Durch die Skalierung werden keine unerwarteten Herausforderungen ersichtlich
  - Die CVD Anforderungen können in allen Fällen weiterhin ohne Probleme erfüllt werden
  - Eine Vollumstellung bleibt weiterhin möglich. Größere Mehrbedarfe können nicht ausgeschlossen werden
  - Belastbare Aussagen sind erst bei Kenntnis aller Parameter möglich
- Auch hier gilt
  - BEV sind initial die kostengünstigste Systemalternative
  - Argumente für eine Alternativtechnologie (FCEV) gehen eher auf die Möglichkeit der Energieversorgung im Depot zurück
  - Aufgrund der verbundenen Gesamtkosten sind FCEV „fahrzeugseitig“ sehr selten im Vorteil
    - Entsprechende Extremsituationen (z.B. extrem große Anzahl Zusatzfahrzeuge) sind hier nicht erkennbar

# 4

## LB 4: Konzeptionelle Möglichkeiten

1. Lastganganalyse
2. Energiemengen
3. Ladeinfrastruktur Grobkonzept





# Lastganganalyse





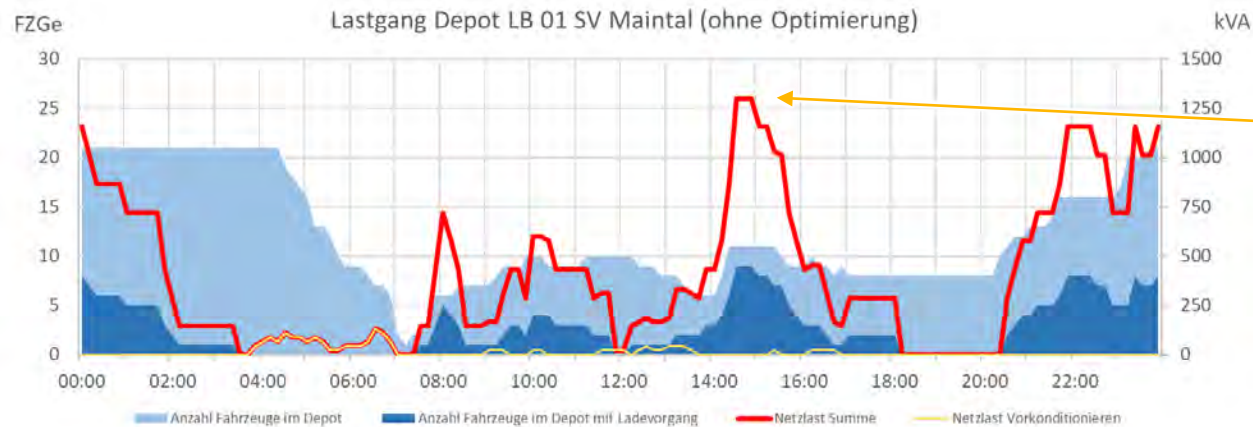
# Lastganganalyse Randbedingungen

- Szenario ist „Freitag (Schule) auf Freitag (Schule)“
  - Ziel: Härteste Anforderungen
    - Größter Energieverbrauch (Ladeanforderung) ist an Freitag (Schule)
    - Samstag werden weniger Busse eingesetzt. Startzeiten werden von Freitag (Schule) angesetzt, damit die Busse früh geladen sein müssen
- Auslegungsszenario ist immer eine antizipierte Vollumstellung am Standort
  - Angenommen wird, dass alle Umläufe erfüllt werden können und der Energiebedarf über Nacht anfällt (vergleichbar mit einer idealen „unendlich großen“ Batterie)
  - Reichweitenkritische Umläufe werden beibehalten (maximaler Energiebedarf über Nacht)
    - Bei frühzeitiger Umstellung & Umlaufanpassung werden Teile der Energiemengen in den Tag verlagert
- Lastspitzen am Mittag (nur relevant für Auszüge Vorstudie)
  - Häufig nicht vollständig durch Lastmanagement optimierbar
    - Fahrzeuge laden über weite Teile der Aufenthaltsdauer
  - Möglich ist Einsatz eines stationären Speichers
    - Nur in Extremfällen relevant, wenn dadurch kurzzeitige Lastspitzen kompensiert werden, die ansonsten einen Netzausbau erfordern

# Sonderfälle aufgrund Betrachtungsszenario „Freitag auf Freitag“

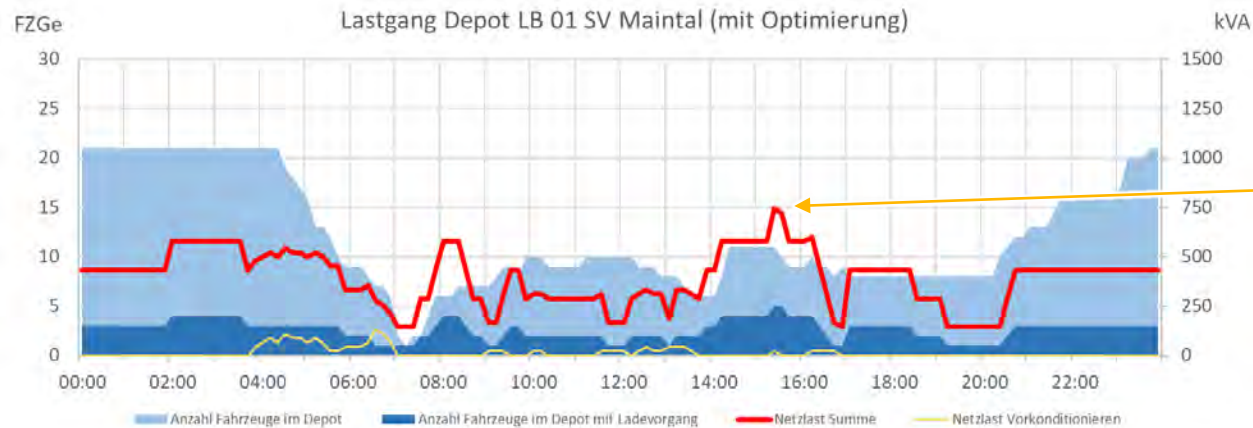
- Betrifft nur DB Regio in den Depots
  - Nidderau (1x)
  - Hanau (1x)
- Sonderfahrten (vermutlich Wochenend-Nachtfahrten) starten und enden sehr spät
  - Unter der Woche vermutlich nicht vorhanden
  - Die Ankunftszeit (frühmorgens Folgetag) erlaubt keine Nachladung, wenn die Abfahrtszeiten Freitag als Prämisse angesetzt sind
- Hier sind in beiden Fällen die Abfahrtszeiten vernachlässigt
  - In der Realität nicht relevant, da Samstags weniger eingesetzte Fahrzeuge
    - Nachladung kann in diesen Sonderfällen am Samstag Vormittag erfolgen
  - Der resultierende Energiebedarf der Umläufe ist berücksichtigt

# Lastgänge SV Maintal LB 01 mit und ohne Optimierung



Lastspitze vor Optimierung

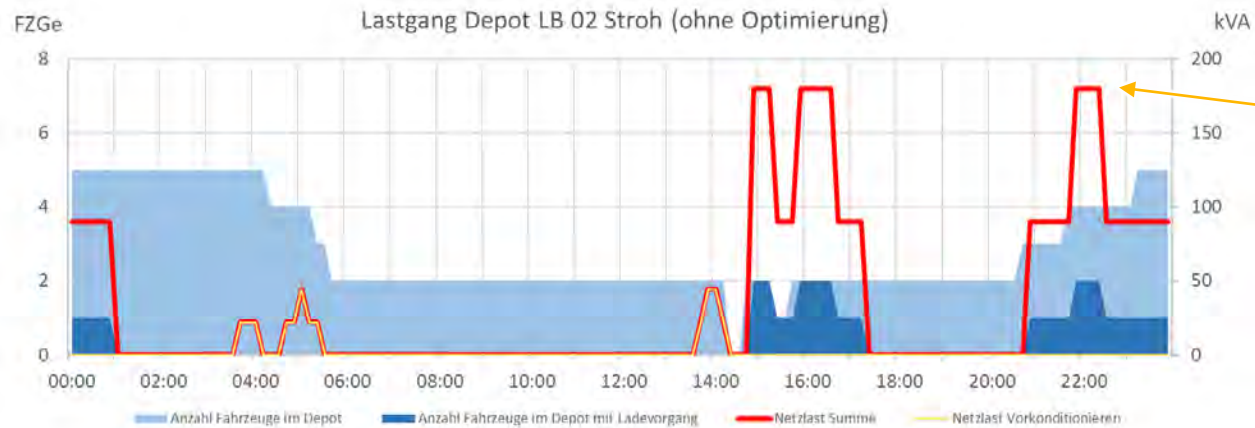
**1.300 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

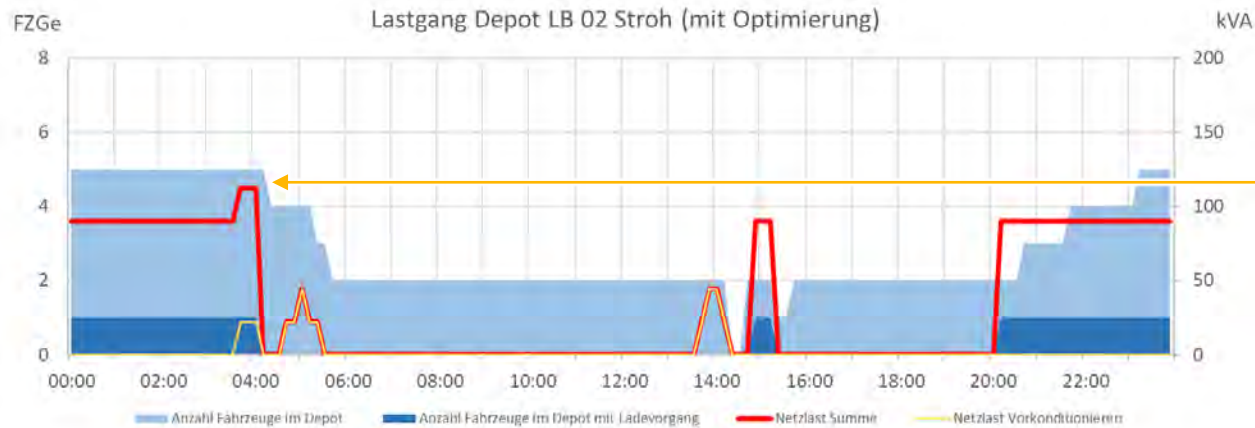
**744 kVA (- 43 %)**

# Lastgänge Stroh LB 02 mit und ohne Optimierung



Lastspitze vor Optimierung

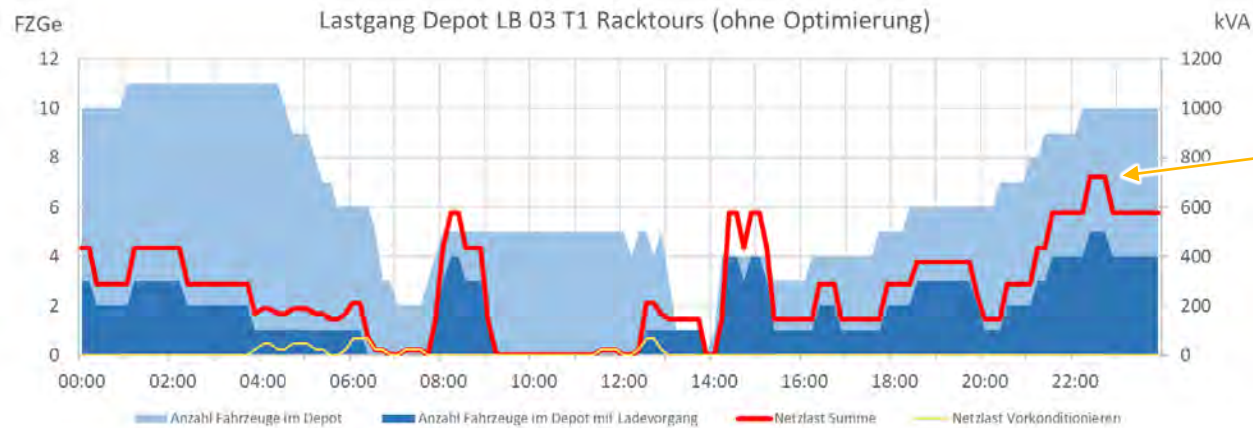
**180 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

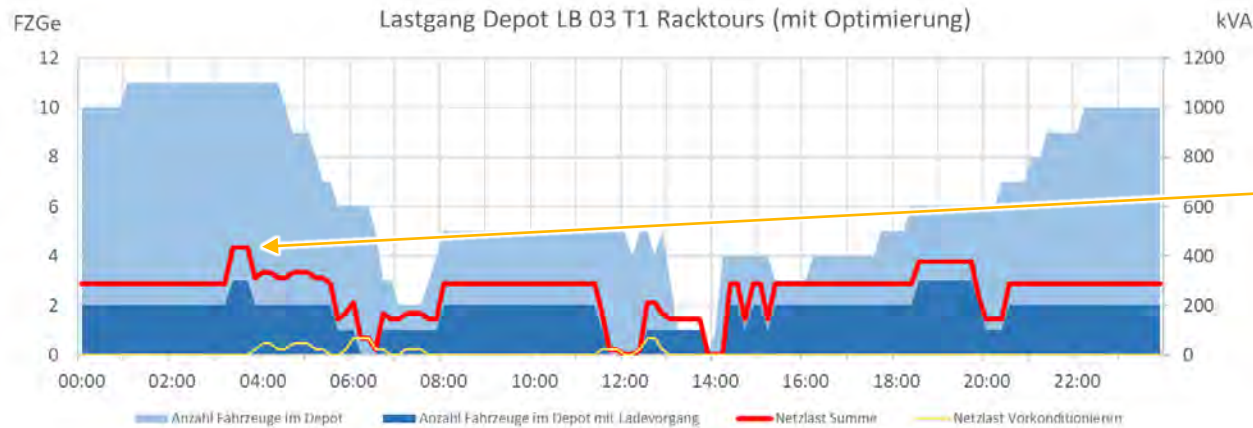
**112 kVA (- 38 %)**

# Lastgänge Racktours LB 03 Teil 1 mit und ohne Optimierung



Lastspitze vor Optimierung

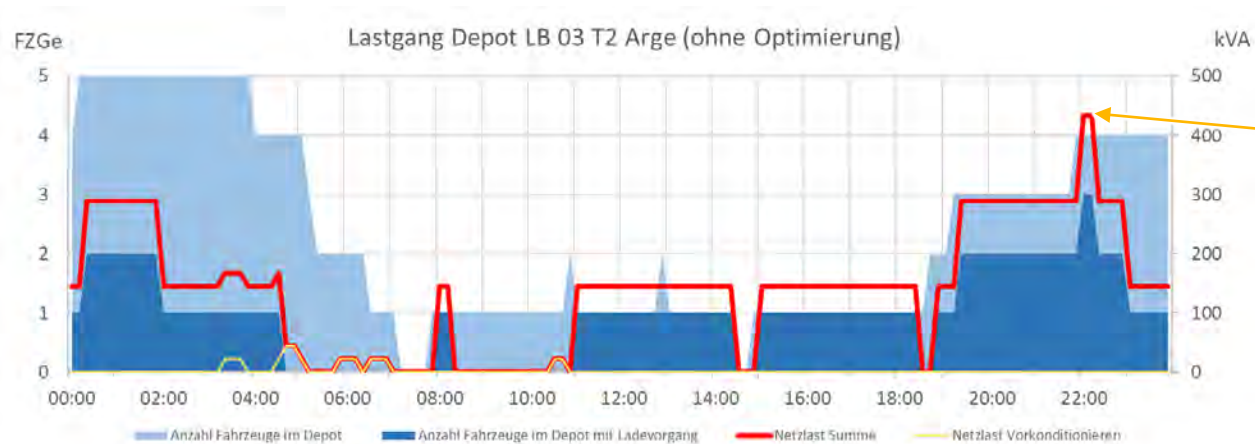
**722 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

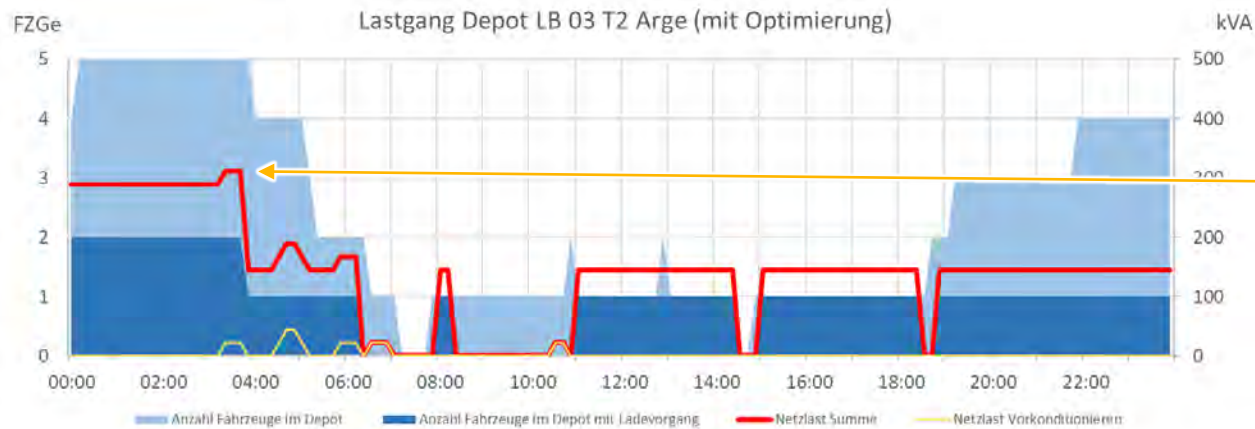
**433 kVA (- 40 %)**

# Lastgänge ARGE LB 03 Teil 2 mit und ohne Optimierung



Lastspitze vor Optimierung

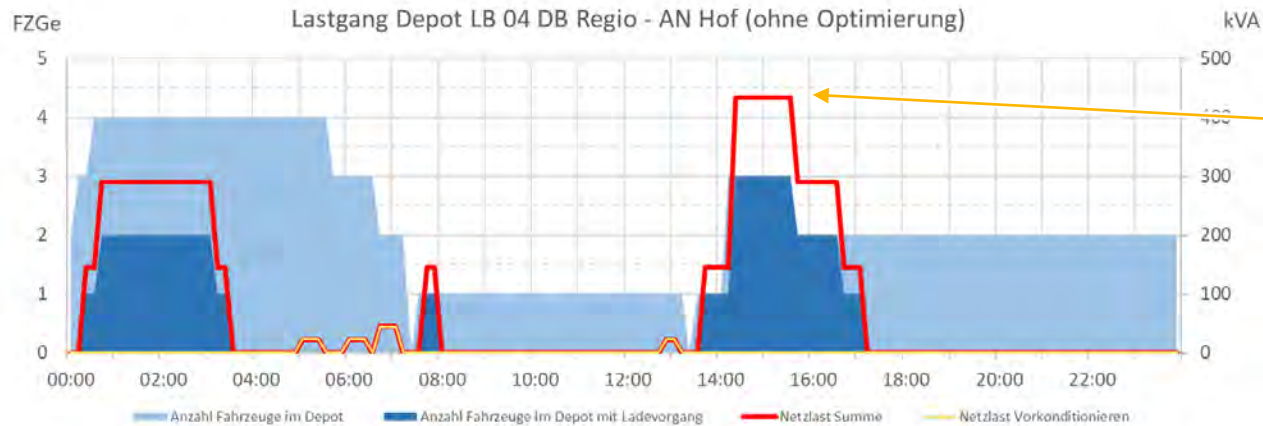
**433 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

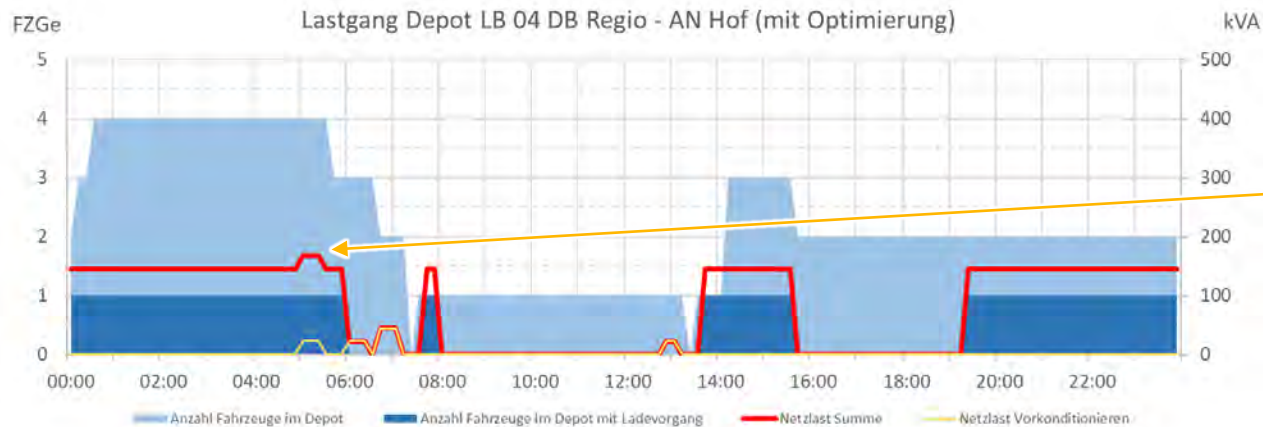
**311 kVA (- 28 %)**

# Lastgänge DB Regio LB 04 (MKK-Nord-Süd) mit und ohne Optimierung – Depot AN Hof



Lastspitze vor Optimierung

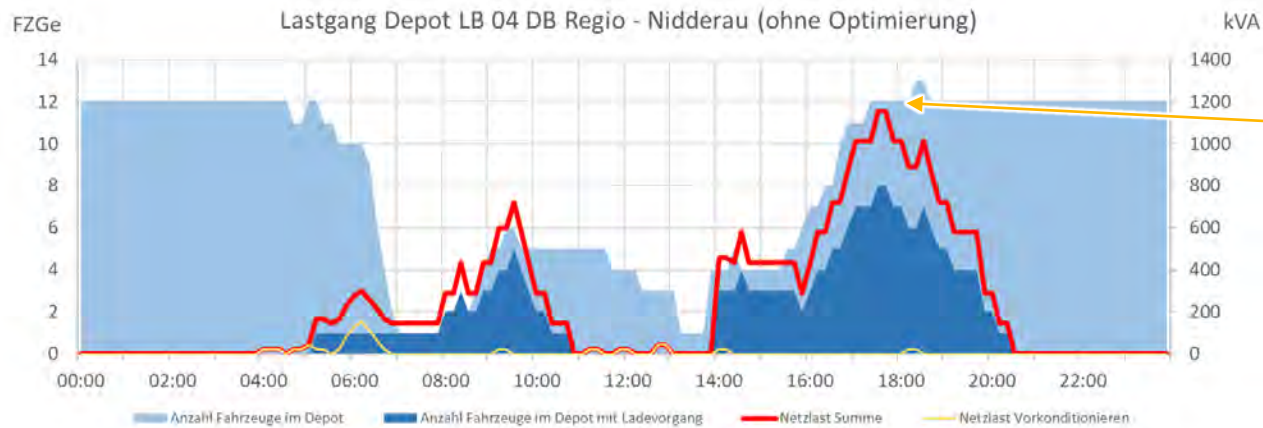
**433 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

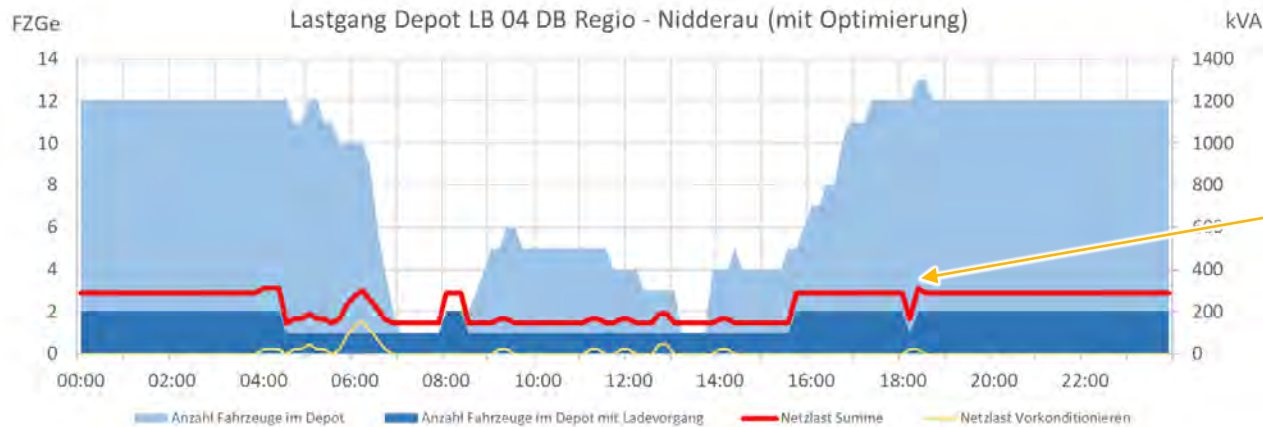
**167 kVA (- 62 %)**

# Lastgänge DB Regio LB 04 (MKK-Nord-Süd) mit und ohne Optimierung – Depot Nidderau



Lastspitze vor Optimierung

**1.156 kVA**

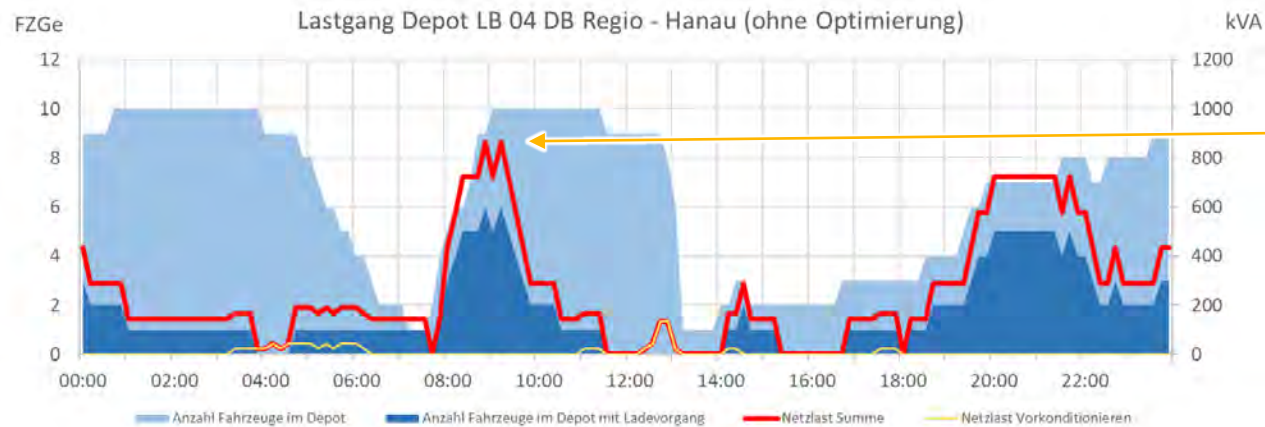


Lastspitze nach Optimierung

**311 kVA (- 73 %)**

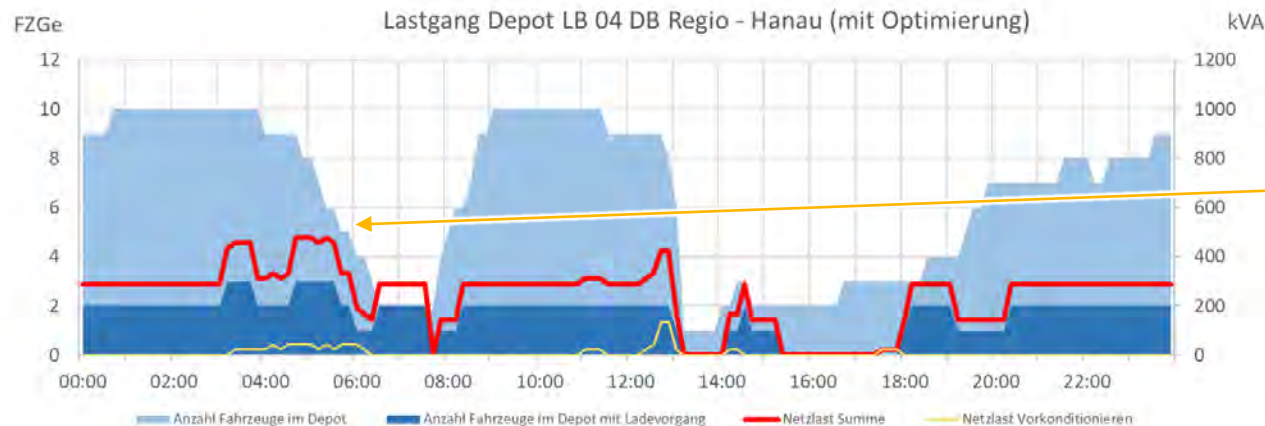


# Lastgänge DB Regio LB 04 (MKK-Nord-Süd) mit und ohne Optimierung – Depot Hanau



Lastspitze vor Optimierung

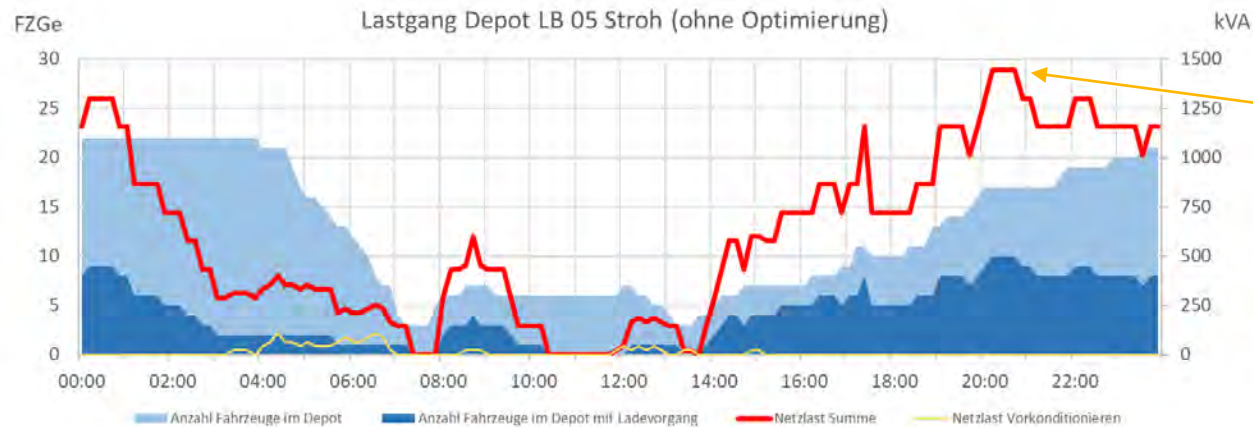
**867 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

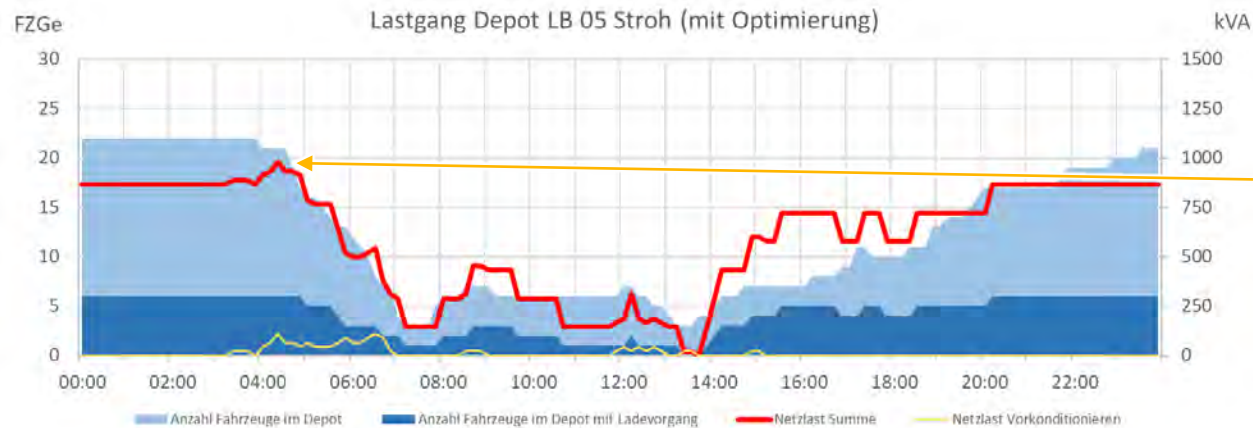
**478 kVA (- 45 %)**

# Lastgänge Stroh LB 05 mit und ohne Optimierung



Lastspitze vor Optimierung

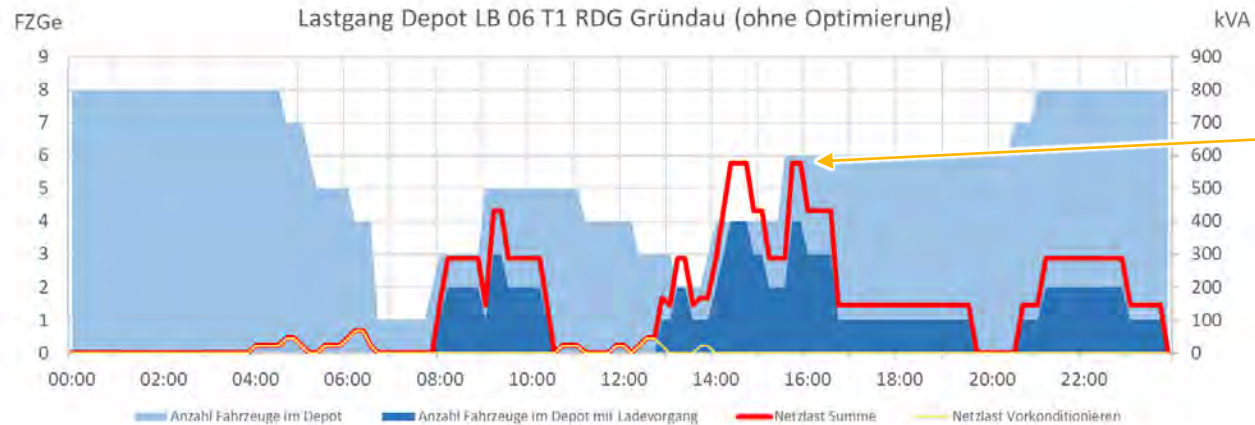
**1.144 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

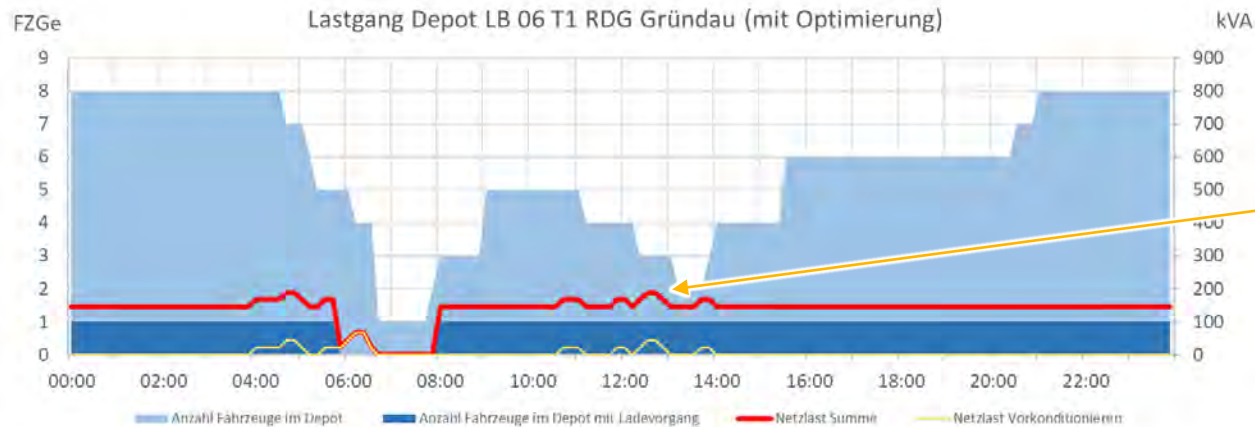
**978 kVA (- 32 %)**

# Lastgänge RDG Gründau LB 06 Teil 1 mit und ohne Optimierung



Lastspitze vor Optimierung

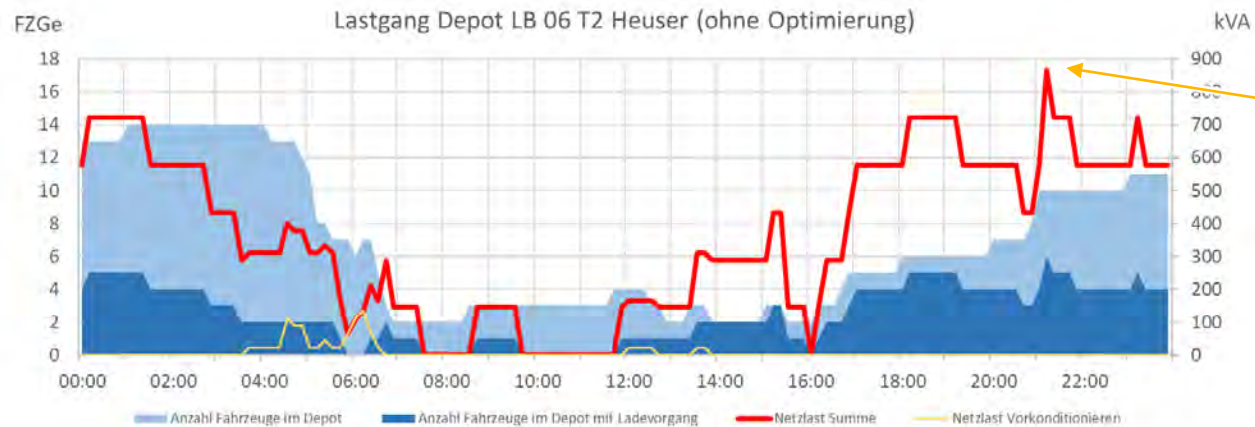
**578 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

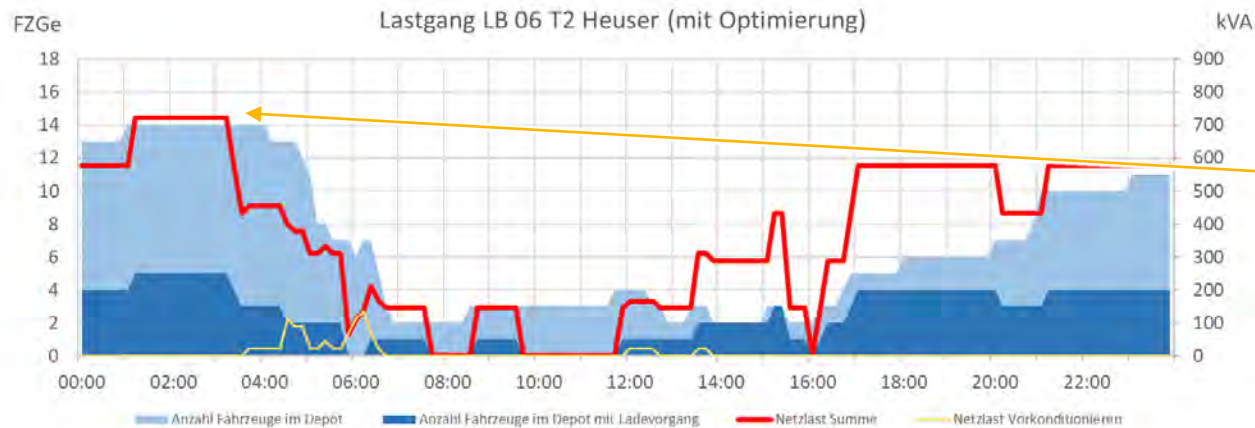
**189 kVA (- 67 %)**

# Lastgänge Heuser LB 06 Teil 2 mit und ohne Optimierung



Lastspitze vor Optimierung

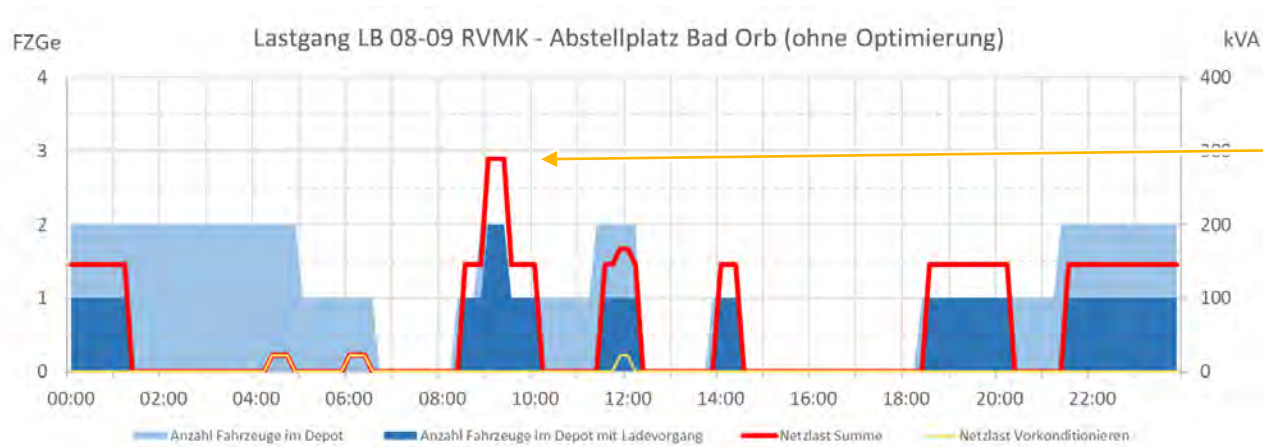
**867 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

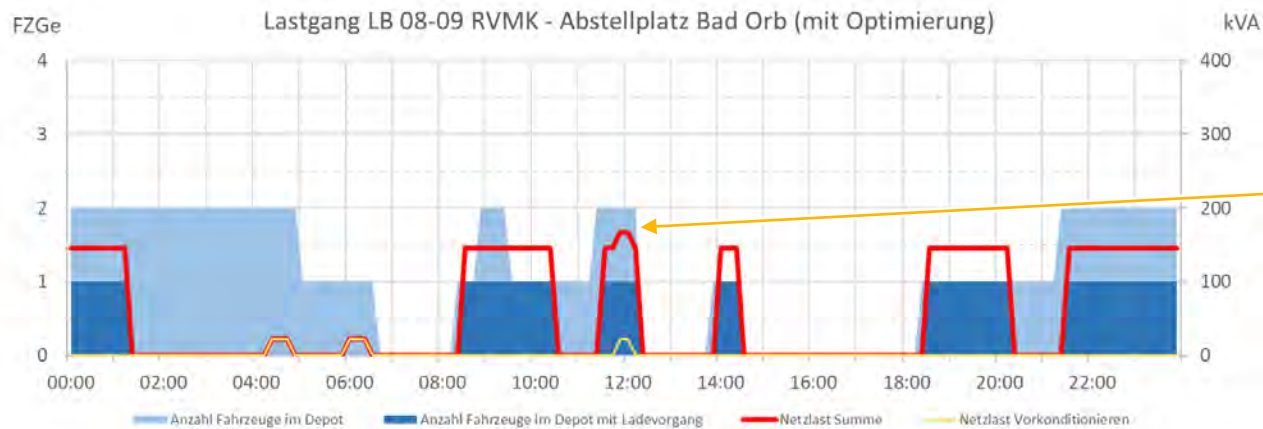
**722 kVA (- 17 %)**

# Lastgänge RVMK LB 08-09 mit und ohne Optimierung – Abstellplatz Bad Orb



Lastspitze vor Optimierung

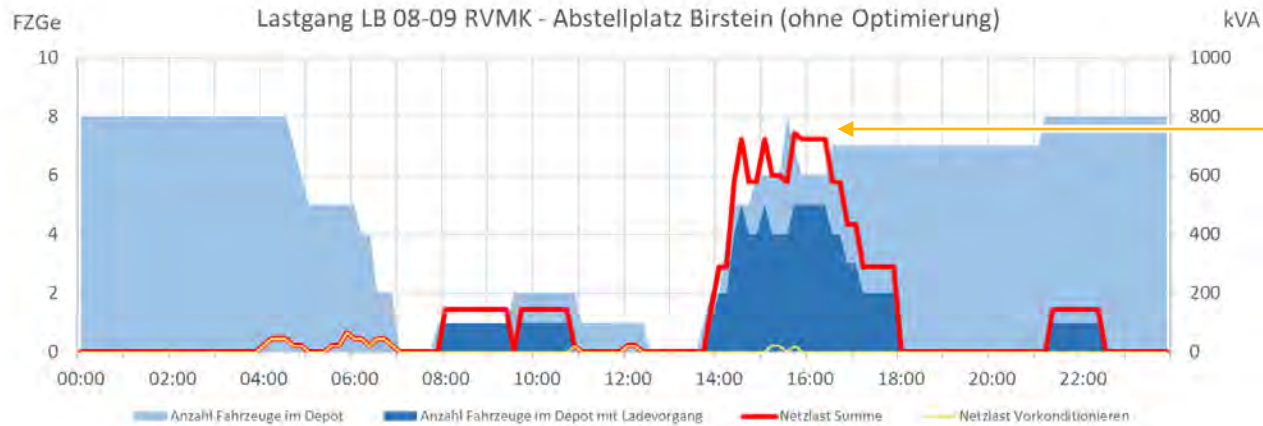
**289 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

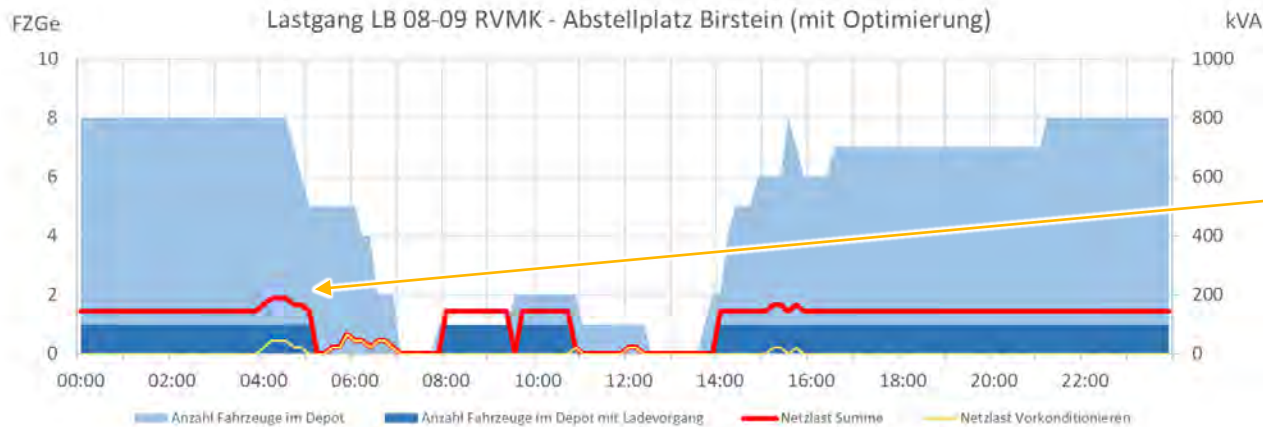
**167 kVA (- 42 %)**

# Lastgänge RVMK LB 08-09 mit und ohne Optimierung – Abstellplatz Birstein



Lastspitze vor Optimierung

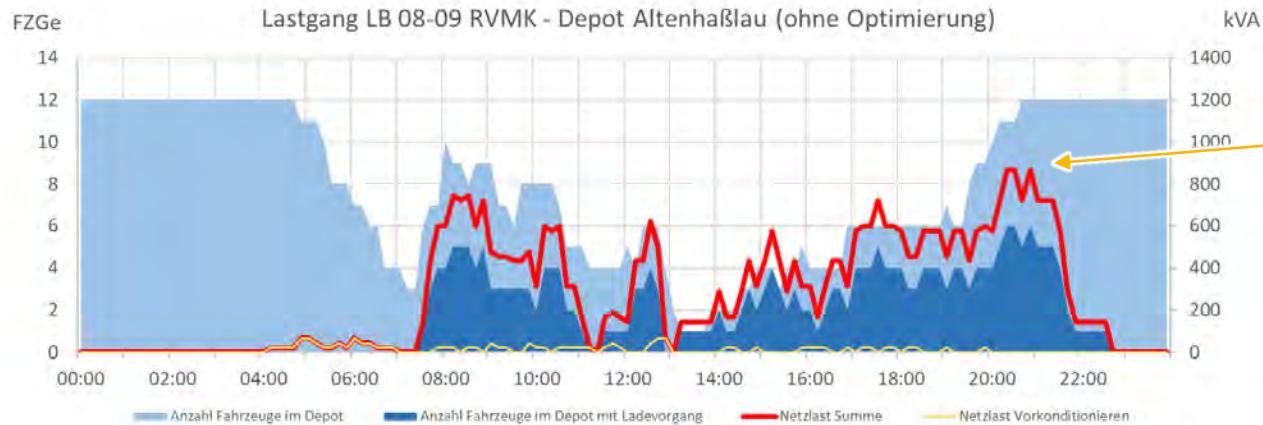
**744 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

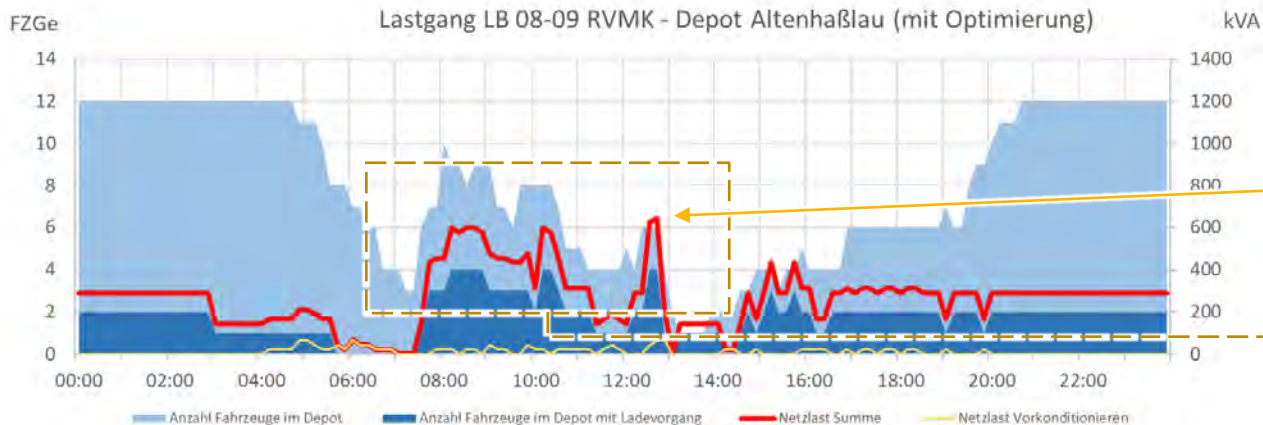
**189 kVA (- 75 %)**

# Lastgänge RVMK LB 08-09 mit und ohne Optimierung – Depot Altenhaßlau



Lastspitze vor Optimierung

**867 kVA**

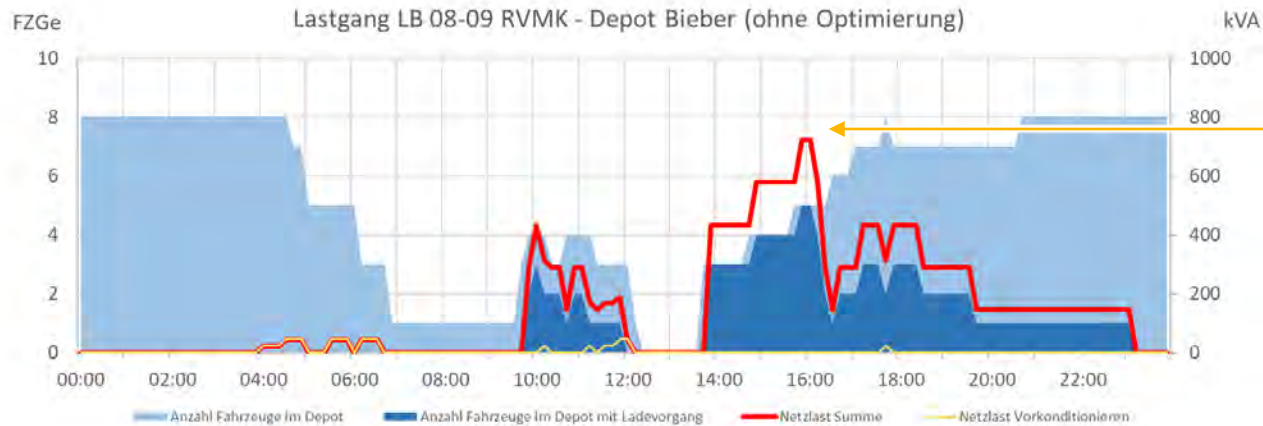


Lastspitze nach Optimierung

**644 kVA (- 26 %)**

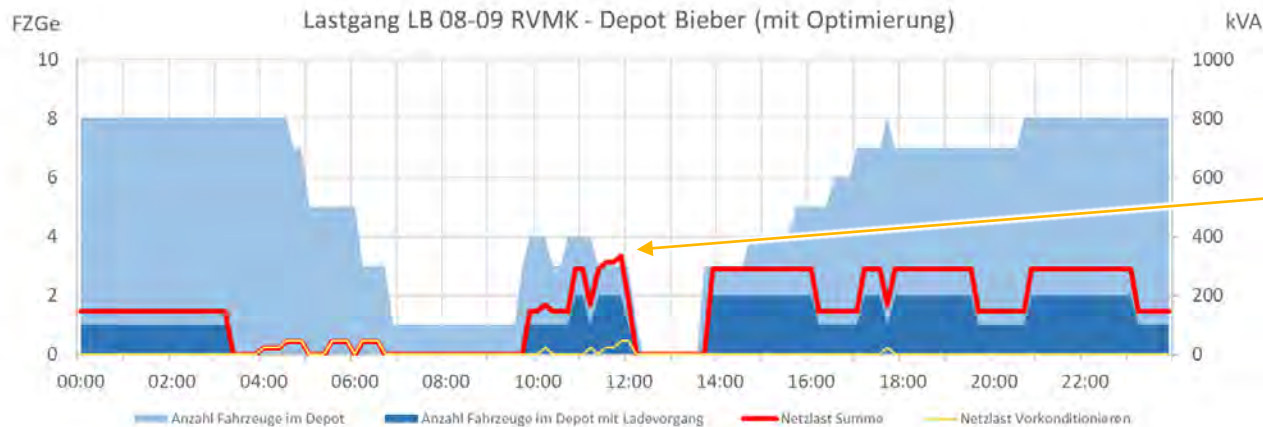
Stationärer Speicher ggf. sinnvoll zur weiteren Reduktion der „Mittagsspitzen“

# Lastgänge RVMK LB 08-09 mit und ohne Optimierung – Depot Bieber



Lastspitze vor Optimierung

**722 kVA**

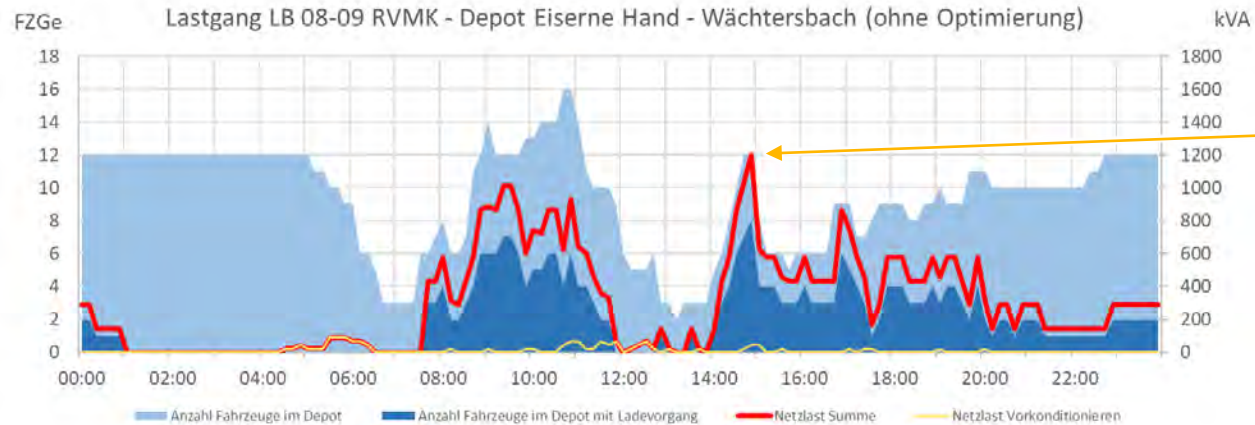


Lastspitze nach Optimierung

**333 kVA (- 54 %)**

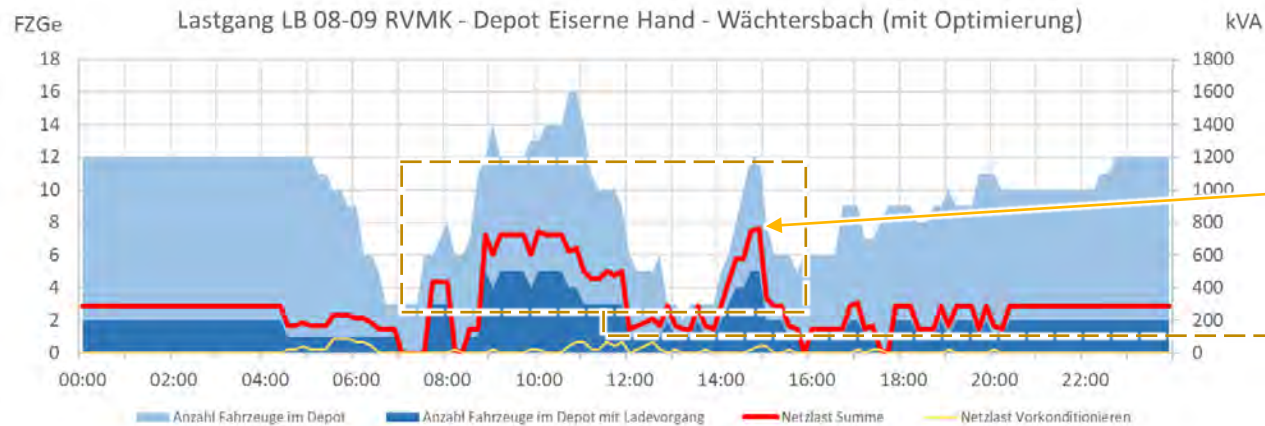


# Lastgänge RVMK LB 08-09 mit und ohne Optimierung – Depot Eiserne Hand (heute Wächtersbach)



Lastspitze vor Optimierung

**1.200 kVA**

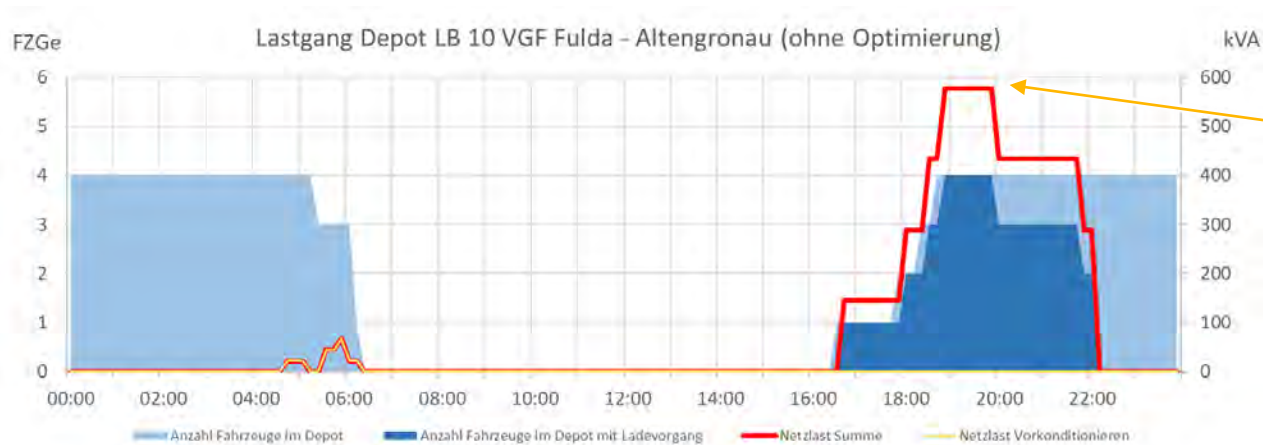


Lastspitze nach Optimierung

**767 kVA (- 36 %)**

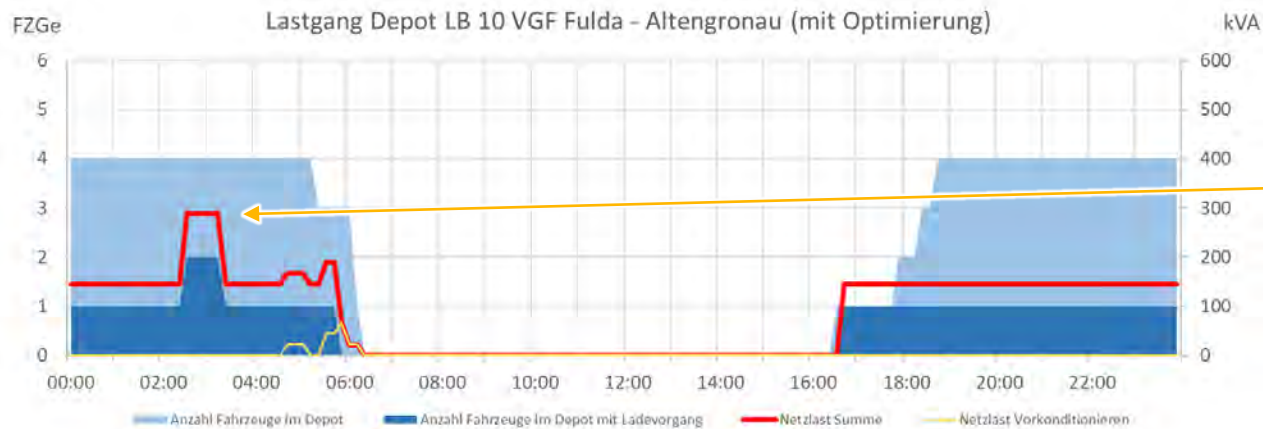
Stationärer Speicher ggf. sinnvoll zur weiteren Reduktion der „Mittagsspitzen“

# Lastgänge VGF Fulda LB 10 mit und ohne Optimierung – Depot Altengronau



Lastspitze vor Optimierung

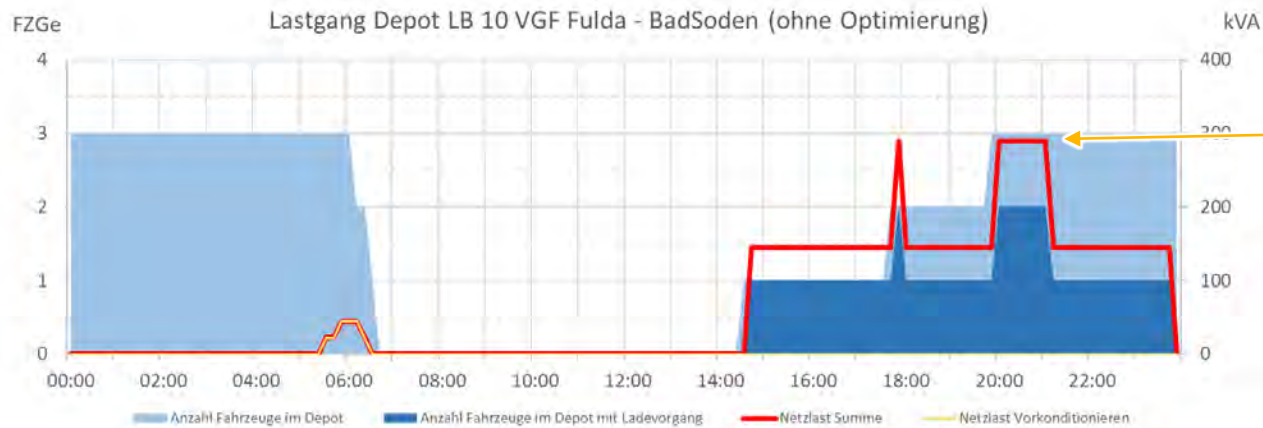
**578 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

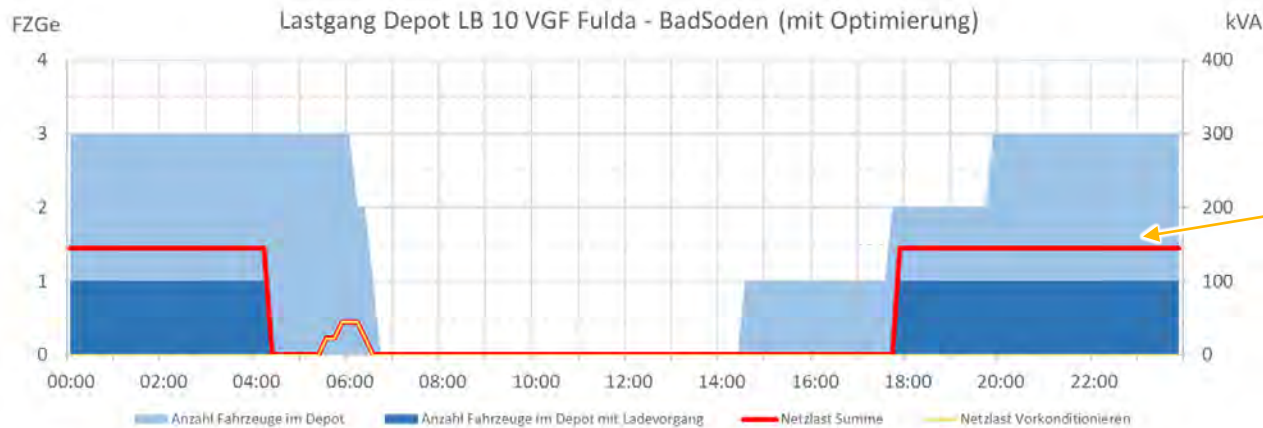
**289 kVA (- 50 %)**

# Lastgänge VGF Fulda LB 10 mit und ohne Optimierung – Depot Bad Soden



Lastspitze vor Optimierung

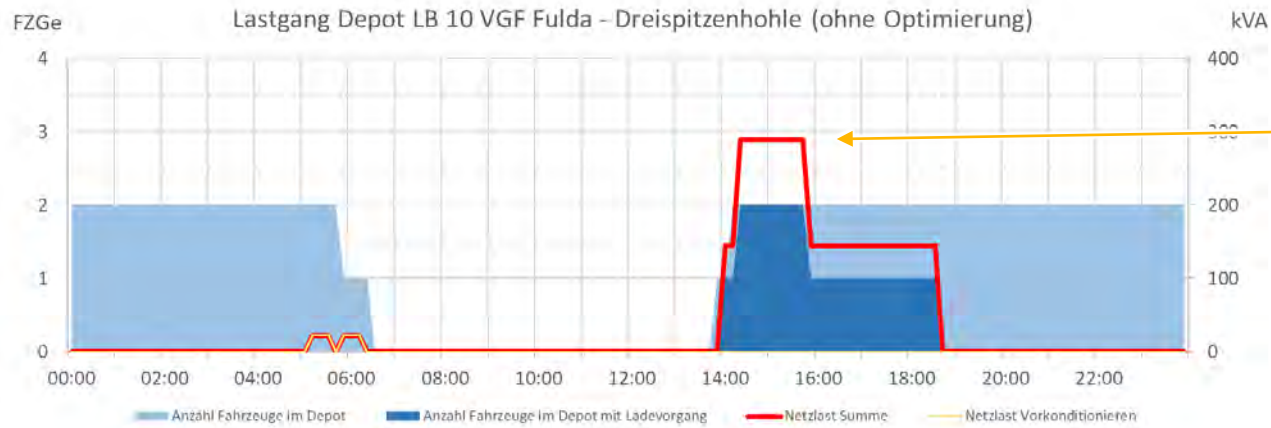
**289 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

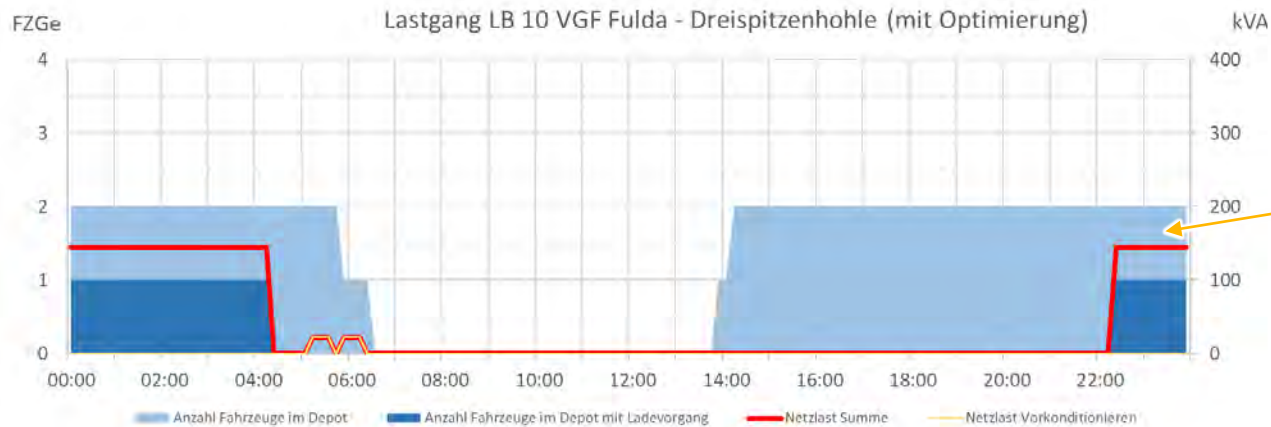
**144 kVA (- 50 %)**

# Lastgänge VGF Fulda LB 10 mit und ohne Optimierung – Depot Dreispitzenhohle



Lastspitze vor Optimierung

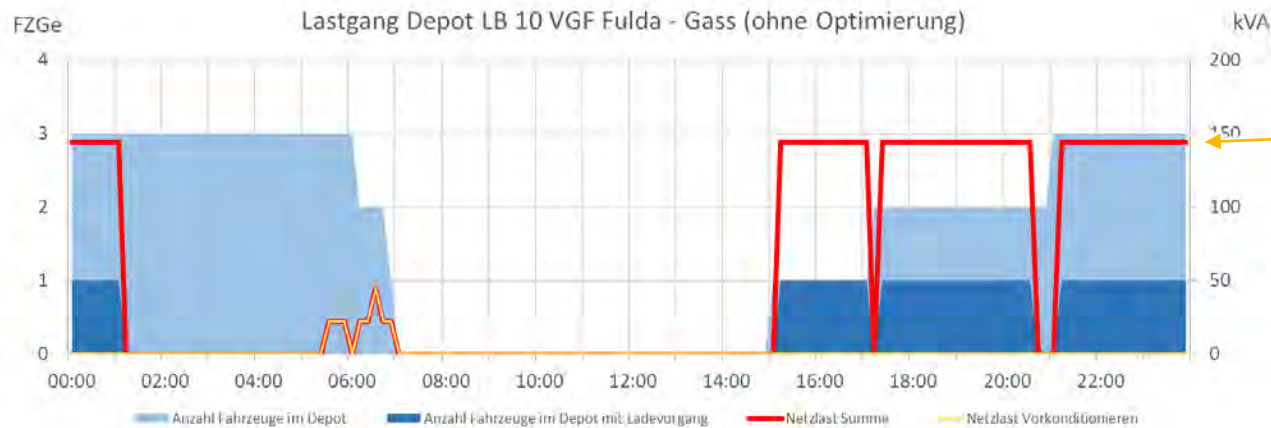
**289 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

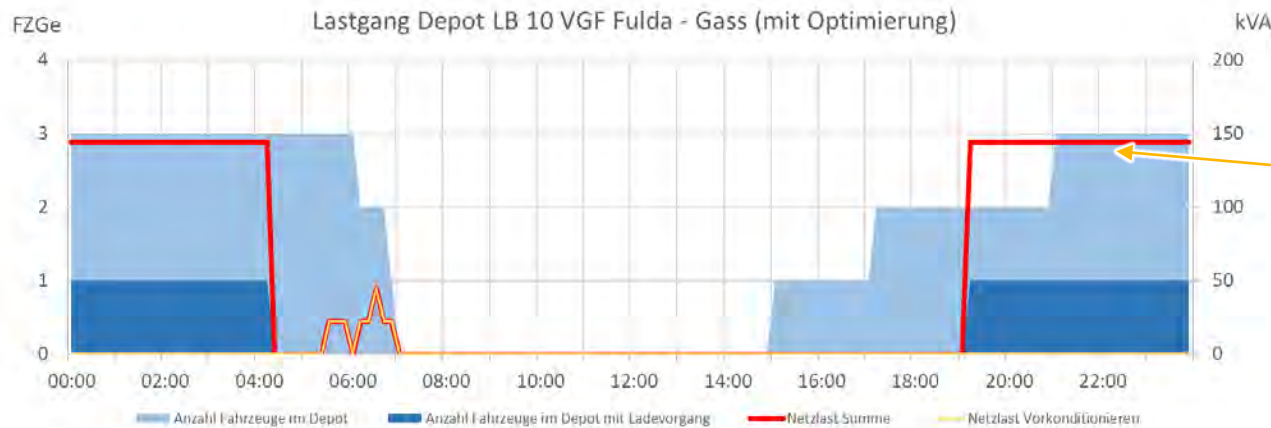
**144 kVA (- 50 %)**

# Lastgänge VGF Fulda LB 10 mit und ohne Optimierung – Depot Gass



Lastspitze vor Optimierung

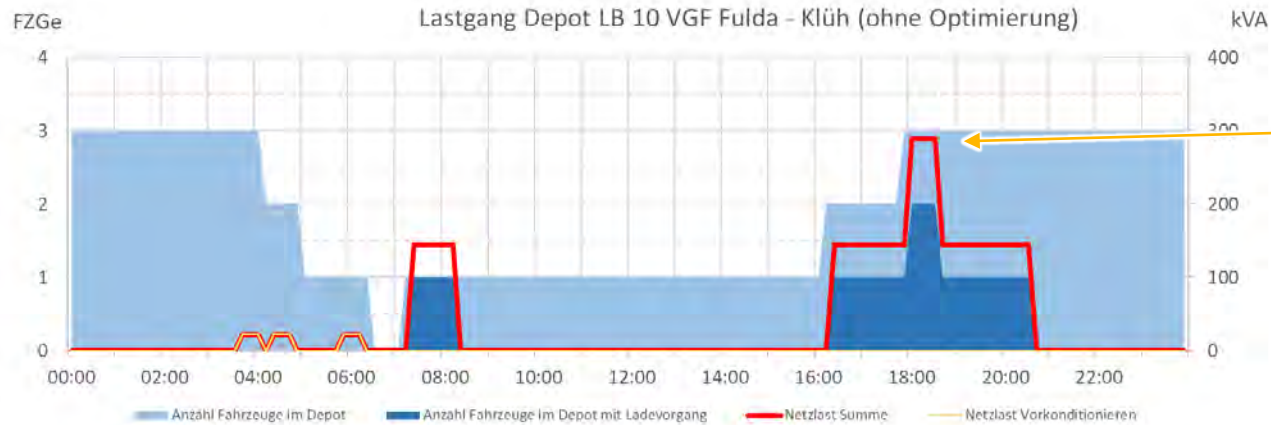
**144 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

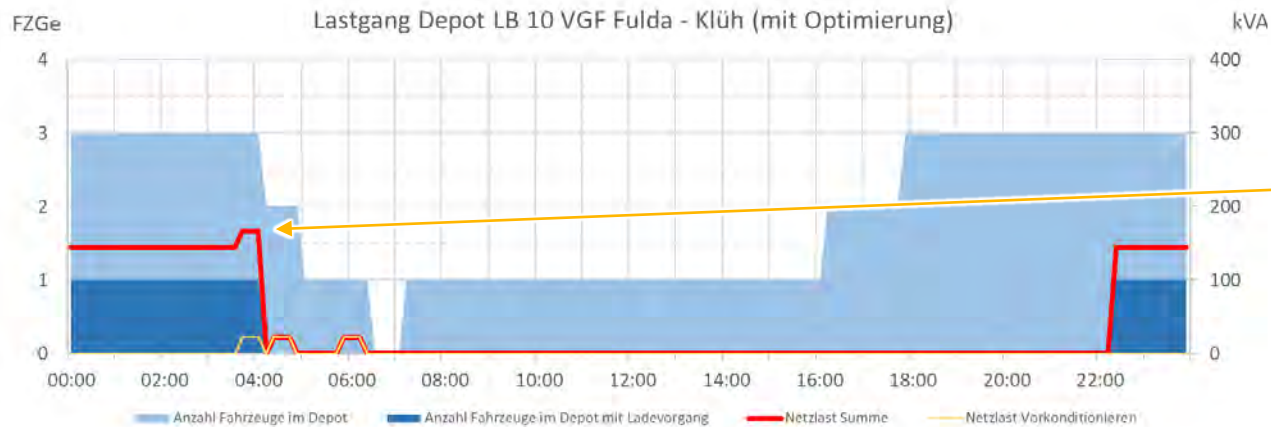
**144 kVA (- 0 %)**

# Lastgänge VGF Fulda LB 10 mit und ohne Optimierung – Depot Klüh



Lastspitze vor Optimierung

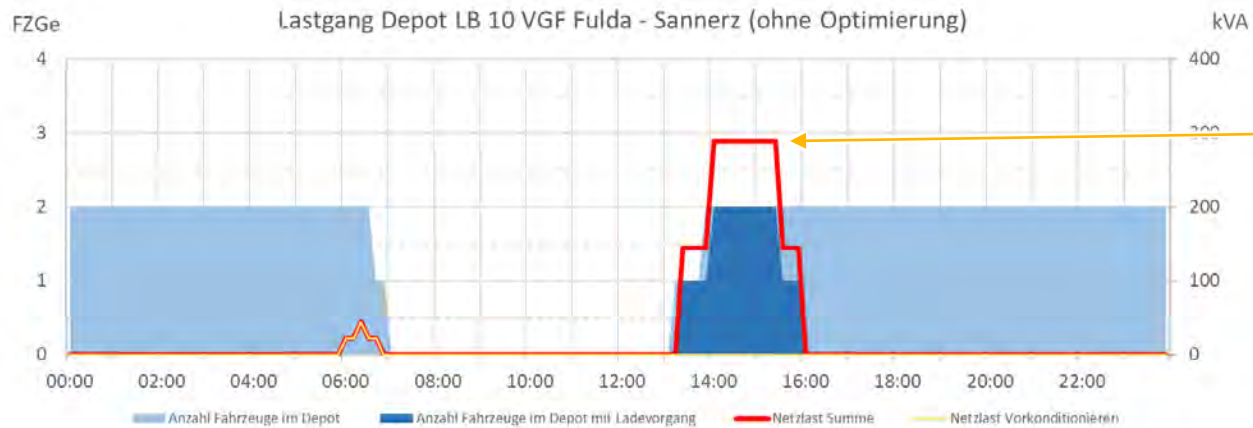
**289 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

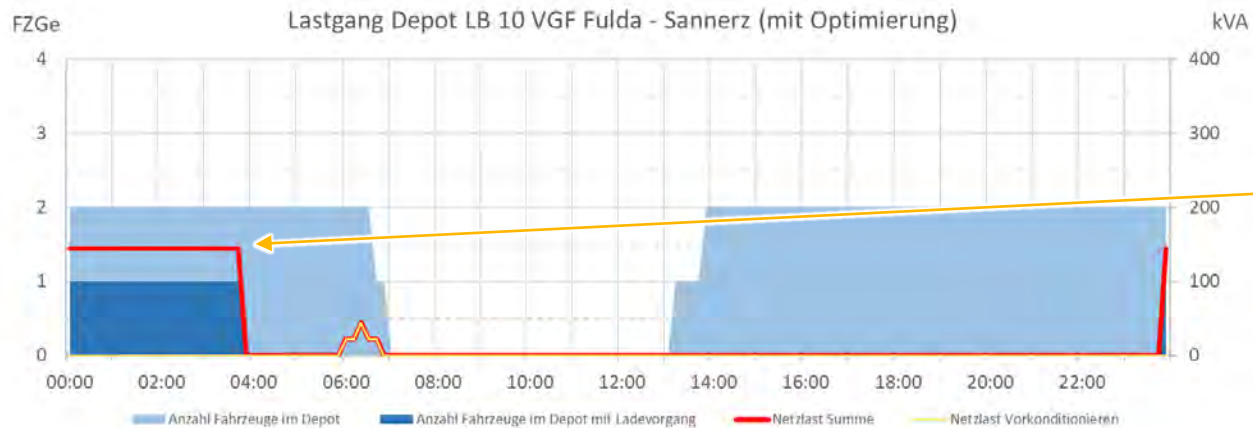
**167 kVA (- 42 %)**

# Lastgänge VGF Fulda LB 10 mit und ohne Optimierung – Depot Sannerz



Lastspitze vor Optimierung

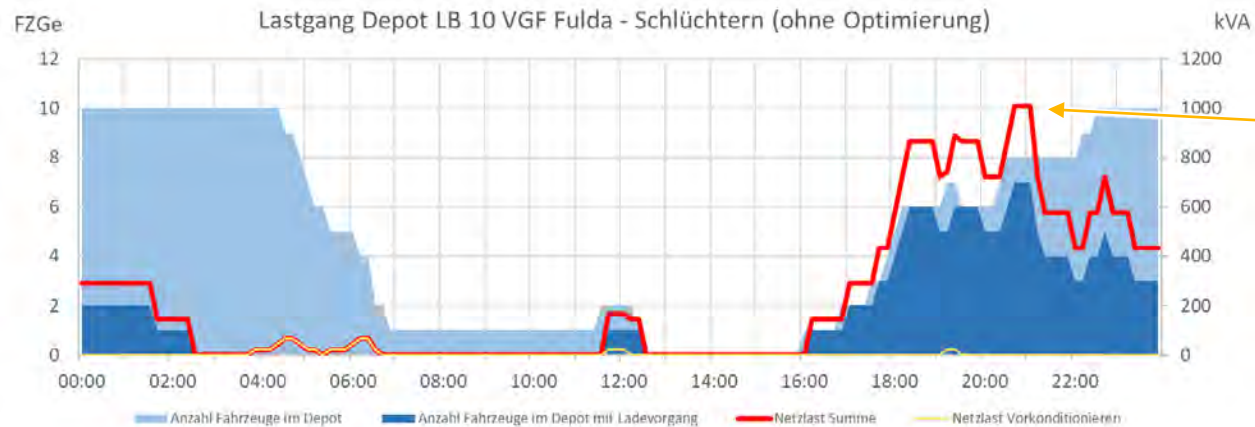
**289 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

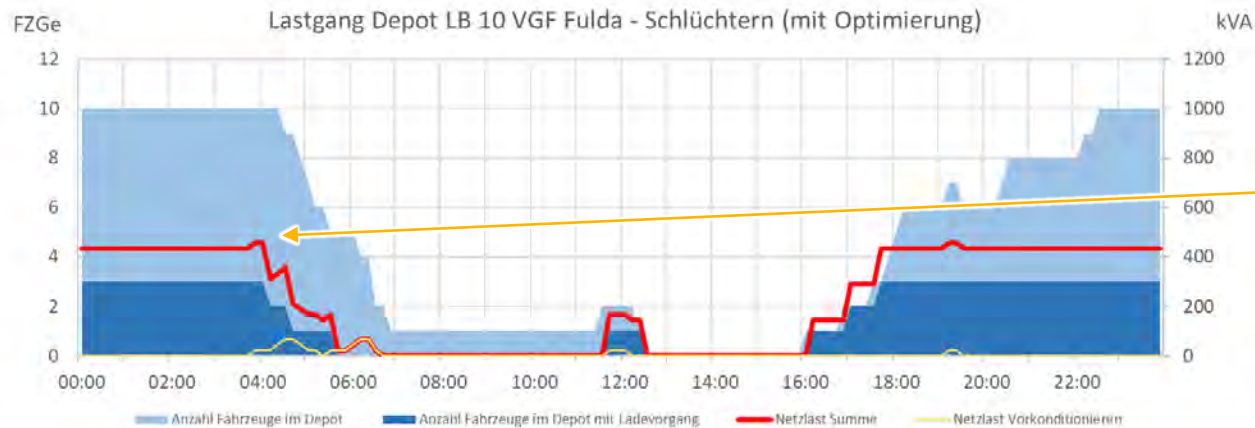
**144 kVA (- 50 %)**

# Lastgänge VGF Fulda LB 10 mit und ohne Optimierung – Depot Schlüchtern



Lastspitze vor Optimierung

**1.011 kVA**

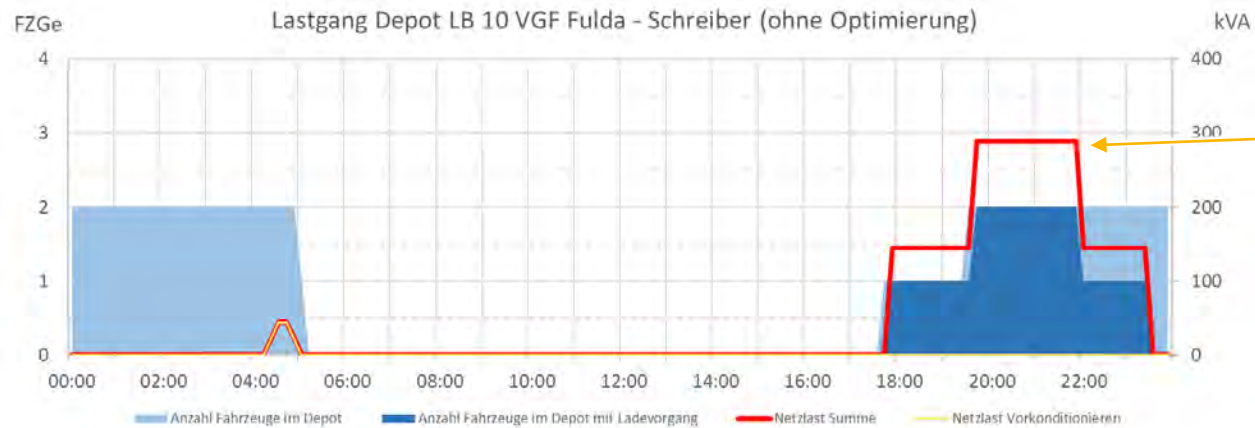


Lastspitze nach Optimierung

**456 kVA (- 55 %)**

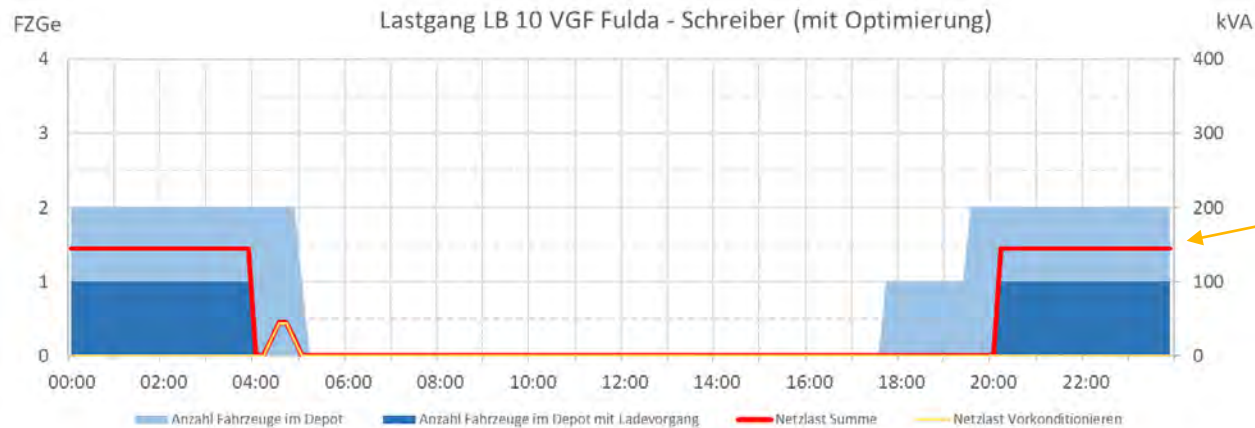


# Lastgänge VGF Fulda LB 10 mit und ohne Optimierung – Depot Schreiber



Lastspitze vor Optimierung

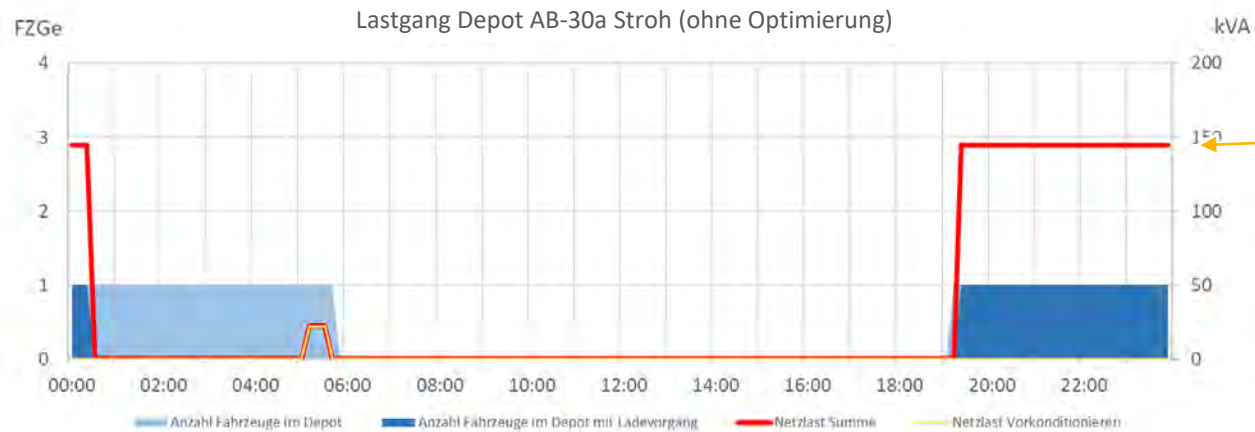
**289 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

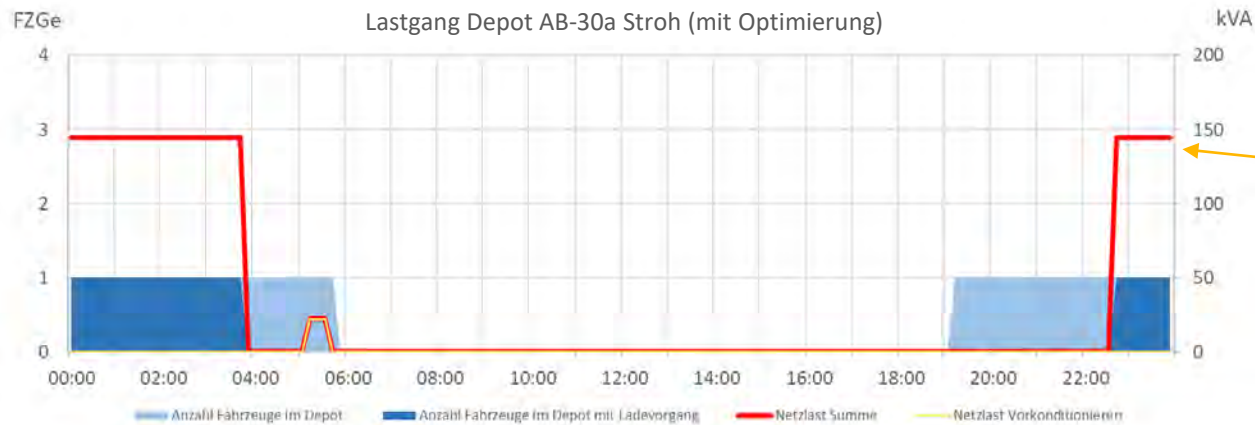
**144 kVA (- 50 %)**

# Lastgänge Stroh AB-30a mit und ohne Optimierung



Lastspitze vor Optimierung

**144 kVA**



Lastspitze nach Optimierung

**144 kVA (- 0 %)**

# Der Netzanschluss ist mit einem zusätzlichen Sicherheitsfaktor auszulegen

Betriebshof	Lastspitze vor Optimierung [kVA]	Lastspitze nach Optimierung [kVA]	Reduktion Lastspitze [%]	Empfehlung Trafo & Netzanschluss [kVA]	Kommentar
LB 01 (SV Maintal)	1.300 kVA	744 kVA	-43%	1.250 kVA	
LB 02 (Stroh)	180 kVA	112 kVA	-38%	300 kVA	
LB 03 T1 (Racktours)	722 kVA	433 kVA	-40%	800 kVA	
LB 03 T2 (Arge)	433 kVA	311 kVA	-28%	630 kVA	
LB 04 MKK-N-S (DB Regio) – Depot Hof	433 kVA	167 kVA	-62%	400 kVA	
LB 04 MKK-N-S (DB Regio) – Depot Nidderau	1.156 kVA	311 kVA	-73%	630 kVA	
LB 04 MKK-N-S (DB Regio) – Depot Hanau	867 kVA	478 kVA	-45%	800 kVA	
LB 05 (Stroh)	1.444 kVA	978 kVA	-32%	1.600 kVA	
LB 06 T1 (RDG Gründau)	578 kVA	189 kVA	-67%	500 kVA	
LB 06 T2 (Heuser)	867 kVA	722 kVA	-17%	1.250 kVA	

*Annahmen: min. 30% Reserve gegenüber Optimierung, max. Trafo-Ausnutzung 80% der Nennleistung*

# Der Netzanschluss ist mit einem zusätzlichen Sicherheitsfaktor auszulegen

Betriebshof	Lastspitze vor Optimierung [kVA]	Lastspitze nach Optimierung [kVA]	Reduktion Lastspitze [%]	Empfehlung Trafo & Netzanschluss [kVA]	Kommentar
LB 08-09 (RVMK) – Abstellplatz Bad Orb	289 kVA	167 kVA	-42%	300 kVA	
LB 08-09 (RVMK) – Abstellplatz Birstein	744 kVA	189 kVA	-75%	500 kVA	
LB 08-09 (RVMK) – Depot Altenhaßlau	867 kVA	644 kVA	-26%	1.250 kVA	Weitere Spitzenreduktion mit stat. Speicher möglich
LB 08-09 (RVMK) – Depot Bieber	722 kVA	333 kVA	-54%	630 kVA	
LB 08-09 (RVMK) – Depot Eiserne Hand	1.200 kVA	767 kVA	-36%	1.250 kVA	Weitere Spitzenreduktion mit stat. Speicher möglich
LB 10 (VGF Fulda) – Depot Altengronau	578 kVA	289 kVA	-50%	630 kVA	
LB 10 (VGF Fulda) – Depot Bad Soden	289 kVA	144 kVA	-50%	300 kVA	
LB 10 (VGF Fulda) – Depot Dreispitzenhohe	289 kVA	144 kVA	-50%	300 kVA	
LB 10 (VGF Fulda) – Depot Gass	144 kVA	144 kVA	0%	300 kVA	Nur 1 Bus am Laden. Lastspitze ggf. reduzierbar
LB 10 (VGF Fulda) – Depot Klüh	289 kVA	167 kVA	-42%	300 kVA	
LB 10 (VGF Fulda) – Depot Sannerz	289 kVA	144 kVA	-50%	300 kVA	
LB 10 (VGF Fulda) – Depot Schlüchtern	1.011 kVA	456 kVA	-55%	800 kVA	
LB 10 (VGF Fulda) – Depot Schreiber	289 kVA	144 kVA	-50%	300 kVA	
AB-30a (Stroh)	144 kVA	144 kVA	0%	300 kVA	Nur 1 Bus am Laden. Lastspitze ggf. reduzierbar

*Annahmen: min. 30% Reserve gegenüber Optimierung, max. Trafo-Ausnutzung 80% der Nennleistung*

# Energiemengen



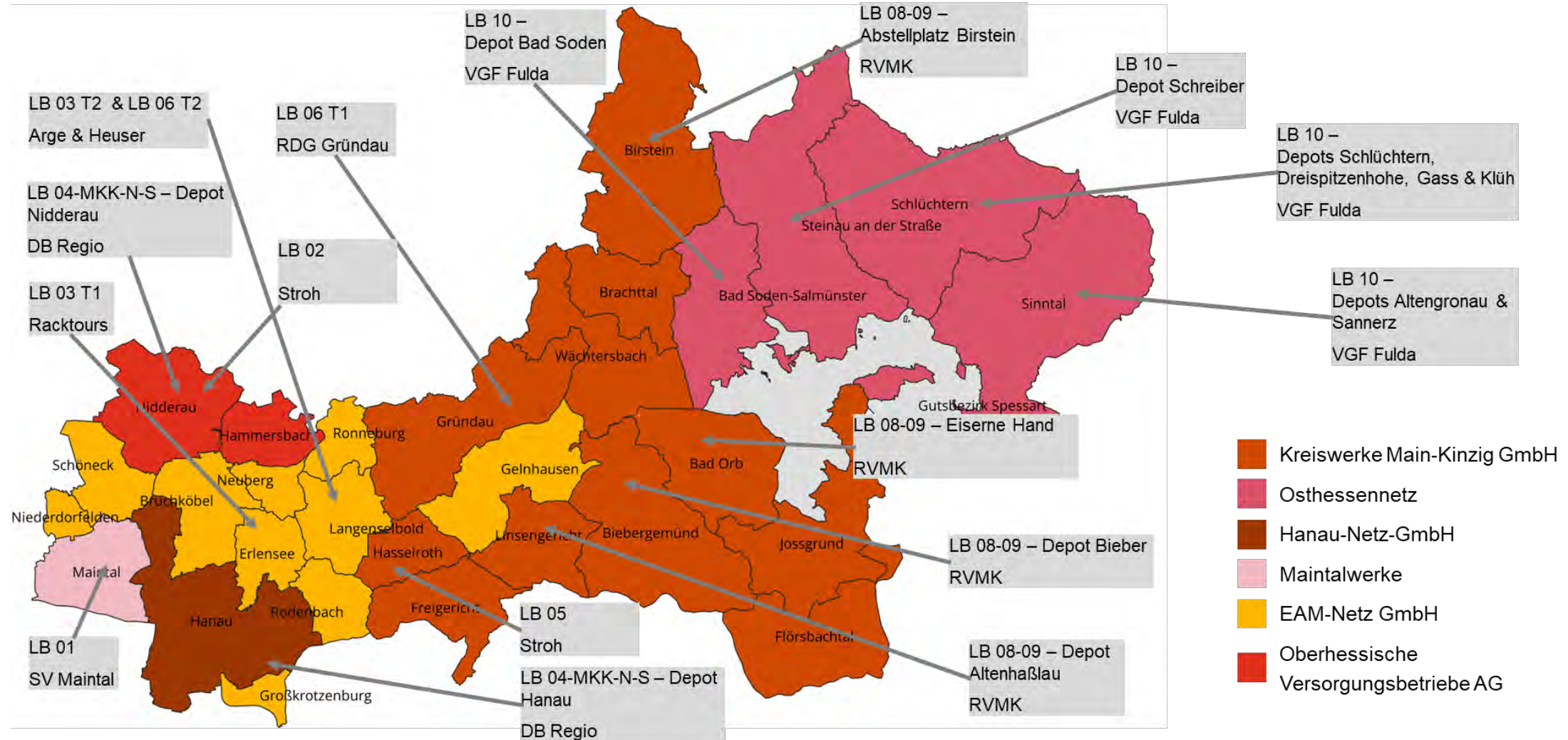
# Energiemengen bei Flottenumstellung in einer Technologiealternative

Linienbündel	Energiemengen pro Linienbündel		Energiemengen pro Einzeldepot		
	Strommenge p.a.	H <sub>2</sub> Menge p.a.	Einzeldepot	Strommenge p.a.	H <sub>2</sub> Menge p.a.
LB 01 (SV Maintal)	2.170 MWh	139,6 t H <sub>2</sub>			
LB 02 (Stroh)	177 MWh	11,4 t H <sub>2</sub>			
LB 03 T1 (Racktours)	1.194 MWh	77,1 t H <sub>2</sub>			
LB 03 T2 (Arge)	679 MWh	46,8 t H <sub>2</sub>			
LB 04 MKK-N-S (DB Regio)	2.638 MWh	169,5 t H <sub>2</sub>	Depot Hof	397 MWh	25,5 t H <sub>2</sub>
			Depot Nidderau	1.072 MWh	68,9 t H <sub>2</sub>
			Depot Hanau	1.154 MWh	74,1 t H <sub>2</sub>
			Depot Bündigen	15 MWh	0,9 t H <sub>2</sub>
LB 05 (Stroh)	2.788 MWh	180,6 t H <sub>2</sub>			
LB 06 T1 (RDG Gründau)	640 MWh	41,3 t H <sub>2</sub>			
LB 06 T2 (Heuser)	1.930 MWh	124,6 t H <sub>2</sub>			
AB-30a (Stroh)	159 MWh	10,3 t H <sub>2</sub>			

# Energiemengen bei Flottenumstellung in einer Technologiealternative

Linienbündel	Energiemengen pro Linienbündel		Energiemengen pro Einzeldepot		
	Strommenge p.a.	H <sub>2</sub> Menge p.a.	Einzeldepot	Strommenge p.a.	H <sub>2</sub> Menge p.a.
LB 08-09 (RVMK) – Regionalbusverkehr	3.183 MWh	210,4 t H <sub>2</sub>	Abstellplatz Bad Orb	245 MWh	16,2 t H <sub>2</sub>
			Abstellplatz Birstein	671 MWh	44,4 t H <sub>2</sub>
			Depot Altenhaßlau	467 MWh	30,9 t H <sub>2</sub>
			Depot Bieber	819 MWh	53,9 t H <sub>2</sub>
			Depot Eiserne Hand	981 MWh	65,0 t H <sub>2</sub>
LB 08-09 (RVMK) – Stadtbusverkehr	428 MWh	N.A.			
LB 10 (VGF Fulda)	2.521 MWh	162,6 t H <sub>2</sub>	Depot Altengronau	371 MWh	23,9 t H <sub>2</sub>
			Depot Bad Soden	243 MWh	15,7 t H <sub>2</sub>
			Depot Dreispitzenhohe	148 MWh	9,5 t H <sub>2</sub>
			Depot Gass	213 MWh	13,8 t H <sub>2</sub>
			Depot Klüh	165 MWh	10,6 t H <sub>2</sub>
			Depot Sannerz	98 MWh	6,3 t H <sub>2</sub>
			Depot Schlüchtern	1.100 MWh	70,9 t H <sub>2</sub>
			Depot Schreiber	183 MWh	11,8 t H <sub>2</sub>

# Übersicht der Stromnetzbetreiber und ÖPNV-Linienbündel





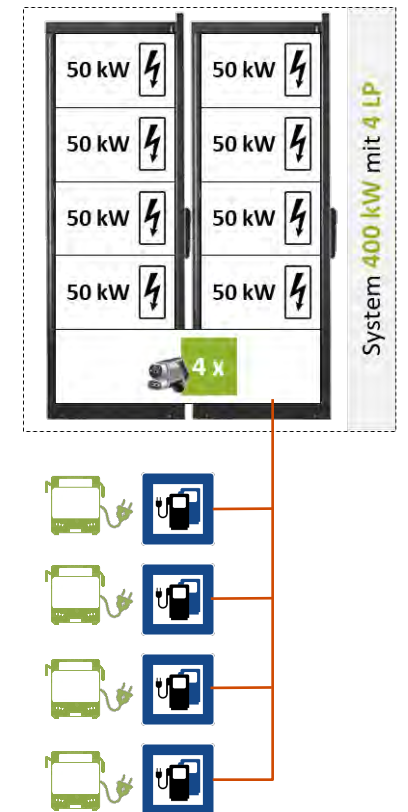
# Ladeinfrastruktur Grobkonzept



# Auslegungsbasis für alle folgenden Systemkonzepte (sofern nicht anders angegeben)

- Es werden grundsätzlich Matrix-Ladesysteme angenommen
  - Matrix-Ladesysteme bestehen intern aus kleinen Leistungsmodulen, die beliebig an alle angebundene Ladeschnittstellen angebunden werden können (softwaregesteuert, nicht manuell)
  - Die installierte Systemleistung kann sehr flexibel auf alle Ladepunkte verteilt werden
- Systemaufbau
  - Aufgebaut aus individuellen Leistungsmodulen (empfohlen  $\leq 50$  kW, besser 25 kW)
  - Jede Systeminstanz kann mit bis zu 600 kW ausgestattet werden (z.B. 12 x 50 kW Module)
  - Module arbeiten kooperativ im Verbund und können Ihre Ladeleistungen „summieren“ und den Ladepunkten zur Verfügung stellen
- Ladeschnittstellen
  - Angenommen werden zwei Varianten: Entweder mit 4 oder mit 8 Ladepunkten (LP) pro Instanz
  - Grundsätzlich können beliebige Ladeschnittstellen angebunden werden
  - Hier wird vom CCS Typ 2 Steckkontakt ausgegangen

## Beispieldarstellung



# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 01 (heute SV Maintal)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	744 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	5
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	22 SL 3 GL
Empfohlener MS/NS Transformator	1.250 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	3 Systeme
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 200 kW Anzahl Ladepunkte = 4

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 02 (heute Stroh)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	80 kW (Kleinbus)
Lastspitze nach Optimierung	122 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	1
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	6
Empfohlener MS/NS Transformator	300 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp KB	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 200 kW Anzahl Ladepunkte = 8

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 03-Teil 1 (heute Racktours)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW & 80 kW (Kleinbus)
Lastspitze nach Optimierung	433 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	3 x 130 kW
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	11 x SL 2 x GL 2 x KB
Empfohlener MS/NS Transformator	800 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für alle Fahrzeugtypen	
Anzahl	2 Systeme
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 03-Teil 2 (heute Arge)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	311 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	2
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	6 x SL
Empfohlener MS/NS Transformator	630 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 600 kW Anzahl Ladepunkte = 8

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 04 Depot 1 (heute DB Regio Depot Hof)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	167 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	1
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	4 x SL 2 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	400 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL und GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8

Hinweis: Die Reserveflotte wurde im Rahmen der Potenzialanalyse für das gesamte Linienbündel berechnet. Da hier eine Betrachtung pro Depot erfolgen muss, wird die Reserveflotte nach derselben Vorschrift hier pro Depot berechnet.  
 ➔ Es ist möglich, dass die tatsächliche Reserveflotte geringfügig kleiner ist, als hier angenommen. Dies hat auf das Systemkonzept keinen Einfluss.

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 04 Depot 2 (heute DB Regio Depot Nidderau)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	311 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	2
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	7 x SL 6 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	630 kVA

Hinweis: Die Reserveflotte wurde im Rahmen der Potenzialanalyse für das gesamte Linienbündel berechnet. Da hier eine Betrachtung pro Depot erfolgen muss, wird die Reserveflotte nach derselben Vorschrift hier pro Depot berechnet.  
 ➔ Es ist möglich, dass die tatsächliche Reserveflotte geringfügig kleiner ist, als hier angenommen. Dies hat auf das Systemkonzept keinen Einfluss.

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8



# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 04 Depot 3 (heute DB Regio Depot Hanau)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	478 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	3
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	10 x SL 6 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	800 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL+GL	
Anzahl	2 Systeme
Pro System	Systemleistung = je 400 kW Anzahl Ladepunkte = je 8

Hinweis: Die Reserveflotte wurde im Rahmen der Potenzialanalyse für das gesamte Linienbündel berechnet. Da hier eine Betrachtung pro Depot erfolgen muss, wird die Reserveflotte nach derselben Vorschrift hier pro Depot berechnet.  
 ➔ Es ist möglich, dass die tatsächliche Reserveflotte geringfügig kleiner ist, als hier angenommen. Dies hat auf das Systemkonzept keinen Einfluss.

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 05 (heute Stroh)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	978 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	6
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	20 x SL 6 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	1.600 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	2 Systeme
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 200 kW Anzahl Ladepunkte = 4
3. Variante für Fahrzeugtyp GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 06-Teil 1 (heute RDG Gründau)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	189 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	1
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	9 x SL 2 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	500 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp SL und GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 200 kW Anzahl Ladepunkte = 4

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 06-Teil 2 (heute Heuser)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	722 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	5
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	15 x SL 2 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	1.250 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	2 Systeme
Pro System	Systemleistung = 600 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 200 kW Anzahl Ladepunkte = 4 (oder 2)

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 10 (heute VGF Fulda – Depot Schlüchtern)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	456 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	3
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	12
Empfohlener MS/NS Transformator	800 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 600 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 200 kW Anzahl Ladepunkte = 4

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 10 (heute VGF Fulda – Depot Altengronau)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	289 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	2
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	5
Empfohlener MS/NS Transformator	630 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 600 kW Anzahl Ladepunkte = 8

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 10 (heute VGF Fulda – diverse Depots)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung	144 - 167 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	1
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	3-4 x SL
Empfohlener MS/NS Transformator	300 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 300 kW Anzahl Ladepunkte = 4

Hinweis: Diverse Einzeldepots aus LB 10 weisen dieselben Auslegungsparameter auf. Für alle kann dasselbe Ladeinfrastrukturkonzept angesetzt werden.

Dies betrifft die heutigen Depots:

- Depot Bad Soden
- Depot Dreispitzenhohe
- Depot Gass
- Depot Klüh
- Depot Sannerz
- Depot Schreiber

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 08 & 09 (heute RVMK Abstellplatz Bad Orb)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung (ohne stat. Speicher)	167 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	1
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	3 x SL
Empfohlener MS/NS Transformator	300 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 300 kW Anzahl Ladepunkte = 4



# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 08 & 09 (heute RVMK Abstellplatz Birstein)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung (ohne stat. Speicher)	189 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	6
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	7 x SL 3 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	500 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 200 kW Anzahl Ladepunkte = 4

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 08 & 09 (heute RVMK Depot Altenhaßlau)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung (ohne stat. Speicher)	644 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	6
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	6 x SL 2 x GL 7 x MI
Empfohlener MS/NS Transformator	1.250 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 600 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 4
3. Variante für Fahrzeugtyp MI	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 600 kW Anzahl Ladepunkte = 8

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 08 & 09 (heute RVMK Depot Bieber)

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung (ohne stat. Speicher)	333 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	3
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	4 x SL 6 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	630 kVA

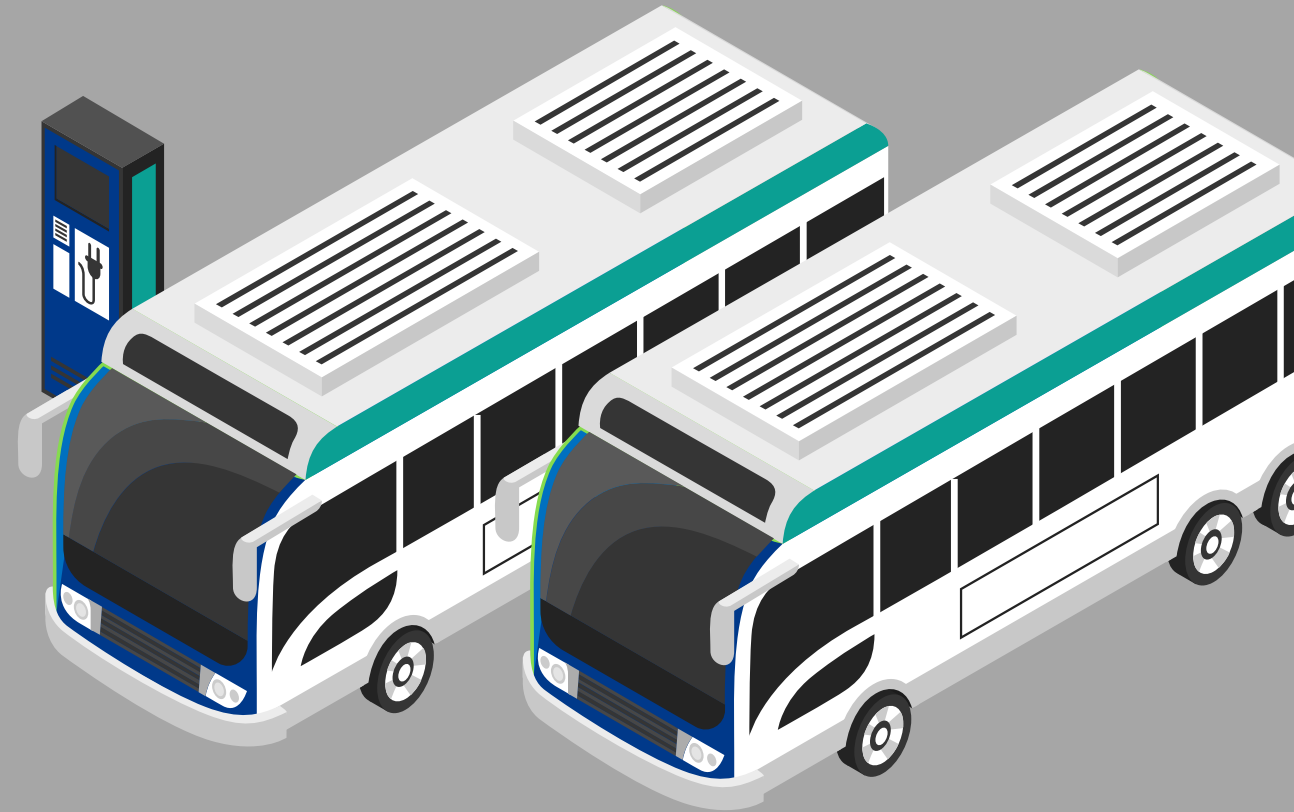
Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 4
2. Variante für Fahrzeugtyp GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8

# Ladeinfrastrukturkonzept Depot LB 08 & 09 (heute RVMK Depot Eiserne Hand (ehem. Wächtersbach))

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW
Lastspitze nach Optimierung (ohne stat. Speicher)	767 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen (nach Lastgangoptimierung)	5
Fahrzeugzahl inkl. Reserve = Anzahl Ladeplätze (Berechnet auf Basis Umlaufdaten)	7 x SL 7 x GL
Empfohlener MS/NS Transformator	1.250 kVA

Konzeptentwurf	
1. Variante für Fahrzeugtyp SL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 600 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Variante für Fahrzeugtyp GL	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 600 kW Anzahl Ladepunkte = 8

# 7 LB 5: Maßnahmenplan



# Potenzialanalyse Fahrzeugeinsatz CVD Periode 1 und 2



# Potenzialanalyse in zwei Varianten

- Ausgeführt in zwei Varianten
- Potenzialanalyse „minimaler Aufwand“
  - Fokus: Wie viele BEV-Busse sind zum Umstellungszeitpunkt **ohne Sondermaßnahmen** in den einzelnen LB direkt machbar („Eins-zu-Eins-Umstellung“)?  
(Sondermaßnahmen = Umlaufanpassung oder neue Umlaufverknüpfung mit Fahrzeugmehrbedarf)
  - Philosophie: CVD-Quoten erfüllen, indem in allen (vielen) LB einfache Einsätze elektrifiziert werden. Sondermaßnahmen erfolgen nur, wenn nicht vermeidbar
- Potenzialanalyse „Vollumstellung Linienbündel“
  - Fokus: Welcher Mehraufwand muss betrieben werden, um jedes Linienbündel vollständig mit BEV zu elektrifizieren?
  - Philosophie: CVD-Quoten erfüllen, indem einzelne Linienbündel vollständig umgestellt werden. Ausgewählt werden dafür idealerweise LB mit möglichst kleinem zusätzlich notwendigen Fahrzeugbedarf
  - Zu beachten: Zusatzfahrzeuge erhöhen die Fahrzeugmenge, was sich auf die CVD-Quote auswirkt. Bei der Auswahl von Linienbündeln muss dieser Umstand geprüft werden

# Betrachtete Linienbündel

## • CVD Periode 1 (Sortierung nach Umstellungszeitpunkten)

- LB 03 Teil 1
- LB 05
- LB 06 Teil 1
- **LB 10 (Zugeordnet CVD P1)**

## • CVD Periode 2 (Sortierung nach Umstellungszeitpunkten)

- AB 30a
- LB 01
- LB 03 Teil 2
- LB 06 Teil 2
- LB 04



### Hinweis zu LB 10 (heute: VGF Fulda)

- Der Vergabezeitpunkt (07/2026) liegt sehr nah am Wechsel der CVD-Quotensätze (12/2025).
  - Maßgeblich für die Quotenbestimmung ist die Zuschlagserteilung der auszuschreibenden Leistung.
  - Eine Vergabe mit sieben (oder mehr) Monaten Vorlaufzeit ist zulässig, wenn dies entsprechend begründet wird.
    - Z.B. Begründung über Vorlaufzeiten für die Beschaffung von BEVs (und FCEVs) inklusive Infrastruktur.
    - Eine Vergabe in CVD Periode 1 kann hier begründet werden. Die Vergabe „profitiert“ damit von den geringeren Quotenvorgaben.
- ➔ **Wichtig:** Die ausschließliche Vermeidung eines höheren Quotensatzes ist keine ausreichende Begründung für eine Leistungsvergabe mit überproportional langen Vorlaufzeiten.



# Allgemeines zur Potenzialanalyse „minimaler Aufwand“

- Grundlegende Annahmen
  - Abgeschätzt wird das Umstellungspotenzial auf Basis des aktuellen Status Quo („Eins-zu-Eins Ersatz von Bussen)
  - Zusatzaufwendungen (Mehrbedarf, Umlaufanpassung und ähnliches) werden zunächst zurückgestellt
    - Eine zusätzliche „Verbesserung“ kann durch Mehraufwendungen erzielt werden, **wenn notwendig**
    - Dies kann Auswirkungen auf den Fahrzeugmehrbedarf haben
  - Als Berechnungsgrundlage wird die nach eebc berechnete Fahrzeugmenge aus dem Diesel-Referenzszenario herangezogen
    - Aufgeschlagen wird eine 15 %-ige Reserveflotte (berechnet pro Fahrzeugtyp im LB, aufgerundet)
    - Umlauflisten sind nicht zu 100% korrekt (Erstellungsfehler) und korrespondieren nicht vollständig mit den aktuellen Fahrzeugzahlen
      - Bei LB 08-09 (RVMK): Umlaufliste im Vorfeld d. Untersuchung angepasst, um Anhängerzüge zu kompensieren
- Mit FCEV können mindestens dieselben Ergebnisse erzielt werden (bis 2028 Reichweitenvorteil vorhanden)
  - **Ausnahme:** RVMK Stadtbus – hier BEV bereits als Status-Quo angenommen (Alternativlos & in Realisierung)
  - Bei ähnlicher Performance sind die Systemkosten für FCEV höher, als für BEV
  - Relevanter ist für FCEV die zweite Variante der Potenzialanalyse „Vollumstellung Linienbündel“

# Übersicht Einsatzpotenzial „minimaler Aufwand“ BEV vs. CVD Vorgaben Periode 1

Linienbündel	CVD Anforderungen nach Szenario					Einsatzpotenzial BEV			Anmerkung
	Laufzeitende	Einsatzflotte Diesel	Einsatzflotte Diesel + Reserve	Emissionsfreie Busse „nur“ nach CVD*	Emissionsfreie Busse „nur“ CVD-PLUS*	Einsatzflotte Diesel heute	Anzahl Bus machbar heute	Anzahl Bus machbar 2028	
Fahrzeugmengen separat berechnet pro Linienbündel									
LB 03 Teil 1	12/2025	11	15	3	7	11	6	6	
LB 05	12/2025	22	26	6	12	22	9	9	
LB 06 Teil 1	12/2025	8	11	2	5	8	6	7	
LB 10	07/2026	29	34	8	15	29	12	22	Vergabe in CVD P1
<b>Summen</b>		<b>70</b>	<b>86</b>	<b>19</b>	<b>39</b>	<b>70</b>	<b>34</b>	<b>45</b>	

Fahrzeugmengen berechnet über alle Linienbündel aus Summe eingesetzter Fahrzeuge					
		70	86	19	39

Erfüllbar aus Einsatzflotte
  Erfüllbar aus Einsatz- und Reserveflotte
  Nicht ohne Sondermaßnahmen erfüllbar

\* Werte kaufmännisch gerundet

# Übersicht Einsatzpotenzial „minimaler Aufwand“ BEV vs. CVD Vorgaben Periode 2

Linienbündel	Laufzeitende	CVD Anforderungen nach Szenario				Einsatzpotenzial BEV			Anmerkung
		Einsatzflotte Diesel	Einsatzflotte Diesel + Reserve	Emissionsfreie Busse „nur“ nach CVD*	Emissionsfreie Busse „nur“ CVD-PLUS*	Einsatzflotte Diesel heute	Anzahl Bus machbar heute	Anzahl Bus machbar 2028	
Fahrzeugmengen separat berechnet pro Linienbündel									
AB 30a	12/2026	1	2	1	1	1	0	0	
LB 01	05/2027	21	25	8	16	21	18	19	
LB 02	06/2027	5	6	2	4	5	0	2	
LB 03 Teil 2	12/2027	5	6	2	4	5	0	3	
LB 06 Teil 2	06/2027	14	17	6	11	14	2	8	
LB 08+09 R	06/2028	36	43	14	28	36	34	35	BEV Regionalverkehr nur SL & GL
LB 08+09 S	06/2028	6	7	2	5	6	6	6	Stadtbus nur MI (Mehrbedarf +1 MI ggü. heute)
LB 04	12/2029	28	33	11	21	28	26	28	
<b>Summen</b>		<b>116</b>	<b>139</b>	<b>46</b>	<b>90</b>	<b>116</b>	<b>86</b>	<b>101</b>	

Fahrzeugmengen berechnet über alle Linienbündel aus Summe eingesetzter Fahrzeuge					
		116	139	45	90

Erfüllbar aus Einsatzflotte
  Erfüllbar aus Einsatz- und Reserveflotte
  Nicht ohne Sondermaßnahmen erfüllbar
 \* Werte kaufmännisch gerundet

# Allgemeines zur Potenzialanalyse „Vollumstellung Linienbündel“

- Dargestellt werden immer die erwarteten Mehraufwendungen als Fahrzeugmehrbedarf
  - Die Abschätzung erfolgt erfahrungsbasiert. Belastbare Aussagen können erst nach Ausführung einer Umlaufanalyse getroffen werden. Üblicherweise sind die Prognosen zutreffend, Abweichungen können jedoch nicht ausgeschlossen werden!
    - Die Abschätzung ersetzt keine Detail-Umlaufplanung
    - Abweichungen können im schlimmsten Fall deutlich sein (unwahrscheinlich)
  - Der Fahrzeugmehrbedarf hat Auswirkungen auf die CVD-Quoten. Die Quotenrelevante Fahrzeugmenge besteht aus der Summe von
    - Anzahl Dieselbus **mit** Reserve (Achtung: Reserve wurde pauschal berechnet, Abweichungen möglich)
    - Fahrzeugmehrbedarf (zur Sicherheit Maximalwert ansetzen)
- Das Modell wird für BEV und FCEV ausgeführt, um einen Kostenvergleich zu erlauben
- Analog zum vorherigen Modell wird auch hier für LB 10 eine Vergabe in CVD Periode 1 angenommen

# Auswirkung Vollumstellung BEV pro Linienbündel CVD P1



Linienbündel	Fahrzeug	Angesetzte BEV-Kapa. von (Jahr)	Anzahl Bus Diesel ohne Reserve	Anzahl Bus Diesel mit Reserve	Anzahl Bus machbar*	Anzahl Bus nicht machbar*	Mehrbedarf MIN**	Mehrbedarf MAX**	Kommentar
LB 03 Teil 1 (Racktours)	Solo	Heute	9	11	5	4	0	2	
	Gelenk	Heute	1	2	1	0	0	0	
	Klein	Heute	1	2	0	1	1	1	Alternativ: Kapa > 120 kWh KB
LB 05 (Stroh)	Solo	Heute	17	20	6	11	3	5	
	Gelenk	Heute	5	6	3	2	0	1	
LB 06 Teil 1 (RDG Gründau)	Solo	Heute	7	9	6	1	0	0	
	Midi	Heute	1	2	0	1	1	1	Alternativ: Kapa > 320 kWh Midibus
LB 10 (VGF Fulda)	Solo	Heute	29	34	12	17	6	7	Besonders herausfordernd, da 8 Einzeldepots!
<b>Summen</b>			<b>70</b>	<b>86</b>	<b>33</b>	<b>37</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	

\* Anzahl ohne Sondermaßnahmen wie Umlaufanpassung oder ähnliches

\*\* Erfahrungsbasierter Schätzwert Fahrzeugmehrbedarf aufgrund Umlaufanpassung für „nicht ohne Sondermaßnahmen machbare“ Busse

# Auswirkung Vollumstellung BEV pro Linienbündel CVD P2



Linienbündel	Fahrzeug	Angesetzte BEV-Kapa. von (Jahr)	Anzahl Bus Diesel ohne Reserve	Anzahl Bus Diesel mit Reserve	Anzahl Bus machbar*	Anzahl Bus nicht machbar*	Mehrbedarf MIN**	Mehrbedarf MAX**	Kommentar
AB 30a (Stroh)	15m	2028	1	2	0	1	1	1	Nur 1 Bus
LB 01 (SV Maintal)	Solo	2028	19	22	17	2	0	1	Sehr wahrscheinlich nur +0
	Gelenk	2028	2	3	2	0	0	0	
LB 02 (Stroh)	Klein	2028	5	6	2	3	0	1	Wahrscheinlich nur +0
LB 03 Teil 2 (ARGE)	Solo	2028	5	6	3	2	1	1	
LB 06 Teil 2 (Heuser)	Solo	2028	13	15	7	6	0	1	
	Gelenk	2028	1	2	1	0	0	0	
LB 08+09 Regional (RVMK)	Solo	2028	22	26	21	1	0	1	Sehr nah am Grenzwert, ggf. ohne Mehrbedarf möglich
	Gelenk	2028	14	17	14	0	0	0	
LB 08+09 S (RVMK)	Midi	2028	6	7	6	0	0	0	Mehrbedarf bereits enthalten. Umsetzung bereits eingeleitet
LB 04 MKK N-S (DB Regio)	Solo	2028	17	20	17	0	0	0	
	Gelenk	2028	11	13	11	0	0	0	
Summen total			<b>116</b>	<b>139</b>	<b>101</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	
Summen ohne LB 08+09 Stadtbus			<b>110</b>	<b>132</b>	<b>95</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	

\* Anzahl ohne Sondermaßnahmen wie Umlaufanpassung oder ähnliches

\*\* Erfahrungsbasierter Schätzwert Fahrzeugmehrbedarf aufgrund Umlaufanpassung für „nicht ohne Sondermaßnahmen machbare“ Busse

# Auswirkung Vollumstellung FCEV pro Linienbündel CVD P1



Linienbündel	Fahrzeug	Modell am Markt?	Anzahl Bus Diesel ohne Reserve	Anzahl Bus Diesel mit Reserve	Anzahl Bus machbar*	Anzahl Bus nicht machbar*	Mehrbedarf MIN**	Mehrbedarf MAX**	Kommentar
LB 03 Teil 1 (Racktours)	Solo	Ja	9	11	7	2	0	0	
	Gelenk	Ja	1	2	1	0	0	0	
	Klein	NEIN	1	2	0	1	?	?	
LB 05 (Stroh)	Solo	Ja	17	20	8	9	1	2	
	Gelenk	Ja	5	6	3	2	0	0	
LB 06 Teil 1 (RDG Gründau)	Solo	Ja	7	9	7	0	0	0	
	Midi	NEIN	1	2	0	1	?	?	
LB 10 (VGF Fulda)	Solo	Ja	29	34	27	2	1	2	
<b>Summe</b>			<b>70</b>	<b>86</b>	<b>53</b>	<b>17</b>	<b>2 + ?</b>	<b>4 + ?</b>	

\* Anzahl ohne Sondermaßnahmen wie Umlaufanpassung oder ähnliches

\*\* Erfahrungsbasierter Schätzwert Fahrzeugmehrbedarf aufgrund Umlaufanpassung für „nicht ohne Sondermaßnahmen machbare“ Busse

# Auswirkung Vollumstellung FCEV pro Linienbündel CVD P2



Linienbündel	Fahrzeug	Modell am Markt?	Anzahl Bus Diesel ohne Reserve	Anzahl Bus Diesel mit Reserve	Anzahl Bus machbar*	Anzahl Bus nicht machbar*	Mehrbedarf MIN**	Mehrbedarf MAX**	Kommentar
AB 30a (Stroh)	15m	NEIN	1	2	0	1	?	?	Bei angenommener Technik 12m Bus +1 SL
LB 01 (SV Maintal)	Solo	Ja	19	22	19	0	0	0	
	Gelenk	Ja	2	3	2	0	0	0	
LB 02 (Stroh)	Klein	NEIN	5	6	0	5	?	?	
LB 03 Teil 2 (ARGE)	Solo	Ja	5	6	5	0	0	0	
LB 06 Teil 2 (Heuser)	Solo	Ja	13	15	11	2	0	1	
	Gelenk	Ja	1	2	1	0	0	0	
LB 08+09 R NUR FCEV (RVMK)	Solo	Ja	22	26	22	0	0	0	
	Gelenk	Ja	14	17	14	0	0	0	
LB 08+09 S (RVMK)	Midi	NEIN	6	7	0	6	?	?	Wird als BEV bereits umgesetzt
LB 04 MKK N-S (DB Regio)	Solo	Ja	17	20	17	0	0	0	
	Gelenk	Ja	11	13	11	0	0	0	
Summen total			116	139	102	14	0 + ?	1 + ?	
Summen ohne LB 08+09 Stadtbus			110	132	102	8	0 + ?	1 + ?	

\* Anzahl ohne Sondermaßnahmen wie Umlaufanpassung oder ähnliches

\*\* Erfahrungsbasierter Schätzwert Fahrzeugmehrbedarf aufgrund Umlaufanpassung für „nicht ohne Sondermaßnahmen machbare“ Busse

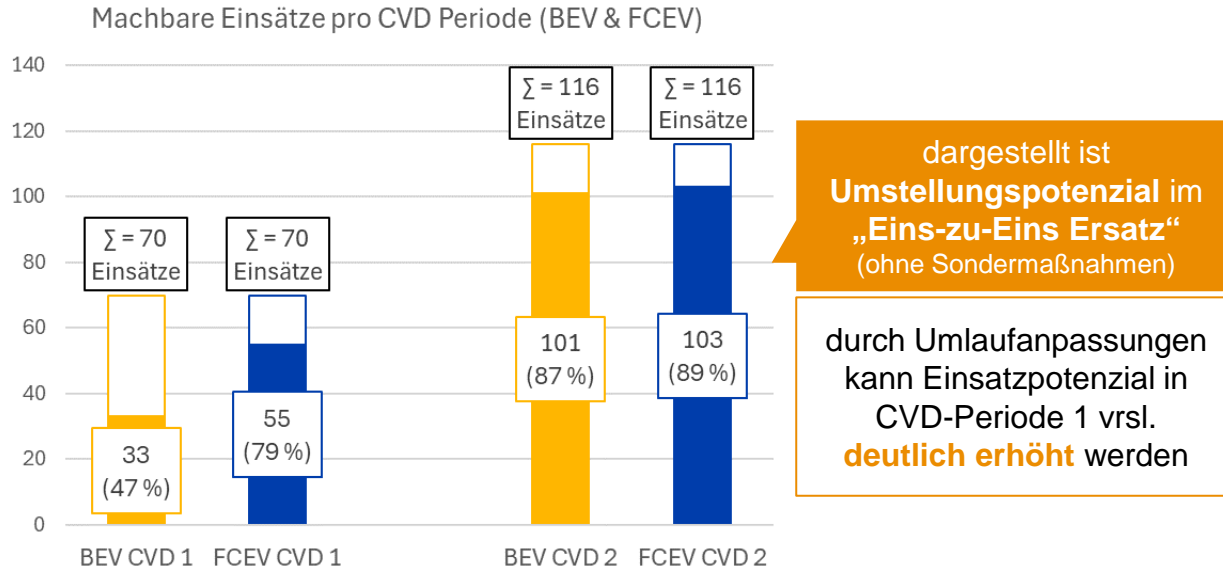


# Aus technischer Perspektive sind sowohl BEV als auch FCEV geeignet, um die CVD-Anforderungen mit geringem Anpassungsaufwand zu erfüllen

- CVD Quotenerfüllung BEV und FCEV
  - Szenario „nur CVD“ kann in den meisten Fällen „pro Linienbündel“ ohne jegliche Sondermaßnahmen erfüllt werden
    - In Einzelfällen müssen einzelne Linienbündel „übererfüllt“ werden, um die herausfordernden LB „mit zu erfüllen“
  - Gleiches gilt für CVD-PLUS wobei hier die notwendige Übererfüllung einzelner LB größer ausfällt
- Vollumstellung auf BEV/FCEV von LBs zum Umstellungszeitpunkt
  - Erwartungsgemäß vielfach nur möglich, wenn ein Fahrzeugmehrbedarf in Kauf genommen wird
  - Ausmaß des Fahrzeugmehrbedarfs schwankt zwischen den einzelnen LBs
    - Einzelne Depots sind besser/schlechter für kurzfristige Vollumstellung geeignet
- Aufgrund allgemein geringerer Anschaffungs- / Betriebskosten ist die initiale Vorzugstechnologie BEV
  - CVD Anforderungen sind sehr gut erfüllbar
  - Einfluss auf Technologieauswahl haben hier eher Faktoren wie erforderliche Netzanschluss- bzw. Netzausbaukosten und ggf. politische Motivation

# BEV und FCEV sind für CVD-Quotenerfüllung gleichwertig: Ausschlaggebend sind Kosten & Energieversorgung

## Zusammenfassung



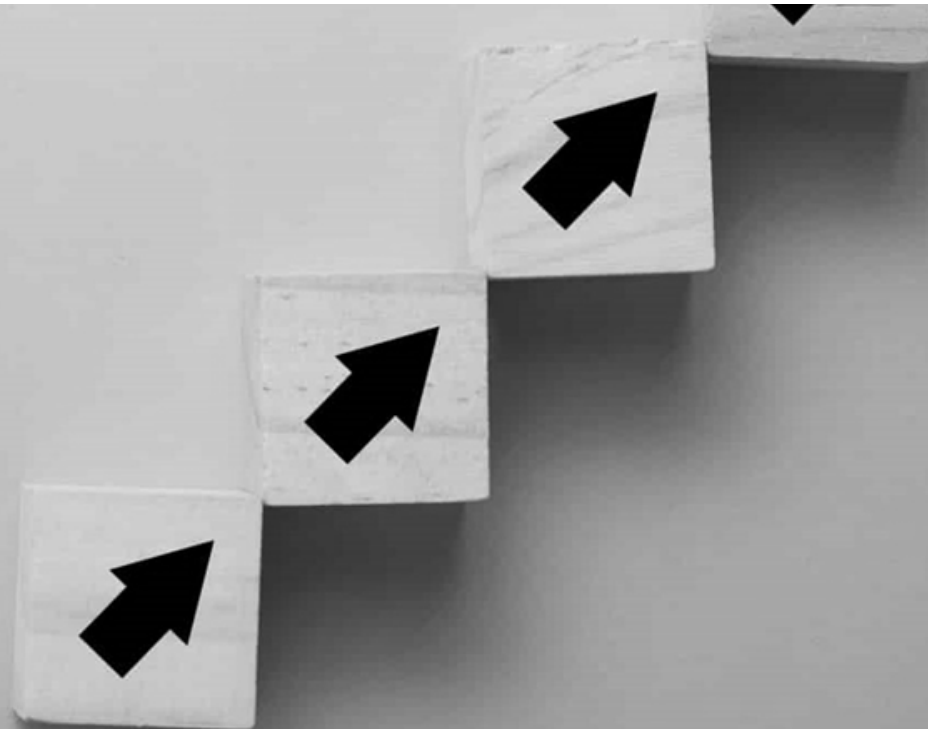
- für Erfüllung der CVD-Quoten sind **FCEV und BEV technisch gleichwertig**
  - kurzfristig Vorteile für FCEV vorhanden (sofern Umstellung über Eins-zu-Eins-Ersatz hinausgeht)
  - jedoch: auch mit BEV sind CVD-Quoten sehr gut erfüllbar
  - neuer NVP hat keinen Einfluss auf Ergebnisse
- Herausforderung FCEV: kein Marktangebot abseits von Solo- und Gelenkbussen
- Herausforderung BEV: umfassende Stromversorgung im Betriebshof erforderlich

## Die Vollumstellung erfordert erhebliche Energiemengen

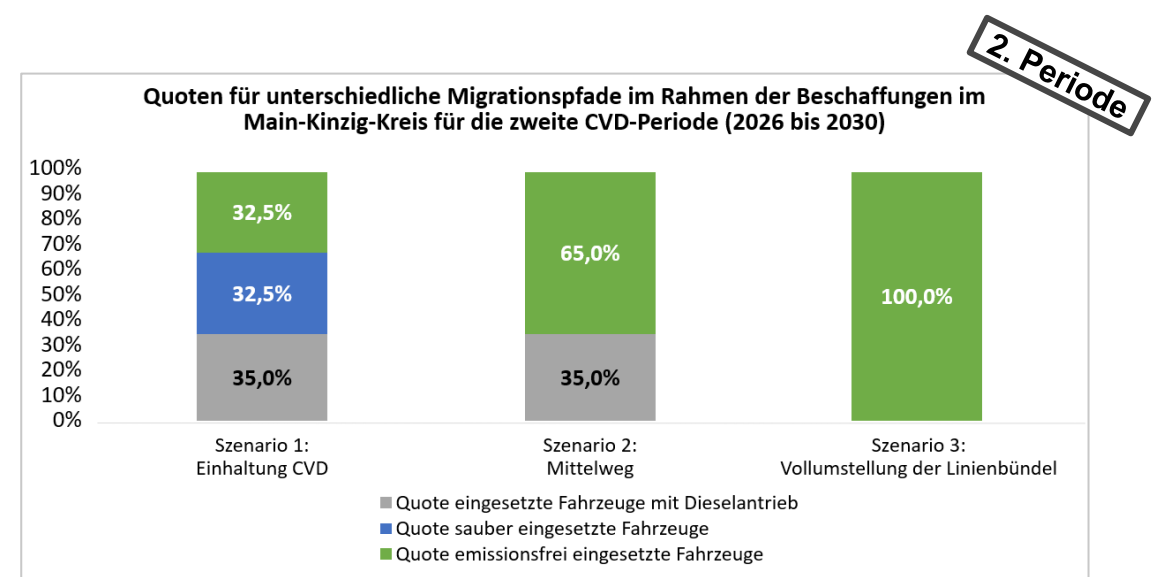
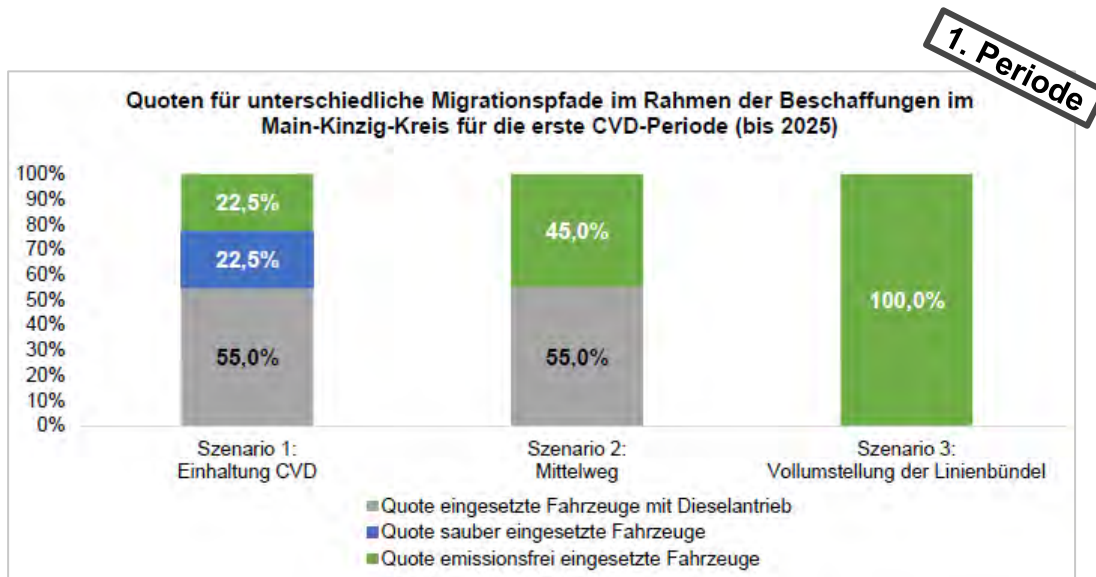
Linienbündel	Energiemengen pro Linienbündel	
	Strommenge p.a.	H <sub>2</sub> Menge p.a.
LB 01 (SV Maintal) (05/2027)	2.170 MWh	139,6 t H <sub>2</sub>
LB 02 (Stroh) (06/2027)	177 MWh	11,4 t H <sub>2</sub>
LB 03 T1 (Racktours) (12/2025)	1.194 MWh	77,1 t H <sub>2</sub>
LB 03 T2 (Arge) (12/2027)	679 MWh	46,8 t H <sub>2</sub>
LB 04 MKK-N-S (DB Regio) (12/2029)	2.638 MWh	169,5 t H <sub>2</sub>
LB 05 (Stroh) (12/2025)	2.788 MWh	180,6 t H <sub>2</sub>
LB 06 T1 (RDG Gründau) (12/2025)	640 MWh	41,3 t H <sub>2</sub>
LB 06 T2 (Heuser) (06/2027)	1.930 MWh	124,6 t H <sub>2</sub>
LB 08-09 (RVMK) R (06/2028)	3.183 MWh	210,4 t H <sub>2</sub>
LB 08-09 (RVMK) S (06/2028)	428 MWh	N.A.
LB 10 (VGF Fulda) (07/2026)	2.521 MWh	162,6 t H <sub>2</sub>
AB-30a (Stroh) (12/2026)	159 MWh	10,3 t H <sub>2</sub>
	<b>Σ=18,5 GWh</b>	<b>Σ=1.174,2 t H<sub>2</sub></b>

- Detailprüfung erforderlich für Netzkapazitäten an Standorten
  - langwierige Anfrageprozesse
  - Netzausbau ist langwierig und kostenintensiv
- H<sub>2</sub> Trailer haben aktuell ca. 500 kg Kapazität
  - 180 t H<sub>2</sub> p.a.  $\hat{=}$  1 Trailer pro Tag im Durchschnitt

# Ableitung Migrationspfade und Prämissen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



# Die Transformation der Busflotte im Main-Kinzig-Kreis kann auf unterschiedlichen Migrationspfaden verlaufen





# Prämissen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

## Übersicht der wesentlichen Eingangsgrößen

### Rahmenbedingungen

- Annahme reguläres Ende der Verträge (LB 10 → Jahr 2031), Zeithorizont Neuverträge 10 Jahre
- Preisdynamisierung p. a.:  
Personalkosten 3,0 %  
Strom 1,5 %  
Diesel 2,0 % (zzgl. CO<sub>2</sub>-Steuer)
- Bei Vertragsbeginn werden neue Fahrzeuge eingesetzt
- Fahrzeuge werden direkt eingesetzt, kein „Hochlauf“
- Förderung des Landes Hessen  
➢ Einreichung aktuell nicht möglich

\* aktuelle Preisinformation H<sub>2</sub> MOBILITY-Tankstellen  
\*\* auf Basis von Prämissen in Anlehnung an ASUE (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.)  
Alle Prämissen verstehen sich als netto.

### Betrieb

- Treibkraft-Kosten**
  - Diesel
  - 2022 (Status Quo) 1,52 €/l
  - 2023 1,46 €/l
  - 2030 1,92 €/l
  - HVO100-Aufschlag (nur sauber) 15 %
  - Fahrstrom
  - 2023 (Quelle: BDEW) 0,265 €/kWh
  - Fortschreibung Jahr 2030 0,295 €/kWh
  - Wasserstoff
  - 2023, **Fremdbezug** (350 bar)\* 12,80 €/kg
  - Dynamisierung analog Strompreis
- Instandhaltungskosten**
  - Dieselbus Status quo 100 %
  - Batteriebus 90 %
  - BZ-Bus 95 %
- Mehrbedarf an Fahrzeugen und Fahrpersonal**  
gemäß Umlaufanalyse für Szenario „Vollumstellung“ berücksichtigt
- Nutzungs- und Abschreibungsdauer**  
kalk. Abschreibungsdauer 10 Jahre
- Sonstige**  
Baubegleitung/Projektkosten/Schulung  
je nach Szenario (Umstellungsvolumen) einmalig
- Szenario 1 CVD 50 T€
- Szenario 2 CVD Plus 100 T€
- Szenario 3 Vollumstellung 150 T€

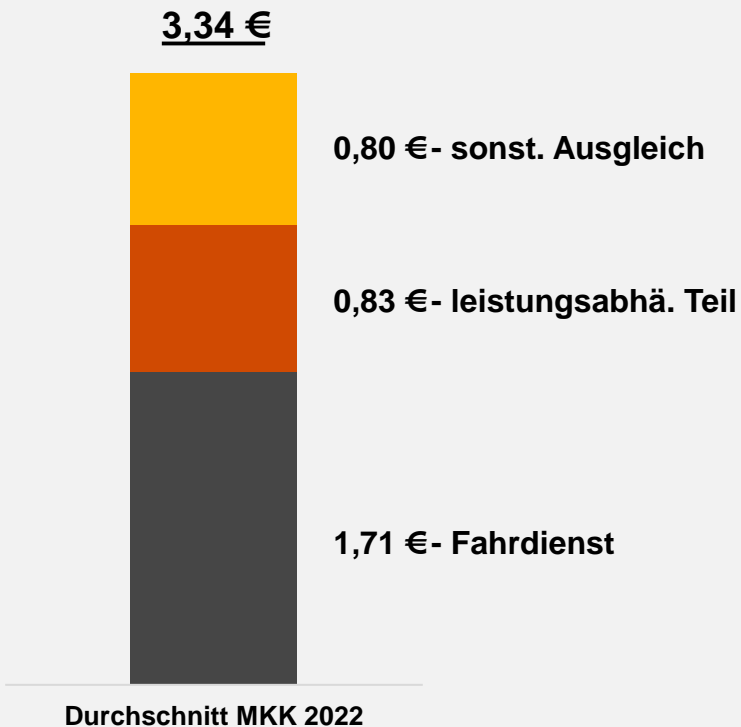
### Fahrzeuge und Infrastruktur

- Anschaffungskosten Referenz-Fahrzeuge**
  - Dieselbus Solo (2023) 270 T€
  - Diesel Mini / Midi 130 T€ / 200 T€
  - Diesel Gelenk 340 T€
  - Batteriebus / BZ-Bus Solo 600 T€ / 700 T€
  - Batteriebus Mini / Midi 205 T€ / 450 T€
  - Batteriebus / BZ-Bus Gelenk 850 T€ / 950 T€
  - ab 2027-2029
  - Kostendegression je 5 %
  - Batterie- / BZ-Tausch nach 7 Jahren**
  - Midi / Solo 100 T€
  - Gelenk 150 T€
  - Restwerte**
  - Fahrzeuge 2 %
- Ladeinfrastruktur (LIS) 85 T€ pro LP**  
Berücksichtigung unterschiedlicher Ausbaustufen:  
Stufe I = Tiefbau, Kabelwege, Gelände-Vorbereitung  
Stufe II = Trafo inkl. Gebäude, Gebäude u. Kabel für LIS  
Stufe III = Ladepunkte, Ladeelektronik
- LIS für BZ-Busse zur Vorkonditionierung 35 T€ pro LP
- Software & Wartung BMS+LIS p.a.** 150 T€
- Werkstatteinrichtung** je Szenario 50 - 200 T€

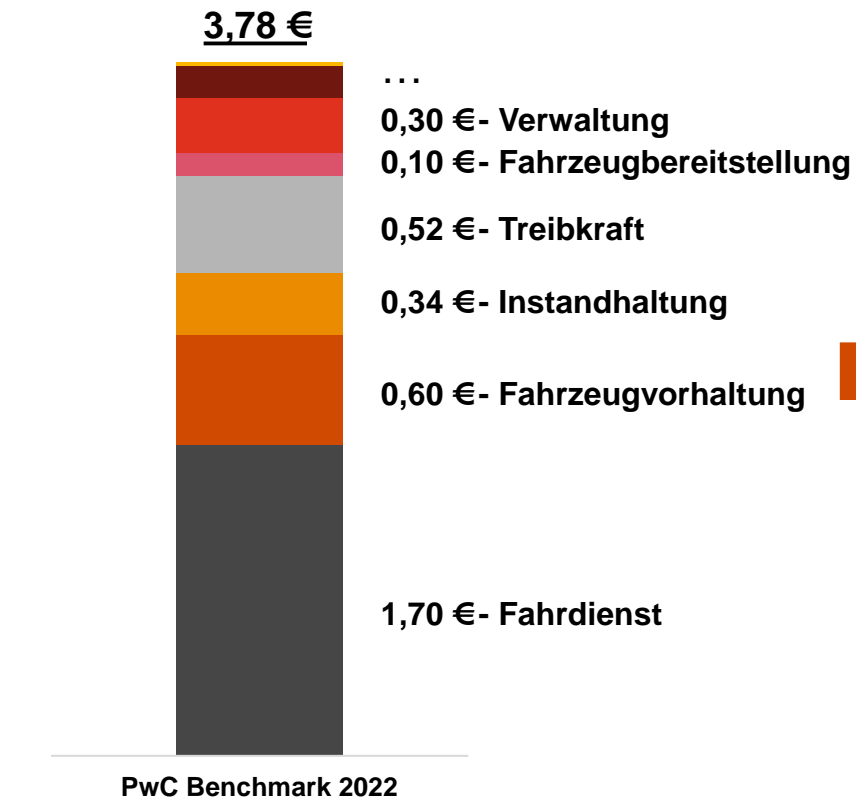
alle Prämissen verstehen sich als netto.

# Für die Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen der Flotten- transformation haben wir Benchmark-Werte angesetzt und diese mit Ist-Kosten der KVG MKK kalibriert

Kostensatz MKK Linienbündel  
2022 in €/km



Kostensatz MKK Linienbündel  
2022 in €/km



## Modellierung der technologie- bedingten Kosten nach Leistungsbild / Fahrzeugflotte

- Fahrzeugvorhaltung (+Ladeinfrastruktur)
- Treibkraft
- Instandhaltung
- Fahrdienst (bei Fahrzeugmehrbedarf)

alle übrigen Bereiche  
technologieunabhängigen  
Funktionsbereiche werden  
jährlich dynamisiert

# Kosten bzw. Mehrkosten für die Technologievariante Batterie (BEV) in den untersuchten Szenarien

## Grundsätze und Annahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse



- Für die Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen der Flottentransformation wurden benchmarkbasierte Kostenstrukturen vergleichbarer Verkehrsunternehmen angesetzt und anhand der Ist-Kosten der KVG MKK kalibriert.
- Die technologiebedingten Mehrkosten wurden durch den Vergleich mit einem fortgeschriebenen Status Quo (Referenzszenario Diesel) ermittelt.
- Technologiebedingte Kostenunterschiede ergeben sich insbesondere in den Funktionsbereichen Fahrzeug- und Infrastrukturvorhaltung, Treibkraft und Instandhaltung.
- Antriebsvarianten BEV und FCEV; zunächst keine Förderung angesetzt.
- Das Szenario 3 berücksichtigt dabei ggf. den umlaufbedingten Fahrzeugmehrbedarf (damit auch zusätzlich Fahrpersonal). Die Mehrkosten der einzelnen LB unterscheiden sich je nach Umstellungsszenario.  
→ unterschiedliche Umstellungszeitpunkte, Fuhrparkstrukturen und Leistungsbilder

Technologievariante Batterie - über 10 Jahre -	Kosten Referenzszenario "Weiter so Diesel"	Mehrkosten S1 "Einhaltung der CVD"	Mehrkosten S2 "CVD Plus"	Mehrkosten S3 "Vollumstellung"
LB 01 (05/2027)	46,6 Mio.€	3,1 Mio.€ +6,7%	4,5 Mio.€ +9,6%	11,0 Mio.€ +23,5%
LB 02 (06/2027)	10,5 Mio.€	0,2 Mio.€ +2,3%	0,5 Mio.€ +4,3%	1,2 Mio.€ +11,3%
LB 03 T1 (12//2025)	23,2 Mio.€	0,6 Mio.€ +2,6%	1,9 Mio.€ +8,2%	7,6 Mio.€ +32,9%
LB 03 T2 (12/2027)	12,8 Mio.€	0,8 Mio.€ +6,1%	1,2 Mio.€ +9,5%	2,4 Mio.€ +19,2%
LB 04 (12/2029)	59,9 Mio.€	3,8 Mio.€ +6,4%	7,4 Mio.€ +12,3%	11,5 Mio.€ +19,3%
LB 05 (12/2025)	46,8 Mio.€	3,6 Mio.€ +7,7%	6,6 Mio.€ +14,1%	16,8 Mio.€ +35,9%
LB 06 T1 (12/2025)	17,1 Mio.€	0,9 Mio.€ +5,1%	1,9 Mio.€ +11,3%	5,2 Mio.€ +30,6%
LB 06 T2 (06/2027)	37,0 Mio.€	2,2 Mio.€ +6,1%	3,5 Mio.€ +9,3%	6,0 Mio.€ +16,2%
LB 10 (07/2026)	58,3 Mio.€	3,2 Mio.€ +5,5%	4,8 Mio.€ +8,2%	17,3 Mio.€ +29,7%
AB 30a (12/2026)	3,7 Mio.€	0, Mio.€ +0,0%	0,3 Mio.€ +8,3%	1,9 Mio.€ +50,9%
LB 08_09R (06/2028)	83,3 Mio.€	3,5 Mio.€ +4,2%	5,8 Mio.€ +7,0%	9,6 Mio.€ +11,6%
LB 08_09S (06/2028)	12,0 Mio.€	0,6 Mio.€ +4,8%	2,2 Mio.€ +17,9%	2,2 Mio.€ +17,9%
Durchschnitt BEV		+4,8%	+10,0%	+24,9%
<b>Summe</b>	<b>411,2 Mio.€</b>	<b>22,6 Mio.€</b>	<b>40,5 Mio.€</b>	<b>92,8 Mio.€</b>

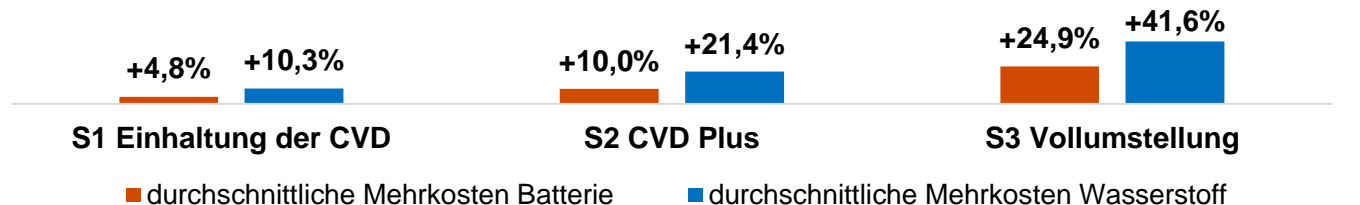
# Kosten bzw. Mehrkosten für die Technologievariante Wasserstoff (FCEV) in den untersuchten Szenarien

## Gegenüberstellung der Antriebstechnologien BEV - FCEV



- Die Technologievariante Wasserstoff ist sowohl hinsichtlich der Investitions- als auch in Bezug auf die Betriebskosten deutlich teurer als die Technologievariante Batterie.
- Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde der externe Bezug des notwendigen Wasserstoffs unterstellt (Tankstellen müssen dafür ausreichend vorhanden sein)
- In den Szenarien 1 und 2 sind die Mehrkosten um den Faktor x2 höher im Vergleich zur Umstellung mit Batteriebusen
- Auch in Szenario 3 „Vollumstellung“ liegen die Mehrkosten deutlich über denen der Batterie-Variante, wenngleich diese hier prozentual etwas geringer als in Szenario 1 und 2 ausfallen. Dies lässt sich mit dem geringeren Fahrzeug- und Fahrpersonalmehrbedarf in der Technologievariante Wasserstoff bei Vollumstellung begründen.
- Die Technologievariante Wasserstoff ist somit aus wirtschaftlicher Sicht nur dann zu empfehlen, wenn es aus aufgrund anderer Randbedingungen keine Alternative gibt. Dies betrifft insbesondere die Energieversorgung der Standorte. Dies muss jedoch im Einzelfall geprüft werden.

Technologievariante Wasserstoff	Kosten Referenzszenario "Weiter so Diesel"	Mehrkosten S1 "Einhaltung der CVD"	Mehrkosten S2 "CVD Plus"	Mehrkosten S3 "Vollumstellung"
LB 01 (05/2027)	46,6 Mio.€	6,2 Mio.€ +13,4%	11,1 Mio.€ +23,7%	20,1 Mio.€ +43,2%
LB 02 (06/2027)	10,5 Mio.€	0,2 Mio.€ +2,3%	0,5 Mio.€ +4,3%	1,2 Mio.€ +11,3%
LB 03 T1 (12//2025)	23,2 Mio.€	1,3 Mio.€ +5,4%	3,9 Mio.€ +16,6%	9,8 Mio.€ +42,5%
LB 03 T2 (12/2027)	12,8 Mio.€	1,6 Mio.€ +12,8%	2,9 Mio.€ +22,9%	4,3 Mio.€ +33,7%
LB 04 (12/2029)	59,9 Mio.€	7,9 Mio.€ +13,2%	14,9 Mio.€ +24,8%	23,4 Mio.€ +39,0%
LB 05 (12/2025)	46,8 Mio.€	5,9 Mio.€ +12,5%	11,2 Mio.€ +24,0%	22,9 Mio.€ +48,9%
LB 06 T1 (12/2025)	17,1 Mio.€	1,5 Mio.€ +9,1%	3,6 Mio.€ +20,8%	8,0 Mio.€ +46,8%
LB 06 T2 (06/2027)	37,0 Mio.€	5,0 Mio.€ +13,4%	8,4 Mio.€ +22,6%	13,7 Mio.€ +37,0%
LB 10 (07/2026)	58,3 Mio.€	6,0 Mio.€ +10,4%	10,7 Mio.€ +18,3%	25,8 Mio.€ +44,2%
AB 30a (12/2026)	3,7 Mio.€	0,0 Mio.€ +0,0%	0,7 Mio.€ +19,4%	1,8 Mio.€ +48,2%
LB 08_09R (06/2028)	83,3 Mio.€	10,4 Mio.€ +12,5%	17,2 Mio.€ +20,7%	26,7 Mio.€ +32,0%
LB 08_09S (06/2028)	12,0 Mio.€	0,6 Mio.€ +4,8%	1,6 Mio.€ +13,1%	2,2 Mio.€ +17,9%
Durchschnitt FCEV		+10,3%	+21,4%	+41,6%
<b>Summe</b>	<b>411,2 Mio.€</b>	<b>46,7 Mio.€</b>	<b>86,5 Mio.€</b>	<b>159,8 Mio.€</b>







# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 01

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



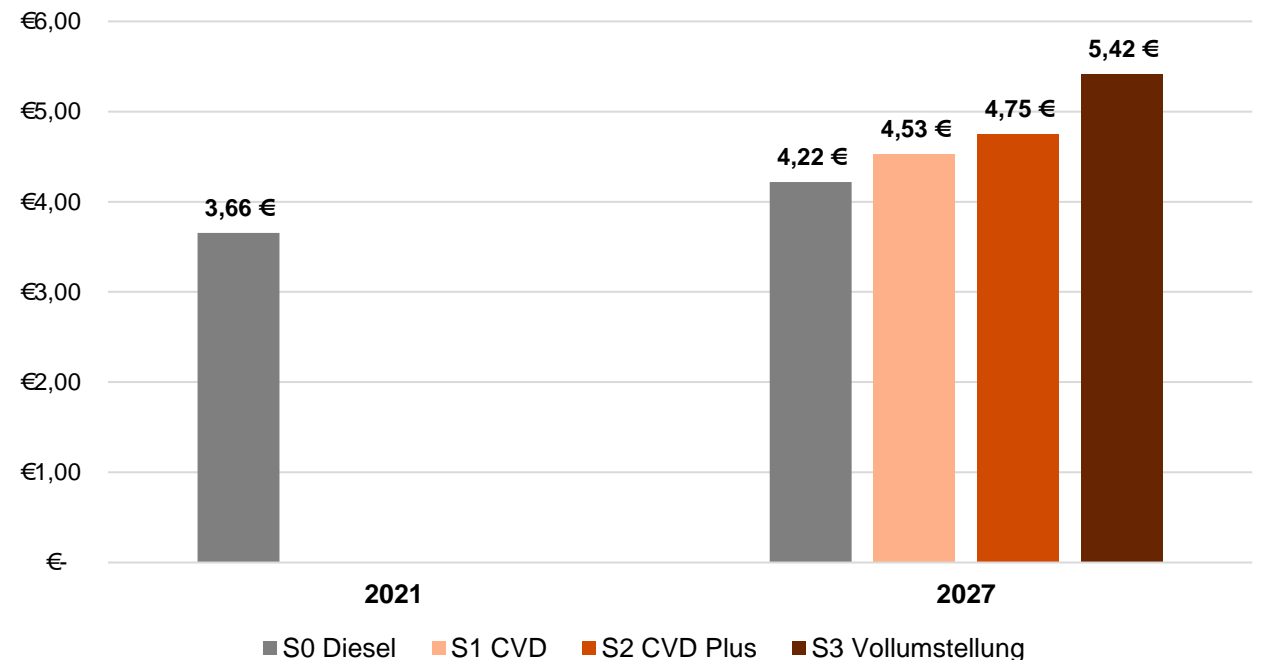
### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2027

	 Solo	 Gelenk
S1 CVD:	8x Diesel 7x sauber, 7x BEV	1x Diesel 1x sauber, 1x BEV
S2 CVD Plus:	8x Diesel 14x BEV	1x Diesel 2x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	22x BEV 1x BEV	3x BEV 0x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	3.087 T€
S2 CVD Plus:	4.477 T€
S3 Vollumstellung:	10.985 T€

### Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)





# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 01

## Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



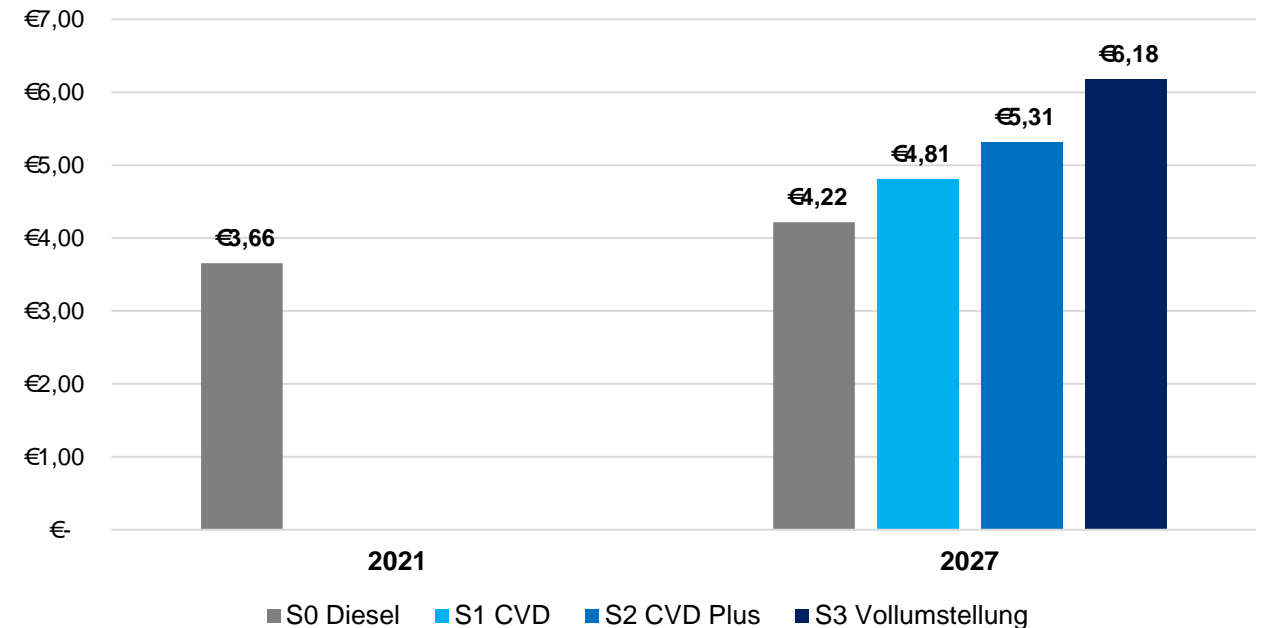
### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2027

	 Solo	 Gelenk
S1 CVD:	8x Diesel 7x sauber, 7x FCEV	1x Diesel 1x sauber, 1x FCEV
S2 CVD Plus:	8x Diesel 14x FCEV	1x Diesel 2x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	22x FCEV 0x FCEV	3x FCEV 0x FCEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	6.111 T€
S2 CVD Plus:	11.059 T€
S3 Vollumstellung:	20.147 T€

### Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 02

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2027



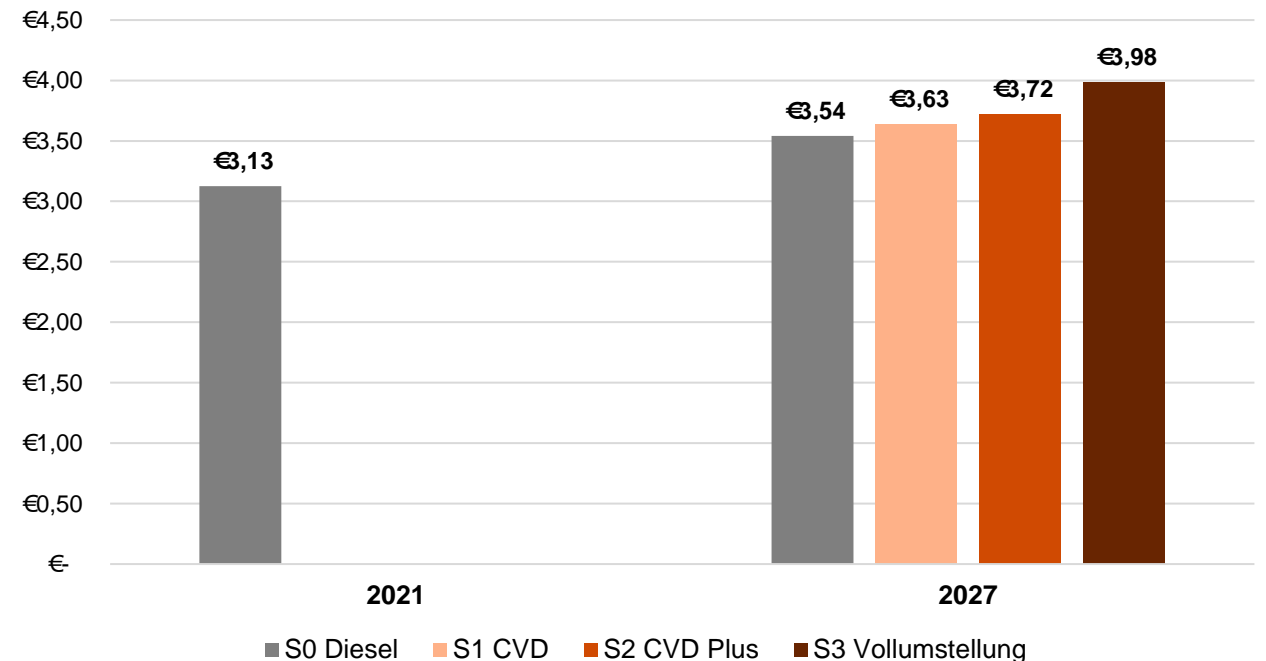
*Klein*

S1 CVD:	2x Diesel 2x sauber, 2x BEV
S2 CVD Plus:	2x Diesel 4x BEV
S3 Vollumstellung:	6x BEV
Mehrbedarf S3:	1x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	246 T€
S2 CVD Plus:	453 T€
S3 Vollumstellung:	1.190 T€

### Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung




## - LB 03 Teil 1

### Technologievariante Batterie

ohne Förderung



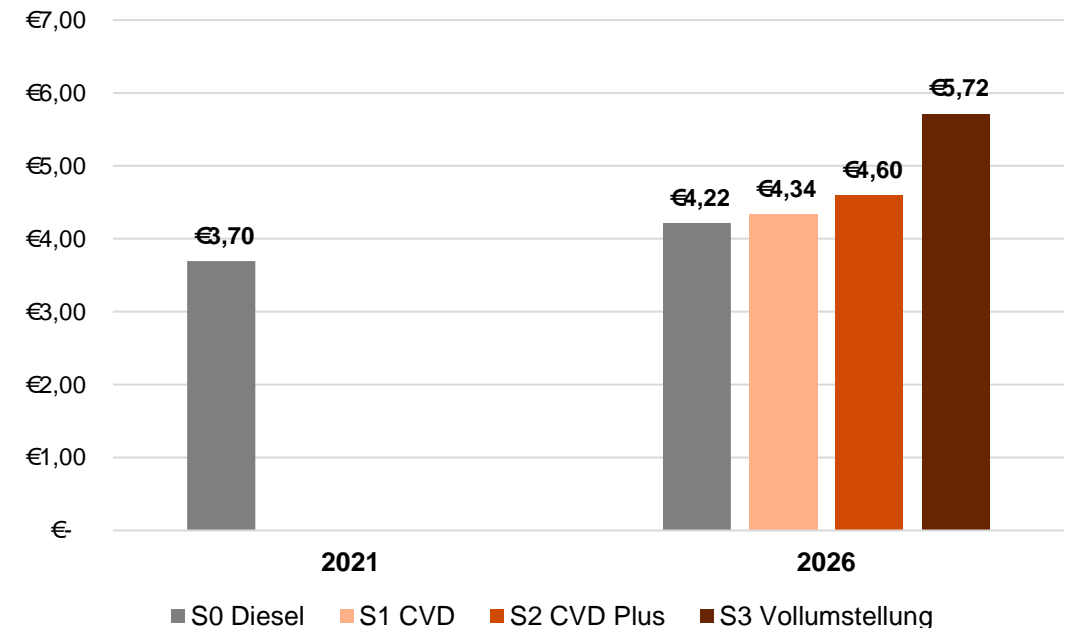
#### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2026

	 <i>Klein</i>	 <i>Solo</i>	 <i>Gelenk</i>
S1 CVD:	2x Diesel	8x Diesel 7x sauber, 7x BEV	1x Diesel 1x sauber, 1x BEV
S2 CVD Plus:	1x Diesel 1x BEV	8x Diesel 14x BEV	1x Diesel 2x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	2x BEV 1x BEV	22x BEV 1x BEV	3x BEV 0x BEV

#### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	612 T€
S2 CVD Plus:	1.900 T€
S3 Vollumstellung:	7.622 T€

#### Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung




## - LB 03 Teil 1

### Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



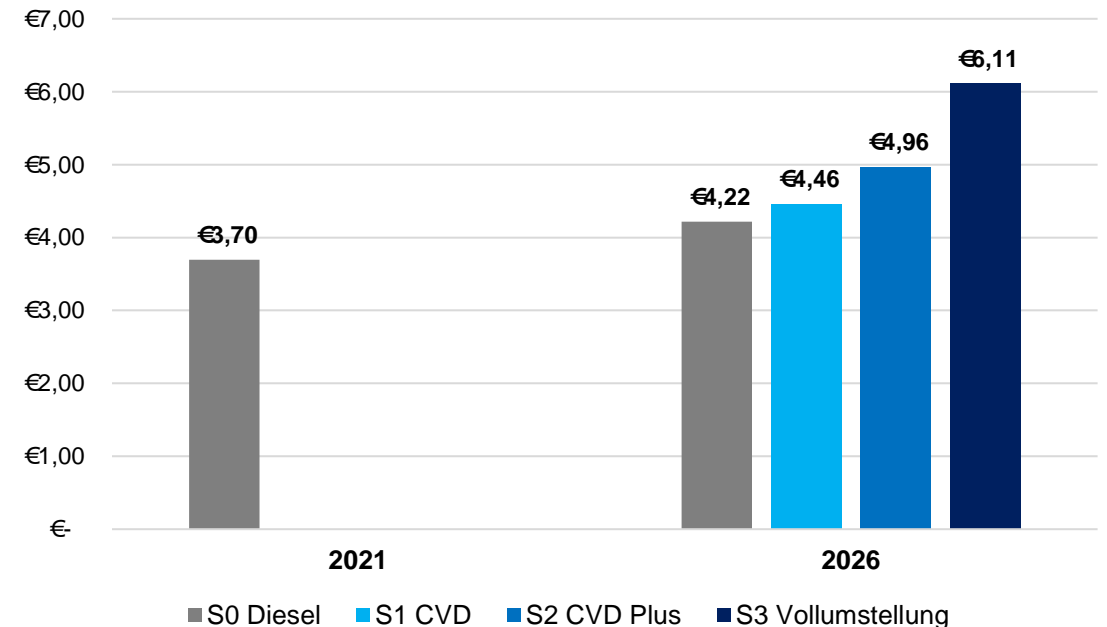
#### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2026

	 <i>Klein</i>	 <i>Solo</i>	 <i>Gelenk</i>
S1 CVD:	2x Diesel	8x Diesel 7x sauber, 7x FCEV	1x Diesel 1x sauber, 1x FCEV
S2 CVD Plus:	1x Diesel 1x BEV	8x Diesel 14x FCEV	1x Diesel 2x FCEV
S3 Vollumstellung:	2x BEV	22x FCEV	3x FCEV
Mehrbedarf S3:	1x BEV	1x FCEV	0x FCEV

#### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	1.252 T€
S2 CVD Plus:	3.852 T€
S3 Vollumstellung:	9.836 T€

#### Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 03 Teil 2

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2028



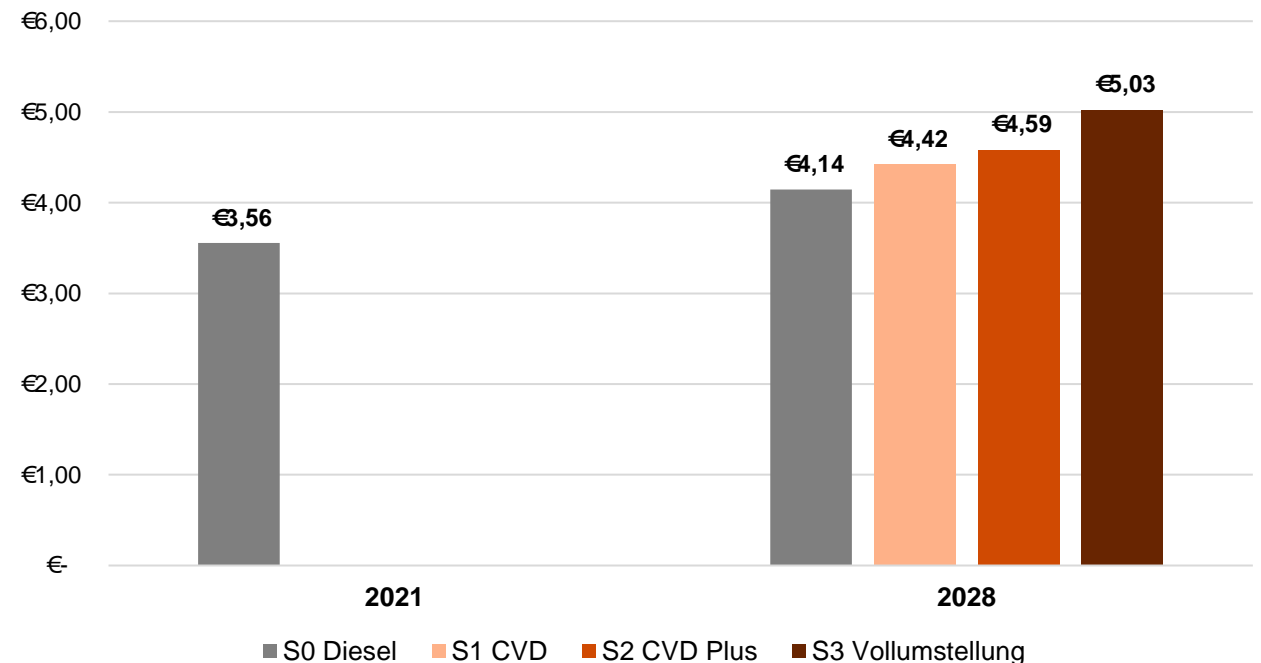
Solo

S1 CVD:	2x Diesel 2x sauber, 2x BEV
S2 CVD Plus:	2x Diesel 4x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S2:	6x BEV 0x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	779 T€
S2 CVD Plus:	1.210 T€
S3 Vollumstellung:	2.444 T€

Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

## - LB 03 Teil 2

### Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



#### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2028



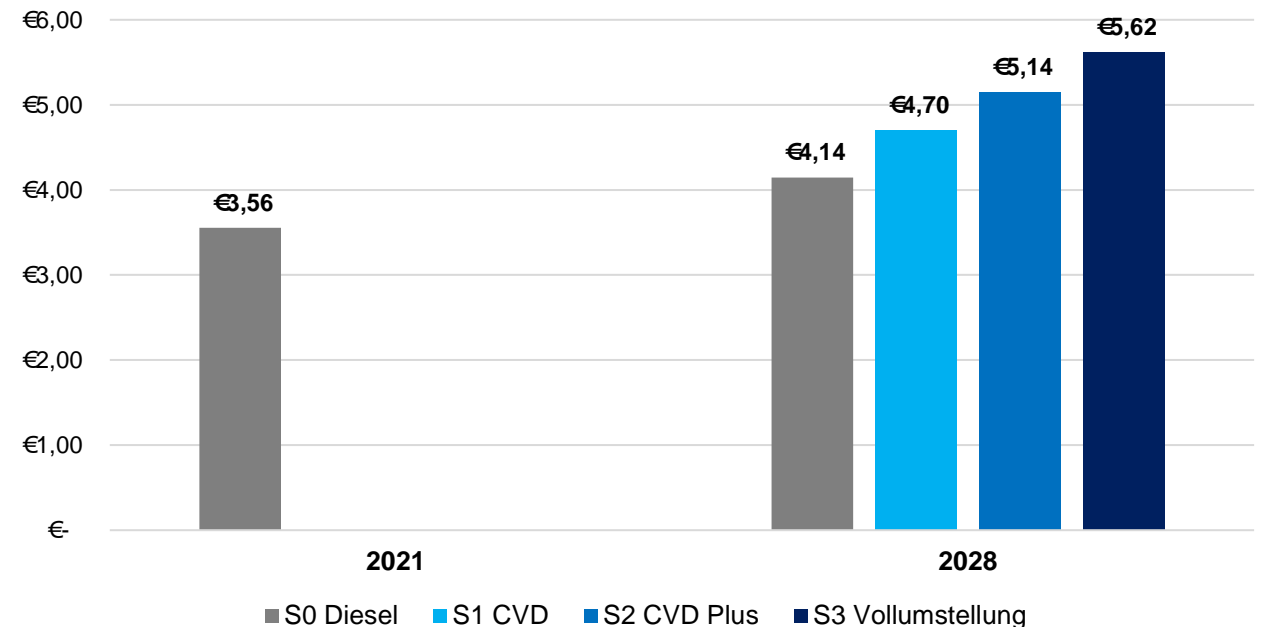
Solo

S1 CVD:	2x Diesel 2x sauber, 2x FCEV
S2 CVD Plus:	2x Diesel 4x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf:	6x FCEV 0x FCEV

#### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	1.632 T€
S2 CVD Plus:	2.916 T€
S3 Vollumstellung:	4.303 T€

Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)





# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 04 MKK N-S

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



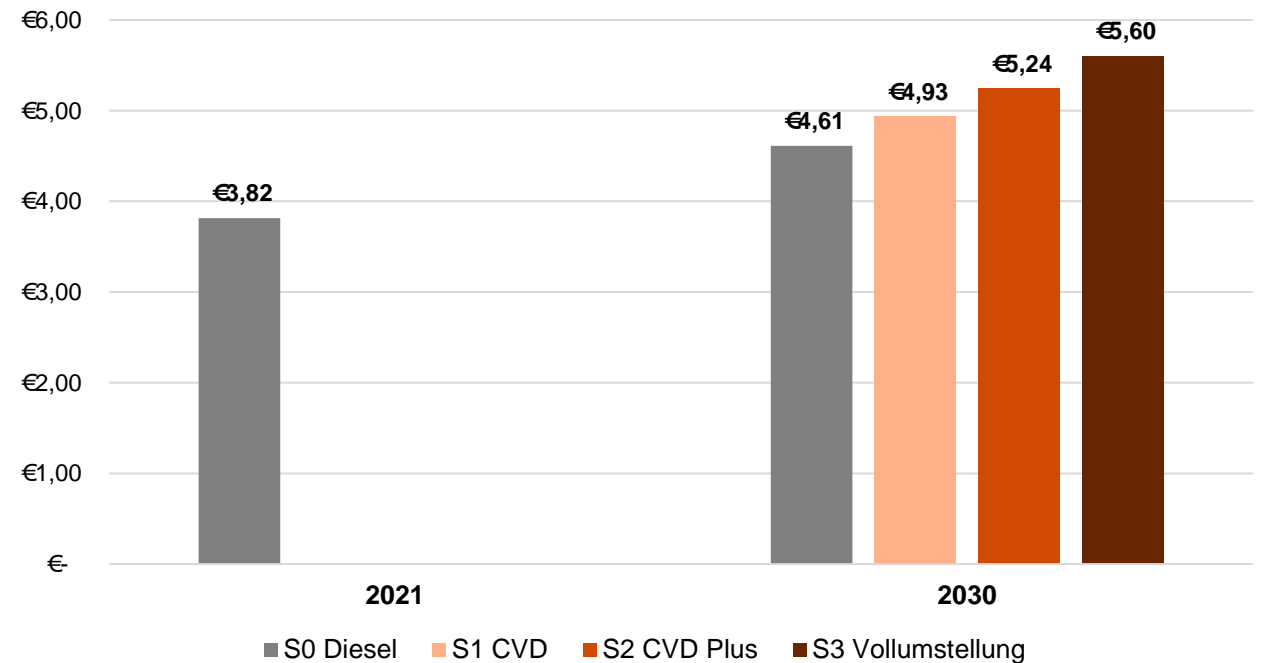
### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2030

	 Solo	 Gelenk
S1 CVD:	6x Diesel 7x sauber, 7x BEV	5x Diesel 4x sauber, 4x BEV
S2 CVD Plus:	7x Diesel 13x BEV	5x Diesel 8x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	20x BEV 0x BEV	13x BEV 0x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	3.840 T€
S2 CVD Plus:	7.364 T€
S3 Vollumstellung:	11.548 T€

### Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)





# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



## - LB 04 MKK N-S

### Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



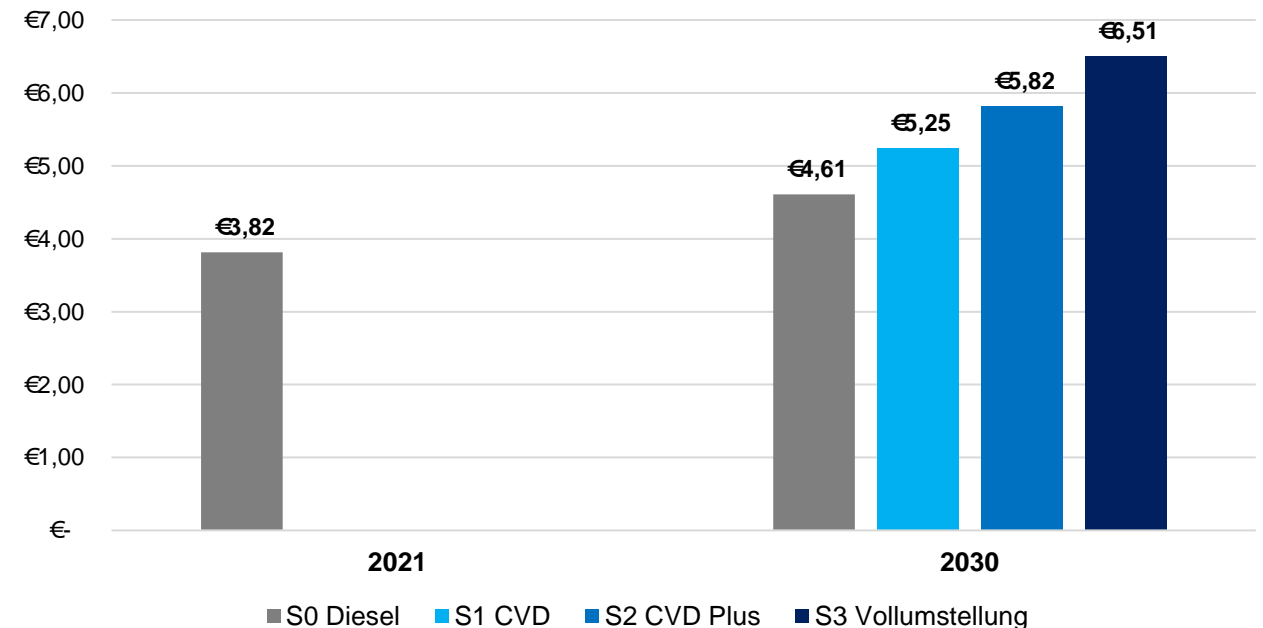
#### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2030

	 Solo	 Gelenk
S1 CVD:	6x Diesel 7x sauber, 7x FCEV	5x Diesel 4x sauber, 4x FCEV
S2 CVD Plus:	7x Diesel 13x FCEV	5x Diesel 8x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf:	20x FCEV 0x FCEV	13x FCEV 0x FCEV

#### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	7.921 T€
S2 CVD Plus:	14.867 T€
S3 Vollumstellung:	23.368 T€

#### Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)





# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 05

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



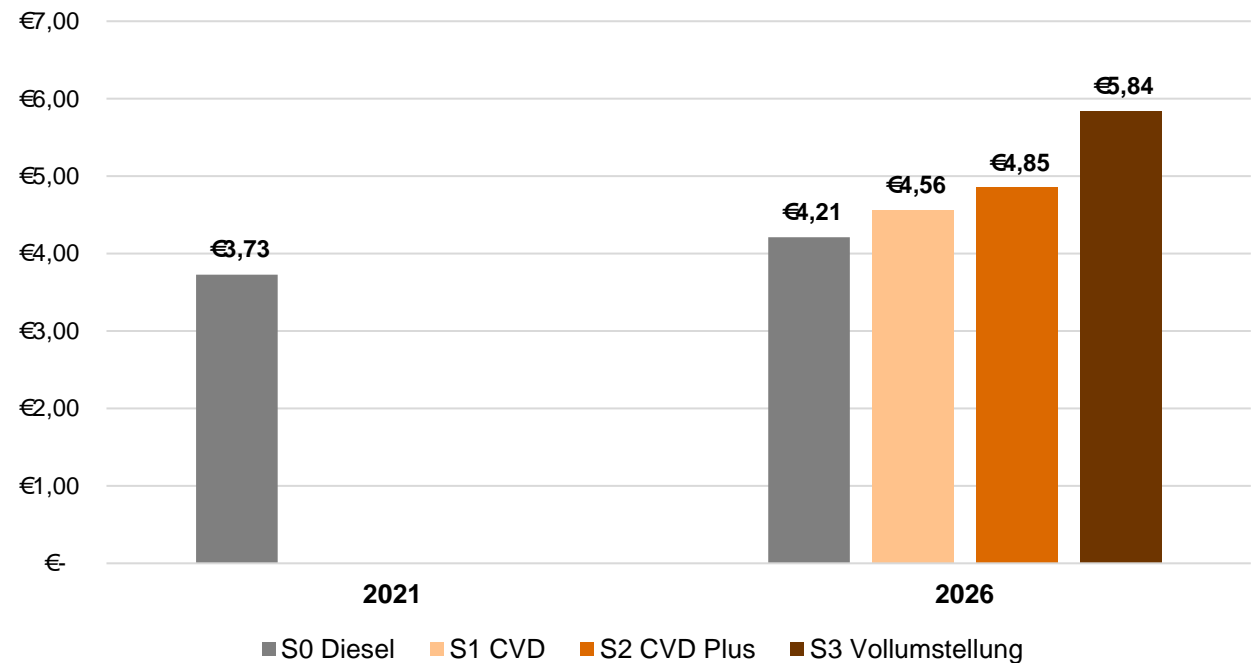
### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2026

	 Solo	 Gelenk
S1 CVD:	10x Diesel 5x sauber, 5x BEV	4x Diesel 1x sauber, 1x BEV
S2 CVD Plus:	11x Diesel 9x BEV	3x Diesel 3x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	20x BEV 5x BEV	6x BEV 1x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	3.599 T€
S2 CVD Plus:	6.086 T€
S3 Vollumstellung:	16.779 T€

### Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)





# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 05

## Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



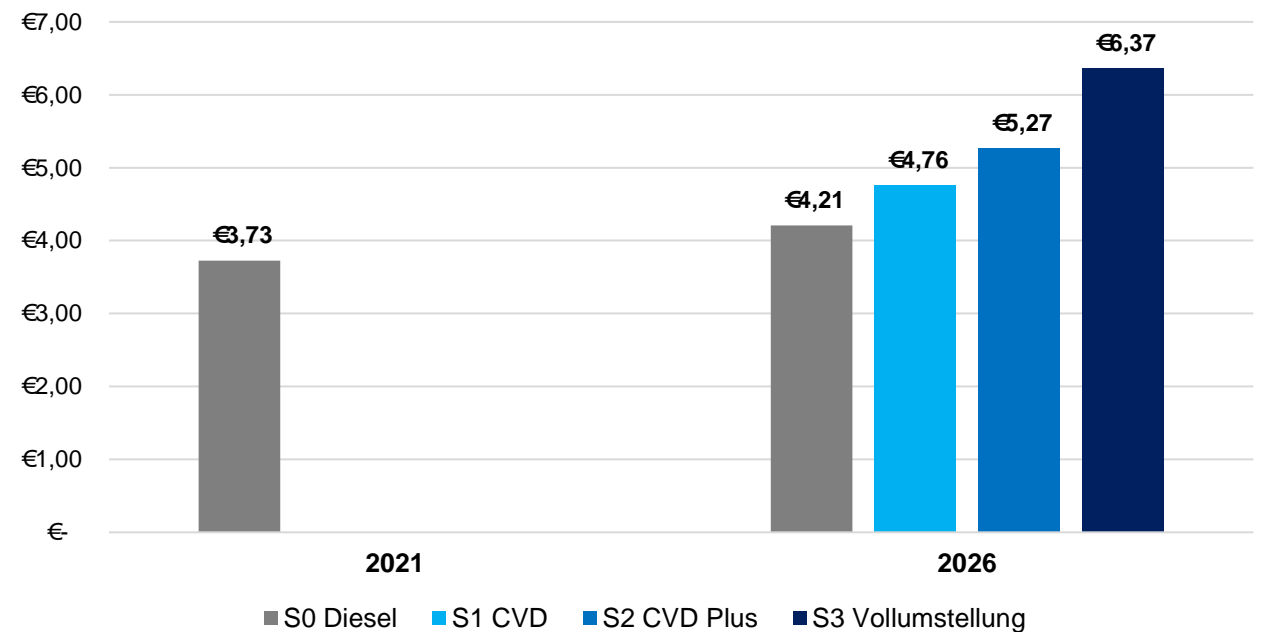
### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2026

	 Solo	 Gelenk
S1 CVD:	10x Diesel 5x sauber, 5x FCEV	4x Diesel 1x sauber, 1x FCEV
S2 CVD Plus:	11x Diesel 9x FCEV	3x Diesel 3x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	20x FCEV 2x FCEV	6x FCEV 0x FCEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	5.867 T€
S2 CVD Plus:	10.588 T€
S3 Vollumstellung:	22.886 T€

### Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

## - LB 06 Teil 1

### Technologievariante Batterie

ohne Förderung



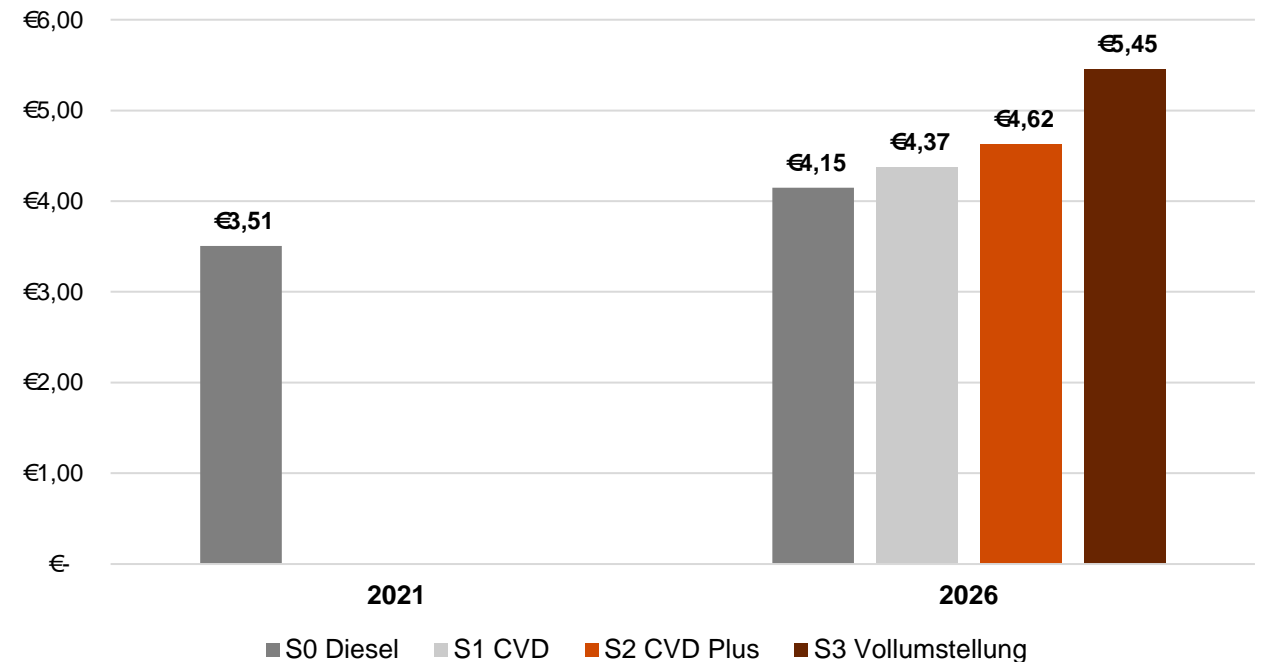
#### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2026

	 Midi	 Solo
S1 CVD:	10x Diesel 5x sauber, 5x BEV	4x Diesel 1x sauber, 1x BEV
S2 CVD Plus:	11x Diesel 9x BEV	3x Diesel 3x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	20x BEV 5x BEV	6x BEV 1x BEV

#### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	868 T€
S2 CVD Plus:	2.047 T€
S3 Vollumstellung:	5.214 T€

#### Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 06 Teil 1

## Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2026



Midi



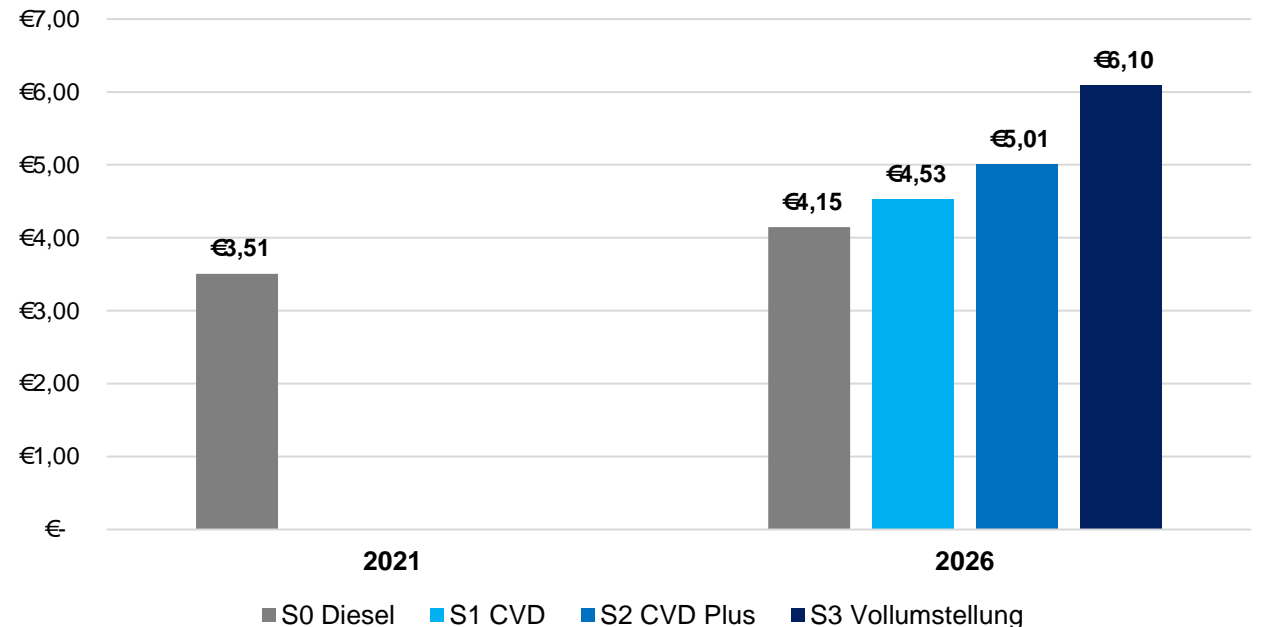
Solo

Szenario	Midi	Solo
S1 CVD:	10x Diesel 5x sauber, 5x FCEV	4x Diesel 1x sauber, 1x FCEV
S2 CVD Plus:	11x Diesel 9x FCEV	3x Diesel 3x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	20x FCEV 5x FCEV	6x FCEV 1x FCEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	1.544 T€
S2 CVD Plus:	3.654 T€
S3 Vollumstellung:	7.979 T€

### Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



## - LB 06 Teil 2

### Technologievariante Batterie

ohne Förderung



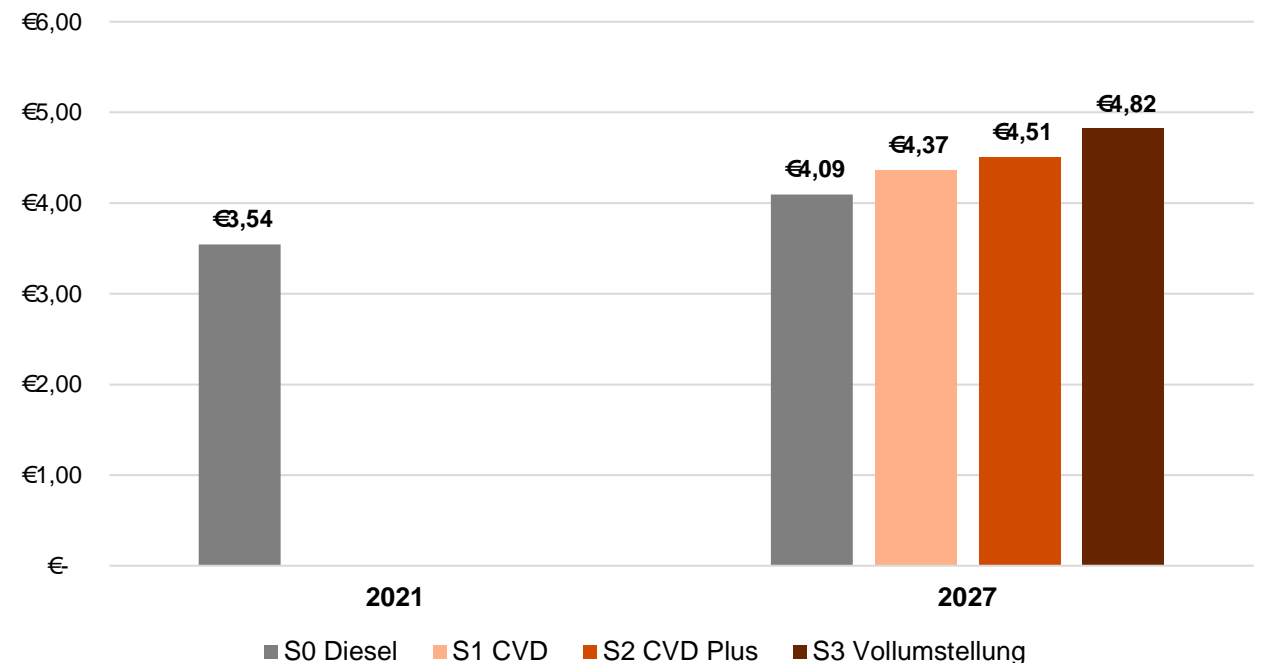
#### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2027

	 Solo	 Gelenk
S1 CVD:	5x Diesel 5x sauber, 5x BEV	0x Diesel 1x sauber, 1x BEV
S2 CVD Plus:	5x Diesel 10x BEV	1x Diesel 1x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	15 BEV 1x BEV	2x BEV 0x BEV

#### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	2.242 T€
S2 CVD Plus:	3.453 T€
S3 Vollumstellung:	6.011 T€

#### Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



## - LB 06 Teil 2

### Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



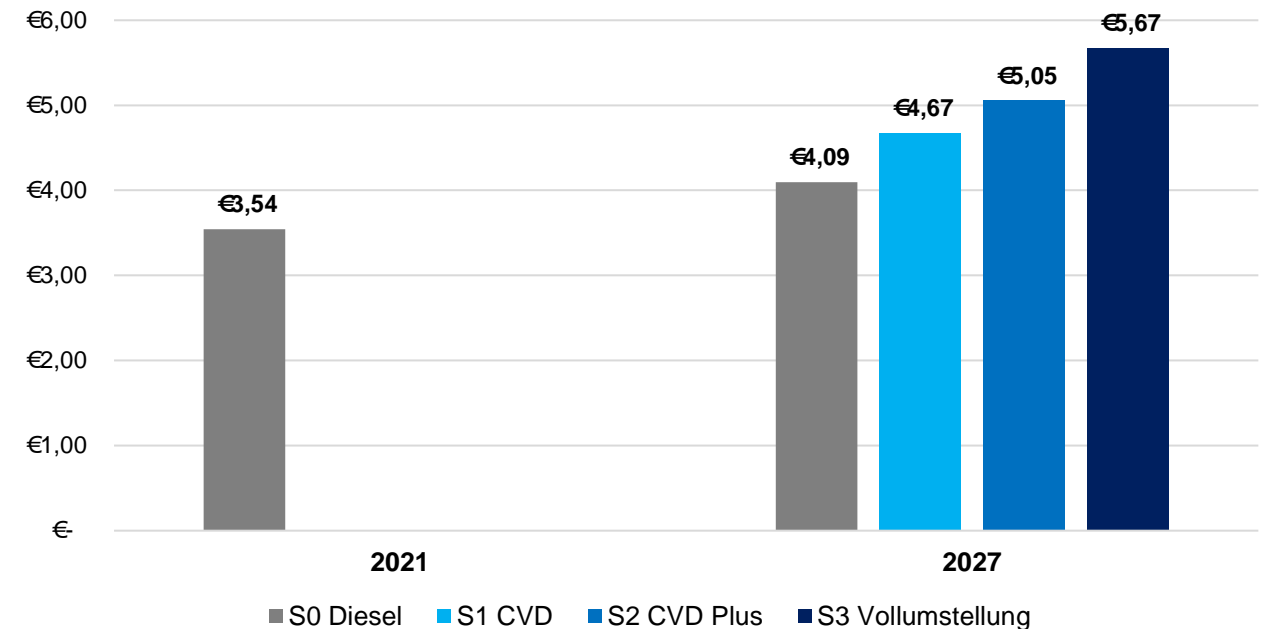
#### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2027

	 Solo	 Gelenk
S1 CVD:	5x Diesel 5x sauber, 5x FCEV	0x Diesel 1x sauber, 1x FCEV
S2 CVD Plus:	5x Diesel 10x FCEV	1x Diesel 1x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf:	15 FCEV 1x FCEV	2x FCEV 0x FCEV

#### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	4.960 T€
S2 CVD Plus:	8.365 T€
S3 Vollumstellung:	13.699 T€

#### Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 10

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2026



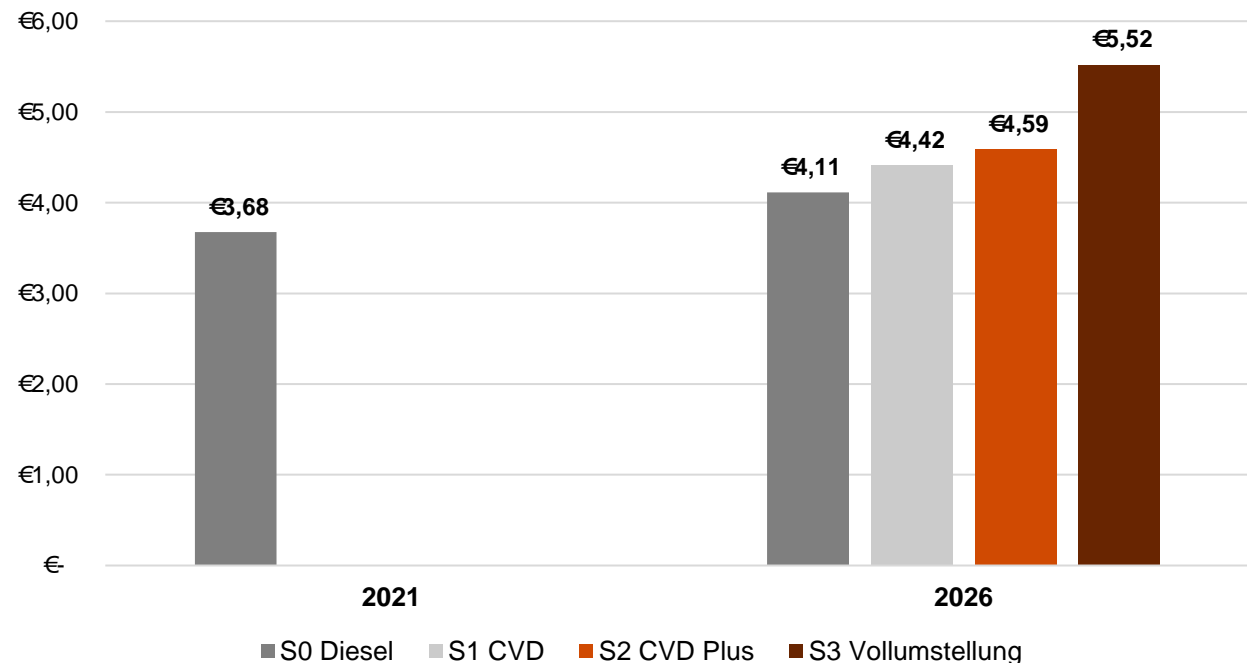
Solo

S1 CVD:	18x Diesel 8x sauber, 8x BEV
S2 CVD Plus:	19x Diesel 15x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	34x BEV 7x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	3.196 T€
S2 CVD Plus:	4.792 T€
S3 Vollumstellung:	17.324 T€

Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)





# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 10

## Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2026



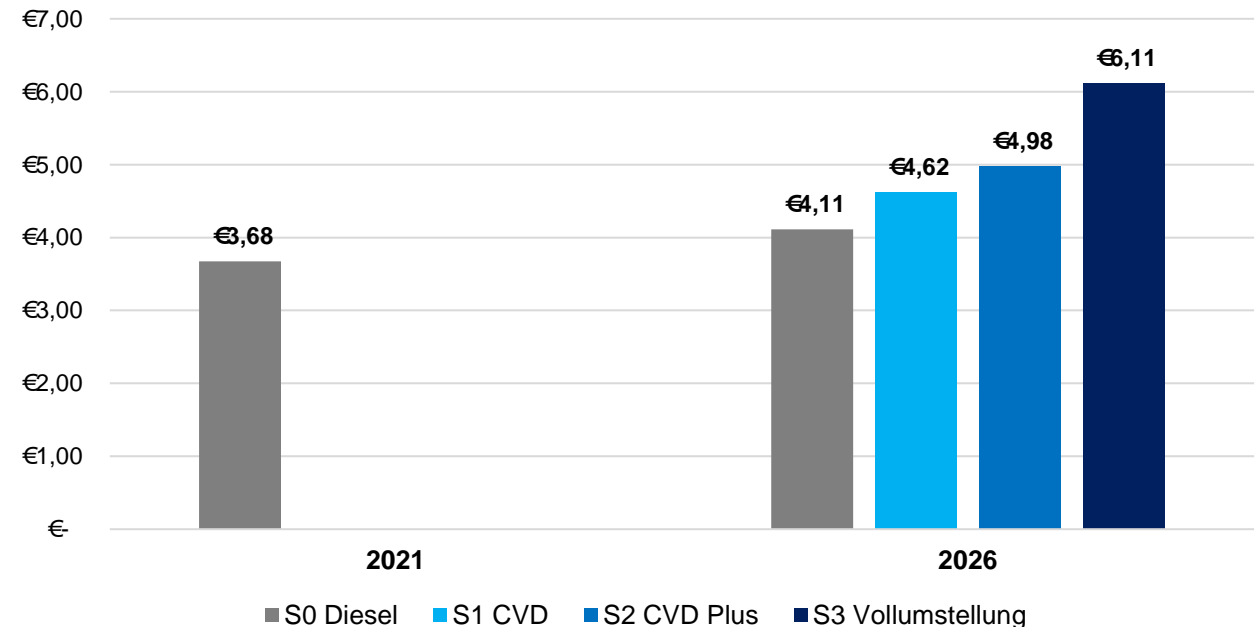
Solo

S1 CVD:	2x Diesel 2x sauber, 2x FCEV
S2 CVD Plus:	2x Diesel 4x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	6x FCEV 0x FCEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	6.041 T€
S2 CVD Plus:	10.012 T€
S3 Vollumstellung:	25.756 T€

Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - AB 30a

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2027



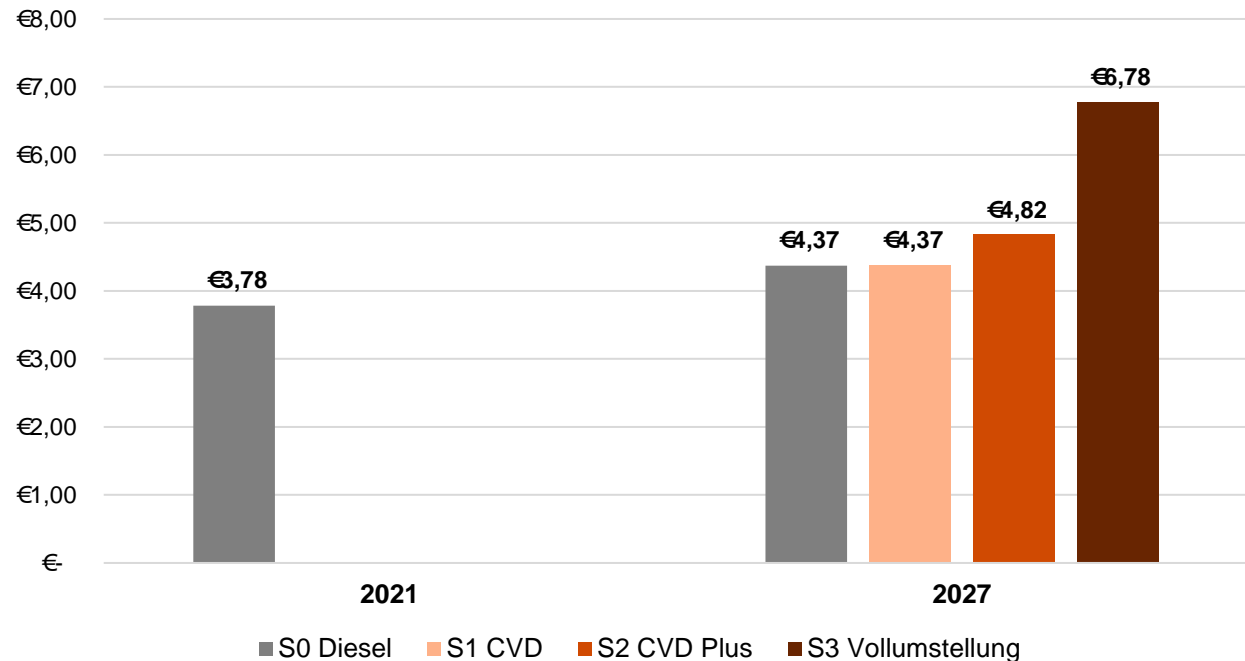
15m

S1 CVD:	2x Diesel 0x sauber, 0x BEV
S2 CVD Plus:	1x Diesel 1x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	2x BEV 1x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	0 T€
S2 CVD Plus:	307 T€
S3 Vollumstellung:	1.880 T€

Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - AB 30a

## Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2027



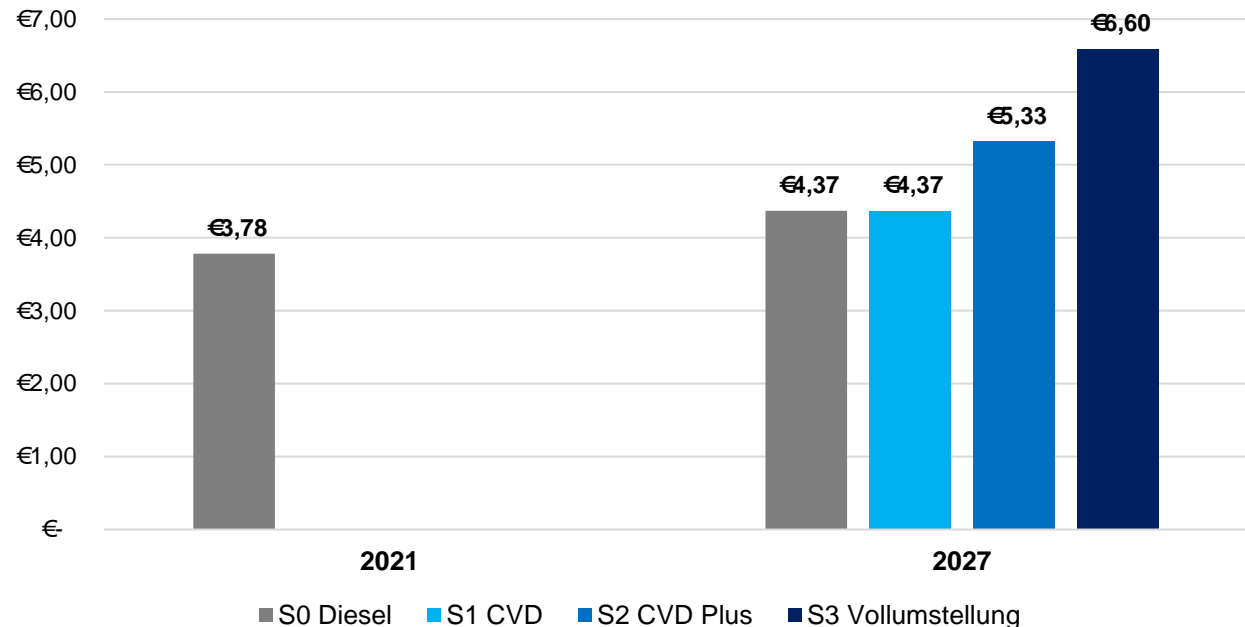
15m

S1 CVD:	2x Diesel 0x sauber, 0x FCEV
S2 CVD Plus:	1x Diesel 1x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	2x FCEV 0x FCEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	0 T€
S2 CVD Plus:	717 T€
S3 Vollumstellung:	1.781 T€

Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 08\_09 Regional

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2028



Solo



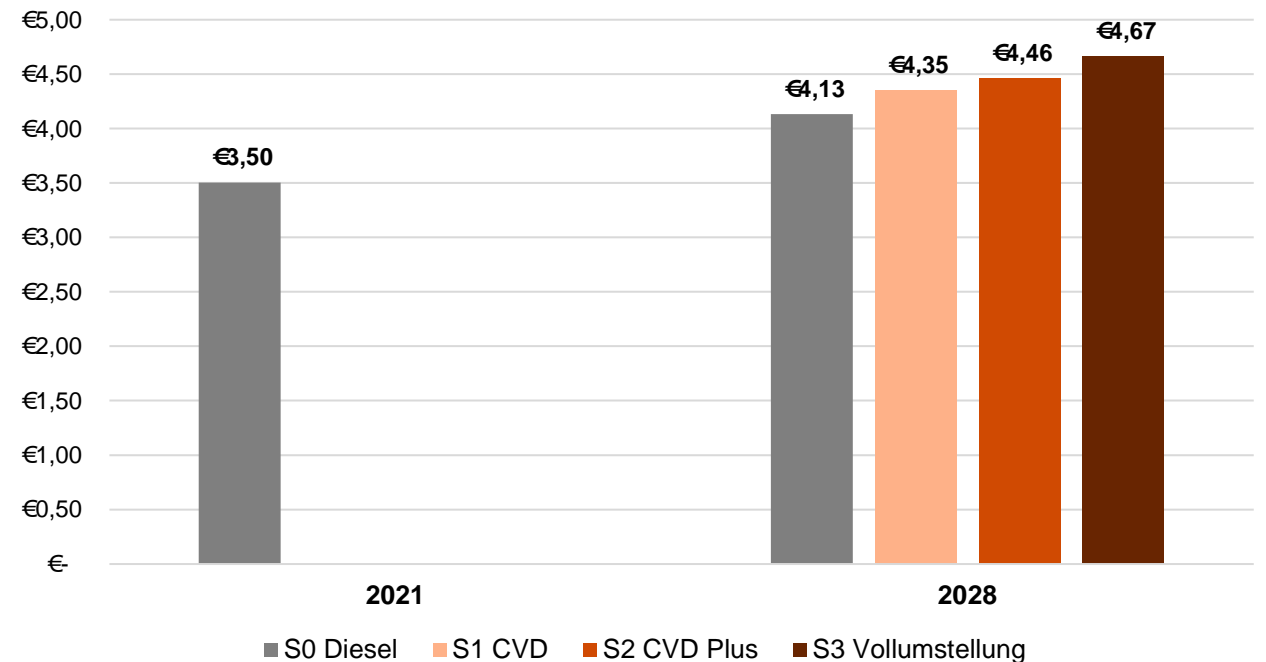
Gelenk

	Solo	Gelenk
S1 CVD:	5x Diesel 6x sauber, 6x BEV	4x Diesel 5x sauber, 5x BEV
S2 CVD Plus:	6x Diesel 11x BEV	5x Diesel 9x BEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	17x BEV 1x BEV	14x BEV 0x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	3.512 T€
S2 CVD Plus:	5.830 T€
S3 Vollumstellung:	9.632 T€

### Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 08\_09 Regional

## Technologievariante Wasserstoff

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2028



Solo



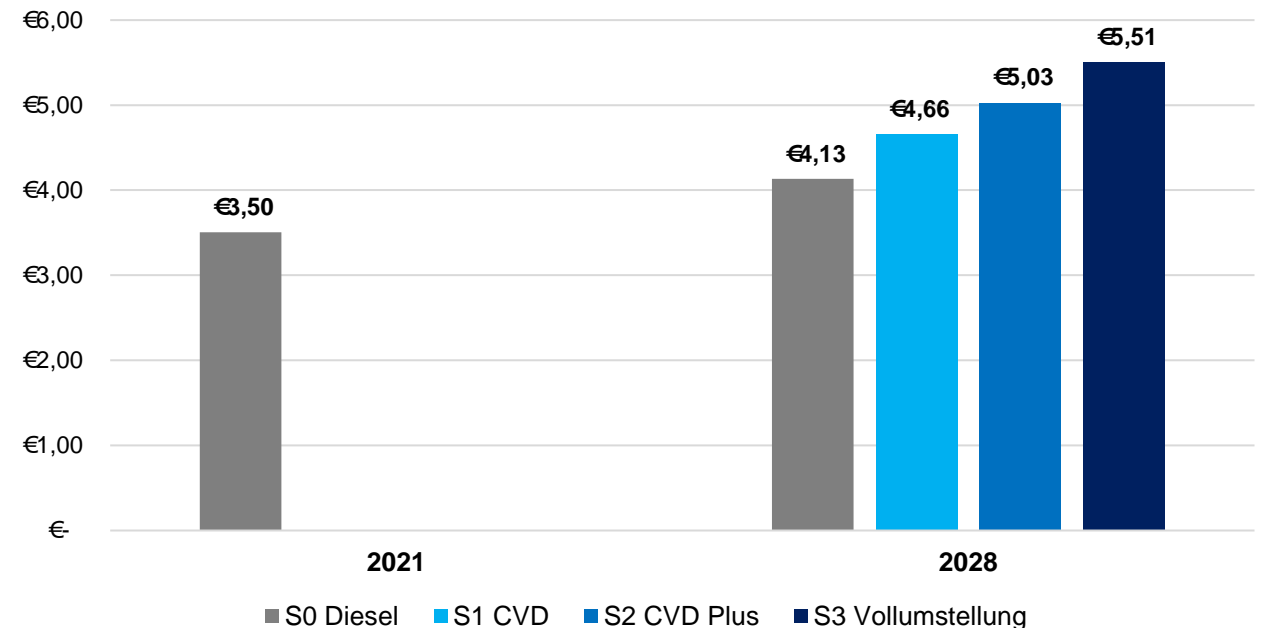
Gelenk

	Solo	Gelenk
S1 CVD:	5x Diesel 6x sauber, 6x FCEV	4x Diesel 5x sauber, 5x FCEV
S2 CVD Plus:	6x Diesel 11x FCEV	5x Diesel 9x FCEV
S3 Vollumstellung: Mehrbedarf S3:	17x FCEV 0x FCEV	14x FCEV 0x FCEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	10.449 T€
S2 CVD Plus:	17.247 T€
S3 Vollumstellung:	26.663 T€

### Kostensätze der Szenarien Brennstoffzellenbusse ohne Förderung (€/km)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - LB 08\_09 Stadtverkehr

## Technologievariante Batterie

ohne Förderung



### Fuhrparkstruktur der Szenarien ab 2028



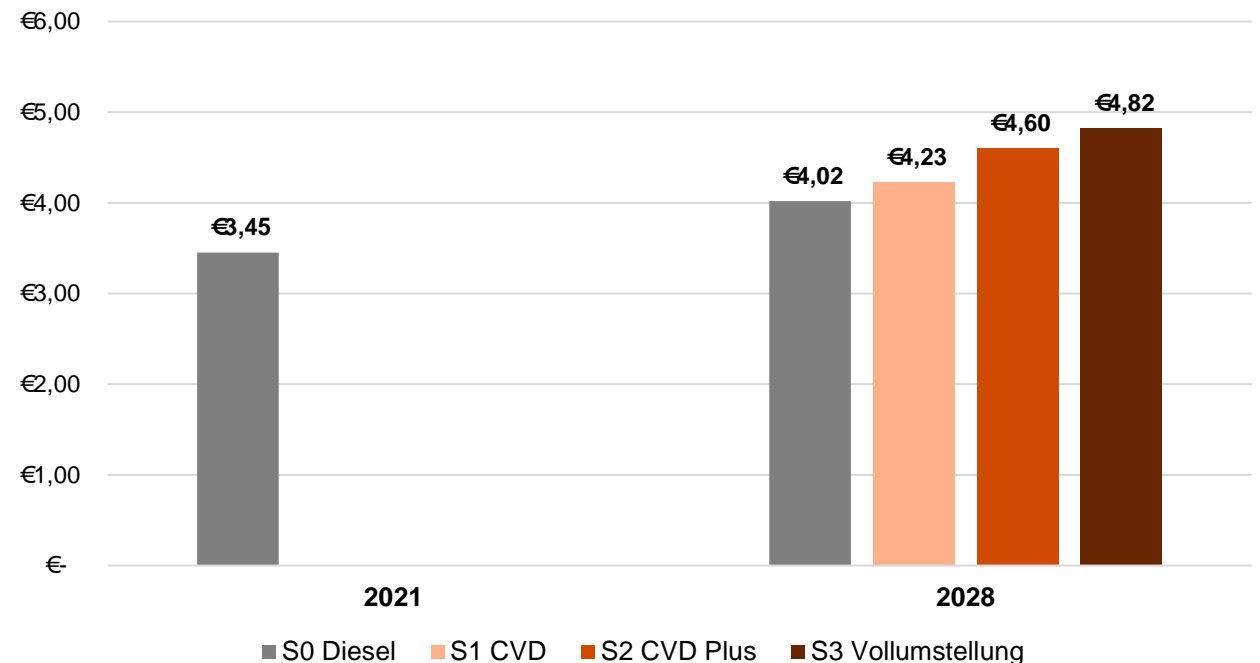
*Midi*

S1 CVD:	3x Diesel 2x sauber, 2x BEV
S2 CVD Plus:	2x Diesel 5x BEV
S3 Vollumstellung:	7x BEV
Mehrbedarf S3:	0x BEV

### kumulierte Mehrkosten über 10 Jahre nach Umstellung

S1 CVD:	582 T€
S2 CVD Plus:	1.578 T€
S3 Vollumstellung:	2.160 T€

Kostensätze der Szenarien Batteriebusse ohne Förderung (€/km)



# Bei unterstellten Förderprämissen analog des hessischen Landesprogramms besteht ein Förderpotenzial zwischen ca. 8 und 34 Mio. € für die betrachteten Szenarien

## Annahmen Förderung:

- Laufzeit bis einschließlich 2028
- Förderung von 40 % der Investitionsmehrkosten Fahrzeuge
- Förderung von 40 % der Investitionskosten für Lade- und Werkstattinfrastruktur



	Technologievariante Batterie			Technologievariante Wasserstoff		
	Förderpotenzial S1 "Einhaltung der CVD"	Förderpotenzial S2 "CVD Plus"	Förderpotenzial S3 "Vollumstellung"	Förderpotenzial S1 "Einhaltung der CVD"	Förderpotenzial S2 "CVD Plus"	Förderpotenzial S3 "Vollumstellung"
LB 01 (05/2027)	1.293 T€	2.210 T€	3.539 T€	1.540 T€	2.805 T€	4.343 T€
LB 02 (06/2027)	110 T€	249 T€	392 T€	110 T€	249 T€	392 T€
LB 03 T1 (12//2025)	280 T€	952 T€	2.280 T€	351 T€	1.163 T€	2.469 T€
LB 03 T2 (12/2027)	334 T€	612 T€	1.028 T€	393 T€	729 T€	1.065 T€
LB 04 (12/2029)						
LB 05 (12/2025)	1.000 T€	2.096 T€	6.159 T€	1.197 T€	2.490 T€	5.991 T€
LB 06 T1 (12/2025)	321 T€	788 T€	2.029 T€	386 T€	933 T€	2.087 T€
LB 06 T2 (06/2027)	957 T€	1.733 T€	2.822 T€	1.142 T€	2.072 T€	3.378 T€
LB 10 (07/2026)	1.283 T€	1.790 T€	6.341 T€	1.546 T€	2.848 T€	6.756 T€
AB 30a (12/2026)	<i>keine Umstellung</i>	149 T€	446 T€	<i>keine Umstellung</i>	198 T€	397 T€
LB 08_09R (06/2028)	1.858 T€	3.404 T€	5.387 T€	2.177 T€	3.984 T€	6.146 T€
LB 08_09S (06/2028)	231 T€	563 T€	776 T€	231 T€	563 T€	776 T€
<b>Summe KVG MKK</b>	<b>7.668 T€</b>	<b>14.545 T€</b>	<b>31.200 T€</b>	<b>9.074 T€</b>	<b>18.034 T€</b>	<b>33.800 T€</b>

# Durch die Umstellung auf saubere und emissionsfreie Antriebe besteht ein Einsparpotenzial von über 100.000 t CO<sub>2</sub>

## Prämissen der Emissionsbetrachtung

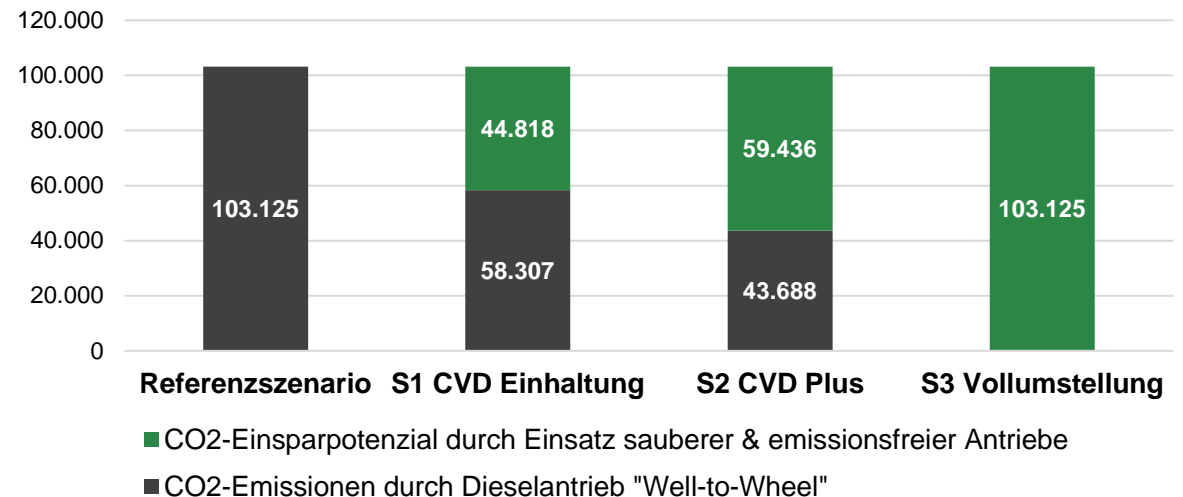
- Busse mit emissionsfreien Antrieben (BEV und FCEV) werden ausschließlich mit grünem Strom bzw. Wasserstoff betrieben  
= 0 gCO<sub>2</sub>/kWh bzw. 0 gCO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub>
- Emissionsfaktor Diesel (B7) „Well to Wheel“, also von der Quelle bis zum Rad = 87,6 gCO<sub>2</sub>/MJ = 3,11 kgCO<sub>2</sub>/l \*
- Emissionsfaktor HVO100 (sauberer Kraftstoff) entsprechend europäischer Verordnung Vorgabe mind. 50 % geringer\*\*  
= 1,55 kgCO<sub>2</sub>/l

Berechnungen durch ifeu gGmbH, Basis: EN16258

[https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/klimabilanz-von-strombasierten-antrieben-und-kraftstoffen1/file/pdf/?tx\\_agorathemen\\_themenliste%5Babbildung%5D=2228&cHash=1a2b106a3e807b83ae496a3ffa0f20f8](https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/klimabilanz-von-strombasierten-antrieben-und-kraftstoffen1/file/pdf/?tx_agorathemen_themenliste%5Babbildung%5D=2228&cHash=1a2b106a3e807b83ae496a3ffa0f20f8)

\*\* <https://services.totalenergies.lu/de/geschäftskunden/kraftstoffe/hvo100-von-totalenergies-ist-ein-kraftstoff>

Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und des Einsparpotenzials nach Szenarien über alle LB (in t CO<sub>2</sub>, über 10 Jahre Laufzeit der jeweiligen Verträge)



➔ Zum Vergleich: eine Person verursacht in Deutschland (Stand 2021) insgesamt **11,7 Tonnen** Treibhausgase in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Durchschnitt

➔ Das Einsparpotenzial in Szenario 3 entspricht den CO<sub>2</sub>-Emissionen von rund **5.500 Pkw** (Einsatz 10 Jahre, 12.500 km p.a., durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionen: 150,5 g/km, Pkw mit Otto-Motor (Benzin) Quellen: KBA 2022)



# Das Emissionseinsparpotenzial variiert je nach Linienbündel auf Grund der unterschiedlichen Flottenstrukturen und Migrationspfade

Laufzeit 10 Jahre

	Referenzszenario	S1 CVD Einhaltung		S2 CVD Plus		S3 Vollumstellung	
	Emissionen durch Dieselantrieb "Well-to-Wheel" (in t CO <sub>2</sub> )	Emissionen durch Dieselantrieb "Well-to-Wheel" (in t CO <sub>2</sub> )	Emissions-einspar-potenzial	Emissionen durch Dieselantrieb "Well-to-Wheel" (in t CO <sub>2</sub> )	Emissions-einspar-potenzial	Emissionen durch Dieselantrieb "Well-to-Wheel" (in t CO <sub>2</sub> )	Emissions-einspar-potenzial
LB 01 (05/2027)	11.620	6.037	5.583	4.176	7.444	0	11.620
LB 02 (06/2027)	1.561	780	780	520	1.040	0	1.561
LB 03 T1 (12//2025)	6.303	5.003	1.300	3.368	2.935	0	6.303
LB 03 T2 (12/2027)	3.154	1.577	1.577	1.051	2.102	0	3.154
LB 04 (12/2029)	14.409	7.366	7.042	5.262	9.147	0	14.409
LB 05 (12/2025)	11.916	7.842	4.074	6.396	5.520	0	11.916
LB 06 T1 (12/2025)	4.239	3.052	1.187	2.317	1.922	0	4.239
LB 06 T2 (06/2027)	9.477	4.412	5.065	3.377	6.100	0	9.477
LB 10 (07/2026)	14.379	9.277	5.102	8.012	6.367	0	14.379
AB 30a (12/2026)	942	942	0	471	471	0	942
LB 08_09R (06/2028)	22.493	10.515	11.979	7.986	14.508	0	22.493
LB 08_09S (06/2028)	2.631	1.504	1.128	752	1.879	0	2.631
<b>Summe KVG MKK</b>	<b>103.125</b>	<b>58.307</b>	<b>44.818</b>	<b>43.688</b>	<b>59.436</b>	<b>0</b>	<b>103.125</b>

# Bei der Entscheidung zum Umstellungsumfang und –tempo der jeweiligen Linienbündel sind folgende Kriterien zu berücksichtigen

## Zeitpunkt Neuvergabe

Bewertung der Anforderungen des SaubFahrzeugBeschG bezogen auf die neu zu vergebenden Linienbündel, Einbezug der möglichen Verlängerungsoptionen

**adressierte Fragestellung:**  
Welche Linienbündel müssen in welchem Umfang in der ersten und zweiten CVD-Periode entsprechend der Vergabeplanung bis 2031 umgestellt werden?

1

im Rahmen der Studie bewertet

## Machbarkeit Umläufe

Einbezug der Ergebnisse der Umlaufanalyse

**adressierte Fragestellungen:**  
Welche Linienbündel eignen sich grundsätzlich für eine Umstellung gemäß der durchgeführten Umlaufanalyse?

Für welche Linienbündel ist der geringste Fzg. Mehrbedarf zu erwarten?

2

## Betriebshöfe und Energieversorgung

Einschätzung des infrastrukturellen Aufbaupotenzials für Lade-/ Tankinfrastruktur an aktuellen Standorten, Sicherstellung der benötigten Anschlussleistung

**adressierte Fragestellungen:**  
Welche Linienbündel weisen standortbezogen das höchste infrastrukturelle Aufbaupotenzial auf? Bestandsinfrastruktur?

Welche Linienbündel sind standortbezogen absehbar nicht umstellbar?

3

im Rahmen der Studie nicht oder nur teilweise bewertet

## Strategisches Potenzial

strategische Komponente, Einbezug eines bestehenden Commitments des aktuellen oder zukünftigen Neubetreibers, weitere strategische Überlegungen

Einbezug Knotenpunkte im Liniennetz

**adressierte Fragestellungen:**  
Welche der aktuellen Betreiber forcieren derzeit die Umstellung (ggf. erste Fahrzeuge) oder stehen grds. für Umstellung bereit? Wo bestehen Hemmnisse?

Für welche Linienbündel stehen ggf. Neubetreiber mit hohem Commitment zur Umstellung in den Startlöchern?

4

## Entscheidung für Migrationspfad in der Spannweite der Szenarien:

Szenario 1 „Einhaltung CVD“  
22,5 % sauber + emissionsfrei P1  
32,5 % sauber +emissionsfrei P2

Szenario 2 „CVD Plus“  
45 % emissionsfrei P1  
65 % emissionsfrei P2

Szenario 3 „Vollumstellung“  
100 % emissionsfrei



# Ableitung Migrationspfade CVD Periode 1 (bis 12/2025)



Linienbündel	Laufzeit Ende	Zeitpunkt späteste Neuverg.*	Fahrzeug	Anzahl Diesel Bus +Reserve	Anzahl CVD/ CVD+ (emi.frei)	Anzahl E-Bus machbar LZ Ende	Anzahl E-Bus machbar Ende CVD P2	Abschätzung Mehrbedarf Vollumstellung	Einschätzung Betriebshöfe	strategisches Potenzial
LB 03 Teil 1 (Racktours)	13.12.2025	12/2030	Solo	9+2	3/7	6	6	0-2	abhängig von Energieversorgung im Nachgang zu bewerten	im Nachgang zu bewerten
			Gelenk	1+1				0		
			Klein	1+1				1		
LB 05 (Stroh)	13.12.2025	12/2030	Solo	17+3	6/12	9	9	3-5	abhängig von Energieversorgung im Nachgang zu bewerten	im Nachgang zu bewerten
			Gelenk	5+1				0-1		
LB 06 Teil 1 (RDG Gründau)	13.12.2025	12/2030	Solo	7+2	2/5	6	7	0		
			Midi	1+1				1		
LB 10 (VGF Fulda)	31.07.2026	07/2031	Solo	29+5	8/15	12	22	6-7	abhängig von Energieversorgung im Nachgang zu bewerten	besonders herausfordernd, da 8 Einzeldepots!
<b>Summe KVG MKK</b>				<b>70+16</b>	<b>19/39</b>	33				

\* Bedarf weiterer Prüfung

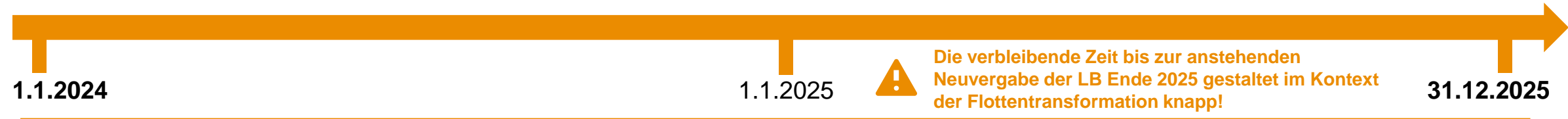
Relevant ist das Szenario „CVD“. Zur Erfüllung müssen insgesamt **19 E-Busse** in Einsatz gebracht werden.

Die Vorgabe (19 E-Busse) kann aus **verschiedenen Kombinationen** der Linienbündel erfüllt werden. Dabei wird ein **Eins-zu-Eins-Ersatz** ohne Sondermaßnahmen unterstellt.

# Es bestehen unterschiedliche Umstellungsoptionen innerhalb der ersten CVD-Periode – hier drei Beispiele

## Zielgröße KVG MKK 1. CVD-Periode: 19 Busse

<b>Option 1 –</b> <b>„minimale Anzahl umzustellender Linienbündel“</b> <i>Einsatzpotenzial von 21 Bussen</i>	<b>LB 05</b> (NV zu 12/2025) Einsatzpotenzial 9 aus 26	<b>LB 10</b> (NV vorzeitig 12/2025) Einsatzpotenzial 12 aus 34	⚠ aber: LB 10 besonders herausfordernd, da 8 Einzeldepots! ⌵ ⌵	
<b>Option 2 –</b> <b>„Minimierung Komplexität“</b> <i>Einsatzpotenzial von 21 Bussen</i>	<b>LB 03 Teil 1</b> (NV 12/2025) Einsatzpotenzial 6 aus 15	<b>LB 05</b> (NV zu 12/2025) Einsatzpotenzial 9 aus 26	<b>LB 06 Teil 1</b> (NV 12/2025) Einsatzpotenzial 6 aus 11 ⌵ ⌵ ⌵	
<b>Option 3 –</b> <b>„Einbezug aller LB“</b> <i>Einsatzpotenzial von 33 Bussen</i>	<b>LB 03 Teil 1</b> (NV 12/2025) Einsatzpotenzial 6 aus 15	<b>LB 05</b> (NV zu 12/2025) Einsatzpotenzial 9 aus 26	<b>LB 06 Teil 1</b> (NV 12/2025) Einsatzpotenzial 6 aus 11	<b>LB 10</b> (NV vorzeit.12/2025) Einsatzpotenzial 12 aus 34 ⌵ ⌵ ⌵ ⌵



➤ Das jeweilige Einsatzpotenzial (machbare Umläufe) kann je Linienbündel unterschiedlich ausgeschöpft werden, solange die übergeordnete Zielgröße der KVG MKK (hier 19 Busse) erreicht wird. Es besteht zudem die Möglichkeit einer Umstellung/Neuzuschnitt der LB, dann auch mit mehreren Betreibern pro LB. Dies gilt es zeitnah zu prüfen.

➤ Es ist zu empfehlen, die Umstellungsoptionen im Nachgang der Studie entsprechend der Kriterien 3 (Betriebshof und Energieversorgung) und 4 (strategisches Potenzial) zu bewerten!

# Im Zuge der Flottentransformation müssen unterschiedliche strategische Aspekte einbezogen werden

**Neugestaltung des Leistungsbildes der LB:**  
mit ggf. Neuzuschnitt und Verteilung auf  
mehrere Betreiber pro LB

## **Betreiber:**

Identifizierung und Berücksichtigung  
von Betreibern mit Transformationsplänen

## **Fokussierung auf wenige E-Betreiber:**

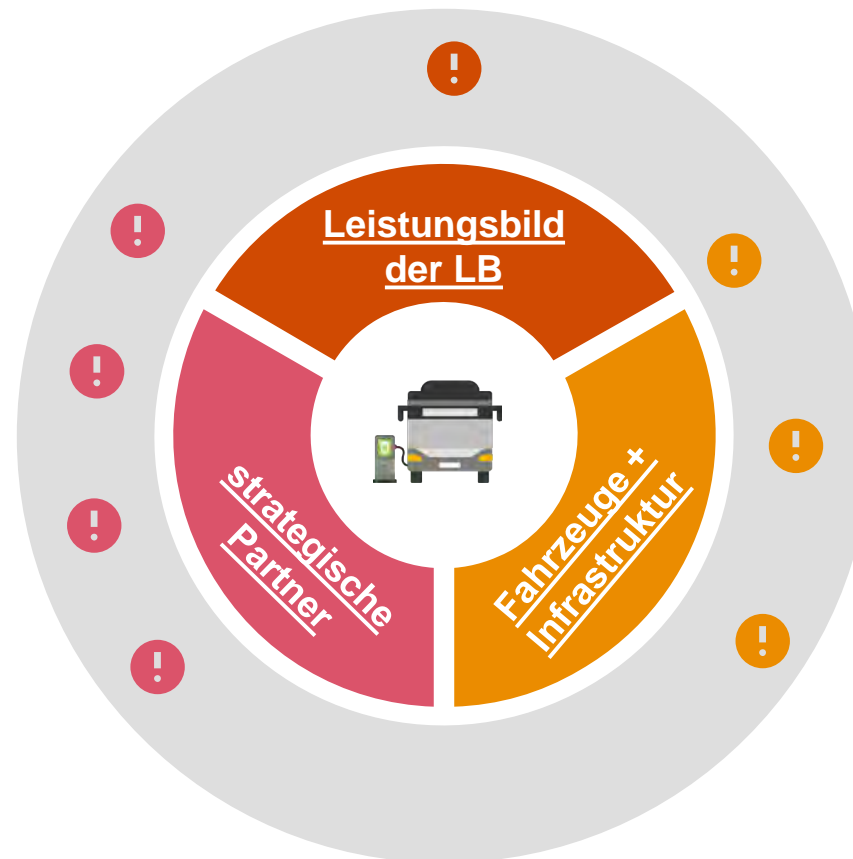
ggf. Schaffung von „E-Mobilitäts-  
Ankerpunkten“ im MKK

## **Standorte:**

Identifizierung von geeigneten  
Betriebsstandorten (Energiebereitstellung  
+ Depotintegration)

## **Energiebereitstellung:**

Einbezug der jeweiligen Netzbetreiber



## **Betreibermodelle Infrastruktur:**

Bereitstellung der notwendigen Lade- bzw.  
Tankinfrastruktur durch den MKK

## **Entwicklung Fahrzeugpreise:**

im Kontext ausbleibender Förderungen  
ist eine Degression der Fahrzeugpreise  
in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre bei  
gleichzeitiger Produktverbesserung  
zu erwarten

## **Verlängerungsoptionen der Verträge:**

können ggf. einen Zeitgewinn bewirken



# Ableitung Migrationspfade CVD Periode 2 (bis 12/2030)



Linienbündel	Laufzeit Ende	Zeitpunkt späteste Neuverg. *	Fahrzeug	Anzahl Diesel Bus +Reserve	Anzahl CVD/ CVD+ (emi.frei)	Anzahl e-Bus machbar LZ Ende	Anzahl e-Bus machbar zur Ende CVD P2	Abschätzung Mehrbedarf Vollumstellung	Einschätzung Betriebshöfe	strategisches Potenzial
AB 30a (Stroh)	12.12.2026	12/2029	15m	1+1	1/1	0	0	1	abhängig von Energieversorgung im Nachgang zu bewerten	im Nachgang zu bewerten
LB 01 (SV Maintal, Direktvergabe)	31.05.2027	unbekannt (Annahme 06/28)	Solo	19+3	8/16	19	19	0-1		
			Gelenk	2+1				0		
LB 02 (Stroh)	01.06.2027	07/2028	Klein	5+1	2/4	2	2	0-1		
LB 03 Teil 2 (ARGE)	12.12.2027	12/2030	Solo	5+1	2/4	3	3	1		
LB 06 Teil 2 (Heuser)	01.06.2027	07/2028	Solo	13+2	6/11	8	8	0-1		
			Gelenk	1+1				0		
LB 08_09 R (RVMK)	24.06.2028	06/2030	Solo	14+3	14/28	35	35	0-1		
			Gelenk	22+4				0		
LB 04 MKK N-S (DB Regio)	08.12.2029	offen	Solo	17+3	11/21	28	28	0		
			Gelenk	11+2				0		
<b>Summe KVG MKK</b>				110+22	<b>44/85</b>	116				

\* Bedarf weiterer Prüfung

# Es bestehen unterschiedliche Umstellungsoptionen innerhalb der zweiten CVD-Periode – hier drei Beispiele unter der Prämisse „minimale Anzahl umzustellender Linienbündel“

## Zielgröße KVG MKK 2. CVD-Periode: 44 Busse

**Option 1 –**  
Einsatzpotenzial von 54 Bussen

▼ LB 01 (NV zu 06/2027)  
Einsatzpotenzial 19  
aus 25 Bussen

▼ LB 08\_09 R (NV zu 06/2028)  
Einsatzpotenzial 35 aus 43  
Bussen

**Option 2 –**  
Einsatzpotenzial von 55 Bussen

▼ ▼ LB 01 (NV zu 06/2027) LB 06 Teil 2 (NV zu 06/2027)  
Einsatzpotenzial 19 Einsatzpotenzial 8  
aus 25 Bussen aus 17 Bussen

▼ LB 04 MKK N-S (NV zu 12/2029)  
Einsatzpotenzial 28  
aus 33 Bussen

**Option 3 –**  
Einsatzpotenzial von 63 Bussen

▼ LB 08\_09 R (NV zu 06/2028)  
Einsatzpotenzial 35 aus 43  
Bussen

▼ LB 04 MKK N-S (NV zu 12/2029)  
Einsatzpotenzial 28  
aus 33 Bussen



Das jeweilige Einsatzpotenzial (machbare Umläufe) kann je Linienbündel unterschiedlich ausgeschöpft werden, solange die übergeordnete Zielgröße der KVG MKK (hier 44 Busse) erreicht wird.



Es ist zu empfehlen, die Umstellungsoptionen im Nachgang der Studie entsprechend der Kriterien 3 (Betriebshof und Energieversorgung) und 4 (strategisches Potenzial) zu bewerten!

# Fazit und Empfehlungen für die Umstellungsstrategie im Main-Kinzig-Kreis

Ergebnis

- 1** Die KVG MKK ist im Zuge der Neuvergabe der Verkehrsdienstleistungen ihrer Linienbündel zur **Einhaltung des SaubFahrzeugBeschG verpflichtet**. Das Gesetz gibt verbindliche Beschaffungsquoten für saubere und emissionsfreie Busse vor, deren Erfüllung die KVG kumuliert über alle neuvergebenen Linienbündel jeweils zum Ende der ersten bzw. zweiten Periode (Ende des Jahres 2025 bzw. 2030) sicherstellen muss.
- 2** Das **Marktangebot** für emissionsfreie Busse ist bereits heute **umfangreich und ausreichend**, um Fahrzeuge zu beschaffen, die diesen gesetzlichen Anforderungen genügen. Beim batterieelektrischen Antrieb gilt dies für alle auf den KVG-Linienbündeln relevanten Fahrzeuggrößen, beim Brennstoffzellenantrieb fehlt derzeit jedoch das Angebot kleinerer Fahrzeuge (<10m).
- 3** Im Zuge der derzeit auf EU-Ebene diskutierten und vor einem Beschluss stehenden **CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte** für die Hersteller von Stadtbussen ab dem Jahr 2030 bzw. mit dem vorgesehenen „Verbrennerverbot“ ab 2035 wird sich das Marktangebot für Neufahrzeuge mit konventionellen Dieselantrieb herstellerseitig sukzessive deutlich reduzieren.
- 4** Die **umlaufbezogene Analyse** hat ein grundsätzlich **positives Bild** hinsichtlich des Umstellungspotenzials auf Batteriebusse ergeben (**wenig Fahrzeugmehrbedarf** bei sukzessiver Umstellung der Linienbündel). Das Einsatzpotenzial reicht aus, um die Anforderungen des SaubFahrzeugBeschG zu erfüllen.
- 5** **Brennstoffzellenbusse** sind als Technologiealternative aufgrund des deutlich **höheren Energiebedarfs** und der deutlich **höheren Gesamtkosten** nur dann zu empfehlen, wenn es aufgrund anderer Randbedingungen (insbesondere Energieversorgung) keine Alternative gibt.





# Fazit und Empfehlungen für die Umstellungsstrategie im Main-Kinzig-Kreis

Ergebnis

- 6** Die Stromversorgung an den Depotstandorten der Verkehrsunternehmen ist aktuell noch nicht final geklärt, das heutige **Stromnetz** wird jedoch **umfangreich ausgebaut** werden müssen (Detailuntersuchung im Nachgang erforderlich).
- 7** Begonnen werden sollte die Umstellung mit den Linienbündeln, an deren **Standorten** die Energieversorgung und Depotintegration **vergleichsweise gut umsetzbar** erscheinen. Die frühzeitige **Einbindung der Stromnetzbetreiber** in die längerfristige Umstellungsstrategie ist hierbei empfehlenswert.
- 8** Ein „freiwilliger“ Einstieg in die **Vollumstellung aller Linienbündel** erscheint derzeit aufgrund der noch vorhandenen wirtschaftlichen Nachteile und dem parallel erforderlichen Netzausbau **nicht vorteilhaft**. Hier sollte ein längerfristiger Transformationspfad verfolgt werden, der auch die Entwicklungen auf Fahrzeugseite (EU-Flottengrenzwerte) berücksichtigt.
- 9** Bei der Umstellung der Linienbündel auf alternative Antriebe bestehen unterschiedliche Optionen, die abhängig von der strategischen Ausrichtung der KVG sind. Empfehlenswert ist zu Beginn eine auf wenige Linienbündel **fokussierte Umstellung**, die ein hohes Einsatzpotenzial aufweisen. Denkbar ist dabei auch, je nach Rahmenbedingungen, unterschiedliche Antriebstechnologien einzusetzen.
- 10** Die Analyse zeigt deutliche **wirtschaftliche Vorteile des batterieelektrischen Antriebs** gegenüber Wasserstoff, jedoch sind auch hier deutliche Mehrkosten und Investitionsbedarfe zu erwarten. Auch aus wirtschaftlicher Sicht ist eine Vollumstellung insbesondere vor dem Hintergrund von Fahrzeug- und Fahrpersonalmehrbedarfen nicht empfehlenswert.



# Fazit und Empfehlungen für die Umstellungsstrategie im Main-Kinzig-Kreis

Ergebnis

11

Mittelfristig ist eine Kostendegression und damit eine Reduzierung der derzeit deutlich höheren Anschaffungskosten emissionsfreier Fahrzeuge zu erwarten. Eine **Kostenparität** (bezogen auf die Summe aus Investitions- und Betriebskosten) zwischen Diesel- und Batterieantrieb ist **ohne Förderung frühestens ab dem Jahr 2030** zu erwarten. Unabhängig von der Antriebs-technologie ist davon auszugehen, dass der **ÖPNV ohnehin deutlich teurer wird**.

12

Bei der Investitionsplanung steht aufgrund des BVerfGE Urteils zum KTF keine **Bundesförderung** mehr zur Verfügung. Die **Förderung des Landes Hessen** befindet sich derzeit in Überarbeitung. Förderpotenzial je nach Szenario 8-34 Mio. €. Auch hier sollte nicht von einer zeitlich unbegrenzten Verfügbarkeit von Fördermitteln ausgegangen werden!

13

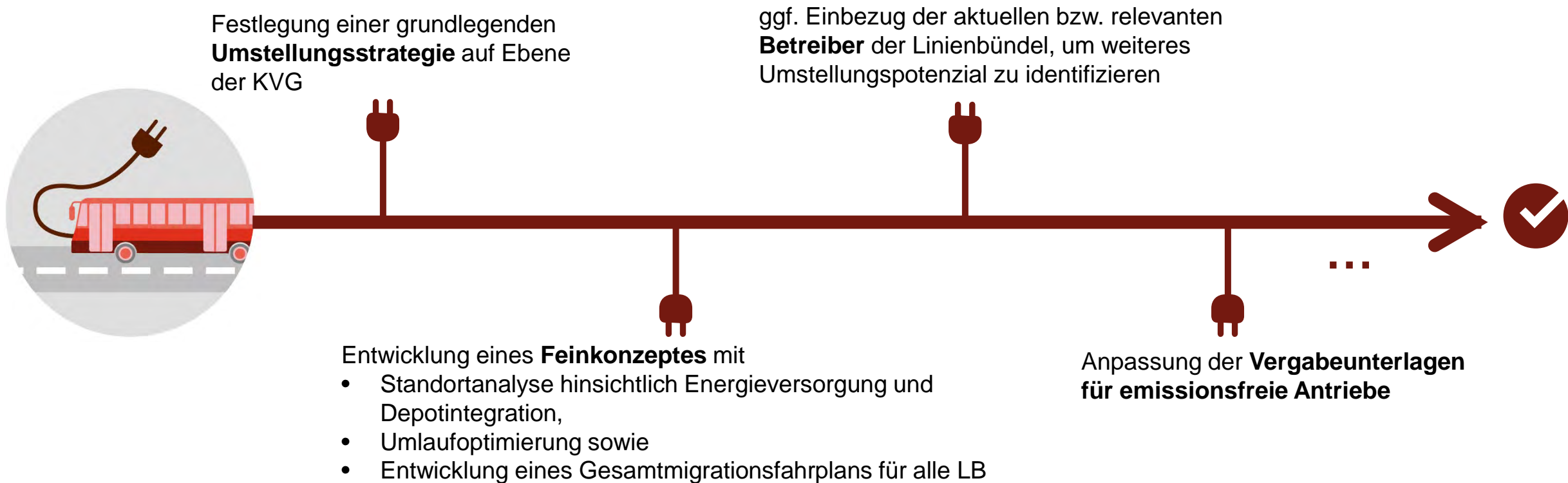
Die **Verlängerungsoptionen** der derzeit laufenden Verträge können einen **Zeitgewinn** (Entwicklung Technik und Fahrzeugpreise) bewirken, wengleich dies nicht die Notwendigkeit zur Umstellung auf saubere und insbesondere emissionsfreie Antriebe verhindert.

## wesentliche nächste Schritte:

- Festlegung einer grundlegenden **Umstellungsstrategie** auf Ebene der KVG
- Entwicklung eines **Feinkonzeptes** mit Standortanalyse hinsichtlich Energieversorgung und Depotintegration, Umlafoptimierung sowie Entwicklung eines Gesamtmigrationsfahrplans für alle LB
- ggf. Einbezug der aktuellen bzw. relevanten **Betreiber** der Linienbündel, um weiteres Umstellungspotenzial zu identifizieren
- Anpassung der **Vergabeunterlagen für emissionsfreie Antriebe**



# Welche sind die nächsten Schritte auf dem Weg zur Flotten- dekarbonisierung?



# Ihre Ansprechpartner



**Maximilian Rohs, PwC**  
Director  
Public Transport Leader

PwC Düsseldorf  
Georg-Glock-Str. 22  
40474 Düsseldorf  
Tel. +49 211 981-4252  
Mobil +49 170 2210268  
maximilian.rohs@pwc.com

pwc.de



**Jürgen Langwost**  
Geschäftsführer Technik

eebc GmbH  
Haus Gravener Straße 159  
40764 Langenfeld  
Tel. +49 2173 8932 873  
Mobil +49 172 4016655  
j.langwost@eebc.gmbh

© 2024 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.