



# eCitaro / eCitaro f-cell – Antworten zu Herausforderungen der eMobilität

## Verkehrswende findet „Stadt“ Webinar 10.12.2020

Tammo Voigt (Dipl.-Ing.)

Head of E-Mobility Consulting

Mercedes-Benz

The standard for buses.



# Berichtsstruktur 2019: Die Daimler AG mit fünf Geschäftsfeldern

Mercedes-Benz  
Cars

Mercedes-Benz  
Vans

Daimler  
Trucks

Daimler  
Buses

Daimler  
Mobility AG



|                    | Mercedes-Benz Cars | Mercedes-Benz Vans | Daimler Trucks | Daimler Buses | Daimler Mobility AG |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------------|
| <b>Umsatz</b>      | € 93,9 Mrd.        | € 14,8 Mrd.        | € 40,2 Mrd.    | € 4,7 Mrd.    | € 28,6 Mrd.         |
| <b>Mitarbeiter</b> | 152.048            | 21.346             | 83.437         | 17.690        | 12.680              |

MAYBACH



EQ



ATHLON



FREIGHTLINER

SETRA

Thomas  
BUILT BUSES

Mercedes-Benz  
Financial Services

Daimler Truck Financial

Mercedes-Benz Bank

Mercedes me

//////E/M/E

Anmerkung: 2019 Umsatz Konzern 172.745 Mio. €, Mitarbeiter 298.655, davon konzernübergreifende Funktionen & Services 11.184

# Unsere Produktstrategie im Stadtbus steht weiterhin auf zwei Säulen

## Nahezu emissionsfrei

### Benchmark in CO<sub>2</sub> & TCO



### Citaro Euro VI Diesel / CNG

- Effizienzsteigerung (Mild Hybrid)
- Schadstoffminimierung
- TCO-Optimierung

*TCO = Total Cost of Ownership*

## Emissionsfreie, elektrische Antriebe

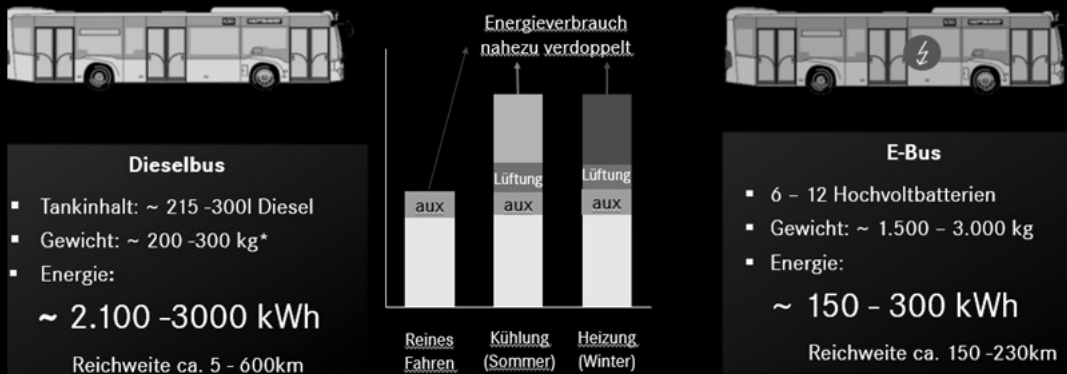


### Elektrisch angetriebener Citaro

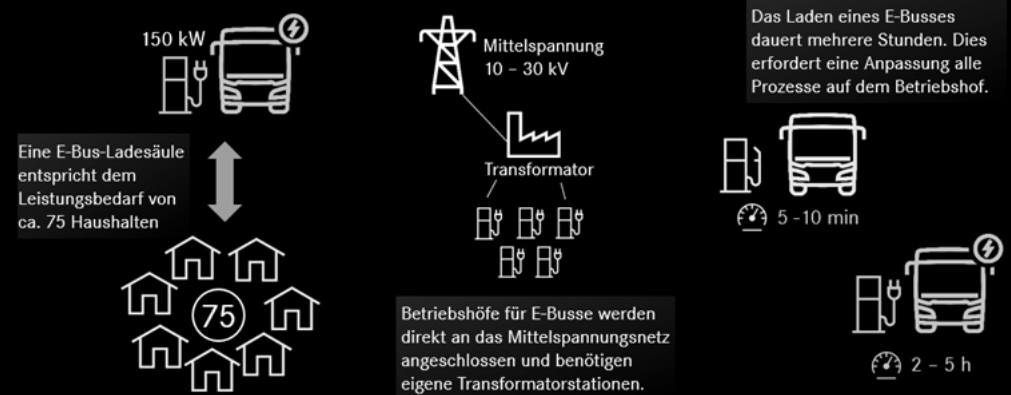
- Batterieantrieb / i.V.m F-Cell
- Energie- und Thermomanagement
- Lokal CO<sub>2</sub>- und schadstofffrei

# Umstellung auf eMobilität bringt gewisse Herausforderungen mit sich

**Herausforderung 1:** Elektrobusse verfügen, bei höherem Gewicht, nur über einen Bruchteil der Energiemenge eines Dieselbusses.



**Herausforderung 2:** Für eine größere Stückzahl von E-Bussen benötigt der Betriebshof eine vollkommen neue Energieversorgung.

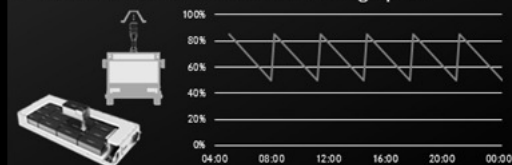


**Herausforderung 3:** Auswahl des optimalen E-Bus-Betriebskonzepts (wenn Depotladung allein nicht reicht)

| Typische Einsatzprofile                                 |                        |  |
|---|------------------------|--|
| Überwiegend Gelenk-Busse                                | ← Flottentyp →         | Vorwiegend Solo-Busse  |
| 250 - 350 km  | ← Tagesstrecke →       | 150 - 250 km   |
| 05:00 - 24:00 (> 18 h)                                  | ← Einsatzdauer →       | 06:00 - 20:00 (~ 14h)  |
| Dichter Verkehr (SORT 1-2) mit hoher Transportkapazität | ← Einsatzbedingungen → | Normales Verkehrsaufkommen (SORT 2-3) mit mittlerer Transportkapazität |

**Gelegenheitsladung (Pantograph) → NMC-Batterie**

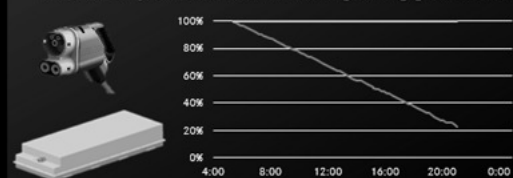
- Stromzufuhr über Tag mit Schnellladung (300 kW)
- Höhere Infrastrukturkosten für Pantographen



- Alternativ in Zukunft mit eCitaro REX direkt möglich

**Übernacht-Ladung im Depot → Feststoffbatterie**

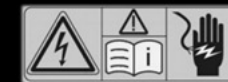
- Batterie-Kapazität ausreichend für ganztägigen Einsatz



**Herausforderung 4:** E-Bus-Betriebshöfe benötigen neue Werkstatt-einrichtung und eine Qualifizierung des Personals



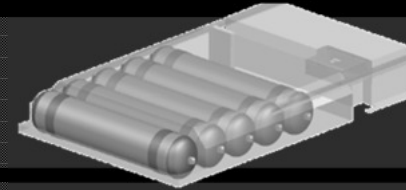
- Dacharbeitsstand
- Krananlage
- Prüf- und Ladegeräte
- Schutzausrüstung



- HV-Sensibilisierung
- Fachkraft für HV Kfz
- Arbeiten unter Spannung (AUS)
- Verantwortliche Elektrofachkraft für HV-Systeme

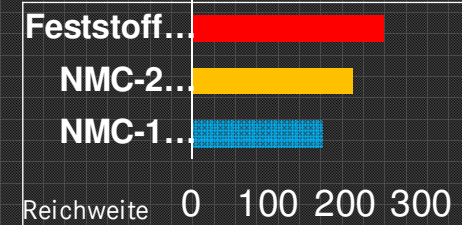
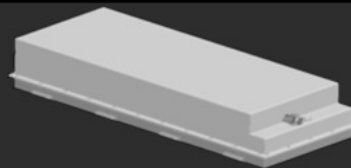
# Das eCitaro Portfolio entwickelt sich in Bausteinen kontinuierlich weiter

Reichweitenverlängerung (Wasserstoff / F-Cell)

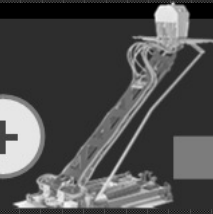


Reichweite > 350km (12m bus)

Batterietechnologie



Ladesysteme



Fahrzeug



# Alternative zum Opportunity-Laden: Reichweitenverlängerung mit Brennstoffzelle (H<sub>2</sub>-REX)

## Entwicklungsziele

H<sub>2</sub>-Infrastruktur: Bus-Standard Europa: 350bar  
Versorgung: Trailer oder Elektrolyseur

Energiekosten: Minimierung H<sub>2</sub>-Verbrauch  
Batteriebetrieb so lang wie möglich  
Brennstoffzellenbetrieb im Optimum

Fahrzeugkosten: Kostenoptimierung  
durch Konzernsynergien  
Nutzung von Skaleneffekten

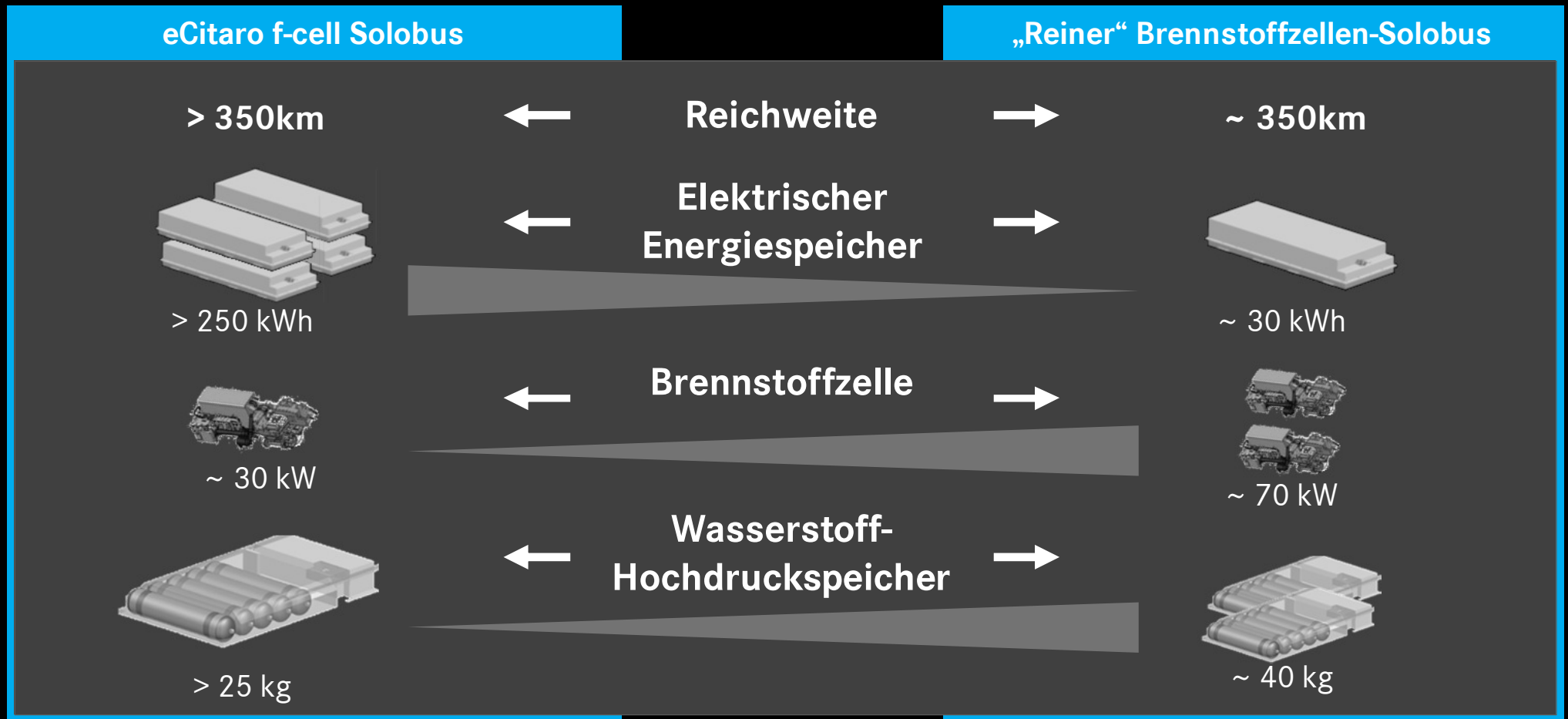
Reichweite: Solo: > 350 km  
Gelenk: ca. 300 km

→ Ganzjährig lokal emissionsfreies Fahren incl.  
Klimatisierung/Heizen der Busse  
Betriebliche Einsätze nahe am Diesibusbetrieb





Der eCitaro F-cell weicht in seinen Grundeigenschaften nicht von einem klassischen Brennstoffzellenbus ab.



# eCitaro f-cell unterstützt die Entwicklung für emissionsfreien ÖPNV

Was spricht für das Konzept „Batteriebus mit Brennstoffzelle als Range-Extender“:

- ✓ Günstigere Fahrzeugkosten
  - Modularer Baukasten eCitaro
  - kleinere Brennstoffzelle
  - kleinere H<sub>2</sub>-Tanks
- ✓ Konzept BZ-Range Extender spart Wasserstoff
  - senkt Energiekosten
  - möglichst geringe H<sub>2</sub>-Erzeugung und Bevorratung
- ✓ Brennstoffzelle läuft mit optimalem Wirkungsgrad („mobiles Ladegerät“)





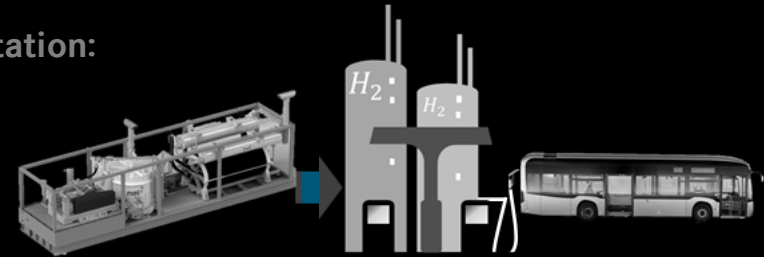
# Die Analyse eines fiktiven Szenarios (12 Fzg) zeigt, dass ein Range Extender Konzept durch einen geringeren Energiebedarf Vorteile bei den op. Kosten bringt

## Elektrolyseur

Tagesproduktion: ~600kg=25kg/h  
 Energie/kg H<sub>2</sub>: ~60 kWh  
 (~55 kWh/kg für H<sub>2</sub> Produktion  
 + ~5 kWh/kg für Druck auf 350bar)

## Kompressor-, Speicher- und Abgabestation:

Tagesleistung: ~600kg  
 Speicherdruck: >350bar  
 Dauer Befüllvorgang: ~12 Minuten  
 (12 Fzg = ca. 2,5h → +2-3 Dispenser?)



## Energiebedarf

### F-Cell Range Extender Konzept

|                         | H2  | Batterie                                    |
|-------------------------|---|---|
| 60kWh/kg H <sub>2</sub> | ~48 - 78 t H <sub>2</sub> /a<br>(~140 - 230 kg/d) |   |
|                         | <b>2,9 - 4,7 GWh/a</b><br>(8,5 - 14 MWh/d)        | <b>0,4 - 0,8 GWh/a</b><br>(1,1 - 2,4 MWh/d) |
|                         | <b>3,7 - 5,1 GWh/a</b>                            |   |

**Energiebedarf  
bei REX ca. 35%  
niedriger**

### Wasserstoffbus

| H2  |
|---|
| ~95-132t H <sub>2</sub> /a<br>(280-390kg/d) |
| <b>5,7-7,8GWh/a</b><br>(17-23MWh/d)         |

**5,7 - 7,8 GWh/a**

# Vorbereitung und Planung von Wasserstoff-Infrastruktur (ab Projektentscheid)

## Exemplarische Indikation für Projektlaufzeiten verschiedener Wasserstoff-Infrastruktur-Projekte

### H2-Anlieferung

Gelagerte Menge: < 3t

Genehmigung nach: **Erlaubnisverfahren**

**Betriebs-sicherheits-verordnung (BetrSichV)**

~ 3-6 Monate

### H2-Anlieferung

Gelagerte Menge > 3t

Genehmigung nach: **Vereinfachtes Verfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)**

~ 6-12 Monate

### H2- Vorort-Produktion

Genehmigung nach: **Voll umfänglich Verfahren nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)**

~ 9-15 Monate

## Auslegungsrelevante Parameter

- Täglicher Wasserstoffbedarf?
- Verfügbare Baufläche (Höherer Platzbedarf H2 Infrastruktur)?
- Wasserstoffbezug (Tube-Trailer) kostengünstig möglich oder Vorortproduktion?
- Energie- und Leistungsentgelte
- Notwendige minimale Betankungszeit und Back-to-Back-Performance?



**Tankstelle und Vorortproduktionsanlagen können für eCitaro f-cell (REX) tendenziell kompakter dimensioniert werden als für reine Wasserstoff-Flotten**

# Resümee: Über E-Busse / H2 nachzudenken genügt nicht..



Zielbild z.B. 2025



Der erste Schritt ist das System-Konzept und die Auslegung.



Die Betriebs- und Ladestrategie muss unter widrigsten Bedingungen funktionieren.



Die passende Infrastruktur (Laden /Tanken) ist eine essentielle Grundlage.



H<sub>2</sub>

Die Energieversorgung (Netzanschluss, Transportkette) muss gesichert sein.



Planungszeiträume für Infrastruktur (E+H2) sind länger als für E-Busse.



Betriebshof und Werkstatt müssen für E-Busse+H2 vorbereitet werden.



Die Mitarbeiter müssen geschult und qualifiziert werden.



Dann können die E/H<sub>2</sub> -Busse den Betrieb aufnehmen.



Vielen Dank für Ihre geschätzte Aufmerksamkeit

