

## Entwicklungen von alternativen Antrieben bei Omnibussen – Hintergründe, Herausforderungen und aktuelle Entwicklungen

Landesverband Hessischer Omnibusunternehmer e.V.  
(LHO) – Winterseminar  
Augsburg, 07.02.2020

### Fuhrpark und Eckdaten



Itino

26



Coradia Lint 41

10



Coradia iLint 54

27 (bestellt)



Easymile EZ10 (Gen2)

2



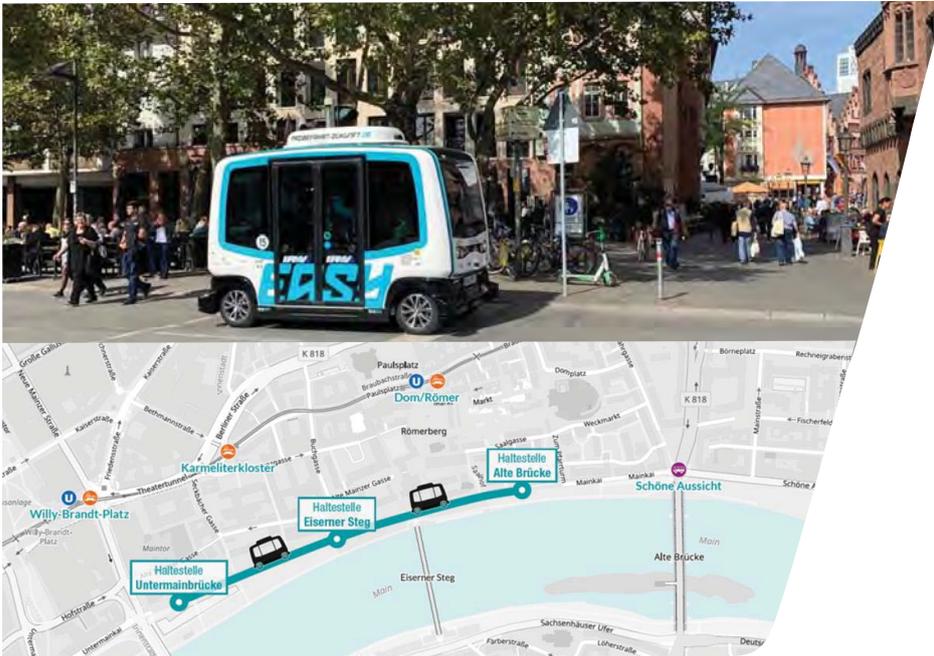
Navya Arma DL3

2

- 100%ige Tochtergesellschaft der Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH (RMV)
- 2003 Gründung der fahma
- Geschäftszweck
  - Finanzierung und Beschaffung von Fahrzeugen für den SPNV
  - Finanzierung und Beschaffung Fahrzeugen des sonstigen ÖPNV – also Omnibusse mit alternativen Antrieben (seit 2017)

## Autonomes Fahren

### „EASY“ (Electric Autonomous Shuttle for You)



- Testfeld Frankfurt Mainkai (nördliches Mainufer)
  - Laufzeit: 20.09.2019 - 31.07.2020
  - Länge der Teststrecke: 700 Meter
  - Betriebszeitraum: täglich 6 Stunden
- weniger als 6 Monate Umsetzung (inkl. Kauf und Zulassung)
- nach rd. 3 Monaten schon über 14.000 Fahrgäste
- weiteres Testfeld auf Hypermotion
- Abschluss des Kaufs aller vier Fahrzeuge
- weitere Testfelder in 2020

## Agenda

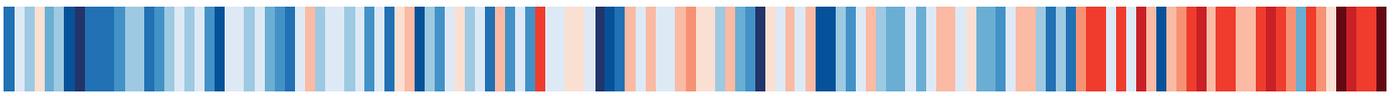
1	Grundlagen & Projektskizzen
2	Hintergründe
3	aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma
4	Zusammenfassung & Fazit

## Agenda

<b>1</b>	<b>Grundlagen &amp; Projektskizzen</b>
	Grundlagen
	Projektskizzen
<b>2</b>	Hintergründe
<b>3</b>	aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma
<b>4</b>	Zusammenfassung & Fazit

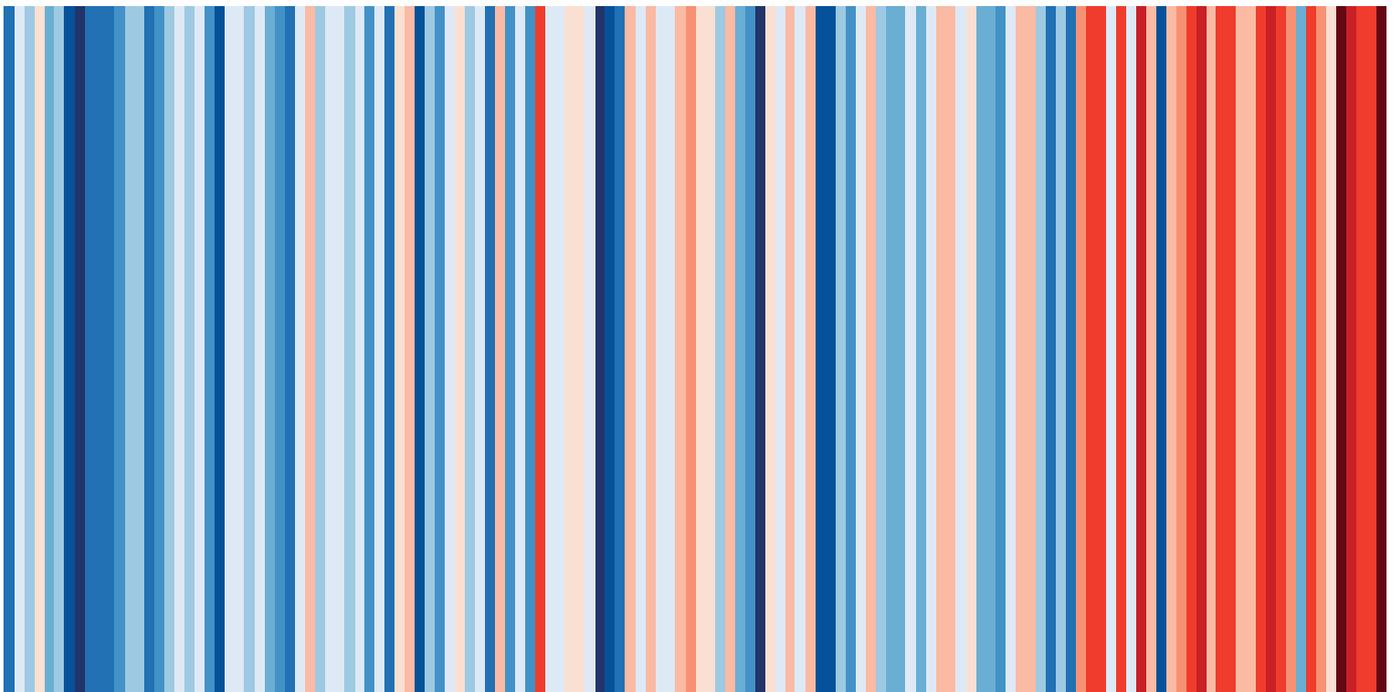
## Agenda

<b>1</b>	<b>Grundlagen &amp; Projektskizzen</b>
	Grundlagen
	Projektskizzen
<b>2</b>	Hintergründe
<b>3</b>	aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma
<b>4</b>	Zusammenfassung & Fazit



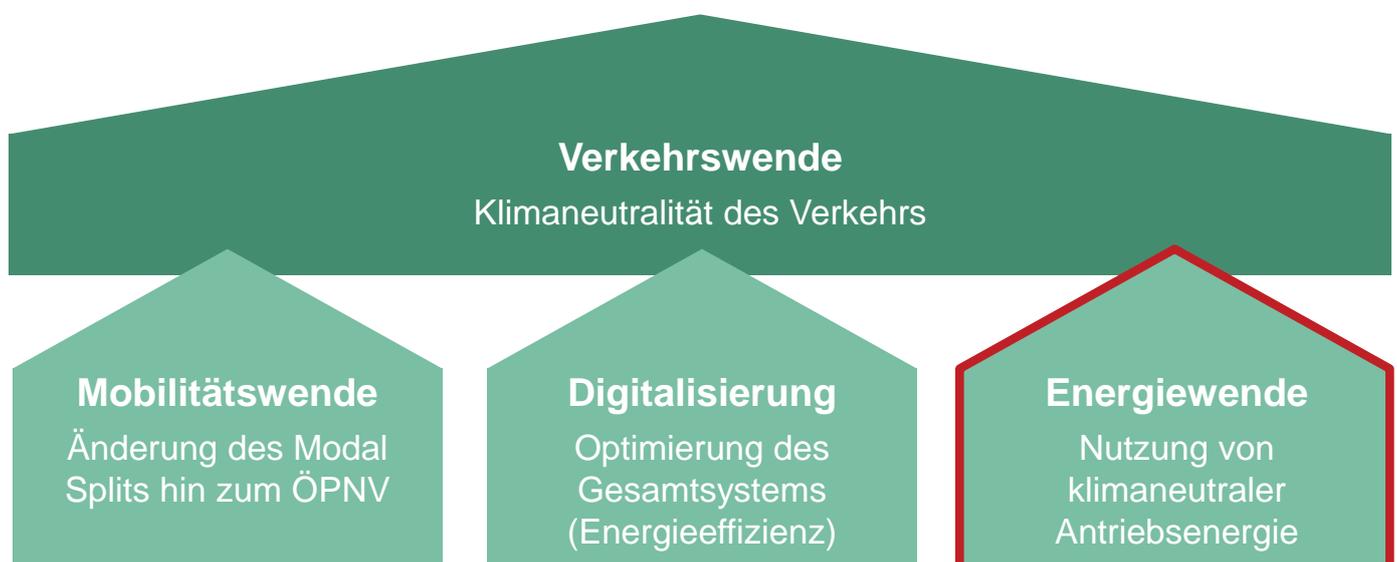
## Erwärmungsstreifen für Deutschland von 1881 bis 2018 #ShowYourStripes

Jährliche Durchschnittstemperaturen basiert auf Daten des Deutschen Wetterdienstes



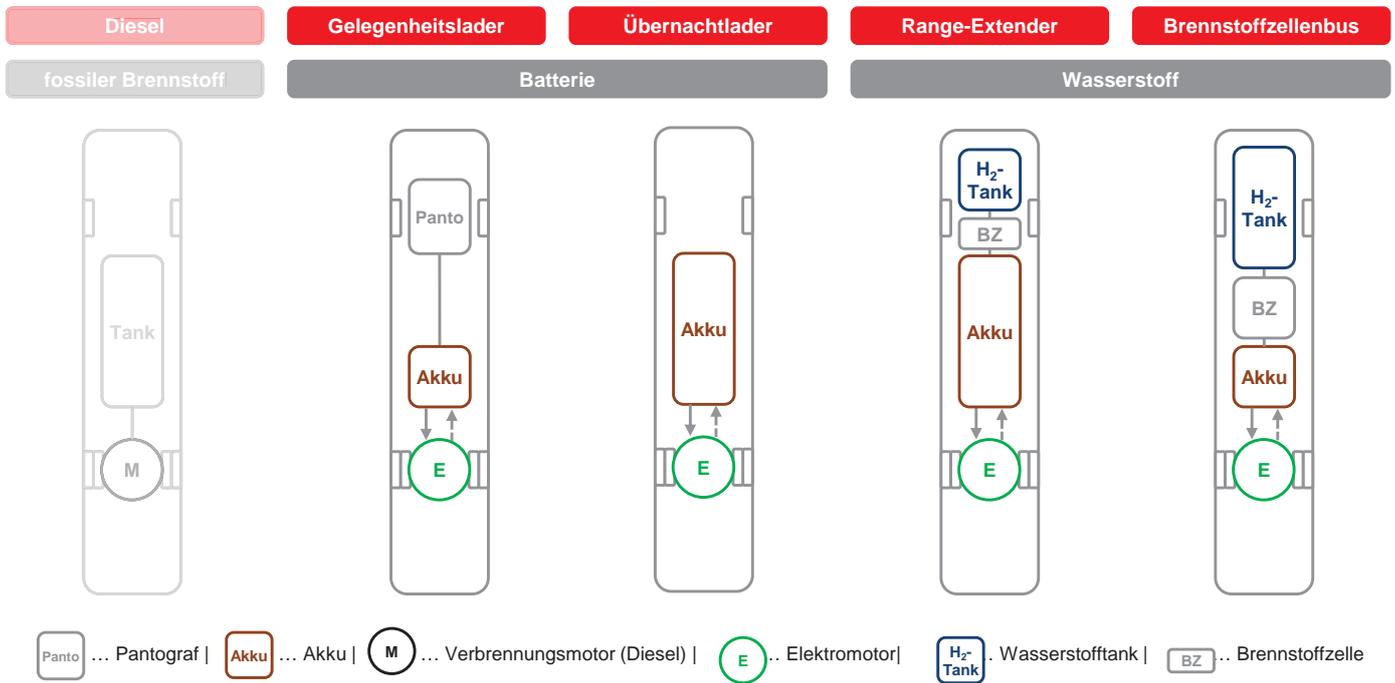
## Verkehrswende im ÖPNV

These: Verkehrswende gelingt nur mit Mobilitäts- und Energiewende sowie Digitalisierung

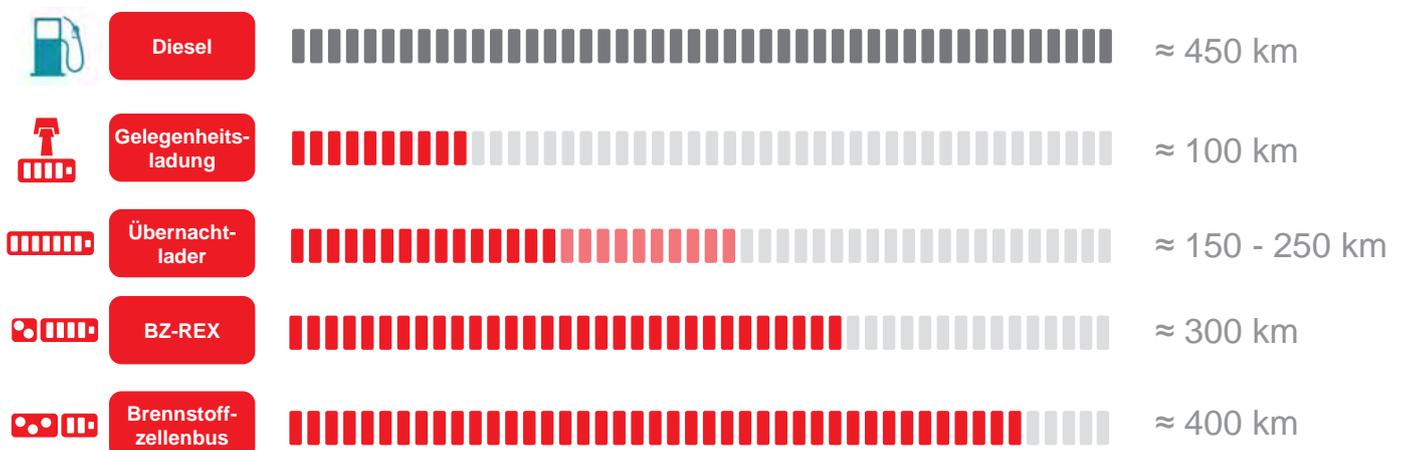


In Anlehnung an: Agora Verkehrswende (2017): Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende

## Prinzipskizzen für Diesel- und alternative Antriebstechnologien



## Reichweiten im Vergleich



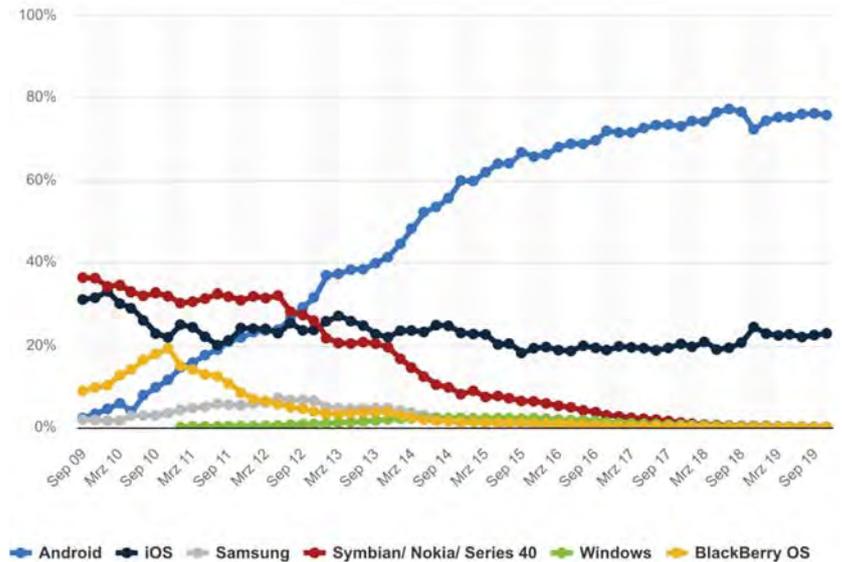
## Entwicklung der Technologie ... am Beispiel Konklave 2005 und 2013 und Betriebssysteme für Smartphones



Konklave 2005



Konklave 2013



## Agenda

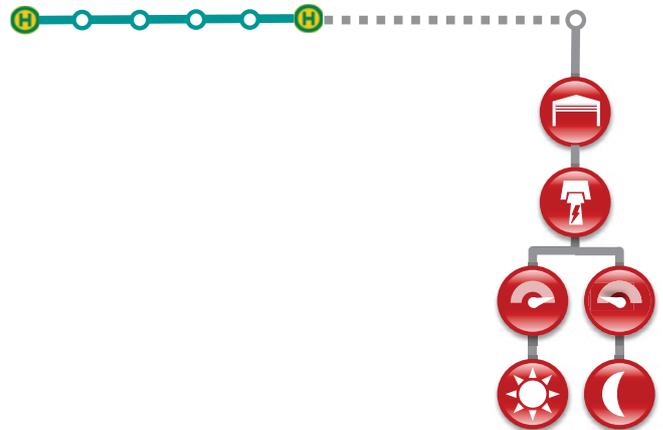
- 1 Grundlagen & Projektskizzen**
  - Grundlagen
  - Projektskizzen
- 2 Hintergründe
- 3 aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma
- 4 Zusammenfassung & Fazit

## Gelegenheitsladung

### Projektskizze Eindhoven



Kapazität	180 kWh
Verbrauch	≈ 1,6 kWh/km
Reichweite	≈ 110 km
Tagesreichweite	≈ 400 km



Nach Linienfahrten erfolgt die **Schnellladung im Betriebshof** über **Pantograf**. Das Fahrpersonal wechselt von einem zu ladenden in ein geladenes Fahrzeug. **Nachts** erfolgt eine **langsame Ladung** über den **Pantografen**.

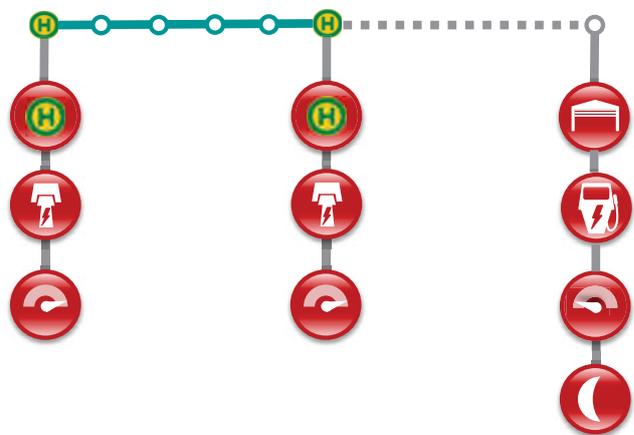
- ... Pantograf |
- ... Plug-In |
- ... Tanken (Wasserstoff) |
- ... langsam |
- ... schnell |
- ... Tag |
- ... Nacht

## Gelegenheitsladung

### Projektskizze Köln



Kapazität	180 kWh
Verbrauch	≈ 1,6 kWh/km
Reichweite	≈ 110 km
Tagesreichweite	≈ 400 km



Nach Linienfahrten erfolgt die **Schnellladung an der Haltestelle** über **Pantograf**. **Nachts** erfolgt eine **langsame Ladung** über **Plug-In-Ladesäulen**.

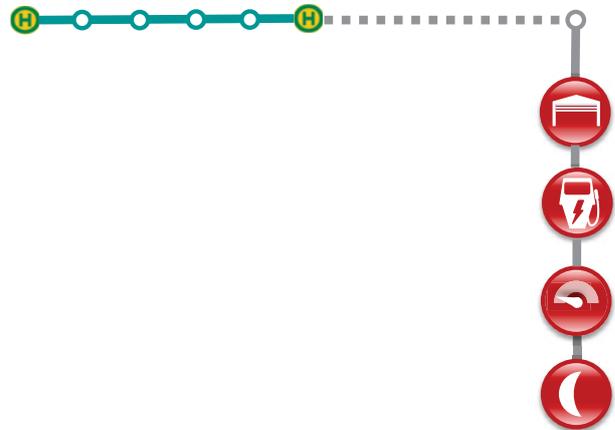
- ... Pantograf |
- ... Plug-In |
- ... Tanken (Wasserstoff) |
- ... langsam |
- ... schnell |
- ... Tag |
- ... Nacht

## Übernachtladung

### Beispiel Frankfurt



<b>Kapazität</b>	240 kWh
<b>Verbrauch</b>	≈ 1,6 kWh/km
<b>Reichweite</b>	≈ 150 km
<b>Tagesreichweite</b>	≈ 190 km



Das Fahrzeug wird **nachts** über **Plug-In-Ladesäulen** langsam geladen.

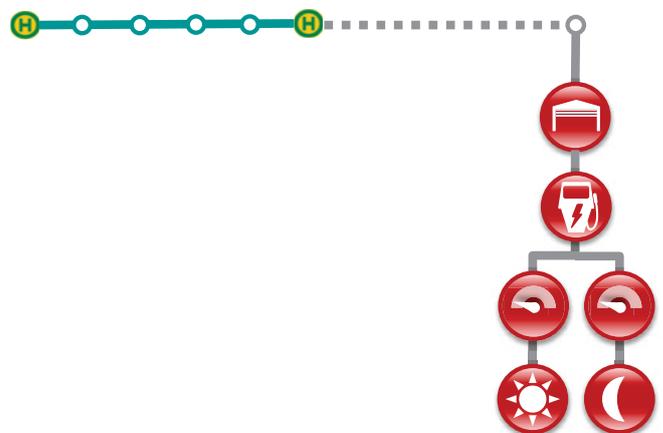
- ... Pantograf |
- ... Plug-In |
- ... Tanken (Wasserstoff) |
- ... langsam |
- ... schnell |
- ... Tag |
- ... Nacht

## Übernachtladung

### Projektskizze Mannheim/Heidelberg



<b>Kapazität</b>	240 kWh
<b>Verbrauch</b>	≈ 1,6 kWh/km
<b>Reichweite</b>	≈ 150 km
<b>Tagesreichweite</b>	≈ 190 km

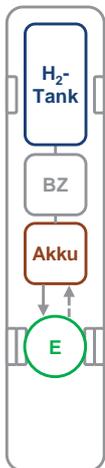


Nach einigen Linienfahrten erfolgt eine **langsame Ladung** über **Plug-In-Ladesäulen im Betriebshof** zur Steigerung der Tagesreichweite. Auch **nachts** erfolgt eine **langsame Ladung** über **Plug-In-Ladesäulen im Betriebshof**.

- ... Pantograf |
- ... Plug-In |
- ... Tanken (Wasserstoff) |
- ... langsam |
- ... schnell |
- ... Tag |
- ... Nacht

## BZ-Bus

### Projektskizze Köln



<b>Kapazität</b>	≈ 40 kg H <sub>2</sub>
<b>Verbrauch</b>	≈ 8,5 bis 10 kg H <sub>2</sub>
<b>Reichweite</b>	≈ 400 km
<b>Tagesreichweite</b>	≈ 500 km
<b>Brennstoffzelle</b>	≈ 100 kW



Das Fahrzeug wird in der Regel im Betriebshof mit Wasserstoff **betankt**.

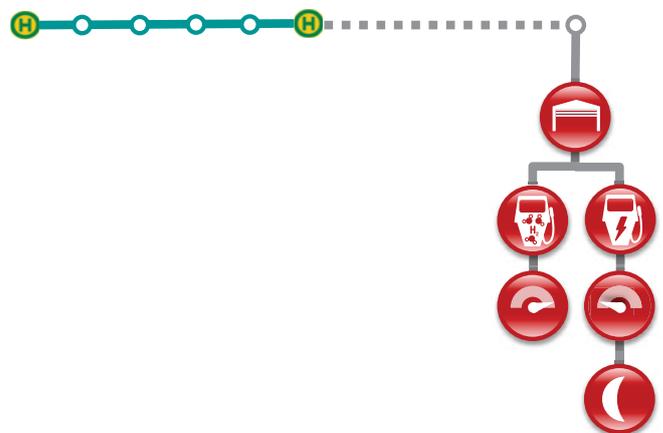
- ... Pantograf |
- ... Plug-In |
- ... Tanken (Wasserstoff) |
- ... langsam |
- ... schnell |
- ... Tag |
- ... Nacht

## BZ-Bus

### Projektskizze Range-Extender



<b>Kapazität</b>	≈ 250 kWh / ≈ 15 kg H <sub>2</sub>
<b>Verbrauch</b>	≈ 40 - 160 kWh Strom / ≈ 0 bis 6 kg H <sub>2</sub>
<b>Reichweite</b>	≈ 300 km
<b>Tagesreichweite</b>	≈ 350 km
<b>Brennstoffzelle</b>	≈ 30 kW



Das Fahrzeug wird wie ein „klassischer“ Brennstoffzellenbus in der Regel im Betriebshof – getankt und zusätzlich wie ein „klassischer“ Übernachtslader **nachts** über **Plug-In-Ladesäulen langsam geladen**.

- ... Pantograf |
- ... Plug-In |
- ... Tanken (Wasserstoff) |
- ... langsam |
- ... schnell |
- ... Tag |
- ... Nacht

# Übersichten über Projekte, Förderungen und Markt Starterset Elektromobilität – NOW GmbH



<https://www.starterset-elektromobilitaet.de/content/3-Infothek/2-Publikationen/2-foerderuebersicht-busse-im-oePNV/foerderuebersicht-busse-190906.pdf>  
<https://www.starterset-elektromobilitaet.de/content/3-Infothek/2-Publikationen/3-marktuebersicht-busse-im-oePNV/marktuebersicht-busse-190906.pdf>  
<https://www.starterset-elektromobilitaet.de/content/3-Infothek/2-Publikationen/4-projektuebersicht-busse-im-oePNV/projektuebersicht-busse-190906.pdf>

# Checkliste für kommunale Vertreter zum Aufbau von Elektromobilität für den ÖPNV



[https://www.starterset-elektromobilitaet.de/content/1-Bausteine/5-OEPNV/checkliste\\_oePNV.pdf](https://www.starterset-elektromobilitaet.de/content/1-Bausteine/5-OEPNV/checkliste_oePNV.pdf)

## Betriebliche Auswirkungen auf den Betrieb mit alternativen Fahrzeugen

### Investitionskosten



**Fahrzeugmehrbedarf** aufgrund der geringeren Reichweite (1 Dieselfahrzeug entspricht etwa 1,3 Fahrzeugen mit alternativer Antriebstechnologie)



Aufbau der **Lade- und Tankinfrastruktur** im öffentlichen Raum bzw. auf dem Betriebshof



**zusätzliche Abstellflächen** mit höheren Anforderungen und **Werkstattkapazitäten**

### Laufende Kosten



**Erhöhter Personalbedarf** durch geänderten Fahrzeugeinsatz und Fahrzeugmehrbedarf



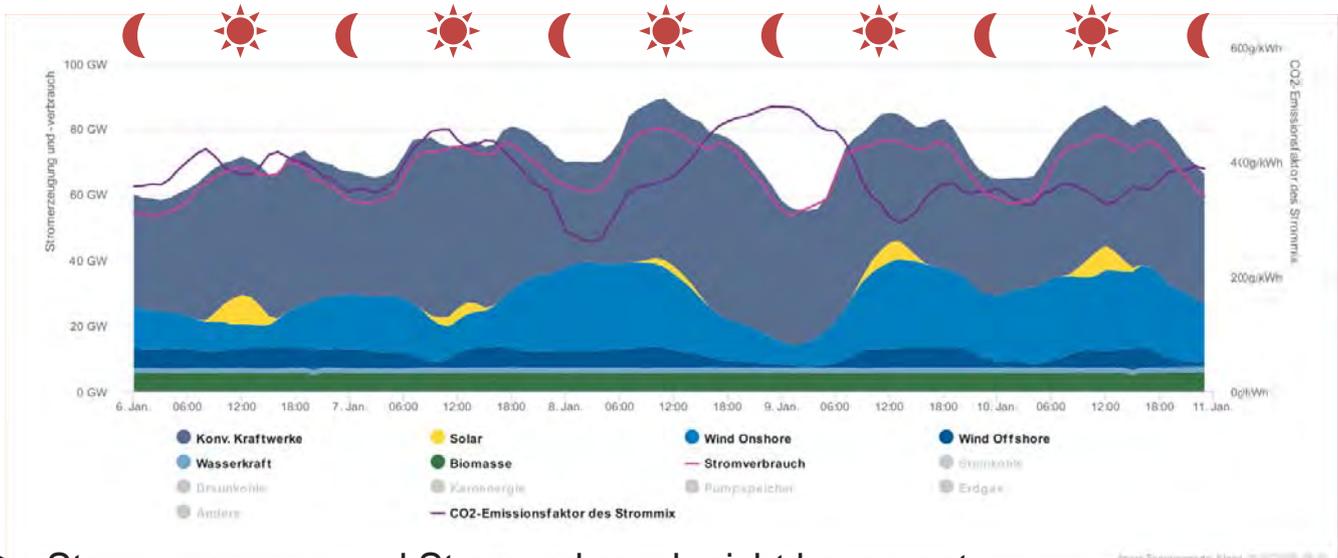
**Höherer Aufwand bei Service & Wartung** von zusätzlichen Fahrzeugen und deren Komponenten sowie der Lade- und Tankinfrastruktur durch qualifiziertes Fachpersonal



**Zusätzlicher Energiebedarf** durch geringere Umlafoptimierung des Fahrzeugeinsatzes aufgrund der kürzeren Reichweite der Fahrzeuge

## Stromerzeugung und Stromverbrauch

Beispiel für KW 2/2020 (06.01. bis 11.01.2020)



- ▶ Stromerzeugung und Stromverbrauch nicht kongruent
- ▶ Speicherung von regenerativen Energiequellen erforderlich

## Agenda

1	Grundlagen & Projektskizzen
2	<b>Hintergründe</b>
	Clean Vehicles Directive (CVD) – 2009/33/EG
	Herausforderungen für Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen
3	aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma
4	Zusammenfassung & Fazit

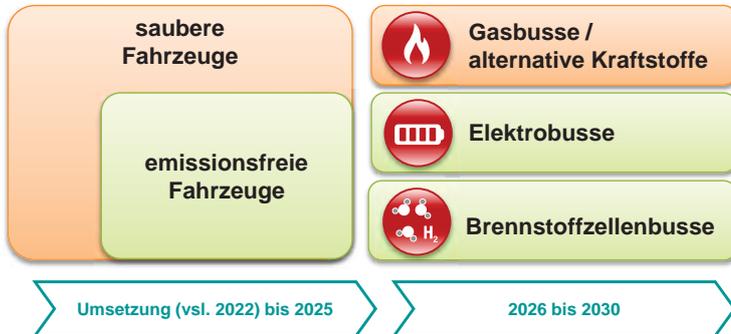
## Agenda

1	Grundlagen & Projektskizzen
2	<b>Hintergründe</b>
	Clean Vehicles Directive (CVD) – 2009/33/EG
	Herausforderungen für Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen
3	aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma
4	Zusammenfassung & Fazit

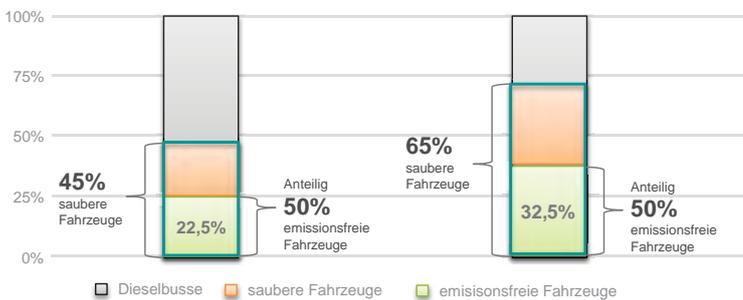


# Clean Vehicles Directive (CVD) – 2009/33/EG

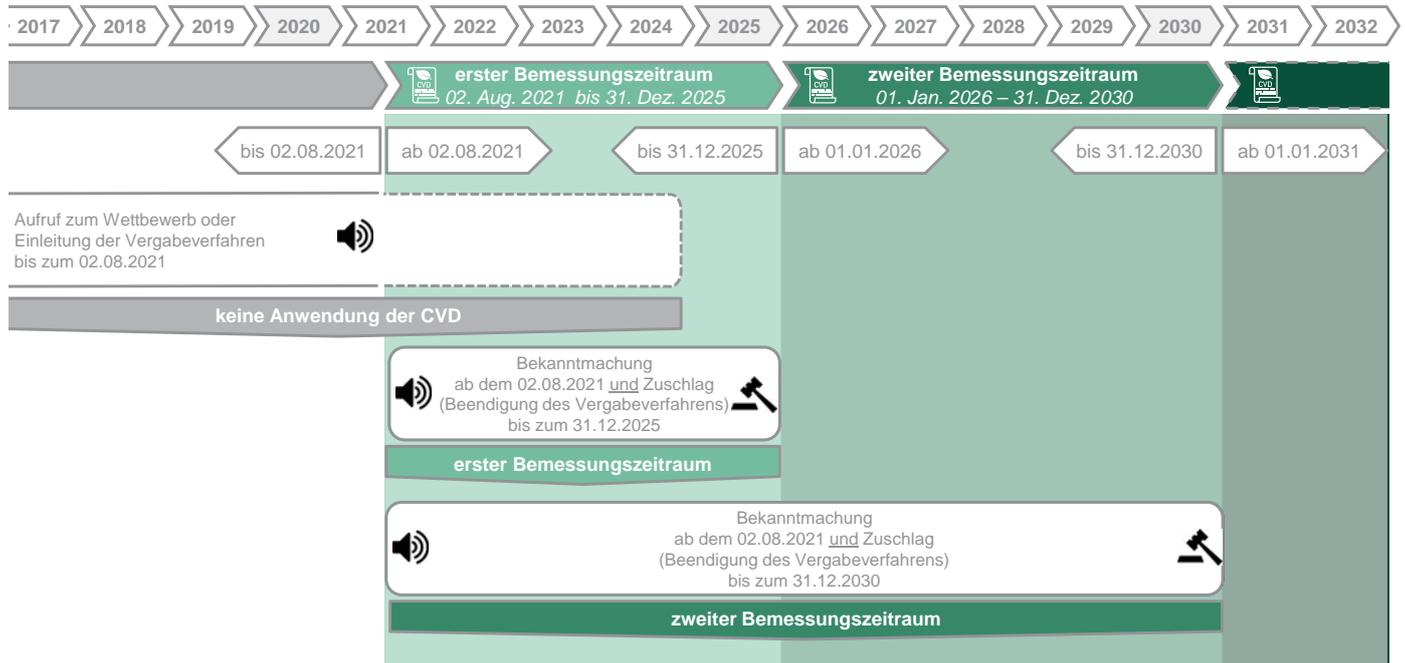
## Feste Beschaffungsquoten in zwei Stufen



- Definition von **Beschaffungsquoten** für **saubere** („clean vehicle“ – z. B. Gasbus) und **emissionsfreie Fahrzeugen** („zero-emission vehicle“ - Elektrobusse und Brennstoffzellenbusse)
- gültig für **Behörden oder Betreiber von Verkehren im Sinne der VO (EG) Nr. 1370/2007** mit Bezug auf „Stadtbusse“ der Klasse I
- gültig für Vergabeverfahren ab dem 02.08.2021 und Zuschlag
- Federführung für die nationale Umsetzung in Deutschland BMVI
  - Bevorzugung einer **bundesweiten Umsetzung** der Beschaffungsquoten
  - diverse Fragestellungen in Bezug auf die Auslegung der Richtlinie u.a.
  - Zuordnung von **Ausschreibungsketten** (Dienstleistungsauftrag und Fahrzeugbeschaffung) zu den Beschaffungszeiträumen
  - **Umsetzungsmöglichkeit** in Bezug auf die Planungszeiten und **Lieferzeiten für alternative Antriebe**



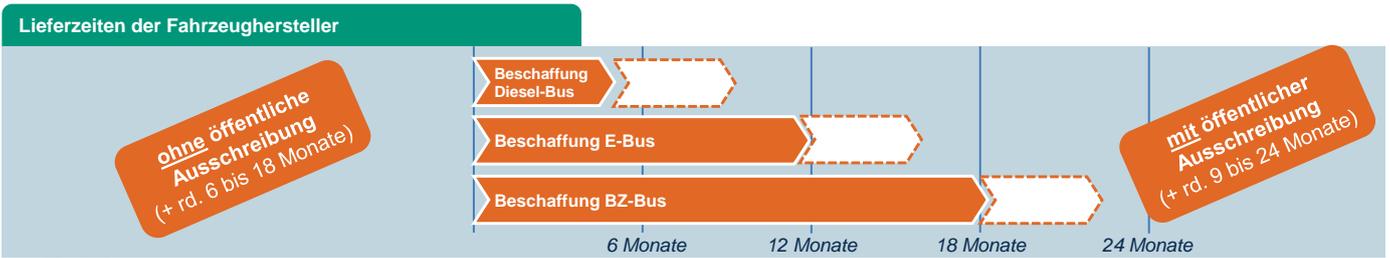
# Bemessungszeiträume und Gültigkeiten der CVD





## CVD und Lieferzeiten der Fahrzeughersteller

Aufgabenträger können erst ab Dez. 2024 „technologieoffen“ agieren



- Anwendung der CVD erst ab Bündelstart Dez. 2024 möglich, da Veröffentlichung erst ab 02.08.2021
- Gibt es einen Übergangszeitraum für die Anwendung der Richtlinie oder müssen – sofern sie es dürfen – die Vergaben für die Bündelstarts 2022 bis 2023 vor den 02.08.2021 vorgezogen werden?

## Unterscheidung der Klasse M<sub>3</sub> I und Klasse M<sub>3</sub> II

	Klasse M <sub>3</sub> I	Klasse M <sub>3</sub> II
Längsneigung des Ganges	max. 8%	
Durchgangsbreite	min. 450 mm	min. 350 mm
Sitzbreite	min. 400 mm	
Sitztiefe	min. 350 mm	min. 400 mm
Stehplätze	mit Stehplätzen	Stehplätze mit Einschränkungen
Mindestanzahl Behindertensitze	4 Behindertensitze	2 Behindertensitze
Einstiegshöhe	340 mm	380 mm

## Aktualisierung der VDV-Schriften 230/2 und 230/3



Veröffentlichung 2020

## Emissionsfreie Energie- und Antriebskonzepte für Stadtbusse zur Umsetzung der europäischen Clean Vehicle Directive

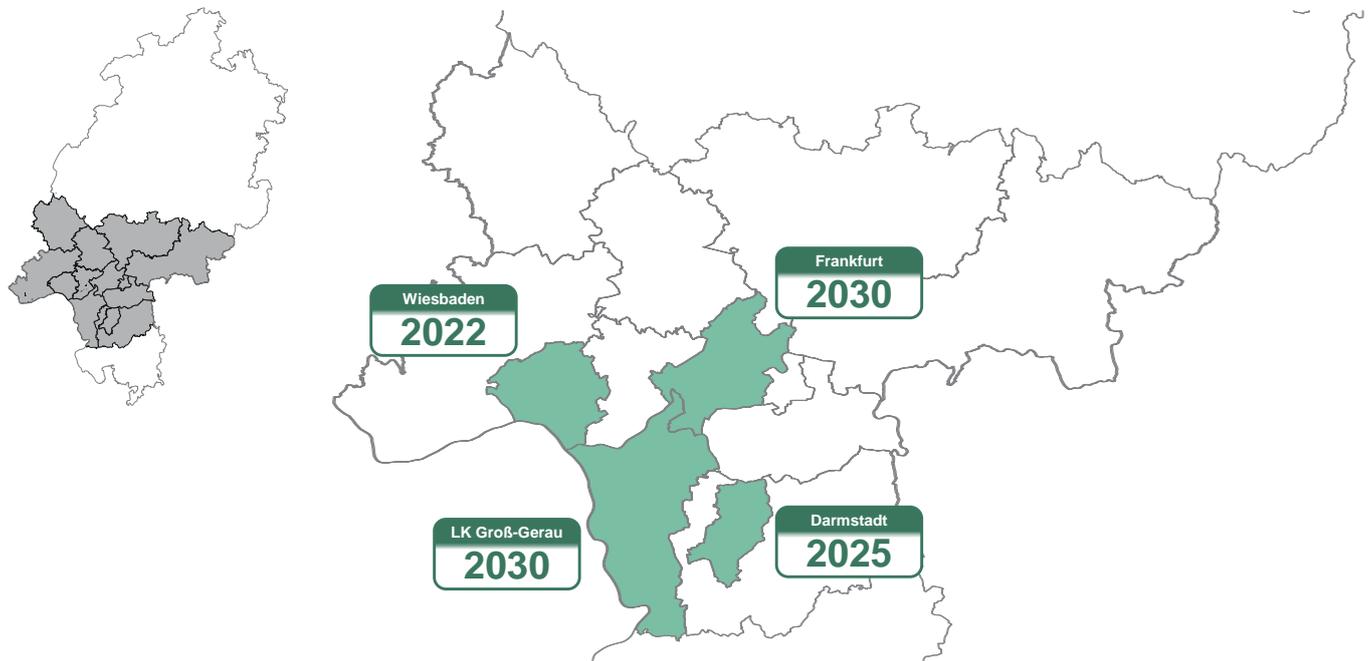


Veröffentlichung 2020

### Inhalte

- Clean Vehicle Directive (CVD)
- Fahrzeuge
  - Antriebskonzepte
  - Reichweite und Energiebedarf
- Energieinfrastruktur
- Betriebliche Aspekte
- Kosten
- Umweltaspekte
- ...

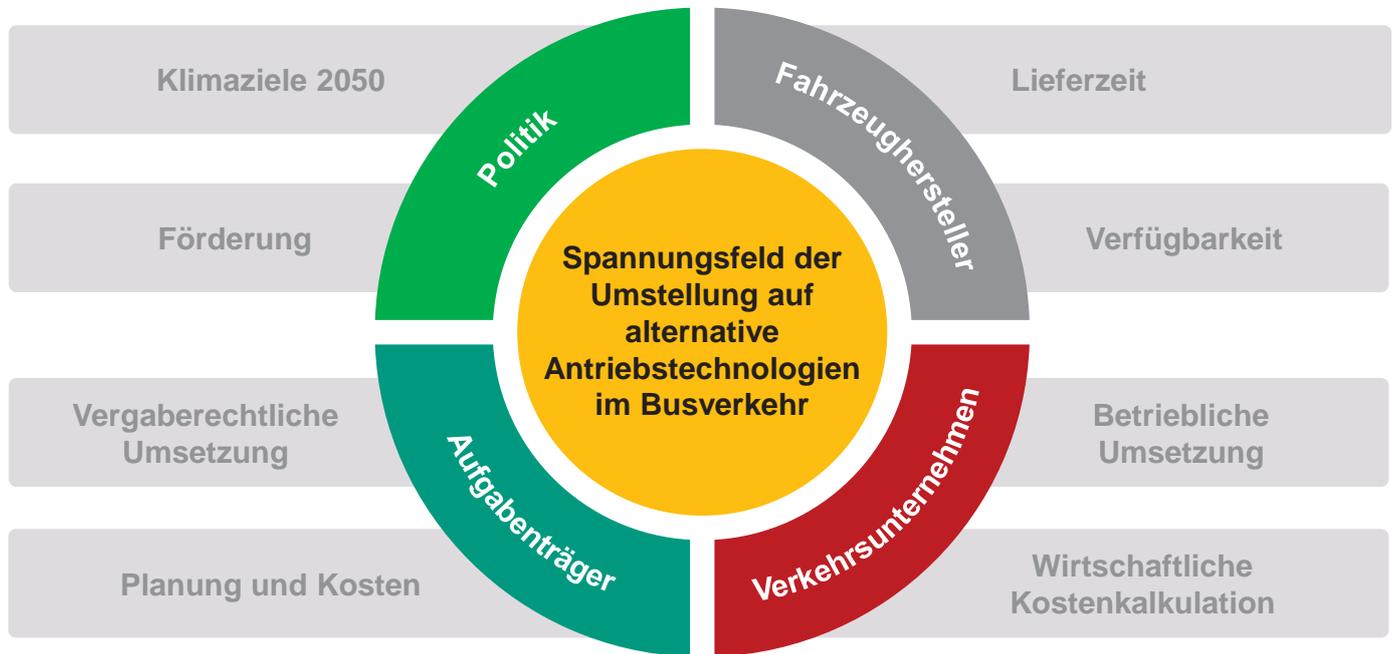
## Strategien zur Umstellung lokaler Verkehre auf alternative Antriebe in der Metropolregion Frankfurt RheinMain



## Agenda

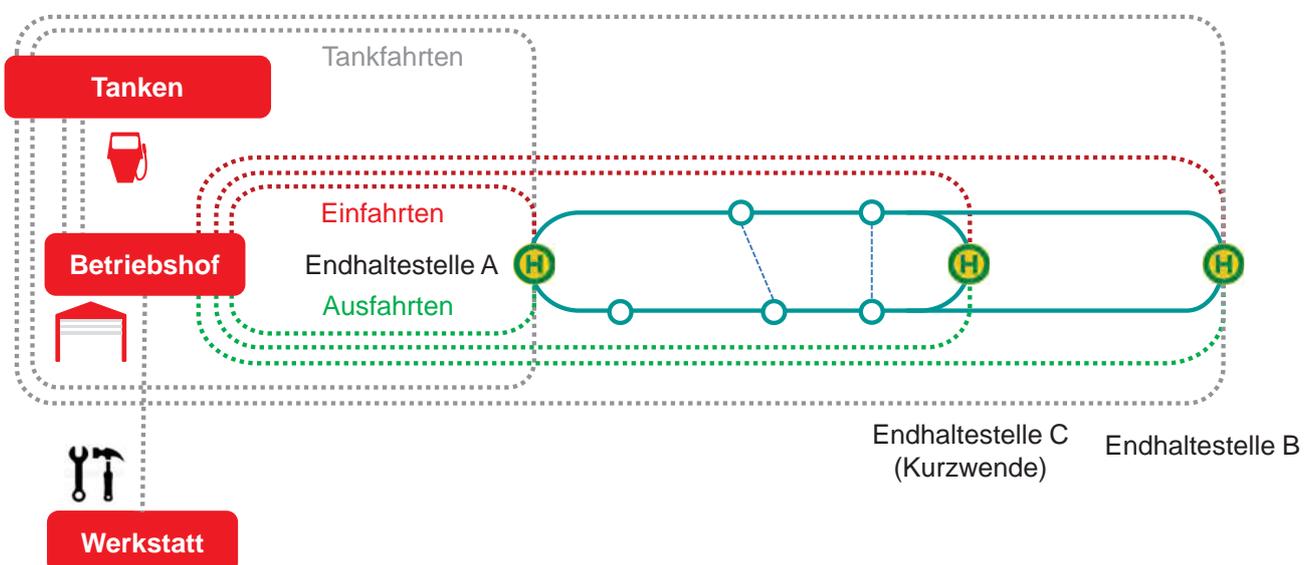
- 1 Grundlagen & Projektskizzen
- 2 Hintergründe**
  - Clean Vehicles Directive (CVD) – 2009/33/EG
  - Herausforderungen für Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen
- 3 aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma
- 4 Zusammenfassung & Fazit

## Spannungsfeld der Umstellung auf alternative Antriebstechnologien im Busverkehr



## Fahrzeugumlauf

$$\sum \text{Ausfahrten} + \sum \text{Einfahrten} + \sum \text{Tankfahrten} + \sum \text{Linienfahrten} \leq \text{Reichweite}$$





## Agenda

1	Grundlagen & Projektskizzen
2	Hintergründe
3	<b>aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma</b>
	Machbarkeitsstudie
	Lernwerkstatt Brennstoffzellenbusse im Landkreis Gießen
4	Zusammenfassung & Fazit

## Agenda

1	Grundlagen & Projektskizzen
2	Hintergründe
3	<b>aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma</b>
	Machbarkeitsstudie
	Lernwerkstatt Brennstoffzellenbusse im Landkreis Gießen
4	Zusammenfassung & Fazit

## Weg zur Umsetzung der Dekarbonisierung (erste Ziele und Projekte)



### kontinuierliche Marktanalyse des RMV-Angebots und des Fahrzeugmarktes

- **Grobbewertung aller regionalen Buslinien auf Basis von Linieneckdaten** (z. B. Topografie, Linienwegsvarianten) und den **bisherigen Erfahrungswerten**
- detaillierte **Machbarkeitsstudie** für ausgewählte Linien auf Basis der **bestehenden regionalen Linienbündel** sowie der **hinzukommenden X-Bus-Linien**



### Entwicklung eines Zielkonzepts für die Dekarbonisierung des regionalen Busverkehrs bis 2021

- Identifikation von **Handlungsfeldern** und Entwicklung **möglicher Maßnahmen** (z. B. Fahrzeugbeschaffung, Aufbau der Lade- und Tankinfrastruktur, Vergabeunterlagen)
- **Bewertung** von einzelnen Konzeptbestandteilen bzw. des Gesamtkonzeptes in Bezug auf finanzielle Auswirkungen, Qualität und mögliche Risiken.



### Umsetzung der Dekarbonisierung

- **Sammeln von Erfahrungen** auf Seiten des RMV, fahma und der Verkehrsunternehmen im Rahmen des **Projekts „Lernwerkstatt“** im Landkreis Gießen
- erste **wettbewerbliche Vergabe mit alternativen Antrieben** innerhalb der Laufzeit des RNVP

## Planerische und technische Begleitung Erster Schritt zur Mobilitätstrategie des RMV



### Grundlagenermittlung

alle Regionalbuslinien

### Grobbewertung

Vorauswahl von einzelnen Linien  
bzw. Linienumläufen

### Machbarkeitsstudie

max. 5 Bündel

### Linieneckdaten

- Bündellaufzeit
- Leistungsdaten (Nkm, LeerKM, Fpl.-h)
- Neuplanung Linienverlauf bzw. Angebot
- Besetzung
- Qualitätsdaten
- lokale Emissionsplanungen

### ökologische und ökonomische Eckdaten

- Abschätzung des Energiebedarfs (z. B. kWh für Batteriebusse bzw. kg für Wasserstoffbusse)
- grobe Berechnung der Umweltparameter
  - Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)
  - Stickoxide (NO<sub>x</sub>)
  - ...

### Systemische Vorplanung

- Betriebskonzept (fiktive Umlaufplanung)
- Fahrzeugkonzept
- Lade- bzw. Tankinfrastruktur
- ökologische und ökonomische Betrachtung
- mögliche Förderung

### Einschätzung der Eignung von Linien bzw. Umläufen

- Vorschlag für die Eignung
  - für die Linie
  - nach Antriebsformen

### Ergebnisaufbereitung und Handlungsempfehlung

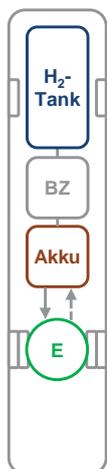
## Umsetzungsplanung

## Agenda

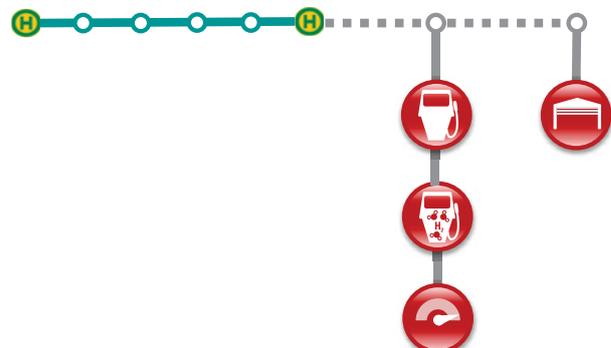
1	Grundlagen & Projektskizzen
2	Hintergründe
3	<b>aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma</b>
	Machbarkeitsstudie
	Lernwerkstatt Brennstoffzellenbusse im Landkreis Gießen
4	Zusammenfassung & Fazit

## Brennstoffzellenbus

### Beispiel: Lernwerkstatt Gießen

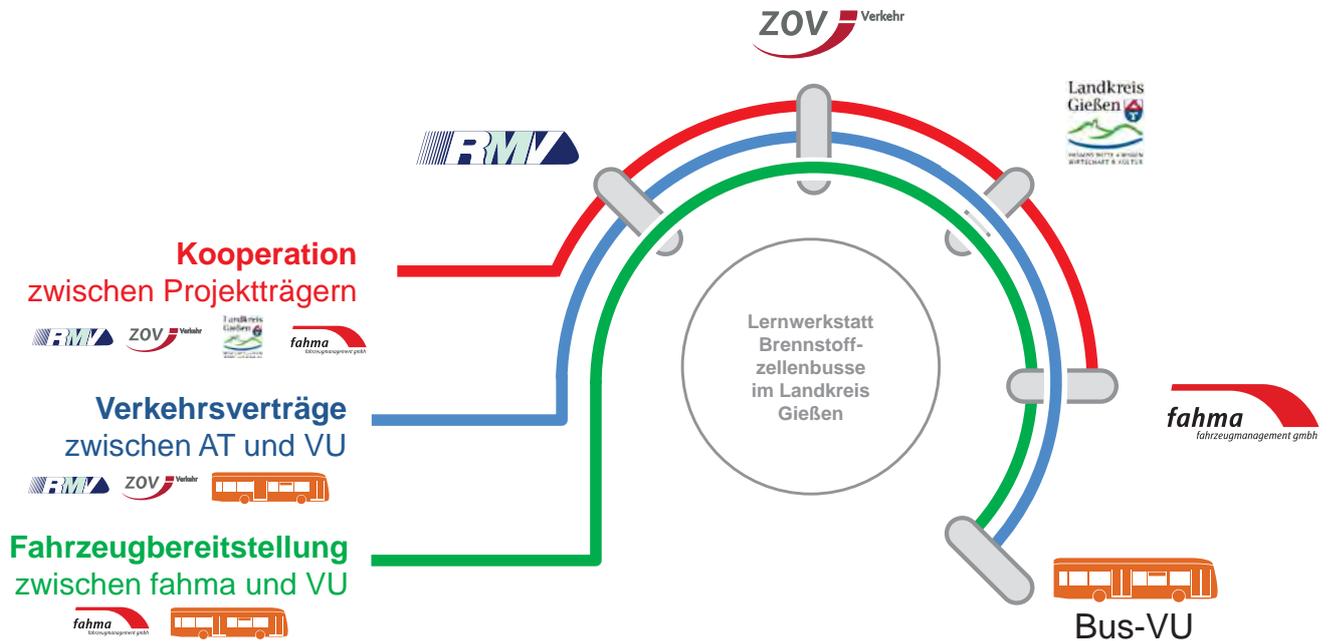


<b>Kapazität</b>	≈ 40 kg H <sub>2</sub>
<b>Verbrauch</b>	≈ 8,5 bis 10 kg H <sub>2</sub>
<b>Reichweite</b>	≈ 400 km
<b>Tagesreichweite</b>	≈ 500 km
<b>Brennstoffzelle</b>	≈ 100 kW



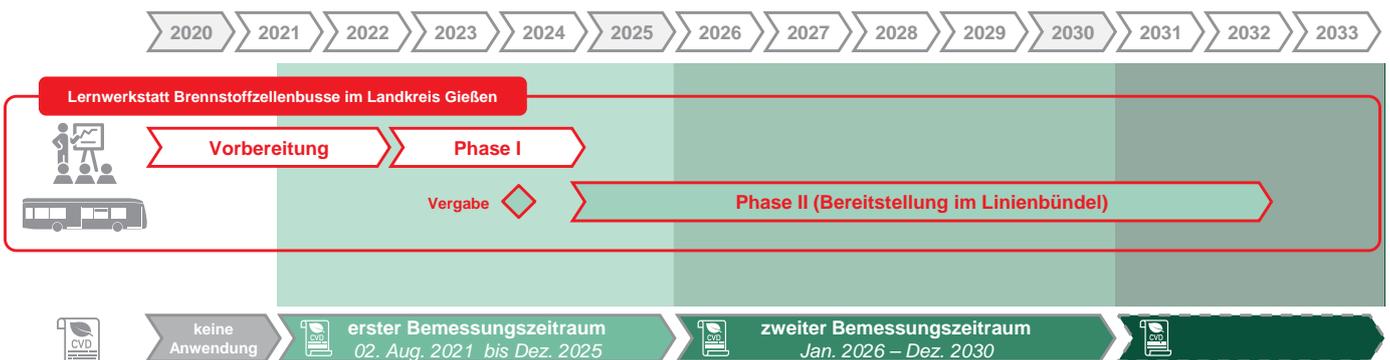
Das Fahrzeug wird an einer Wasserstofftankstelle in der Nähe des Linieneinsatzes getankt.

# Projektskizze Lernwerkstatt Brennstoffzellenbusse im Landkreis Gießen



# Lernwerkstatt Brennstoffzellenbusse im Landkreis Gießen

## Aufbau der Lernwerkstatt in zwei Phasen

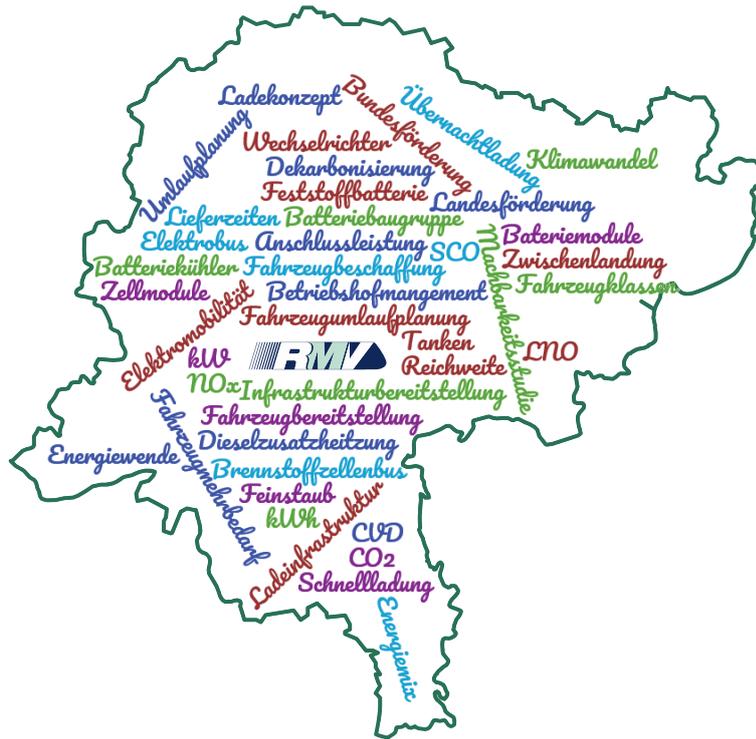


## Agenda

1	Grundlagen & Projektskizzen
2	Hintergründe
3	aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma
4	<b>Zusammenfassung &amp; Fazit</b>

## Zusammenfassung

1	<b>Grundlagen &amp; Projektskizzen</b>
	Grundlagen
	Projektskizzen
2	<b>Hintergründe</b>
	Clean Vehicles Directive (CVD) – 2009/33/EG
	Herausforderungen für Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen
3	<b>aktuelle Vorhaben des Rhein-Main-Verkehrsverbundes / der fahma</b>
	Machbarkeitsstudie
	Lernwerkstatt Brennstoffzellenbusse im Landkreis Gießen



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



**Torsten Schmidt**  
Dipl.-Ing. (FH) Verkehrssystemtechnik

Straßengebundener ÖPNV

Fahrzeugmanagement  
Region Frankfurt  
RheinMain GmbH  
Alte Bleiche 5  
65719 Hofheim a. Ts.

T: 0 61 92 - 2 94 - 6 12  
F: 0 61 92 - 2 94 - 6 65  
t\_schmidt@rmv.de  
www.fahma-rheinmain.de

ÖPNV-Anschluss  
Schiene: S2, RE20, RB22  
bis Bahnhof  
Hofheim a. Ts.