

Alternative Antriebe im Schienenverkehr

Entwicklungsstand & Perspektiven



Johannes Pagenkopf, DLR

DB Energie PowerTalk | 11.09.2025

Agenda



- DLR
- Technologieüberblick Alternative Antriebe
- Fahrzeuganwendungen mit Alternativen Antrieben
 - SPNV
 - SPFV
 - SGV
- NGT TAXI

Agenda



- **DLR**
- Technologieüberblick Alternative Antriebe
- Fahrzeuganwendungen mit Alternativen Antrieben
 - SPNV
 - SPFV
 - SGV
- **NGT TAXI**

Tätigkeitsfelder DLR

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

- Luftfahrt und Raumfahrt
- **Energie und Verkehr**
- Digitalisierung und Sicherheit
- Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten
- Projektträger zur Forschungsförderung



Institut für Fahrzeugkonzepte



150

multidisziplinär
Forschende

37%

Drittmittel

20 Mio.€

jährliches
Budget

6

Innovationsfelder



Institut für
Fahrzeugkonzepte



Forschung und Kompetenzen im Bereich alternativer Antriebe in Schienenfahrzeugen

Entwicklung alternativer Antriebskonzepte



Anforderungsmanagement & Realdatenanalyse

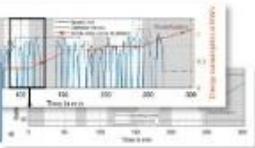
Next generation Battery & Fuel cell



Trend- & Technologiescouting

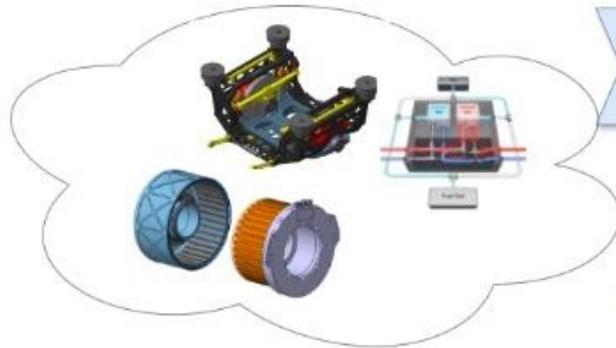


Tank- & Ladeinfrastruktur

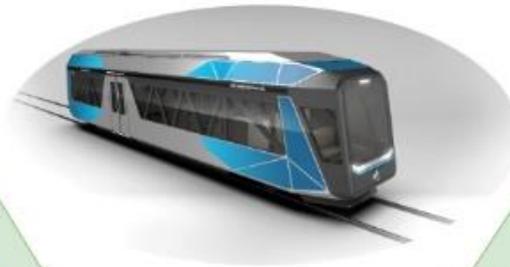


Energiemanagement & Simulation

Komponentenforschung



Dimensionierung & Packaging



Begleitforschung



LCC, LCA & Potenzialanalyse



Validierung & Erprobungsbegleitung



Komponenten- & Systemtests



Aktuelle DLR-Forschungs- & Demonstrationsprojekte zu alternativen Antrieben auf der Schiene (Auswahl)

Fokus BEMU

MOSENAS

MOSENAS

Modularer skalierbarer Energiespeicher für einen nachhaltigen SPNV (mit Stadler Rail)



Fokus HEMU / OL-BZ-Hybrid

wasserstoffschiene-heidekrautbahn.de

wasserstoff
schiene
HEIDEKRAUTBAHN



<https://fch2rail.eu/>

FCH₂RAIL
Fuel Cell Hybrid PowerPack for Rail Applications



Development and demonstration of alternative propulsion based on ESS



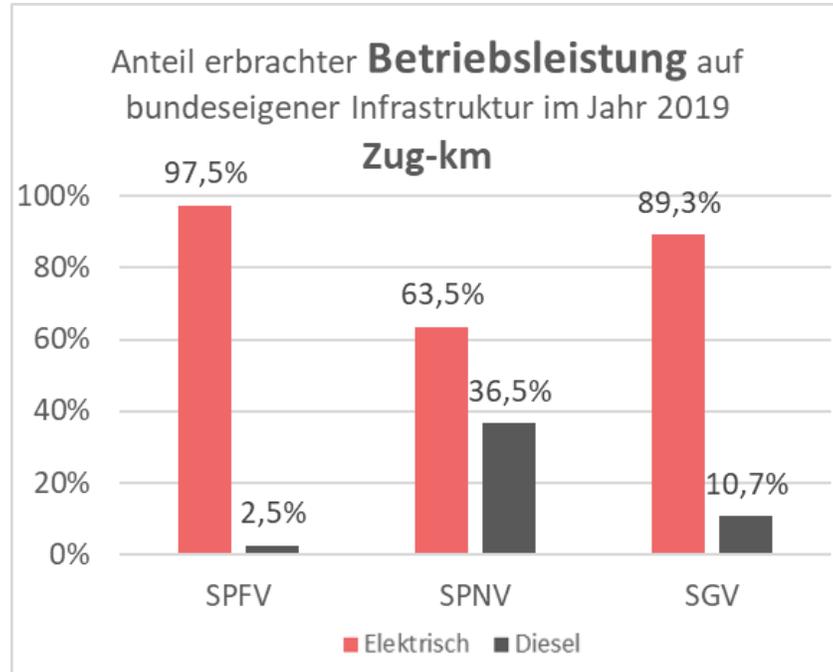
[eurail-fp4](https://eurail-fp4.eu)

Agenda



- DLR
- **Technologieüberblick Alternative Antriebe**
- Fahrzeuganwendungen mit Alternativen Antrieben
 - SPNV
 - SPFV
 - SGV
- NGT TAXI

Elektrische Traktion in Deutschland (2019)



[SGV-Wert ohne Dieserverkehre auf NE-Strecken und ohne Rangierverkehre]

Daten: [BMDV 2021](#),
[Bundesnetzagentur 2023](#)

- SPFV → nahezu vollständig OL-elektrisch ✓
- SPNV → (noch) mit relevanten Anteilen Diesel !
- SGV → (Streckenbetrieb) überwiegend OL-elektrisch ✓
- SGV → (Rangierbetrieb) überwiegend Dieselbetrieb !

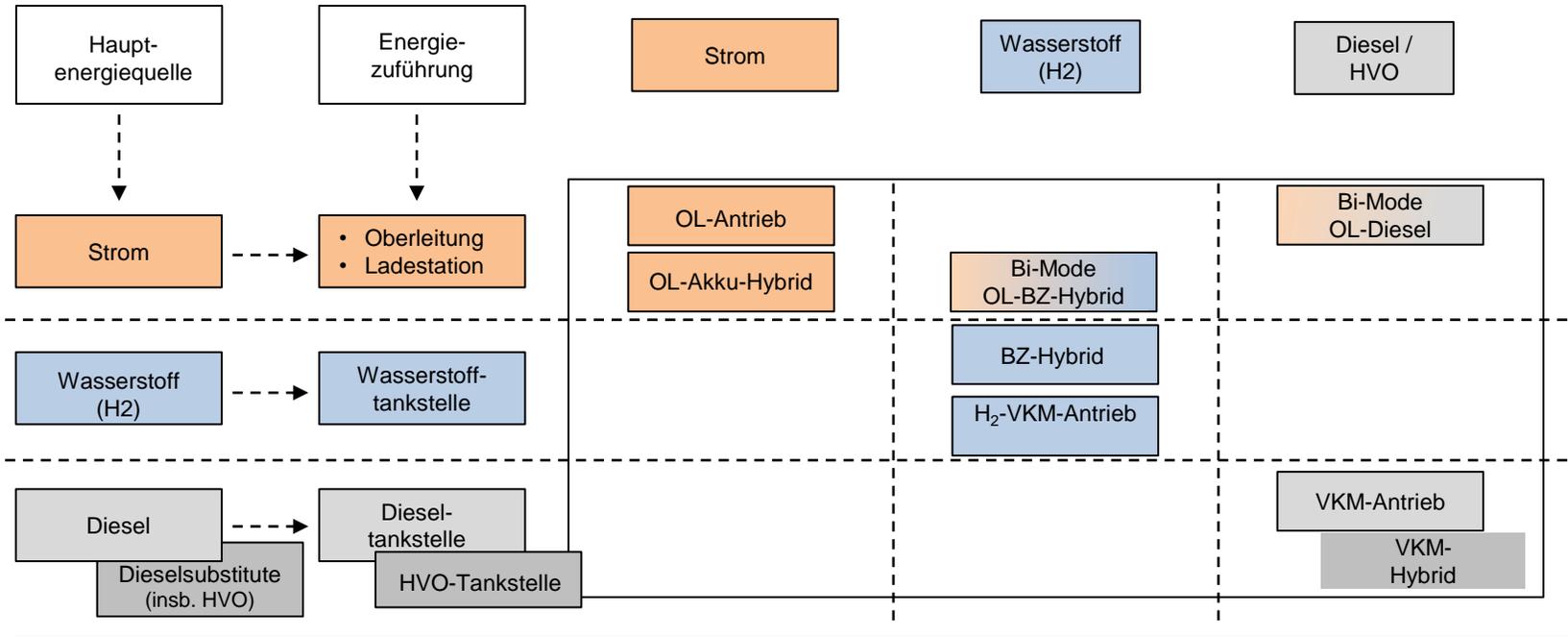
Zur Notwendigkeit alternativer, d.h. oberleitungsunabhängiger Antriebe



- Großteil des Schienenverkehrs ist bereits elektrisch!
- Umfangreiche Elektrifizierungsplanungen in Dtl. - aber schleppende Umsetzung
- Vollständige Streckenelektrifizierung der Nebenbahnen unrealistisch
- Weiterführung Dieselbetrieb mit Ziel CO₂-Reduktion nicht vereinbar

→ Es werden **CO₂-freie alternative Antriebstechnologien** für den weiterhin bestehenden fahrdrahtunabhängigen Betrieb benötigt

Fahrzeugantriebs- und Infrastrukturoptionen im Schienenverkehr (Auswahl)



OL: Oberleitung
BZ: Brennstoffzelle
VKM: Verbrennungskraftmaschine
* Mit externer Nachlademöglichkeit

NT-PEMFC: Niedertemperatur-Polymermembran-Brennstoffzelle,
HT: Hochtemperatur
DMFC: Direktmethanol-Brennstoffzelle

Weitere Optionen (noch nicht marktreif)



- Es existiert eine Vielzahl von Antriebs- und Energieversorgungsoptionen.
- Die im Bahnbereich aktuell wichtigsten Energieträger sind Strom, Diesel, HVO und Wasserstoff.

Schienerfahrzeuge mit alternativen Antrieben (Auswahl)



	OL-Akku-Hybrid	H ₂ -BZ-Hybrid	H ₂ -VKM	Bi-Mode OL-BZ-Hybrid	HVO
SPNV	 Bild: Stadler	 Bild: Siemens	 Bild: Stadler	 Bild: FCH2RAIL	 Bild: DB
SPFV	/				
SGV-Rangierlok	 Bild: Kecko (CC BY 2.0)	 Bild: Vossloh Rolling Stock	 Bild: Alstom	/	 Bild: MTU
SGV-Streckenlok	/				

- Für die wichtigsten alternativen Antriebe gibt es bereits konkrete Fahrzeugumsetzungen
- ... aber tlw. noch nicht in Deutschland und oft auch erst im Erprobungsstadium

Akkutechnologien in Schienenfahrzeugen

- In Schienenfahrzeugen sind derzeit folgende **Batterietechnologien** im Einsatz:
 - LTO: Lithium-Titanat-Oxid
 - NMC: Nickel-Mangan-Cobalt-Oxid
 - LFP: Lithium-Eisenphosphat-Oxid

→ *Anwendungsspezifische Auswahl der Technologien*
- **Perspektiven (u.a.):**
 - Zelltechnologien mit Potential insb.:
 - Manganreiche LMFP
 - Niob-Titanat
 - Na-Ionen
 - Cell-To-Pack-Ansätze



Bild: Akasol

H₂-Anwendungen im Schienenverkehr

- zwei Möglichkeiten der **Nutzung von H₂** in Fahrzeugenergiewandlern:

- in Brennstoffzellen**

Chemische Reaktion

→ Resultat: elektrische Energie



Abb.: Ballard

- in Verbrennungsmotoren**

Verbrennungsprozess

→ Resultat: mechanische Energie

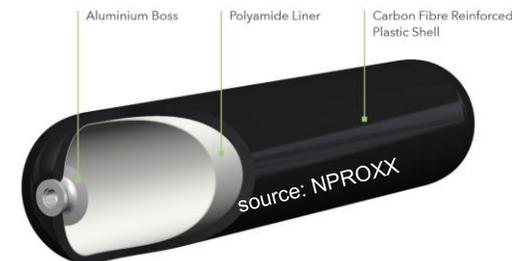


Abb.: Deutz

- H₂-Speicherung** meist...:

- ...in Druckbehältern (CGH2)**

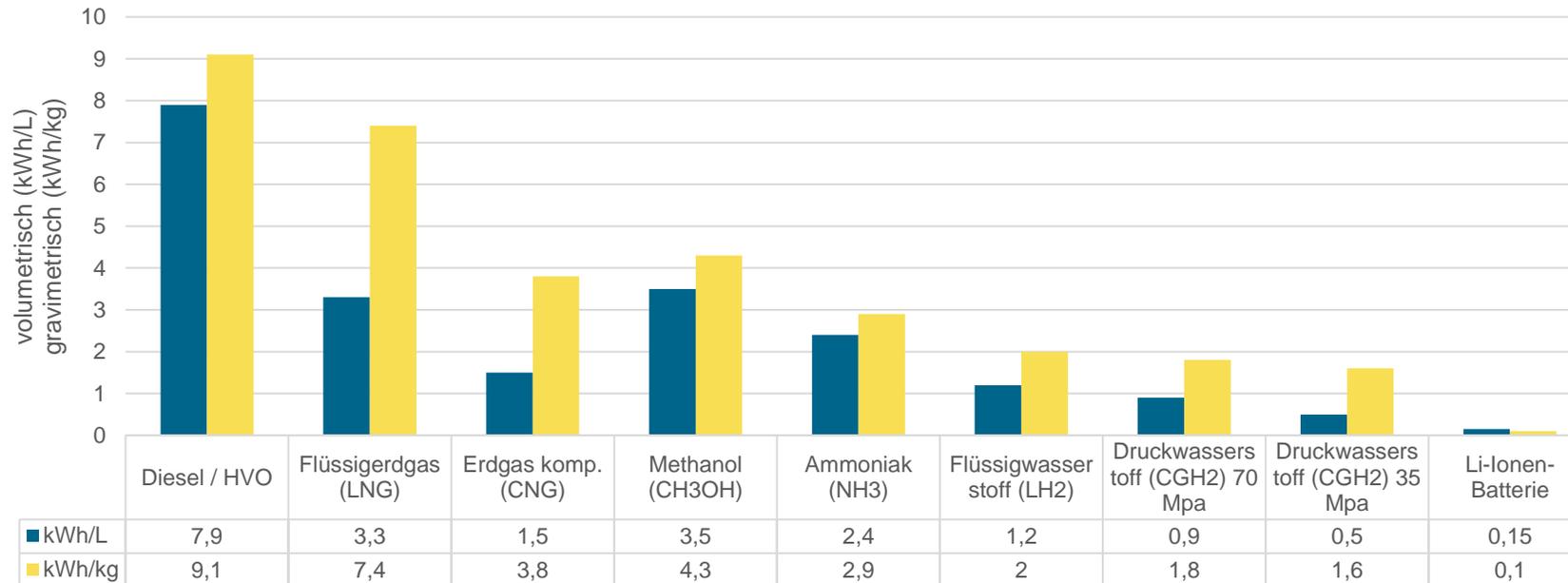
- i.d.R. 35 MPa
- Trend: 70 MPa CGH2 (insb. für SGV)



Indikator Energiedichte Speichersystem

- Fahr- & Hilfsbetriebeenergie muss im fahrdrahtlosen Betrieb in einem **Energiespeicher** auf Fahrzeug mitgeführt werden

Energiedichte auf Energiespeichersystemebene



Speichersystemebene: d.h. Kraftstoffbehälter inkl. Kraftstoff, Batterieanlage inkl. Kühlsystem, Wasserstoffflaschen inkl. Wasserstoff

- LIB: sehr geringe Energiedichte
Aber: Zwischenelektrifizierungen reduzieren Bauraum und Gewicht der erforderlichen Akkumulatoren
- H2 deutlich bessere Energiedichte.
Aber: hier BZ-Anlage und LIB nicht enthalten

Indikator Effizienz



- **EMU und BEMU:**

- Umwandlungseffizienz bei **direktelektrischen** Antrieben am höchsten

- **HEMU:**

- Umwandlungsverluste **Elektrolyse** und **Rückverstromung in Brennstoffzellen** mindern Gesamtwirkungsgrad

Agenda



- Alternative Antriebe im DLR
- Ausgangslage & Technologieüberblick Alternative Antriebe
- **Fahrzeuganwendungen mit Alternativen Antrieben**
 - SPNV
 - SPFV
 - SGV
- NGT TAXI

SPNV-Tz mit Alternativen Antrieben - Konfigurationen



© Alstom AG,
railjournal.com /
Abellio., Siemens
AG, Michael Fritsche,
Stadler, CAF

▪ BEMU: Typische Konfigurationen

- Bis zu 800 kWh Akkukapazität
- Peak Power 1-2 MW elektrisch
- Nachladung 16,7/50 Hz, 15/25 kV & 400 V AC

▪ HEMU: Typische Konfigurationen

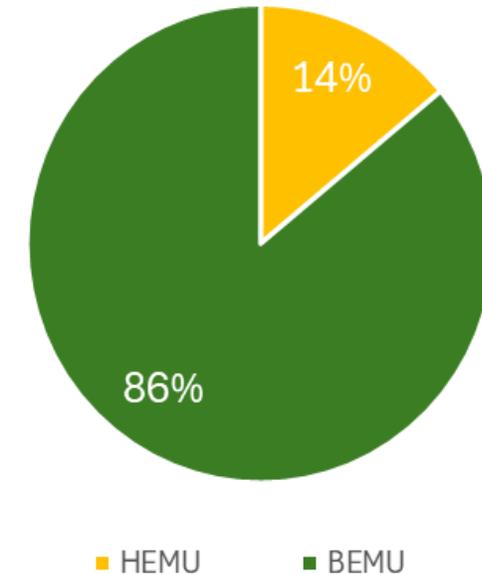
- 400 – 600 kW BZ (LT-PEMFC) installiert
- 200 - 400 kWh Akkukapazität
- Peak Power 1-2 MW elektrisch (BZ + Akku)
- 170-260 kg H₂-Kapazität (CGH2 35 MPa)

SPNV: BEMU / HEMU-Anteile



- BEMU dominiert den Markt
- HEMU bei neuen Netzen kaum noch relevant
(→ siehe auch BSN-SPNV-Vergabekalender)

Anteile BEMU + HEMU
(insg. 358 bestellt)



Quelle: Hark Neumann (Team ZugPool). Vortrag auf Eurailpressforum Alternative Antriebe 2025

- Fahrzeuge sind marktverfügbar, i.d.R. 2- und 3-teilig
- komplette Umstellung auf lokal emissionsfreie Fzg. in den nächsten Jahren/Jahrzehnten absehbar ✓



Quelle: [Sebastian Terfloth](#) (CC-SA-3.0)



Quelle: [Rob Dammers](#) (CC-BY-2.0)

- Der Schienenpersonenfernverkehr verkehrt bereits heute zu praktisch 100 % OL-elektrisch



Schienengüterverkehr

Rangierlokomotiven

- viel Leerlauf, **hohe Peakleistungen** + i.d.R. **moderate Dauerleistungen**
- **Örtlich begrenzte Einsatzradien**
- **Diverse Antriebsoptionen** in Erprobung bzw. in Kürze marktverfügbar
 - Diesel-Hybrid
 - HVO
 - H₂-BZ-Hybrid
 - H₂-VKM (insb. Umrüstung)
 - OL-Akku-Hybrid
 - Akkulok

Beispiele:



H₂-VKM: Alstom H3 H₂ ICE
(Bild: Alstom)



OL-Akku-Hybrid: Vossloh Modula EBB (Bild: Vossloh Rolling Stock)



Akkulok: IPE E6 (Bild:
rollingstockworld.com)



- Umstellung auf lokal emissionsfreie Alternativen bei Rangierlokomotiven grundsätzlich machbar
- Marktdurchdringung hat begonnen



Schienengüterverkehr

Streckenlokomotiven

- Charakteristisch im dieselbetriebenen Streckengüterzugdienst:
 - hohe **Zugmassen** (500-2000 t),
 - hohe **Geschwindigkeiten** (bis zu 80-100 km/h),
 - weite Entfernungen bzw. **Fahrzeiten** (mehrere Stunden) und
 - häufige signalbedingte **Halt- und Beschleunigungsvorgänge**

→ **Hohe Dauerleistungen** → **sehr hoher (Speicher-)Energiebedarf**
- Welche **lokseitigen emissionsarmen Lösungen** gibt es?
 - **Akkumulatoren** → nur für Last-Mile-Anwendungen
 - **Wasserstoff** → für LM; ggf. auch Energietender denkbar
 - **Ammoniak, Methanol** → energetisch interessant, aber noch nicht erprobt
 - **HVO** → machbar, aber Umweltbilanz fraglich



Baureihe 285 (Diesel) (Bild: www.oehlerfoto.de)



H2BZ-Tenderkonzept (Bild: Alstom)

- Im Streckendienst ist die OL-Traktion der Königsweg (-> konsequente Streckenelektrifizierung)
- fahrdrahtfreie Letzte Meile mit Akkus oder H₂ grundsätzlich umsetzbar
- Für längere nicht elektrifizierte Abschnitte sind emissionsarme Lösungen noch zu entwickeln



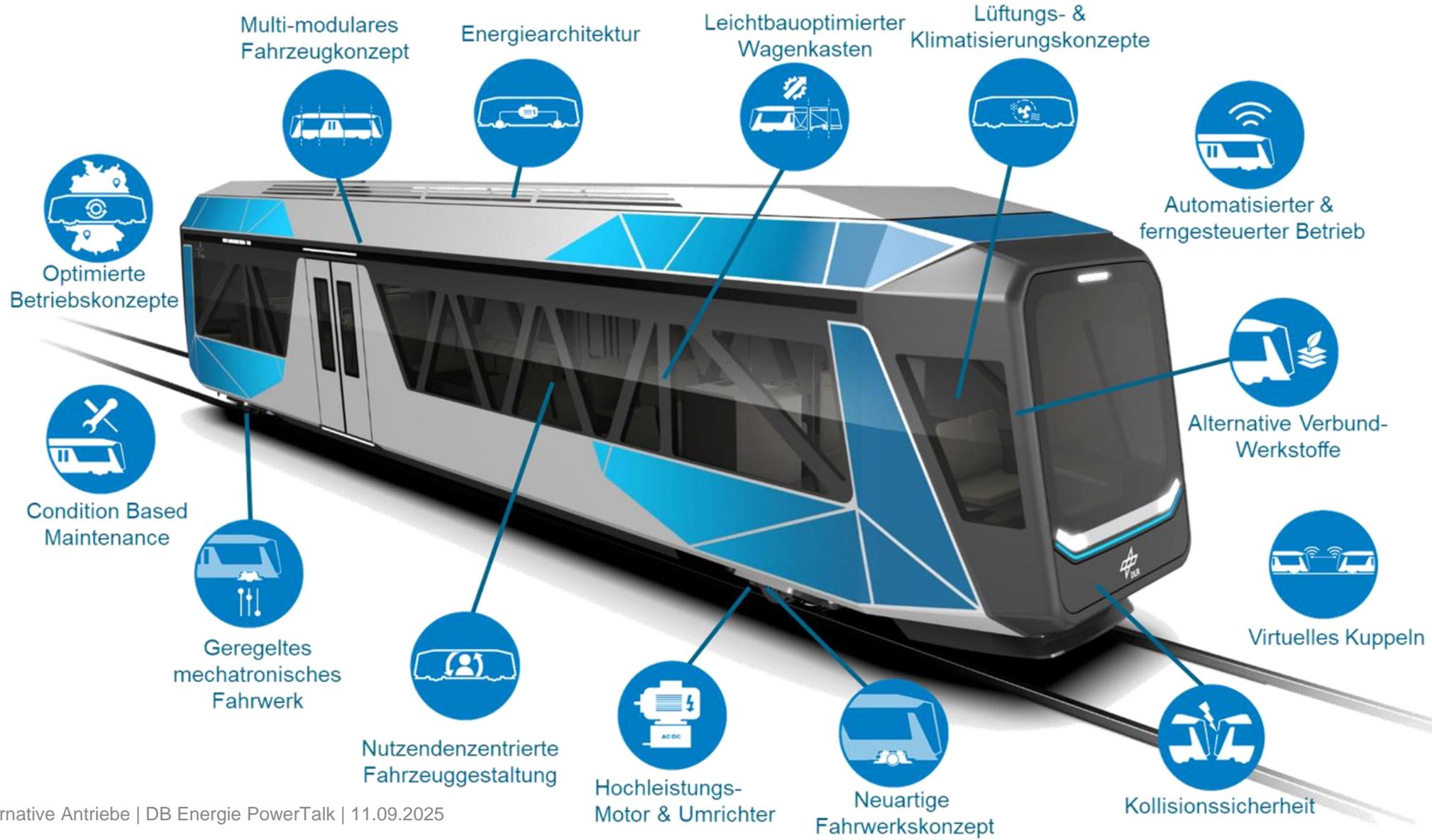
Agenda



- DLR
- Technologieüberblick Alternative Antriebe
- Fahrzeuganwendungen mit Alternativen Antrieben
 - SPNV
 - SPFV
 - SGV
- **NGT TAXI**

Next Generation Train (NGT) TAXI

Fahrzeugkonzept des DLR für Nebenbahnen



Systementscheid: Nachladetechnik



Mischbetrieb mit Vollbahnfahrzeugen

Einsatz auf Haupt- und Nebenstrecken
gemeinsam mit Vollbahn-Fahrzeugen



Betrieb auf abgeschlossenen Strecken

Einsatz auf Neben- und Reaktivierungsstrecken
mit infrastruktureller Trennung zu Vollbahnbereich



- Akku-Antrieb bei Betrieb auf abgeschlossenen Strecken:
→ Nachladung über **AC** (15/25 kV, 16,7/50 Hz) oder über **DC**?

Systementscheid: Nachladetechnik

Problem:

- hohe Achslasten durch schweren 16,7 Hz-Transformator auf dem Fahrzeug

Idee:

- Nachladung NGT-TAXI über **DC** (Entfall 16,7 Hz-Trafo)
- Nutzung von z.B. E-Bus-Nachladetechnik

Herausforderungen:

- Keine etablierten Vollbahnkomponenten verfügbar
- fehlende Kompatibilität mit Bestandselektrifizierung

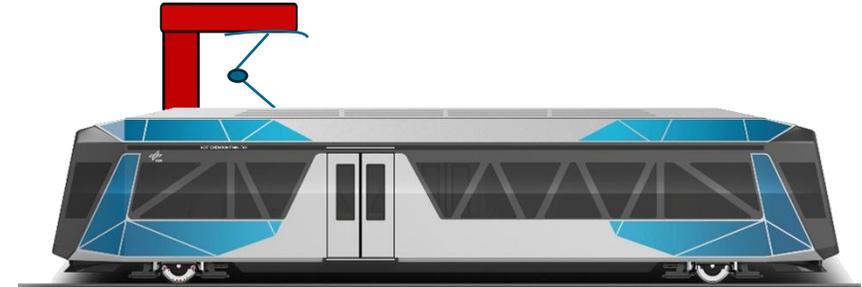


Bild: Coventry City Council / WMG

- Systemvergleich AC- vs. DC-Nachladung ist derzeit Untersuchungsgegenstand des DLR

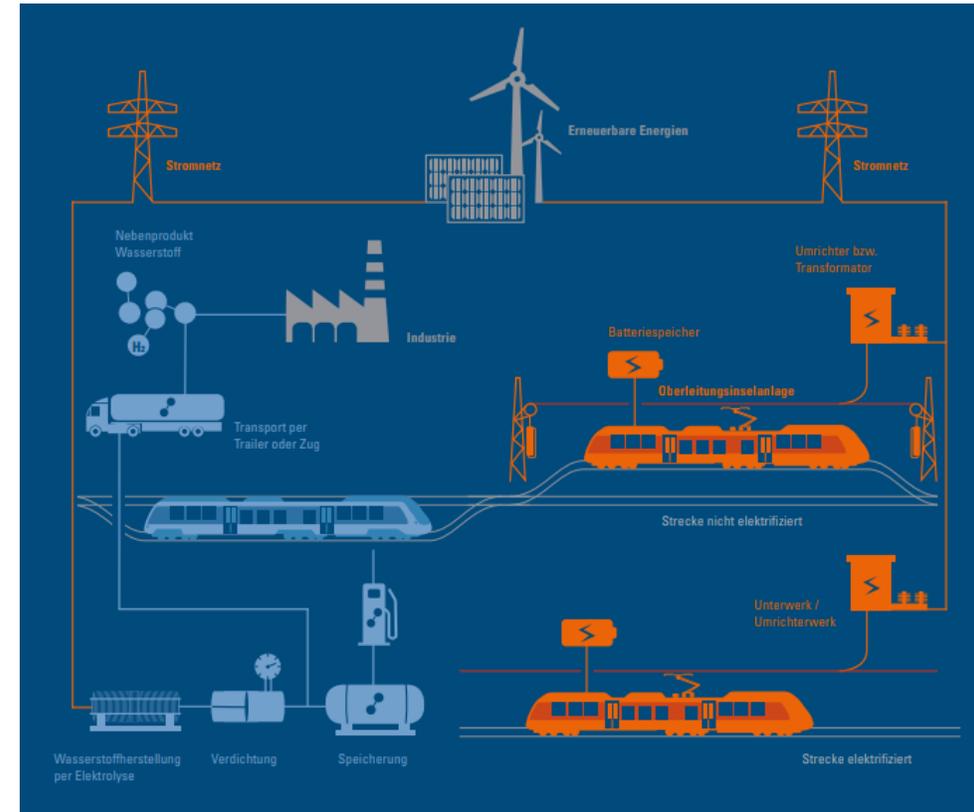
Fazit und Ausblick

▪ Fazit

- Generell: OL-Elektrifizierung ist Vorzugslösung
- SPNV:
 - BEMU & HEMU sind marktverfügbar und bereits im Einsatz
-> Fokus BEMU
- SGV:
 - Akku-Lösungen reichen nicht immer aus: H₂ mögliche Option

▪ Ausblick

- Akku:
 - Erhöhung Akkukapazität (Long-Range BEMU)
 - Einsatz weiterentwickelter Batterietechnologien
 - Batterienachnutzungspfade (2nd Use + Recycling)
- H₂:
 - Erprobung H₂-Antriebe insb. im SGV
 - CGH2 70 MPa und ggf. LH₂
- Sektorenkopplungspotentiale H₂ und Akkus



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung | Rutherfordstraße 2 | 12489 Berlin

Johannes Pagenkopf, M.Sc. | Gruppenleiter Schienenfahrzeuge und Infrastruktur

Telefon 030 67055-7957 | johannes.pagenkopf@dlr.de

www.DLR.de/FK

