

Einsatzpotenzial hybrider Antriebe im deutschen Schienenpersonennahverkehr (Studie für NOW – aktueller Stand)

Johannes Pagenkopf, Mathias Böhm, Toni Schirmer
DLR - Institut für Fahrzeugkonzepte

6. NOW-Konferenz Elektromobilität vor Ort
Stuttgart, 26.03.2019



Wissen für Morgen



Marktanalyse alternative Antriebe im SPNV in Deutschland

DLR-Studie für die NOW

- **Hintergrund:**

- Ermittlung Einsatzpotentiale hybrider Antriebe im SPNV

- **Bearbeitungszeitraum:**

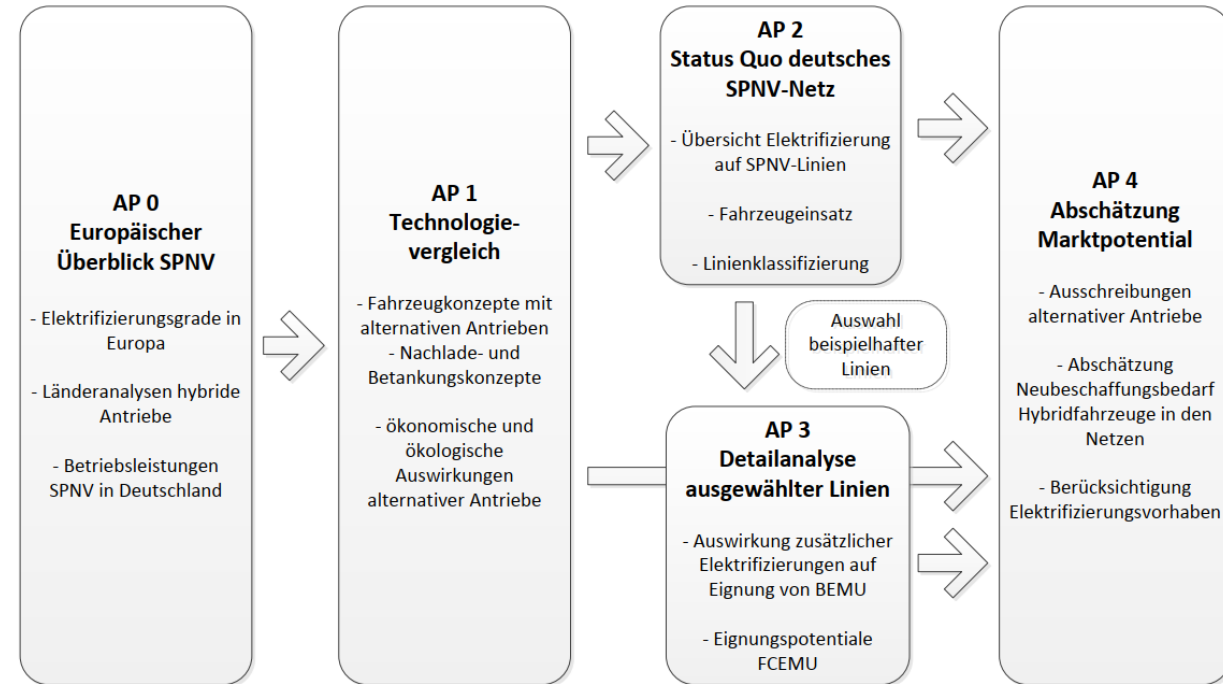
- Januar – Q3 2019

- **Fokus:**

- Marktübersicht Hybridfahrzeuge
- Analyse Diesel-SPNV-Linien
- Einfluss Elektrifizierung auf Eignung hybrider Antriebe
- Abschätzung Marktpotential Hybridfahrzeuge

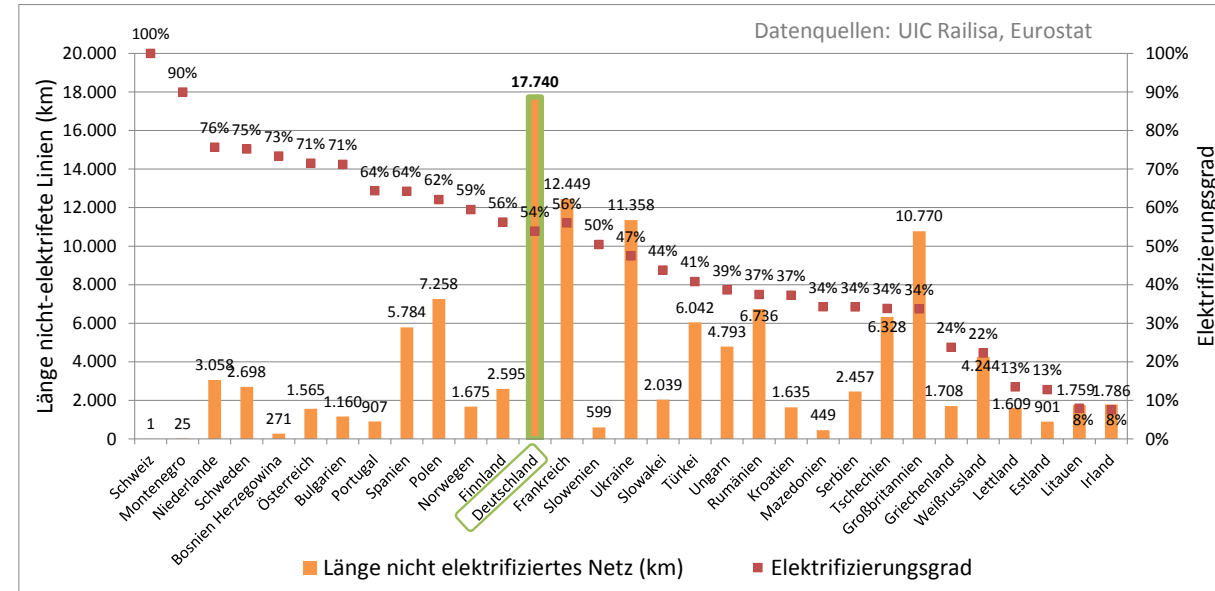
- **Berücksichtigung parallel laufender Studien:**

- Voll-&Teilelektrifizierung (PTV, TUD, TUB)
- Begleitforschung X-EMU (VDE)
- FCHJU–Fuel Cell Trains study (Roland Berger)

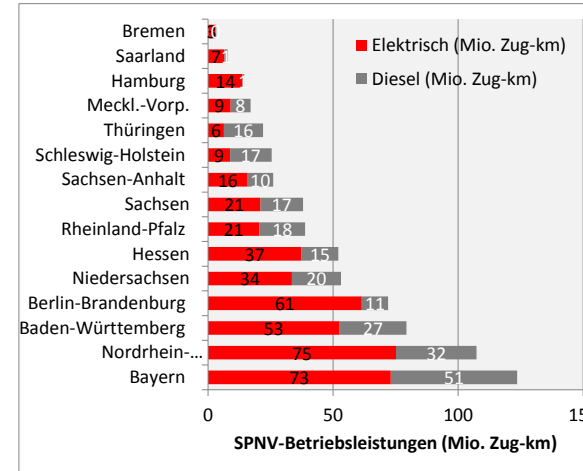


AP 0: D-Traktion und Elektrifizierung im SPNV

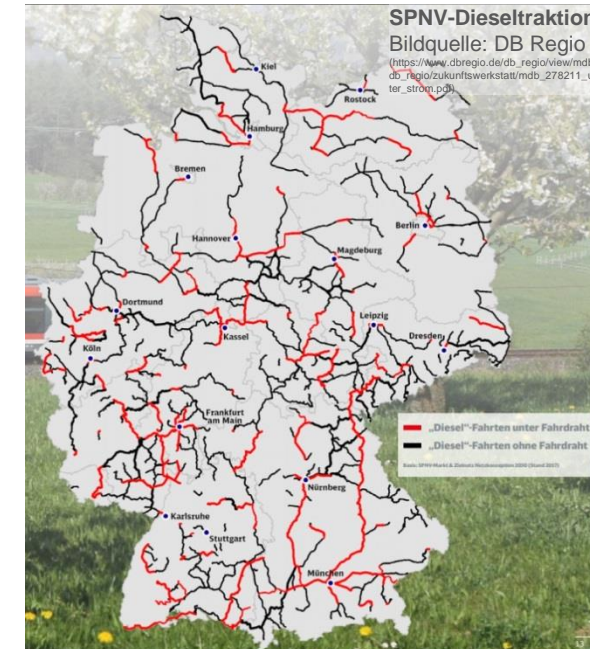
- **54% (60%)*** des deutschen Schienennetzes sind **elektrifiziert**
→ europäisches Mittelfeld



- 680,5 Mio. SPNV-Zug-km (E+D-Traktion) im Jahr 2017
 - davon in **D-Traktion: 36% (ca. 240 Mio. Zug-km)****
 - D-Betrieb heute in Teilabschnitten unter OL
- **Elektrifizierungsziel** des Bundes: **70%**
 - strecken- und fahrzeugseitige Maßnahmen
 - Untersetzung im BVWP sowie durch zusätzliches Bundes-Elektrifizierungsprogramm
 - konkrete Projekte und Finanzierung noch offen



Datenquelle: BAG-SPNV 2018



AP 1: Antriebskonzepte für den SPNV

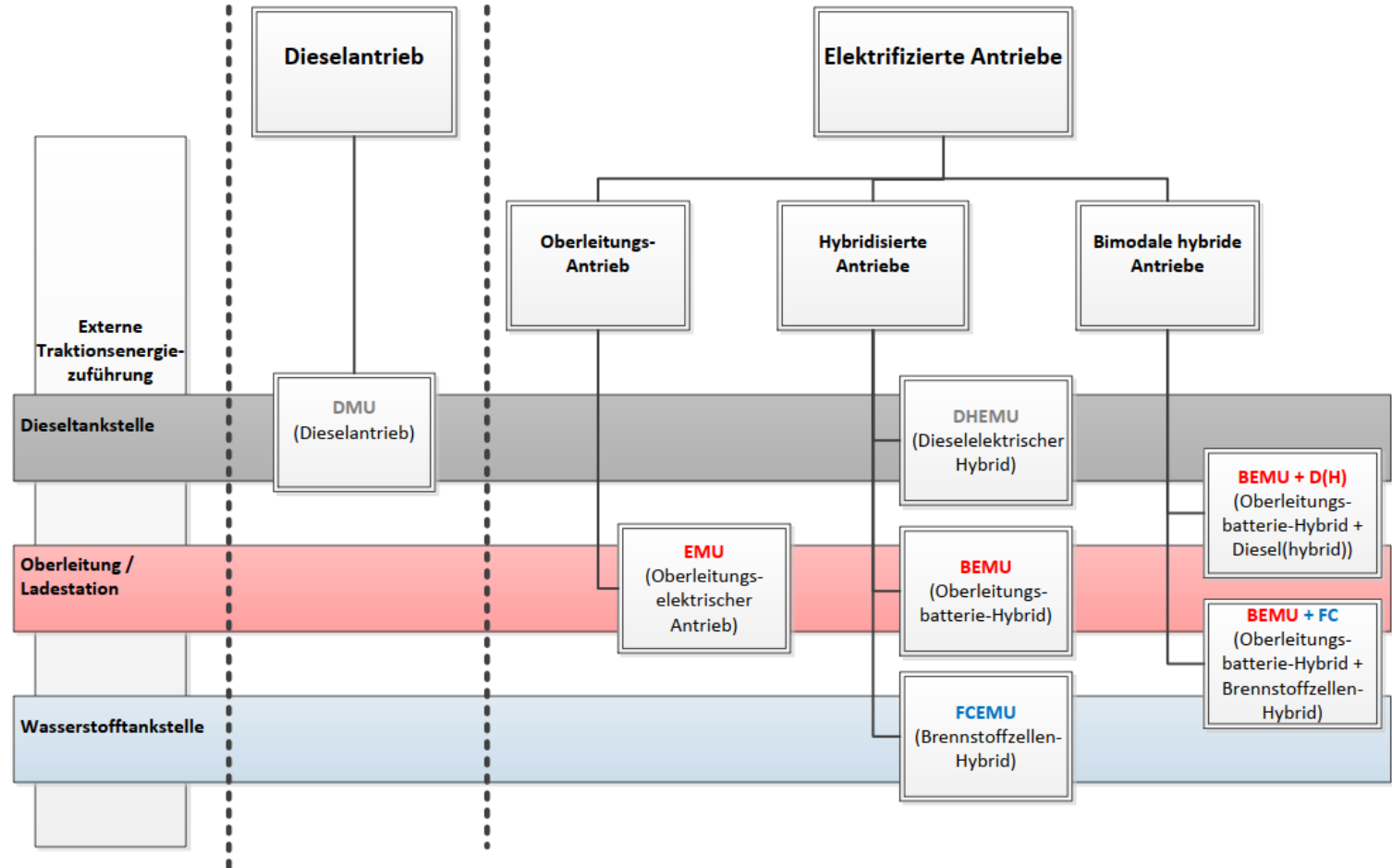
Fahrzeug- und Infrastrukturoptionen

- Art der **Traktionsenergiezuführung** ist zentrales Unterscheidungsmerkmal:
 - Dieseltankstelle
 - Oberleitung/Ladestation
 - Wasserstofftankstelle

Nomenklatur:

- DMU – Dieseltriebzug
- EMU – Oberleitungs-Elektrotriebzug
- BEMU – Oberleitungs-Batterie-Hybrid-Triebszug
- FCEMU – Brennstoffzellen-Hybrid-Triebszug
- DHEMU – Dieselelektrischer Hybrid-Triebszug

MU = Multiple Unit (Triebszug)



(Auswahl, weitere Antriebskonzepte sind grundsätzlich möglich)

AP 1: Hybridfahrzeuge im SPNV

Hybridisierte Fahrzeuge für den SPNV

in der Zulassung oder bereits im FG-Einsatz



DHEMU: Siemens Desiro Eco-train Hybrid BR 642 (www.railjournal.com)



BEMU: Stadler FLIRT Akku BR 427 (Quelle: https://railway-news.com)



BEMU: Siemens Cityjet eco (Prototypumbau eines EMU Desiro ML) (Quelle: Siemens 2018)

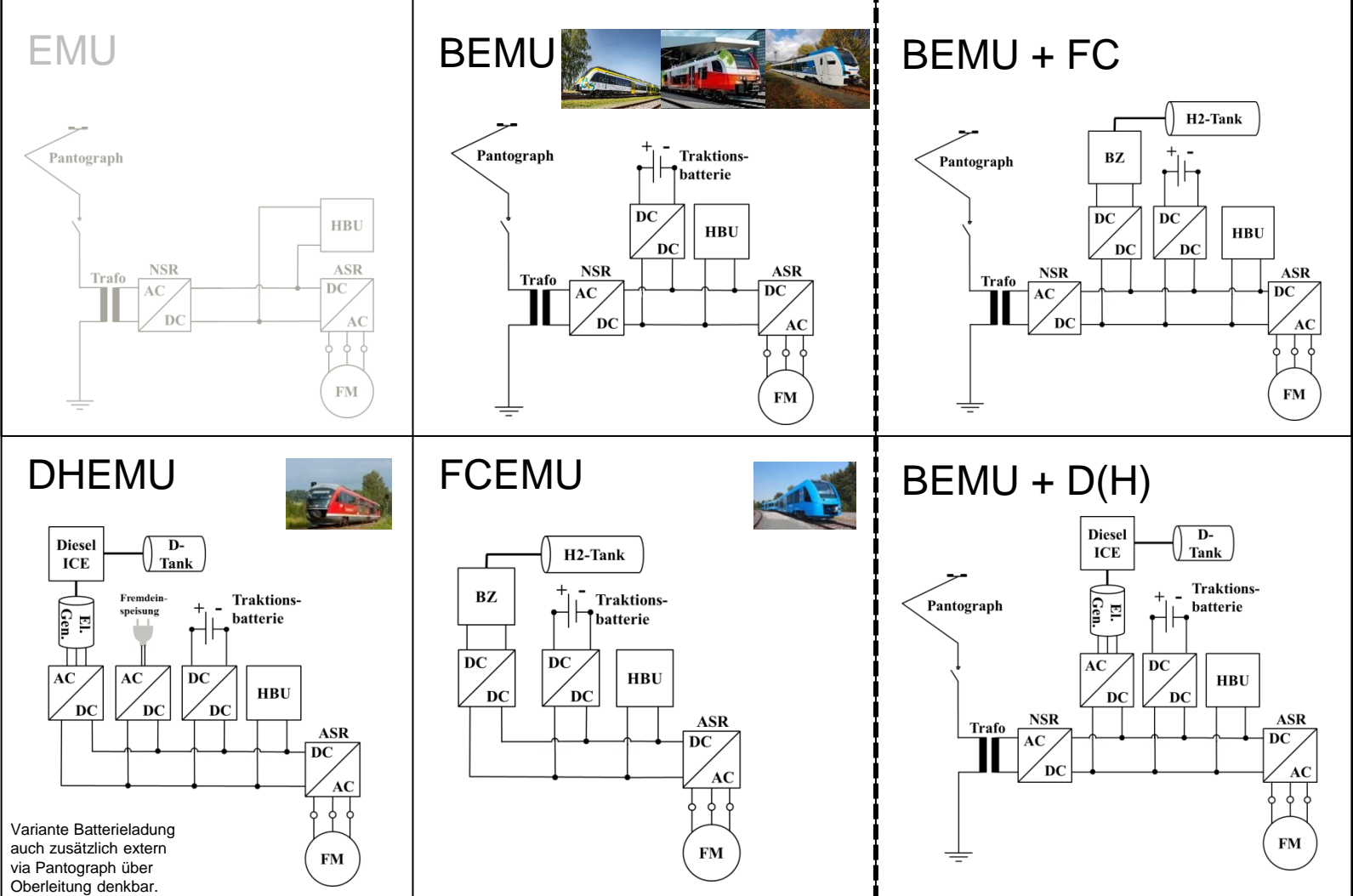


BEMU: Bombardier Talent 3 BEMU BR 442 (Quelle: Bombardier)



FCEMU: Alstom iLINT BR 654 (Quelle: Alstom)

Antriebstopologien (beispielhaft):

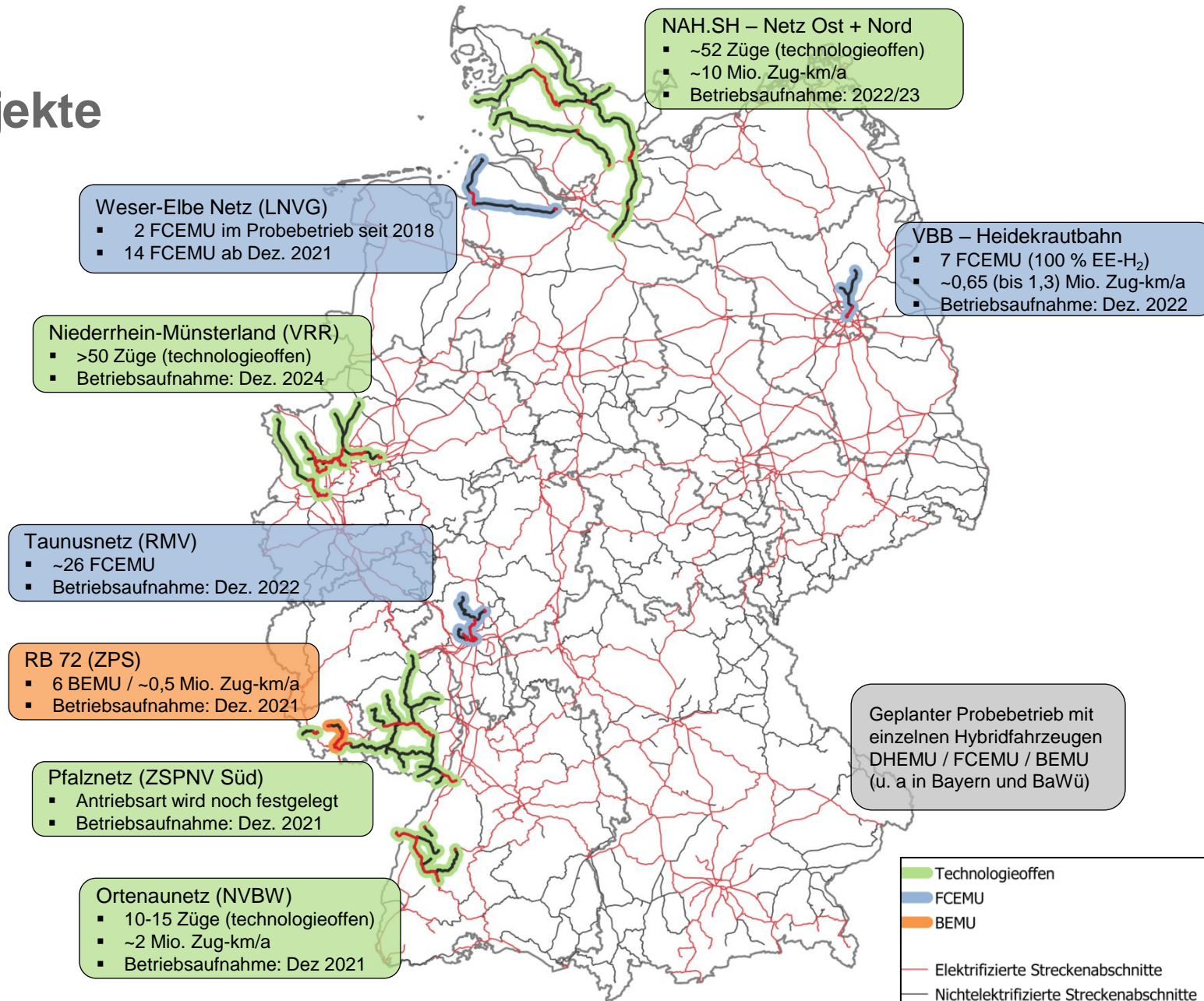


Bisher nicht (in D) umgesetzt:

Weitere Antriebskonzepte denkbar. Topologien der Fahrzeuge weichen ggf. von den dargestellten Topologien ab. HBU: Hilfsbetriebeumrichter.

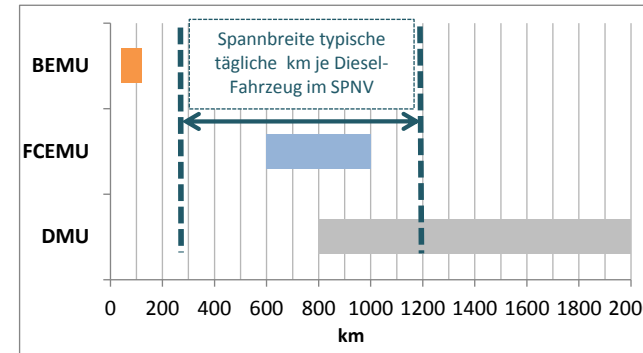
Vergabeverfahren & Pilotprojekte für Hybridtriebzüge im SPNV

- Erste **Vergabeverfahren** für Fahrzeuge mit Hybridantrieben laufen derzeit
 - > **technologieoffen**
 - > spezifisch **BEMU** oder **FCEMU**
- Zusätzliche **Pilotprojekte** für zeitlich befristete Testbetriebe mit (einzelnen) Fahrzeugen in Vorbereitung

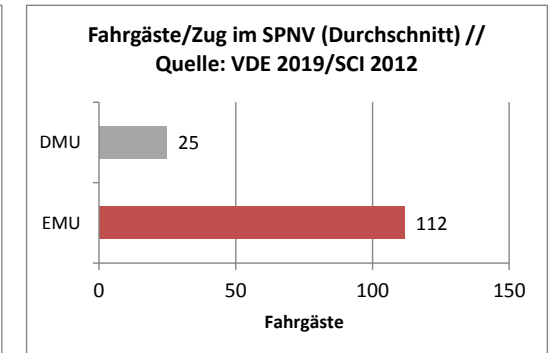


AP 1: Charakteristika von Diesel- und Hybridfahrzeugen

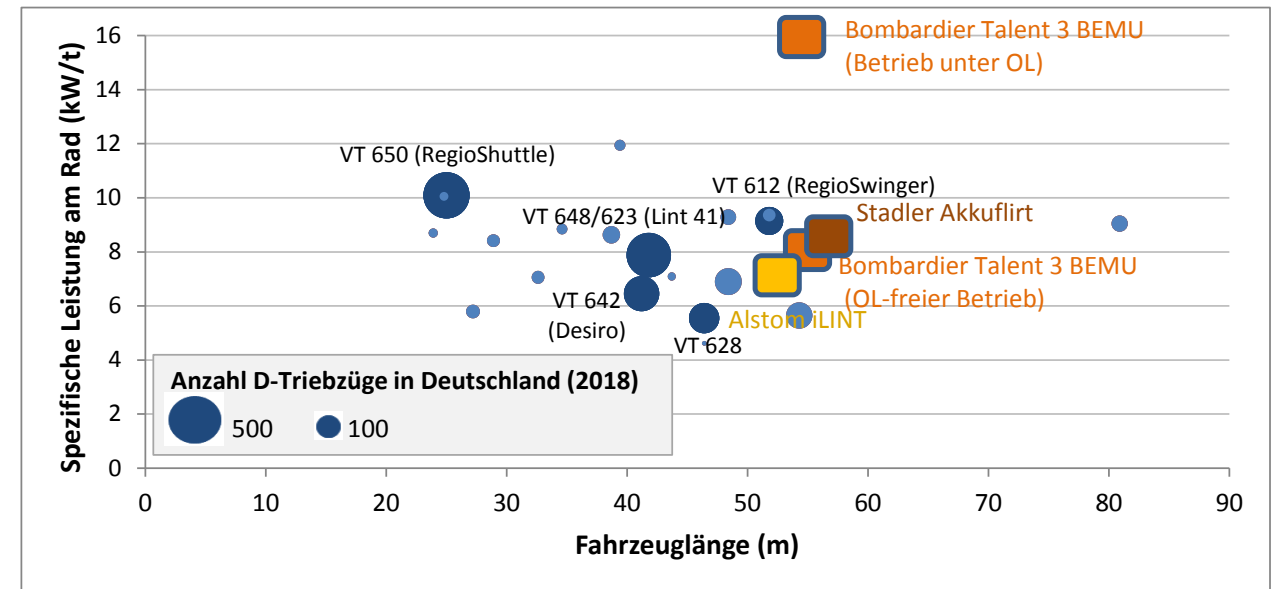
- **Reichweiten** BEMU/FCEMU mit einer Tankfüllung /Batterieladung geringer als von DMU → Verteilung Nachlade-/Betankungsinfrastruktur entscheidend
- Ca. **2.500 Dieseltriebzüge (DMU)** in Betrieb, Neufahrzeuge i.d.R. 2- und 3-Teiler
- Auf **Nebenstrecken** oft **kleine Gefäßgrößen** im Einsatz (1-Teiler analog RS 650), HVZ in Mehrfachtraktion
- Spez. Leistung **DMU tlw. 10 kW/t**, **Hybrid-Fahrzeuge: 7-9 kW/t** (Prototypfahrzeuge)
- Fahrpläne sind auf (teilweise sehr spurtstarke) Bestandsfahrzeuge ausgelegt



Reichweiten der Antriebskonzepte vor Nachladung bzw. Betankung



Daten nach VDE-XEMU-Workshop, 27.02. mit Zahlen von Leenen (Fahrzeugfinanzierung im SPNV, 2012)



(Ansatz Eigenmasse/Dienstmasse, spez. Leistung am Rad (psch. Ansatz Wirkungsgrad Kraftübertragung: 80 %; Daten für Hybridfahrzeuge tlw. geschätzt)

AP 2: Bewertungskriterien für den Einsatz hybrider Antriebe (Auswahl)

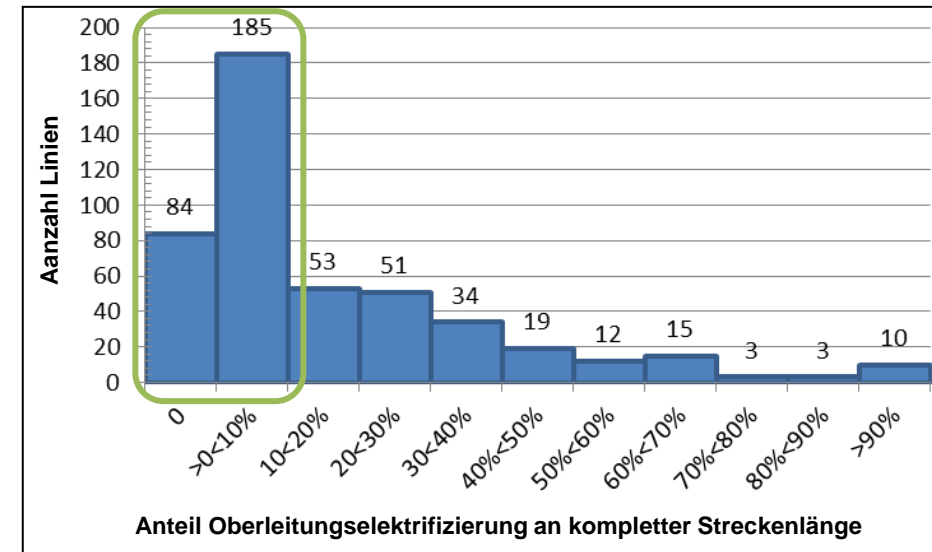
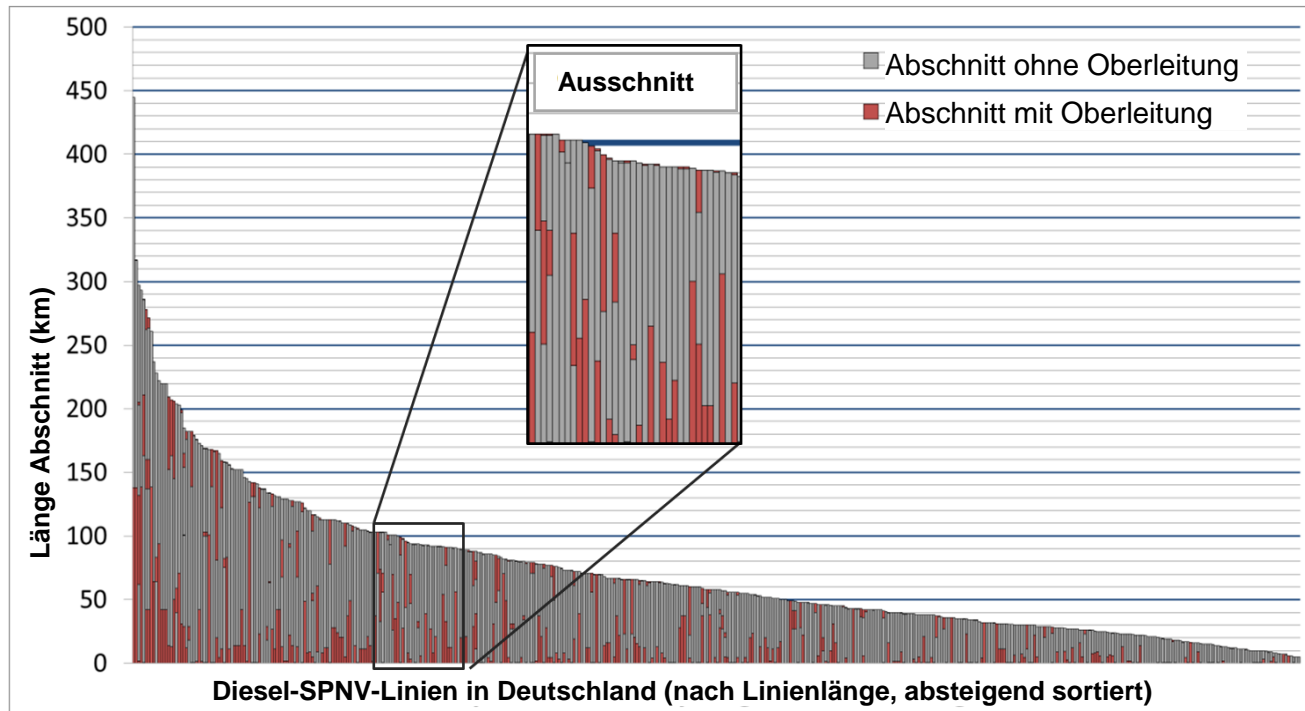
- **Technische Machbarkeit, LCC** und CO₂
- **Elektrifizierungsgrad** der Linien
- **Sektorenkopplung**, Synergieeffekte gemeinsamer H₂-Distributionsinfrastrukturnutzung
- Elektrifizierungsschwierigkeiten, Fahrzeugumrüstbarkeit auf reinen Oberleitungsbetrieb
- **Freiheitsgrade:**
 - Fahrzeugtechnik (Speicherenergie auf Fahrzeug)
 - Infrastruktur (Anzahl und Anordnung von Nachladeinfrastruktur bzw. Wasserstofftankstellen)
 - Betriebsprogramm (Netz- und Linienzuschnitt, Umlaufplanung, Wendezeiten)
- Hybride Antriebe kein Ersatz für (ohnehin geplante) weitere Streckenelektrifizierung, Kriterien:
 - verkehrliche Bedeutung (Knotenpunkte, Umleiter-/Entlastungsstrecken, Schaffung elektrif. Korridore)
- Ggf. sind Hybridfahrzeuge auch als **Übergangslösung** bis zu einer Komplettelektrifizierung denkbar
- Grundsätzlich:
 - BEMU/FCEMU-Eignung stets für jeweiliges Ausschreibungsnetzes **konkret und detailliert** zu **betrachten** (Betriebs- und Energiesimulation)



AP 2: Elektrifizierung des SPNV-Liniennetzes (heute)

Heterogenes Elektrifizierungsmuster

- **Elektrifizierungseigenschaften** erster Anhaltspunkt für Bewertung BEMU-Vorteilhaftigkeit
 - zu überbrückende nicht-elektrifizierte Streckenlänge
 - Anzahl und Verteilung der vorhandenen Nachladeabschnitte
 - Linien- und Umlaufplangestaltung; Nachladedauer & -länge



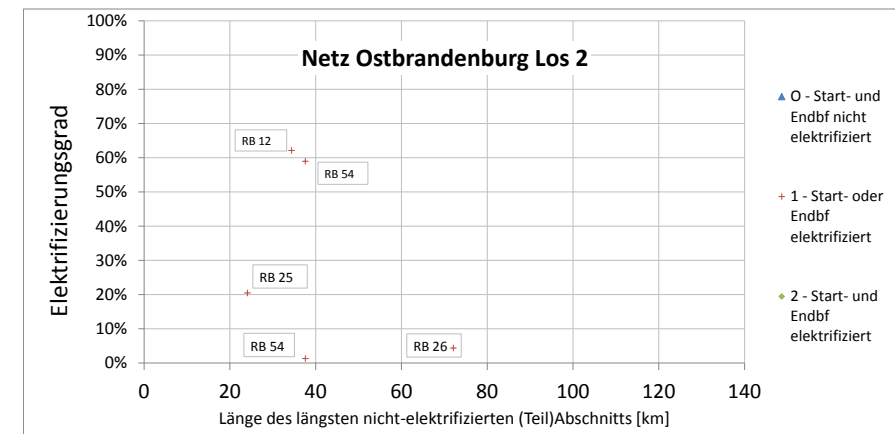
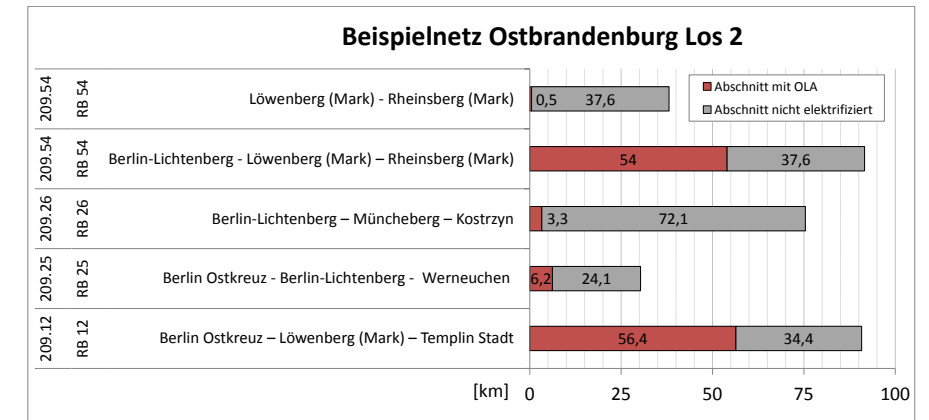
- **57 %** der Linien zu weniger als 1/10 der Länge elektrifiziert
- In der Studie:* Aktualisierung Liniendaten anhand geplanter Elektrifizierung und Neukonzessionen

Aus: Pagenkopf, Johannes und Boehm, Mathias und Haas, Jan Lucas und Friedrich, Horst E. (2018) [Analysis of German diesel operated regional railway lines' patterns with regard to the application of battery and fuel cell electric trains](#). The Fourth International Conference on Railway Technology - Railways 2018, 3.-7. Sept. 2018, Sitges, Spanien.

AP 2: Weitere Schritte

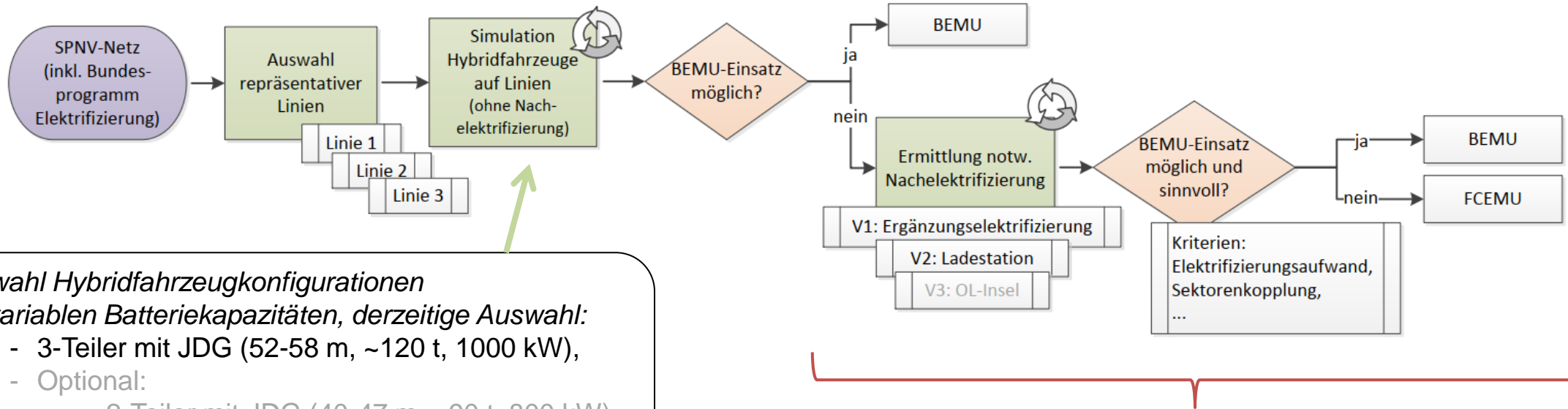
Klassifizierung Linien/Netze & Auswertung Konzessionen

- Analyse **SPNV-Linien** und Netze in Bezug auf **Elektrifizierung**
 - Stand 2019
 - BVWP-Vorhaben, Elektrifizierungsprogramm Bund
- **Fahrzeuganzahl** 2019 und Horizont Neubeschaffungen
- **Auswertung** anstehender **Konzessionen** mit Diesel-/Hybridfahrzeugen (Jahr, Zug-km, Linien,...)



AP 3: Weitere Schritte

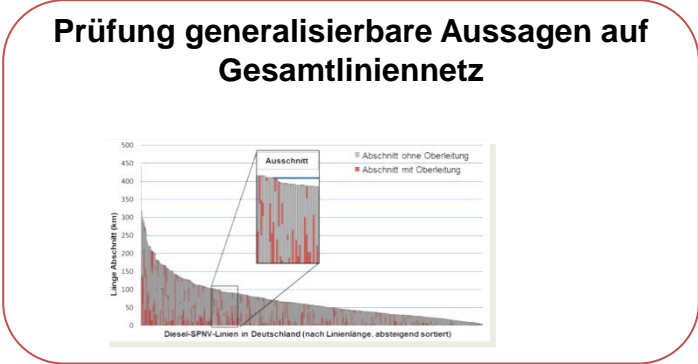
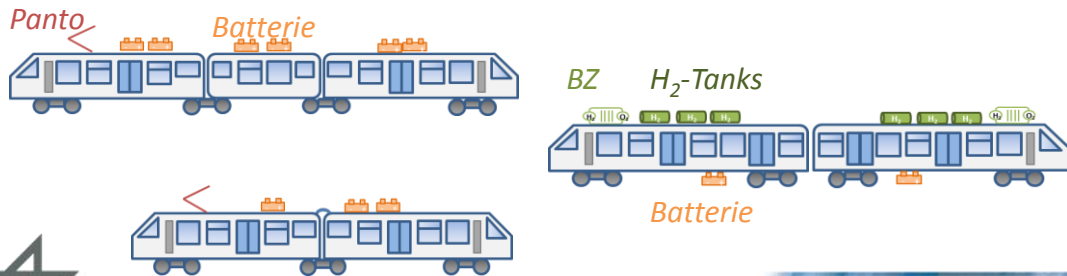
Detailanalyse ausgewählter Linien in Bezug auf Eignung BEMU/FCEMU



Auswahl Hybridfahrzeugkonfigurationen mit variablen Batteriekapazitäten, derzeitige Auswahl:

- 3-Teiler mit JDG (52-58 m, ~120 t, 1000 kW),
- Optional:
 - 2-Teiler mit JDG (40-47 m, ~90 t, 800 kW)

Noch zu definieren: weitere Fahrzeug- & Umlaufparameter



AP 4: Weitere Schritte

Abschätzung Marktpotential für Hybrid-Fahrzeuge bis 2030

- Berücksichtigung Ausschreibungen neue Netze (Diesel-/ alternative Antriebe)
- Fahrzeug-Neubeschaffungsbedarf in den Vergabernetzen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

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

johannes.pagenkopf@dlr.de
www.dlr.de/fk

