

Alternative Antriebe für Rangierlokomotiven - Machbarkeitsanalyse



DLR | Institut für Fahrzeugkonzepte
Johannes Pagenkopf, Mathias Böhm,
Victoria Jäger, Marcel Konrad

Berlin, 07.07.2022



Überblick zur Studie

Projektziele

- Status Quo Antriebe in Rangierlokomotiven
- Technisch-betriebliche Anforderungen an alternative Antriebe
- Eignung Zero-Emission-Antriebe
Schwerpunkt heutiger Vortrag: H2-Antriebe
- Marktpotentiale

Auftraggeberin
NOW GmbH

Projektlaufzeit
2020 - 2021

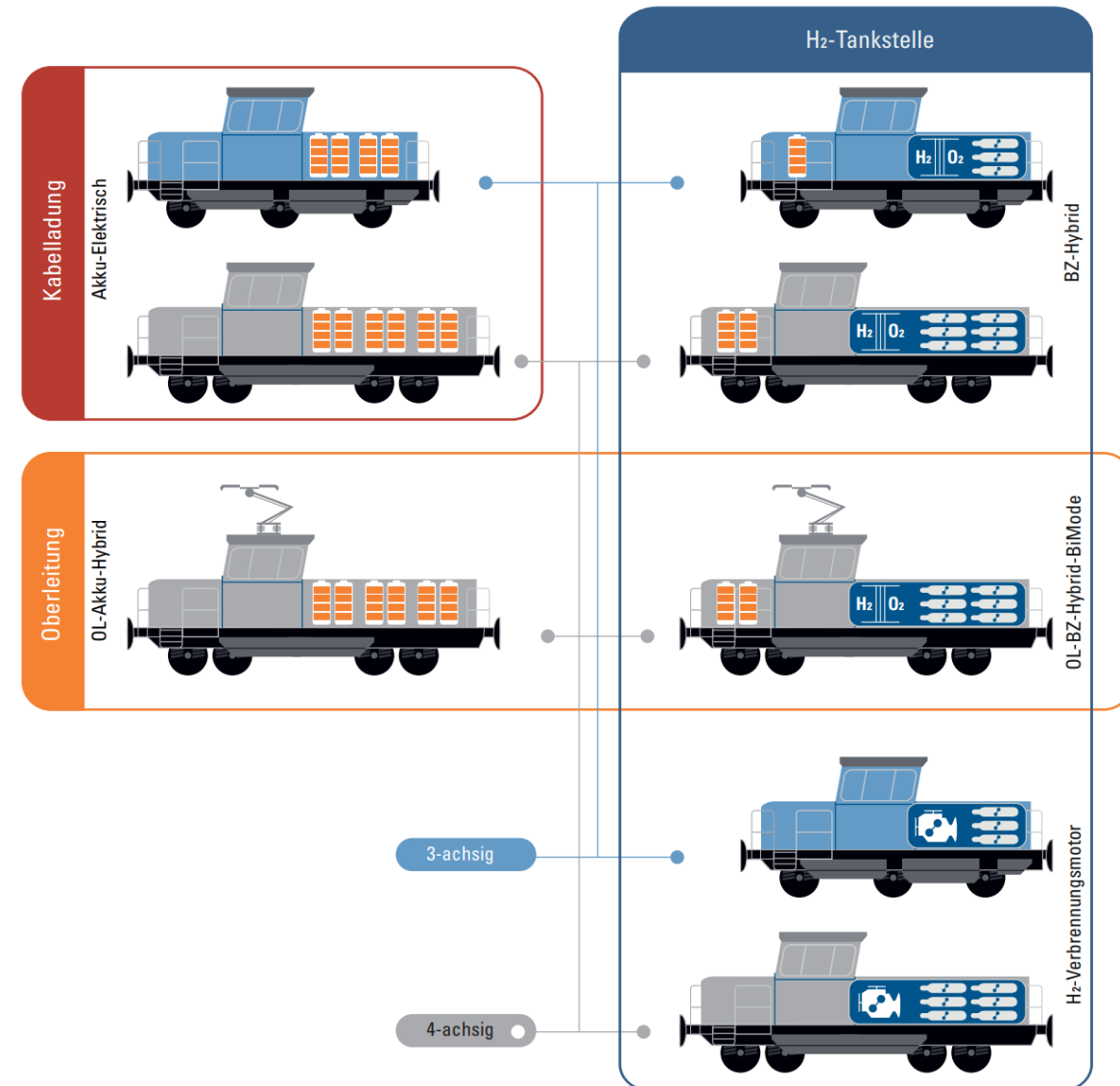


[Link zur Ergebnisbroschüre](#)



Untersuchte Fahrzeugantriebsoptionen

- Akku-Elektrisch
- OL-Akku-Hybrid (Oberleitung-Akku)
- BZ-Hybrid
- OL-BZ-Hybrid-BiMode
- H₂-Verbrennungsmotor (H2VM)



Einsatzfelder und Anforderungen an Rangierlokomotiven sind vielfältig

Einsatzfelder

- Rangier-/Werkbahndienst
 - Zugbildung/-auflösung
 - Verschub in Anschlussgleise
 - Werkbahnbetrieb
- Streckendienst / Verteilverkehre
 - Übergabefahrten im EWLK
 - Regionaler SGV
 - Baustellendienste
 - Direktzugverkehr

⇒ mittlere Leistung: **gering...mittel**
Energiebedarf: **gering...mittel**

⇒ mittlere Leistung: **mittel...hoch**
Energiebedarf: **mittel...hoch**

- Anforderungen an alternative Antriebe in Rangierlokomotiven (u.a.):
 - Robustheit und Langlebigkeit
 - Emissionsfreiheit (z.B. bei Hallenbetrieb)
 - Hohe Zugkräfte
 - Hohe Leistungsabgabe und hohe Energiespeichermenge im Streckenbetrieb

⇒ große Vielfalt an Leistungs- und Energieanforderungen



Bildquellen: oben: Rangierbahnhof Mannheim von Rhein Neckar. CC BY-NC 2.0);
Mitte: Nahgüterzug (bahn,photos. CC BY-ND 2.0); unten: Railport Chemnitz)



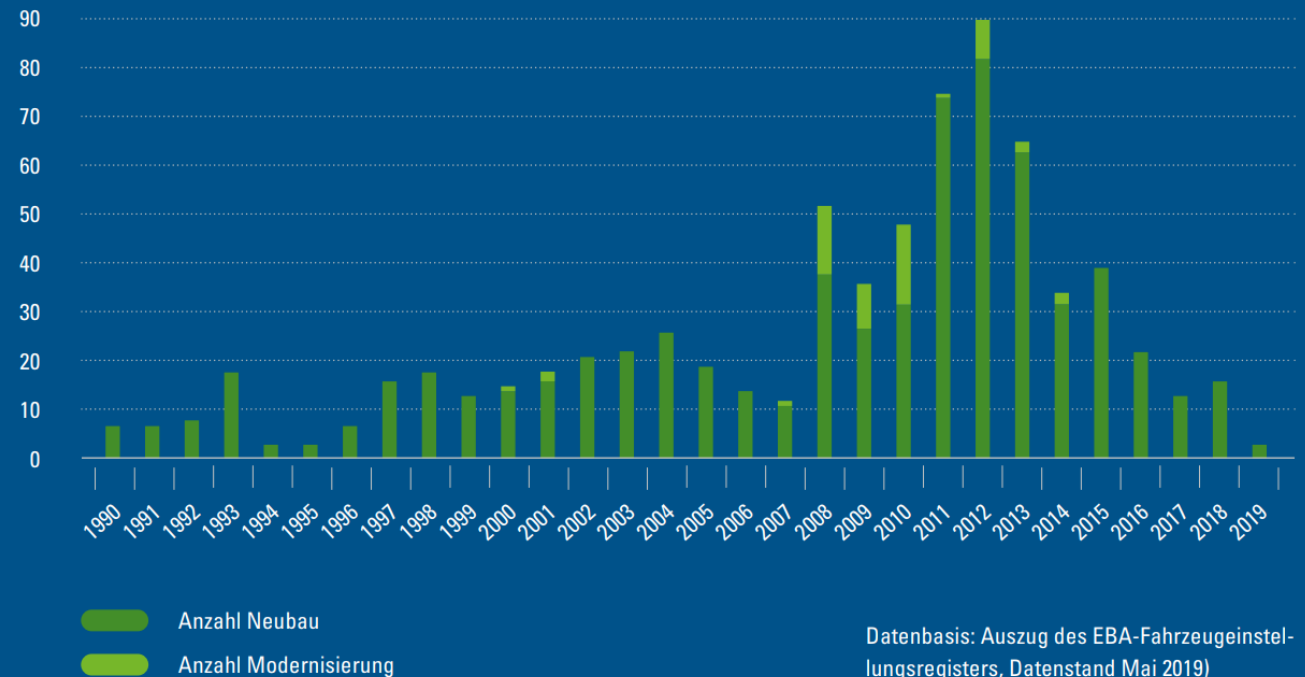
Bestandsanalyse Rangierlokomotiven

- 2.800 Rangierloks in Deutschland
→ fast ausschließlich Dieselloks
(+ vermehrt Diesel-Hybride)
- Hohes Flottendurchschnittsalter; viele Loks
aus 1960er Jahre noch im Einsatz

Konsequenz:

- Flottenmodernisierungsbedarf
- Neubaurokomotiven & Retrofitlösungen
- emissionsarme Fahrzeuge bei Neubeschaffungen

ABBILDUNG 1 Bestand Rangierlokomotiven in Deutschland nach Herstellungsjahr, unterteilt in Neubau (N=684) und Modernisierungen (N=56), für den Zeitraum 1990 bis 2019



Alternativen zum Diesel in Rangierloks (tlw.) schon verfügbar & etabliert...



Dieselhybrid | Übergangstechnologie, schon im Regeleinsatz



HELMS von Boilerdoc01. Lizenz: CC BY-SA 4.0



Gmeinder DE60C – Dieselhybrid (© Gmeinder)



Nachrüst-Batteriesatz für Vossloh Locomotives DE 18 (© Vossloh Locomotives)



Toshiba T-HDB 800 für DB Cargo – Dieselhybrid (Quelle: euralpress)



Gmeinder DE75 BB – Dieselhybrid (© Gmeinder)



CRRC 1004.5 von Bukk. Lizenz: CC BY-SA-4.0



Alstom H3 Dieselhybrid von Paul Smith. Lizenz: CC BY-NC-SA 2.0

Bi-Mode Oberleitung-Diesel | in CH im Einsatz



Stadler NG Rangierlokom (© Stadler Rail)



Vossloh Locomotives DM 20 (© Vossloh Locomotives)



Alstom Prima H4 / SBB Aem940 von Joachim Lutz. Lizenz: CC BY-SA 4.0



Stadler Eem923 von bahn.photos. Lizenz: CC BY-ND 2.0

OL-Akku-Hybrid | in CH im Einsatz (ab 2024 auch in D)



Vossloh Locomotives DM 20-EBB (© Vossloh Locomotives / Northrail)



CRRC für RCH (© J. Grühler / RailBusiness)



Stadler Geaf 2/2 von Kecko. Lizenz: CC BY 2.0

... aber H₂-Antriebe sind (noch) nicht marktverfügbar



BZ-Hybrid / H2VM | Versuchsträger / in Entwicklung



Alternative Kraftstoffe | In Erprobung



Akkuloks | im Werksbahneinsatz verbreitet



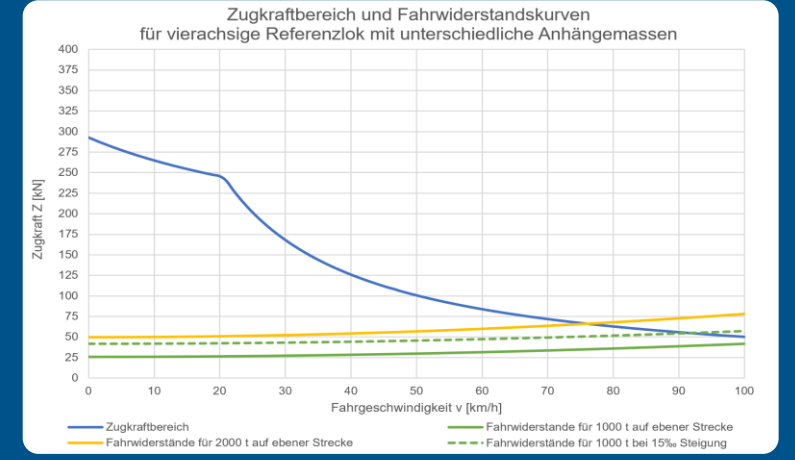
Zwei Referenzlokomotiven wurden in der Studie untersucht

- Vierachsige **B'B'-Lok** vergleichbar zu z. B. MaK G 1206
 - 280 kN
 - 1.500 kW am Rad
 - 87 t Dienstmasse



MaK G 1206 – Dieselhydraulische Rangierlokomotive von Hugh Llewelyn. Lizenz: [CC BY-SA 2.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/) (Bildausschnitt)

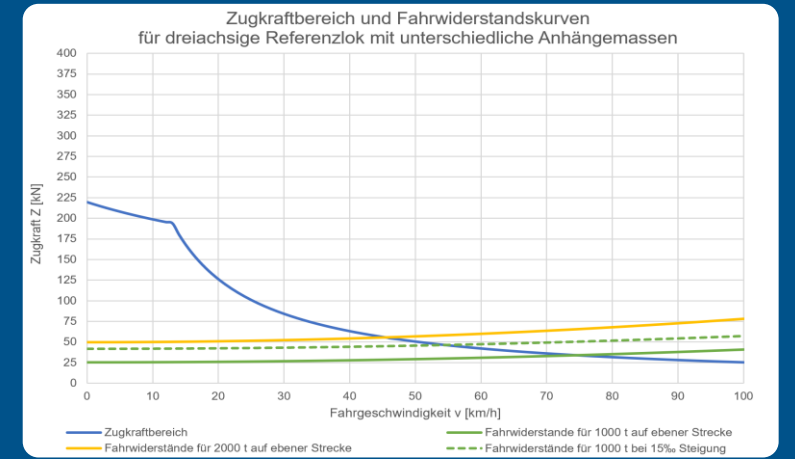
Die MaK G 1206 wurde ausgewählt, da sie weit verbreitet ist und auch im Streckenbetrieb eingesetzt wird.



- Dreiachsige **A'AA'-Lok** vergleichbar zu z. B. Alstom Prima H3
 - 240 kN
 - 700 kW am Rad
 - 67 t Dienstmasse

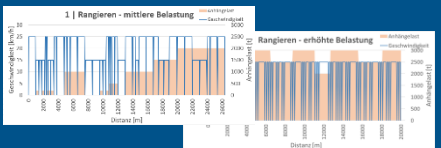


Alstom H3 Dieselhybrid von Paul Smith. Lizenz: [CC BY-NC-SA 2.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/)



Auslegungsansatz

1. Lastprofildefinition
(generisch, umfragegestützt)



2. Leistungstrajektorien am Rad
aller Szenarien

3. Antriebsspezifische Betriebsstrategien
(Leistungsverteilung im Antriebsstrang)

4a) Ermittlung P und E der Wandler- & Speicherkomponenten
4b) Auslegung Hauptbaugruppen je Szenario (statische Wirkungsgrade)

5. Integration Baugruppen auf Lokomotiven
(Prüfkriterien: Massebilanz, Bauraum)

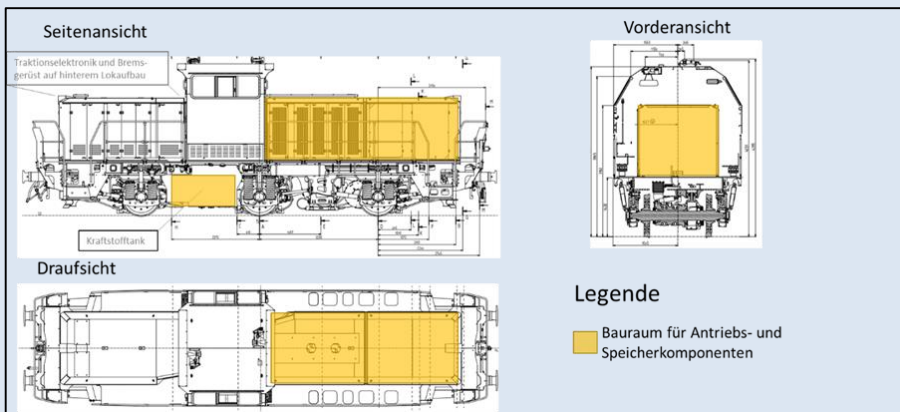
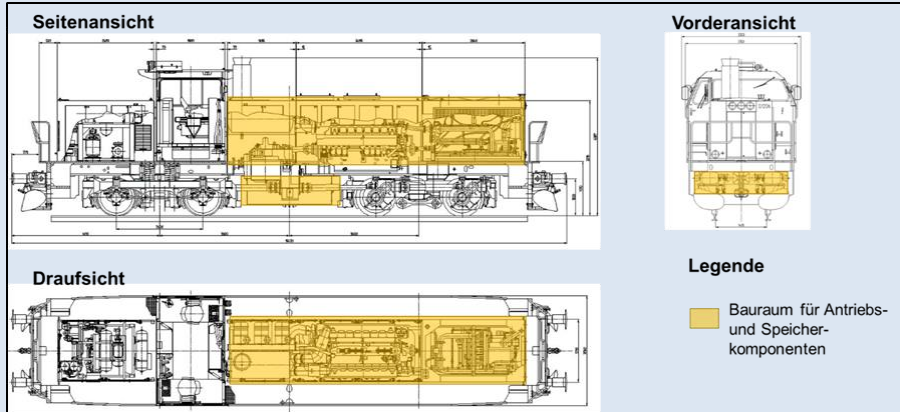
Untersuchte H₂-Antriebe

BZ-Hybrid	OL-BZ-Hybrid-BiMode	H2VM
-----------	---------------------	------

Außerdem im Fokus der Studie:

- Akku
- OL-Akku-Hybrid
- e-Fuels & Bio-KS

Bauräume für Antriebs-/Speicherkomponenten









Keine detaillierte Betrachtung bestehender Leistungsübertragungsanlagen bei Bauraumanalyse

Hintergrundabbildungen: Vossloh Locomotives, Alstom Transport

Auslegungsergebnisse – B‘B‘-Lok

 Batterieanlage	 Kühlanlage f. Brennstoffzellen	 Netz- und Antriebsstromrichter, DC/DC-Wandler inkl. Kühlung
 Kühlanlage f. Batterien	 DC/DC-Wandler	 Trafoeinheit
 Brennstoffzellen	 Wasserstofftanks	 Pantograph u. HV-Ausrüstung

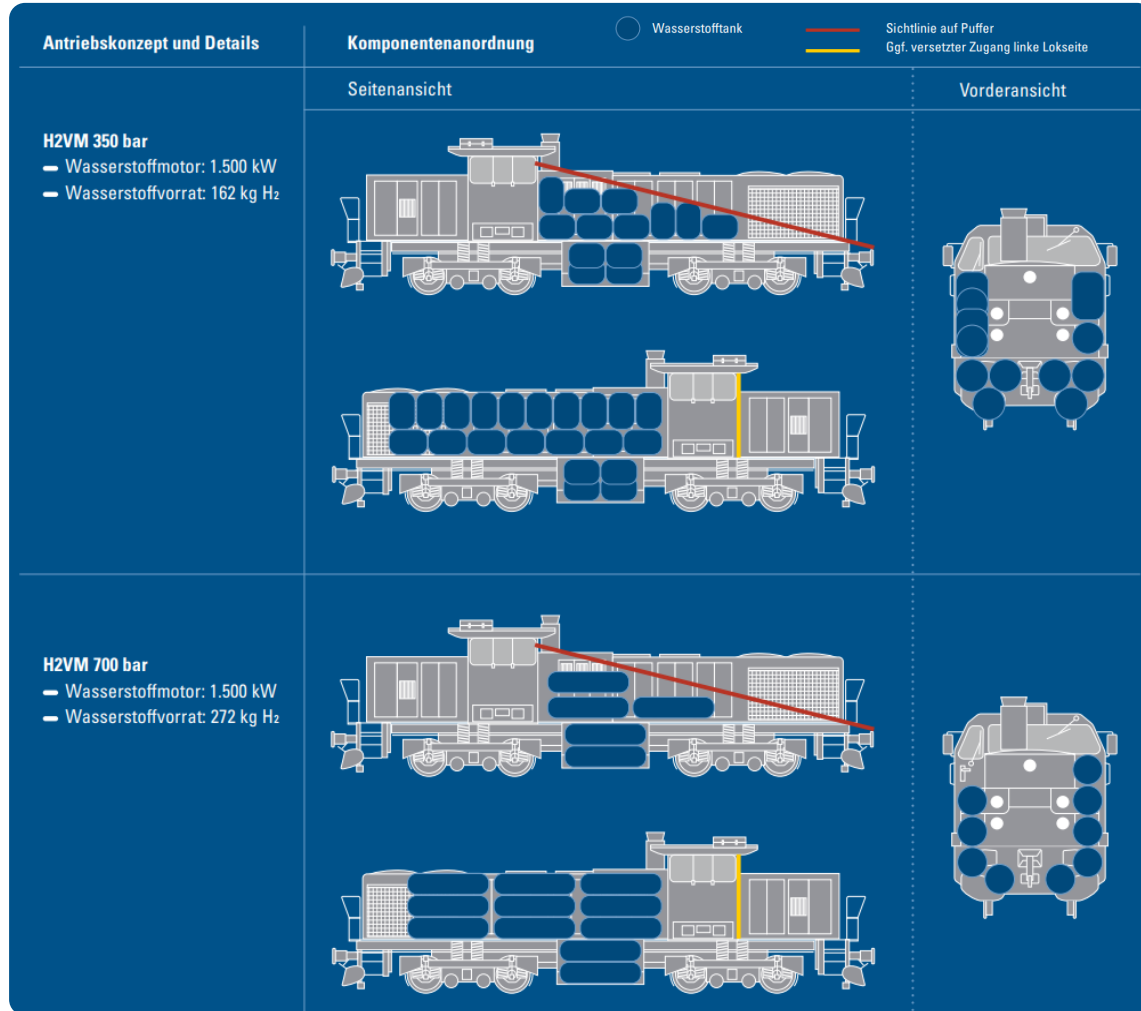
Antriebskonzept und Details	Komponentenanordnung
	Seitenansicht
Akku-Lok Szenario R + Z* – Batteriespeicher: 1.766 kWh	
BZ-Hybrid Auslegung Szenario R* – Brennstoffzellenleistung: 600 kW – Batteriespeicher: 146 kWh – Wasserstoffvorrat: 109 kg H ₂	
BZ-Hybrid Auslegung Szenario Z* – Brennstoffzellenleistung: 1.170 kW – Batteriespeicher: 204 kWh – Wasserstoffvorrat: 109 kg H ₂	 <p>um 3,1 m verlängertes Fahrzeug (17,8 m)</p>

Antriebskonzept und Details	Komponentenanordnung
	Seitenansicht
OL-Akku-Hybrid – Batteriespeicher: 662 kWh	
OL-BZ-Hybrid-BiMode Szenario R* – Brennstoffzellenleistung: 360 kW – Batteriespeicher: 375 kWh – Wasserstoffvorrat: 108 kg H ₂	 <p>um 2 m verlängertes Fahrzeug (16,7 m)</p>
OL-BZ-Hybrid-BiMode Szenario Z* – Brennstoffzellenleistung: 360 kW – Batteriespeicher: 375 kWh – Wasserstoffvorrat: 54 kg H ₂	

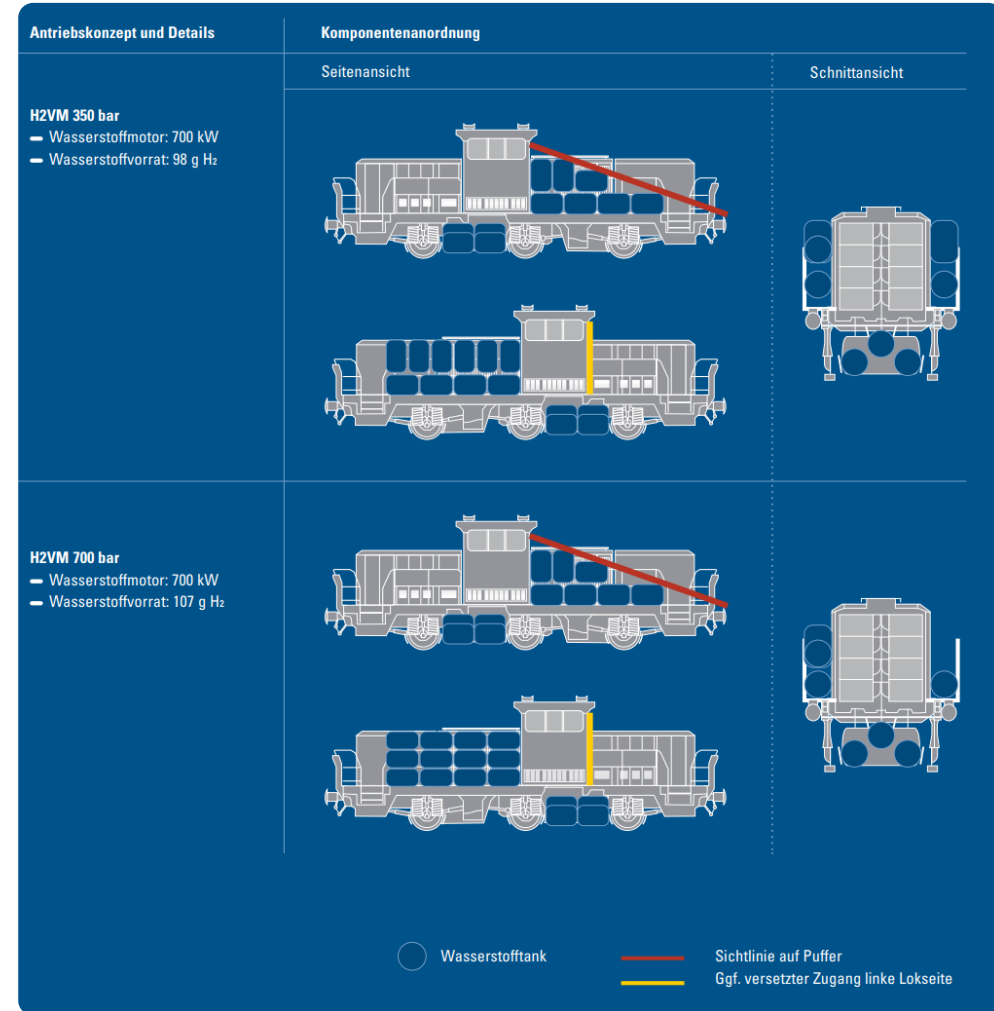
Hintergrundbildquellen: in Anlehnung an Vossloh Locomotives



B'B'-Lok (H2VM)



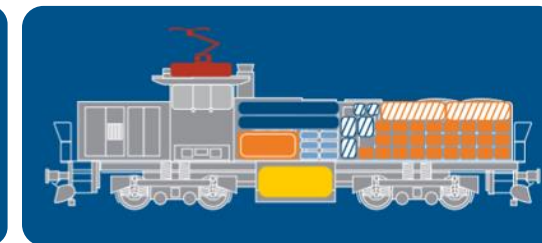
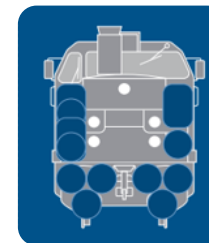
A'AA'-Lok (H2VM)



Hintergrundquellen: in Anlehnung an Vossloh und Alstom



Bewertung Antriebsoptionen



Akku		<p>Hohe Effizienz, häufige/ lange Nachladevorgänge erforderlich → Eignung insb. für lokalen Rangier- & Zugbildungseinsatz (kein Strombezug aus 15-kV-Fahrdraht), sofern Nachladezeit im Betriebsablauf realisierbar</p>
BZ-Hybrid		<p>Breites Spektrum an Leistungen & Speicherkapazitäten mgl., aber: Bauraumlimitationen insb. im Streckeneinsatz → Eignung für regionalen Verteiler- und Rangierverkehr</p>
H2VM		<p>Hohe Dauerleistung, aber verringerte Reichweite durch Bauraumlimitationen → Eignung für regionalen Verteiler- und Rangierverkehr, insb. bei Umrüstung</p>
OL-Akku-Hybrid + BiMode-BZH-OL		<p>OL-Betrieb ermöglicht Vergrößerung Aktionsradius/Reichweiten, aber Limitation im OL-freien Modus → Eignung bei häufigen Streckendiensten (unter OL) bzw. bei Nachlademöglichkeit auch im Rangier-/Werksverkehr → Variante mit BZH-Einheit: höhere Produktivität aufgrund schneller Nachtankmöglichkeit für OL-freie Rangiertätigkeiten</p>
e-Fuels & Bio-KS		<p>Vergleichbare Leistungsfähigkeit & Flexibilität wie Diesel-Loks, aber Gesamteffizienz gering im Fall von e-Fuels & Schadstoffemissionen → prinzipiell in allen Einsatzbereichen technisch-betrieblich geeignet</p>



Marktpotential innovative Antriebe (Szenario)

• Mittelfristiges Potential:

- Neufahrzeuge: 40 ... 60 Loks/a
- Modernisierung/Umrüstung: 20 ... 30 Loks/a

• Erwartete Tendenzen

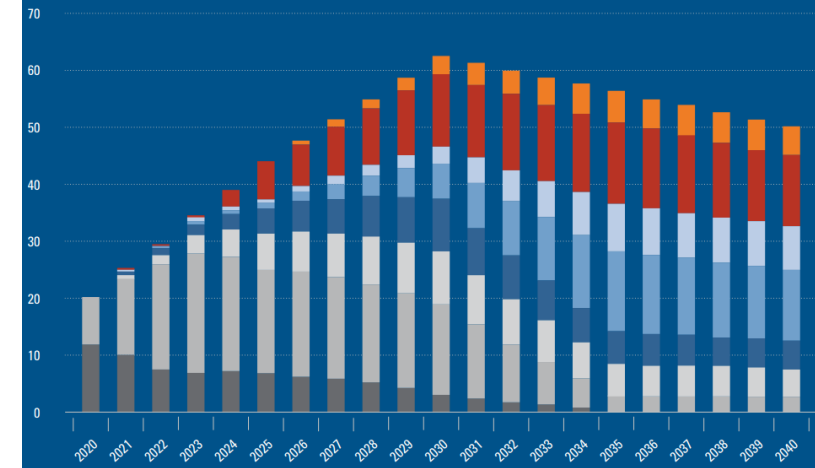
- Diesellok-Neubeschaffungen gehen zurück
- vermehrt D-Hybrid, OL-Akku-Hybrid, BiMode D/OL

• BZ-Hybrid & H2VM zukünftig insb. im Rangier-/Werksbetrieb erwartbar

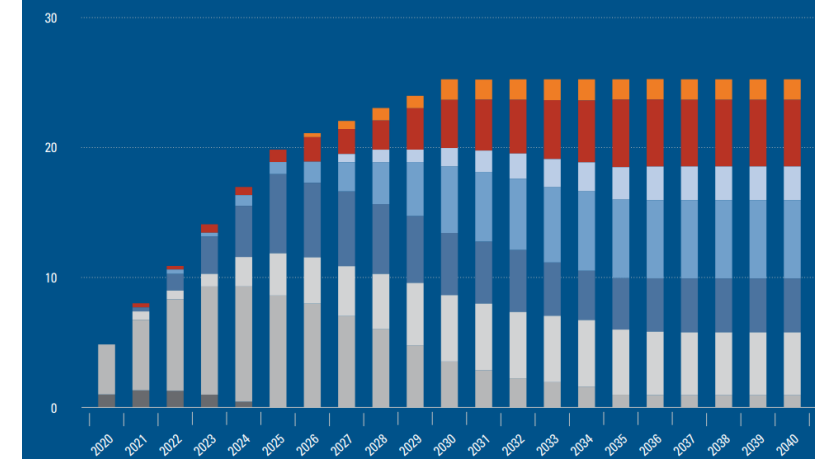
- Aber: BiMode-Streckenloks und Zweiwege-Rangierroboter ersetzen vermehrt Rangierlokomotiven

→ Hohe Dynamik im Markt,
Prognose über Zusammensetzung des zukünftigen
Antriebsmixes mit Unsicherheiten behaftet

Neubau-Rangierlokomotiven – Aufteilung Antriebsysteme
(Ansatz Mittelwert aus Min- und Max-Schätzung)



Modernisierung Rangierlokomotiven – Aufteilung Antriebsysteme
(Ansatz Mittelwert aus Min- und Max-Schätzung)



Fazit

- Emissionsfreie Antriebsoptionen für Rangierlokomotiven sind bereits heute (teilweise) verfügbar
- H2BZ und H2-VKM für Einsatzfälle von Rangierlokomotiven (mit Einschränkungen) geeignet
- H₂-Antriebe eröffnen insb. im Rangierbetrieb Potentiale, im Streckenbetrieb limitiert
- Angepasste Lokomotivkonzepte & Komponenten könnten Reichweiten-/Leistungslimitationen überwinden
- Ausblick: Validierung der Ergebnisse durch detaillierte Auslegungen und Demonstratoren

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

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

Institut für Fahrzeugkonzepte | Rutherfordstraße 2 | 12489 Berlin

Johannes Pagenkopf | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung

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

www.DLR.de/FK



[Link zur Ergebnisbroschüre](#)