

# Alternative Antriebe für Rangierlokomotiven

EWS TU Berlin  
31.01.2022

Johannes Pagenkopf, Victoria Jäger, Marcel Konrad, Mathias Böhm

**Institut für Fahrzeugkonzepte**  
Berlin & Stuttgart



Wissen für Morgen



## Tätigkeitsfelder des DLR

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



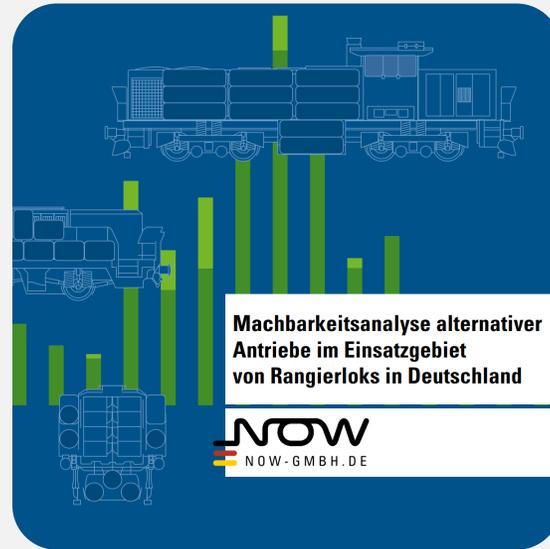
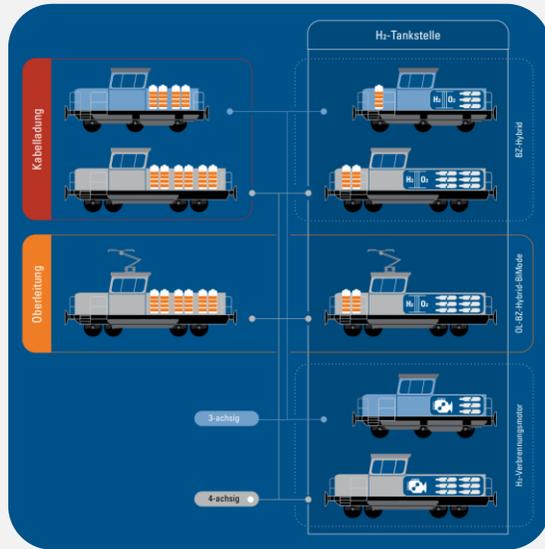
Deutsches Zentrum  
für Luft und Raumfahrt  
Wissen für Morgen



# Agenda

## 1. NOW-Studie

Eignungsuntersuchung alternativer Antriebsoptionen für verschiedene Einsatzfelder und Typen von Rangierlokomotiven



## 2. Duisport-Vorstudie (Übersicht)

Machbarkeitsuntersuchung von Brennstoffzellen-Hybrid-Rangierlokomotiven im Hafeneinsatz bei Duisport Rail im Rahmen einer Vorstudie



# Machbarkeitsanalyse Rangierlokomotiven mit alternativen Antrieben (NOW-Studie)



**Machbarkeitsanalyse alternativer  
Antriebe im Einsatzgebiet  
von Rangierloks in Deutschland**

**NOW**  
NOW-GMBH.DE

Urheber: DLR / kursiv Kommunikationsdesign



# Studie für die NOW

## Machbarkeitsanalyse alternativer Antriebe im Einsatzgebiet von Rangierloks in Deutschland

### Projektziele

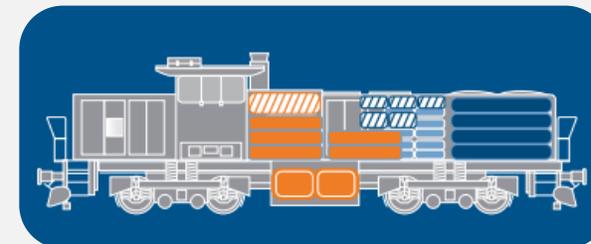
- Status Quo Antriebe in Rangierlokomotiven
- Technisch-betriebliche Anforderungen an alternative Antriebe
- Eignung von (Nullemissions)-Antriebstechnologien für Rangierlokomotiven
- Marktpotentiale

### Auftraggeber

- NOW GmbH (Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie)

### Projektlaufzeit

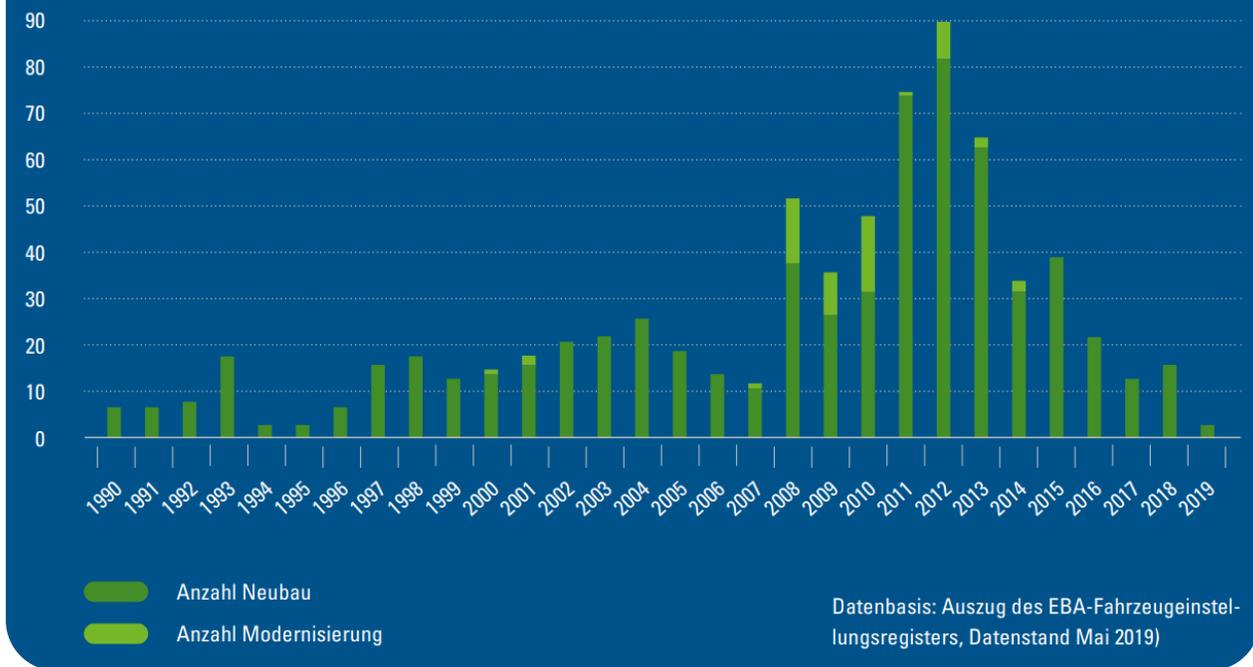
- 2020 - 2021



# Markt- / Bestandsanalyse Rangierlokomotiven

- Derzeit ca. 2.800 Rangierlokomotiven in Dtl.
- weit überwiegend Dieselantrieb (im Bestand)
- Hohes Flottendurchschnittsalter (42 a)
- Jüngst vermehrt Dieselhybrid- sowie Oberleitungs-Akku-Hybrid--Lokomotiven

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



# Einsatzfelder und Anforderungen an Rangierlokomotiven

## Einsatzfelder

### • Rangier-/Werkbahndienst

- Zugbildung/-auflösung
- Vershub in Anschlussgleise
- Werkbahnbetrieb

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

### • Streckendienst / Verteilverkehre

- Übergabefahrten im EWLK
- Regionaler SGV
- Baustellendienste
- Direktzugverkehr

⇒ 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

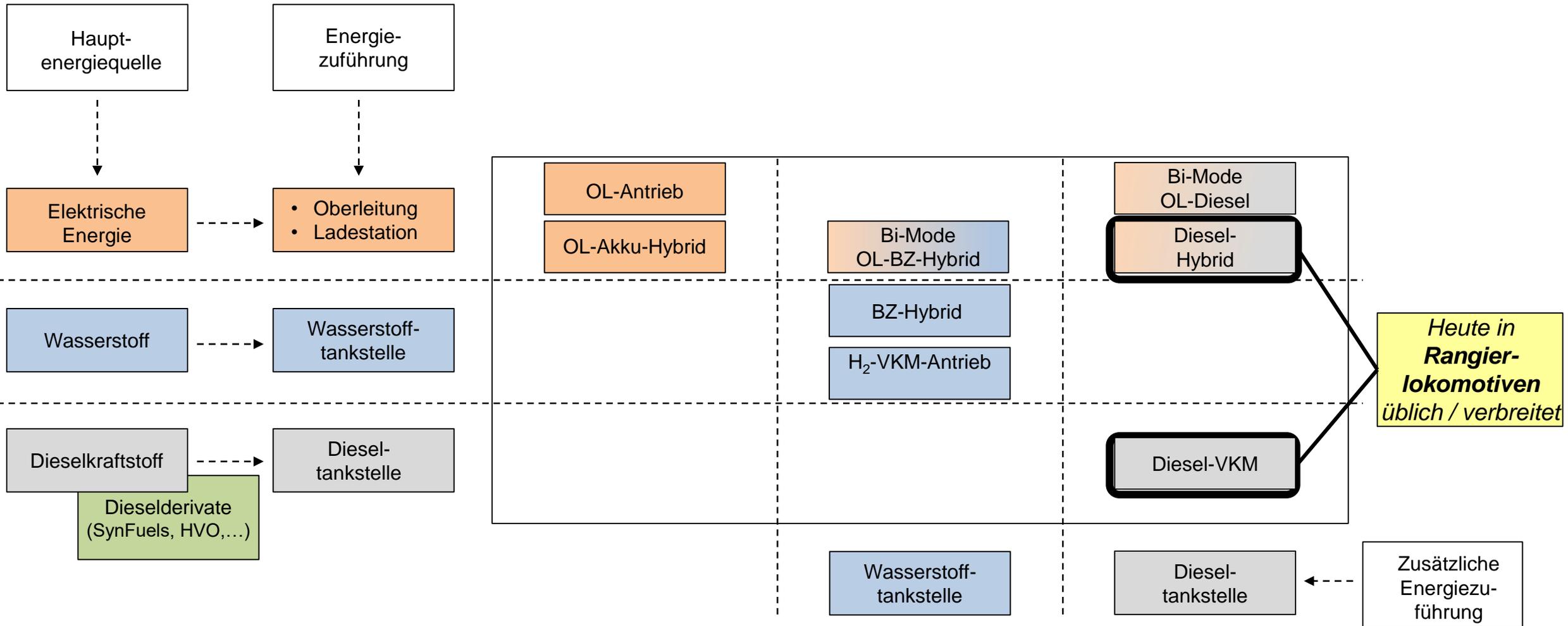
⇒ große Vielfalt an energetischen Anforderungen



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

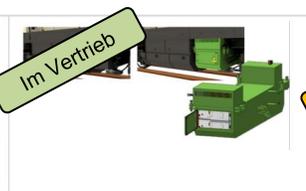


# Fahrzeugantriebs- und Infrastrukturoptionen (Auswahl)

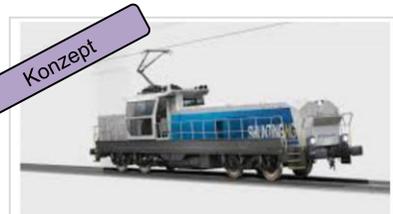


# Alternativen zum Diesel in Rangierlokomotiven - (teilweise) schon verfügbar

## Dieselhybrid | Übergangstechnologie, schon im Regeleinsatz

 <p><b>Im Einsatz</b></p>	 <p><b>Im Vertrieb</b></p>	 <p><b>Bestellt</b></p>	 <p><b>Im Einsatz</b></p>	 <p><b>Im Einsatz</b></p>	 <p><b>Im Vertrieb</b></p>	 <p><b>Demonstrator</b></p>
<p>Alstom H3 Dieselhybrid von Paul Smith. Lizenz: CC BY-NC-SA 2.0</p>	<p>Gmeinder DE60C – Dieselhybrid (© Gmeinder)</p>	<p>Toshiba T-HDB 800 für DB Cargo – Dieselhybrid (Quelle: eurailpress)</p>	<p>CRRC 1004.5 von Bukk. Lizenz: CC-BY-SA-4.0</p>	<p>Gmeinder DE75 BB – Dieselhybrid (© Gmeinder)</p>	<p>Nachrüst-Batteriesatz für Vossloh Locomotives DE 18 (© Vossloh Locomotives)</p>	<p>HELMS von Boilerdoc01. Lizenz: CC BY-SA 4.0</p>

## Bi-Mode Oberleitung-Diesel | in CH im Einsatz

 <p><b>Konzept</b></p>	 <p><b>Im Einsatz</b></p>	 <p><b>Im Einsatz</b></p>	 <p><b>in Entwicklung</b></p>
<p>Stadler NG Rangierlok (© Stadler Rail)</p>	<p>Alstom Prima H4 / SBB Aem940 von Joachim Lutz. Lizenz: CC BY-SA 4.0</p>	<p>Stadler Eem923 von bahn.photos. Lizenz: CC BY-ND 2.0</p>	<p>Vossloh Locomotives DM 20 (© Vossloh Locomotives)</p>

## OL-Akku-Hybrid | in CH im Einsatz, ab 2024 auch in D

 <p><b>Im Einsatz</b></p>	 <p><b>Bestellt</b></p>	 <p><b>Im Einsatz</b></p>
<p>Stadler Geaf 2/2 von Kecko. Lizenz: CC BY 2.0</p>	<p>Vossloh Locomotives DM 20-EBB (© Vossloh Locomotives / Northrail)</p>	<p>CRRC für RCH (@ J. Grühler / RailBusiness)</p>



# Alternativen zum Diesel in Rangierlokomotiven - (teilweise) schon verfügbar

## BZ-Hybrid / H2VM | Versuchsträger / in Entwicklung

 <p>Demonstrator</p>	 <p>In Zulassung</p>	 <p>Demonstrator</p>	 <p>Demonstrator</p>
<p>BNSF Fuel Cell Locomotive (© BNSF)</p>	<p>Linsinger MG11 Hydrogen (© Linsinger)</p>	<p>CRRC FC Hybrid (Quelle: globaltimes.cn)</p>	<p>PESA FC Shunter Locomotive (© Pesa)</p>

## Akkuloks | im Werksbahneinsatz verbreitet

 <p>Im Einsatz</p>	 <p>Im Einsatz</p>	 <p>Im Einsatz</p>	 <p>Demonstrator</p>	 <p>Im Einsatz</p>	 <p>bestellt</p>
<p>ExpressService ES3000 battery-electric shunter (© ExpressService)</p>	<p>ROTRAC E4 (© Zwiehoff)</p>	<p>Windhoff Telle-Trac RW60AEM (© Windhoff)</p>	<p>Grupa (Zarmen/Alfajet 777, RailBusiness)</p>	<p>Zarmen aus © ZAGRO Bahn- und Baumaschinen GmbH, Bad Rappenau, ZAGRO E-MAXI XXL Rangierfahrzeug mit Elektroantrieb</p>	<p>Progress Rail EMD Joule battery electric shunter (Progress Rail)</p>

## Alternative Kraftstoffe | In Erprobung



Abb: NOW



# Machbarkeitsuntersuchung | Referenzlokomotiven

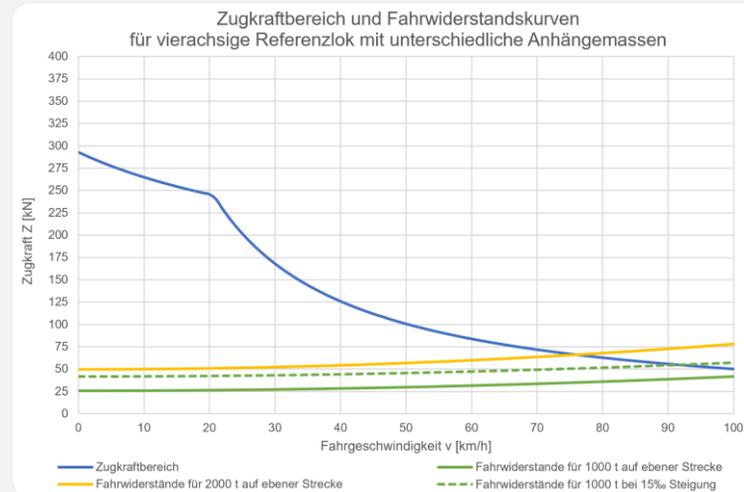
## • Vierachsige **B'B'-Lok** vergleichbar zu z. B. MaK G 1206

- 1.500 kW am Rad
- 280 kN
- 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.

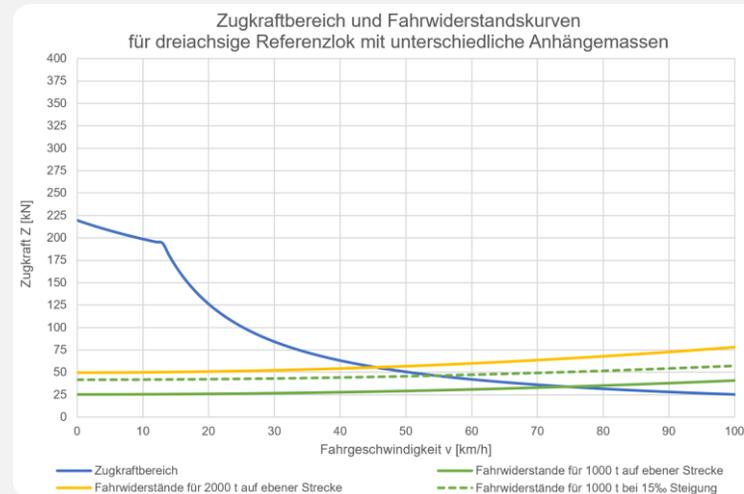


## • Dreiachsige **A'AA'-Lok** vergleichbar zu z. B. Alstom Prima H3

- 700 kW am Rad
- 240 kN
- 67 t Dienstmasse



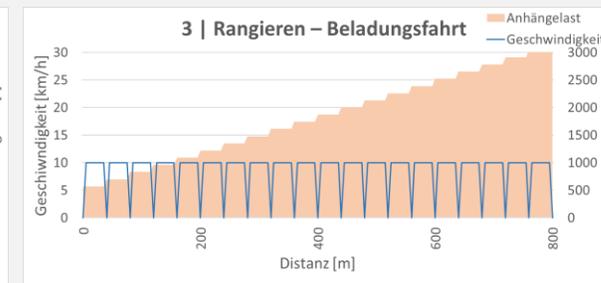
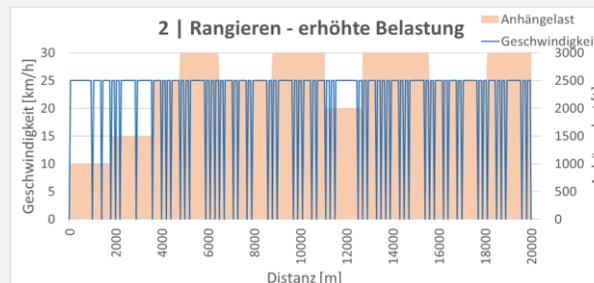
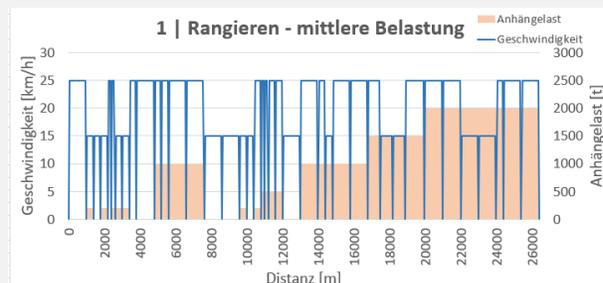
Alstom H3 Dieselhybrid von Paul Smith. Lizenz: [CC BY-NC-SA 2.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/)



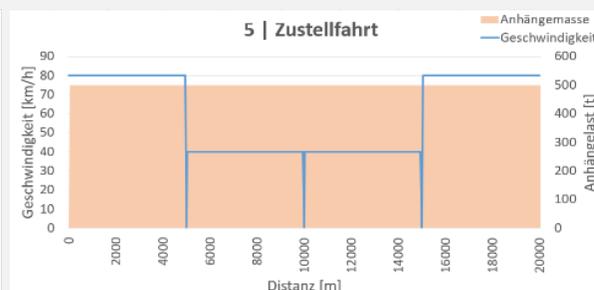
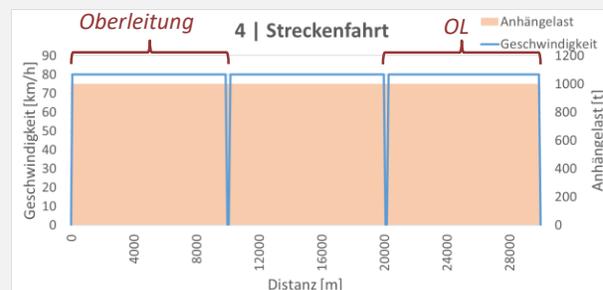
# Lastprofile und Szenarien I

- Definition fünf generischer **Lastprofilbausteine** (Basis: Umfrage unter Rangierlokalhaltern)

- **Rangierprofile**



- **Streckenprofile**



- Kombination der Lastprofilbausteine zu **Szenarien**

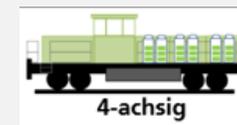
- **Szenario R** – Rangierbetrieb in Industrie- und Hafenbahnen
- **Szenario Z** – Zwischenwerkverkehr
- **Szenario B** – Bedien-/Zustellfahrt im regionalen Güterverkehr

## Loktypen

| BB

| BB

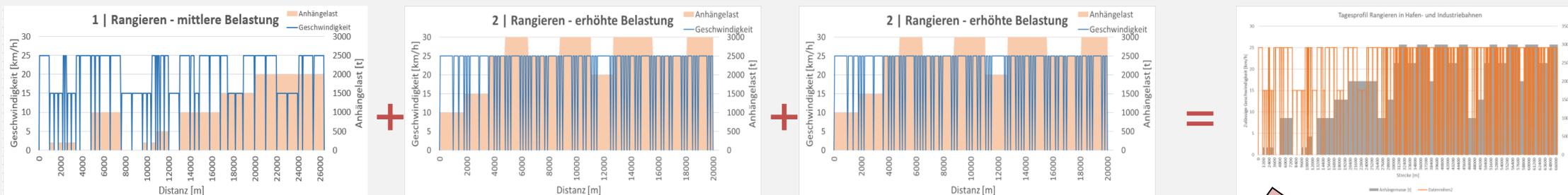
| AAA



# Lastprofile und Szenarien II

## Kombination der Lastprofilbausteine zu Szenarien

### Bsp. Szenario R:



	<b>Baustein 1</b> Rangierfahrt - durchschnittliche Belastung	<b>Baustein 2</b> Rangierfahrt - erhöhte Belastung	<b>Baustein 3</b> Rangierfahrt - Beladungsfahrt	<b>Baustein 4</b> Streckenfahrt	<b>Baustein 5</b> Zustell- und Bedienfahrt
entspricht z.B.	Rangierbetrieb (mittel)	Rangierbetrieb (schwer)	Hafen- / Werkseisenbahn	Zwischenwerkverkehr (mittel)	Zwischenwerksverkehr (leicht)
<b>Länge Abschnitt [km]</b>	26,3	20	0,8	30	20
<b>Masse am Zughaken [t]</b>	0...2.000	0...3.000	0...3.400	1.000	500
<b>Erwartete Dauer [h]*</b>	3,77	3,77	2	0,6	0,6
<b>Leerlaufanteil %</b>	30,9	5,3	83,8	<1	<1
<b>Max. Geschwindigkeit [km/h]</b>	25	25	10	80	80
<b>Anzahl Anfahrvorgänge</b>	40	60	20	3	4

\*Die tatsächliche kann fahrzeugspezifisch von der erwarteten Dauer abweichen.

<b>Bausteine zur Generierung Tagesprofil</b>	<b>Szenario Rangierbetrieb (R)</b> Mittlerer bis schwerer Rangierbetrieb	<b>Szenario Zwischenwerkverkehr (Z)</b> Rangierfahrt, Beladungsfahrt und Streckendienst	<b>Szenario Zustell- / Bedienfahrt im regionalen Güterverkehr (B)</b>
1 - mittlerer Rangierdienst	1x	1x	1x
2 - schwerer Rangierdienst	2x	-	-
3 - Beladungsfahrt	-	1x	1x-
4- mittlerer Streckendienst	-	3x	-
5- Zustellfahrt	-	-	1x
<b>Resultierende voraussichtliche Einsatzzeit [h]</b>	11,3	7,6	6,4
Rangierfahrt gesamt [km]	66,3	27,1	27,1-
Streckenfahrt gesamt [km]	-	90	20
<b>Tägliche Distanz gesamt [km]</b>	<b>66,3</b>	<b>117,1</b>	<b>47,1</b>



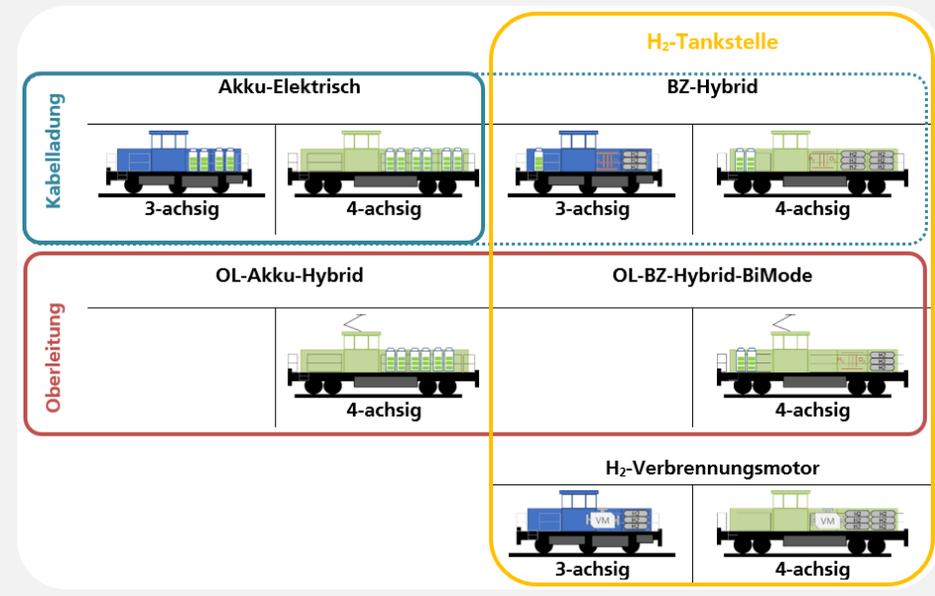
# Antriebssysteme und Simulation

## Fünf Antriebssysteme analysiert:

- Akku mit externer Nachladefunktion *(nicht 15 kV/16,7Hz-Oberleitung)*
- Oberleitungs-Akku-Hybrid
- Wasserstoff-Brennstoffzellen-Hybrid
- BiMode-Oberleitungs-H<sub>2</sub>-Brennstoffzellen-Hybrid
- Wasserstoff-Verbrennungsmotorantrieb

| Varianten mit Ausrüstung für OL-Betrieb nur für BB-Lok |

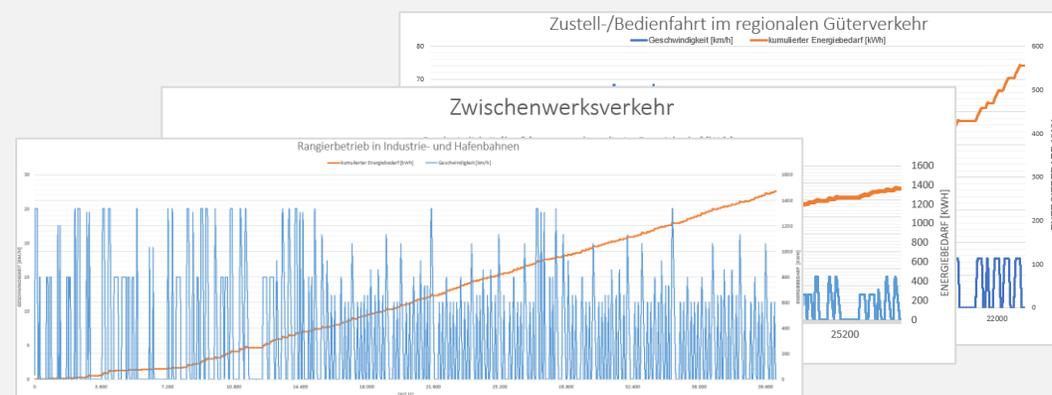
| Dieselhybrid nicht untersucht (keine Emissionsfreiheit) |



## Längsdynamiksimulation für Szenarien R, Z, B

(DLR-Trajektorienplaner, All-Out-Fahrweise)

→ Ergebnis: Trajektorien und Leistungsverlauf ( $P_{Rad}$ )



# Auslegungsansatz

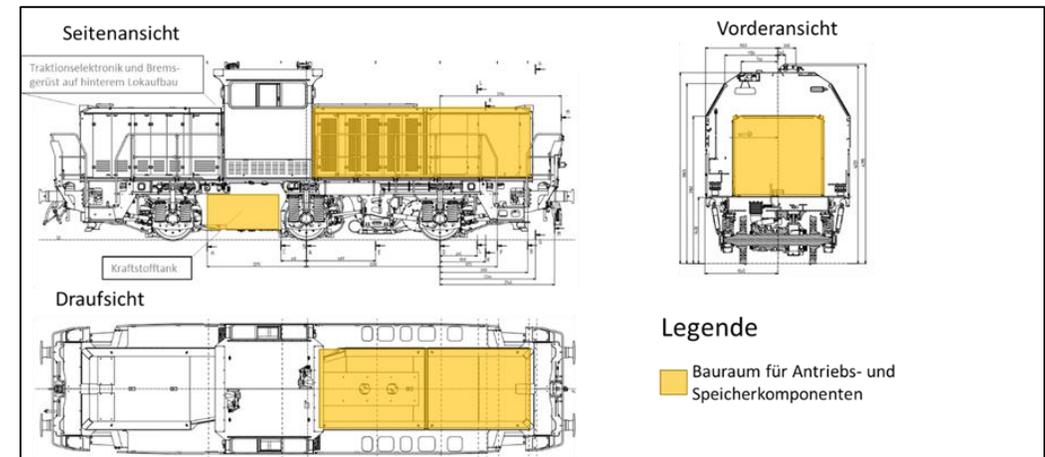
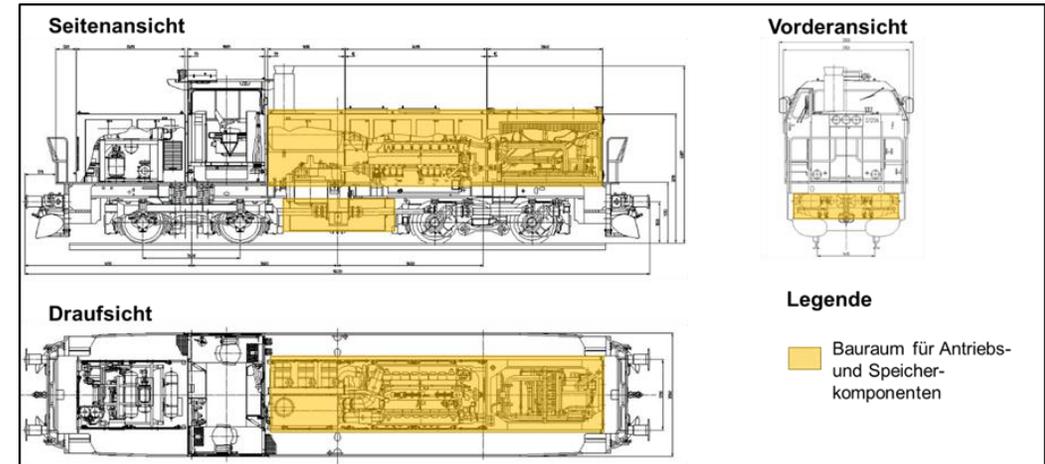
Input: Leistungstrajektorien am Rad  
aller Szenarien

1. Antriebspezifische Betriebsstrategien  
(Leistungsverteilung)

2a) Ermittlung P und E der Wandler- &  
Speicherkomponenten  
(1 x tgl. Betankung/Nachladen oder unter OL)  
2b) Auslegung Hauptbaugruppen je  
Szenario (statische Wirkungsgrade)

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

## Bauräume für Antriebs-/Speicherkomponenten



Keine detaillierte Betrachtung bestehender Leistungsübertragungsanlagen bei Bauraumanalyse

# Auslegungsergebnisse und Komponentenanordnung – BB-Lok

Antriebskonzept und Details	Komponentenanordnung
<p><b>Akku-Lok Szenario R + Z*</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Batteriespeicher: 1.766 kWh</li> </ul>	<p>Seitenansicht</p>
<p><b>BZ-Hybrid Auslegung Szenario R*</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Brennstoffzellenleistung: 600 kW</li> <li>– Batteriespeicher: 146 kWh</li> <li>– Wasserstoffvorrat: 109 kg H<sub>2</sub></li> </ul>	
<p><b>BZ-Hybrid Auslegung Szenario Z*</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Brennstoffzellenleistung: 1.170 kW</li> <li>– Batteriespeicher: 204 kWh</li> <li>– Wasserstoffvorrat: 109 kg H<sub>2</sub></li> </ul>	<p>um 3,1 m verlängertes Fahrzeug (17,8 m)</p>

Antriebskonzept und Details	Komponentenanordnung
<p><b>OL-Akku-Hybrid</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Batteriespeicher: 662 kWh</li> </ul>	<p>Seitenansicht</p>
<p><b>OL-BZ-Hybrid-BiMode Szenario R*</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Brennstoffzellenleistung: 360 kW</li> <li>– Batteriespeicher: 375 kWh</li> <li>– Wasserstoffvorrat: 108 kg H<sub>2</sub></li> </ul>	<p>um 2 m verlängertes Fahrzeug (16,7 m)</p>
<p><b>OL-BZ-Hybrid-BiMode Szenario Z*</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Brennstoffzellenleistung: 360 kW</li> <li>– Batteriespeicher: 375 kWh</li> <li>– Wasserstoffvorrat: 54 kg H<sub>2</sub></li> </ul>	

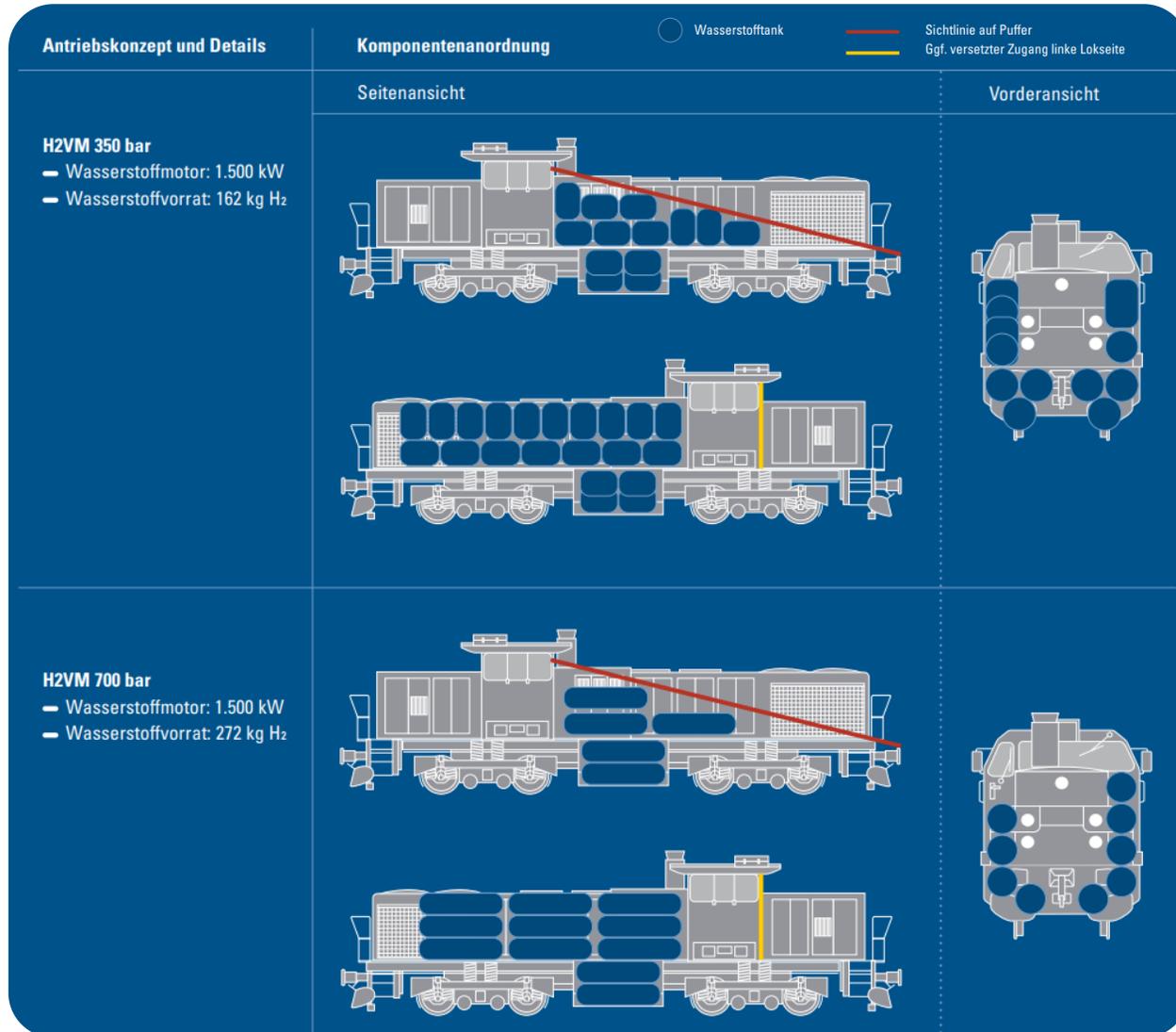


Batterieanlage	Kühlanlage f. Brennstoffzellen	Netz- und Antriebsstromrichter, DC/DC-Wandler inkl. Kühlung
Kühlanlage f. Batterien	DC/DC-Wandler	Trafоеinheit
Brennstoffzellen	Wasserstofftanks	Pantograph u. HV-Ausrüstung

Hintergrundquellen: in Anlehnung an Vossloh Locomotives



# Auslegungsergebnisse und Komponentenanordnung – BB-Lok



## H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotorantrieb:

- Bauraum für H<sub>2</sub>-Tanks limitiert
  - *Ansatz Umrüstung: Beibehaltung Verbrennungsmotor und Leistungsübertragungsanlage*
- Daher hier: Anordnung H<sub>2</sub>-Tanks auch auf Umläufen



# Auslegungsergebnisse und Komponentenanordnung – AAA-Lok

Antriebskonzept und Details	Komponentenanordnung	
<b>Akku-Lok Szenario B*</b> – Batteriespeicher: 773 kWh	Seitenansicht	Vorderansicht
	Draufsicht	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Traktionsbatterie</li> <li>BTMS</li> </ul>
<b>BZ-Hybrid Auslegung Szenario B*</b> – Brennstoffzellenleistung: 300 kW – Batteriespeicher: 245 kWh – Wasserstoffvorrat: 38,5 kg H <sub>2</sub>	Seitenansicht	
	Draufsicht	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Batterieanlage (NMC)</li> <li>Kühlanlage f. Batterien</li> <li>Brennstoffzellen</li> <li>Kühlanlage f. Brennstoffzellen</li> <li>Gleichspannungswandlerandler</li> <li>Wasserstofftanks</li> </ul>

\* Szenario B: Zustell- / Bedienungsfahrt

Antriebskonzept und Details	Komponentenanordnung	
<b>H2VM 350 bar</b> – Wasserstoffmotor: 700 kW – Wasserstoffvorrat: 98 g H <sub>2</sub>	Seitenansicht	Schnittansicht
	Draufsicht	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Wasserstofftank</li> <li>Sichtlinie auf Puffer</li> <li>Ggf. versetzter Zugang linke Lokseite</li> </ul>
<b>H2VM 700 bar</b> – Wasserstoffmotor: 700 kW – Wasserstoffvorrat: 107 g H <sub>2</sub>	Seitenansicht	
	Draufsicht	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Wasserstofftank</li> <li>Sichtlinie auf Puffer</li> <li>Ggf. versetzter Zugang linke Lokseite</li> </ul>

Hintergrundquellen: in Anlehnung an Alstom

# Zusammenfassung

## Generelle Erkenntnisse:

- emissionsfreie Antriebsoptionen für Rangierlokomotiven teilweise verfügbar
  - Aber: BiMode-Streckenloks und Zweiwege-Rangierroboter ersetzen vermehrt Rangierlokomotiven
- Spektrum an Einsatzprofilen im Rangierlokbereich ist sehr breit → Erfüllungsgrad der Anforderungen variiert
  - Grundsätzlich: anwendungsspezifische Prüfung der bestgeeigneten Technologie notwendig

## Antriebstechnologien im Einzelnen:

<b>Akku</b>	Hohe Effizienz, häufige/lange Nachladevorgänge erforderlich → Eignung insb. für lokalen Rangier- & Zugbildungseinsatz (kein Strombezug aus 15-kV-Fahrdraht), sofern Nachladezeit im Betriebsablauf realisierbar
<b>BZ-Hybrid</b>	Breites Spektrum an Leistungen & Speicherkapazitäten mgl., aber: Bauraumlimitationen insb. im Streckeneinsatz → Eignung für regionalen Verteiler- und Rangierverkehr
<b>H2VM</b>	Hohe Dauerleistung, aber stark verringerte Reichweite durch Bauraumlimitationen → Eignung für regionalen Verteiler- und Rangierverkehr, insb. bei Umrüstung
<b>OL-Akku-Hybrid + BiMode-BZH-OL</b>	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
<b>e-Fuels &amp; Bio-KS</b>	Vergleichbare Leistungsfähigkeit & Flexibilität wie Diesel-Loks, aber Gesamteffizienz gering im Fall von e-Fuels & Schadstoffemissionen → prinzipiell in allen Einsatzbereichen technisch-betrieblich geeignet





# Vorstudie Wasserstoffrangierlokomotive (Duisport-Vorstudie)

## Ziel:

Untersuchung der **Machbarkeit** und  
Umsetzbarkeit von **Brennstoffzellen-  
Hybrid-Rangierlokomotiven** im  
Hafeneinsatz bei **Duisport Rail**



duisport©Frank-Reinhold

*Studie ist aktuell (01/2022) noch in Arbeit*





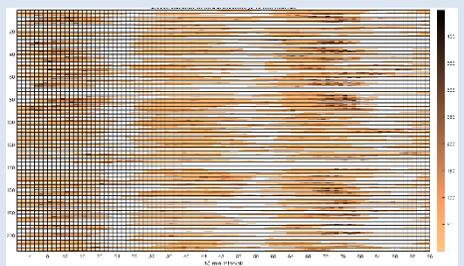
# Vorstudie Wasserstoffrangierlokomotive | Überblick

## 1. Messdatenauswertung (7 Monate)

- einer Vossloh Locomotives DE 18 der Duisport Rail
- Einteilung Messdaten in Fahrzyklen

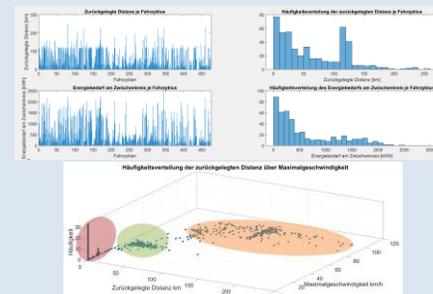


loks-aus-kiel.de - Foto Vossloh 5502428. © Rolf Alberts



## 2. Analyse Fahrzyklen

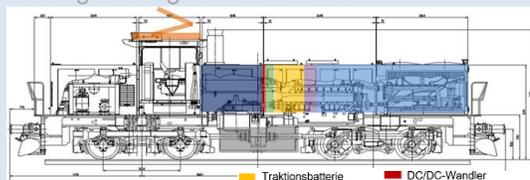
- Leistungs- und Energieanforderungen ermitteln
- Gruppierung der Fahrzyklen



## 4. Auslegungskonzepte für Fahrzyklus-Gruppen

- Bauraumoptimierte Dimensionierung der Antriebssysteme
- Umbau- & Neubaukonzept für MaK G 1206 & Vossloh DE 18
- Bewertung, Handlungsempfehlungen

Streckenregionalverkehr (unter OL) + Rangierlastiger Mischbetrieb

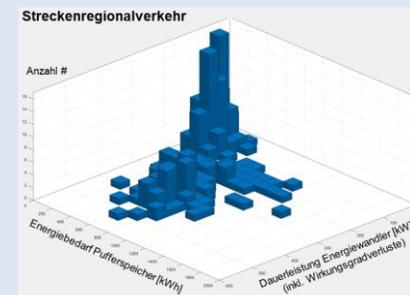
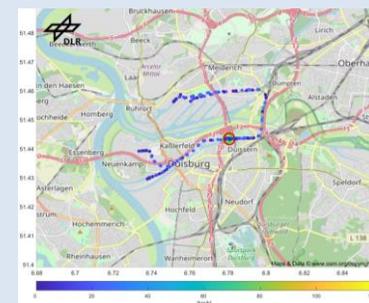


- Traktionsbatterie
- Batterieklimateuerung
- Wasserstofftanks
- Brennstoffzellensystem
- DC/DC-Wandler
- Trafoeinheit
- Pantographeneinheit
- Fahrnrichter



## 3. Fahrzyklenfeine Antriebsauslegungen

- Hybridisierungsstrategie für Brennstoffzellenhybrid
- Dimensionierung je Fahrzyklus von BZ, Akku, H<sub>2</sub>-Bedarf



# Ausblick

## Broschüre mit Kernergebnissen der NOW-Studie erscheint in Kürze



## Duisport-Vorstudie wird ebenfalls veröffentlicht



**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)**  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Rutherfordstraße 2 | 12489 Berlin

**Johannes Pagenkopf** | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Telefon 030 67055-7957 | [johannes.pagenkopf@dlr.de](mailto:johannes.pagenkopf@dlr.de)  
[www.DLR.de/FK](http://www.DLR.de/FK)