

WASSERSTOFF AUF DER SCHIENE



Status, Herausforderungen und Potentiale

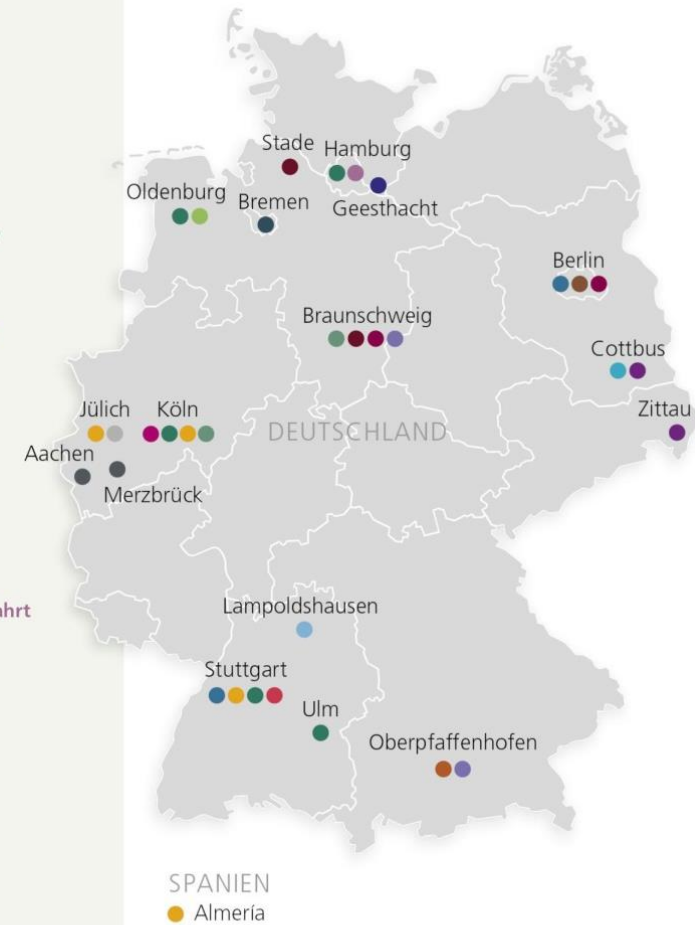


DLR H₂-Forschung

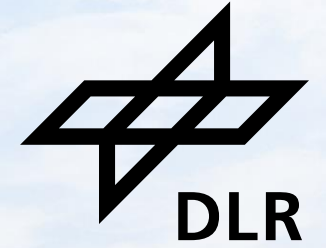


INSTITUTE:

- Institut für Antriebstechnik
- Institut für CO₂-arme Industrieprozesse
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Future Fuels
- Institut für emissionsarme Luftfahrtantriebe
- Institut für Maritime Energiesysteme
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Institut für Raumfahrtantriebe
- Institut für Raumfahrtsysteme
- Institut für Solarforschung
- Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Verbrennungstechnik
- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Verkehrssystemtechnik
- Institut für Vernetzte Energiesysteme
- Flugexperimente
- Technologien für Kleinflugzeuge
- Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie

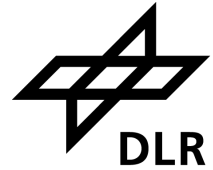


Institute of Vehicle Concepts



DLR Bahnforschung

Das Projekt Propulsion & Coupling



DLR Bahnforschung auf der InnoTrans 2022

Inhalte:

- Innovatives HGV Einzelradfahrwerk NGT FuN
- Virtuelles Kuppeln
- Hybridantriebe mit Batterien und Brennstoffzellen
- Angetriebenes Güterwagendrehgestell ASINO

Fakten:

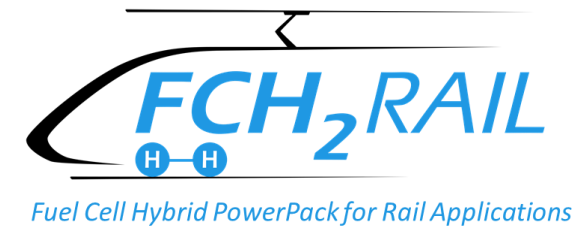
- Laufzeit 2022-2025, 48 Monate
- 10 direkt beteiligte DLR Institute
- Ca. 64 PJ Personalressourcen bzw. 16 PJ/Jahr

Meine Aufgabe:

- Projektleiter

DLR Bahnforschung

Das EU-Projekt FCH2RAIL



Hintergrund:

- Entwicklung und Demonstration eines Bi-Mode Brennstoffzellen-Zugs
- Partner aus Spanien, Portugal, Belgien und Deutschland

Fakten:

- Laufzeit 2021-2024, 10 Mio. € Fördersumme

Meine Aufgabe:

- Project Coordinator und Projektleiter DLR



www.fch2rail.eu

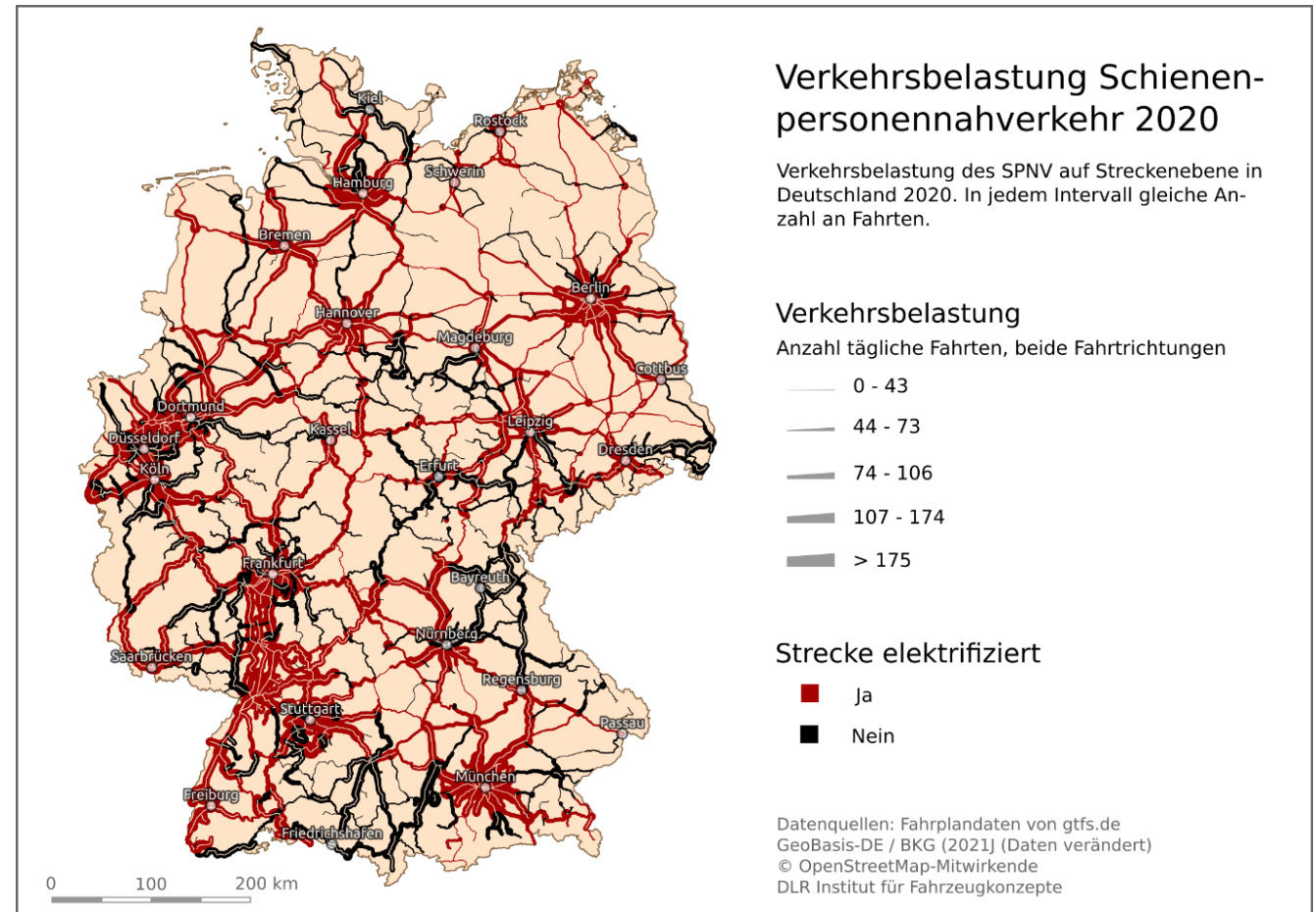
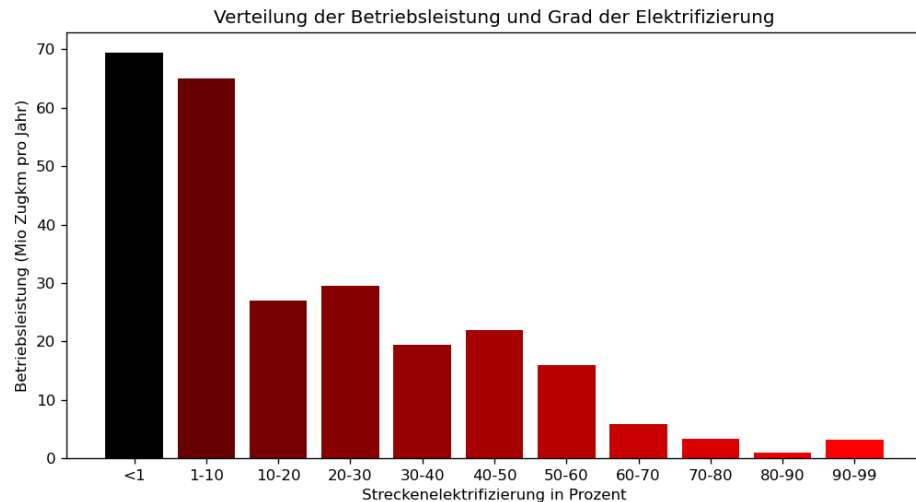
This project has received funding from the Clean Hydrogen Partnership under Grant Agreement No 101006633. This Joint Undertaking receives support from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation program, Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research.



Status Quo: Dieselantriebe auf der Schiene SPNV 2020

Betriebsleistung Diesel

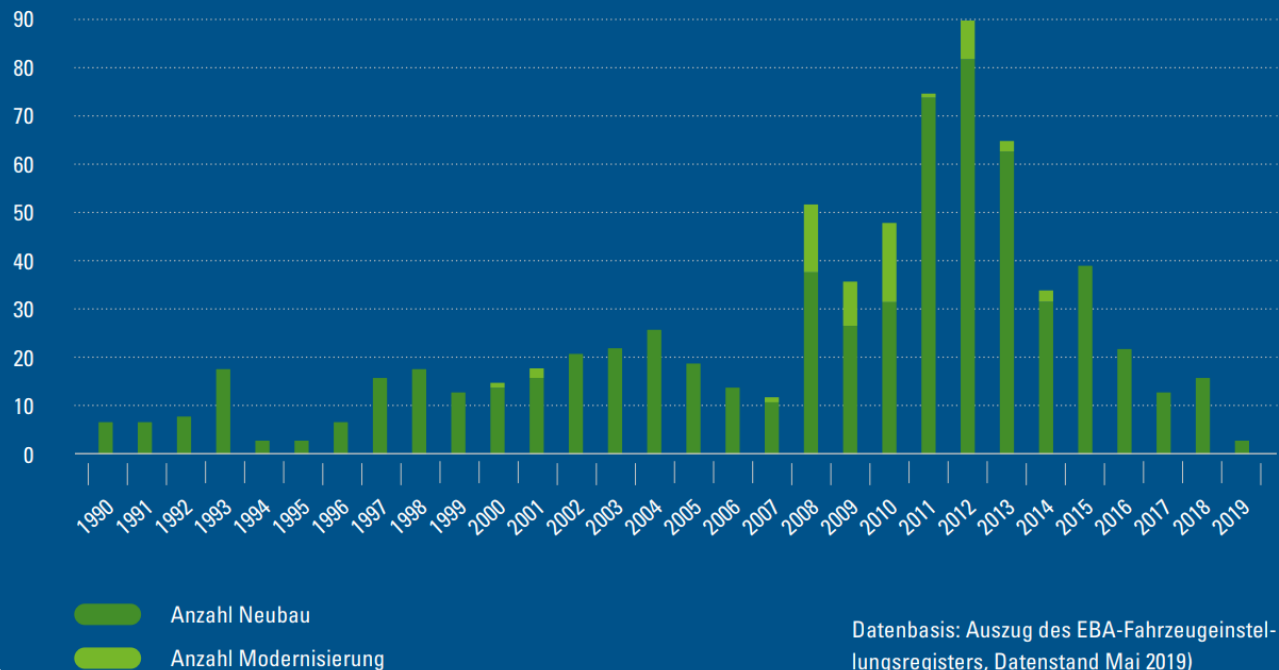
- 759 Mio. Zug-km pro Jahr im SPNV...
- ...davon 502,9 Mio. Zug-km unter Fahrdrabt ...
- 256,1 Mio. Zug-km (teilweise) ohne Fahrdrabt**



Status Quo: Dieselantriebe auf der Schiene SGV mit Rangierlokomotiven

Markt- / Bestandsanalyse

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



- In Deutschland derzeit ca. 2.800 Rangierlokomotiven
- Im Bestand überwiegend Dieselloks
- Häufig hydrodynamische Antriebe
- Flottendurchschnittsalter 42 Jahre



Rangierlokomotiven

Einsatzfelder und Anforderungen

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**

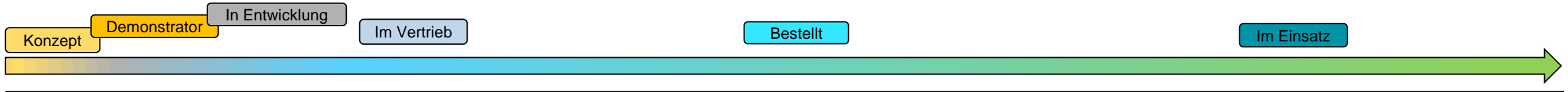
Anforderungen an alternative Antriebe in Rangierlokomotiven (u.a.):

- Robustheit und Langlebigkeit
- Emissionsfreiheit (z.B. bei Hallenbetrieb)
- Hohe Zugkräfte
- Hohe Leistungsabgabe und hohe Transportleistung im Streckenbetrieb

⇒ große Vielfalt an Leistungs- und Energieanforderungen



Alternativen zum Diesel in Rangierloks Teilweise 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: [eurailpress](#))



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 Rangierloks (© 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)

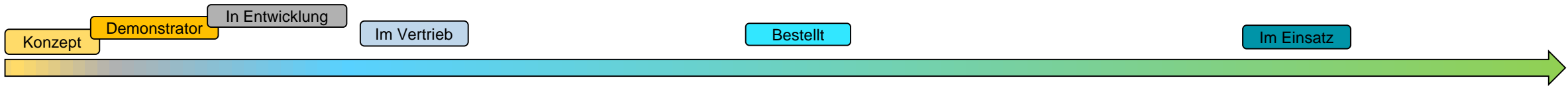
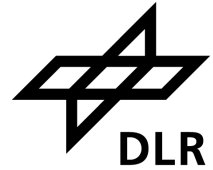


CRRC für RCH (© J. Grübler / RailBusiness)



Stadler Geaf 2/2 von Kecko. Lizenz: [CC BY 2.0](#)

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



BZ-Hybrid / H2VM | Versuchsträger / in Entwicklung



Alternative Kraftstoffe | Tlw. bereits im Einsatz



Deutsche Bahn

Akkuloks | im Werksbahneinsatz verbreitet



Grupa Zarmen/Alfajet 777, RailBusiness aus



Progress Rail EMD Joule battery electric shunter (Progress Rail)



Windhoff Telle-Trac RW60AEM (© Windhoff)



ExpressService ES3000 battery electric shunter (© ExpressService)



ROTRAC E4 (© Zwiehoff)



© ZAGRO Bahn- und Baumaschinen GmbH, Bad Rappenau, ZAGRO E-MAXI XXL. Rangierfahrzeug mit Elektroantrieb

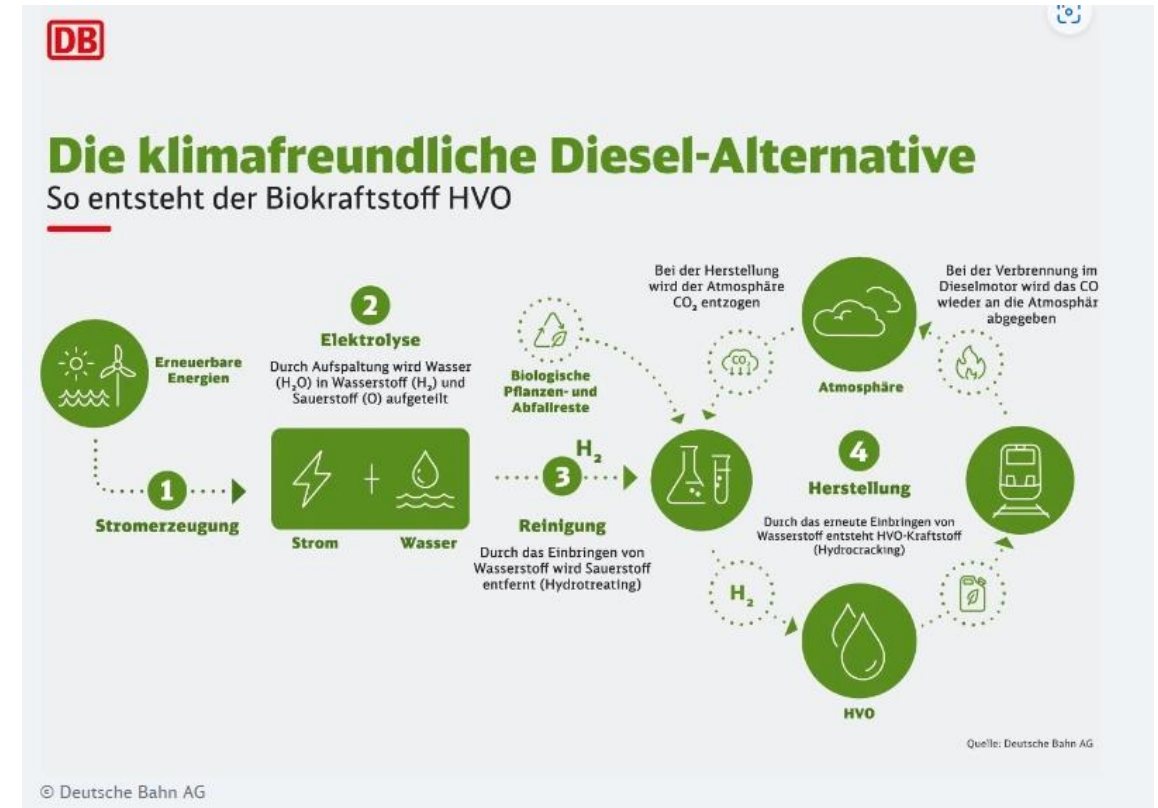
Alternative Kraftstoffe

HVO - Hydrotreated Vegetable Oil

- Betrieb von Fahrzeugen mit **Verbrennungsmotor** mit dem alternativen Kraftstoff HVO
- HVO-Einsatz in vielen Dieselmotoren ohne Umrüstung möglich
- Bei dem von der DB beschafften, reinen HVO (sog. HVO 100) werden in der Gesamtbilanz rund **90 % der CO₂-Emissionen** eingespart.
- Seit 2022 fahren bei DB Fahrzeuge erfolgreich mit HVO statt fossilem Kraftstoff, z.B.
 - Aulendorf BW: 57 Fahrzeuge
 - Kurhessenbahn: 30 Fahrzeuge

→ HVO schnell umsetzbar im Fahrzeugbestand

→ Keine lokale Emissionsfreiheit



Brennstoffzellen-Hybrid im Schienenfahrzeug

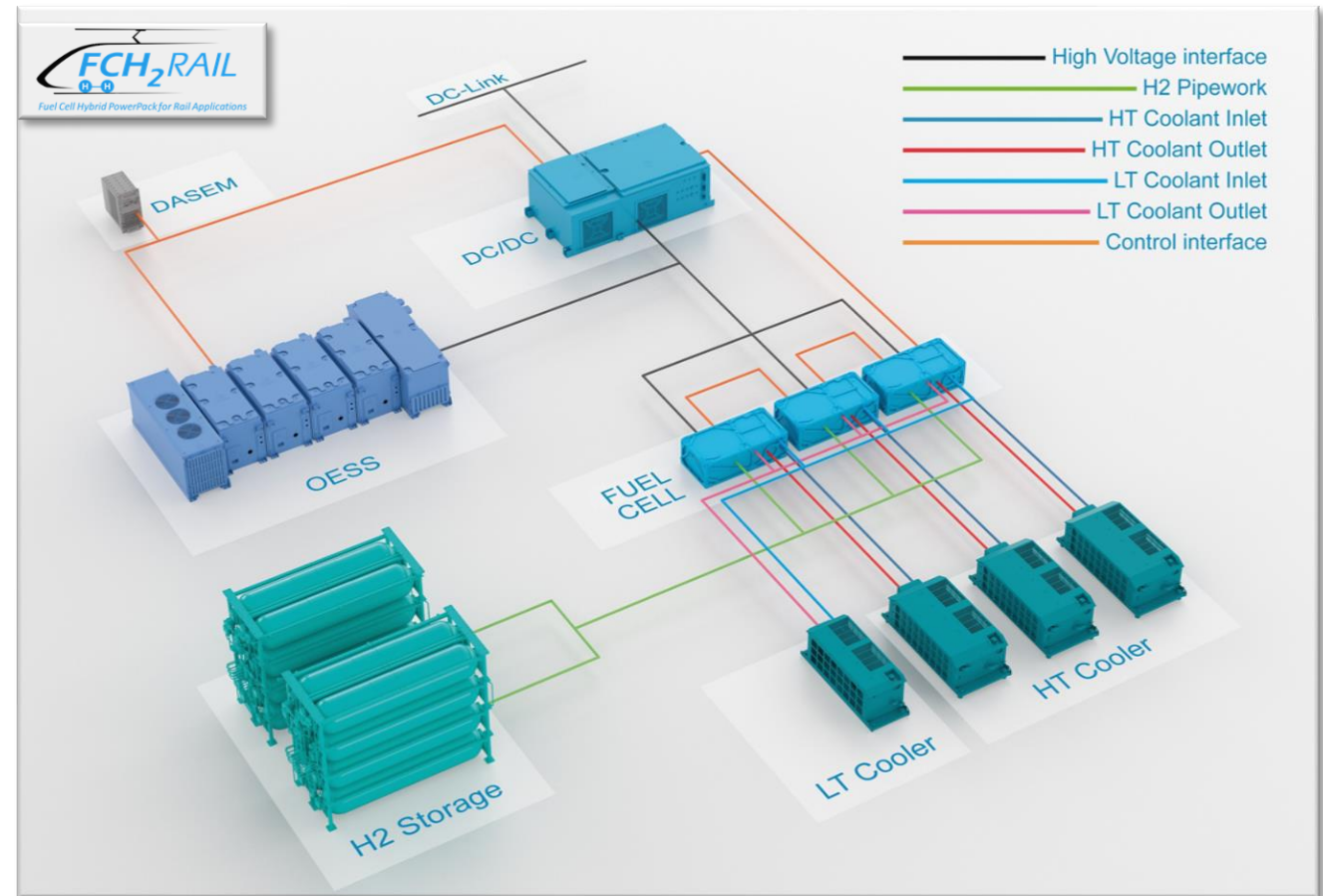
Beispiel: Fuel Cell Hybrid PowerPack FCHPP

FCHPP Architecture

- Scalable and modular
- Applicable for different rail applications (Multiple Unit, Mainline and Shunting Loco)

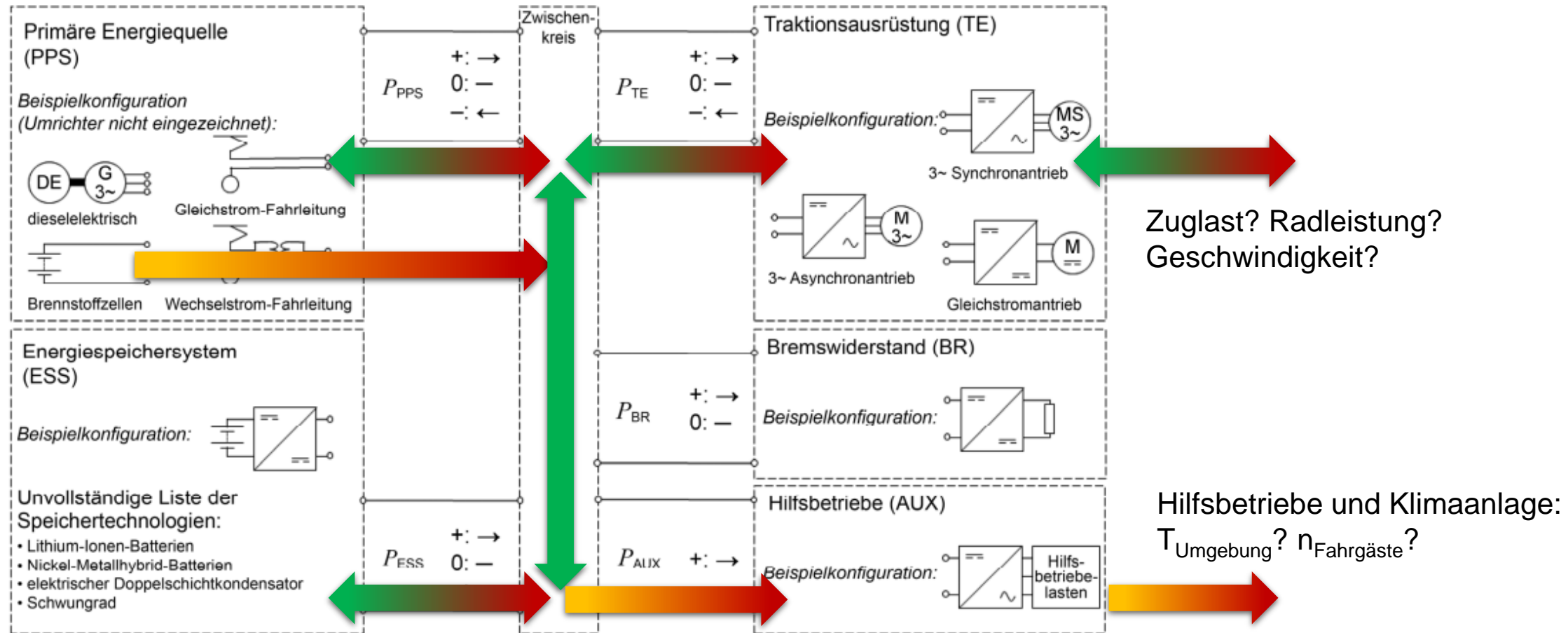
Components in FCH₂RAIL

- Fuel Cells (TOYOTA)
- Energiespeicher OESS (CAF)
- DC/DC converter (CAF)
- Energiemanagement DASEM (CAF)
- Cooling system (Third Party)
- H₂ Storage system (Third Party)

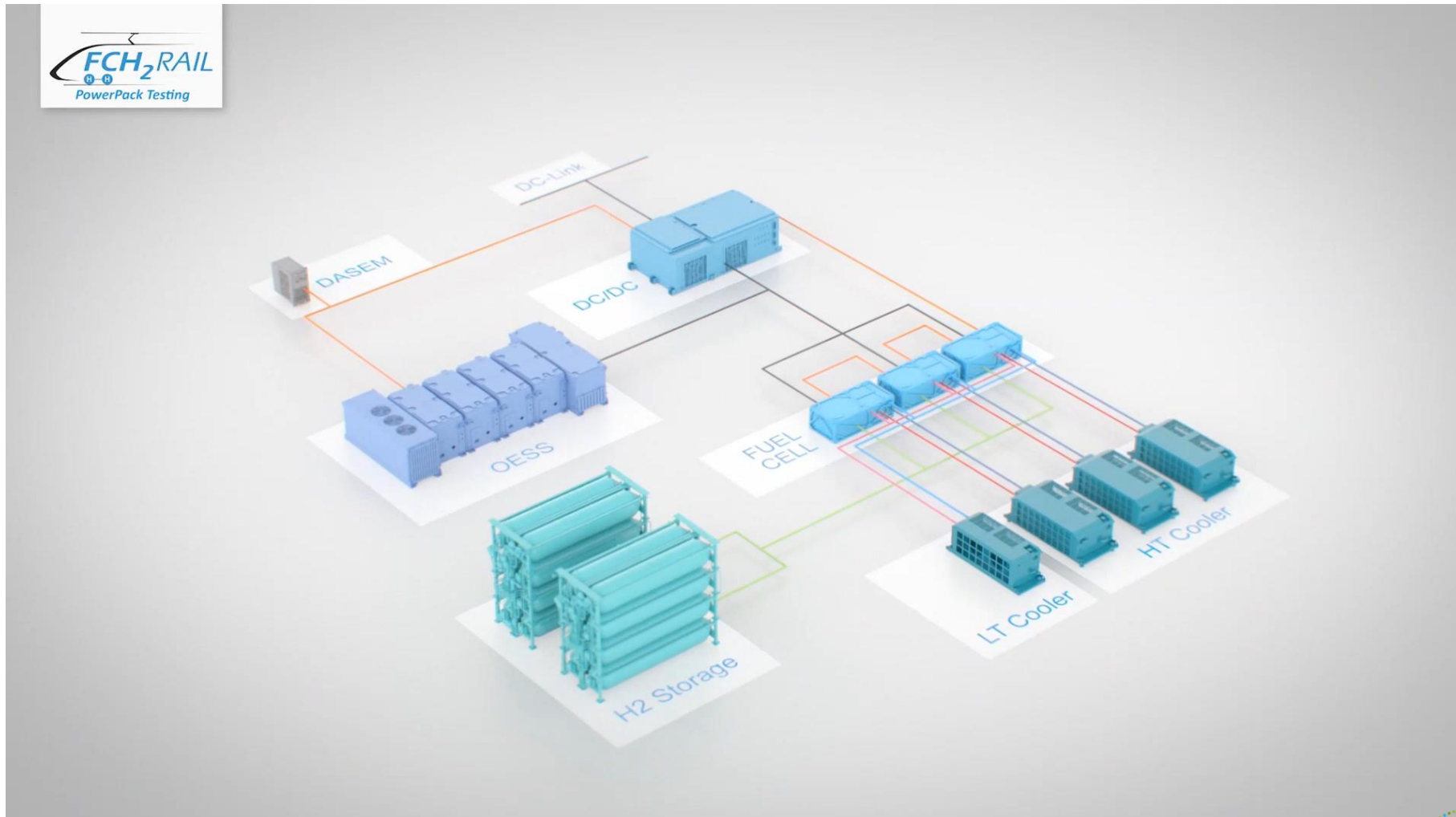


Brennstoffzellen-Hybrid im Schienenfahrzeug

Energiemanagement im Hybrid- und OL-Betrieb



Brennstoffzellen-Hybrid im Schienenfahrzeug FCHPP am Prüfstand



PowerPack Testing Video:
<https://youtu.be/mC7EGb9VA7w>

Brennstoffzellen-Hybrid im Schienenfahrzeug FCHPP Integration in Civia Demonstrator Zug

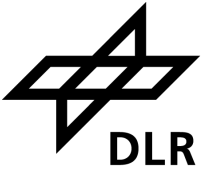


Train Transformation Video:
<https://youtu.be/bFBR6nhyEVI>



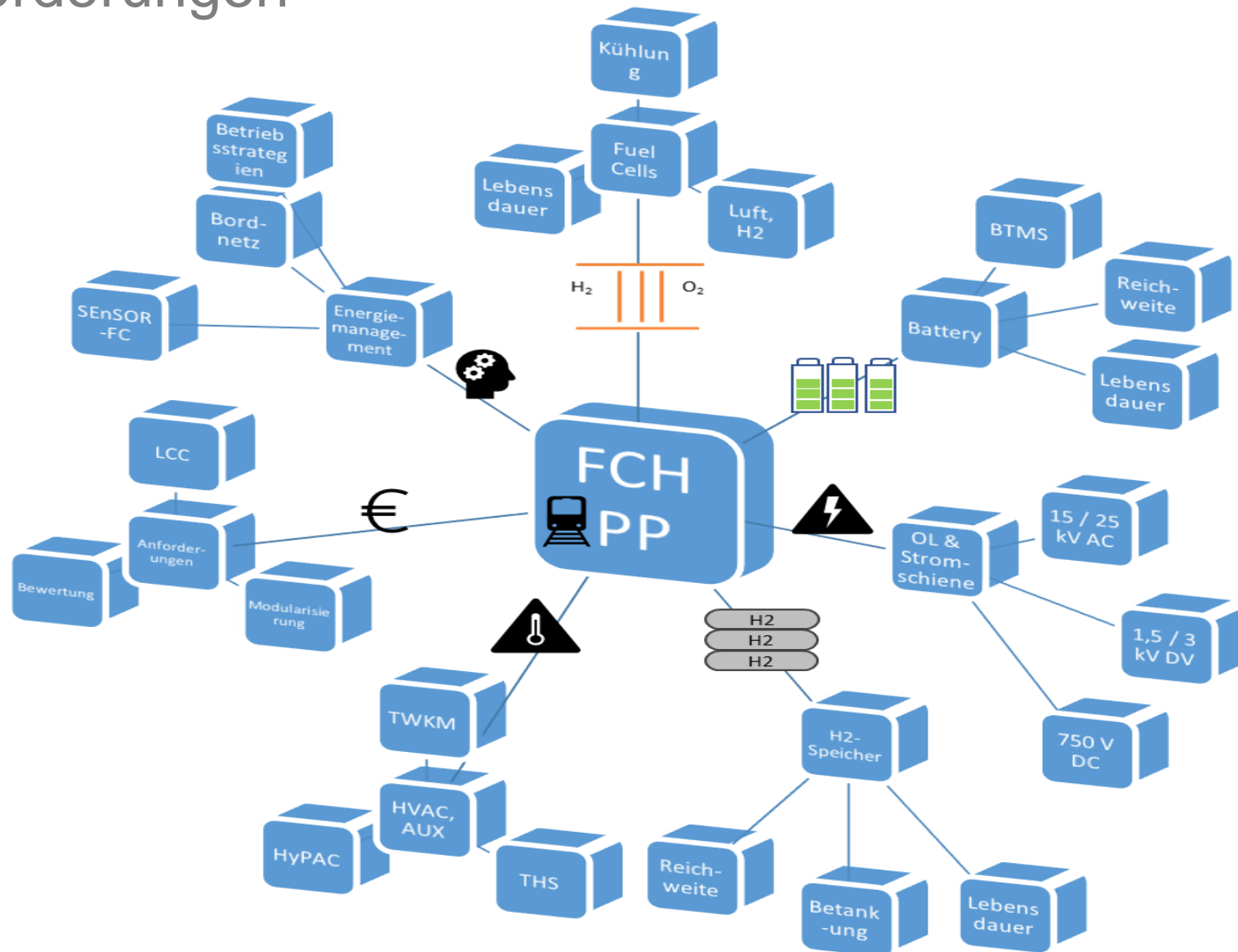
Brennstoffzellen-Hybrid im Schienenfahrzeug

Betriebsmodi Civia Demonstrator Zug



Brennstoffzellen-Hybrid im Schienenfahrzeug

Herausforderungen



H2-Versorgung und Betankung



H2-Versorgung und Betankung

Vergleich von theoretischen Befüllzeiten

	Max. volume and mass flow [kg H ₂ / min]	[kWh/min]	Min. refuelling time for 2 vehicle tanks (2 nozzles) for 160 kg H ₂ [min] ^{a)}
Diesel ¹⁾	150 L/min	1.470	2.3 ^{*)}
CGH₂ 35 MPa ²⁾	7.2	240	11.1
CGH ₂ 70 MPa ³⁾	3.6	120	22.2
CcH ₂ 35 MPa ⁴⁾	2.0	67	40.0
CcH ₂ 35 MPa ⁵⁾	Up to 13 ^{**)}	433	6.2
LH ₂ ⁶⁾	2.0	67	40.0
LH ₂ ⁷⁾	6.7 ^{**)}	223	11.9
LH ₂ trailer filling ⁸⁾	8 - 12	400	-

^{a)} theoretical values, heating of tanks not taken into account for CGH₂; ^{*)} \cong 700 L diesel - compared to diesel: η -diesel/FCEMU (0.35/0.45); ^{**)} not yet realised for vehicle tank refuelling; ¹⁾ state of the art, source DB;

²⁾ max. mass flow without precooling, bus sector: high-pressure storage, overflow, 35 MPa dispenser, SAE J2601-HD;

³⁾ automotive sector: high pressure storage, precooling, 70 MPa dispenser, SAE J2601; ⁴⁾ automotive sector: 1.7–2 kg/min with cryogenic high-pressure pump, without high pressure storage, without precooling; ⁵⁾ 3.3–13.3 kg/min @ 30 MPa (cryopump), 35–50 K [29]; ⁶⁾ automotive sector; ⁷⁾ sLH₂ for heavy-duty vehicles 6.7–8.3 kg H₂/h [32];

⁸⁾ filling of LH₂ trailers (> 3000 kg): 4–6 h \rightarrow ~8–12 kg H₂/min, unloading: 1–2 h;

H2-Versorgung und Betankung

Portable H2-Tankstelle im FCH2RAIL Projekt

1 x täglich volltanken – was braucht es dazu?



1x Verdichtercontainer,
2x Druckspeichercontainer



Container mit Dispenser, Drucksteuerung und Steuerung für die gesamte Tankstelle

H2-Versorgung und Betankung

H2-Tankstellen und Wasserstoffbedarf



H ₂ -TANKSTELLE	BREMERVÖRDE	HÖCHST	TÜBINGEN	BASDORF
H₂-BEREITSTELLUNG / VERSORGUNG HRS	Lkw-Anlieferung (2-3 Lkw-Trailer/Tag geplant) bei 20/30 MPa von DOW Chemicals (Stade)	Nebenprodukt-H ₂ aus Chloralkalielektrolyse, Aufbau einer zusätzlichen 5 MW Elektrolyseanlage	Elektrolyse / H ₂ -Hochdrucktrailer	100 % Elektrolyse aus EEA
H₂-VERDICHTUNG			500 bar	
H₂-DRUCKSPEICHER	64 Konstantdruckspeicher (50 MPa), Gesamtkapazität: 2.030 H ₂ kg	4 x 40 ft. Container mit insgesamt 4.400 kg Hochdruckspeicher (50 MPa)	45 ft-Tankcontainer + 40 ft-Tankstelle, 500 bar-Speicher, einen Kompressor	
BETANKUNGEN PRO TAG	12 x 130 kg pro Triebzug, ca. 1560 kg/Tag	ca. 14 Betankungen, 2.300 kg H ₂ /Tag		

Herausforderungen:

- ➔ Transport und Bereitstellung der benötigten H₂-Mengen
- ➔ Betankung mehrerer Fahrzeuge im engen Betriebsablauf der EVU

H2-Versorgung und Betankung

H2-Tankstelle Bremervörde für EVB / LNVG in Niedersachsen

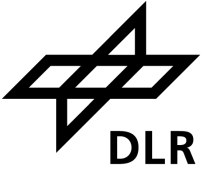


Bild: evb

H2-Versorgung und Betankung

H2-Tankstelle Höchst für Rhein-Main-Verkehrsverbund RMV

Herausforderungen

- Anlagentechnik
- Verfügbarkeit / Redundanz
- Abgabegeschwindigkeit
- Betankungszeiten
- Speicherkapazität
- Kosten

Wasserstoffversorgung für BZ-Triebfahrzeuge im Taunusnetz des RMV

Standort für die Versorgung mit Wasserstoff



- Im Industriepark Höchst fällt Wasserstoff als Koppelprodukt einer Chloralkalielektrolyse an
- Die Mengen sind mehr als ausreichend für die Versorgung der BZ-Triebfahrzeuge

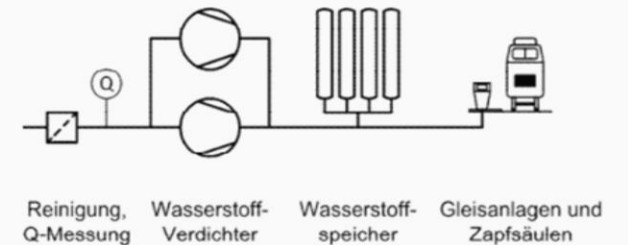
Kennzahlen

- Anzahl Züge: 24 + 3 Reserve
- Züge zur Betankung: ca. 14 pro Tag
- Wasserstoffbedarf: 2.300 kg pro Tag
675.000 kg pro Jahr
- Tankgröße Zug: 2 x 132 kg
- Betankungsdauer: 15 min pro Zug
- Reichweite: 900 km

- Für die Versorgung der H₂-Züge werden von InfraserV Höchst Verdichter, Speicher und Betankungsanlagen im Industriepark Höchst errichtet



Quelle: InfraserV GmbH & Co. Höchst KG

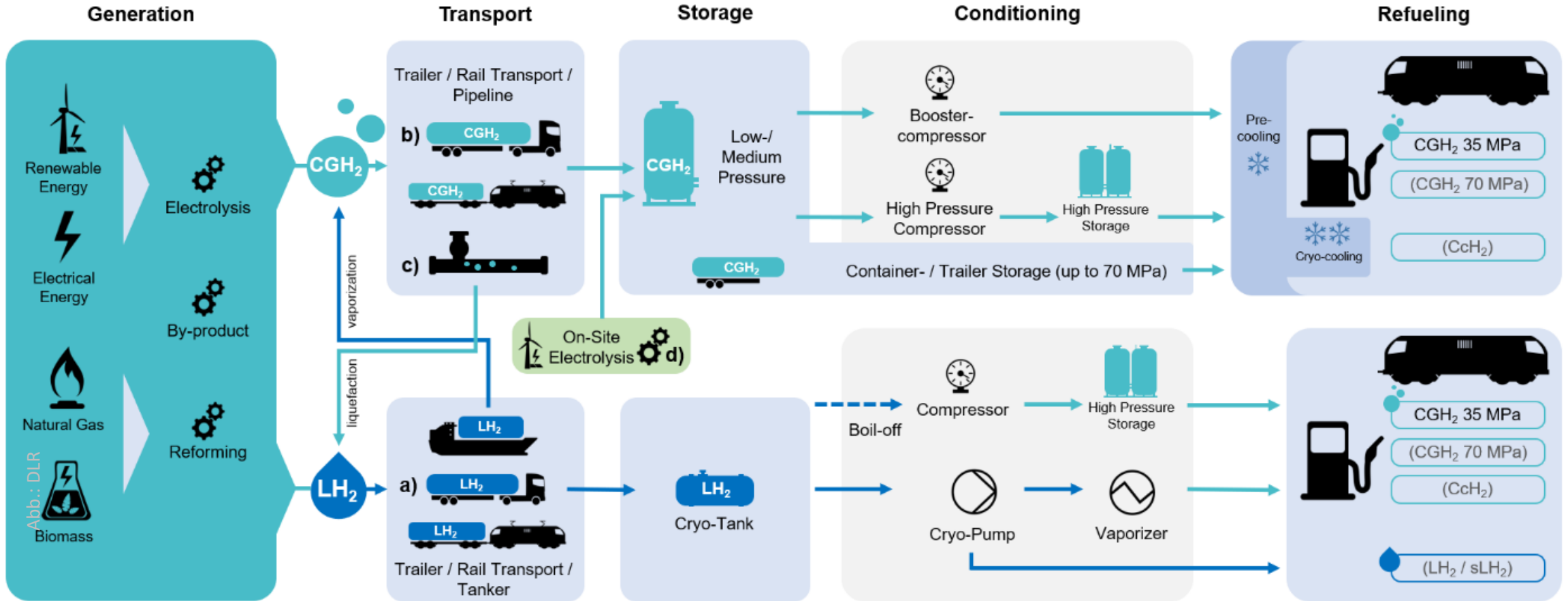


24.10.2019 InfraserV GmbH & Co. Höchst KG

5

Wasserstoff auf der Schiene

Herausforderung: Komplexe Systeme



Wasserstoff auf der Schiene

Es gilt...

...erstens kommt es teurer,
zweitens dauert es länger.


Und es wird leider nicht (gleich)
alles können, was wir erwarten.

Dennoch:

H₂ ist die leistungsfähigste
emissionsfreie Lösung für große
Reichweiten auf OL-freien Strecken.

Audio 04:38 Min. | 14.12.22 | Marie-Cathérine Fromm

Wasserstoffzüge im Taunus machen Probleme: Nur zwei Züge im Einsatz



Audio

Der Wasserstoffzug am Dienstag im Bahnhof Bad Homburg. Bild © picture-alliance/dpa

Technische Probleme bremsen die neuen Wasserstoffzüge im Taunus aus. Zur Zeit verkehren nur zwei von sechs Zügen - zuvor war es sogar nur einer.

Wasserstoff und die Brennstoffzelle sollen eigentlich eine Technologie der Zukunft sein - doch in der Gegenwart hapert es damit noch etwas. Aus einer Flotte von sechs Wasserstoffzügen, [die seit kurzem im Taunus verkehren sollen](#), können aktuell nur zwei Züge eingesetzt werden. Das teilte der Betreiber Start, ein Tochterunternehmen der Deutschen Bahn (DB), am Mittwoch mit. Am Dienstag war nur ein einziger Zug im Einsatz.

Es gebe "technische Probleme", teilte der Betreiber mit. Unter anderem komme es beim Betanken der Fahrzeuge zu Schwierigkeiten im Betriebsablauf.

Eigentlich sollten die Wasserstoffzüge auf der Linie RB15 zwischen Frankfurt, Bad Homburg und Waldsolms-Brandobersdorf (Lahn-Dill) pendeln. Das ist derzeit nicht möglich. Deshalb wurde ein Schienenersatzverkehr eingerichtet, der etwa die Hälfte der Fahrten abdeckt. Rund acht Prozent der Verbindungen fielen aus. Man arbeite zusammen mit allen Partnern an einer schnellen Lösung, teilte das DB-Tochterunternehmen mit.



Project overview
Consortium
Project results
Project News



FCH2RAIL › Project News

Project News



Visit us on InnoTrans 2022
31.08.2022

For more than 18 exciting months the FCH2RAIL partners have been working intensively on the development of the Fuel Cell Hybrid PowerPack for Rail Applications. Now the FCH2RAIL consortium shares recent highlights related to testing of the innovative power pack and the demonstrator train on InnoTrans 2022:

**FCH2RAIL insights:
Demonstration of the Fuel Cell Hybrid PowerPack**

The free of charge live presentation can be visited on 22 September from 13:30 - 14:30 in Hall 7.2a on the InnoTrans exhibition grounds in Berlin .

You are not at InnoTrans and cannot attend on site? No problem, our event will also be available online as a video stream via the InnoTrans website <https://plus.innotrans.de/>.

Contact

Holger Dittus
Institute of Vehicle Concepts (DLR)
+49 711 6862 581
holger.dittus@dlr.de
















www.fch2rail.eu

Thema: **Wasserstoff auf der Schiene**
Status, Herausforderungen, Potentiale

Vortrag auf dem 3. HyLand Vernetzungstreffen

Datum: 2023-03-24

Autor: Holger Dittus, holger.dittus@dlr.de

Institut: Institut für Fahrzeugkonzepte