



# Sicherheit im Betrieb von Typ4-Behältern

Dr.-Ing. Christian Spitta, Abteilungsleiter Wasserstoff-Infrastruktur ZBT GmbH

Dr.-Ing. Jürgen Heyn, Leiter Innovationen im öffentlichen Transport, TÜV SÜD Rail GmbH

**NOW Marktplatz Zulieferer**

**Berlin, Juni 2023**



## KEY FACTS

- Applied research and development: fuel cells, hydrogen and electrolyser technology
- Focus on industry demand - Independent service provider and R&D partner
- GmbH/ltd. as daughter of University of Duisburg-Essen
- ~ 140 full time employees + student researchers
- Limited institutional funding by state of North-Rhine-Westphalia



EUROPEAN UNION  
Investing in our Future  
European Regional  
Development Fund



# ZBT – R&D for a suitable hydrogen infrastructure

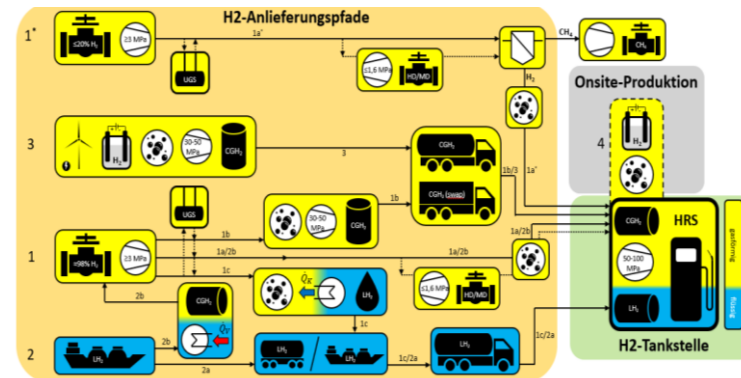
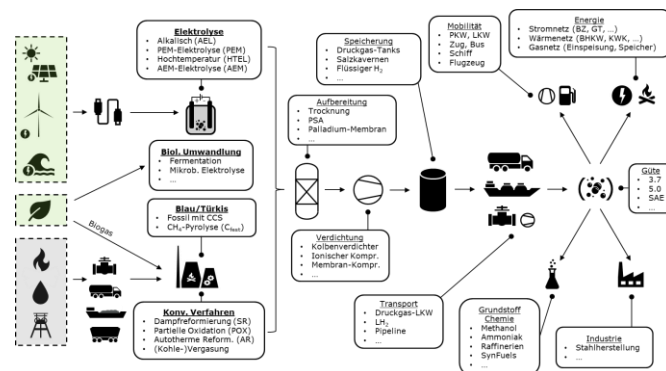


**Hydrogen quality management & hydrogen clean-up**

## HYDROGEN TESTFIELD



**H2 transportation, HRS technology (LD & HD) & FCEV tank system**



## Studies, safety & RCS

# Our rail hydrogen competences



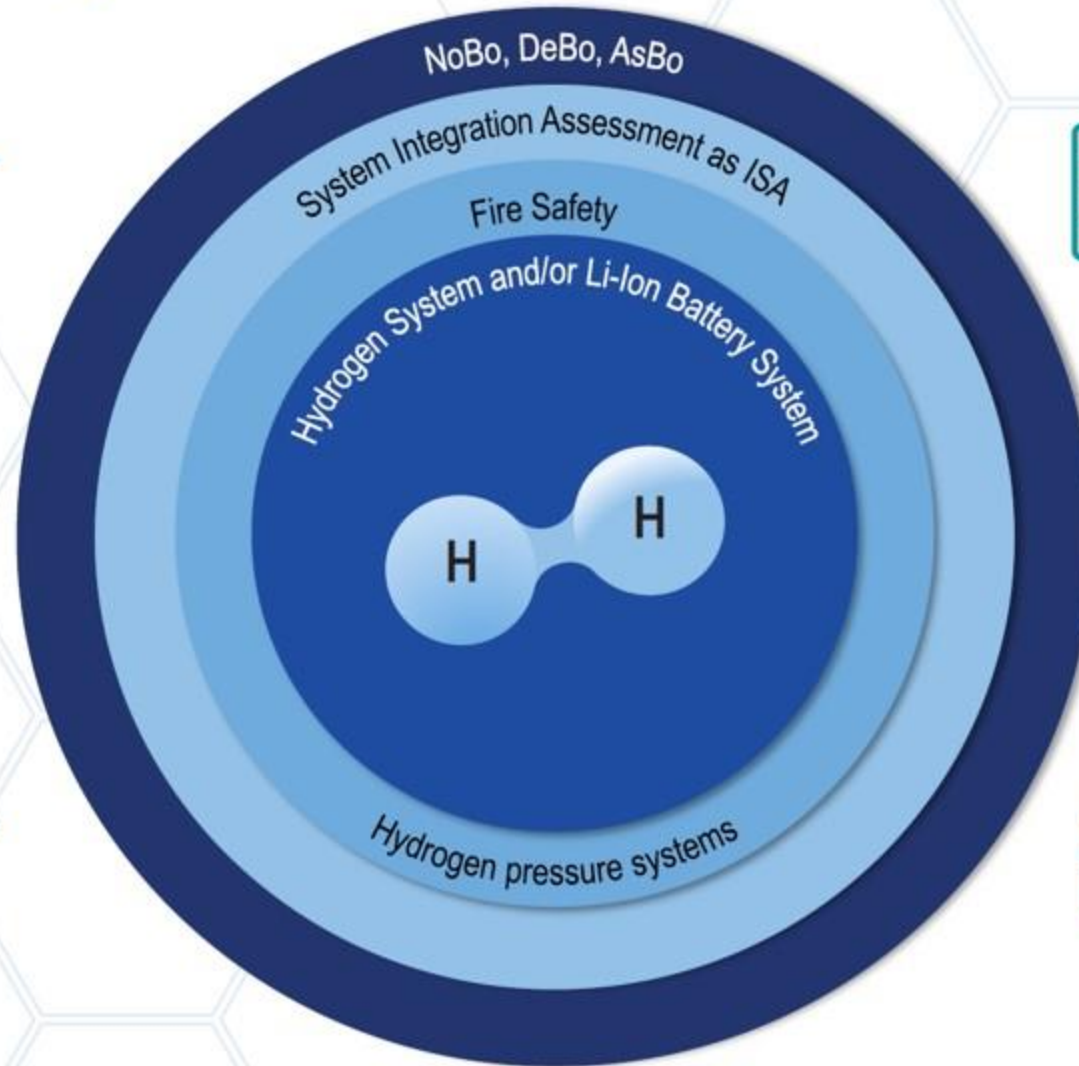
## Rail assessment

- Rolling Stock Independent Safety Assessor (ISA)
- Check of hazard analyses
- Overall/System Integration Assessment
- Notified Body (NoBo), Designated Body (DeBo), Assessment Body (AsBo)
- Vehicle and component testing acc. to railway standards



## Battery testing

- Battery abuse testing
- Certification



## Specific hydrogen services

- H2-Component inspection and certification
- H2-Infrastructure inspection and certification
- Hydrogen component testing



## Additional services

- Training, seminars and workshops
- Moderation of risk analyses



# Our accreditations and recognitions



## INSPECTION BODY

- DIN EN ISO/IEC 17020 Type A
- For infrastructure, energy, signalling, IT security, functional safety/automation and rolling stock
- In Europe, China and Korea



## TESTING BODY

- DIN EN ISO/IEC 17025
- UIC 541-00 and 541-05 for wheel slide protection tests and for monitoring during operation
- CAN/CSGSB 43.147-2005, CSA B625-08 for container test
- Machinery Directive Annex 4 for safety components
- ISO/IEC 17025 for CNAS fire lab



## CERTIFICATION BODY

- DIN EN ISO/IEC 17065
- certification body for Entities in Charge of Maintenance (ECMs)

- EBA approved experts, including ECM
- BOStrab
- OIF (Italy)



## NOTIFIED BODY (NOBO)

- EU Directive 2008/57/EC and (EU) 2016/797
- Associated partner of EBC



## DESIGNATED BODY (DEBO)

- We are DeBo in Germany, Denmark, Switzerland, The Netherlands, Italy, Norway and Finland



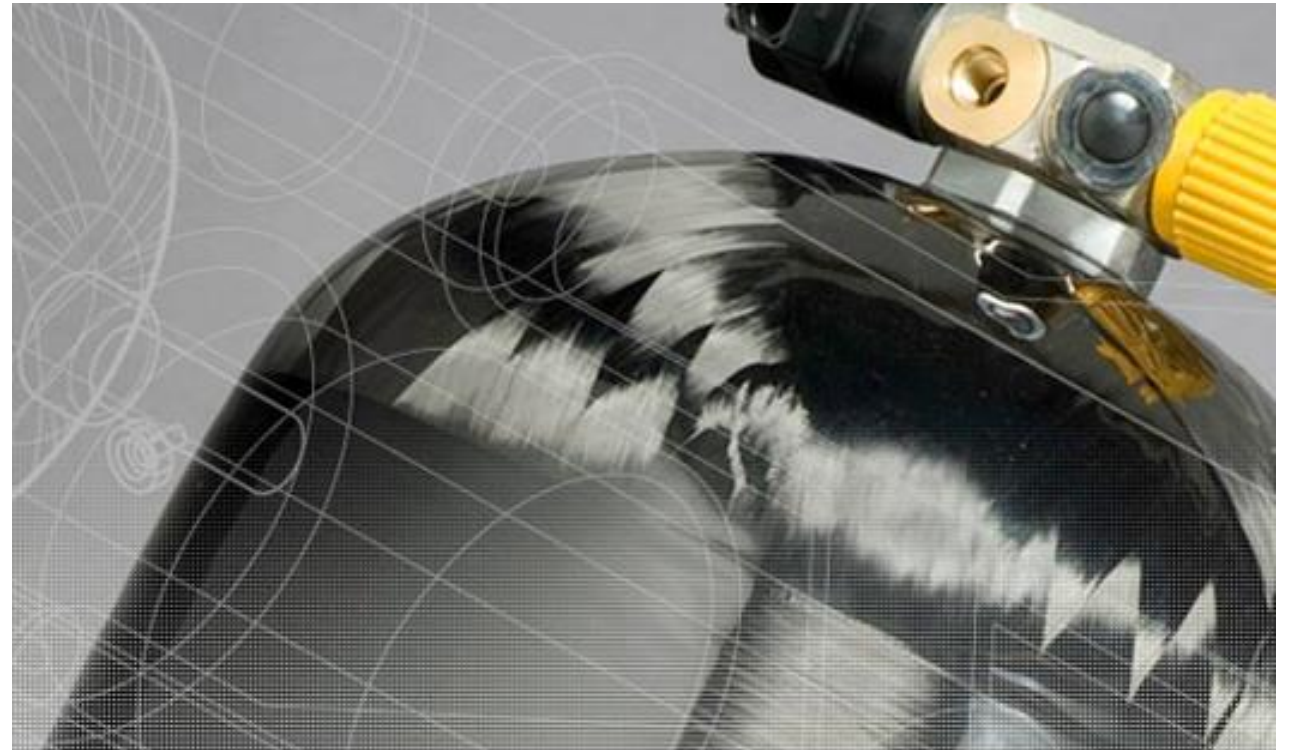
## ASSESSMENT BODY(ASBO)

- EU Regulation 402/2013/EU and (EU) 2015/1136
- We are AsBo in all european countries and Switzerland



# Agenda

- Anwendungsfälle Typ4-Behältern
- Herausforderungen bei Betankung & Entleerung
- Sicherheitsnachweis zur Liner-Funktion in Typ4-Behältern
- Prüfvorschriften für die verschiedenen Anwendungen





# Anwendungsfälle Typ4-Behälter

## Distribution & Tankstelle (mobile Speicher)

- Trailer
- MEGC (Multi-Element Gas Container)



## Fahrzeugtank

- PKW, 70 MPa (System < 10 kg)
- Busse & LKW, 35 MPa  
(System 20-42.5 kg, Tank 4-8,5 kg, Betankung 10-15 Min, max. Massenstrom 120 g/s, Vorkühlung  $\geq -40\text{ °C}$ )
- LKW, 70 MPa  
(System  $\leq 100\text{ kg}$ , Tank  $\geq 10\text{ kg}$ , Betankung  $\leq 10\text{ Min}$ , max. Massenstrom 300 g/s, Vorkühlung  $\geq -30\text{ °C}$ )
- Zug, 35 MPa  
(System 90-130 kg, Tank  $\leq 12\text{ kg}$ , Betankung  $\leq 15\text{ Min}$ , max. Massenstrom 120 g/s ungekühlt bzw. 200 g/s @  $10\text{ °C}$ )



# Herausforderungen bei Betankung & Entleerung

## Absicherung der Dichtigkeit – Verhinderung von zu hoher Permeation sowie Leckagen des Liners

- Limitierend ist nicht die Gas- sondern die Oberflächen-Temperatur des Liners
- Temperatur begrenzt auf -40 – 85 °C (Fahrzeugspeicher) bzw. 65 °C (TPED)
- Behälterinnendruck im Betrieb nicht unterhalb von 10 (20) bar

## Absicherung des Druckschutzes durch Tankstelle – kein Überdruck und kein Übertanken

- Behälterinnendruck begrenzt auf max. 438 bzw. 875 bar bei einer Gastemperatur von 85 °C (entsprechend 350 bzw. 700 bar @ 15 °C)
- Füllzustand ist begrenzt auf maximal 100 % (State of Charge – SOC)





# Herausforderungen bei Betankung & Entleerung

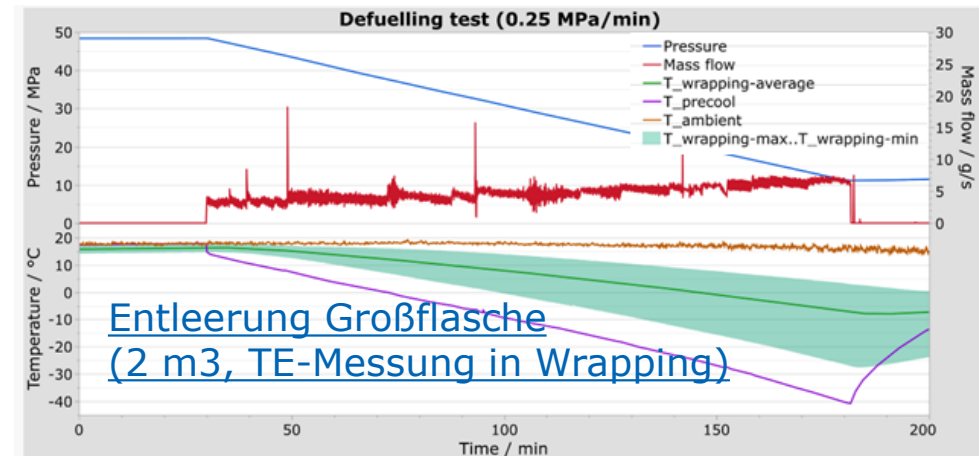
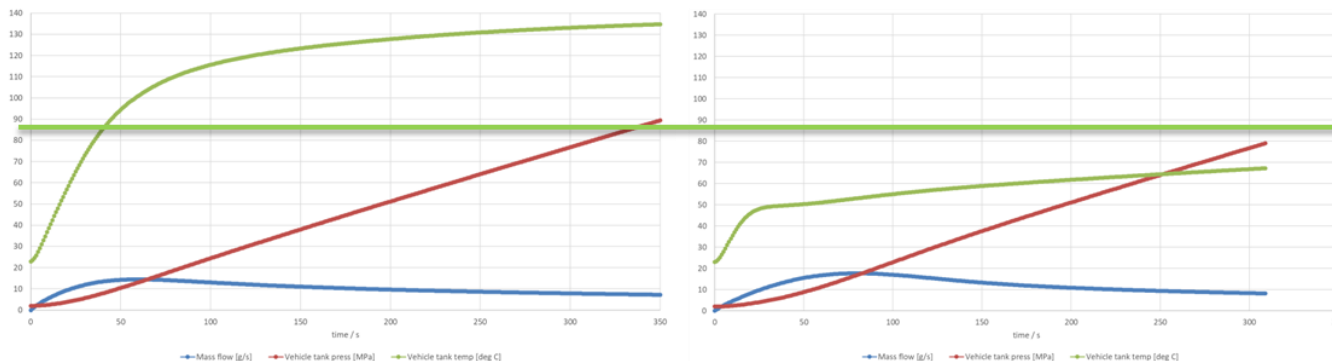
## Zusammenspiel Tankstelle - Tanksystem

- Verschiedene Protokolle in Anwendung/Entwicklungen (u.a. CEP 350 bar, PRHYDE 700 bar, individuell)
- Aktuell keine sicherheitsgerichtete Kommunikation (Ziel u.a. von PRHYDE)
- Maßgeblich ist die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Betankungsprozesse bzgl. funktional aktiver Komponenten und erforderlicher Datenübertragung (Fahrzeug-/Tankanlagenkennung)

## Einsatz mobiler Speichersysteme

- Keine standardisierten Befüllungs- bzw. Entleerungs-Protokolle vorhanden
- Prozesse müssen hinsichtlich der zulässigen Einsatztemperaturen der Behälter validiert werden

### Betankung ohne bzw. mit Vorkühlung (T40)

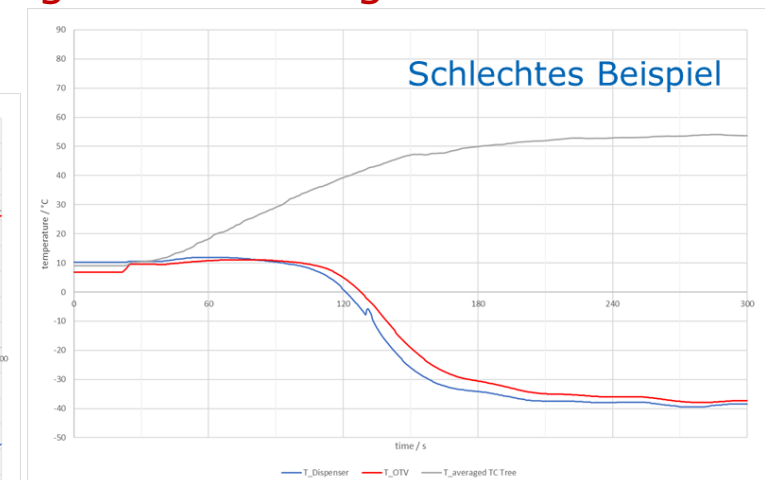
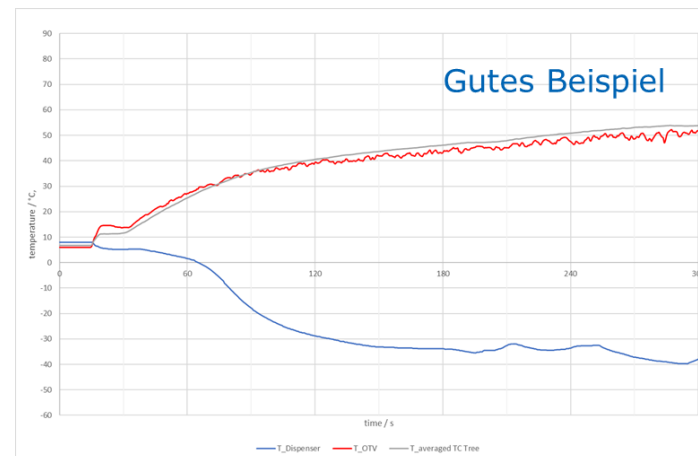
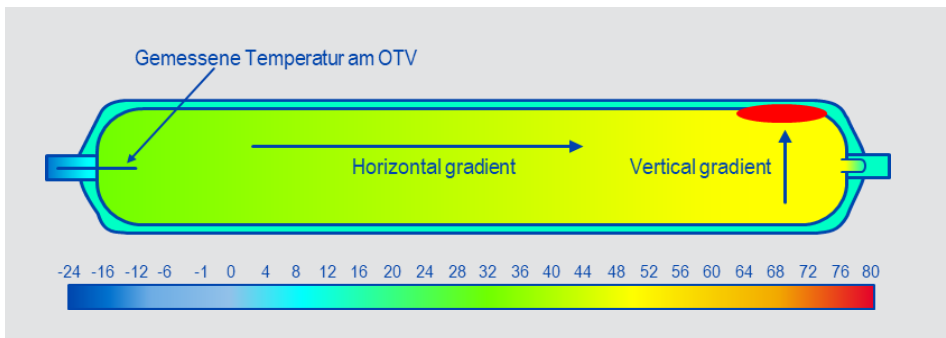


Entleerung Großflasche  
(2 m3, TE-Messung in Wrapping)

# Herausforderungen bei Betankung & Entleerung

## Reale Temperaturverteilung im Tank

- Inhomogene Temperaturverteilung durch Schichtung & transiente Hotspot-Bildung
  - Temperaturverteilung abhängig von Befüllparametern, Tank (L/D-Verhältnis, Lage des Tanks etc.) und OTV-Geometrie (Injektor & TE-Sensor etc.)
  - In einigen Fällen große Abweichungen der OTV-Temperaturen zur mittleren Gas- und insbesondere max. Liner-Temperaturen
- Erfordernis eines Testverfahrens bezogen auf den Nachweis „Dichtheitsgewährleistung“



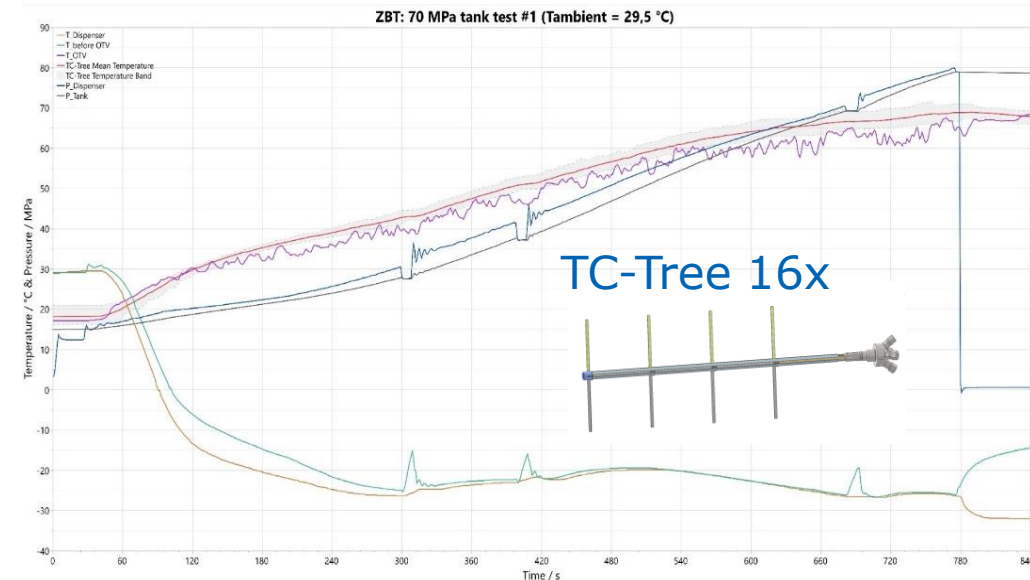


# Sicherheitsnachweis zur Liner-Funktion in Typ4-Behältern

## Messung erforderlich zur

- Bestimmung der realen Linertemperaturen bei Betankungen und Entleerungen
- Erfassung transienter Temperaturverteilung im Gasraum des Tanks
- Abgleich mit OTV Temperatursensor für mögliche künftigen Korrelationen
- Validierung von CFD-Simulationen

- Gültigkeit jeweils nur für eine Tank/OTV-Kombination
- Unterschiedliche Tankgrößen in Tanksystem bei Einsatz gleicher OTV kritisch
- Basis für Validierung von Befüllprotokollen & Festlegung erforderlicher Vorkühlung
- Basis für Validierung von Entleerungsprotokollen



Herausforderung: einflussfreie Messung der Gas- bzw. Linertemperaturen

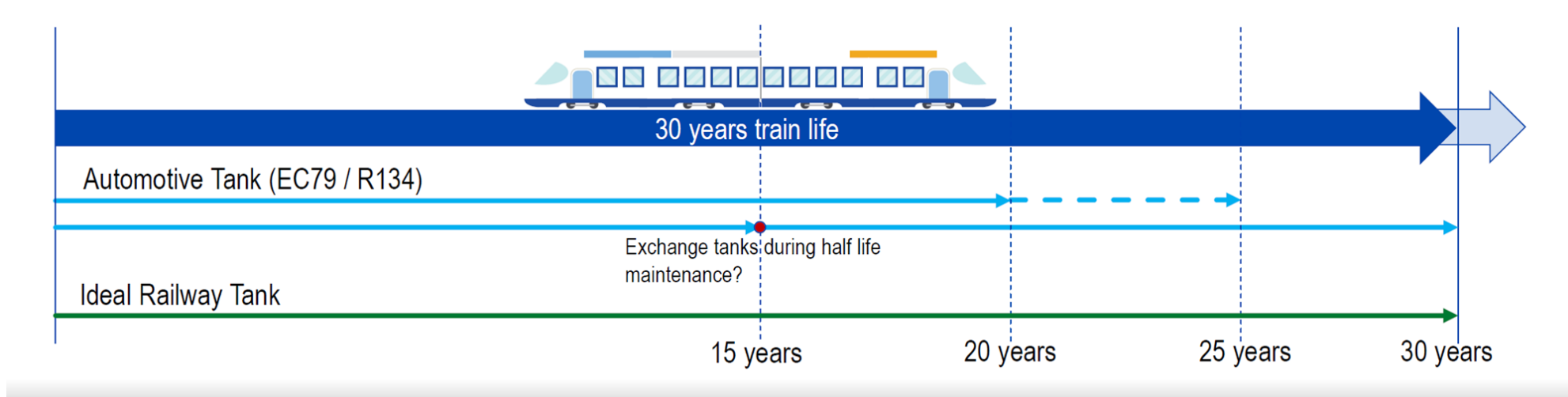
# Lebensdauer & Prüfvorschriften für Typ4-Behälter

## Distribution & Tankstelle

- Für Transport von Druckbehälter gilt die ADR und der Betrieb vor Ort die TPED gemäß BetrSichV
  - innere Prüfung alle 5 bzw. max. 10 Jahre und Festigkeitsprüfung alle 10 Jahre

## Fahrzeugspeicher

- Für Straßenfahrzeugspeicher gilt die ADR und in Speziellen die R 134



- Vereinheitlichung der Prüfparameter (p, TE, Intervalle etc.) für ADR, RID, ADN, TPED & R134 erforderlich!



# Thank you for your attention

## Dr.-Ing. Christian Spitta

Abteilungsleiter Wasserstoff-Infrastruktur  
Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH  
Carl-Benz-Straße 201 / D-47057 Duisburg  
+49 (0) 203 7598-4277 / c.spitta@zbt.de



## Dr.-Ing. Jürgen Heyn

Leiter Innovationen im öffentlichen Transport  
TÜV SÜD Rail GmbH  
Barthstraße 16 / 80339 München (Bürostandort Berlin)  
+49 (0) 175 432 0390 / Juergen.Heyn@tuvsud.com

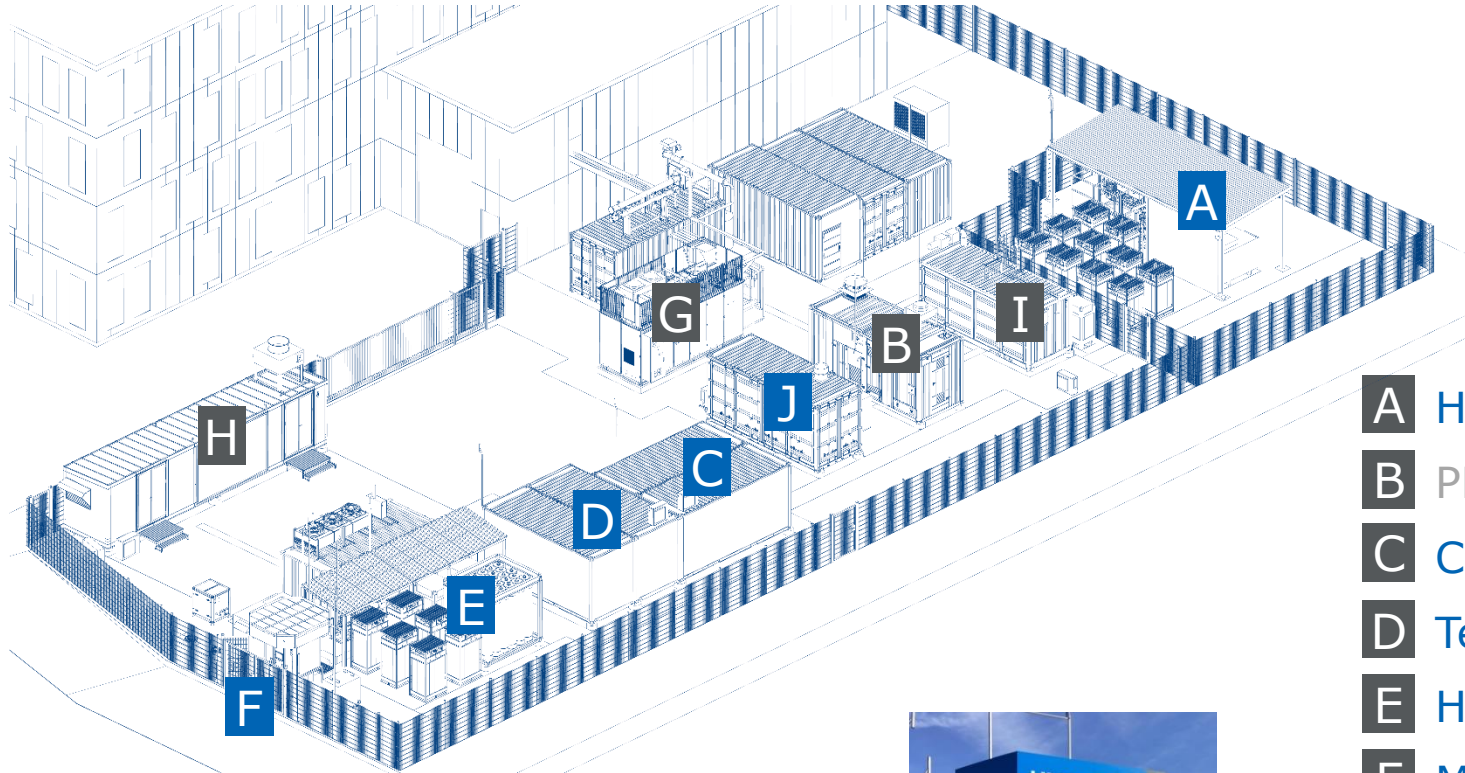


## Supported by:

Die Landesregierung  
Nordrhein-Westfalen



# HYDROGEN TESTFIELD



- A** H<sub>2</sub> Storage (200 bar)
- B** PEM-Electrolyser (10 m<sup>3</sup>/h)
- C** Control Room
- D** Test Room
- E** H<sub>2</sub> Storage (480, 500 & 900 bar)
- F** Main Dispenser (350, 500 & 700 bar)
- G** PAFC (100 kW)
- H** Direct Air Capture
- I** Methanation (10 kW)
- J** Electro-chemical compressor (tbb)





# HRS test platform – Fact sheet

- Hydrogen capacity: approx. 500 kg H<sub>2</sub> (stored at 200, 500 and 900 bar)
- Precooling: - 40 °C to ambient (solid and plate heat exchanger)
- Dispensing pressure levels: 350, 500 and 700 bar
- Mass flows: up to 120 g/s
- Refuelling: 700 bar LD and 350 (500) bar HD
- Fueling protocols: SAE J2601, MC formular, PRHYDE & “free” configurable
- Available FCEV tanks: fully instrumented 500 & 700 bar (HD) vessels
- PLC: Flexible and safety-related control and data acquisition
- Testing room: Component development and testing



## Extension for 700 bar **highest flow** HD refuelling in 2023-24

- Additional hydrogen capacity: 150 kg H<sub>2</sub> at 1000 bar
- Mass flows: up to 300 g/s @ -30°C



# HRS test platform – R&D and service portfolio

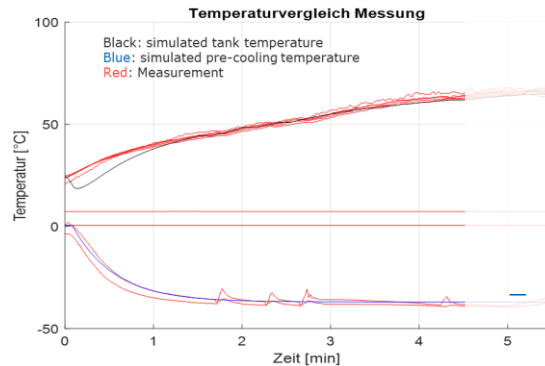
## Development

- Sensors
- Leakage detection
- Thermocouple trees
- Fuelling protocols
- HRS components



## Testing / Inspection / Certification / Advisory

- (T) Components and safety functions
- (I) Plausibility of Risk analyses / HAZOP, check the proof of equal safety
- (C) Assessment respective check fulfillment of regulations for process of certification
- (A) Accompany and expert moderation for manufacturers and operators as well as authorities - active participation in standardization



## Modelling

- Fuelling
- Tanks
- HRS design
- HRS components

## Measuring & monitoring

- Pressures
- Temperatures
- Mass flows
- Sampling & analysis H2 quality



## Testing & qualification

- Tanks / tank systems
- Pre-cooling
- Compressors
- Fuelling components & assemblies
- Fuelling protocols



## Consulting

- HRS & plant design
- Process design & control
- Safety concept
- Support for certification