

# Wasserstoffspeicherung in Metallhydriden – Herausforderungen und Chancen für einen Einsatz in Güterlokomotiven

José M. Bellosta von Colbe  
Institut für Wasserstofftechnologie  
Hereon  
03.05.2022



Helmholtz-Zentrum  
**hereon**

# Übersicht

- Einleitung
- Metallhydride
  - Warum Metallhydride?
  - Was sind Metallhydride
  - Wie funktionieren Metallhydride?
- Entwicklungen @ Hereon
- Metallhydride und Eisenbahn
- Ausblick



# Einleitung

- Hereon : eines von 18 Forschungszentren der Helmholtz Gemeinschaft
- 15 Institute
- 2 Standorte: Geesthacht und Teltow
- ~ 1100 Mitarbeiter
  - 70 % Wissenschaftler
  - 30 % Verwaltung
- 90 % der Gesellschaftsanteile Bund
- 10 % der Gesellschaftsanteile Länder:
  - Schleswig-Holstein
  - Hamburg
  - Niedersachsen
  - Brandenburg

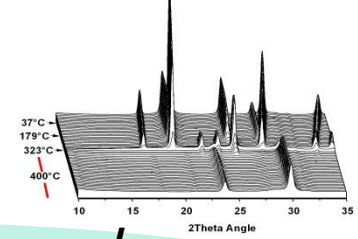




# Einleitung



Tank system



Tank Tests & Demonstration

Anwendung

Tankdesign

Characterisierung und Optimierung tankrelevanter Materialeigenschaften

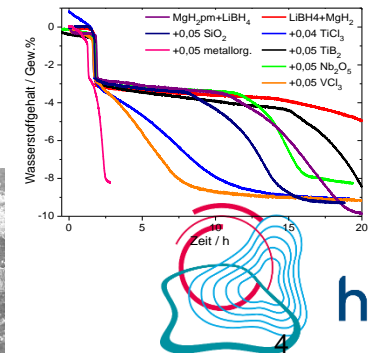
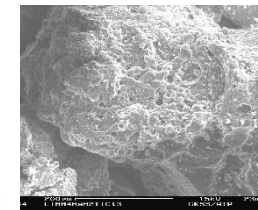
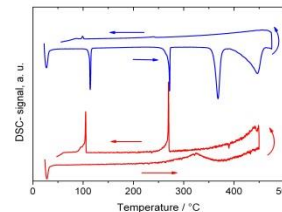
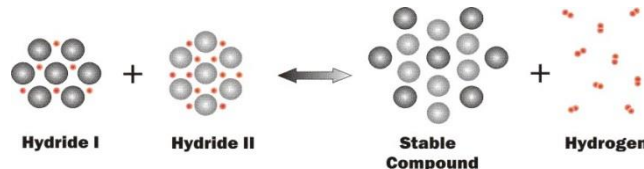
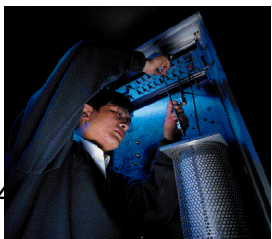
Hochskalierung und kostengünstige Materialpreparation

Kinetische Optimierung / Entwicklung von Katalysatoren

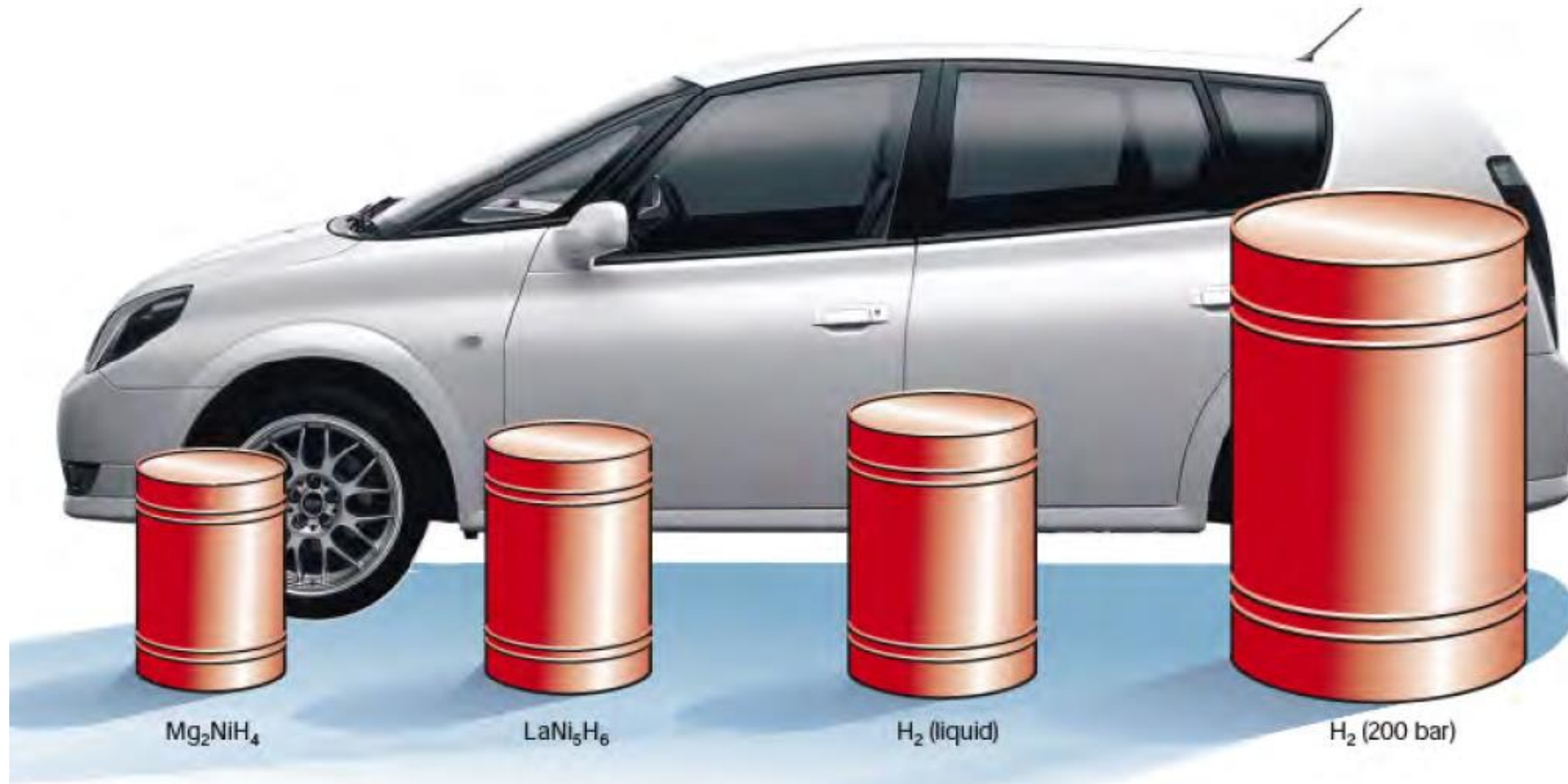
Thermodynamischer Anpassung

Identifizierung von neuartigen Hydriden

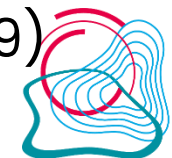
Grundlagenforschung



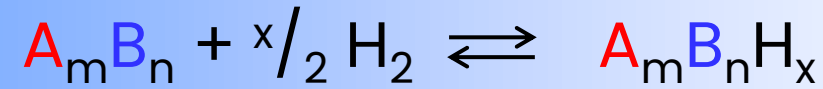
# Warum Metallhydride?



Tankvolumen für 4 kg Wasserstoff (Toyota, 33. Tokyo Motor Show. 1999)

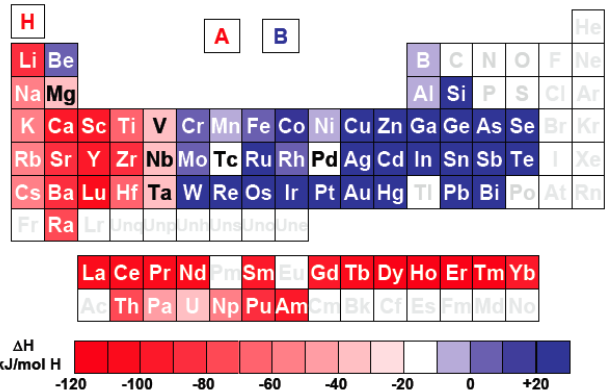


# Was sind Metallhydride?



A: hydridbildendes Element; B: nicht hydridbildendes Element

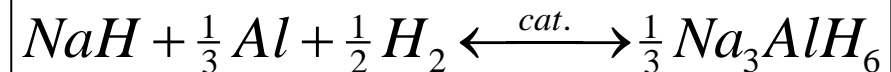
Konventionelle  
Raumtemperaturhydride



Komplexe Hydride



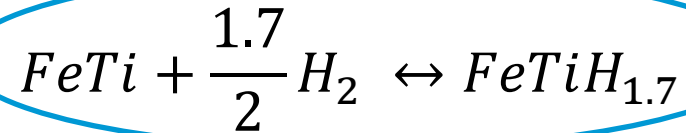
A: Gegen-Ion Element; B: Komplex-bildendes Element



# Metalhydride: Klassifizierung

Raumtemperaturhydride

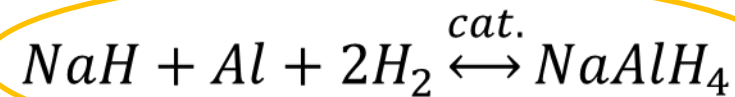
25 °C



1.8 Gew %

Mitteltemperaturhydride

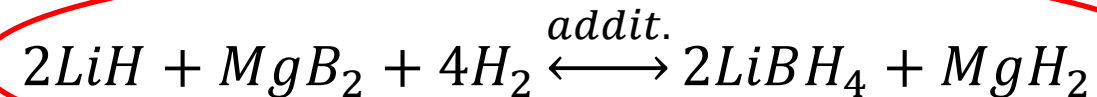
160 °C



4.5 Gew %

Hochtemperaturhydride

400 °C



10 Gew %

# Metallhydride, wie werden sie benutzt?

Beladung



Entladung



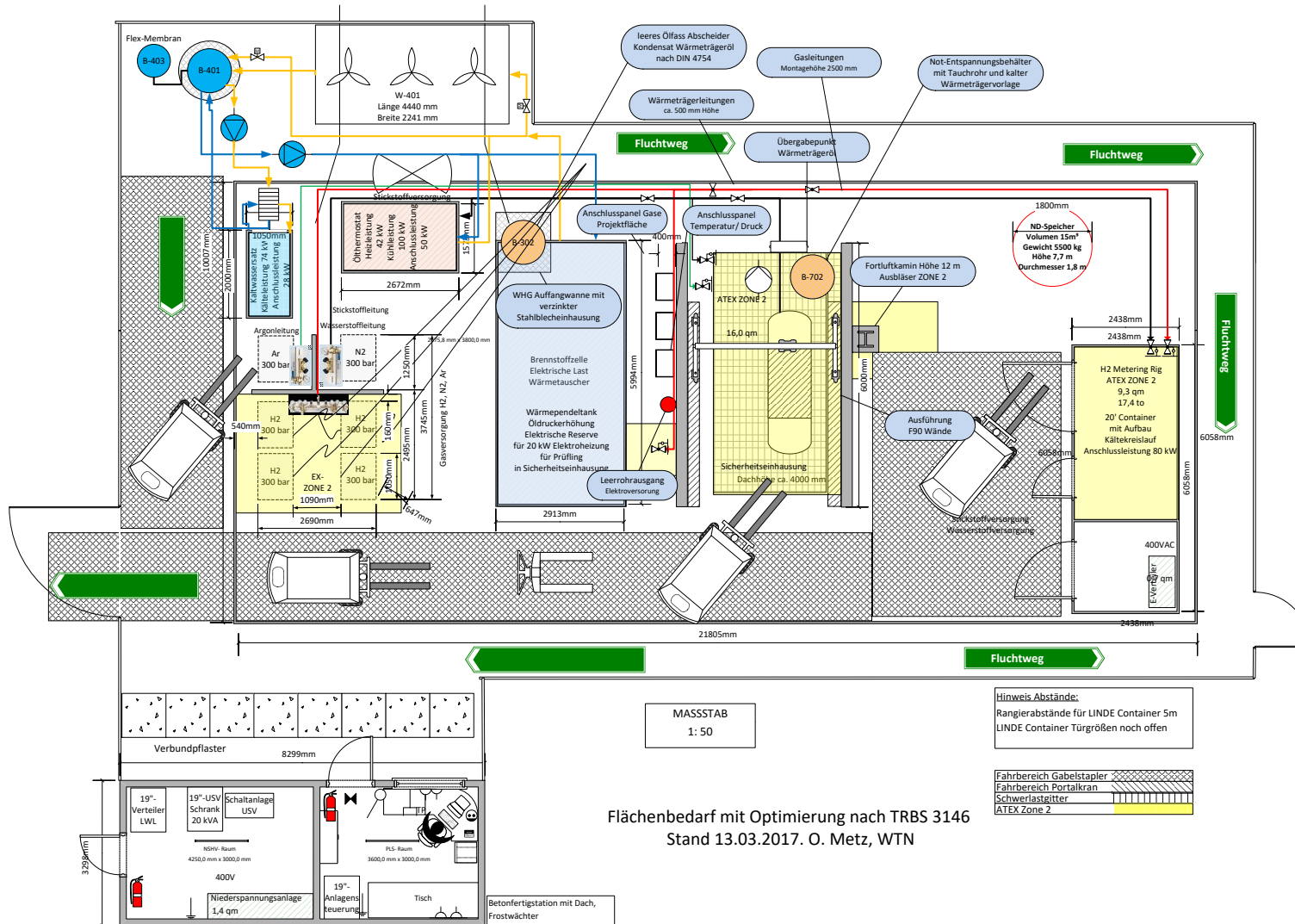


# Aktivitäten @ Hereon: Testanlage HTTF I



- Testbedingungen:  $T_{\max}$ : 180 °C,  $P_{\max}$ : 110 bar
- Größe der getesteten Tanks: bis zu 6000 Normalliter Wasserstoff
- Maximale Beladungsgeschwindigkeit: 2500  $I_n$ /min

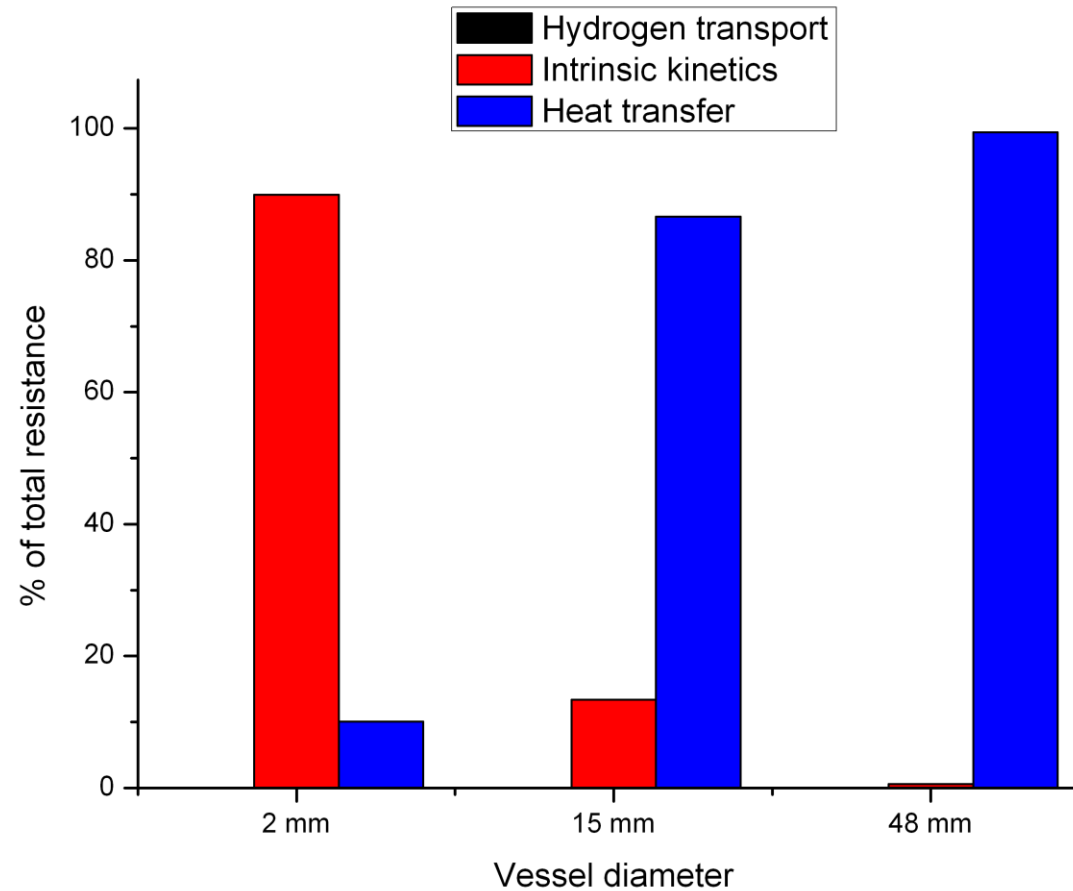
# Hydrogen Tank Test Facility (HTTF) II



- 12 kg H<sub>2</sub> @ 500 bar
- max. 6000 NI/min ⇒ 5 kg H<sub>2</sub> @ 300 bar in 10 min
- Betriebstemperatur: RT – 350°C
- Integration mit BZ, Electrolyseur usw. vor Ort möglich

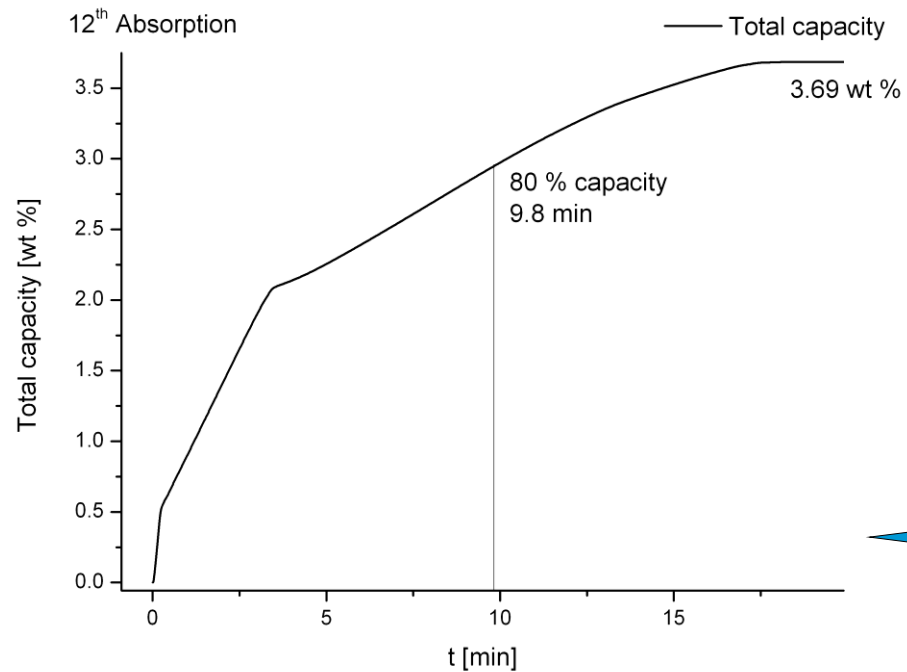
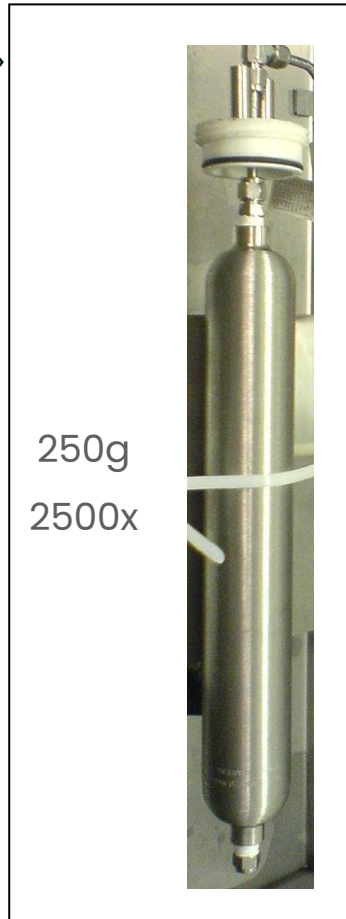
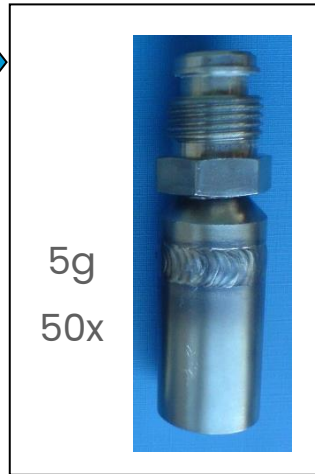
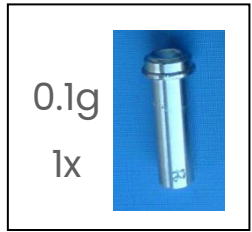


# Rolle der Wärmeübertragung



Wärmeübertragung: geschwindigkeitslimitierender Prozess für **reale** Geometrien

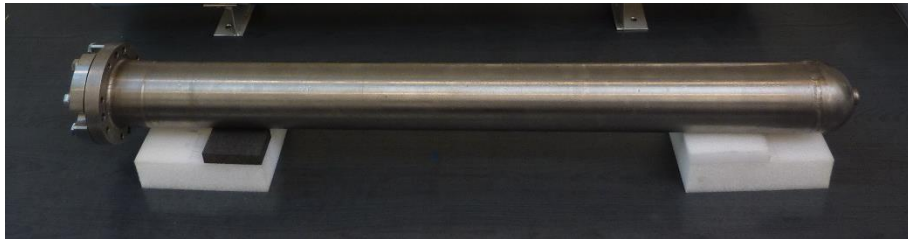
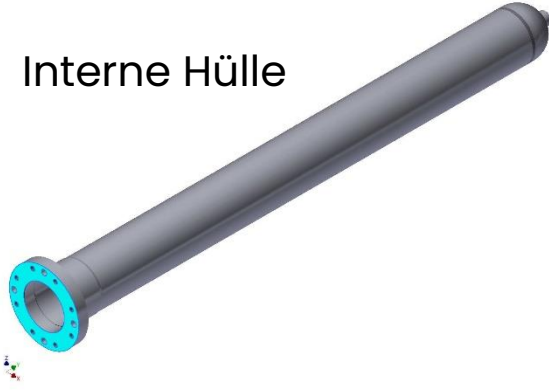
# Hochskalierung der Tanks



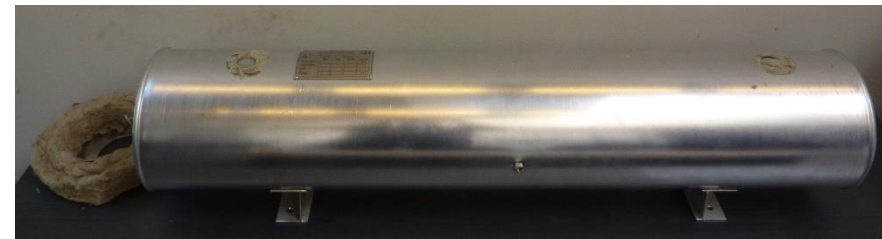
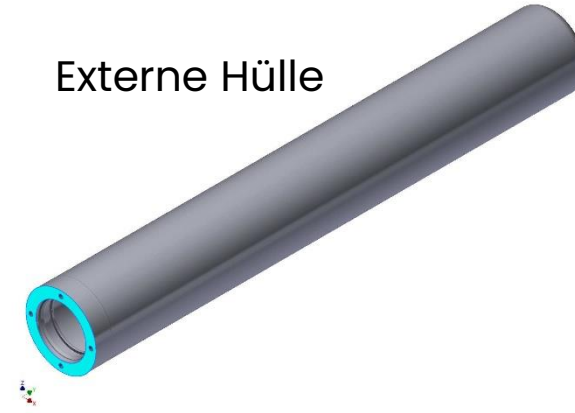


# Erhöhung der Energiedichte

Interne Hülle



Externe Hülle

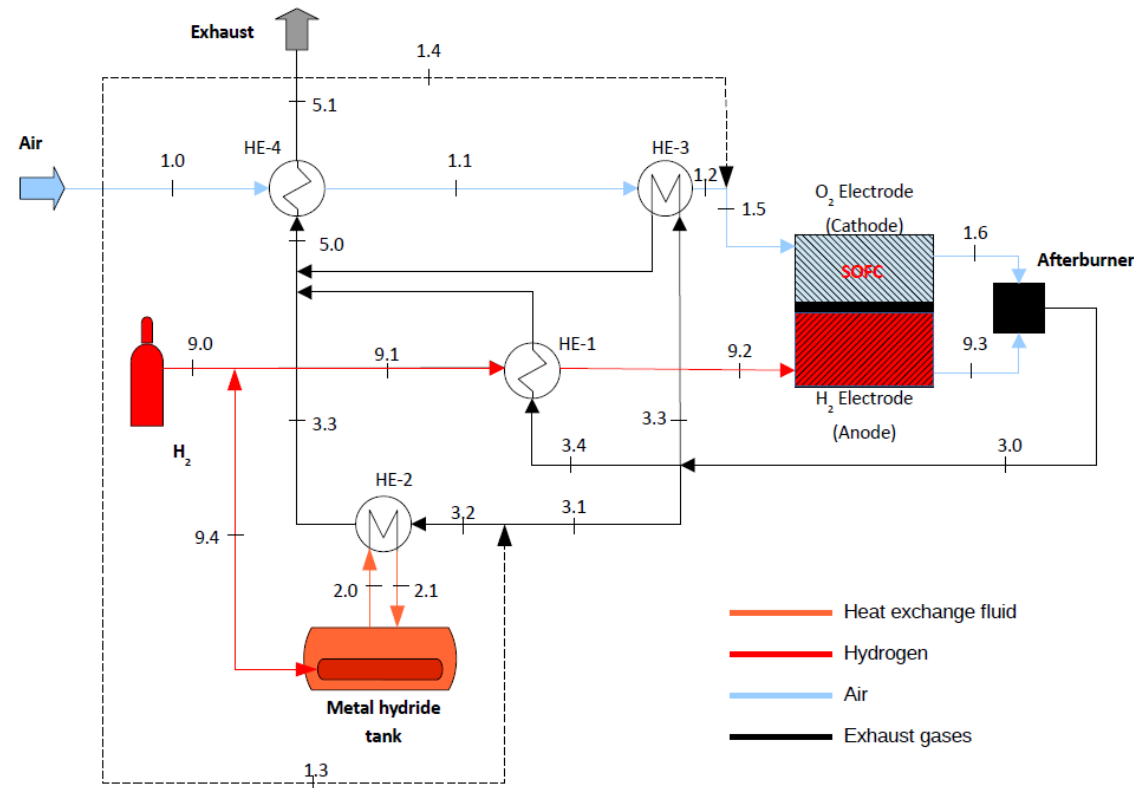


Verbesserung gegenüber vorheriges Modell:

→ Gewicht: 1,58 statt 0,865 Gew. %; + 83 %

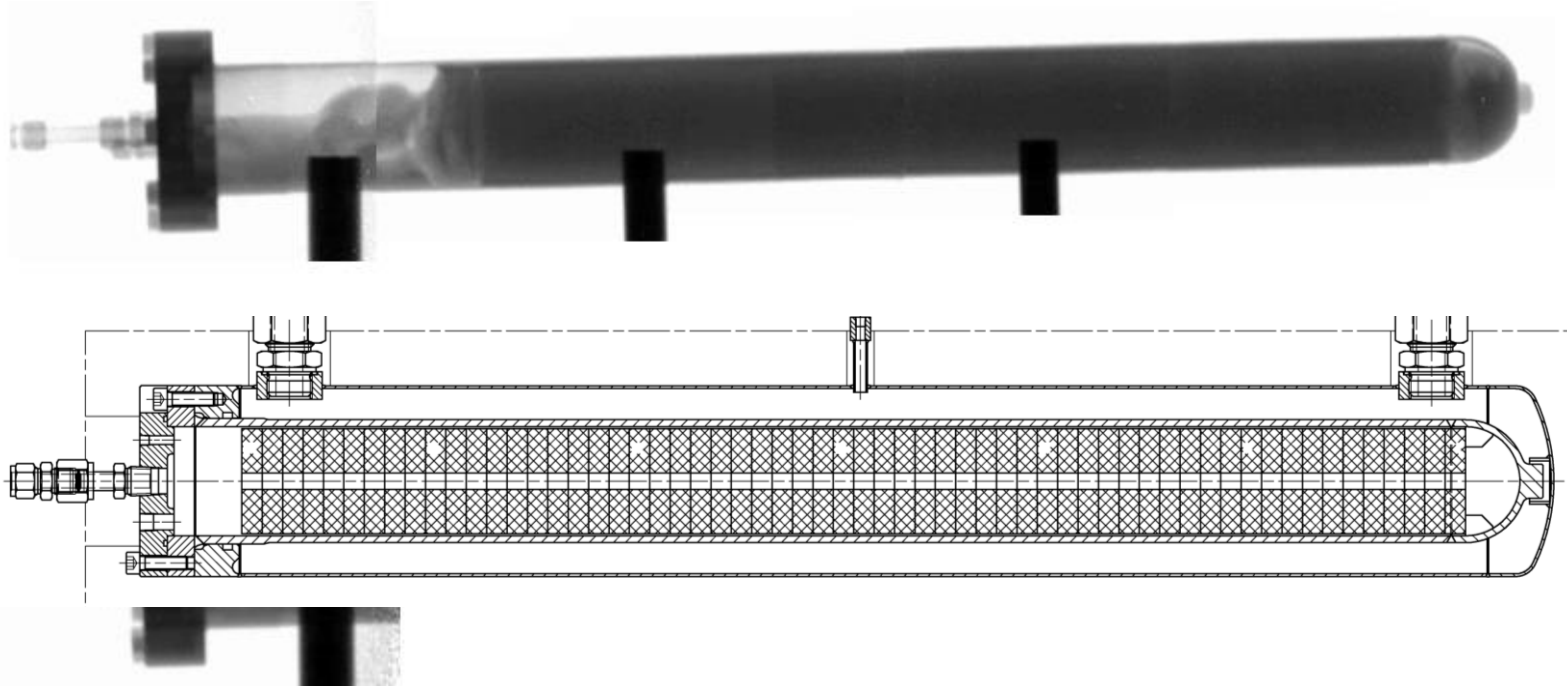
→ Volumen: 31,2 statt 21 kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>; + 49 %

# Systemintegration



- Testing conditions:  $T_{\max}$ : 650 °C,  $P_{\max}$ : 100 bar
- Size of tested tanks: up to 3000 normal liters of hydrogen
- Investigation of heat transfer and integrated behaviour

# Neutronenbilder



Bedingungen:

→ Messzeit: 60 sec/Bild

→ 60 Dunkelbilder

→ 10 open beam Bilder

→ 1 Bild von jedem Teil: 420, 320, 120, -120 und -270 mm + 2 Bilder vom Deckel

→ Alle Bilder gefiltert: Hintergrund von Dunkelbild Nr. 2

→ Bilder per Hand aneinandergefügt



# Anwendungen für Metallhydriden



Fortis Saxonia



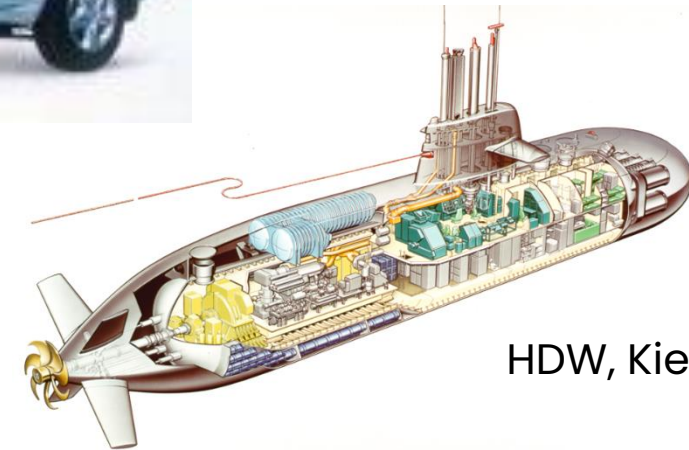
Toyota FCHV-3



Panasonic



FC Kanalschiff, Birmingham



HDW, Kiel

HySA Systems /Impala/Hot Platinum

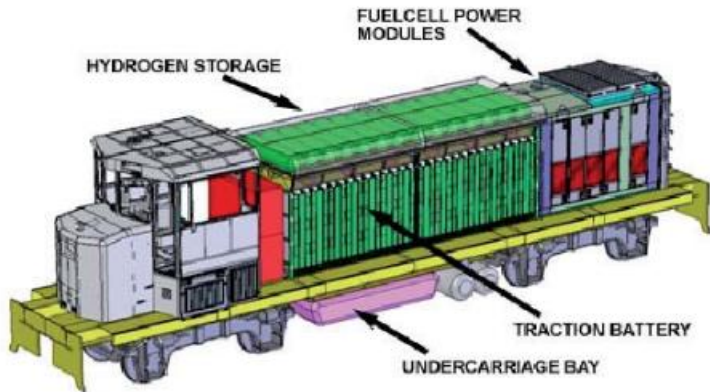


Verdichter,  
HySA  
Systems



# Wasserstoff und Gütereisenbahn

Vergangenheit



Schematic and picture of the fuel cell switcher being Developed by Vehicle Projects (picture courtesy of Vehicle Projects LLC)

© Vehicle Projects LLC

- 2007 Entwicklung von Vehicle Projects LLC, USA
- Switch Lok: 120 ton, 450 kW PEM, 1 MW gesamt

Zukunft



© Canadian Pacific

- Canadian Pacific hat 3 BZ Loks in Auftrag
- BZ Lieferant: Ballard Power Systems

# Metallhydride und Eisenbahn



**Figure 2. Fuel cell powered mine dozer, utilizing PEM fuel cell reversible metal-hydride storage, currently undergoing surface trials**



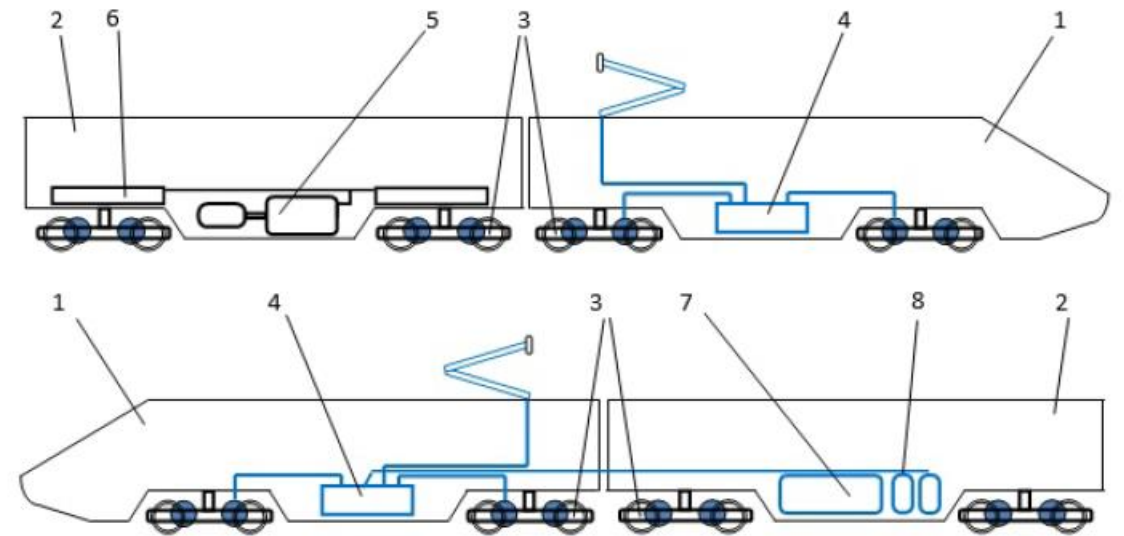
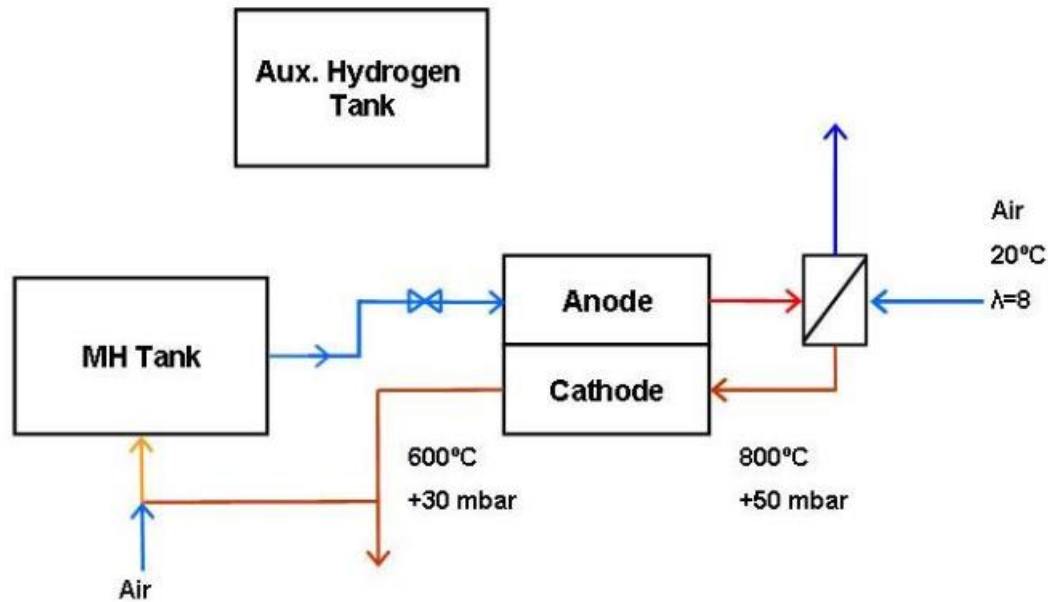
**Figure 1. Fuel cell powered mine locomotive of Vehicle Projects Inc. utilizing the PEM fuel cell and reversible metal-hydride storage, currently being trialled at AAPL's School of Mines**

Metallhydride sind im kleineren Maßstab für spezialisierte Zwecke auf den Schienen getestet worden

P. Valicek and F. Fourie, *Fuel cell technology in underground mining The 6<sup>th</sup> International Platinum Conference, 'Platinum-Metal for the Future'*. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2014.

# Metalhydride und Eisenbahn

Simulationsarbeiten wurden durchgeführt, sowohl für Raumtemperatur- wie auch für komplexe Hydride



A. M. Pour, R. Steinberger-Wilckens, K. Taube, J. Bellosta von Colbe, *Coupling an SOFC System with a High-Performing Metal Hydride Storage*. European Fuel Cell Forum, 2011, Switzerland.

A. Stanescu, N. Mocioi, A. Dimitrescu, *Hybrid Propulsion Train with Energy Storage in Metal Hydrides*. EV2019, Electric Vehicles International Conference and Show, 2019, Rumänien.



# Metalhydride und Eisenbahn

## Exemplarische Berechnung:



Wikipedia, Creative Commons CC BY-SA3.0

## DB Baureihe 218

- Tankinhalt: 3200 L; 2,7 ton Diesel
- Energieinhalt von Diesel (netto): 36,1 MJ/L
- Energie im Tank: 115347,2 MJ
- Energieinhalt von H<sub>2</sub>: 142,2 MJ/kg
- H<sub>2</sub> benötigt für Lok: 811,2 kg
  
- RT-Hydrid: 45,1 ton (Faktor 17)
- MT-Hydrid: 17,6 ton (Faktor 6,5)
- HT-Hydrid: 8,1 ton (Faktor 3)
  
- Volumetrisch:
- bei 60 kg H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>: 13,5 m<sup>3</sup> (Faktor 4,2)
- Bei 100 kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>: 8,1 m<sup>3</sup> (Faktor 2,5)



# Fazit und Ausblick

- Es sind bisher wenige Arbeiten über Metallhydride und Eisenbahn bekannt
- Das Potenzial von Metallhydriden im Schienenverkehr ist groß:
  - Geringes Volumen
  - Ausnutzung der Abwärme vom Antrieb
  - Kein Boil-off
  - Niedriger Betriebsdruck



# Vielen Dank.

[www.hereon.de](http://www.hereon.de)

