

MetalHyTrain

Metal Hydride Hydrogen Storage for Trains

Programm / Ausschreibung	Leuchttürme eMobilität, Zero Emission Mobility, Zero Emission Mobility 2025 inkl ZEM, DTM & Rail4Climate	Status	laufend
Projektstart	01.09.2026	Projektende	31.08.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	36 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 966.253		
Keywords	Metal Hydride; Hydrogen Storage; Railway; Trains		

Projektbeschreibung

Die Transformation des Verkehrssektors hin zu einer klimaneutralen Mobilität erfordert sichere, leistungsfähige und wirtschaftlich tragfähige Energiespeicherlösungen. Während batterieelektrische Konzepte im Individualverkehr zunehmend etabliert sind, stoßen sie im schweren Verkehr und im Schienenverkehr auf physikalische und betriebliche Grenzen. Wasserstoff gilt daher als zentraler Energieträger für emissionsfreie Antriebssysteme auf nicht oder nur eingeschränkt elektrifizierbaren Bahnstrecken. Derzeit eingesetzte Speichertechnologien wie komprimierter gasförmiger Wasserstoff oder Flüssigwasserstoff sind jedoch mit hohem Energiebedarf, komplexer Infrastruktur, Sicherheitsanforderungen sowie Verlusten beim Betrieb und bei der Betankung verbunden. Insbesondere für den Einsatz in sicherheitskritischen Umgebungen wie Tunneln und dicht bebauten Bereichen bestehen erhebliche Einschränkungen.

Das Projekt MetalHyTrain adressiert diese Herausforderungen durch die systematische Untersuchung von metallhydridbasierter Feststoffspeicherung für Schienenfahrzeuge. Metallhydridsysteme ermöglichen die Speicherung von Wasserstoff bei moderaten Drücken und nahe Umgebungstemperatur, bieten eine hohe volumetrische Speicherdichte und weisen eine hohe inhärente Sicherheit auf. Trotz vielversprechender Laborergebnisse fehlt bislang eine systemnahe Validierung unter realen Traktionslasten sowie eine Bewertung der Skalierbarkeit, Regelbarkeit und infrastrukturellen Integration für den Schienenverkehr. Diese Lücke bildet die zentrale Motivation des Projekts.

Ziel von MetalHyTrain ist die Entwicklung und Bewertung eines modularen Metallhydrid-Speichersystems, das den dynamischen Anforderungen des Bahnbetriebs gerecht wird. Der Innovationsgehalt liegt in der Kombination aus anwendungsspezifischer Materialauswahl, optimiertem thermischem Systemdesign und intelligenter Regelung. Die Herausforderungen der begrenzten Absorptions- und Desorptionskinetik werden durch eine systemische Wärmekopplung adressiert, bei der Abwärme aus dem Brennstoffzellensystem gezielt zur Wasserstofffreisetzung genutzt wird. Ergänzend werden Hardware-in-the-Loop-Methoden eingesetzt, um die dynamische Interaktion zwischen Speicher, Brennstoffzelle und Fahrprofilen realitätsnah abzubilden. Digitale Zwillinge unterstützen die Bewertung von Langzeitverhalten,

Vibrationseinflüssen und thermischen Lasten.

Ein weiterer Innovationsaspekt ist die Betrachtung angepasster Betankungskonzepte, insbesondere die Möglichkeit einer Niederdruckbetankung bei etwa 30 bar direkt aus Elektrolyseuren ohne Einsatz von Hochdruckverdichtern sowie die Bewertung von kühlungsseitigen Lösungen auf Infrastruktur- oder Fahrzeugseite. Ergänzend werden Sicherheits- und Standardisierungsaspekte sowie Gewichts- und Achslastanforderungen berücksichtigt.

Als Ergebnis liefert das Projekt eine validierte Systemarchitektur für metallhydridbasierte Wasserstoffspeicherung im Schienenverkehr, einschließlich Integrationskonzepten, Regelungsstrategien und infrastrukturellen Anforderungen. Damit schafft MetalHyTrain eine fundierte Grundlage für Folgeprojekte und industrielle Umsetzung und leistet einen Beitrag zur Dekarbonisierung nicht elektrifizierter Bahnstrecken im Einklang mit nationalen und europäischen Klimazielen.

Abstract

The transition toward climate-neutral mobility requires energy storage solutions that are safe, high-performance, and economically viable under real operating conditions. While battery-electric concepts are increasingly deployed in passenger transport, they face fundamental limitations in heavy-duty and rail applications. Hydrogen is therefore considered a key energy carrier for zero-emission propulsion on non-electrified or partially electrified railway lines. However, currently applied hydrogen storage technologies, compressed gaseous hydrogen and liquid hydrogen, are associated with high energy demand, complex infrastructure, safety constraints, and operational losses, particularly in safety-critical environments such as tunnels and urban areas.

The MetalHyTrain project addresses these challenges by investigating metal hydride-based solid-state hydrogen storage for rail applications. Metal hydride systems enable hydrogen storage at moderate pressures and near-ambient temperatures, offering high volumetric energy density and enhanced inherent safety. Despite promising laboratory-scale results, metal hydride storage has so far not been validated at system level under realistic traction loads, nor has its scalability, controllability, and infrastructure compatibility been assessed for railway applications. Closing this gap forms the core motivation of the project.

The objective of MetalHyTrain is to develop and evaluate a modular metal hydride storage system tailored to the dynamic requirements of rail operation. The project's innovation lies in a holistic system approach combining application-specific material selection, optimized thermal management, and advanced control strategies. The challenge of limited hydrogen absorption and desorption kinetics is addressed through a heat-work synergy concept, where waste heat from the fuel cell system is actively used to support hydrogen release during high power demand. This enables dynamic synchronization between hydrogen supply and transient traction loads.

A key novelty is the use of Hardware-in-the-Loop (HIL) testing to validate dynamic system behavior under realistic operating conditions. By coupling the hydrogen storage prototype with real-time control systems, the interaction between storage, fuel cell, and vehicle load can be analyzed and optimized. Digital twin models further support the assessment of lifetime behavior, thermal cycling, and vibration effects, enabling the transition of solid-state hydrogen storage from static to highly dynamic mobile applications.

The project also investigates refueling concepts specific to metal hydride storage, including the potential for low-pressure refueling at approximately 30 bar directly from electrolyzers without compressors, as well as cooling strategies implemented either on the infrastructure side or onboard the vehicle. Safety aspects, system mass constraints, axle load limits, and standardization requirements are considered throughout the system design.

As a result, MetalHyTrain delivers a validated system concept for metal hydride hydrogen storage in rail applications, including integration strategies, control approaches, and infrastructure implications. The project provides a solid foundation for follow-up industrial development and contributes to the decarbonization of non-electrified rail networks in line with European and national climate strategies.

Projektkoordinator

- HyCentA Research GmbH

Projektpartner

- CRRC ZELC Verkehrstechnik GmbH
- GRZ Technologies SA