

H2SAFE

Safe and durable sealing for H2 Systems

Programm / Ausschreibung	KLWPT 24/26, FTI-Initiativen 2025, Advanced Materials, M-ERA.NET Call 2025	Status	laufend
Projektstart	01.09.2026	Projektende	31.08.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	36 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 480.234		
Keywords	Hydrogen storage and distribution, High-pressure Hydrogen, Energy efficiency, Elastomeric sealing materials, Sustainable polymer compounds, Recycled elastomers, Gas-tight sealing systems, Rapid gas decompression (RGD), Fatigue and fracture behavior,		

Projektbeschreibung

Ausgangssituation, Problematik und Motivation:

Die europäische Strategie REPowerEU setzt auf die jährliche Bereitstellung von 20 Millionen Tonnen erneuerbarem Wasserstoff (H₂) bis 2030, was eine hochleistungsfähige Infrastruktur erfordert. Ein zentrales technisches Problem sind die derzeitigen Grenzen elastomerbasierter Dichtungsmaterialien, die in H₂-Systemen extremen Bedingungen standhalten müssen: Drücke bis 1000 bar, Temperaturen von -40 °C bis +200 °C sowie wiederholten mechanischen Belastungen. Gaslecks aufgrund von Permeation, Alterung durch Umwelteinflüsse und RGD-Fehlern (Rapid Gas Decompression) sind in den heutigen Systemen weit verbreitet und stellen eine erhebliche Bedrohung für die Sicherheit, Betriebszuverlässigkeit und Nachhaltigkeit dar. Es fehlen belastbare Werkstoffe sowie wissenschaftliche Modelle zur Vorhersage ihres Langzeitverhaltens unter realistischen H₂-Bedingungen.

Ziele und Innovationsgehalt:

Ziel von H2SAFE ist es, neuartige, speziell für Hochdruck-H₂-Anwendungen entwickelte Elastomerwerkstoffe zu formulieren, zu charakterisieren und in industrierelevanten Demonstratoren zu validieren. Im Mittelpunkt stehen:

- **Materialentwicklung:** Entwicklung innovativer Elastomerformulierungen mit optimierter Gasbarrierewirkung, RGD-Resistenz und Langzeitstabilität. Nachhaltigkeitsaspekte werden systematisch berücksichtigt, etwa durch den Einsatz recycelter Füllstoffe und Konzepte für das Lebensende (End-of-Life, EoL) der Materialien.
- **Experimentelle Charakterisierung:** Eingehende Prüfung von Werkstoffen in H₂-Umgebungen unter verschiedenen Druck- und Temperaturbedingungen und vergleichende Belastungstests in Inertgas (N₂), bis zu 1000 bar, in Kombination mit Ermüdungs- und Bruchanalysen (in-situ und ex-situ) zur Bewertung der Leistung unter realen Belastungen.
- **KI-gestützte Materialmodellierung:** Aufbau hybrider, neuronaler Netzwerke zur Vorhersage von Materialverhalten unter zyklischer H₂-Belastung. Diese kombinieren viskoelastische, hyperelastische und bruchmechanische Modelle mit datengetriebenen Ansätzen.

- Demonstratorentwicklung: Fertigung und Validierung von Dichtungssystemen auf Basis der neuen Elastomere in realitätsnahen Einsatzszenarien zur Prüfung von Leistung, Lebensdauer und industrieller Umsetzbarkeit.

Der Innovationsgehalt liegt in der erstmaligen Kombination aus nachhaltiger optimierter Materialentwicklung, KI-gestützter Prognosemodelle und praxisnaher Validierung. Damit schließt H2SAFE entscheidende Lücken im Stand der Technik und leistet einen direkten Beitrag zur Sicherheit, Effizienz und Umweltverträglichkeit zukünftiger H₂-Infrastrukturen.

Angestrebte Ergebnisse und Erkenntnisse:

H2SAFE erwartet wesentliche Erkenntnisse und Ergebnisse in folgenden Bereichen:

- Sicherheitsgewinn: Deutlich verbesserte Dichtheit und RGD-Resistenz führen zu geringeren Leckagerisiken und höherer Betriebssicherheit.
- Wirtschaftlichkeit: Langlebigere Materialien senken Wartungskosten und Systemausfälle, was die Wettbewerbsfähigkeit von grünen Wasserstoff stärkt.
- Wissenschaftlicher Fortschritt: Die Integration von KI-basierten Modellen in die Werkstoffentwicklung bedeutet einen Durchbruch in der Vorhersagbarkeit des Materialverhaltens unter extremen Bedingungen.
- Nachhaltigkeit: Die entwickelten Materialien folgen dem Prinzip „Design for Recycling“ und tragen zur Ressourcenschonung sowie zur Umsetzung der EU-Kreislaufwirtschaftsziele bei.

Abstract

Initial Situation, Problem Statement, and Motivation:

The EU's REPowerEU strategy targets the annual production and distribution of 20 million tonnes of renewable hydrogen (H₂) by 2030. Achieving this goal requires resilient infrastructure based on reliable and safe materials. One of the core technical bottlenecks lies in the current limitations of elastomer-based sealing materials. These materials must withstand extreme pressures (up to 1000 bar), wide temperature ranges (−40 °C to +200 °C), and cyclic mechanical loads without compromising gas-tightness. Gas leaks due to permeation, environmental ageing and rapid gas decompression (RGD) failures are common in today's systems and pose a significant threat to safety, operational reliability and sustainability. Furthermore, the absence of predictive models and standardized testing methods hinders the development and qualification of advanced materials suitable for H₂ applications. Addressing this challenge is key to ensuring the safe and large-scale deployment of H₂ technologies across Europe.

Objectives and Innovation Potential:

H2SAFE aims to design, characterize, and validate next-generation elastomeric sealing materials specifically tailored for high-pressure H₂ environments. The project's innovative scope includes:

- Material Development: Formulation of novel elastomer compounds with enhanced gas barrier properties, RGD resistance, and long-term durability. A strong emphasis is placed on sustainability, including the use of recycled fillers and the integration of end-of-life (EoL) management strategies in the material design process.
- Experimental Characterization: In-depth testing of materials in both nitrogen and H₂ environments across varying pressure and temperature conditions—up to 1000 bar—combined with fatigue and fracture analysis to evaluate performance under real-world stresses.
- AI-Based Predictive Modelling: Development of hybrid neural network models combining viscoelastic, hyperelastic, and fracture mechanics principles to predict degradation and failure under cyclic H₂ exposure. These data-driven models aim to provide a powerful tool for virtual material design and performance forecasting.
- Demonstrator Development: Production and validation of sealing system prototypes using the developed elastomers. These will be tested under simulated operational conditions to confirm industrial feasibility, longevity, and performance.

The innovation lies in the integrated approach that combines sustainable material design, advanced testing, and AI-driven predictive modelling—significantly advancing the current state of the art in H2-compatible elastomers and contributing directly to safer, more efficient, and greener H2 infrastructure.

Expected Results and Findings:

H2SAFE expects to deliver key outcomes and insights, including:

- Improved Safety and Reliability: Enhanced sealing integrity and RGD resistance reduce leakage risks and increase operational safety.
- Greater Economic Efficiency: Longer-lasting materials lower maintenance costs and reduce system downtime, supporting the competitiveness of green H2.
- Scientific Advancement: The fusion of AI-based modelling with advanced materials testing represents a major step forward in the understanding and design of polymeric materials for extreme conditions.
- Environmental Impact: The project contributes to EU circular economy goals by developing recyclable materials and implementing design-for-recycling principles.

Projektkoordinator

- Universität Linz

Projektpartner

- Innseals Dichtungstechnik GmbH