

# Hydro-Mat

Hydrogen and Energy Storage Materials for Sustainable Solutions

<b>Programm / Ausschreibung</b>	KLWPT 24/26, KLWPT 24/26, Advanced Materials, M-ERA.NET Call 2025	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.05.2026	<b>Projektende</b>	30.04.2029
<b>Zeitraum</b>	2026 - 2029	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Projektförderung</b>	€ 466.616		
<b>Keywords</b>	Energy Storage; Hydrogen; Chemical Looping; Iron Oxides; Sustainable Materials		

## Projektbeschreibung

Das Hydro-Mat-Projekt ist ein Vorreiter in der nachhaltigen Wasserstoffproduktion durch den Einsatz von defekt-engineerten Energiespeicher-Oxidmaterialien (ESOMs), einschließlich doppelt dotierter und Hochentropie-Perowskite, in Kombination mit fortschrittlichen Reaktordesigns zur Realisierung kohlenstoffneutraler Energiesysteme. Beginnend bei TRL 2 nutzt das Konsortium defektchemische Modellierung zur Vorhersage von Sauerstoffleerstellen- und Kationensubstitutionseffekten, was eine präzise Steuerung der Sauerstoff-Nichtstöchiometrie ( $\delta$ ) unter variablen Bedingungen ( $pO_2$ , Temperaturen) ermöglicht – entscheidend für die partielle Oxidation von Methan, trockene Reformierung und Wasserspaltung. Maschinelles Lernen (ML), trainiert mit vorhandenen Perowskit-Datensätzen, beschleunigt die Entdeckung optimaler A/B-Stellen-Dotierungen (z. B. Sr/Fe-Verhältnisse), um Redoxaktivität (Sauerstofffreisetzung/-aufnahme), Phasenstabilität und Koksbeständigkeit auszubalancieren. Die Laborsynthese erfolgt nasschemisch und mit Sprühpyrolyse, um ESOMs mit maßgeschneiderter Partikelgröße und Haltbarkeit (>95 % Methanumwandlung über 1000 Zyklen) herzustellen. Auf TRL 4 speichern ESOMs chemische Energie während der Reduktion mit Methan/Biogas und geben sie durch Dampfoxidation zur Wasserstoffproduktion wieder ab. Festbettreaktoren erreichen einen autothermen Betrieb durch die Kopplung der exothermen Methanumwandlung (Syngas) mit der endothermen Wasserspaltung, während Bewegtbettreaktoren die ESOMs zyklisch durch Reduktion, Dampfoxidation und optionaler Luftregeneration zur Wärmerückgewinnung führen. Wenn externe Energie (z. B. Abwärme) verfügbar ist, kann der dritte Oxidationsschritt übersprungen werden – der Prozess läuft dann zweistufig: (1) Reduktion mit Methan/Biogas und (2) direkte Wasserspaltung, zur Erhöhung der Wasserstoffausbeute unter variablen Energiebedingungen. Die Reaktorkonzepte priorisieren das Wärmemanagement und eine effiziente Gas-Feststoff-Kontaktierung, validiert durch in-situ-Charakterisierung. Abschließend vergleicht eine techno-ökonomische Analyse (TEA) den Prozess mit konventionellen Herstellungsverfahren, bewertet die Energieeffizienz, das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial und Skalierbarkeit zur Risikominimierung für die industrielle Umsetzung.

Das multidisziplinäre Konsortium vereint SINTEF (Koordinator, Materialdesign), CSIC (Bewegtbettreaktoren), die TU Graz (TEA), Cerpotech (Materialhersteller) und RGH2 (industrielle Validierung). SINTEFs ML-gestützte Materialentwicklung ergänzt sich mit der Reaktorauswertung von CSIC, während die TU Graz die Brücke zwischen Prozesseffizienz und

Festbettaoptimierung schlägt. Cerpotech sorgt für die industrielle Fertigung der ESOMs, und RGH2 validiert Prototypen unter realen Biogas-Bedingungen. Im Rahmen des Projekts werden zwei Doktorand:innen ausgebildet: einer bei CSIC zu Reaktordynamik, einer an der TU Graz zur Prozessoptimierung.

Im Einklang mit M-ERA.NET Thema 1 treibt Hydro-Mat die Dekarbonisierung der EU durch grünen Wasserstoff aus Biogas mit integrierter CO<sub>2</sub>-Abscheidung voran. Die neuartigen ESOM-Materialien (z. B. fortschrittliche Perowskite) lösen typische Katalysatorprobleme wie Verkoken und ermöglichen kostengünstige Wasserstoff-/Syngasproduktion. In modularen Reaktoren validiert, eröffnen sie Industrien wie Stahl- und Chemiebranche den Zugang zu kohlenstoffnegativem Wasserstoff, wodurch die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduziert wird.

## Abstract

The Hydro-Mat project pioneers sustainable hydrogen production using defect-engineered energy storage oxides materials (ESOMs) including double and high-entropy perovskites, coupled with advanced reactor designs to achieve carbon-neutral energy systems. Starting at TRL 2, the team employs defect chemical modeling to predict oxygen vacancy and cation substitution effects, enabling precise tuning of oxygen nonstoichiometry ( $d$ ) under variable conditions ( $pO_2$ , temperatures) critical for methane partial oxidation, dry reforming, and water splitting. Machine learning (ML) algorithms trained on existing perovskite datasets accelerate the discovery of optimal A/B-site dopants (e.g., Sr/Fe ratios) to balance redox activity (oxygen release/uptake) phase stability, and coke resistance. Lab-scale synthesis via wet chemistry and spray pyrolysis produces ESOMs with tailored particle size and durability (>95% methane conversion over 1000 cycles). At TRL 4, ESOMs store chemical energy during methane/biogas reduction and release it via steam oxidation for hydrogen production. Fixed-bed reactors achieve autothermal operation by coupling exothermic methane conversion (syngas) with endothermic water splitting, while moving-bed reactors cycle ESOMs through reduction, steam oxidation, and optional air regeneration for heat recovery. When external energy (e.g., waste heat) is available, the process skips the third oxidation step, operating in two stages: (1) methane/biogas reduction and (2) direct water splitting, boosting hydrogen efficiency. This flexibility enables higher H<sub>2</sub> yields under variable energy supply conditions. The reactor designs prioritize thermal management and gas-solid contact efficiency, validated through in-situ characterization. Finally, techno-economic analysis (TEA) benchmarks the process against conventional hydrogen production methods, assessing energy efficiency, carbon avoidance potential, and scalability to de-risk industrial adoption.

The multidisciplinary consortium unites SINTEF (coordinator, materials design), CSIC (moving-bed reactor engineering), TU Graz (TEA), Cerpotech (materials company), and RGH2 (industrial validation). SINTEF's ML-driven material discovery synergizes with CSIC's reactors evaluation, while TU Graz bridges process economics and fixed-bed optimization. Cerpotech ensures industrial-grade ESOM fabrication, and RGH2 validates prototypes in real-world biogas environments. The project trains two PhD students: one at CSIC on reactor dynamics, and one at TU Graz on process optimization.

Aligned with M-ERA.NET Topic 1, Hydro-Mat advances EU decarbonization via clean hydrogen from biogas with inherent carbon capture. Its novel ESOM materials (e.g. advanced perovskites) solve traditional catalyst flaws (e.g., coking), enabling low-cost hydrogen/syngas production. Validated in modular reactors, they let industries like steel and chemicals adopt carbon-negative hydrogen, while reducing reliance on fossil fuels.

## Projektkoordinator

- Technische Universität Graz

## Projektpartner

- Rouge H2 Engineering AG