

PROJEKT VORHABEN

Innovative und sichere Leistungsoptimierung der elektrochemischen Wasserstoffkompression (EHC) mit sowohl edelmetallhaltigen als auch edelmetallfreien Katalysatoren in Hydroxidionenaustausch-Membransystemen (HiHyPe)

Motivation

- Obwohl Wasserstoff die höchste Massen-Energiedichte unter den Kraftstoffen aufweist (1 kg enthält 120 MJ, niedriger Heizwert LHV, und übertrifft damit Benzin um das 2,6-fache), begrenzt seine niedrige volumetrische Energiedichte die Speichereffizienz deutlich, so dass für den praktischen Einsatz eine Hochdruckverdichtung erforderlich ist.
- Bei 350 bar erreicht die Dichte von Wasserstoff 2,88 MJ/L, und bei 700 bar steigt sie auf 5,04 MJ/L. Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (FCEVs) beispielsweise speichern 5 kg Wasserstoff in einem 120-Liter-Tank bei 700 bar und ermöglichen damit eine elektrische Reichweite von etwa 550 km.
- Klassische mechanische Wasserstoffkompressoren wie Linear-, Flüssigkeits-, Hubkolben- und Membrankompressoren sind mit hohen Investitions-, Wartungs- und Reparaturkosten verbunden. Außerdem führt die Verwendung von Öl und Metallteilen in Kombination mit Verschleiß (u.a. aufgrund von Wasserstoffsprödigkeit) zu Verunreinigung des aufgedrückten Wasserstoffs. Insbesondere für Protonenaustauschmembran-Brennstoffzellen (PEMFCs) ist hochreiner Wasserstoff entscheidend, um einen optimalen Wirkungsgrad zu erreichen.
- Traditionelle Hochdruck-Wasserelektrolyseure bergen außerdem Sicherheitsrisiken durch die Vermischung von Wasserstoff und Sauerstoff.
- Eine Alternative mit vergleichbarem Wirkungsgrad stellen PEM-basierte EHCs dar, die bei der Erzeugung von hochreinem Druckwasserstoff die Sauerstofferzeugung eliminieren und so eine erhöhte Betriebssicherheit aufweisen. Allerdings kommen hier synthetische Industriechemikalien (per- und polyfluorierte Alkylverbindungen; PFAS) und signifikant platinhaltige Materialien zum Einsatz. Aktuell wird die Verwendung von PFAS-basierten Materialien kritisch hinterfragt und auch die Verwendung des Edelmetalls Platin stellt hinsichtlich Verfügbarkeit und Preisentwicklung ein Risiko dar.

Mit der Weiterentwicklung des elektrochemischen Wasserstoffkompressors mit alkalischer Elektrolytmembran (AEM EHC) bedient der vorliegende Projektvorschlag exakt die sich ergebenden Herausforderungen. Der AEM EHC bietet nicht nur die Möglichkeit hochreinen Hochdruck-Wasserstoff zu generieren, sondern hat auch das Potenzial, den Einsatz von PGM-Katalysatoren wie Platin deutlich zu reduzieren oder ganz

darauf zu verzichten. Gleichzeitig ermöglicht er die Nutzung PFAS-armer oder PFAS-freier Polymerelektrolytmembranen. Dadurch lassen sich nicht nur die Investitionskosten senken, sondern auch ökologische Belastungen, regulatorische Herausforderungen im Zusammenhang mit PFAS, sowie politische Risiken im Hinblick auf die Verfügbarkeit und Preisentwicklung kritischer Rohstoffe (wie Platin) erheblich verringern.

Herausforderungen und Projektfokus

Die wichtigsten Forschungsschwerpunkte der AEM EHC sind die Entwicklung effektiver und kostengünstiger Elektrokatalysatoren, die Optimierung der Anoden- und Kathodenkatalysatorschichten samt der Katalysatorbelegung sowie die Entwicklung fortschrittlicher Membranen auf Basis kommerziell verfügbarer Ionomere. Letztere müssen einen geringeren Wasserstoffdurchtritt, eine verbesserte Hydroxidleitfähigkeit und eine verbesserte mechanische Stabilität aufweisen. Weiterhin stellt der während der Kompression entstehende Differenzdruck generell eine Herausforderung für elektrochemische Tests dar, da stationäre Bedingungen verhindert werden und hohe Sicherheitsanforderungen gelten.

Der Fokus des Projektvorhabens liegt daher auf der Steigerung der Effizienz, Sicherheit und Haltbarkeit von EHCs basierend auf alkalischen Elektrolytmembranen (AEM) durch die Entwicklung von Anoden- und Kathodenkatalysatoren sowie Membranen, um sie als zuverlässige Alternative zu herkömmlichen Wasserstoffkompressionsmethoden zu etablieren.

Lösungsansätze

- Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit, politischen Abhängigkeit und hohen Kosten kritischer Rohstoffe wie Platingruppenmetalle (PGMs) wird der Einfluss der Pt-Beladung – beginnend bei $200 \mu\text{g}_{\text{Pt}}\cdot\text{cm}^{-2}$ und in abnehmender Abstufung – auf die Leistung, Effizienz und Haltbarkeit von EHCs an beiden Elektroden (Anode und Kathode) systematisch untersucht.
- Die katalytischen Eigenschaften und die Stabilität der elektrochemisch abgeschiedenen Legierungen von Nicht-PGM-Katalysatoren (auf Ni-Basis) werden systematisch getestet und mit den Leistungen und Haltbarkeit der PGM-Elektroden verglichen.

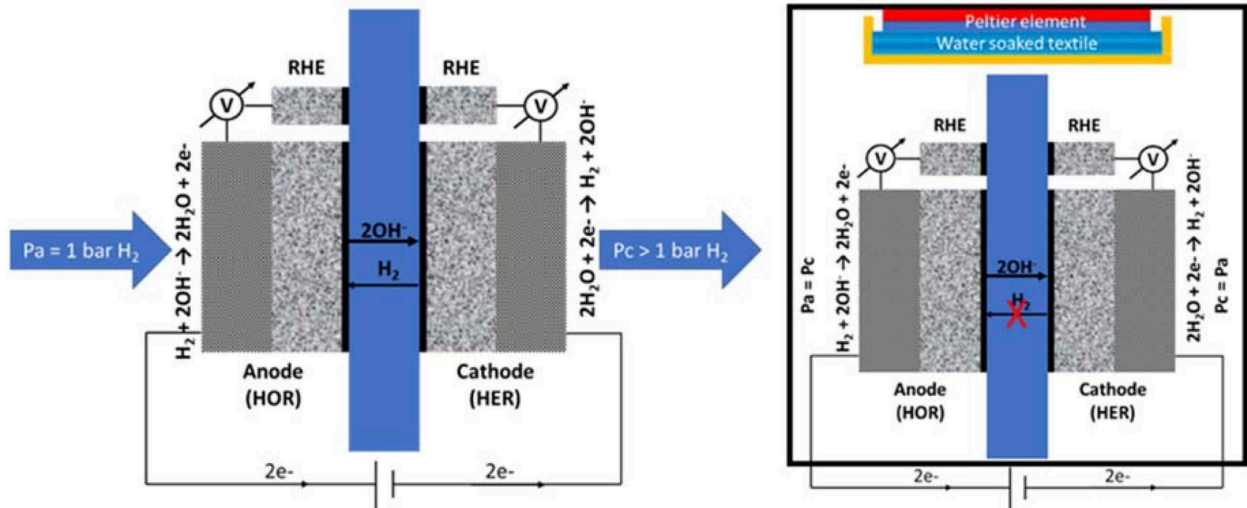


Abb. 1: AEM-MEA EHC (links) und AEM-MEA in EasyTest Cell (rechts)

- Die Möglichkeiten zur teilweisen oder vollständigen Anwendung von PFAS-freien AEM-Membranen in AEM EHCs werden untersucht.
- Um die Einschränkungen herkömmlicher EHC-Tests zu überwinden, soll die innovative EasyTest Cell für den Einsatz mit AEM-Membranen weiterentwickelt und eingesetzt werden (Abb. 1 rechts). Diese ermöglicht eine fortschrittliche Methode der elektrochemischen Charakterisierung unter stationären Bedingungen, ohne Differenzdruck und dadurch mit erhöhter Sicherheit.
- Proof-of-concept: Es werden reale EHC-Tests in einer herkömmlichen Testzelle bis zu einer Druckdifferenz von 3 bar durchgeführt (Abb. 1 links).

Danksagung

Das IGF-Projekt 01IF24616N wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

01IF24704N

1.2.2026 – 31.7.2028

PROJEKTBEGLEITENDER AUSSCHUSS

Eilenburger Elektrolyse- und Umwelttechnik GmbH / Enapter AG / Ertel IonStream GmbH / Haver & Boecker OHG / Ingenieurbüro Ulrich Bingel / JA-Gastechonology GmbH / Meshyn / Moosbach&Kanne GmbH / Pfeiffer Vacuum+FAB Solutions GmbH SWF GmbH / Water Stuff & Sun GmbH

FORSCHUNGSPARTNER

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT)

ANSPRECHPARTNER

fem Forschungsinstitut, Katharinenstr. 13–17, 73525 Schwäbisch Gmünd, Deutschland

Dr. Mila Manolova, manolova@fem-institute.com, +49 7171 1006-605 / Dr. Seniz Sörgel, soergel@fem-institute.com