

MaviS

Materialforschung und virtuelle Sensorkonzepte als Innovationsbeschleuniger für Hochtemperaturelektrolysezellen

Programm / Ausschreibung	EW 24/26, EW 24/26, Energieforschung 2024 FTI - Fokusinitiativen	Status	laufend
Projektstart	01.06.2026	Projektende	31.05.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	36 Monate
Keywords	Hochtemperaturelektrolysezelle; Lebensdauer; Materialentwicklung; Messtechnik; virtuelle Sensorik		

Projektbeschreibung

Die Verbesserung der Langzeitstabilität von Hochtemperaturelektrolysezellen (engl. Solid Oxide Electrolysis Cells, SOECs), verknüpft mit der Senkung der Entwicklungszeit bzw. -kosten, ist eines der wichtigsten und gleichzeitig schwierigsten Erfordernisse zur Entwicklung von marktreifen Zellen, Stacks und Systemen. Ein besonders kritischer Alterungsmechanismus in SOECs ist die Veränderung der Morphologie der Kathode über die Zeit, insbesondere die Vergrößerung der Nickel-Phase, was die elektrochemisch aktive Fläche verringert und den elektrischen Widerstand erhöht. Dies beeinträchtigt die Leistungsfähigkeit und kann langfristig zum Zellversagen führen. Zur Untersuchung dieser Mechanismen wären detaillierte in-situ Einblicke in die laufenden Veränderungen der 3D-Morphologie und deren unmittelbare Auswirkungen auf die elektrochemischen Eigenschaften notwendig. Aufgrund begrenzter messtechnischer Möglichkeiten und hoher Kosten sind solche Analysen jedoch schwer durchführbar. Elektrochemische Methoden wie Impedanzspektroskopie (EIS) und Stromdichte-Spannungskennlinien (i-U) können die Zellen nur begrenzt überwachen, bieten aber keine in-situ Einblicke in die genauen Degradationsmechanismen. Im Projekt werden Brennstoffelektroden mit systematischen Variationen gefertigt und auf kommerzielle Halbzellen aufgebracht. Elektrochemische Tests mittels komplementärer Methoden wie EIS, i-U-Kennlinien, Total Harmonic Distortion Analysis (THDA) und Intermodulation Distortion Analysis (IMA) ermitteln charakteristische Signaturen für bestimmte Schädigungsmechanismen. Post-mortem Analysen verknüpfen diese Signaturen mit Veränderungen der Morphologie-Parameter. Ein KI-gestützter Bildcharakterisierungs-Workflow ermöglicht die Reduktion des experimentellen Aufwands und somit eine zeit- und kosteneffizientere post-mortem Analyse. Virtuelle 3D-Rekonstruktionen der Morphologie und datengetriebene Modellierung verbessern das Verständnis der Degradationsmechanismen. Generative KI wird zur Modellierung der Morphologie-Veränderungen eingesetzt. Die Kopplung von datengetriebener und physikalischer Modellierung liefert ein besseres Verständnis der Zelldegradation. Weiters verbessert dieser hybride Ansatz die Aussagekraft bezüglich Einfluss der Morphologie-Veränderungen auf die Lebensdauer der Zellen. Die entwickelte Methodik kann in einem zukünftigen virtuellen Sensorkonzept eingesetzt werden. Darunter ist ein über das Projekt hinaus entwickeltes online Diagnosetool zu verstehen, welches durch in-situ Überwachung verschiedener Sensorsignale der Zellen, Stacks oder Systeme auf Art und Stadium der Degradationsmechanismen schließen kann.

Abstract

Improving the long-term stability of solid oxide electrolysis cells (SOECs), combined with reducing development time and cost, is one of the most important and challenging requirements for the development of market-ready cells, stacks and systems. A particularly critical aging mechanism in SOECs is the change in the morphology of the cathode over time, especially the coarsening of the nickel phase, which reduces the electrochemically active area and increases the electrical resistance. This impairs performance and can lead to cell failure in the long term. To investigate these mechanisms, detailed in-situ insights into the ongoing changes in 3D morphology and their direct effects on electrochemical properties would be necessary. However, due to limited measurement capabilities and high costs, such analyses are difficult to perform. Electrochemical methods such as impedance spectroscopy (EIS) and current-density-voltage (i-V) curves can only monitor the cells to a limited extent, but do not provide in-situ insights into the exact degradation mechanisms. In the project, fuel electrodes with systematic variations are manufactured and applied to commercial half cells. Electrochemical tests using complementary methods such as EIS, i-V curves, Total Harmonic Distortion Analysis (THDA) and Intermodulation Distortion Analysis (IMA) determine characteristic signatures for specific damage mechanisms. Post-mortem analyses link these signatures to changes in morphology parameters. An AI-supported image characterization workflow enables the reduction of experimental effort and thus a more time- and cost-efficient post-mortem analysis. Virtual 3D reconstructions of morphology and data-driven modeling improve the understanding of degradation mechanisms. Generative AI is used to model the morphology changes. The coupling of data-driven and physical modeling provides a better understanding of cell degradation. Furthermore, this hybrid approach improves the significance of the influence of morphology changes on the lifespan of the cells. The methodology developed can be used in a future virtual sensor concept. This is to be understood as an online diagnostic tool developed beyond the project, which can draw conclusions about the type and stage of the degradation mechanisms by in-situ monitoring of various sensor signals of the cells, stacks or systems.

Projektkoordinator

- Montanuniversität Leoben

Projektpartner

- AVL List GmbH
- Materials Center Leoben Forschung GmbH