

ENTWICKLUNG VON TESTPROTOKOLLEN ZUR BESCHLEUNIGTEN LEISTUNGS- & LEBENSDAUERBEWERTUNG VON FESTOXID-ELEKTROLYSEZELLEN

Benjamin KÖNIGSHOFER*¹, Christoph, HOCHENAUER¹, Vanja SUBOTIĆ¹

Einleitung

Der Klimawandel und die damit verbundene globale Erwärmung hat in den letzten Jahrzehnten zu einer weltweiten Zunahme von Wetter- und Klimaextremen geführt. Um die Auswirkungen des ständig voranschreitenden Klimawandels und die damit verbundenen drastischen Folgen für Umwelt und Menschheit zu begrenzen, ist es notwendig, den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich zu reduzieren. [1,2] In naher Zukunft könnten Festoxid-Elektrolysezellen (SOEC) durch hocheffiziente Erzeugung von grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien maßgeblich zur Bekämpfung des Klimawandels und zur Unterstützung der Energiewende beitragen. [3] Jüngste Fortschritte bei den Zellmaterialien und den Herstellungsverfahren haben die Lebensdauer dieser Technologie erheblich verlängert. Dennoch können bestimmte industriell relevante Betriebsbedingungen zu einer ungewollten Leistungsverschlechterung und mikrostruktureller Degradation (Alterung) der Zellen führen, welche die Lebensdauer von SOECs deutlich reduzieren. [2,5] Aufgrund der komplexen elektrochemischen Prozesse in SOECs sind Langzeitversuche immer noch die wichtigste Quelle für den Nachweis derartiger Degradationsmechanismen und Lebensdauervorhersagen. Da solche umfangreichen experimentelle Kampagnen zeit- und ressourcenaufwendig sind, besteht eine der größten Herausforderungen für die Weiterentwicklung und breite Markteinführung der SOEC-Technologie darin, beschleunigte Testprotokolle zu entwickeln. Diese sogenannten *Accelerated Stress Test (AST)* Protokolle zielen darauf ab die Leistungsmerkmale und Haltbarkeit einer Technologie innerhalb eines angemessenen Zeitrahmens zu bestimmen und dabei Ergebnisse zu erzielen, die mit denen von gewöhnlichen Langzeittests zu vergleichen sind. [2,6]

Methodische Vorgehensweise

Im Rahmen dieser Studie wurden experimentelle Untersuchungen zum Betriebsverhalten von SOECs welche unter beschleunigten Degradationsbedingungen betrieben wurden durchgeführt. Auf Basis der Versuchsergebnisse sollen AST Protokolle und Methoden zum Online-Monitoring und abgeleitet werden welche es ermöglichen die SOEC Performance in einem angemessenen Zeitraum zu bewerten und zu überwachen. Hierbei wurde ein besonderes Augenmerk auf die sorgfältige Auswahl der Betriebsparameter gelegt, um eine kontrollierbare und möglichst gleichmäßige Belastung der SOEC sicher zu stellen.

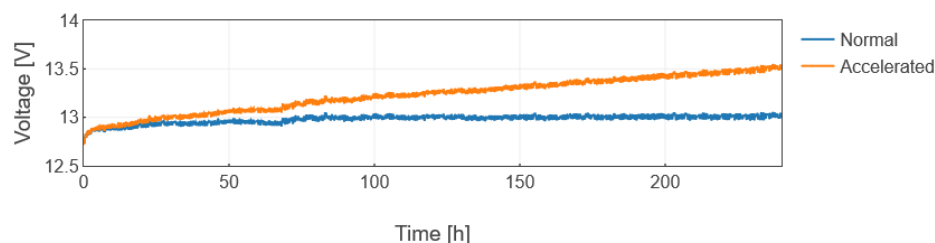


Abbildung 1: Spannungsverlauf eines Stacks unter moderaten und Degradation beschleunigenden Betriebsbedingungen

Insgesamt wurden hierfür fünf Einzelzellen und ein Stack mit zehn Zellen im Elektrolyse-Modus für eine kumulative Testzeit von mehr als 6000 Stunden getestet. Dabei wurden unter anderem drei Hauptbetriebsstrategien verfolgt: (i) Betrieb mit hohem Dampfanteil am Gaseinlass, (ii) Betrieb bei

¹ Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25/B, A-8010 Graz, Tel.: +43-316-873-4208., Fax: +43-316-873-7305, office.iwt@tugraz.at, www.tugraz.at/institute/iwt

niedrigeren Temperaturen und höheren Spannungen und (iii) Betrieb mit hohen Dampfumwandlungsraten. Zur Überwachung des Gesundheitszustands der Zellen wurden während der Experimente kontinuierlich Spannung, Temperaturverteilung und Gaszusammensetzung gemessen. Des Weiteren wurden in periodischen Abständen elektrochemische Impedanzmessungen (EIS) durchgeführt. Die durch EIS-Messungen gewonnenen Daten wurden von Form von Nyquist-Diagrammen und in Form der Verteilung der Relaxationszeiten (DRT) detailliert analysiert.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen unterschiedliche Arten und Grade von Auswirkungen auf die Leistung, welche im Detail analysiert und mit den zugrunde liegenden Prozessen und Degradationsmechanismen in Verbindung gebracht wurden. In diesem Zusammenhang wurden deutlich höhere Degradationsraten im Vergleich zum Betrieb unter moderaten Betriebsbedingungen festgestellt, wobei sich die verschiedenen Betriebsstrategien in ihrem Potential Degradation kontrollierbar zu beschleunigen variierten. Des Weiteren konnte ein tieferes Verständnis der verschiedenen Degradationsphänomene, die durch verschiedene Betriebsbedingungen hervorgerufen werden, gewonnen werden sowie Methoden zur Identifizierung dieser Phänomene abgeleitet werden. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Experimente wurden Protokolle für beschleunigte Belastungstests (AST) für SOECs vorgeschlagen. Die Ergebnisse deuten das Weitern darauf hin, dass einige hundert Betriebsstunden ausreichen könnten, um mit den vorgeschlagenen Betriebsstrategien die Leistung über längere Zeiträume vorherzusagen und bieten daher eine solide Grundlage für eine beschleunigte Bewertung der Leistungsentwicklung und Lebensdauer von SOECs. [2,6]

Referenzen

- [1] IPCC, Assessment Report 6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis (2021).
- [2] B. Königshofer, M. Höber, G. Nusev, P. Boškoski, C. Hochenauer, V. Subotić, Accelerated degradation for solid oxide electrolyzers: Analysis and prediction of performance for varying operating environments, *Journal of Power Sources* (2022).
- [3] Hauch, R. Küngas, P. Blennow, A. B. Hansen, J. B. Hansen, B. V. Mathiesen, M. B. Mogensen, Recent advances in solid oxide cell technology for electrolysis, *Science* (2020).
- [4] Königshofer, P. Boškoski, G. Nusev, M. Koroschetz, M. Hochfellner, M. Schwaiger, Đ. Juričić, C. Hochenauer, V. Subotić, Performance assessment and evaluation of SOC stacks designed for application in a reversible operated 150 kW rSOC power plant, *Applied Energy* (2021).
- [5] Königshofer, M. Höber, P. Boškoski, G. Nusev, Đ. Juričić, C. Hochenauer, V. Subotić, Performance investigation and optimization of a SOEC stack operated under industrially relevant conditions, *ECS Transactions* 103 (2021) 519--528.
- [6] B. Königshofer, G. Pongratz, G. Nusev, P. Boškoski, M. Höber, Đ. Juričić, M. Kusnezoff, N. Trofimenko, H. Schröttner, C. Hochenauer, V. Subotić, Development of test protocols for solid oxide electrolysis cells operated under accelerated degradation conditions, *Journal of Power Sources* (2021).