

CO-ELEKTROLYSE ALS SCHLÜSSELTECHNOLOGIE IN POWER-TO-X ANWENDUNGEN

Daniel REINER^(*)¹, Srđan MARKOVIĆ¹, Hartmuth SCHRÖTTNER²³,
Christoph HOCHENAUER¹, Vanja SUBOTIĆ¹

Einleitung

Der zunehmende Anteil von Wind- und Solarenergie an der Stromerzeugung führt zu einem verstärkten Bedarf an Technologien, die die Umwandlung von überschüssigem erneuerbarem Strom in chemische Energieträger ermöglichen. Aktuelle Analysen des Internationalen Energieamtes (IEA) und des Ember-Instituts zeigen, dass erneuerbare Energien im Jahr 2024 bereits einen Anteil von über 32 % an der globalen Stromerzeugung hatten und weiterhin ein starkes Wachstum verzeichnen [1], [2]. Power-to-X-Konzepte (PtX) bieten in diesem Zusammenhang flexible Umwandlungswege (siehe Abbildung 1), wobei Festoxid-Elektrolysezellen (SOEC) aufgrund ihrer hohen elektrischen Effizienz von 70-85 % besonders attraktiv sind [3], [4]. Die direkte Co-Elektrolyse von Dampf (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) zu Synthesegas (H_2+CO) hat den Vorteil, dass ein Reverse Water Gas Shift (RWGS)-Schritt in einem separaten Reaktor entfällt [5]. Als Kohlenstoffquelle kommen verschiedene Optionen in Betracht: So können beispielsweise Abgasströme direkt genutzt werden, die häufig bereits den benötigten Wasserdampf enthalten. Alternativ lässt sich CO_2 aus der Umgebungsluft oder aus Carbon-Capture-and-Storage-Anlagen einspeisen.

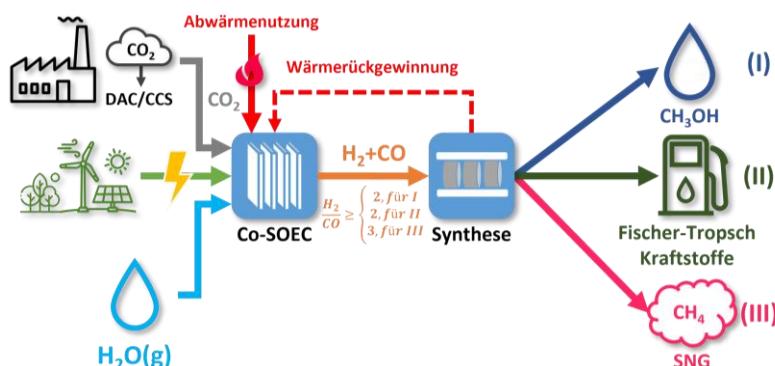
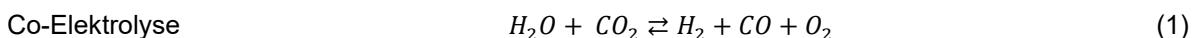


Abbildung 1: Mögliche Power-to-X Szenarien.

Die Zusammensetzung des erzeugten Synthesegases ist maßgeblich für dessen Eignung für unterschiedliche PtX-Routen. Typische H_2/CO -Verhältnisse liegen bei etwa 2 für Methanol- (I) und Fischer-Tropsch-Synthese (II) [6], [7] und bei 3 für die Methanisierung (III) [8]. SOECs bestehen wie auch eine Batterie aus zwei Elektroden, die durch ein Elektrolyt voneinander getrennt sind, wobei hier alle drei aus keramischen Werkstoffen bestehen. Daher sind höhere Betriebstemperaturen von etwa 600 bis 900 °C erforderlich, um eine ausreichende Ionenleitfähigkeit des Elektrolyts zu gewährleisten. Dies resultiert in einer gesteigerten Gesamteffizienz und ermöglicht zudem eine Umsetzung von CO_2 im Vergleich zu anderen Elektrolysetechnologien. An Brennstoffelektroden werden H_2O und CO_2 zu H_2 und CO reduziert [4]. Zusätzlich beeinflusst das RWGS-Gleichgewicht (Gleichung (2)) die Gaszusammensetzung. Die gebildeten Oxidionen werden durch den Elektrolyten transportiert und an der Sauerstoffelektrode als O_2 freigesetzt. Insgesamt bestimmen diese gekoppelten Reaktionen die Synthesegaszusammensetzung und den thermischen Bedarf der Co-Elektrolyse.



¹ Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, Inffeldgasse 25/B, A-8010 Graz, Tel.: +43-316-873-7805, Fax: +43-316-873-7305, daniel.reiner@tugraz.at, www.iwt.tugraz.at

² Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalyse (FELMI), Technische Universität Graz, Steyrergasse 17, A-8010 Graz, www.felmi-zfe.at

³ Zentrum für Elektronenmikroskopie Graz (ZFE), Steyrergasse 17, A-8010 Graz, www.felmi-zfe.at

RWGS



Methodik

Die im Zuge dieser Arbeit betrachtete PtX Route für die Co-Elektrolyse ist die Methanol-Herstellung (I) über die Hydrierung von CO, gemäß Gleichung (3). Die Stöchiometrie verlangt ein H₂/CO-Verhältnis von 2 und definiert damit die zentrale Randbedingung für die im Langzeitexperiment untersuchte Betriebspunkteinstellung. Da CO₂ ebenfalls in der Methanol-Synthese genutzt werden kann, wird im Co-Elektrolyse-Produktgas bewusst kein zusätzlicher Grenzwert hinsichtlich des CO₂-Gehalts vorgenommen. In der Folge lässt sich die Selektion eines adäquaten Einlassgasgemisches für die SOEC-Einzelzelle vereinfachen.



Die Bestimmung von möglichen Gaszusammensetzung bei der Elektrolyse erfolgt mithilfe eines stöchiometrischen Berechnungsmodells, das auf der Reactant Utilization (RU) basiert. Über das Faraday-Gesetz werden die umgesetzten Stoffmengen bestimmt. Geeignete Einlassgasgemische lassen sich mithilfe eines numerischen Solvers bestimmen. Die Gaszusammensetzung mit der besten Performance (geringster Leistungsbedarf bei höchster CO₂-Umsetzung) wird im Dauerbetrieb über 300 Betriebsstunden auf Langzeitstabilität mittels elektrochemischer Analysen untersucht. Zusätzlich kommen Post mortem Analysen zur Bestimmung der Strukturänderungen der Elektroden zum Einsatz.

Ausblick und Schlussfolgerung

In der vorliegenden Arbeit wird das Langzeitverhalten einer SOEC im Rahmen der Methanol-Herstellung bei einer Betriebstemperatur von 800°C und Betriebsströmen von 60.75A näher betrachten. In der finalen Fassung erfolgt eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Selektion der Gaszusammensetzung sowie den Einflüssen von Betriebsparametern, wie z.B. der Temperatur, und der Langzeitstabilität. Die Ergebnisse werden zeigen, dass insbesondere der Durchfluss auf der Luftelektrode von Relevanz ist und höhere Temperaturen, trotz höherer Effizienz, nachteilig für die Langzeitstabilität sind.

Referenzen

- [1] IEA, „Renewables 2024 – Analysis - IEA“, Paris, 2024. Zugegriffen: 18. November 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>
- [2] EMBER, „Global Electricity Review 2025“, Apr. 2025. Zugegriffen: 18. November 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/>
- [3] F. Ferrete *u. a.*, „Solid Oxide Electrolyzers Process Integration: A Comprehensive Review“, *Processes* 2025, Vol. 13, Bd. 13, Nr. 8, Aug. 2025, doi: 10.3390/PR13082656.
- [4] M. A. Laguna-Bercero, „Recent advances in high temperature electrolysis using solid oxide fuel cells: A review“, *J Power Sources*, Bd. 203, S. 4–16, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2011.12.019.
- [5] Y. Wang, T. Liu, L. Lei, und F. Chen, „High temperature solid oxide H₂O/CO₂ co-electrolysis for syngas production“, *Fuel Processing Technology*, Bd. 161, S. 248–258, Juni 2017, doi: 10.1016/J.FUPROC.2016.08.009.
- [6] M. Ostadi, E. Rytter, und M. Hillestad, „Boosting carbon efficiency of the biomass to liquid process with hydrogen from power: The effect of H₂/CO ratio to the Fischer-Tropsch reactors on the production and power consumption“, *Biomass Bioenergy*, Bd. 127, S. 105282, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.BIOMBIOE.2019.105282.
- [7] R. Baratti *u. a.*, „Analysis of Methanol Production from Bio-syngas Through an Innovative Reactor“, *Chem Eng Trans*, Bd. 117, S. 91–96, 2025, doi: 10.3303/CET25117016.
- [8] C. Mebrahtu *u. a.*, „Integrated Co-Electrolysis and Syngas Methanation for the Direct Production of Synthetic Natural Gas from CO₂ and H₂O“, *ChemSusChem*, Bd. 14, Nr. 11, S. 2295–2302, Juni 2021, doi: 10.1002/CSSC.202002904.