

ENERGIE

HOCHTEMPERATUR-CO-ELEKTROLYSE ALS SCHLÜSSELTECHNOLOGIE FÜR CO₂-NUTZUNG

Dr. Mihails Kusnezoff, Dr. Stefan Megel, PD Dr. Matthias Jahn, Dipl.-Ing. Sebastian Hielscher, Dr. Erik Reichelt, Dipl.-Ing. Gregor Herz, Paul Adam

SOE-Technologie

Die Substitution von Rohöl durch synthetische Kohlenwasserstoffe – hergestellt aus CO₂ und H₂O – ist eine Option zur Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Vorkommen und zur Begrenzung von CO₂-Emissionen. Die Kopplung von Hochtemperaturelektrolyse (SOE) und Fischer-Tropsch-Synthese (FTS) ist sehr vielversprechend für die Herstellung unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe aufgrund der Möglichkeit von Wärmeintegration und Nutzung entstehender Nebenprodukte.

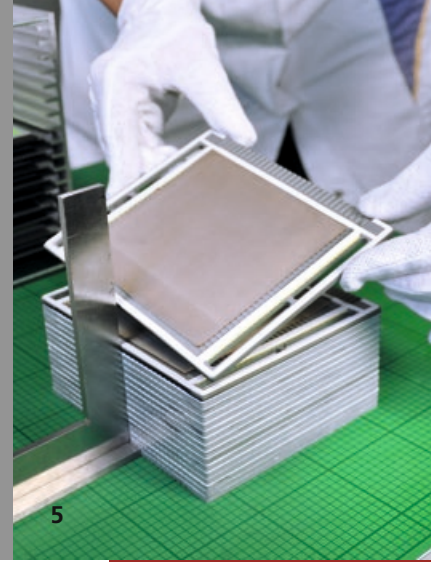
Die Realisierung eines zuverlässigen Betriebs der Festoxidzelle (SOC) und der Stacks für die Co-Elektrolyse von H₂O und CO₂ ist dabei eine anspruchsvolle Aufgabenstellung. Ergebnisse an Kathoden-getragenen Zellen (CSC) aus der Literatur zeigen, dass der Elektrolysebetrieb mit Wasserdampf und der Co-Elektrolysebetrieb unter 800 °C mit erheblichen Degradationsraten verbunden sind. Dagegen zeigen Elektrolyt-getragene Zellen (ESC) eine bessere Langzeitstabilität im Elektrolysebetrieb. Wissenschaftler des Fraunhofer IKTS entwickelten CFY-Stacks, die bis zu 40 Hochleistungs-ESCs auf der Basis von Sc-stabilisierten ZrO₂-Elektrolyten enthalten können. Zum Nachweis der Langzeitstabilität wurden Stacks mit zehn Ebenen im Elektrolyse- und Co-Elektrolysebetrieb erfolgreich getestet. Die entsprechenden Stackleistungen wurden im Betrieb mit unterschiedlichen Temperaturen, Gasausnutzungen und Gaszusammensetzungen, die für das nachgeschaltete FTS (H₂O:CO₂ = 2) oder die Methanisierung (H₂O:CO₂ = 3,3) erforderlich sind, ermittelt. Die Stackleistung mit einem Gasumsatz von 85 % für Wasserdampf- und die Co-Elektrolyse bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen und -600 mA/cm² sind in Bild 1 dargestellt.

Ein Vergleich zwischen beiden Betriebsmodi unter ähnlichen Betriebsbedingungen zeigt eine vergleichbare Leistungsaufnahme: Für die Co-Elektrolyse werden 946 W_{el} bei 830 °C und -600 mA/cm² und für die Wasserdampfelektrolyse 943 W_{el} benötigt. Das höhere Nernst-Potential für die H₂O/H₂/CO₂/CO-Gasmischung im Vergleich zu reinem Wasserdampf wurde als Primärursache für diese Abweichung identifiziert.

Die Hochtemperaturelektrolyse ist ein endothermer Prozess, der nicht nur elektrische Leistung, sondern auch Wärme verbraucht. Der Wärmeverbrauch wird durch die interne Wärmeentwicklung über den Zellwiderstand (ohmsche und Polarisationsverluste) kompensiert, um einen thermisch selbsterhaltenden Betrieb zu erreichen. Die Spannung, die sich in diesem Betriebspunkt einstellt, wird als thermoneutrale Spannung (U_{TN}) bezeichnet. Für eine praktische Anwendung ist der Betrieb in der Nähe von U_{TN} vorteilhaft. Aus diesem Grund wurde die Temperaturverteilung im Stack im Co-Elektrolysebetrieb bei einer Gasausnutzung von 75 % untersucht. Das resultierende Leistungskennfeld und die Temperaturverteilung sind in Bild 2 dargestellt. Ausgehend von der Temperaturverteilung wird der meiste Wasserdampf bei geringen Stromdichten am Stack-Eintritt umgesetzt. Bei Stromdichten in der Nähe von U_{TN} beobachtet man eine Vergleichmäßigung der Temperaturverteilung.

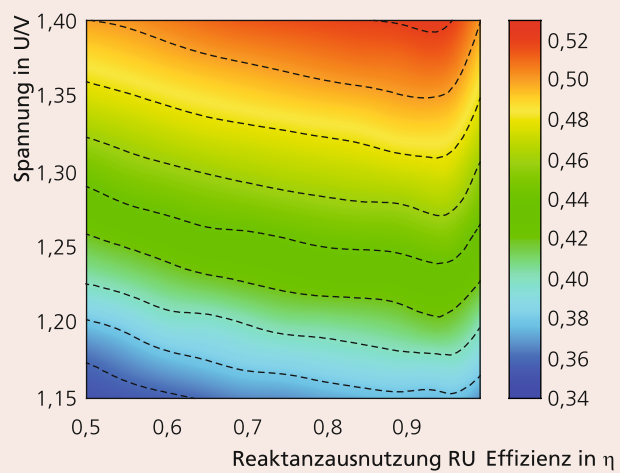
Techno-ökonomische Bewertung SOE-basierter Prozesse

Aufgrund der Vorteile der SOE-Technologie, wie hoher elektrischer Wirkungsgrad und direkte Synthesegasbereitstellung aus CO₂ und H₂O, werden die am IKTS entwickelten Zellen und Stacks für die Entwicklung verfahrenstechnischer Systeme ver-



wendet. Unter Nutzung von Prozessmodellierungstools kann dabei ein optimales Prozessdesign identifiziert werden. Darüber hinaus erlauben die durchgeführten Berechnungen die Bestimmung vorteilhafter Betriebsbedingungen für die SOE-Stacks im Systemkontext. Die Rückkopplung der Simulationsergebnisse in den Entwicklungsprozess der SOE-Komponenten ermöglicht die Definition von Entwicklungszielen und damit iterative technologische Verbesserungen. Einer der betrachteten Prozesse ist die Kopplung von SOE und Fischer-Tropsch-Synthese. Für dieses Verfahren wurde nicht nur eine Bestimmung des erreichbaren elektrischen Wirkungsgrads durchgeführt, sondern auch eine umfassende Bewertung der Wirtschaftlichkeit. Für verschiedene Randbedingungen, wie z. B. die SOE-Produktionskosten sowie Strompreise und CO₂-Abtrennkosten wurden Herstellkosten für die produzierten Kohlenwasserstoffe bestimmt. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass mit steigender technologischer Reife der SOE-Technologie sowie bei entsprechender Verfügbarkeit günstiger erneuerbarer Energie SOE-basierte Prozesse einen vielversprechenden Pfad für eine zukünftige Bereitstellung nachhaltiger chemischer Produkte darstellen.

Gesamtwirkungsgradkennfeld eines Systems für Wachs-Produktion mit MK352-Stacks im SOE-Betrieb



Leistungs- und Kooperationsangebot

- Prozessentwicklung für die Integration der SOE-Technologie in chemische Produktionsprozesse
- Durchführung von techno-ökonomischen Machbarkeitsstudien für elektrolysebasierte Verfahren
- Auslegung und Test von Prototypanlagen
- Auslegung und Test von Systemkomponenten inklusive SOE-Stacks und -Module

- 1 *Stackleistung als Funktion der Gasausnutzung.*
- 2 *Zusammenhang zwischen Leistung und Temperaturverteilung im Stack.*
- 3 *Kleinskalige Demonstrationsanlage für die Kopplung von Co-Elektrolyse und Fischer-Tropsch-Synthese.*
- 4 *Flüssige Fischer-Tropsch-Produkte.*
- 5 *Zusammenbau vom MK352-Stack aus einzelnen Komponenten.*

