

## PROJEKT VORHABEN

## Galvanische Metall-Abscheidung zur Herstellung effizienter 3D-Elektroden für die elektrochemische CO<sub>2</sub>-Reduktion 2 (GalMATrode2)

### Problemstellung

Im Pariser Klimaschutzabkommen wurde 2015 von allen Teilnehmern der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen vereinbart, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf einen Wert von unter 2 °C, möglichst 1,5 °C, zu begrenzen. Die deutsche Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral zu werden. Das Ziel der Klimaneutralität lässt sich nur durch einen vollständigen Umbau der Energieversorgung, der Mobilität und Industrie erreichen. Ein von diesem Umbau besonders betroffener Bereich ist die chemische Industrie, weil fossile Rohstoffe sowohl als Chemierohstoff als auch als Energierohstoff eingesetzt werden, d.h. sowohl produkt- als auch prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen auftreten. Durch elektrochemische Umwandlung von CO<sub>2</sub> mit regenerativem elektrischen Strom bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck, können diese Emissionen vermieden werden.

In diesem Projekt wird die elektrochemische Synthese von Ameisensäure aus CO<sub>2</sub> bearbeitet. Ameisensäure findet Anwendung in der Papier- und Textilindustrie, als Enteisungsmittel für Flugzeuge sowie als zukünftige Plattformchemikalie für thermo- und biokatalysierte Prozesse in der chemischen Industrie. In Verbindung mit einer Ameisensäure-Brennstoffzelle kann dieses Produkt sogar zukünftig als flüssiger chemischer Energiespeicher verwendet werden.

Im Gegensatz zur Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff ist die CO<sub>2</sub>-Elektrolyse noch nicht im großen industriellen Maßstab durchführbar. Ein wesentliches Umsetzungshindernis ist die Verfügbarkeit von sogenannten Gasdiffusionselektroden, die hohe Stromdichten, Produktelektivitäten und Langzeitstabilität vereinen. Für solche Elektroden eröffnet sich nicht nur ein Markt für die CO<sub>2</sub>-Elektrolyse, mit der sich neben der Ameisensäureherstellung auch weitere wichtige Plattformchemikalien wie CO, Ethylen und Methanol herstellen lassen, sondern auch für z.B. die N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub>-Elektrolyse.

Die Vorteile und Möglichkeiten der galvanischen Abscheidung (wie z.B. homogene Abscheidung von Elektrokatalysatoren sowohl auf als auch in tiefen Gasdiffusionsschichten mit einem hoch skalierbaren, einstufigen Prozess) im Vergleich zu standardmäßig angewandten Synthesemethoden wie nasschemische Fällung oder Spray-Coating wurden im vorausgegan-

nen Projekt (AiF 47EWN, GalMATrode) demonstriert. Das untersuchte Elektrodensystem auf Basis von einlagigen Gasdiffusionselektroden mit galvanisch abgeschiedenem Bismut als Elektrokatalysator zeigte eine anfängliche Faraday-Effizienz von >90% für Formiat bei einer technisch relevanten Stromdichte von 200 mA/cm<sup>2</sup>, jedoch nur eine stabile Laufzeit von maximal 24h. Gründe hierfür sind Degradationseffekte wie Metallauflösung, Stofftransportlimitierung und die mechanische Zerstörung der Elektrodenstruktur durch Ausfällen von Salzen (Carbonat- und Hydrogencarbonatsalze).

Die Untersuchungen im vorausgegangenen Projekt haben gezeigt, dass mit Bismut zwar ein stabiler Katalysator gefunden werden konnte, aber der Elektrolyt während der Elektrolyse durch Kapillarkräfte kontinuierlich tiefer in die poröse Gasdiffusionselektrode (GDE) eindringt. Es ist nicht möglich, die Reaktionszone räumlich in einer einlagigen GDE zu stabilisieren.



### Projektidee und Vorgehensweise

Das Ziel des hier vorgestellten Projekts ist es, die Langzeitstabilität von Elektroden mit galvanisch abgeschiedenem Bismut-Elektrokatalysator bei industriell relevanten Stromdichten zu erhöhen, indem saure Elektrolyte und mehrlagige GDEs mit einer dünnen, porösen Katalysatorschicht verwendet werden. Wird ein Elektrolyt mit niedrigem pH-Wert verwendet, bildet sich ein pH-Gradient zwischen Reaktionszone und Elektrolyt aus. Die gebildeten Carbonat- und Hydrogencarbonat-Ionen werden bei niedrigeren pH-Werten wieder zu CO<sub>2</sub> und Wasser bzw. Hydroxid-Ionen zersetzt. So kann die Überschreitung des

Löslichkeitsprodukts der Salze im Porensystem der GDEs verhindert werden.

Die während der Elektrolyse räumlich instabile Reaktionszone kann durch eine weitere stark hydrophobe Schicht, auf welcher die Katalysatorschicht galvanisch abgeschieden wird, stabilisiert werden. Durch Auswahl geeigneter Parameter ist es möglich, Schichten aus Bismut-Katalysator mit hoher Porosität abzuscheiden. Des Weiteren kann eine dünne poröse Schutzschicht aus Ionomer oder Kohlenstoff aufgesprüht werden, so dass die Katalysatorschicht vor dem sauren Elektrolyt geschützt und ein definiertes pH-Profil eingestellt wird. Eine solche mehrlagige und multifunktionale Elektrode kann zukünftig stabile Gas-Elektrolysen ermöglichen und je nach eingesetztem Katalysator für verschiedene Herstellrouten eingesetzt werden.

### Danksagung

Das IGF-Projekt 01IF23102N wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

01IF23102N

1.9.2024–28.2.2027

#### INDUSTRIEPARTNER

Plinke GmbH / Siemens / Ingenieurbüro Bingel / Dr.-Ing. Max Schlötter GmbH & Co. KG / Ertel IonStream GmbH / Wacker Chemie AG / Gaskatel GmbH / b.fab GmbH / Covestro AG / CENmat / Moosbach & Kanne GmbH

#### FORSCHUNGSPARTNER

Universität Stuttgart, Institut für Technische Chemie / DLR, Institut für Technische Thermodynamik

#### ANSPRECHPARTNER

fem Forschungsinstitut, Katharinenstraße 13–17, 73525 Schwäbisch Gmünd

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