

# Brennstoffzellen Teil 3 – Charakterisierung mittels EIS

In der vorangegangenen Application Note wurde gezeigt, dass Brennstoffzellen vielversprechende Energiequellen sind, da sie eine hocheffiziente und umweltfreundliche Lösung für alternative Energien bieten. In den letzten Jahren wurden umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt, um ein besseres Verständnis der Faktoren zu erlangen, die die Leistung einer Brennstoffzelle beeinflussen.

In dieser Application Note wird die Verwendung der elektrochemischen Impedanzspektroskopie (EIS) zur Charakterisierung von PEM-Brennstoffzellen demonstriert. Es wird gezeigt, dass die EIS ein leistungsstarkes Diagnosetool ist, für die Bestimmung der folgenden Faktoren, die die Leistung einer PEM-Brennstoffzelle beeinflussen können:

- Zusammensetzung und Struktur der Elektrode

- Membraneigenschaften
- Betriebsparameter wie Zelltemperatur, Befeuchtung, Gaszusammensetzung und Druck

Der Hauptvorteil der EIS als Diagnosetool besteht in seiner Möglichkeit, in der Frequenzdomäne die einzelnen Beiträge der verschiedenen Faktoren aufzulösen, welche die Gesamtleistungsverluste der PEM-Brennstoffzelle bestimmen:

- Kinetisch
- Ohmsche
- Massentransport bedingte

## VERSUCHSBEDINGUNGEN

Die Experimente wurden an der Brennstoffzellen-Teststation der Elektrochemie-Gruppe im Department of Chemistry der North Eastern University in Boston, USA, durchgeführt.

Die Experimente wurden mit einem AUTOLAB PGSTAT302N durchgeführt, gesteuert durch die NOVA-Software. Für die EIS-Messungen wurde das FRA32-Modul verwendet, das von der NOVA-Software gesteuert wurde. Als Last wurde der 10 A Booster eingesetzt.

Die für die Experimente verwendete Brennstoffzelle war eine Einzelzelle mit einer geometrischen Oberfläche von 5 cm<sup>2</sup> bestehend aus einer Nafion-Polymerelektrolytmembran. Die Elektroden

bestanden aus einer Dünnschicht-Katalysatorschicht. Die Elektroden wurden an der Anode mit reinem Wasserstoff oder Wasserstoff mit geringen Mengen CO und an der Kathode mit Wasserstoff (für Referenzmessungen), Luft oder Sauerstoff beaufschlagt.

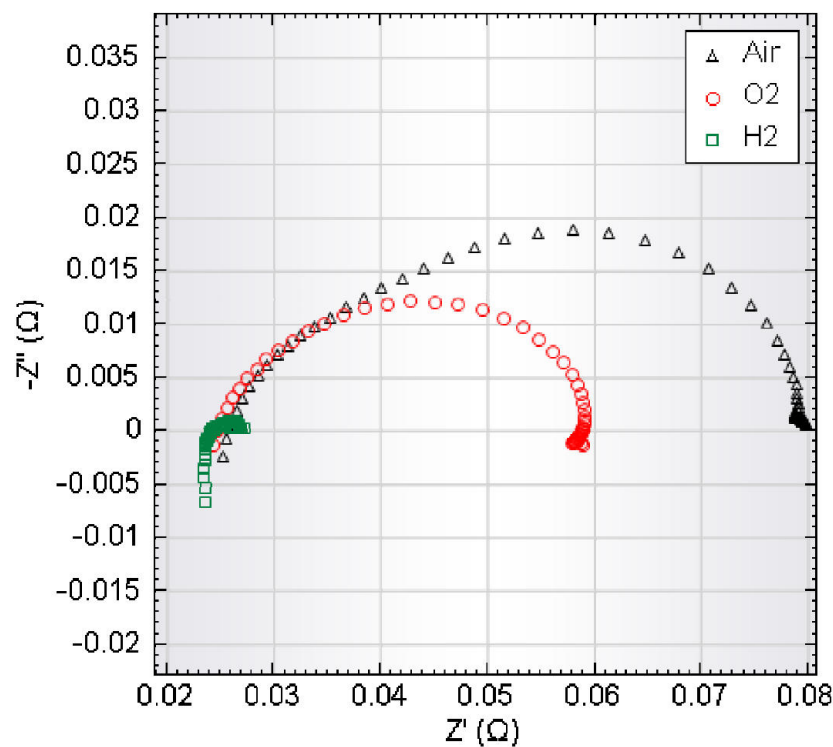
Die EIS-Experimente wurden unter potentiostatischer Kontrolle durchgeführt. Für die Zelle mit Wasserstoff an der Kathode wurden die EIS-Experimente beim OCP (0,0 V) durchgeführt. Für die Experimente mit Luft und Sauerstoff wurden Spannungen von 0,8 V, 0,6 V und 0,4 V angelegt. Es wurde ein Frequenzbereich von 10 kHz – 0,01 Hz verwendet. Die AC-Amplitude wurde auf 10 mV eingestellt.

## VERSUCHSERGEBNISSE

In **Abbildung 1** werden die Ergebnisse des EIS-Experiments mit H<sub>2</sub> an der Kathode mit denen mit O<sub>2</sub> und Luft an der Kathode verglichen.

Wenn sich nur Wasserstoff sowohl an der Anoden- als auch an der Kathodenseite der Elektrode befindet, findet an der Kathode keine Reduktionsreaktion statt, und man misst lediglich die ohmschen Verluste an der Membran. Wenn der Wasserstoff an der Kathode durch Sauerstoff ersetzt wird, kommt es zu einer Reduktion des Sauerstoffs an der Kathode. Somit

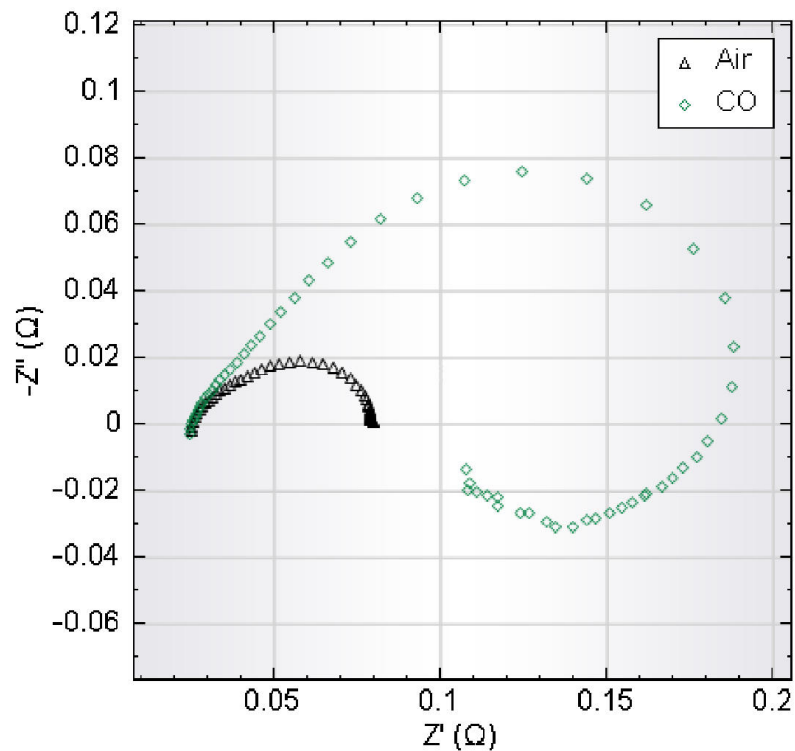
kann der Ladungstransferwiderstand der Reduktionsreaktion gemessen werden. Wenn Sauerstoff an der Kathode durch Luft ersetzt wird, zeigt sich der Effekt des Massentransports. Der Sauerstoff muss durch den in der Luft vorhandenen Stickstoff diffundieren, um die Kathodenoberfläche zu erreichen. Dies führt zu einem Anstieg des Polarisationswiderstands aufgrund des Diffusionswiderstands, wie in **Abbildung 1** gezeigt.



**Abbildung 1.** Ergebnisse des EIS-Experiments an einer PEM-Brennstoffzelle mit H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> und Luft an der Kathode

In **Abbildung 2** ist der Effekt der Vergiftung des Katalysators durch CO zu sehen. Mit dem Einbringen von CO in Luft auf der Anodenseite, steigt der

Ladungstransferwiderstand für die Oxidation von Wasserstoff aufgrund der Vergiftung des Katalysators.



**Abbildung 2.** Ergebnisse der EIS-Experimente an einer PEM-Brennstoffzelle mit Luft und CO an der Anode

Mit dem Einbringen von CO in Luft auf der Anodenseite, erhöht sich der

Ladungstransferwiderstand für die Oxidation von Wasserstoff aufgrund der Vergiftung des Katalysators.

## REFERENZEN

1. M. Ciureanu, R. Roberge, J. Phys. Chem. B, 2001, 105, 3531-3539

## CONTACT

Metrohm Deutschland  
In den Birken 3  
70794 Filderstadt

[info@metrohm.de](mailto:info@metrohm.de)



### Autolab PGSTAT204

Der Autolab PGSTAT204 vereint eine kleine Standfläche mit modularer Bauweise. Das Gerät enthält einen Potentiostaten/Galvanostaten mit einer Ausgangsspannung von 20 V und einem Maximalstrom von 400 mA oder 10 A in Kombination mit dem BOOSTER10A. Der Potentiostat kann jederzeit um ein zusätzliches Modul erweitert werden, z. B. dem FRA32M, einem Modul für die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS).

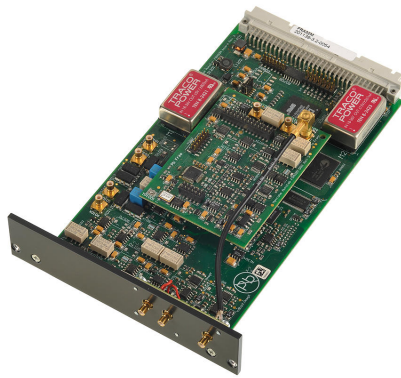
Der PGSTAT204 ist ein kostengünstiges Gerät, das überall im Labor aufgestellt werden kann. Analoge und digitale Ein- und Ausgänge zum Steuern von Autolab-Zubehör und Peripheriegeräten sind verfügbar. Der PGSTAT204 enthält einen eingebauten Analogintegrator. In Kombination mit der leistungsfähigen Software NOVA kann er für die meisten Standardmessverfahren in der Elektrochemie eingesetzt werden.



### Autolab PGSTAT302N

Dieser Hochleistungspotentiostat/Galvanostat mit einer Klemmspannung von 30 V und einer Bandbreite von 1 MHz ist in Verbindung mit unserem FRA32M-Modul speziell für die elektrochemische Impedanzspektroskopie geeignet.

Der PGSTAT302N ist der Nachfolger des beliebten PGSTAT30. Die maximale Stromstärke liegt bei 2 A. Mit dem BOOSTER20A kann der Stromstärkebereich auf 20 A erweitert werden. Die Stromauflösung beträgt 30 fA in einem Stromstärkebereich von 10 nA.



### Modul für die elektrochemische Impedanzspektroskopie

Das FRA32M-Modul bietet die Voraussetzungen zur Durchführung von Impedanz- und elektrochemischen Impedanzmessungen in Kombination mit dem Autolab. Es ermöglicht sowohl potentiostatische als auch galvanostatische Impedanzmessungen über einen breiten Frequenzbereich von 10  $\mu$ Hz bis 32 MHz (in Kombination mit dem Autolab PGSTAT begrenzt auf 1 MHz). Zusätzlich zur klassischen EIS können die Benutzer mit der NOVA-Software weitere Signale von aussen modulieren, wie z. B. die Drehzahl einer rotierenden Scheibenelektrode oder die Frequenz einer Lichtquelle zur Durchführung elektrohydrodynamischer oder photomodulierter Impedanzspektroskopie.

Das FRA32M-Modul wird mit einer leistungsstarken Fit- und Simulationssoftware für die Analyse von Impedanzdaten geliefert.



### Booster 10A

Mit dem Booster10A-Modul kann der Maximalstrom von PGSTAT100N, PGSTAT128N, PGSTAT302N, PGSTAT204 oder M204 auf 10 A erhöht werden. Zusammen mit dem Booster10A beträgt die Ausgangsspannung des Systems 20 V.

Aufgrund seiner schnellen Ansprechzeit ist der Autolab Booster10A, in Kombination mit dem FRA32M-Modul, optimal für elektrochemische Impedanzmessungen an Brennstoffzellen, Batterien und Superkondensatoren geeignet. Mit dem Booster sind Messungen sowohl an aktiven wie an passiven Zellen möglich. Zusätzlich zu den Messungen von Ladungs- und Entladungseigenschaften von Superkondensatoren können mit dem Booster10A auch Messungen an Brennstoffzellen vorgenommen oder die Gleich- oder Wechselströme an grossflächigen Elektroden ermittelt werden.



## Moderne Software für die elektrochemische Forschung

NOVA ist das Paket für die Steuerung aller Autolab-Geräte mit USB-Schnittstelle.

Entwickelt von Elektrochemikern für Elektrochemiker auf der Grundlage unserer zwanzigjährigen Erfahrung sowie der neuesten .NET-Software-Technologie, verschafft NOVA Ihrem Autolab-Potentiostat/Galvanostat ein höheres Leistungsvermögen und mehr Flexibilität.

Folgende Merkmale zeichnen die Software aus:

- Leistungsstarker und flexibler Methodeneditor
- Klare Übersicht über relevante Echtzeitdaten
- Leistungsfähige Werkzeuge für Datenanalyse und -darstellung
- Integrierte Steuerung für externe Geräte wie Liquid-Handling-Geräte von Metrohm

[Laden Sie die aktuellste Version von NOVA herunter](#)