

Entwicklung eines Prüfverfahrens zur leistungstechnischen Klassifizierung der Hauptwiederholkomponenten von PEM-BZ vor der Stackmontage als Grundlage für die Erarbeitung einer Richtlinie zum Kalttest

O. Pasdag*, B. Lutter, I. Radev, W. Philippi
Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) GmbH, Duisburg; *o.pasdag@zbt-duisburg.de

Motivation

Der Begriff **Kalttest** ist dem Automobilbereich entnommen, wo Motoren in einem schnellen Verfahren „kalt“, d.h. ohne die Verbrennung wirklich zu praktizieren, mittels zahlreicher Prüfverfahren getestet werden, bevor es zum (quasi irreversiblen) Einbau in das Fahrzeug kommt. In Anlogie dazu soll die **MEA (Membrane-Electrode-Assembly)** als Hauptwiederholkomponente vor Stack-Komplettierung einer **schnellen** Einzelprüfung unterzogen werden. Dieses Verfahren soll innerhalb der Produktionslinie „kalt“, also **ohne** Einsatz von Reaktionsmedien wie Wasserstoff eingesetzt werden können.

Die Projektinhalte (**bearbeitet**, **Ausblick**):

- Konzeption/Konstruktion, Fertigung, Aufbau der Prüfeinrichtung
- Implementierung des EIS-Messverfahrens (Elektrochemische Impedanzspektroskopie) in die Prüfeinrichtung
- Test der Prüfeinrichtung bzgl. reproduzierbarer Prüfbedingungen sowie Erstellung eines Ersatzschaltbilds einer MEA im „Kalttest“
- Abgleich der EIS-Messkurven mit den später real gemessenen MEA-Leistungsdaten → Ableitung einer Richtlinie zur Qualitätsbewertung in der laufenden Produktion

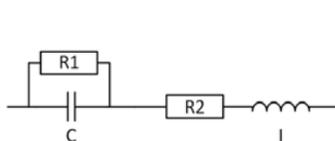
Problemanalyse bei EIS-Repro-Messungen

Nach Implementierung der EIS-Messung kam es auf dem Weg zu reproduzierbaren Ergebnissen zu zwei zentralen Erkenntnissen, was die Randbedingungen der Prüflinge und der Prüfeinrichtung betrifft:

- Durch das langzeitabhängige Wasseraufnahme-, bzw. Wasserabgabeverhalten der Nafion®-Membran ist die Konditionierung eines MEA-Prüflings hinsichtlich seiner Membranfeuchte wegen der kurzen Messzeit in der Prüfeinrichtung selbst nicht exakt genug durchführbar. Die MEA-Prüflinge sollten also hinsichtlich der Membranfeuchte identisch vorkonditioniert sein
- Bei Verwendung der Adapterplatten aus Graphit-Compound muss berücksichtigt werden, dass (vermutlich durch Setz-Effekte unter Druck) eine zeitabhängige, wenn auch reversible Beeinflussung (Verringerung) der Gesamtimpedanz auftritt.

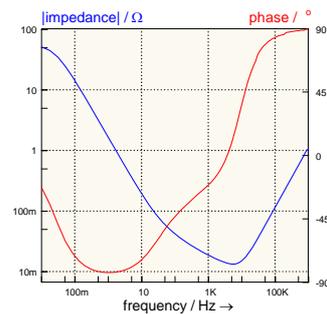
Modellierung der MEA im Kalttest als Doppelschicht-Elektrolytkondensator

Zur Modellierung des Impedanzverhaltens der MEA unter Beaufschlagung von Wechselspannung unterschiedlicher Frequenz wurde als erster Ansatz die Modellierung eines einfachen Kondensator-Verhaltens gewählt. Die frequenzabhängige Impedanzantwort des Modellsystems (siehe Ersatzschaltbild) wurde simuliert und mit dem real gemessenen Impedanzverlauf verglichen.

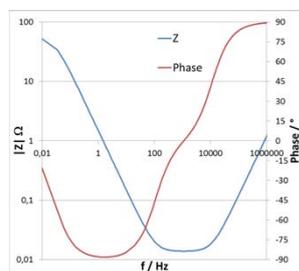


Interpretation der Bauelemente des Ersatzschaltbildes:

- R1: Durchtrittswiderstand an der Phasengrenze Elektrolyt-Elektrode
- C: Kapazität als Maß der Kontaktfläche Elektrolyt-Elektrode
- R2: Membran- und Kabelwiderstände
- I: Induktivität der Anschlusskabel



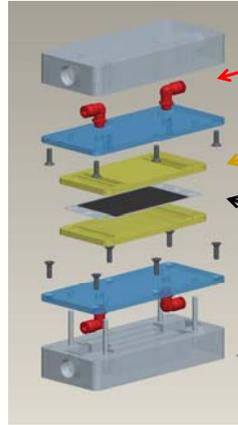
Reale Impedanzmessung einer CCM-MEA (10mHz – 1 MHz)



Simulationsergebnis Impedanzverlauf CCM-MEA (10mHz – 1 MHz)

Die Prüfeinrichtung

Grundkonzept: Pneumatische Pressung der MEA in einer zweiteiligen Prüfeinrichtung zur EIS-Messung (4-Elektroden Anordnung, TP)



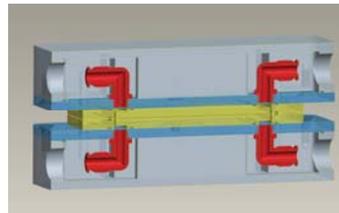
Schlauchadapter für feuchte Luft; Edelstahl 1.4404; im Wasserbad zur Vermeidung von Kondensation

Adapterplatte; Graphit-Compound; gerades Flowfield-Design; O-Ring-Dichtung gegen Deckel, Grundkörper und MEA

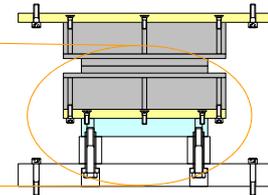
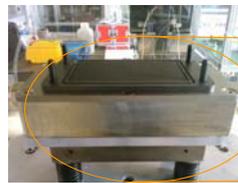
MEA

Deckel Grundkörper; Edelstahl 1.4571; optional Vergoldung möglich

Grundkörper mit innenliegenden Kanälen zur Flüssig-Temperaturierung; Edelstahl 1.4571



Geschlossene Prüfeinrichtung; koaxiale Führung der Medienanschlüsse (feuchte Luft; rot) und Temperierwasser-Anschluss des Grundkörpers (grau)



Unterteil Prüfeinrichtung; Tellerfeder-Lagerung für planparallele Anpressung

Ausblick I: Verfeinerung des Simulationsmodells

Um mit der Simulation die reale Messung gut abbilden zu können, müssen die (sich auch gegenseitig beeinflussenden) Werte der Bauteile im Ersatzschaltbild möglichst genau bestimmt werden. Dazu werden aktuell signifikante Stützstellen aus dem realen Messergebnis im Rahmen einer manuellen Zielwertsuche in die Simulation übertragen.

Verbesserung verspricht hier zunächst eine automatisierte Zielwertsuche sowie eine optimierte Auswahl der Stützstellen. Je nach zu untersuchender MEA-Art ändert sich das Kondensatorverhalten grundlegend, so dass für GDE-basierte MEAs andere Stützstellen notwendig sind als für iCCM- oder dCCM-MEAs. Weiterhin könnte auch eine Erweiterung des Ersatzschaltbildes erforderlich werden.

Ausblick II: Vorhersage der MEA-Performance → Erarbeitung einer Richtlinie zur Qualitätsbewertung

Ohne Verwendung von Reaktionsgasen - zudem ohne Aktivierungs-Prozedur - kann die Katalysatoraktivität einer neu hergestellten MEA nicht direkt bestimmt werden.

Die Rückschlüsse auf die spätere Leistungsfähigkeit sollen daher über den Umweg der Kondensator-Modellbildung ermöglicht werden.

Die Kondensatorkapazität C sowie der Durchtrittswiderstand R1 lassen zumindest in der Theorie auf die Beschaffenheit der Grenzfläche zwischen Elektrolyt (Membran, Elektroden-Ionomer) und Elektrode (Kohlenstoff, Gasdiffusionssystem) schließen. Theoretisch sind für eine gute MEA-Performance die Werte für

- C hoch, wenn die Membranstärke (der Plattenabstand) gering und die Kontaktfläche (→Katalysatorträgeroberfläche) groß sind
- R1, R2 gering, da dann höhere Ströme möglich sind

Diese Annahmen werden im weiteren Projektverlauf geprüft