

## ABSCHLUSSBERICHT

# Entwicklung von leitfähigen, kohlenstoffbasierten Schutzschichten mittels etablierter und neuartiger Beschichtungsverfahren für metallische Bipolarplatten von PEM-Brennstoffzellen

PEM-Brennstoffzellen weisen für die Umwandlung chemischer in elektrischer Energie einen hohen Wirkungsgrad auf. Sie stehen insbesondere bei Automobil- und Heizgeräteherstellern als Stromerzeuger für stationäre, mobile und portable Anwendungen im Fokus weltweiter Entwicklungsaktivitäten. Ein zentrales Bauelement der Brennstoffzellenstacks ist die Bipolarplatte, mit der die Gasräume der benachbarten Zellen voneinander abgetrennt werden und die zugleich eine hohe elektrische Leitfähigkeit und Beständigkeit unter stark korrosiven Bedingungen aufweisen muss. Die Anforderungen werden durch graphitische Bipolarplatten sehr gut erfüllt. Diese Platten sind jedoch mechanisch anfällig, schlecht in Massenproduktion herstellbar und tragen zudem etwa 80% des Gewichtes und bis zu 45% der Kosten eines Stacks bei. Durch den Einsatz metallischer Werkstoffe wie z.B. Edelstahl könnten die Platten durch Massenproduktion wesentlich preiswerter und die Stacks bei gleicher Leistung mit etwa 1/5 des Volumens und Gewichtes produziert werden. Nachteilig bei den metallischen Platten ist deren Anfälligkeit gegenüber Korrosion, zumal die dabei freigesetzten Metallionen die Brennstoffzelle schädigen können. Innerhalb dieses Projektes sollten Kohlenstoffschichten zum einen mit einem Plasmastrahlverfahren und zum anderen mit einer elektrochemischen Niederspannungsabscheidung hergestellt werden. Diese Schichten sollten preiswerter auf Bipolarplatten abgeschieden werden können, als es mit den bisher verfügbaren Verfahren möglich ist. In diesem Artikel werden die mit dem Plasmastrahlverfahren hergestellten Kohlenstoffschichten vorgestellt.

### Schichtabscheidung und Charakterisierung

Für die Kohlenstoffbeschichtung wurde eine modifizierte Vakuumbeschichtungsanlage vom Typ Cobra Cube CC11 der Firma CCR GmbH eingesetzt. Mit der für PACVD-Verfahren ausgelegten Anlage wurden Kohlenstoffschichten (a-C:H) bzw. Stickstoff-dotierte Kohlenstoffschichten (a-C:H:N) abgeschieden. Hierzu wurde eine  $C_2H_2$ - oder  $N_2/C_2H_2$ -Gas Mischung in der kapazitiv gekoppelten Plasmastrahlquelle PBS 200 von HS-PlasmaTec GmbH (früher IPT GmbH) aktiviert. Durch Variation der Beschichtungstemperatur, des Gesamtdrucks (Ionenenergie) und des  $N_2$ -Gasflusses (N-Dotierung) wurde versucht, leitfähige Kohlenstoffschichten abzuschneiden. Die Kohlenstoff-

schichten wurden hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit für PEM-Brennstoffzellen untersucht. Für dieses Forschungsvorhaben waren die vom U.S. Department of Energy (DOE) herausgegebene Grenzwerte für 2020 für die Korrosionsstromdichte von  $< 1 \mu A/cm^2$  bei  $600 mV_{Ag/AgCl}$  und der Kontaktwiderstand von  $< 10 m\Omega cm^2$  bei einem Anpressdruck von 13,8 bar für die Untersuchung und Optimierung der Kohlenstoffschichten richtungsweisend. In Abbildung 1 ist eine mit optimierter a-C:H:N beschichtete Bipolarplatte abgebildet.

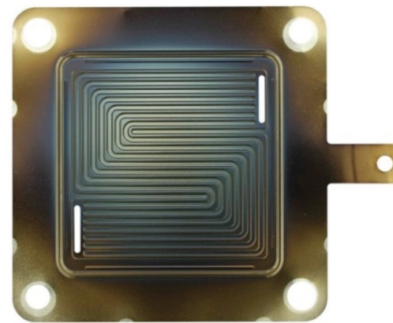


Abb. 1 | Eine mit optimierter a-C:H:N beschichtete Bipolarplatte

Die Untersuchungen zum Korrosions- und Kontaktwiderstandsverhalten der kohlenstoffbeschichteten Bipolarplatten wurden am ZBT, dem Zentrum für Brennstoffzellen Technik in Duisburg durchgeführt.

### Ergebnisse

Ab einer Beschichtungstemperatur von  $400^\circ C$  konnten elektrisch leitfähige a-C:H-Schichten abgeschieden werden. Allerdings erfüllten die a-C:H-Schichten nicht die DOE-Kriterien für Korrosionsstromdichte und Kontaktwiderstand. Die a-C:H:N-Schichten hingegen sind bereits bei einer Beschichtungstemperatur von  $300^\circ C$  elektrisch leitend. In Abbildung 2 ist der Zusammenhang zwischen Kontaktwiderstand und Korrosionsstromdichte der hergestellten Modellproben graphisch dargestellt. Es zeigte sich, dass bei einer niedrigen Korrosionsstromdichte der Kontaktwiderstand häufig sehr hoch ist und umgekehrt. Die DOE-Grenzwerte sowohl für den Kontaktwiderstand als auch für die Korrosionsstromdichte erfüllen nur die Kohlenstoffschichten, deren Werte innerhalb der schraffierten Fläche liegen. Dabei handelt es sich um a-C:H:N-Schichten, die bei einer Beschichtungstempera-

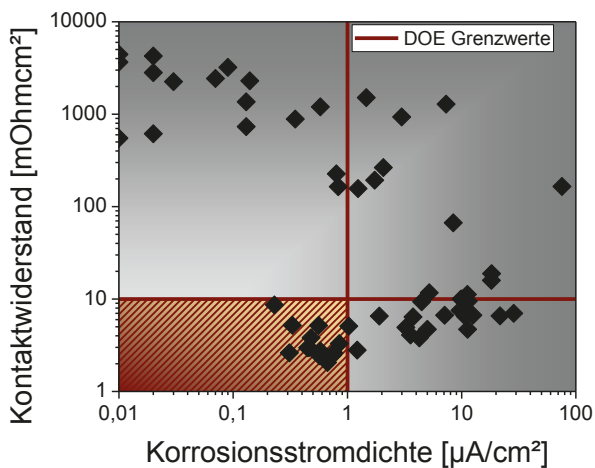


Abb. 2 | Kontaktwiderstand und Korrosionsstromdichte der Kohlenstoffschichten

tur von 300 °C, einem  $N_2/C_2H_2$ -Verhältnis von 0,78 und bei einem Beschichtungsdruck von  $2 \times 10^{-4}$  mbar abgeschlossen wurden. Die mit einer a-C:H:N-Schicht beschichteten Bipolarplatten mit Flowfield wurden in einem laufenden Testbetrieb in einer PEM-Brennstoffzelle untersucht. In Abbildung 3 ist die für den Einbau von metallischen Bipolarplatten modifizierte, Messzelle des Herstellers *balticFuelCells* (Typ quickConnect) abgebildet.



Abb. 3 | Modifizierte, kommerzielle Messzelle quickConnect von *balticFuelCells* für die Langzeitmessungen an den kohlenstoffbeschichteten metallischen Bipolarplatten ([www.zbt-duisburg.de](http://www.zbt-duisburg.de))

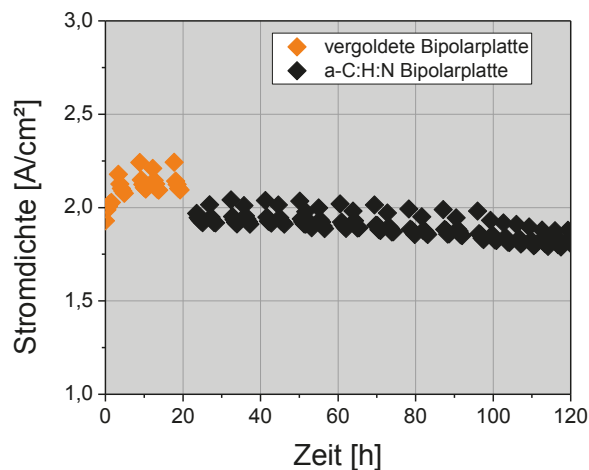


Abb. 4 | Messung von vergoldeter und a-C:H:N beschichteter Bipolarplatte in einer PEM-Brennstoffmesszelle

Abbildung 4 zeigt eine Messung in dieser PEM-Brennstoffmesszelle. Zunächst wurde die Messzelle mit einer vergoldeten Bipolarplatte 20 min lang „eingefahren“. Anschließend wurde die vergoldete Bipolarplatte gegen eine a-C:H:N beschichtete Bipolarplatte ausgetauscht und weitere 100 h gemessen.

Die erzielten Messergebnisse zeigten, dass die a-C:H:N beschichteten Bipolarplatten nur geringfügig niedrigere Stromdichten als die vergoldeten Bipolarplatten lieferten und daher dauerhaft in einer PEM-Brennstoffzelle verwendet werden können. Derartige metallische Bipolarplatten können demnach als kostengünstige Alternative zu vergoldeten Bipolarplatten eingesetzt werden.

### Danksagung

Das IGF-Vorhaben IGF 18297 der Forschungsvereinigung Verein für das Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie (fem) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projekt: IGF 18297

Laufzeit: 1.8.2014 – 31.1.2017

### Industriepartner

Bender GmbH | borit Leichtbau-Technik GmbH | HS-PlasmaTec GmbH | PT & B SILCOR GmbH  
Reinz-Dichtungs GmbH | Robert Bosch GmbH

### Forschungspartner (Forschungsstelle 2)

ZBT | Zentrum für Brennstoffzellen Technik GmbH  
Dr. Burghard Lutter, [b.lutter@zbt-duisburg.de](mailto:b.lutter@zbt-duisburg.de)

### Ansprechpartner (Forschungsstelle 1)

fem | Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie | Katharinenstraße 17 | 73525 Schwäbisch Gmünd  
Dr. Martin Fenker, [fenker@fem-online.de](mailto:fenker@fem-online.de) | Dr. Renate Freudenberger, [r.freudenberger@fem-online.de](mailto:r.freudenberger@fem-online.de)