

# Schlussbericht vom 31.12.2025

zum IGF-Vorhaben IGF-20/11 22948 BG

## Thema

Entwicklung von Fertigungsprozessfolgen für beschichtete metallische Bipolarplatten für Brennstoffzellen höchster Qualität und Energieeffizienz.

## Berichtszeitraum

01.07.2023 bis 31.12.2025

## Forschungsvereinigung

Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e. V. – EFDS  
Gostritzer Straße 63  
01217 Dresden

## Forschungseinrichtung(en)

Forschungseinrichtung 1  
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU  
Reichenhainer Str. 88  
09126 Chemnitz

Forschungseinrichtung 2  
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST  
Riedenkamp 2  
38108 Braunschweig

Forschungseinrichtung 3  
Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahlkunde IWS  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse .....</b>	<b>3</b>
1.1	Arbeitspaket 1: Definition des gemeinsamen Anforderungsprofils.....	3
1.2	Arbeitspaket 2: Beschichtung (IWS und IST).....	3
1.3	Arbeitspaket 3: Umformung (IWU).....	13
1.4	Arbeitspaket 4: Funktionalisierung (IST).....	23
1.5	Arbeitspaket 5: Begleitende Analytik der Folien-/Bauteilqualität .....	33
<b>2</b>	<b>Verwendung der Zuwendung .....</b>	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>Wissenstransfer in die Wirtschaft .....</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft .....</b>	<b>52</b>
6.1	Durchgeführte Transfermaßnahmen (vom Projektstart bis zum Projektende) .....	52
6.2	Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit .....	53

# 1 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

## 1.1 Arbeitspaket 1: Definition des gemeinsamen Anforderungsprofils

Im AP1 wurden die Randbedingungen für die im Forschungsvorhaben untersuchten Lösungsansätze, in Zusammenarbeit mit dem projektbegleitenden Ausschuss (PA), definiert und dokumentiert.

Für die Erstellung einer Anforderungsbeschreibung, an die Beschichtung der Bipolar-Halbplatten (BPHP), wurden die Kriterien des US Department of Energy (DOE) herangezogen: Interfacial Contact Resistance (ICR)  $\leq 10 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$  bei einer Flächenpressung von  $138 \text{ N/cm}^2$

Korrosionsmessungen: Als Prüfmedium wird ein Elektrolyt aus  $\text{H}_2\text{SO}_4$  mit pH 3 und 0,1 ppm HF bei einer Temperatur von  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  verwendet; die Referenzelektrode ist Ag/AgCl. In der dynamischen (potentiodynamischen) Prüfung wird im Bereich von  $-0,2 \text{ V}$  bis  $0,4 \text{ V}$  (SHE) mit einer Scanrate von  $0,1 \text{ mV/s}$  gemessen, die Probe ist dabei entlüftet und mit Argon begast; In der statischen (potentiostatischen) Prüfung wird ein Potential von  $1,0 \text{ V}$  über 24 h angelegt, die Messung erfolgt belüftet, auch hier ist die Forderung eine Korrosionsstromdichte  $< 1 \mu\text{A/cm}^2$ . Die Anforderung lautet jeweils, dass die Korrosionsstromdichte im genannten Bereich  $< 1 \mu\text{A/cm}^2$  liegt. Als Demonstrator wurde eine  $50 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$  große BPHP ausgewählt, die die wesentlichen geometrischen Merkmale einer BPP in einer Protonen-Austausch-Membran-Brennstoffzelle (PEMBZ) aufweist. Damit wurde gewährleistet, dass die unterschiedlichen Lösungsansätze zur Oberflächenbehandlung auf einem repräsentativen Substrat durchgeführt werden konnten. Als Werkstoff für das Substrat wurde ein für diese Anwendung etablierter austenitischer Edelstahl mit der Werkstoffnummer 1.4404, in einer Blechdicke von  $100 \mu\text{m}$ , verwendet. Dieser wurde vom PA Mitglied Outokumpu Nirosta GmbH als vAW-Leistung zur Verfügung gestellt.

## 1.2 Arbeitspaket 2: Beschichtung (IWS und IST)

### Lösungsansatz 1 (IWS):



Abbildung 1: Schema des Lösungsansatzes 1.

In Lösungsansatz 1 wurden kohlenstoffbasierte Schichtsysteme entwickelt, die auch nach der Umformung in ihre endgültige Form sowie eine hohe elektrische Leitfähigkeit beibehalten und gleichzeitig ausreichend korrosionsbeständig sind. Diese Schichtsysteme bestehen aus einer Titan Zwischenschicht und einer Deckschicht aus Graphit ähnlichem Kohlenstoff (eng. graphite like carbon – GLC). Der Untersuchungsschwerpunkt lag im Vergleich der

Lichtbogenverdampfung (Arc-Verdampfung) und des DC-Magnetron-Sputterns. Als Ausblick wurde zudem das High Power Impuls Magnetron Sputtering (HiPIMS) betrachtet, dass Vorteile der Lichtbogenverdampfung und des Magnetron-Sputterns vereint. Die abgeschiedenen Schichtsysteme wurden hinsichtlich ihrer Schichteigenschaften gegenübergestellt. Ziel war die Ermittlung des am besten geeigneten Verfahrens. Gleichzeitig sollte die niedrigste Schichtdicke und Prozesstemperatur ermittelt werden, die zum Erreichen der DOE-Zielwerte (Department of Energy USA) benötigt wird.

### Durchgeführte Arbeiten:

Zur systematischen Entwicklung der Kohlenstoff (GLC)-Deckschichten wurden zunächst spezielle Probenhalterungen gefertigt. Drei Vierfach-Träger (je 110 × 120 mm, Abb. 1) ermöglichten die serielle Beschichtung zur Schichtcharakterisierung. Drei Einzelhalter (120 × 476 mm) dienten später der großflächigen Reproduktion ausgewählter Schichten für mechanische Prüfverfahren und die Umformung mittels Holprägewalzen.



Abbildung 2: Fotos der Probenhalterung, der Beschichtungskammer C57T als auch von beschichteten Proben mit den Maßen 120 x 110 mm.

Die Abscheidung des Schichtsystems wurde in der Vakuumbeschichtungsanlage C57T der Firma Inovap durchgeführt und erfolgte in drei Schritten. Im ersten Schritt wurde das Substrat 15 Minuten mittels Metall-Ionen-Sputtern (MIS) gereinigt. Hierfür wurden mit Hilfe des Lichtbogens Ti-Ionen erzeugt, die mit einer Bias Spannungen von 750 V auf die Substratoberfläche beschleunigt wurden und dort Verunreinigungen und Oxide abspalterten. Im zweiten Schritt wurde eine ca. 100 nm dicke Ti-Zwischenschicht mittels Lichtbogenverdampfen aufgetragen. Diese diente als Haftvermittler und Korrosionsbarriere. Das Abscheiden der Kohlenstoffdeckschicht erfolgte dann unter Verwendung der PVD-Verfahren Lichtbogenverdampfen, Magnetron-Sputtern und HiPIMS sowie sukzessiver Reduktion der Prozesstemperatur (300 °C, 150 °C, RT) und Schichtdicke (150 nm, 100 nm, 50 nm). Aufgrund extrem niedriger Abscheideraten beim Sputtern von Kohlenstoff, wurde die Schichtdicke für das Magnetron-Sputtern und HiPIMS schließlich auf 50 nm beschränkt. Eine detaillierte Zusammenfassung der Beschichtungsparameter je Verfahren ist in Tabelle 1 dargestellt.