



Laserbasierte Fertigung von strömungsoptimierten Gasdiffusionslagen für PEM Brennstoffzellen

Das IFSW erforscht im Rahmen des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) zusammen mit den Instituten für Produktionstechnik (wbk) und Produktentwicklung (IPEK) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) neue Strömungsstrukturen für die Gasdiffusionslagen in PEM-Brennstoffzellen. Die simulativ optimierten und in Grundlagenversuchen auf Graphitfolie hergestellten Mikrohohlstrukturen sollen final in einem additiv-subtraktiven Prozess hergestellt und in einem Brennstoffzellenprüfstand validiert werden.

Mit der nationalen Wasserstoffstrategie hat die Bundesregierung 2020 das Ziel ausgerufen, Deutschland langfristig die Marktführerschaft bei Wasserstofftechnologien zu sichern. Ein Baustein ist dabei der bedarfsgerechte Einsatz dieses Energieträgers zum Beispiel in Brennstoffzellen. Die Leistungsdichte und der Wirkungsgrad von Brennstoffzellen werden durch den effektiven Transport und die Verteilung der Reaktanden Wasserstoff und Sauerstoff an der Katalysatorschicht bestimmt. Das laufende ICM-Forschungsprojekt AddPEM hat zum Ziel, durch definiert gefertigte Mikrohohlstrukturen im Bereich der Gasdiffusionslage (GDL) und der mikroporösen Lage den Gas- und Wassertransport zu optimieren und damit die Gasverteilung an der Katalysatorschicht zu homogenisie-

ren. Zur Herstellung der definierten Mikrohohlstrukturen wird die GDL in einem kombinierten additiv-subtraktiven Fertigungsprozess schichtweise aufgebaut. Mittels selektivem Laserschmelzen (PBF-LB) wird dabei zunächst eine feste, graphithaltige Schicht aufgebaut, in welcher anschließend durch Laserablation Gastransportkanäle eingebracht werden. Durch den Wechsel von Materialaufbau und -abtrag in derselben Anlage wird eine hohe Gestaltungsfreiheit der Strömungsstruktur erreicht.

Für die Fertigung sehr kleiner Strömungsstrukturen sind ultrakurzgepulste (UKP) Laser ein prädestiniertes Werkzeug. Durch die lokale Energieeinbringung kann über schmelzarme Verdampfungs- oder Sublimationsprozesse

Material abgetragen werden. Im Projekt wurden erste Abtragexperimente auf Graphitfolien durchgeführt. Mit diesem Ansatz konnten am IFSW bereits Erkenntnisse zur Handhabung von Folien, sowie zur Bearbeitung dünner Graphitschichten mit dem ultrakurzgepulsten Laser gewonnen werden. Die bisher realisierten Bohrungen haben eine konische Form mit einem Eintrittsdurchmesser von 60 μm und einem Austrittsdurchmesser von 30 μm . Durch hochdynamische Strahlbewegung mittels Galvanometerscanner konnte dieser Prozess auf über 15.000 Bohrungen in einer Fläche von 45 mm^2 übertragen werden, siehe Abbildung 1. Dabei beträgt die Fertigungszeit des Bohrfeldes lediglich rund eine Minute.

Zur Identifikation einer geeigneten Fließstruktur für die optimierte Verteilung der Prozessgase auf die Membran arbeitet das IPEK mit Strömungssimulationen. Damit lassen sich sowohl der Gasfluss in den Hohlstrukturen als auch verschiedene Materialeigenschaften wie die elektrische und thermische Leitfähigkeit abbilden. Die digitale Materialforschung ermöglicht es, Strömungsstrukturen in einem frühen Stadium der Entwicklung zu bewerten und zu verbessern sowie die aus den Laserprozessen bekannten Randbedingungen zu berücksichtigen. Als Ausgangspunkt für die simulationsbasierte Optimierung wurde eine dreischichtige Struktur ausgewählt, wie sie in der Abbildung 2 zu sehen ist. Über jede Schicht sind gleichmäßig runde Löcher mit den Durchmessern jeweils 60 μm , 80 μm bzw. 100 μm mit ansteigender Lochgröße ausgehend von der Membran hin zur Bipolarplatte (BPP) verteilt. Diese Struktur wird für die Erstellung der Simulationsumgebung verwendet und im weiteren Verlauf entsprechend der Fertigungsbedingungen und Simulationsergebnisse hinsichtlich

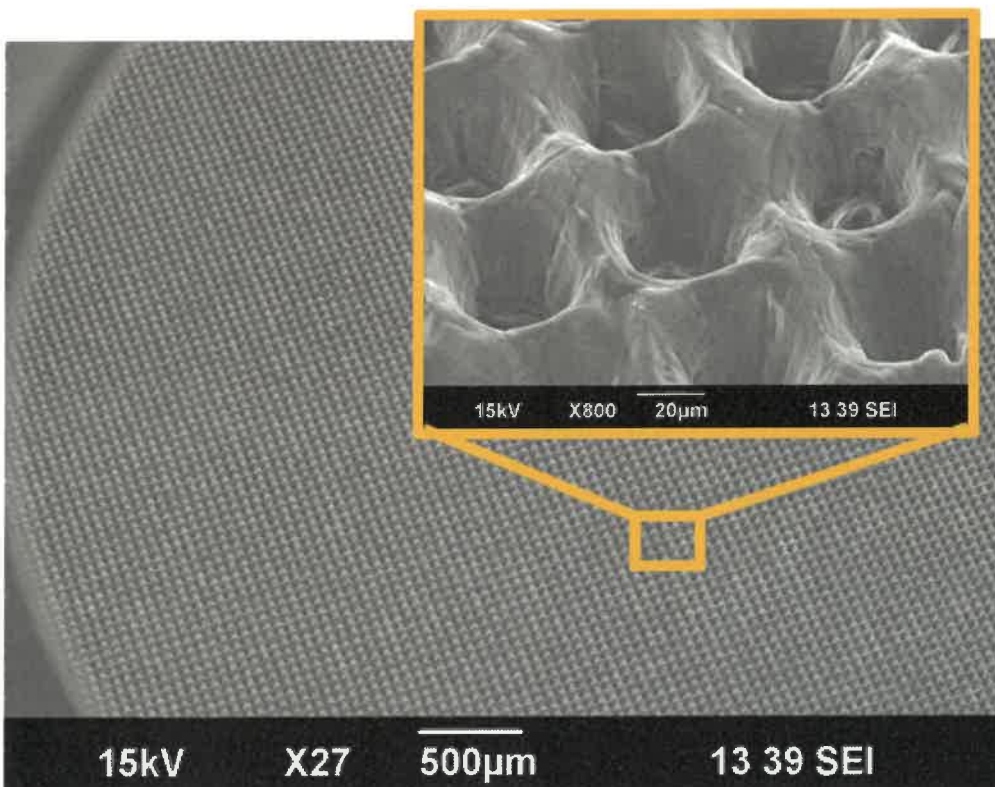


Abbildung 1: Ausschnitt eines Bohrfeldes von 15.000 dicht gepackten Bohrungen in einer 40 μm dünnen Graphitfolie.

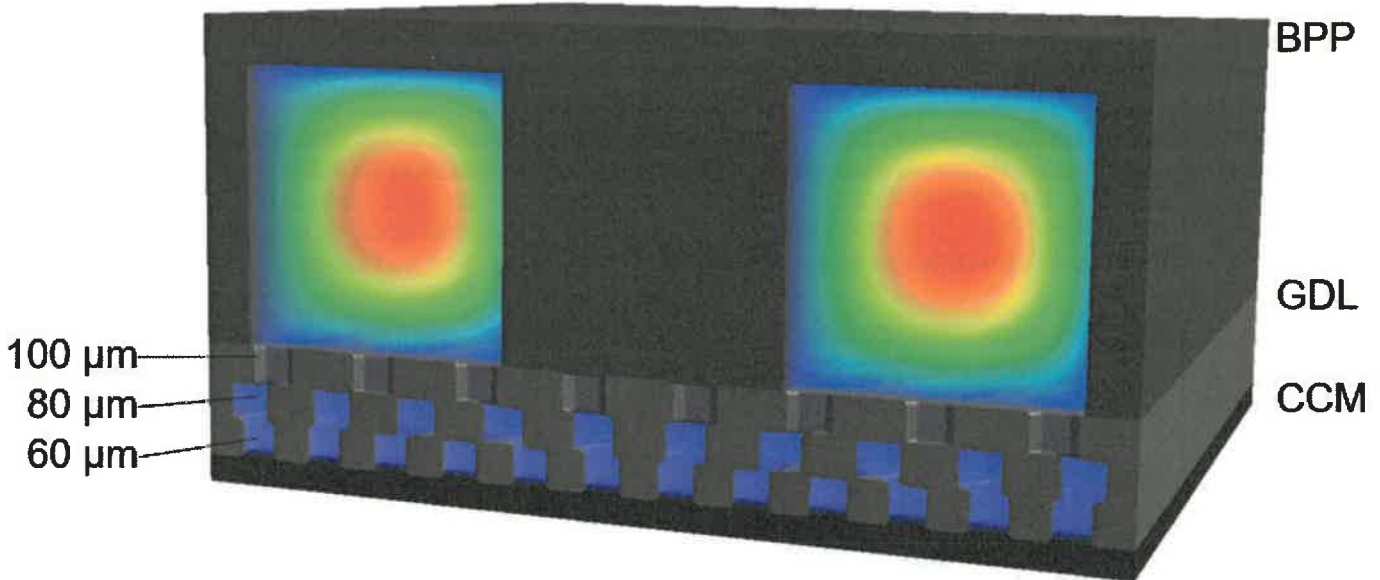


Abbildung 2: Membran-Elektroden-Einheit (MEA) mit aus drei Schichten aufgebauter GDL, BPP-Kanälen und Membranschicht (CCM).

der Gasverteilung auf der Membran optimiert. Im Fokus der Optimierung werden die Lochanzahl, -größe und -position in den einzelnen Schichten liegen.

Die Verarbeitung graphithaltiger Materialien im selektiven Laserschmelzen wird am wbk Institut für Produktionstechnik des KIT untersucht. Für eine hohe elektrische Leitfähigkeit bei gleichzeitig geringer Dichte ist reiner Graphit sehr gut geeignet, lässt sich jedoch nicht unter atmosphärischen Bedingungen aufschmelzen und somit nicht im selektiven Laserschmelzen verarbeiten. Daher wird ein zweiter Werkstoff als Binder- bzw. Matrixmaterial zugemischt. Dieser bildet im Prozess eine stabilisierende Matrix, in welcher der Graphit eingebettet bleibt. Ziel der Untersuchungen am wbk ist die Identifikation des maximal zumischbaren Graphitanteils und die Bestimmung der optimalen Prozessparameter.

Ausgangspunkt der Untersuchungen sind Graphitpulver unterschiedlicher Partikelgrößen sowie Edelstahlpulver aus 1.4404 (V4A) als Matrixmaterial. Um eine optimale Mischung der beiden Pulver zu gewährleisten, kommt ein Taumelmischer zum Einsatz. Durch die elliptische Bewegung des Pulverbehälters lassen sich selbst Materialien mit großen Dichteunterschieden homogen vermischen, was bei der Verwendung

von Stahl als Matrixmaterial mit einer Dichte von $7,8 \text{ g/cm}^3$ gegenüber Graphit mit Dichte $2,2 \text{ g/cm}^3$ notwendig ist.

Erste Ergebnisse zeigen, dass mit einem Graphitanteil von bis zu 40 Vol.-% in der Edelstahlmatrix, je nach verwendeter Partikelgröße, stabile Probenkörper im Pulverbettprozess hergestellt werden können. Höhere Beimischungen bis hin zu 60 Vol.-% sind möglich, jedoch sind die entstandenen Proben hochporös und nicht mechanisch belastbar. Die Verwendung von geschnittenen Graphitfasern als Alternative zu Graphitpulver führt zu einer für die Anwendung in Brennstoffzellen vorteilhaften zusätzlichen Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit.

Diese gewonnenen Erkenntnisse zu Materialentwicklung, Strömungssimulation und Strukturfertigung werden nun in der zweiten Projekthälfte von den Projektpartnern zusammengeführt. Im nächsten Schritt erfolgt einerseits die Integration der fertigungsgegebenen Randbedingungen in die Simulation. Damit wird bereits in der Designphase der Aspekt der späteren Fertigbarkeit berücksichtigt und Geometrieanpassungen dementsprechend ausgewählt. Andererseits müssen die Ergebnisse aus der Graphitfolienbearbeitung in den additiv-subtraktiven Prozess übertragen werden. Hierbei sind Anpassungen im

Prozess aufgrund des zusätzlichen metallischen Matrixmaterials und aufgrund der geänderten systemtechnischen Randbedingungen in der Pulverprozesskammer notwendig. Ziel ist die Fertigung der optimierten GDL im additiv-subtraktiven Prozess und die Evaluierung in einem Brennstoffzellenprüfstand.

Auf diese Weise trägt das ICM-Projekt AddPEM durch Grundlagenforschung auf dem Gebiet neuartiger Fertigungsprozesse basierend auf der Kombination additiver und subtraktiver Laserbearbeitung zur Erschließung der Wasserstofftechnologie bei. Die fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Instituten aus Stuttgart und Karlsruhe ist ein gelungenes Beispiel für die hervorragende Einbindung des Innovationscampus Mobilität der Zukunft in die Forschungslandschaft in Baden-Württemberg.

Danksagung: Die Autoren danken dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (MWK) für die Förderung im Rahmen des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft.

KONTAKT:
M.Sc. Matthias Buser
Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)
Pfaffenwaldring 43
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 60371
matthias.buser@ifsw.uni-stuttgart.de
www.ifsw.uni-stuttgart.de