



# TU Clausthal

Clausthal University of Technology

## **Untersuchungen zum Ultraschall- schweißen von Gasdiffusions- schichten mit graphithaltigem Gasverteiler in Brennstoffzellen**

**V. Wesling, A. Al Masri, P. Giese, J. Hamje  
T. Hickmann,**

Technical Report Series

Fac3-15-04



Faculty of  
Mathematics/Computer Science  
and Mechanical Engineering  
Clausthal University of Technology

## Impressum

Publisher: Fakultät für Mathematik/Informatik und Maschinenbau,  
Technische Universität Clausthal  
Am Regenbogen 15, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Germany

Editor-in-chief: Alfons Esderts

Technical editor: Martina Wächter

Contact: [martina.waechter@tu-clausthal.de](mailto:martina.waechter@tu-clausthal.de)

URL: <http://www.fakultaet3.tu-clausthal.de/forschung/technical-reports/>

ISSN: 1869-8018

## The Faculty of Mathematics/Computer Science and Mechanical Engineering Review Board

Prof. Dr. Frank Endres

Prof. Dr. Alfons Esderts

Prof. Dr. Stefan Hartmann

apl. Prof. Dr. Günter Kemnitz

Prof. Dr. Armin Lohrengel

Prof. Dr. Norbert Müller

Prof. Dr. Hubert Schwarze

Prof. Dr. Volker Wesling

# Untersuchungen zum Ultraschallschweißen von Gasdiffusionsschichten mit graphithaltigem Gasverteiler in Brennstoffzellen

V. Wesling  
A. Al Masri  
P. Giese  
J. Hamje  
T. Hickmann<sup>1</sup>

TU Clausthal - Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren

Agricolastraße 2  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon 05323 - 722503

## Abstract

Die Brennstoffzellen stellen aufgrund ihrer hohen Wirkungsgrade und Flexibilität eine erfolgsversprechende Energiequelle für die Zukunft dar. Bisher werden die Brennstoffzellenkomponenten mittels kraftschlüssiger Verbindung zusammengepresst. Während des Brennstoffzellenbetriebes befinden sich die größten ohmschen Verluste an der Oberfläche zwischen der Gasverteilerplatte und der Gasdiffusionsschicht (GDL). Nachstehend werden die ersten grundlegenden Untersuchungen zum Fügen hochgefüllter Graphit-Compounds mit thermoplastischem Binder und der Gasdiffusionsschicht mittels Ultraschallschweißen gezeigt. Dieses soll den Kontaktwiderstand zwischen der graphithaltigen Gasverteilerplatte und der GDL in einer NT-PEM-Brennstoffzelle reduzieren, die Montage des Stacks vereinfachen unter der Bedingung, dass die zugefügten Ultraschall-Longitudinalwellen die Funktionalität der GDL nicht beeinträchtigen.

---

<sup>1</sup> Eisenhuth GmbH und Co. KG, Friedrich-Ebert-Str. 203, 37520 Osterode, t.hickmann@eisenhuth.de

# 1 Einleitung

Das Ultraschallschweißen wurde 1950 in den USA bei der systematischen Erforschung des Widerstandspunktschweißprozesses zur Senkung des relativ hohen Übergangswiderstands von Aluminiumlegierungen entwickelt. Durch das neue Verfahren war es damals möglich, den Kontaktwiderstand an der Fügefläche der beiden Schweißpartner ohne komplizierte vorbereitende Maßnahmen zu senken. Ein Jahrzehnt später wurde das Ultraschallschweißverfahren für Kunststoffe in der Serienfertigung begonnen [1]. In unserer Zeit zählt das Verfahren zu den herkömmlichen Fügeverfahren für thermoplastische Serienteile.

Beim Kunststoffultraschallschweißen werden durch Longitudinalwellen Ultraschallschwingungen hervorgerufen. Diese werden durch Konverter, Booster und anschließend eine Sonotrode auf die gemeinsamen Grenzflächen der Fügepartner übertragen. Dadurch werden eine Reihe intermolekulare und Grenzreibungen im Gange gesetzt. Der Kunststoff beginnt an der Fügezone zu erweichen. Bei zunehmendem Dämpfungsfaktor, beschleunigt sich die Reaktion, wodurch ein größerer Anteil der Schwingungsenergie in Wärme umgesetzt wird. Damit steigt die Temperatur der Kunststoffteile, bis ihr Schmelzpunkt erreicht wird. Die Verschweißung tritt infolge dieser Wärme ein. Dadurch kommt es zu Mischungen und Umschließung der beiden Molekülketten [2].

In der PEM-Brennstoffzelle zählt die Gasdiffusionsschicht (GDL) zu den wichtigen Bestandteilen. Sie befindet sich auf jeder Seite der Membran-Elektroden-Einheiten (MEA). Die Hauptaufgaben der GDL sind die gleichmäßige Zufuhr der Brenngase von der Gasverteilerplatte an die MEA, bei gleichzeitigem Abtransport des erzeugten Stroms und der Wärme an dieser Platte. Heutzutage wird der gesamte Stack einer Brennstoffzelle mit einem Anpressdruck von 20 bar zusammengedrückt [3]. Trotz dieses hohen Druckes entstehen an der Übergangsfläche zwischen Gasverteilerplatte (GVP) und GDL die höchsten ohmschen Verluste die zur Leistungsabnahme des gesamten Stacks führen. Dieses Problem kann man zum einen durch Erhöhung der Protonenleitfähigkeit der MEA und zum anderen durch eine Reduzierung des Kontaktwiderstands zwischen GDL und MEA beseitigen [4]. Viele Untersuchungen haben gezeigt, dass die Vorspannkraft, mit der der gesamte Stack zusammengepresst wird, einen großen Einfluss auf den Kontaktwiderstand an dieser Stelle hat. In vielen Literaturstellen wurde schon gezeigt, dass je höher die Zusammenpressung des Stacks ist, umso geringer wird der Kontaktwiderstand und somit steigt die Effizienz der PEM-Brennstoffzelle [5, 6,7].

Ziel dieser Untersuchung war die Überprüfung der Schweißbarkeit von Graphit-Hochgefüllten-Gasverteilerplatten mit der GDL mittels des Ultraschallschweißens. In den folgenden Untersuchungen wurden die hergestellten Verbindungen metallographisch untersucht. Dabei ging es in den ersten Versuchen darum, den Einfluss der 20 KHz Ultraschallschwingungen auf die Fügefähigkeit der GDL zu überprüfen.

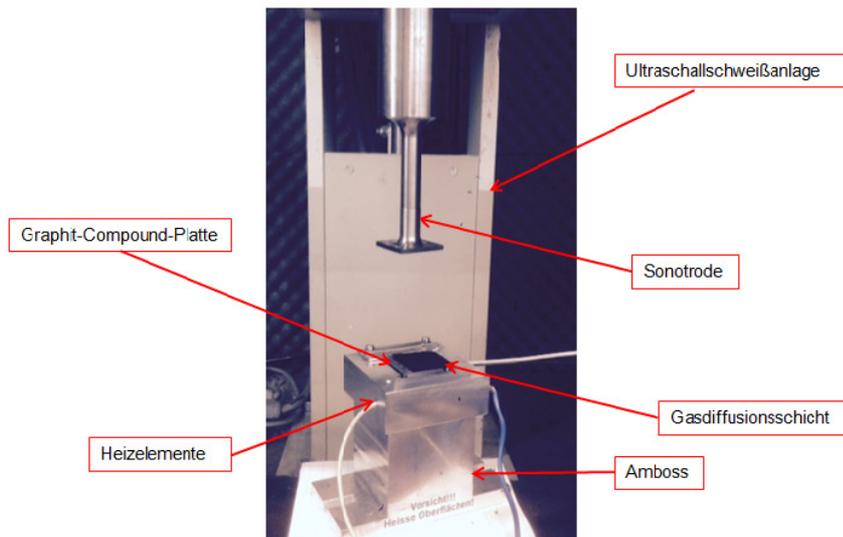


Abbildung 1 : Verwendete Ultraschallschweißanlage und Einbaulage des Versuchs

## 2 Schweißversuche

Es wurden Versuche zum Verbinden der GDL Schicht mit einem leitfähigen Graphit-Compound (BMA5) mittels Ultraschallschweißen durchgeführt. Solche Compounds werden bei der Firma Eisenhuth GmbH & Co. KG in Osterode hergestellt.

Bei den Voruntersuchungen wurde eine stufenförmige Sonotrode mit einem  $\varnothing$  16mm verwendet. Bei dieser schwingt die gesamte Kontaktfläche mit konstanter Schweiß-Amplitude. Durch die Radien an der Sonotrodenspitze wurde ein Bruch der BMA5 Platte vermieden.

Die BMA5 Platte besteht aus 85% Graphit als Füller und PVDF als Bindematerial. Da der Graphit eine höhere Schmelztemperatur als PVDF besitzt, musste eine Zähigkeitserhöhung der Platte erzielt werden, indem man die Platte vor dem Schweißvorgang erwärmt. Dadurch wird ein Erweichen der Platte erzielt.

Diese Vorerwärmung der Graphit-Compound-Platte erfolgt durch Erwärmung des Ambosses der Ultraschall-Schweißanlage mittels Heizelementen (Abbildung 1). Durch spezielle Regelkreise konnte die Vorerwärmungstemperatur überwacht werden. Gleichzeitig wurden Versuche zum Ultraschallschweißen mit einem rechteckigen 30 mm x 30 mm x 3 mm Sonotrodenspitze (Abbildung 2) durchgeführt. Das Schwingungsverhalten dieser Sonotrodenform und dessen Einfluss auf die Fügemechanismen waren zu Beginn der Untersuchungen unbekannt. Ziel war es, durch Gewichtsreduzierung höhere Amplituden zu erzielen. Bei den Schweißungen wurde jedoch festgestellt, dass bei dieser Bauform starke Amplitudenschwankungen an den Sonotroden-Ecken auftreten, was zur langen Schweißzeiten, höherer Schweißenergie und schlechterer Reproduzierbarkeit der Schweißungen beigetragen hat (Tabelle 1).

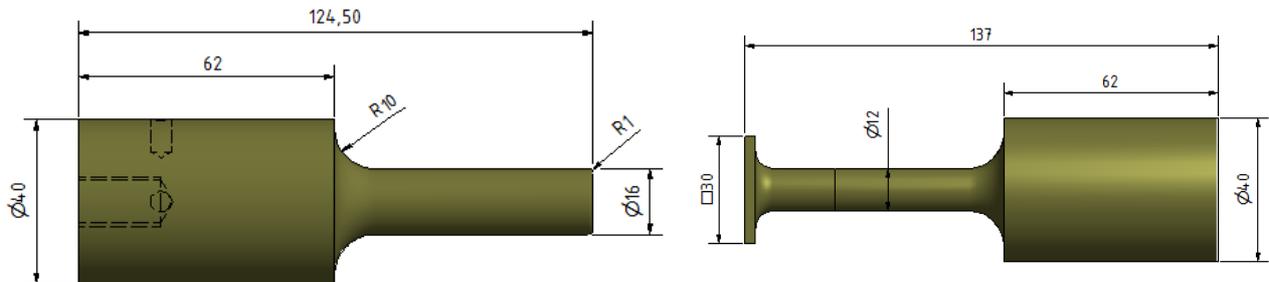


Abbildung 2: CAD Modell der verwendeten Sonotroden

Die Vermessung der Schwingungsamplitude mittels Lasersensor in der Mitte und an der Spitze ergab starke lokale Unterschiede. Während sie in der Mitte ca. 8,4  $\mu$ m betrug, wurden an der Ecke ca. 80  $\mu$ m gemessen. Diese Tatsache führte zur Veränderung der Schweißparameter im Vergleich mit der anderen Sonotrode, vor allem zur 10-fachen Erhöhung der Anpresskraft und der Schweißenergie. Voruntersuchungen zu Schweißungen der GDL auf einer Bipolarplatte mit Mäander-Kanalstrukturen haben gezeigt, dass hohe Energien und Fügekräfte zur Zerstörung der Kanalstege führen.

Material	<b>BMA5</b>	<b>BMA5</b>
Sonotordengeometrie an der Fügezone	$\varnothing$ 16mm	$\square$ 30mmx30mm
Sonotroden-Amplitude [ $\mu$ m]	29	5 (Mittelpunkt)
Sonotroden-Frequenz [Hz]	19486	18316
Schweißzeit $t_s$ [s]	0,7	5
Haltezeit $t_h$ [s]	0,5	4
Schweißenergie E [J]	30	2000
Anpresskraft P [N]	70	2000
Vorwärmtemperatur T [ $^{\circ}$ C]	50	140

Tabelle 1: Verwendete Schweißparameter

### 3 Metallographische Untersuchungen

Durch Erwärmung der BMA5 Platte auf die Erweichungstemperatur der PVDF konnte eine Verbindung mit der GDL hergestellt werden. In (Abbildung 3) ist das Eintauchen der Kohlefaser in das Graphitmaterial zu erkennen. Diese Untersuchung diente nur zur Verdeutlichung des Bindungsmechanismus nach dem Ultraschallschweißen. Zu erkennen ist weiterhin der wellenförmige Verlauf der BMA5 Oberfläche an der Fugeebene. Dies ist durch den Schweißdruck entstanden.

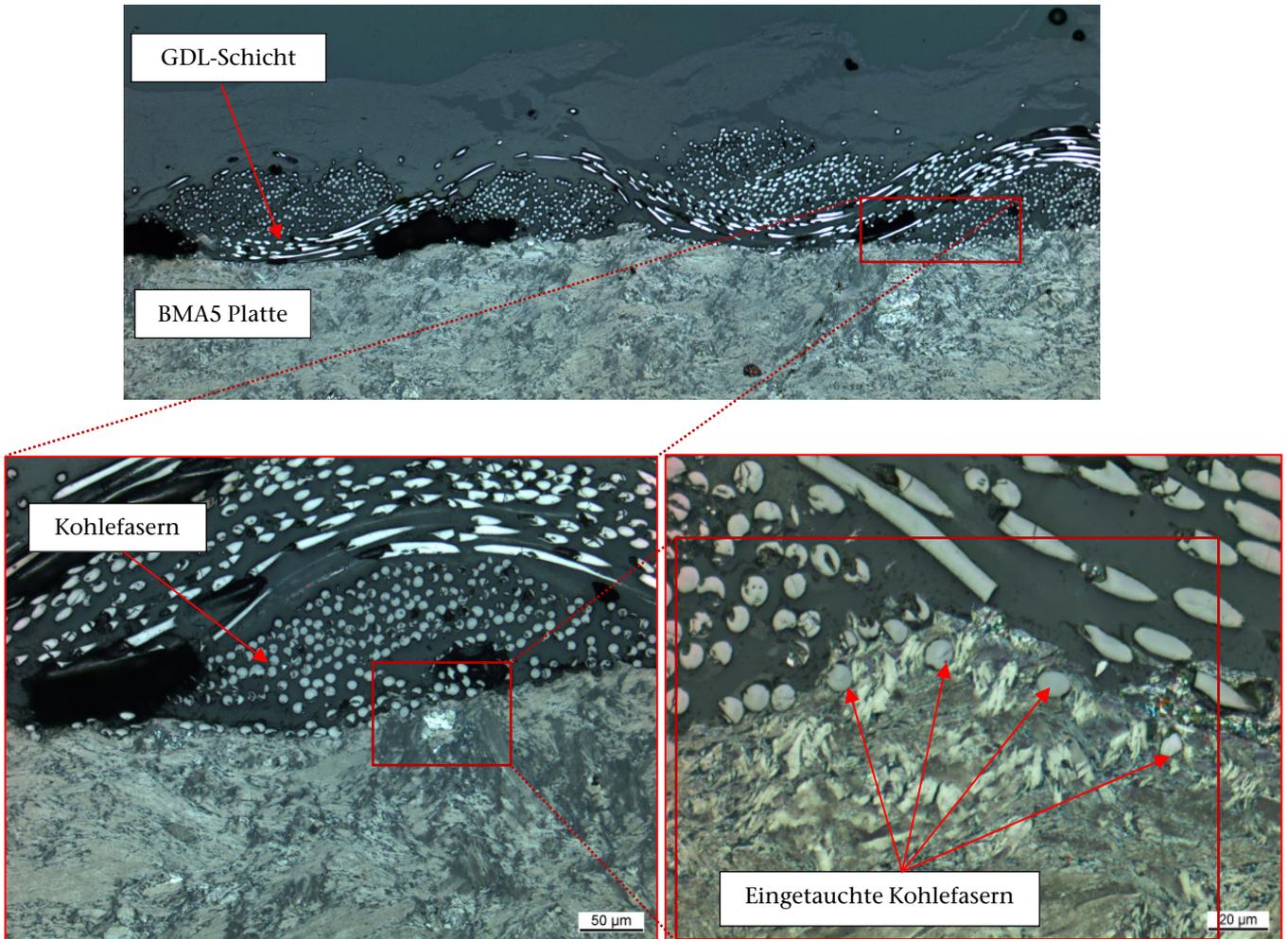


Abbildung 3: Schliffbilder der Fügezone beim Ultraschallschweißen von BMA5-GDL mit Ø16 mm Sonotroden Spitze

Beim Fügen des GDL mittels rechteckigen Sonotrode ist zu erkennen, dass die Anzahl der eingetauchten Kohlefasern geringer ist als mit der Ø16 mm Sonotrode (Abbildung 5).

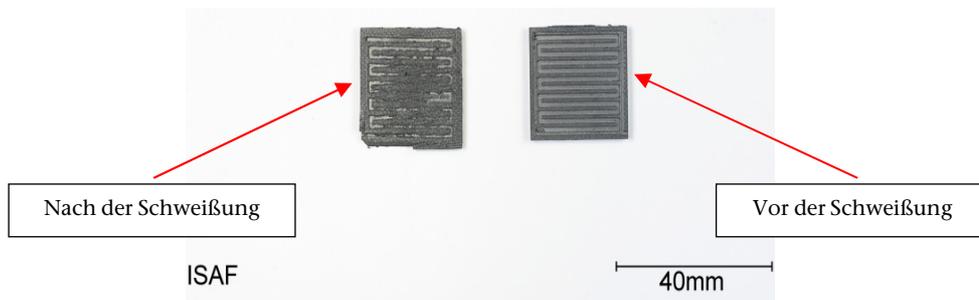


Abbildung 4: US geschweißte BBP mit GDL

Es kam meistens nur zu einer oberflächlichen Verklammerung der Fasern, nicht zum vollständigen Eintauchen in das Substratmaterial. Die Fügefläche zeigt jedoch gitterförmige Anpressdruckspuren, die auf eine formschlüssige Verbindung hindeuten (Abbildung 5A).

Bei weiteren Untersuchungen an einer PEM Bipolarplatte (30mm x 30mm x 1,5mm) mit Mäander-Kanal-Struktur wurde erkennbar, dass die Fügekraft von 1500N der rechteckigen Sonotrode zur kompletten Zerstörung des Kanalverlaufs führten (Abbildung 4). Im Gegensatz zu den anderweitig untersuchten Verbindungen von Compound-Platten mit Nickelnetzen ist der Schweißparameterbereich somit deutlich eingeschränkt [8].

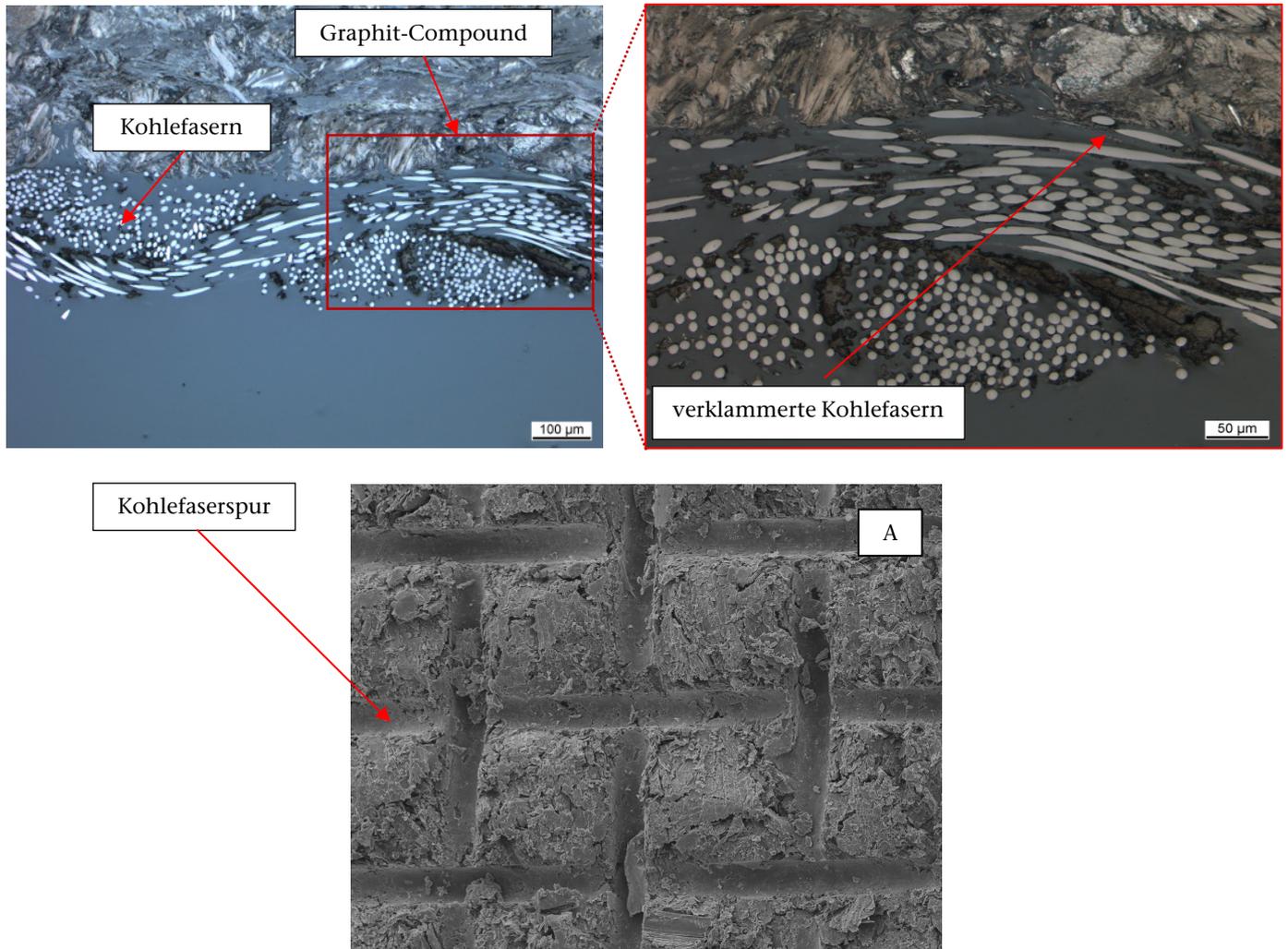


Abbildung 5: Schlifffbilder der Fügezone beim Ultraschallschweißen von BMA5-GDL mit □30mmx30mmx3mm Sonotrodenspitze sowie die Fügefläche ohne GDL(A)

## 4 Zusammenfassung

Die durchgeführten Versuche dienen zur Erweiterung des Anwendungsspektrums dieses Ultraschallschweißens. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Voruntersuchungen zeigen, dass eine direkte Anbindung der GDL an Graphit-Compound möglich ist. Die erreichten Ergebnisse müssen jedoch später vertieft werden, mit dem Ziel, eine stabile Verbindung herzustellen und die Funktionalität u.a. elektrische Leitfähigkeit der GDL zu gewährleisten. Zur Erreichung dieses Ziels werden weitere geplante Untersuchungen mit unterschiedlichen Sonotroden-Geometrien zur Reduzierung der notwendigen Schweißenergie, des Fügedrucks und der Schweißzeit und somit zur Vermeidung einer Zerstörung der Gefüge der beiden Verbundpartner durchgeführt. Die rechteckige Sonotrodenspitze führte zu einer starken Dämpfung der Frequenz und zur schlechten Verbindung in der Mitte aufgrund der Amplitudenverhältnisse. Laufende Untersuchungen setzen hauptsächlich stufenförmige Sonotroden mit rechteckiger Struktur entlang der gesamten Körper ein, um eine gleichmäßige ungedämpfte

Frequenzverteilung in der Sonotrode zu erzielen. Nach Abschluss dieser Phase ist geplant, die elektrische Leistungsfähigkeit dieser Verbindung durch Bau einer PEM-Brennstoffzelle zu testen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Wodara, J.: Ultraschallfügen und -trennen. Fachbuchreihe Schweißtechnik. DVS Verlag, 2004
- [2] Born, C.: Ultraschallschweißen zellulärer metallischer Werkstoffe mit Blechen. Werkstoffkundliche Berichte, Band 11, Hrsg. Prof. Dr.-Ing. habil. D. Eifler, Technische Universität Kaiserslautern, 2004
- [3] N.N.: Graphene in Brennstoffzellen und Lithium-Ionen-Batterien Forschungsvorhaben 03X0112, ZBT GmbH Duisburg, 2012
- [4] Ismail, M. ; Ingham, D.B.; Ma, L.; Pourkashanian, M. : The contact resistance between gas diffusion layers and bipolar plates as they are assembled in proton exchange membrane fuel cells, Renewable Energy, vol. 52, pp.40-45, 2013.
- [5] Al-Baghdadi MARS, Al-Janabi HAK. Parametric and optimization study of A PEM fuel cell performance using three-dimensional computational fluid dynamics model. Renewable Energy, 32:1077e101, 2007
- [6] Akbari MH, Rismanchi B. Numerical investigation of flow field configuration and contact resistance for PEM fuel cell performance. Renewable Energy, 33, 1775-1783, 2008
- [7] Chang, W.R.; Hwang, J.J.; Weng F.B.; Chan, S.H.: Effect of clamping pressure on the performance of a PEM fuel cell, Journal of Power Sources 166 149–154, 2007
- [8] Wesling, V.; Kunz, U.; Hickmann, T.; Giese, P.; Grimm, H.; Al Masri, A: [Herstellung von Ni-Funktionsflächen an Graphit-Compound-Platten mittels Ultraschallschweißen](#), Fac3-15-03 December 2015, 10 pp.