

Florian Bürkle

Untersuchung interferometri- scher Messtechniken zur hoch- auflösenden Geschwindigkeits- und Temperaturprofilmessung für Fluide in Brennstoffzellen

Dresdner Berichte zur Messsystemtechnik

Band 18

Florian Bürkle

**Untersuchung interferometrischer Messtechniken
zur hochauflösenden Geschwindigkeits-
und Temperaturprofilmessung für Fluide
in Brennstoffzellen**

Shaker Verlag
Düren 2023

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Dresden, Techn. Univ., Diss., 2022

Copyright Shaker Verlag 2023

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8951-6

ISSN 1866-5519

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzfassung

Die Kenntnis der in technischen, biologischen oder medizinischen Prozessen vorliegenden Strömung erlaubt einen Einblick in die zu Grunde liegenden physikalischen und chemischen Vorgänge, beispielsweise in Brennstoffzellen, Lab-on-a-Chip-Systemen, Nasskuppelungen, thermischen Schichtspeichern oder Bioreaktoren. In all diesen Beispielen finden sich Strömungen in engen Kanäle ($d < 1 \text{ mm}$), mit großen Geschwindigkeitsgradienten und Temperaturunterschieden, bei deren Messung eine hohe Ortsauflösung, eine niedrige Geschwindigkeitsunsicherheit und ein hoher Arbeitsabstand erforderlich sind. Zur Untersuchung thermischer Effekte ist die zusätzliche Erfassung der Temperatur nötig.

Ein Messsystem, welches eine hohe Ortsauflösung und eine geringe Geschwindigkeitsunsicherheit vereint, ist der Laser-Doppler-Geschwindigkeitsprofilsensor (LDV-PS). Dieser stellt eine Erweiterung des konventionellen Laser-Doppler-Velozimeters dar. Statt nur eines Interferenzstreifenmusters werden im Messvolumen zwei Interferenzstreifenmuster mit charakteristischen Streifenabstandsverläufen überlagert. Diese Mehrfachmessung ermöglicht die Überwindung der heisenbergschen Unschärferelation. Forschungsbedarf besteht noch bei der Temperaturmessung, welche mit dem LDV-PS bisher noch nicht möglich ist, und der Messung in dispersiven Medien, da sich in diesen die Kalibrierung ändert.

Der Aufbau des LDV-PS erfolgt im Zeitmultiplex, d. h. beide Streifensysteme sind abwechselnd aktiv. Ein monochromatischer Aufbau eliminiert Dispersionseffekte bei der Messung in Flüssigkeiten und ermöglicht den Einsatz lumineszierender Streupartikel zur Unterdrückung von Wandreflexen. Dies erlaubt Geschwindigkeitsmessungen von mehreren 10 m/s mit gleichbleibend geringer Messunsicherheit auch bei großem Arbeitsabstand, welche zuvor nicht möglich waren.

Bei Messungen in dispersiven Medien ist ein Übergang der Laserstrahlen von Luft in das dispersive Medium unvermeidbar. Die Kalibrierung im dispersiven Medium wurde in dieser Arbeit durch Berechnung eines Kalibriermodells, welches sowohl geometrische als auch gaußsche Optik beachtet, obsolet. Relative systematische Messabweichungen von bis zu $6,5 \%$, die durch den Übergang entstehen, können auf weniger als $0,1 \%$ korrigiert werden. Damit konnten erstmals wandnahe Messungen innerhalb eines Strömungsmodells eines neuartigen Ofens zur Züchtung von Siliziumkristallen durchgeführt werden.

Eine Anwendung des LDV-PS war die Messung der Strömungsverteilung eines Brennstoffzellenstapelmodells. In einem solche Stapel werden alle Brennstoffzellen über einen Einlassverteiler mit Reaktionsgas versorgt. Eine Ungleichverteilung des Reaktionsgases sorgt für eine geringere Effizienz und Lebensdauer des gesamten Stapels. Im Experiment konnte mit Hilfe eines Einsatzes für den Einlassverteiler die Ungleichverteilung von 10% auf 4% reduziert werden. Mit diesen Ergebnissen kann die Effizienz realer Brennstoffzellenstapel durch Optimierung der Strömungsverteilung erhöht werden.

Die Messung der Temperatur wurde durch die Kombination des LDV-PS mit laserinduzierter Fluoreszenz (LIF) realisiert. Über die Temperaturabhängigkeit der Intensität zweier Farbstoffe, welche in Streupartikeln gelöst sind, konnte die Temperatur mit einer Messabweichung von weniger als 1°C gemessen werden, ohne dass die Ortsauflösung oder Geschwindigkeitsunsicherheit negativ beeinflusst wurden. Die Temperaturunsicherheit kann auf Kosten der Ortsauflösung weiter verbessert werden und umgekehrt. Der LDV-PS wurde damit zu einem Mikrometer auflösenden Strömungsmesssystem für die Geschwindigkeits- und Temperaturmessung, welches beim Einsatz in den eingangs genannten Prozessen zu Fortschritten, zu welchen höhere Wirkungsgrade, geringere Verlustleistungen und erhöhte biologische Aktivität gehören, führt.