

Dresdner Berichte zur Messsystemtechnik

Band 7

Mathias Neumann

**Untersuchungen von Sensorsystemen für die
hochaufgelöste, nichtinvasive Vermessung von
Strömungsfeldern, Volumenkräften und Turbulenzen**

Shaker Verlag
Aachen 2013

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., 2013

Copyright Shaker Verlag 2013

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2236-0

ISSN 1866-5519

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

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

Strömungen spielen in vielen technischen Anwendungen, wie z. B. bei der Aerodynamik oder bei Verbrennungsprozessen in Motoren und Turbinen, eine wichtige Rolle. Durch ein besseres Verständnis und eine anschließende aktive Beeinflussung der auftretenden Strömungen können wichtige Anwendungen weiterhin optimiert werden. Dazu bedarf es nichtinvasiver und hochauflösender Messtechniken.

Der Laser-Doppler-Geschwindigkeitsprofilsensor (LDV-PS) ist ein Vertreter dieser Messsysteme. Er basiert auf dem Prinzip der Dopplerfrequenzverschiebung von Streulicht. Diese tritt auf, wenn bewegte, das Strömungsverhalten repräsentierende Seedingpartikel das Messvolumen des Sensors passieren. Der LDV-PS ermöglicht durch die Auswertung der Frequenzverschiebung die Bestimmung einer Geschwindigkeitskomponente und einer Ortskoordinate des Partikels. Die schlechte Zeitauflösung des LDV-PS, die durch die geringe maximale Messrate von einigen zehn Hertz bedingt war, stellte jedoch ein bedeutsames und bisher ungelöstes Defizit für Turbulenzuntersuchungen dar. Auch war der LDV-PS bisher nicht in der Lage mehrdimensionale Strömungsfelder mehrkomponentig zu erfassen, was bei vielen Anwendungen notwendig ist. Die Ziele dieser Arbeit waren daher die Verbesserung der zeitlichen Auflösung, also die Steigerung der Messrate, und die Umsetzung sowie der Einsatz eines mehrkomponentigen, mehrdimensionalen LDV-PS.

Um diese Ziele zu erreichen wurde die Modell-MKQ, eine neue Signalverarbeitungstechnik zur Doppelburst-Auswertung, entwickelt. Sie erlaubt es die Limitierung des LDV-PS auf Einzelpartikelstreuung zu überwinden und überlagerte Streulichtsignale akkurat auszuwerten. Dadurch können die Validierungs- und somit auch die Messrate gesteigert werden. Durch Simulationen konnte ebenfalls eine Reduktion der Messunsicherheit um den Faktor fünf gegenüber konventionellen Algorithmen gezeigt werden. Eine weitere Neuerung ist die Mehrfachdetektion, bei der das Messvolumen des LDV-PS in mehrere Detektionsvolumina aufgeteilt und eine parallele Streulichtsignalerfassung und -verarbeitung ermöglicht werden. Zusätzlich wurden die Soft- und Hardware bei der Datenerfassung optimiert, sodass eine Parallelverarbeitung der Messdaten auf Mehrkernprozessoren durchgeführt werden können. Als Resultat konnten Messraten von über hundert Kilohertz, das bedeutet eine Steigerung um mehrere Größenordnungen, demonstriert werden.

Mit den in dieser Arbeit vorgestellten weiterentwickelten, mehrkomponentigen laseroptischen Messsystemen werden Strömungsanalysen mit einer Orts- und Zeitauflösung von weniger als $2\text{ }\mu\text{m}$ bzw. $15\text{ }\mu\text{s}$ ermöglicht. Zu Demonstrationszwecken wurden Messungen an Düsenströmungen durchgeführt und die auftretenden Wirbelstrukturen sowie deren Unsicherheiten ermittelt. Der Vergleich mit Ergebnissen aus Hitzdrahtmessungen führte zu übereinstimmenden Resultaten. Somit konnte gezeigt werden, dass selbst kleinste Strukturen in hochturbulenten Strömungen aufgelöst und analysiert werden können, wie sie beispielsweise in Flugzeugtriebwerken auftreten.

Könnte z. B. mittels Strömungskontrolle der Wirkungsgrad von Flugzeugturbinen um nur 0,5 % gesteigert werden, würden allein bei einer mittelgroßen Airline bereits mehrere Millionen Liter Kerosin pro Jahr eingespart werden (siehe Dissertation – Zitat [78]). Dies wäre ein geradezu unschätzbarer Mehrwert für den Klimaschutz.

In diesen Triebwerken sollen aus diesem Grund zukünftig neuartige Plasma-Aktoren integriert werden, die durch Strömungskontrolle eine Effizienzsteigerung der Turbinen von bis zu theoretisch 1 % erzielen können. Jedoch ist die genaue Wirkungsweise derartiger Plasma-Aktoren noch nicht hinreichend verstanden. Um diese Fragestellung zu beantworten wurde daher ein laserbasiertes Messsystem für die berührungslose optische Kraftmessung realisiert und eingesetzt. Mit dessen Hilfe konnten weltweit erstmalig die Verläufe der von einem Plasma-Aktor erzeugten Volumenkräfte mit einer Zeitauflösung von unter $10\text{ }\mu\text{s}$ erfasst und es konnte ein alternierender Krafteintrag nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse stellen einen entscheidenden Schritt auf dem Weg zur Optimierung von Plasma-Aktoren und deren Einsatz in Turbinen dar.