

Dresdner Berichte zur Messsystemtechnik

Band 4

Michael Eggert

**Reduzierung der systematischen Messunsicherheit
in der Doppler-Global-Velocimetry durch den Einsatz
von Laserfrequenzumtastverfahren**

Shaker Verlag
Aachen 2010

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., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9647-6

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

Kurzfassung

Optische Verfahren kommen in vielen Anwendungsbereichen der Strömungsmesstechnik zum Einsatz. Dreikomponentige, mehrdimensionale Verfahren besitzen hierbei eine besondere Bedeutung in der Analyse komplexer Strömungsvorgänge. Die Doppler-Global-Velocimetry (DGV) ist ein spektroskopisches Verfahren zur dreikomponentigen Messung von Strömungsgeschwindigkeitsfeldern, welches auf der orts aufgelösten Messung der geschwindigkeitsabhängigen Dopplerfrequenzen bei der Streuung von Laserlicht aus einem Lichtschnitt basiert. Aus der frequenzabhängigen Transmission des Streulichts durch eine Absorptionszelle kann über eine Kalibrierung auf die Frequenzverschiebung und damit auf die Geschwindigkeit geschlossen werden.

Bei konventionellen DGV-Verfahren wird das Streulicht über einen Strahlteiler auf eine Referenzkamera und durch die Absorptionszelle auf eine Messkamera abgebildet, um anhand der Intensitäten die Transmission bestimmen zu können. Eine Polarisationsabhängigkeit des Strahlteilers, unterschiedliche Abbildungen in Mess- und Referenzzweig, eine unterschiedliche Charakteristik korrespondierender Bildpunkte beider Kameras und fluktuierende Dunkelbild- und Fremdlichtintensitäten führen hierbei zu systematischen Messabweichungen, die in der Literatur mit bis zu 5 m/s beziffert werden. Änderungen der Absorptionszellentemperatur zwischen Kalibrierung und Messung können zu weiteren Messabweichungen führen.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung und Umsetzung eines selbstkalibrierenden DGV-Verfahrens mit Laserfrequenzumtastung, welches keine Referenzkamera benötigt und somit die genannten Messunsicherheitsbeiträge reduziert. Durch die Auswertung von Bildfolgen bei verschiedenen, definierten Laserfrequenzen auf beiden Absorptionslinienflanken werden die Einflüsse von Fremdlicht und Dunkelbild eliminiert. Gleichzeitig erlaubt die Erfassung der Steigungen an den Absorptionslinienflanken, den Einfluss der Absorptionszellentemperatur zu minimieren. Messungen an einer rotierenden Scheibe zeigen systematische Messabweichungen von unter 0,2 m/s für Geschwindigkeiten bis 30 m/s und eine Reduzierung der Temperaturabhängigkeit auf ein Viertel gegenüber Messungen ohne Selbstkalibrierung.

Insbesondere bei Messungen mit geringer Streulichtleistung und kurzen Belichtungszeiten, in denen veränderliche Fremdlicht- und Dunkelbildeinflüsse bei konventionellen DGV-Verfahren eine zunehmende Rolle spielen, erlaubt das frequenzumtastende Verfahren die Anwendung erweiterter Mittelungstechniken. So konnten erstmals kamerabasierte, phasenaufgelöste DGV-Messungen des turbulenten Strömungsfeldes hinter einem quer angeströmten Zylinderstumpf durchgeführt werden. Hierbei wurden Standardabweichungen von unter 0,7 m/s für phasenaufgelöst an einzelnen Bildpunkten gemessene und unter 0,2 m/s für gemittelte Geschwindigkeiten erreicht, obwohl die Streulichtintensität lediglich zwei Quantisierungsschritten des Sensors entsprach.

Das entwickelte und verifizierte, frequenzumtastende Verfahren erlaubt dreikomponentige DGV-Messungen mit niedriger systematischer Messabweichung auch in Anwendungen mit besonders niedriger Streulichtleistung, beispielsweise gegeben durch hohe zu erzielende Zeitauflösungen. Durch solche Messungen können die Analyse und das Verständnis turbulenter Strömungsvorgänge unterstützt werden.

Abstract

Optical flow measuring techniques are increasingly used in many applications in the field of fluid mechanics. Especially three component velocity measuring techniques are of particular importance for the analysis of complex flow fields. The Doppler Global Velocimetry (DGV) is a technique for measuring three velocity components in a two-dimensional flow field, based on the spectroscopical detection of the Doppler-induced frequency shift of laser light scattered from particles in the flow. An absorption cell is used to achieve a conversion of the frequency shift to intensity changes of the scattered light imaged on a camera. Premising a calibration of the absorption line, the frequency shift can be derived from the transmission of the scattered light.

In conventional DGV systems, a fraction of the scattered light is imaged on a second camera, in order to calculate the transmission from the ratio of intensities received by the measurement and the reference camera. Given by literature, systematic deviations up to 5 m/s may be caused by polarisation effects due to the splitting ratio, an image misalignment, different sensor characteristics of corresponding pixels and fluctuating dark image offsets or extraneous light. Variations of the absorption cell temperature between calibration and measurement may induce an additional deviation.

The aim of this work is the development and implementation of a self calibrating DGV technique based on laser frequency shift keying. Inherently, any influence of the splitting ratio, image misalignments and different sensor characteristics, extraneous light and dark image fluctuations are eliminated by the omission of the reference camera and the analysis of the frequency-dependent intensity changes in image sequences. Furthermore, by evaluating the absorption line slopes, the influence of the absorption cell temperature is minimised by this technique. Measurements on a rotating wheel, comprising velocities up to 30 m/s, show a systematic deviation of less than 0.2 m/s and a reduction of the temperature dependency to a fourth compared to techniques without self calibration.

Particularly in measurements based on low light intensities and a short exposure time, resulting in an increased influence of extraneous light and dark image fluctuations in conventional DGV systems, the frequency shift keying DGV technique allows the application of advanced averaging procedures. For the first time, phase resolved measurements of the turbulent flow field in the wake of a finite cylinder have been accomplished with a camera based DGV system. The standard deviation of below 0.7 m/s given by a phase resolved analysis based on single pixels, as well as a standard deviation of below 0.2 m/s for temporally and spatially averaged velocities, based on a mean intensity according to two digits in the gray scale value of single images, demonstrate the capability of this technique to suppress systematic influences.

The novel frequency shift keying technique which has consequently been developed and verified for different experimental conditions establishes the use of the Doppler Global Velocimetry for new applications requiring three component flow field measurements with high temporal resolutions and low systematic deviations at even low scattered light intensities. Such measurements will help to analyse and understand the behaviour of turbulent and complex flows.