Dresdner Berichte zur Messsystemtechnik

Band 8

Andreas Fischer

**Messbarkeitsgrenzen optischer Strömungsmessverfahren:
Theorie und Anwendungen**

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., Habil.-Schr., 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 978-3-8440-2404-3

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

Zusammenfassung

Die optische Messtechnik entwickelt sich rasant, wobei der Fortschritt wesentlich auf der anhaltenden Entwicklung optoelektronischer Komponenten wie zum Beispiel CCD- und CMOS-Kameras sowie leistungsstarker, modulierbarer Laser beruht. Hiervon profitieren auch optische Strömungsmessverfahren, die für die Luftfahrtindustrie von herausragender Bedeutung sind: Um trotz steigendem Kostendruck und höheren gesellschaftlichen Forderungen bestehen und wachsen zu können, werden effizientere, schadstoffärmere und leisere Triebwerke benötigt. Da Triebwerke Strömungsmaschinen sind, erfordert die Triebwerksoptimierung geeignete Strömungsmessverfahren.

Die Arbeit liefert mit der Untersuchung von Messbarkeitsgrenzen optischer Strömungsmessverfahren Beiträge, um aktuellen Herausforderungen z. B. der Triebwerksmesstechnik zu begegnen. Hierzu gehören die optische Charakterisierung von Einlaufströmungen, die Erforschung von Spaltströmungen in Verdichtern und Turbinen, die Untersuchung von Flammeninstabilitäten und das Verstehen der Interaktion zwischen Strömung und Schall zwecks Optimierung akustischer Dämpfungsglieder.

Als Beispiel diene zunächst die Untersuchung von unerwünschten Strömungszillationen in drallstabilisierten Brennern. Wegen der Modellunbestimmtheiten bei der Simulation turbulenter reaktiver Strömungen sind hierfür Messungen unerlässlich. Solche optischen Messungen stellen jedoch eine Herausforderung dar, weil sie unempfindlich bezüglich des Flammenleuchtens sein müssen und zudem eine hohe Messrate im Kilohertzbereich benötigt wird. Optische Strömungsgeschwindigkeitsmessverfahren lassen sich in Weg-Laufzeit- und Doppler-Verfahren unterteilen, wobei insbesondere das Potenzial von Doppler-Verfahren noch nicht vollständig erschlossen ist. Zum Beispiel sind mit der Doppler-Global-Velozimetrie bislang keine ausreichend hohen Messraten in Flammen erreicht worden. Dank der Identifizierung der Messbarkeitsgrenze ließ sich die Messrate steigern und die Messunsicherheit minimieren. Mit Hilfe einer Laserfrequenzmodulation gelang zudem die Entkopplung der Störung durch das Flammenleuchten vom Messsignal. Damit konnten Strömungszillationen in einer drallstabilisierten Flamme untersucht und schließlich mit Verbrennungsschwankungen in Zusammenhang gebracht werden. Über dieses Beispiel hinausgehend gelangen erstmals optische Mehrpunktmessungen in einer Einlaufströmung mit der geforderten Messrate, um die optische Charakterisierung solcher Strömungen zu ermöglichen. Zudem wurde die bei einem Turbinenrotor mit Squealervertiefungen auftretende Spaltströmung in einem Turbinenversuchsstand aufgelöst und damit Strömungssimulationen validiert. Auch besitzt das optimierte Messverfahren einen ausreichend hohen dynamischen Bereich von >1000 , so dass simultane Messungen des Schallschnelle- und Strömungsgeschwindigkeitsfeldes an Schalldämpfungsgliedern durchgeführt werden konnten. Diese Ergebnisse stellen Fortschritte der Messtechnik für die Optimierungsanstrengungen bei Flugzeugtriebwerken dar.

Einhergehend mit den Ergebnissen in der Anwendung wurden Fortschritte für die Messsystemtheorie erzielt. Beispielsweise gelang basierend auf der Cramér-Rao-Schranke ein fundamentaler Vergleich der Messbarkeitsgrenzen von Weg-Laufzeit- und Doppler-Messverfahren unter Berücksichtigung des die optischen Verfahren stets limitierenden Photonenschrotrauschens. Damit und durch weitere vertiefende modellbasierte Unsicherheitsbetrachtungen sind wichtige Grundlagen für die zukünftige Entwicklung und Anwendung von optischen Strömungsmesssystemen gegeben.