

DR.-ING. ANDREAS FISCHER



DR.-ING. ANDREAS FISCHER

27. Januar 1980 geboren in Dresden

1998 - 1999 Studium Elektrotechnik an der Technischen Universität (TU) Dresden, und
 Fachrichtung: Automatisierungs- und Regelungstechnik
 2000 - 2004 Diplomarbeit: Beiträge zur Regelung und Beobachtung eines Czochralski-Kristallzüchtungsprozesses, Prädikat: „mit Auszeichnung bestanden“
 seit März 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter, TU Dresden, Lehrstuhl für Mess- und Prüftechnik (Lasermesstechnik)
 Juni 2009 Promotion zum Doktoringenieur an der TU Dresden, Dissertation: Beiträge zur Doppler-Global-Velozimetrie mit Laserfrequenzmodulation – Präzise Messung von Geschwindigkeitsfeldern in turbulenten Strömungen mit hoher Zeitauflösung, Prädikat: „summa cum laude“
 seit Juli 2009 Leiter der Arbeitsgruppe Messsystemtechnik

BEITRÄGE ZUR DOPPLER-GLOBAL-VELOZIMETRIE MIT LASERFREQUENZMODULATION:
PRÄZISE MESSUNG VON GESCHWINDIGKEITSFELDERN IN TURBULENTEN STRÖMUNGEN MIT HOHER ZEITAUFLÖSUNG

MOTIVATION

Die Beschreibung turbulenter Strömungen ist eines der letzten großen ungelösten Probleme der klassischen Physik. Zur Erforschung des Verhaltens grundlegender Strömungen (z.B. Umströmung eines quer angeströmten Zylinderstumpfs) aber auch zur Optimierung technischer Prozesse (z.B. Energieeffizienzsteigerung von Turbomaschinen) werden flächenhafte Messungen der Strömungsgeschwindigkeit benötigt. Um kleine, schnelle Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeit erfassen zu können, bedarf es hoher Messraten (>10 kHz) bei kleinstmöglicher Messunsicherheit.

FORSCHUNGSANSATZ

Die Doppler-Global-Velozimetrie (DGV) ist ein berührungsloses Verfahren zur Messung von Geschwindigkeitsfeldern in Strömungen. Dabei wird die mit Streuteilchen angereicherte Strömung von Laserlicht flächig beleuchtet und durch eine molekulare Absorptionszelle hindurch auf eine Kamera abgebildet (Bild 1, links). Die Absorption in der Zelle hängt von der Lichtfrequenz ab, so dass sich die geschwindigkeitsabhängige Doppler-Frequenzverschiebung des an Partikeln gestreuten Lichts als Intensitätsänderung flächenhaft messen lässt. Da hierbei auch die Streulichtintensität einght, muss diese zwecks Korrektur mit einer zweiten Kamera gemessen werden. Dabei können jedoch Bildausrichtungs- und Strahlteilungsfehler auftreten. Deswegen wurden neuere DGV-Verfahren entwickelt, die nur eine Kamera benötigen (Bild 1, rechts). Sie basieren auf einer Laserfrequenzmodulation (FM) und der Auswertung sequentiell aufgenommenen Bilder. Ziel ist es, die bislang wenig erforschten DGV-Verfahren mit Laserfrequenzmodulation für die Analyse instationärer, turbulenter Strömungen grundlegend zu untersuchen. Die Erkenntnisse sollen in die Praxis überführt und ein optimiertes FM-DGV-Messsystem aufgebaut werden, welches signifikant höhere Messraten als der bislang üblichen 10 Hz ermöglicht.

ERGEBNISSE

Modellbildung und Simulation: Basierend auf einheitlichen Signalmodellen erfolgte erstmals die Berechnung der minimal erreichbaren Messunsicherheit sämtlicher DGV-Verfahren mit und ohne Laserfrequenzmodulation. Ein Vergleich zeigte, dass mit allen Verfahren nahezu gleiche Unsicherheiten erreichbar sind, wenn man allein die bei jedweder Photodetektion auftretenden Störungen (u.a. thermisches Rauschen und Schrotrauschen) berücksichtigt. Ein Ein-Kamera-Verfahren wurde letztlich bevorzugt, weil dessen Justierung einfacher ist und o.g. Fehlerquellen nicht auftreten.

Aufbau, Charakterisierung und Optimierung eines Messsystems: Das aufgebaute FM-DGV-Messsystem besteht aus einem frequenzmodulierten Diodenlaser der Wellenlänge 852 nm, einer mit Cäsiumgas gefüllten Absorptionszelle zur Frequenz-Intensitäts-Konversion und einem fasergekoppelten Detektorarray mit 25 Lawinendiioden zur Lichtdetektion. Durch den Einsatz des Photodiodearrays anstelle einer Kamera konnte die Messrate von 10 Hz auf 100 kHz gesteigert werden. Bei Mittelung wurden mit dem optimierten FM-DGV-Messsystem in Übereinstimmung zur Simulation minimale Unsicherheiten von einigen cm/s erreicht. Dies ist über 10mal geringer als bei herkömmlichen DGV-Systemen.

Validierung: Die Eignung des FM-DGV-Messsystems für die Untersuchung turbulenter Strömungen soll anhand der Messung in der verwirbelten Nachlaufströmung eines quer anströmten Zylinders demonstriert werden (Bild 2). Die außergewöhnlich hohe Messrate von 100 kHz und die Nutzung des Detektorarrays gestatten dabei erstmals die simultane Aufnahme von Geschwindigkeitsspektren an 25 Punkten. Eines ist exemplarisch im Bild 2 rechts dargestellt, wobei zur Validierung auch das mit einer Hitzdrahtsonde gemessene Spektrum eingezeichnet ist. Übereinstimmend zeigt sich bei 715 Hz eine Überhöhung, bei höheren Frequenzen fallen beide Kurven mit dem ungefähren Anstieg -5/3 ab. Die Überhöhung erklärt sich aus der Wirbelablösefrequenz, und der Abfall ist aus der Turbulenztheorie bekannt. Für höhere Frequenzen divergieren beide Kurven und das mit dem FM-DGV-System gemessene Spektrum konvergiert gegen einen konstanten Wert. Dieser Wert folgt aus der Messunsicherheit und ließ sich mit der Simulation korrekt berechnen. Demnach kann man zwar mit einer Hitzdrahtsonde höhere Frequenzanteile als mit dem FM-DGV auflösen, aber das FM-DGV arbeitet im Gegensatz zur Hitzdrahtsonde berührungslos und kann so beispielsweise in Turbomaschinen eingesetzt werden. Ein weiterer Vorteil ist die simultane Messung an mehreren Punkten.

AUSBLICK

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen soll das Messsystem weiter verbessert werden. Beispielsweise wird gegenwärtig an der Implementierung einer Eigenkalibrierung geforscht, um Störungen korrigieren zu können. Zudem sollen mit dem FM-DGV-Verfahren fortlaufend technisch relevante Strömungen bzw. Strömungsphänomene untersucht werden (Bild 3). Im Rahmen eines DFG-Projektes wird das FM-DGV-Messsystem demnächst bei Turbomaschinen zur Strömungsanalyse angewendet. Da das FM-DGV-Messsystem mehrkanalige Geschwindigkeitsmessungen mit hoher Messrate gestattet, eröffnen sich neue Perspektiven für die Turbulenz- und Korrelationsanalyse instationärer, turbulenter Strömungen.

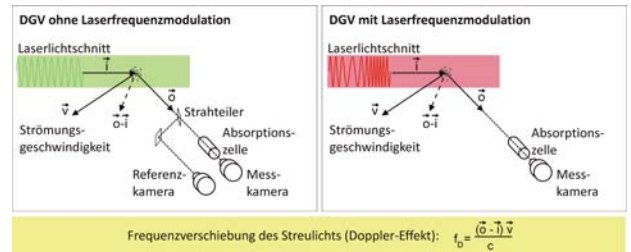


Bild 1: Aufbau von Doppler-Global-Velozimeter ohne (linkes Bild) und mit Laserfrequenzmodulation (rechtes Bild) sowie die zur Messung genutzte Beziehung zwischen der Strömungsgeschwindigkeit v und der Doppler-Frequenzverschiebung f_D des Streulichts, wobei c die Lichtgeschwindigkeit ist

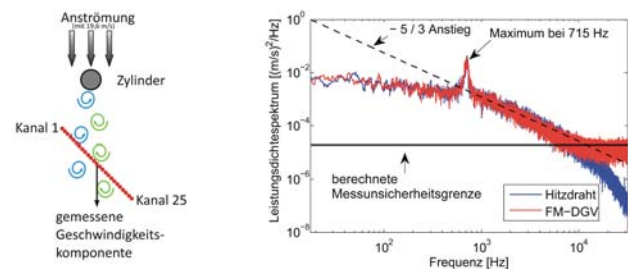


Bild 2: Anordnung der FM-DGV-Messung im Nachlauf eines quer anströmten Zylinders (links) und exemplarisch das Spektrum der mit 100 kHz gemessenen Geschwindigkeitswerte des Kanals 13 (rechts)

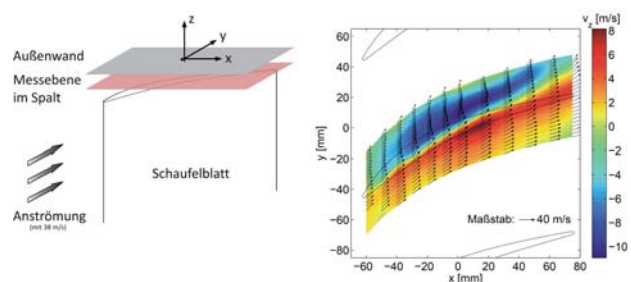


Bild 3: Untersuchung der Spaltströmung in einem Axialverdichtermmodell (links), wobei dreikomponentige, flächige Geschwindigkeitsmessungen mit dem FM-DGV-Messsystem durchgeführt wurden (rechts)