

## Optische Schallschnellemessung mittels Doppler Global Velocimetry

André Fischer<sup>1</sup>, Anne Rausch<sup>1</sup>, Friedrich Bake<sup>1</sup> und Ingo Röhle<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (DLR) Institut für Antriebstechnik, Abt. Triebwerksakustik, 10623 Berlin, Email: andre.fischer@dlr.de

<sup>2</sup> (DLR) Institut für Antriebstechnik, Abt. Turbine, 37073 Göttingen

### Einleitung

In einem Schallfeld ist die direkte Messung der Schallschnelle recht schwierig, weshalb meist auf das indirekte Verfahren der Zweimikrofonmethode zurückgegriffen wird. Dies ermöglicht aber nur die indirekte Bestimmung der Schallschnelle unter der Annahme eines Schallfeldmodells mit einer verknüpfenden Gleichung von Schnelle und Druck. Das hier vorgestellte laser-optische Messverfahren (DGV) erlaubt eine direkte Schnellemessung unter Ausnutzung des Dopplereffektes. Da es sich um ein nichtinvasives Messverfahren handelt, ermöglicht es die Messung der Schallschnelle an Orten, die nur schwer oder gar nicht für Mikrofone zugänglich sind. Bisher wird DGV als flächenhaftes Geschwindigkeitsmessverfahren in Strömungen angewendet mit einer Messgenauigkeit von  $0.5$  bis  $2 \text{ m s}^{-1}$  [1] und beruht auf der Intensitätsmessung gestreuten Lichts von Partikeln, die der Strömung beigegeben werden. Über ein optisches System wird die Messebene durch einen Laser beleuchtet und das Streulicht dieser Partikel wird über einen Detektor hinter einer Jodzelle aufgenommen. Da das gestreute Licht aufgrund der Partikelbewegung eine Dopplereffektverschiebung aufweist, wird diese Frequenzverschiebung mit Hilfe von Absorption durch eine Jodzelle in Intensitätsänderung umgewandelt. Voraussetzung ist eine genaue Kenntnis der stabilisierten Laserfrequenz sowie der Absorptionslinien von verdampftem Jod im Jodspektrum. Als Detektor wird zumeist eine CCD-Kamera verwendet, wodurch die Aufnahmegeschwindigkeit limitiert ist. Um die Aufnahmegeschwindigkeit zu erhöhen, wird in unserem Aufbau die CCD-Kamera durch einen Photomultiplier ersetzt, da dieser weitaus höhere Abtastfrequenzen zulässt.

### Versuchsaufbau und Durchführung

Als Messobjekt dient ein rechteckiger Plexiglas Kanal (Abb. 1), in dem durch wandbündige Mikrofonmessungen das akustische Druckfeld bestimmt wird. Die Anregung des akustischen Feldes erfolgt über einen Lautsprecher. Für den Versuch sind drei Anregungsfrequenzen gewählt,

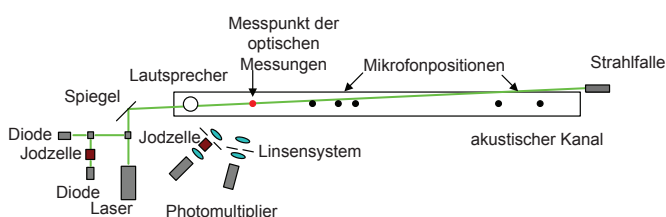


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Versuchsanordnung.

die sich durch folgende Eigenschaften auszeichnen:

- alle Anregungsfrequenzen bilden bestmöglich ein Stehwellenfeld im Kanal aus, da halbe Wellenlängen in den Kanal passen;
- alle Anregungsfrequenzen sind im Bereich der ebenen Wellenausbreitung;
- bei  $570.3 \text{ Hz}$  befindet sich die DGV-Messposition in der Nähe eines theoretischen Schnelleminimums, da sich für diese Frequenz ein Druckbauch im Kanal befindet;
- bei  $740.3 \text{ Hz}$  befindet sich die DGV-Messposition in der Nähe eines theoretischen Schnellemaximums, da sich für diese Frequenz ein Druckknoten im Kanal befindet.

Für  $570.3 \text{ Hz}$  und  $740.3 \text{ Hz}$  erfolgt eine Schallfeldanregung bei fünf verschiedenen Anregungsamplituden zwischen  $107 \text{ dB}$  und  $127 \text{ dB}$ , bei  $1143.3 \text{ Hz}$  erfolgen zwei Anregungen bei  $122 \text{ dB}$  und  $112 \text{ dB}$ . Das akustische Feld im Kanal wird durch eine Schallfeldzerlegung in zwei sich entgegengesetzt ausbreitende Wellen zerlegt. Dadurch ist es möglich für jede Position im Kanal den Schalldruck beider Wellen sowie der überlagerten Welle zu ermitteln. Unter der Annahme, dass die Schallkennimpedanz bekannt ist und gleichzeitig konstant entlang des Kanals, lässt sich das Druckfeld in ein Schnellefeld umrechnen. In der gezeigten Abb. 2 wird eine Schallkennimpedanz von  $413 \text{ N s m}^{-3}$  bei  $20^\circ\text{C}$  angenommen um das Schnellefeld zu berechnen.

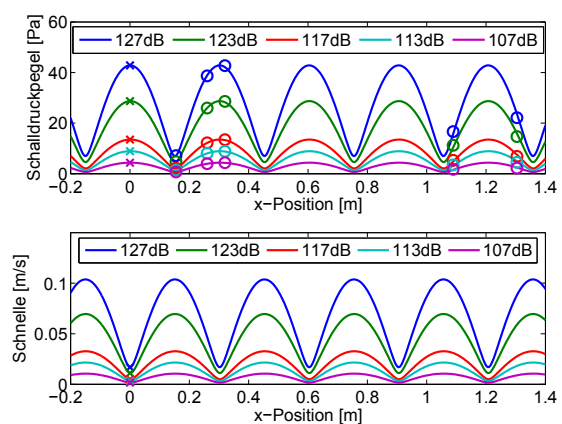


Abbildung 2: Ausschnitt des gemessenen Druckfeldes im Kanal (oben) und berechnetes Schnellefeld (unten) für eine Anregungsfrequenz von  $570.3 \text{ Hz}$ . -o symbolisiert die akustische Messposition und -x symbolisiert die optische Messposition

Parallel werden zu den Mikrofondaten, bei einer Abtastfrequenz von 16.384 kHz, jeweils zwei Photomultiplier- und zwei Diodensignale je 60 s lang aufgezeichnet. Beide Detektoreinheiten bestehen aus jeweils einem Referenzsignal (Detektor ohne vorhergehender Jodzelle) und einem transmittierten Nutzsignal (Detektor hinter einer Jodzelle). Mit Hilfe der Diodensignale wird während der Messung der Laser über einen externen Regelkreis stabilisiert. Während Datenaufbereitung wird aus dem Referenzsignal sowie dem Nutzsignal für die Dioden und für die Photomultiplier jeweils ein Transmissionsignal berechnet, welches der Quotient aus Nutzsignal und Referenzsignal ist. Diese Transmissionsignale werden in ihre spektralen Anteile zerlegt, wobei Rauschen durch eine Kohärenzfunktion [2] reduziert wird; hierfür wird als Referenz das Anregungssignal des Lautsprechers gewählt. Während einer Referenzmessung ohne akustische Anregung ist es möglich den Transmissionsverlauf der Jodzellen abzufahren. Dies geschieht durch eine gezielte Änderung der Laserstabilisierungsfrequenz. Auf Grund dieser Messung ist es möglich, in einem simulierten Transmissionsverlauf die eingestellte Stabilisierungsfrequenz zu finden (siehe Abb. 3). Die Laserstabilisierungsfrequenz ist so gewählt, dass sie sich auf einer steilen Flanke im Jodspektrum befindet. Dadurch erfahren bereits kleine Geschwindigkeiten und damit kleine Dopplerfrequenzverschiebungen starke Transmissionsänderungen. Durch die Referenzmessung ist es

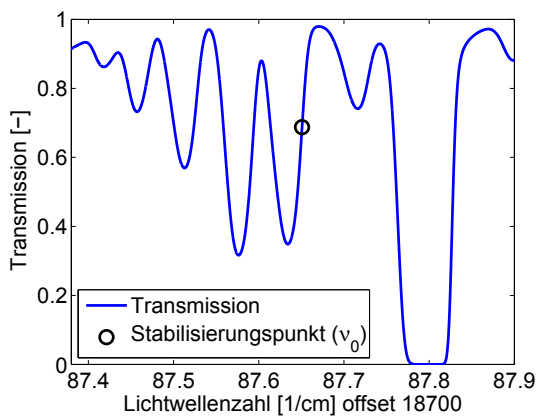


Abbildung 3: Ausschnitt des simulierten Transmissionsverlaufs der Diodenjodzelle und Stabilisierungspunkt des Lasers für die Messungen.

auch möglich eine Übertragungsfunktion für die Photomultipliertransmission zu bestimmen, mit Hilfe derer die Geschwindigkeit in der Messstrecke berechnet wird. Aus den Peaks in den Photomultipliertransmissionsspektren bei der jeweiligen Anregungsfrequenz lassen sich Transmissionsänderungen berechnen. Mit dem Wissen der Stabilisierungsfrequenz und der jeweiligen Transmissionsänderungen lässt sich die jeweilige Dopplerverschiebung des gestreuten Lichtes bestimmen. Diese Frequenzänderung wird letztlich über

$$\Delta\nu = \nu_0 \frac{\vec{o} - \vec{l}}{c} \cdot \vec{v} \quad (1)$$

in eine Geschwindigkeitsfluktuation umgerechnet [3]. Dabei entspricht  $\vec{l}$  der Laserrichtung und  $\vec{o}$  der Beobachterichtung.

## Ergebnisse und Diskussion

Der Vergleich der aus den akustischen Messung berechneten Schnelle an der optischen Messposition und der mittels DGV gemessenen Schnelle ist in Abb. 4 gezeigt. Dabei ist eine sehr gute Übereinstimmung zu sehen, wobei auffällt, dass für sehr kleine Schnellewerte (unter  $0.01 \text{ m s}^{-1}$ ) die DGV-Messungen eher eine zu große Schnelle messen. Auffällig ist auch die Abweichung in Messnummer 7, was vermutlich auf inhomogene Seedingverteilung zurückzuführen ist, dessen Einfluss vernachlässigt wurde. Letztlich zeigt die gute

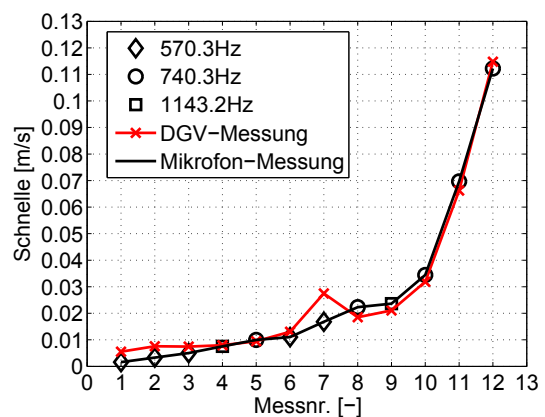


Abbildung 4: Berechnete Schnelle aus den Mikrofondaten im Vergleich zur gemessenen Schnelle mit DGV.

Übereinstimmung der Daten das hohe Potential dieser Messtechnik für Akustikanwendungen. Die Messtechnik bietet die Möglichkeit Schnelle direkt und kalibrationsfrei zu messen, gleichzeitig kann sie in Kombination mit Mikrofonmessungen zukünftig verwendet werden, um Impedanzen (z.B. von dämpfenden Oberflächen) direkt zu bestimmen.

## Danksagung

Die Autoren danken der Helmholtzgemeinschaft, die im Rahmen einer Helmholtz-Hochschul- Nachwuchsforschergruppe diese Arbeit finanziell unterstützte.

## Literatur

- [1] C. Willert et al.: Performance and accuracy investigations of two Doppler global velocimetry systems applied in parallel. Meas. Sci. Technol. 18 (2007) 2504–2512
- [2] J. Y. Chung: Rejection of flow noise using a coherence function method. J. Acoust. Soc. Am. Volume 62, Issue 2, pp. 388-395 (August 1977)
- [3] I. Röhle; Laser Doppler Velocimetry auf der Basis frequenzselektiver Absorption: Aufbau und Einsatz eines Doppler Global Velocimeters, Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1999