

# Vergleichende Untersuchungen von laserinterferometrischen und Beamforming-Verfahren zur Schallfeldvisualisierung

Reinhard Behrendt<sup>1</sup>, Jochen Schell<sup>2</sup>, Andreas Dittmar<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Polytec GmbH, Polytec-Platz 1-7, 76337 Waldbronn, Deutschland, Email: info@polytec.de

<sup>3</sup> IAV GmbH, Kauffahrtei 45, 09120 Chemnitz, Deutschland

## Einleitung

Wie die akustischen Beamforming-Verfahren hat die Methode mittels scannender Laser-Doppler-Vibrometer Schallfelder zu visualisieren Eingang nicht nur in den Laborbetrieb, sondern auch im Bereich industrieller Prüfplätze gefunden. Dabei wird bei dem Laserverfahren die (Schall-) Druckabhängigkeit der optischen Brechzahl ausgenutzt, wodurch ein virtuelles Weg- oder Geschwindigkeitssignal im Vibrometer erzeugt wird. Verfahrensbedingt eignet sich das Scanning-Vibrometer nicht für die flächenhafte Visualisierung von einmalig transienten Vorgängen.

Bei periodisch oder zumindest wiederholt auftretenden Druckschwankungen können dagegen sogar Turbulenzen visualisiert werden. Im Gegensatz zu den rein akustischen Verfahren der Schallfeldvisualisierung ist man bei dem laseroptischen Verfahren bezüglich Frequenzbereich und Ortsauflösung kaum Einschränkungen unterworfen. Der experimentelle Vergleich mit rein akustischen Beamforming-Verfahren zeigt, dass das laseroptische Verfahren eine deutlich höhere Ortsauflösung und Dynamik sowie größere Frequenzbereiche abdeckt.

## Schallfeldvisualisierung mittels Laser-Scanning-Vibrometer

Voraussetzung für eine hochpräzise und langzeitstabile (Laser-Doppler-) Vibrometermessung ist die Konstanz der Laserwellenlänge. Die Lichtgeschwindigkeit in Medien und damit ihre Wellenlänge hängt jedoch von physikalischen Eigenschaften wie Druck, Temperatur und Feuchtigkeit ab und wird durch die in Medien nicht konstante optische Brechzahl (auch Brechungsindex)  $n$  charakterisiert.

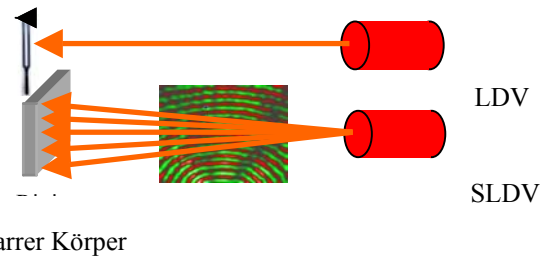
Diese Abhängigkeiten werden in der Literatur z.B. durch die Formeln von Edlen oder Ciddor beschrieben [1].

$$\Delta s_{opt} = s \cdot \Delta n = s \cdot (n_2 - n_1) \quad (1)$$

mit  $s$  = geometrischer Abstand  
 $\Delta n$  = Brechzahländerung

Für die Abhängigkeit der Brechzahländerung von den o.g. drei atmosphärischen Größen ergibt sich im Bereich der atmosphärischen Normalbedingungen folgende Näherungen:

$$\Delta n / \Delta p = 2,68 \times 10^{-6} \text{ je kPa} \quad (2)$$



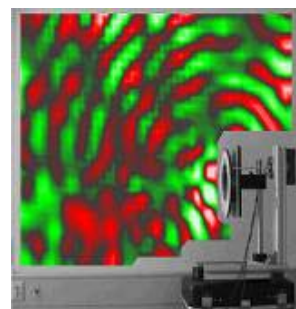
**Abbildung 1:** Standard Einpunkt Out-of-Plane Messung der Oberflächenvibration – oben  
 Messaufbau für Schallfeldvisualisierung mit einem Scanning Vibrometer System – unten

Abb. 1 skizziert die typischen Einsatzformen für die Laser-Doppler-Vibrometer LDV.

Abb. 2 zeigt die Ergebnisse für beide Messmodi am Beispiel einer mit einem Shaker angeregten Bremsscheibe. Die Amplituden für die Oberflächenschnelle (Abb. 2a) liegen im Bereich um  $\pm 20$  mm/s. Bei der Visualisierung des Schallfeldes (Abb. 2b) erhält man um drei Größenordnungen geringere (virtuelle) Schnelleamplituden, ca.  $\pm 20$   $\mu$ m/s.



**Abbildung 2a:** Flächennormale Oberflächenschnelle einer Bremsscheibe für Shakeranregung 3234 kHz



**Abbildung 2b:** Schallfeld vor der Bremsscheibe

## Beispiele für die Schallfeldvisualisierung im Bereich Motorakustik

Im normalen Betriebsmodus sind Vibrometer nur für die Lokalisierung von Schallquellen indirekter, d.h. über Körperschallvorgänge induzierter Geräuschanregung geeignet. So konnte mit unterschiedlichen Körperschallsensoren (B-Sensoren, Vibrometer) die mittels klassischer Mikrofonmessungen in der Nähe einer Lichtmaschine festgestellten akustischen dominanten Frequenzen nicht detektiert werden [3]. Deshalb wurde in einem vergleichenden Versuch das Schallfeld im Bereich des Generators sowohl mittels eines 16-Kanal-Mikrofonarrays (Pitch 4 cm, Abstand 11 cm) als auch einem Scanning Vibrometer (SLDV) untersucht (Abb. 3).

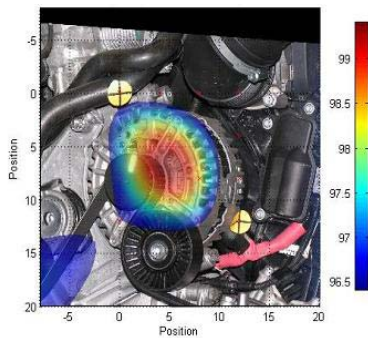


Abbildung 3a: Ergebnisse Generator Geräusche 2730 Hz – akustisches Beamforming

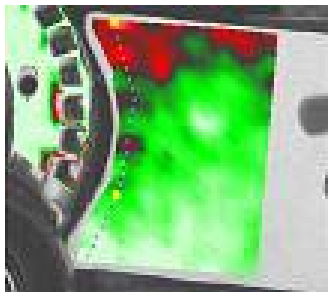


Abbildung 3b: Ergebnisse Generator Geräusche 2730 Hz – Scanning Vibrometer

Während das Mikrofonarray die Schallquelle nur relativ grob lokalisiert, konnten mit dem Vibrometer die Lüftungsschlitze als Schallquelle eindeutig mit hoher Ortsauflösung und Dynamik identifiziert werden.

Im Rahmen eines zweiten Anwendungsbeispiels wurden die durch die Ansaugergeräusche verursachten Schallwellen visualisiert (Abb. 4). Für die Beamforming Analyse am Ansaugstutzen kam ein 22-Kanalarray zum Einsatz (Pitch 15 cm, Abstand 50 cm). Als „starrer“ Reflektor beim Laserverfahren wurde eine 40 x 40 x 3 cm<sup>3</sup> Granitplatte eingesetzt.

Die Erweiterung des Verfahrens bzgl. 3D-Auflösung beschreiben Bahr und Lerch [4]. Einige industrielle Anwendungen findet man in [5].

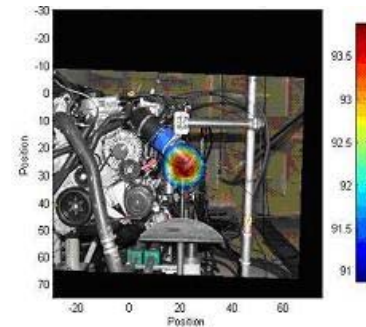


Abbildung 4a: Schallfeld am Ansaugstutzen – akustisches Beamforming Verfahren – 1900 Hz

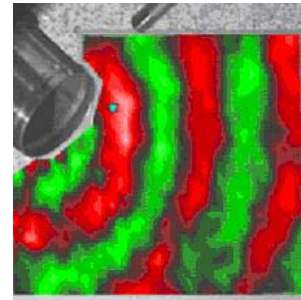


Abbildung 4b: Schallfeld am Ansaugstutzen – optisches SLDV Verfahren – 7600 Hz

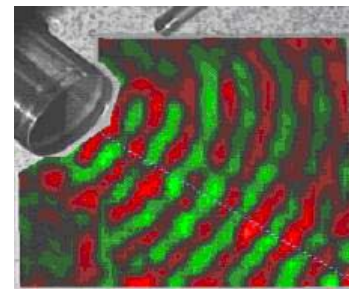


Abbildung 4c: Schallfeld am Ansaugstutzen – optisches SLDV Verfahren – 15.520 Hz

## Literatur

- [1] J.A. Stone, J.H. Zimmerman, „Index of Refraction of Air“, <http://emtoolbox.nist.gov>
- [2] L. Zipser, S. Lindner, R. Behrendt, „Interferometrische Messung und Visualisierung von Schallwellen und Turbulenzen“; *Technisches Messen* 6, 2002, S. 275 – 281.
- [3] R. Behrendt, A. Dittmar, J. Sauer, „Einsatz von Scanning Vibrometern zur Schallquellenortung und Schallfeldvisualisierung an Verbrennungsmotoren“; *ATZ/MTZ-Konferenz Akustik*, Magdeburg 2007, S. 127 - 140.
- [4] L. Bahr, R. Lerch; „Beam Profile Measurements Using Light Refractive Tomography“; *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 55, 2008 accepted
- [5] M. Fischer; „Stepping on the Gas in the Wind Tunnel“; *Bosch Research Info*, Issue 4/2004, pp. 2 – 3 and „Quiet Please“, *ibid.* pp. 4