

# Visualisierung des akustischen Nahfeldes von Luftschallwandlern mit der elektronischen Specklemuster Interferometrie (ESPI)

H. Joost, K.D. Hinsch

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Physik, AG Angewandte Optik, Oldenburg

<mailto:holger.joost@uni-oldenburg.de>

Um das akustische Nahfeld von Luftschallwandlern zu untersuchen, kann die zur Druckänderung der sich ausbreitenden Schallwelle proportionale Variation des Brechungsindex genutzt werden. Mit einem in der Empfindlichkeit durch sinusförmige Referenzstrahlmodulation gesteigerten Zeitmittlungs-ESPI lassen sich solche Schallfelder in Videoechtzeit beobachten und aufnehmen.

## 1 Einführung

Wenn das akustische Nahfeld von Luftschallwandlern von Interesse ist, werden im Regelfall nicht nur Informationen über die Schalldruckverteilung, sondern auch über die Richtung des Energieflusses gewünscht. Für eine rückwirkungsfreie optische Untersuchung solcher Felder kann die Variation des Brechungsindex der Luft, hervorgerufen durch Druckänderungen der sich ausbreitenden Schallwelle, genutzt werden. Jedoch sind die Brechungsindexänderungen, die mit normalen Lautsprechern erreicht werden können, derart klein, dass sie mit den bekannten Methoden der Schlieren Fotografie und der klassischen, aber auch der holografischen Interferometrie nicht gemessen werden können.

## 2 Das verwendete Messverfahren

Für die Vermessung von Schallfeldern wurde daher ein Zeitmittlungs-ESPI eingesetzt, dessen ursprünglicher Einsatzzweck die Messung von Schwingungsamplituden im nm-Bereich ist. Die für die Detektion solch kleiner Schwingungsamplituden erforderliche Empfindlichkeit wird dabei über eine sinusförmige Phasenmodulation des Referenzstrahls mit passender Frequenz und Amplitude erreicht [1]. Auf diese Weise wird der Arbeitspunkt in der Streifenfunktion in den Bereich der maximalen Empfindlichkeit verschoben. Durch die Referenzstrahlmodulation wird das Verfahren phasensensitiv und mit einer Linearisierung um den Arbeitspunkt herum lassen sich dann mit dem Phasenshiftverfahren Amplituden- und Phasenkarten berechnen.

Um mit diesem Messverfahren das akustische Nahfeld von Schallwandlern zu messen, wird der Schallsender vor einer massiven nicht schwingenden Wand mit rauer Oberfläche so aufgestellt, dass sich das Schallfeld parallel zur Wand ausbreitet (Abb. 1). Das Schallfeld wird mit dem senkrecht dazu stehenden Interferometer beobachtet, so dass das Laserlicht das Schallfeld bis zur Messung zweimal durchläuft.

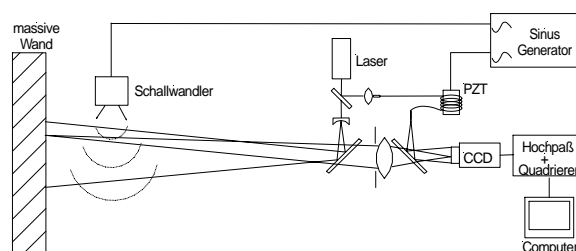


Abb. 1 Prinzipieller Messaufbau

Beim Durchgang des Laserlichts durch das Schallfeld erfährt dieses nun durch die druckbedingte Variation des Brechungsindex eine Phasenänderung, die mit der verwendeten akustischen Frequenz moduliert ist. So wie sich bei der ursprünglichen Nutzung des Verfahrens die Lichtphase durch die Änderung des Laufweges zum schwingenden Objekt verändert, wird die Lichtphase jetzt durch die druckbedingte Änderung des Brechungsindex längs seines Weges moduliert. Damit ist die Variation des Brechungsindex äquivalent zu einer Oberflächenschwingung und es können wie bei Schwingungsmessungen Amplituden- und Phasenkarten berechnet werden [2].

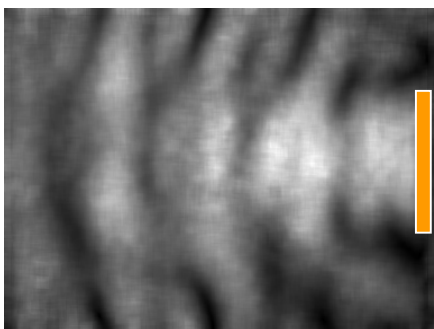
Da in dem Schallfeld sowohl periodische Druckerhöhungen wie -erhöhungen auftreten, finden sich Bereiche, deren Brechungsindex in Phase und andere Bereiche, deren Brechungsindex gegenphasig zur Referenzstrahlmodulation variiert. Auf dem Monitor ergibt sich daher ein stehendes Streifenbild. Durch eine leicht abweichende Wahl der Frequenz der Referenzstrahlmodulation von dem Schall um z.B. 2 Hz entsteht eine Schwebung, die auf dem Monitor in Form eines laufenden Streifenbildes zu beobachten ist.

Obwohl die im folgenden gezeigten Amplituden- und Phasenkarten zweidimensionale Projektionen von Schallfeldern sind und eine Interpretation daher mit gewisser Vorsicht vorgenommen werden muss, können aus Ihnen bereits einige nützliche Erkenntnisse gewonnen werden. Bei einem einfachen Schallwandler mag das bereits genügen, spätestens jedoch bei komplizierten Systemen wie

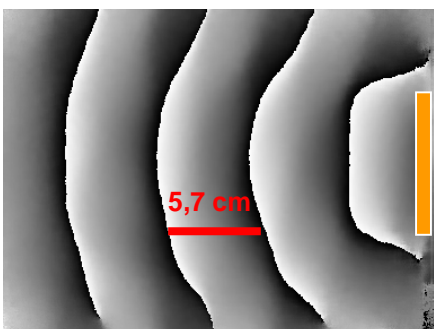
aus Einzelwandlern aufgebauten Flächenarrays wird es notwendig sein, eine komplette Beschreibung des eigentlich dreidimensionalen Schallfeldes zu erhalten. Dies ist durch Aufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen und tomographische Rückprojektion möglich [3].

### 3 Ergebnisse aus Schallfelduntersuchungen

Die Abb. 2 und Abb. 3 zeigen zweidimensionale Projektionen der Amplituden- und Phasenverteilungen des akustischen Nahfeldes eines Hochtonlautsprechers bei einer Frequenz von 6 kHz. Die Position des Lautsprechers ist durch einen orangenen Balken am rechten Bildrand gekennzeichnet; der Schall breitet sich nach links aus.



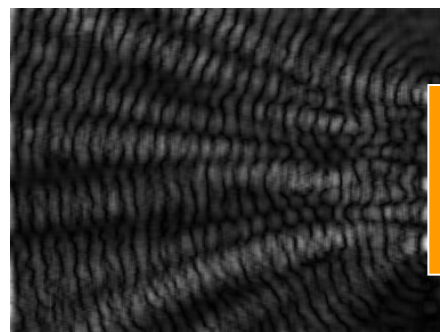
**Abb. 2** Amplitudenkarte des Schallfeldes eines Hochtonlautsprechers bei einer Frequenz von 6 KHz



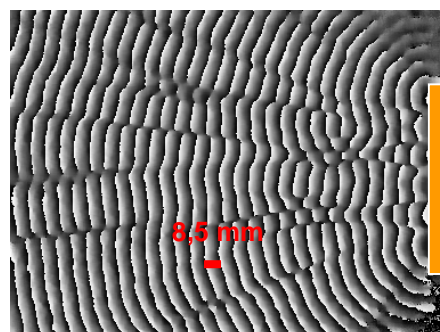
**Abb. 3** Phasenkarte des Schallfeldes eines Hochtonlautsprechers bei einer Frequenz von 6 KHz, eingezeichnet ist die dazu korrespondierende Wellenlänge

Die graustufencodierte Amplitudenkarte (Abb. 2) gibt Aufschluss über die (entlang des Lichtweges durch das Schallfeld integrierte) Schalldruckverteilung, wobei der Schalldruck mit zunehmendem Grauwert ansteigt. Die dunklen Streifen resultieren aus der Integration entlang des Weges durch ein sphärisches Schallfeld mit positiven wie negativen Brechungsindexänderungen, das hier ein Ergebnis von Null oder nahe Null hat. Die dazu gehörende Phasenkarte in Abb. 3 ist modulo  $2\pi$  graustufencodiert. Sie zeigt die relative Verteilung der akustischen Phase im Schallfeld, woraus sich der Verlauf der Wellenfronten des Schallfeldes und damit auch die Richtung des Energieflusses ergibt, der senkrecht zur Wellenfront erfolgt.

Die Abb. 4 und Abb. 5 zeigen Amplituden- und Phasenkarten zur Überprüfung der Abstrahlqualität eines Spaltenarrays aus 6 piezoelektrischen Luftultraschallwandlern (PZT, Durchmesser jeweils 16 mm), bei einer Frequenz von 40 kHz.



**Abb. 4** Amplitudenkarte des Schallfeldes einer Spalte aus 6 PZTs bei einer Frequenz von 40 KHz



**Abb. 5** Phasenkarte des Schallfeldes einer Spalte aus 6 PZTs bei einer Frequenz von 40 KHz, eingezeichnet ist die dazu korrespondierende Wellenlänge

Der Amplitudenkarte in Abb. 4 ist eine deutlich aufgefächerte Schalldruckverteilung zu entnehmen. Aus der dazu gehörenden Phasenkarte in Abb. 5 geht hervor, dass die 6 einzelnen Wandler den Schall nicht phasensynchron abstrahlen. Es sind deutliche Sprünge in der akustischen Phase unmittelbar vor dem Array zu erkennen; selbst in einiger Entfernung vom Wandler bildet sich keine parallele, einheitliche Wellenfront aus. Mit diesem Ergebnis könnte jetzt z.B. eine gezielte Ansteuerung der Einzelwandler erfolgen, um eine phasensynchrone Abstrahlung zu erreichen. Eine Erfolgskontrolle ließe sich mit einer nachfolgenden Messung realisieren.

### Literatur

- [1] S. Ellingsrud, G.O. Rosvold, "Analysis of data-based TV-holography system used to measure small vibration amplitudes" in J. Opt. Soc. Am. A9(2): 237-251 (1992)
- [2] O.J. Løkberg: „Sound in flight: measurement of sound fields by use of TV holography“ in Appl. Opt. 33(13): 2574-2584 (1994)
- [3] O.J. Løkberg, M. Espeland, H.M. Pedersen: „Tomographic reconstruction of sound fields using TV holography“ in Appl. Opt. 34(10): 1640-1645 (1995)