

Ein Labormesssystem zur Charakterisierung von Luftultraschallfeldern

Robert Schöneweiß¹, Christoph Kling¹, Christian Koch¹

¹ *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, E-Mail: robert.schoeneweiss@ptb.de*

Einleitung

Bei der Messung von luftgeleitetem Ultraschall sind gegenüber Hörschallmessungen besondere Anforderungen an das Messsystem zu berücksichtigen. Es ist ein großer Frequenzbereich abzudecken, um das primäre Ultraschallsignal mitsamt seiner möglichen Harmonischen zu erfassen. Die gesamte Messkette muss dabei die Detektion und Verarbeitung von hohen Frequenzen bis beispielsweise 100 kHz ermöglichen. Darüber hinaus führt die kurze Wellenlänge von Ultraschall zu einer ausgeprägten Richtwirkung. Gemeinsam mit möglichen Reflexionen und Streuungen ergibt sich ein fein strukturiertes Interferenzmuster. Zur Charakterisierung von Luftultraschallfeldern muss diesem durch eine entsprechende hohe räumliche Auflösung bei der Schalldruckpegelbestimmung Rechnung getragen werden.

Diese vorgenannten Aspekte fanden in einem Labormesssystem der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Berücksichtigung. Das dreiaxige Scannersystem ermöglichte erstmalig die großvolumige Vermessung von Luftultraschall mit einer Auflösung im Submillimeterbereich.

Anwendungsfelder

Die Charakterisierung von Luftultraschallfeldern ist in zahlreichen Anwendungsfeldern erforderlich. Sie stellt einen wichtigen Aspekt bei der Weiterentwicklung von Schallwandlern, Sensoren und Akustikmaterialien dar. Auch bei der Untersuchung von Ultraschallquellen im öffentlichen Raum, im privaten Bereich oder im Arbeitsumfeld sowie in der Grundlagenforschung werden Systeme zur Vermessung von Luftultraschallfeldern benötigt. Die Anforderungen an die jeweiligen Messsysteme unterscheiden sich, je nach Anwendungsfall, hinsichtlich Mobilität, Messgenauigkeit und weiterer Faktoren [1]. Nachfolgend wird ein Messsystem beschrieben, welches unter Laborbedingungen die Vermessung von Luftultraschallfeldern ermöglicht.

Herausforderungen und Anforderungen

Aufgrund der kleinen Wellenlänge von Luftultraschall gegenüber Hörschall, tritt eine ausgeprägte Richtwirkung bei der Ausbreitung auf. Infolge von Reflexion und Streuung an Objekten im Ausbreitungsweg treten fein strukturierte Interferenzmuster um Luftultraschallquellen auf und tragen so zur Inhomogenität des Schallfeldes bei. Neben einer starken Dämpfung ist eine starke Abhängigkeit von Umweltbedingungen für die Luftultraschallausbreitung charakteristisch.

An ein Messsystem für Luftultraschall stellen sich daher unter anderem die folgenden Anforderungen:

- Abdeckung eines großen Frequenz- und Dynamikbereiches,

- Berücksichtigung des Druckstaus an der Membran und der Richtcharakteristik des Mikrofons,
- sowie Realisierung der Schallfeldvermessung in hoher räumlicher 2D- bzw. 3D-Auflösung.

Messaufbau

Das in der PTB aufgebaute Labormesssystem bestand aus einem dreiaxigen Scannersystem und einer modular aufgebauten elektro-akustischen Messkette. Die Modularität ermöglichte die Verwendung unterschiedlicher Mikrofontypen, wie 1/4"-Messmikrofone oder optische Mikrofone, und unterschiedliche Datenerfassungsmodi, wie die Rohdatenaufzeichnung oder die FFT-Analyse des Messsignals. Der Innenraum des Scannersystems war mit einem akustischen Absorber ausgekleidet. Zur Überwachung stand ein Kamerasystem zur Verfügung. Klimadaten wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck wurden mit einem Sensor erfasst und gemeinsam mit den akustischen Messdaten protokolliert.

Verwendung im Projekt Ears II

Im Rahmen des von der EU geförderten EMPIR-Projektes Ears II „Metrology for modern hearing assessment and protecting public health from emerging noise sources“ [2][3] wurde das Labormesssystem mit einem vierkanaligen Mikrofonarray und einem FFT-Analysator ausgestattet und zur Vermessung des Luftultraschallfeldes einer Ultraschallschweißmaschine eingesetzt. Für jeden Messpunkt wurde mithilfe des FFT-Analysators ein Leistungsspektrum im Bereich von 0 bis 100 kHz aufgenommen. Exemplarisch ist ein solches Spektrum in Abbildung 1 dargestellt. Deutlich zu erkennen sind hier die Signalpeaks bei der Arbeitsfrequenz der Ultraschallschweißmaschine von rund 20 kHz und den entsprechenden Harmonischen. Nach einer akustischen Kalibrierung erfolgte aus diesen Messdaten die Berechnung der Schalldruckpegelspektren, welche die Grundlage für die grafischen Darstellungen des Ultraschallfeldes und die Terzbandanalysen bildeten.

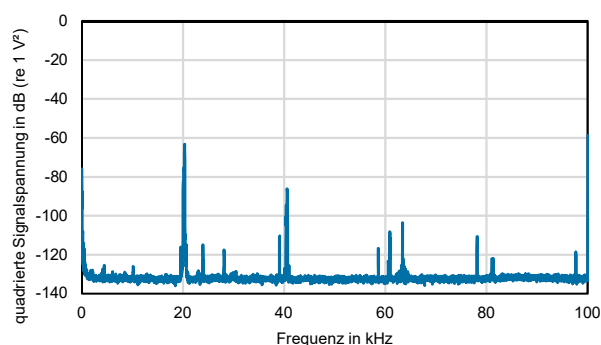


Abbildung 1: Leistungsspektrum eines Messpunktes im Frequenzbereich 0 – 100 kHz

Ergebnisse

In Abbildung 2 ist das Ergebnis eines zweidimensionalen Scans in einer vertikalen Ebene vor der Ultraschallschweißmaschine dargestellt. Für die Darstellung wurde das zur Arbeitsfrequenz der Schweißmaschine korrespondierende FFT-Band des Spektrums ausgewertet.

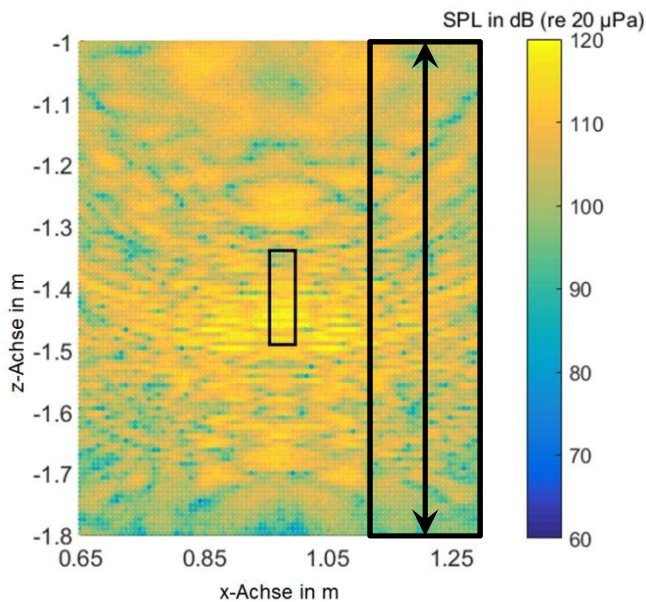


Abbildung 2: Schallfeld in einer vertikalen Ebene auf der Vorderseite der Ultraschallschweißmaschine; ungewichteter Schalldruckpegel (SPL) in dB (re 20 μ Pa); die kleine schwarze Box in der Bildmitte kennzeichnet die Sonotrode; die schwarze Box mit Pfeil am rechten Bildrand kennzeichnet den Bereich, der zur Bestimmung der Ortsfrequenz entlang der Pfeilrichtung herangezogen wurde; nach [4]

Zur quantitativen Beschreibung der Schallfeldstruktur wurde in der in Abbildung 2 mit einer schwarzen Box im rechten Bildbereich gekennzeichneten Region entlang der Pfeilrichtung die Ortsfrequenz k des Interferenzmusters bestimmt. Hierzu wurde die Anzahl der auftretenden Schalldruckpegelmaxima n entlang der z-Achse durch die Länge des Auswertungsbereiches l gemäß Gleichung (1) dividiert.

$$k = \frac{n}{l} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (1)$$

Für den in Abbildung 2 dargestellten Frequenzbereich um 20 kHz ergibt sich eine Ortsfrequenz von $k_{20 \text{ kHz}} = 23,75 \text{ m}^{-1}$. Vergleichend hierzu der identische Bereich des Interferenzmusters bei 40 kHz ausgewertet. Mit einer Ortsfrequenz von $k_{40 \text{ kHz}} = 42,5 \text{ m}^{-1}$ zeichnet sich eine deutliche Zunahme der Ortsfrequenz bei höherer Frequenz des Ultraschalls ab.

Zusammenfassung und Ausblick

Ein Labormesssystem zur Charakterisierung von Luftultraschallfeldern konnte erfolgreich aufgebaut werden. Es bot die Möglichkeit in einer großvolumigen Messumgebung Schallfelder mit einer hohen räumlichen Auflösung zu vermessen. Die modulare Messkette ermöglichte auf die jeweilige Anwendung angepasste Konfigurationen von Messinstrumenten umzusetzen. Im

Rahmen des Projektes Ears II wurde das Schallfeld einer Ultraschallschweißmaschine im Frequenzbereich von 0 bis 100 kHz erfolgreich vermessen und dargestellt. Erste Ansätze zur quantitativen Beschreibung der ermittelten Schallfeldstrukturen wurden durchgeführt und sollen fortgeführt werden.

Danksagung

This project has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.



The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States

We gratefully acknowledge the support of the Braunschweig International Graduate School of Metrology B-IGSM.



Wir danken Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG für die Bereitstellung einer Ultraschallschweißmaschine.



Literatur

- [1] Wächtler, M.; Kling, C.; Wolff, A.: Entwicklung eines Ultraschall-Pegelmesssystems für den Arbeitsschutz. *Lärmbekämpfung* 13 (2018), 28-32
- [2] EMPIR 15HLT03 Ears II – Metrology for modern hearing assessment and protecting public health from emerging noise sources, URL: <http://www.ears-project.eu/>
- [3] Schöneweiß, R. et al.: Ears II: Entwicklung eines metrologischen Konzepts zur Charakterisierung von luftgeleiteten Ultraschallfeldern am Arbeitsplatz. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA 2017*, 43. Deutsche Jahrestagung für Akustik, 6.-9. März 2017 in Kiel, S. 1202-1204. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Berlin 2017
- [4] Schöneweiß, R. et al.: Ears II: Entwicklung eines metrologischen Konzepts zur Messung und Beurteilung der Luftultraschallexposition am Arbeitsplatz. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA 2018*, 44. Deutsche Jahrestagung für Akustik, 19.-22. März 2018 in München, S. 255-257. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Berlin 2018