

# Beeinflussung des Schallfeldes von Ultraschallwandlern durch strukturierte Elektroden

Christoph PIENTSCHKE \*, Mario KIEL \*, Ralf STEINHAUSEN \*

\* Forschungszentrum Ultraschall gGmbH, Köthener Straße 33a, 06118 Halle

*Kontakt: christoph.pientschke@fz-u.de*

## Kurzfassung

Die luftgekoppelte Ultraschalluntersuchung findet zunehmend Verwendung bei der Prüfung von Leichtbaukomponenten. Üblicherweise wird der Ultraschall in den betrachteten Wandlern durch eine piezoelektrische Scheibe erzeugt. Wünschenswert ist es, Eigenschaften des erzeugten Schallfeldes, z.B. die Lage des Fokuspunktes, auch während des Betriebes des Wandlers anpassen zu können. In der klassischen Ultraschallprüfung wird dies durch die Phased-Array-Technik erreicht, bei der mehrere mechanisch entkoppelte piezoelektrische Wandlerelemente phasenversetzt angesteuert werden. Mit Modellierungen wurde untersucht, ob sich auch durch strukturierte Elektroden auf piezoelektrischen Kompositscheiben das resultierende Schallfeld verändern lässt. Hierbei wurden kreisrunde piezoelektrische Scheiben untersucht, deren Grundelektroden in Form von drei einzeln ansteuerbaren flächengleichen Ringen in Form von Fresnelzonen strukturiert sind. Zwischen den Elektrodenringen sind Ringe ohne Elektroden. Die an die Luft ankoppelnde Deckelektrode verbleibt unstrukturiert.

Die Modellierungen wurden mit COMSOL Multiphysics vorgenommen. Es wurde dabei eine harmonische Analyse vorgenommen. In einem mechanischen Ersatzmodell wurde zunächst untersucht, welche grundsätzlichen Auswirkungen die Strukturierung auf das Schallfeld hat. Dazu wurden die einzelnen Elektrodenringe als mechanisch entkoppelte Kolbenschwinger aufgefasst. Berechnet wurde der stationäre Zustand des Schallfeldes bei einer für Luftultraschallwandler typischen Frequenz von 400 kHz. Es wurde dabei untersucht, wie eine Phasenverschiebung der Anregung benachbarter Ringe die Lage des Fokuspunktes und den resultierenden Schalldruckpegel beeinflusst. Durch die Modellierungen wurde nachgewiesen, dass die Lage des Fokuspunktes durch phasenversetzte Ansteuerung der Ringe verschoben werden kann.

Die Wandlerscheibe wurde mit den effektiven Materialeigenschaften des Komposits für eine Resonanzfrequenz modelliert. Die anliegende Spannung an den Ringelektroden wurde mit einer Phasenverschiebung zwischen benachbarten Ringen angeregt. Durch eine Variation der Phase ist es möglich, die Lage der Schalldruckmaxima zu verschieben. Der Schalldruckpegel ist dabei geringer als bei Anregung mit einer unstrukturierten Elektrode. Wegen der mechanischen Kopplung verursacht die Phasenänderung eine Änderung der Schwingungsform der Wandlerscheibe.



Forschungszentrum  
Ultraschall gGmbH  
Köthener Straße 33a  
06118 Halle (Saale)  
www.fz-u.de



# Beeinflussung des Schallfeldes von Ultraschallwandlern durch strukturierte Elektroden

Christoph Pientschke, Mario Kiel, Ralf Steinhausen

## Hintergrund

In der phased-array-Technik ist es möglich, mit Gruppenstrahlprüfköpfen durch eine geeignete phasenversetzte Ansteuerung den Ort der Schallausstrahlung zu verschieben sowie das resultierende Schallbündel zu schwenken und variabel zu fokussieren. Die Gruppenstrahler bestehen aus elektrisch und akustisch entkoppelten Wandlerelementen.

## Idee

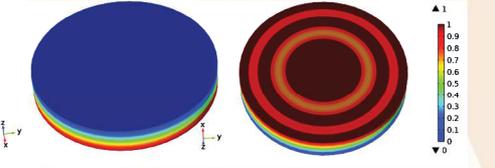
Lässt sich auch durch eine strukturierte Elektrodenstruktur und eine geeignete Ansteuerung die Fokustiefe kreisförmiger Luft-Ultraschallwandler beeinflussen?

## Umsetzung

Derzeit wird ein Wandler mit strukturierten Elektroden hergestellt, an dem Experimente zur Schallfeldbeeinflussung vorgenommen werden. Hierzu steht ein am FZU entwickelter 4kanaliger Digitalverstärker zur Verfügung. Parallel dazu wurde eine Modellierung der Wandlerscheibe vorgenommen, um den Zusammenhang zwischen Ansteuerung, Schwingungsformen und Schallfeld zu untersuchen. Die Wandlerscheibe besteht aus einem Kompositmaterial. Im Modell wurden dessen effektive Eigenschaften herangezogen.

## Strukturierte Elektroden

Aus praktischen Erwägungen wurde die Elektrode der schallabstrahlenden Seite des Wandlers unstrukturiert gelassen. Die Unterseite ist mit drei flächengleichen Elektrodenringen versehen, die durch Spalte voneinander getrennt sind. Die Elektrodenstruktur ähnelt somit einer Fresnel-Linse. Die elektrischen Zuführungen wurden im Modell vernachlässigt.



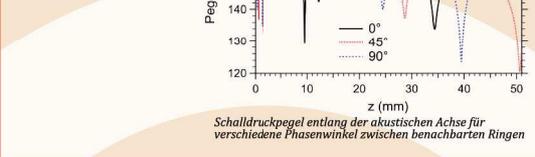
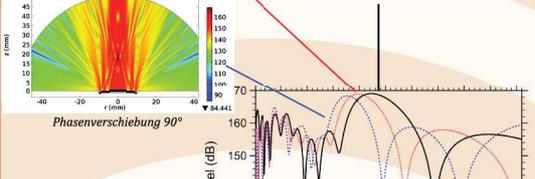
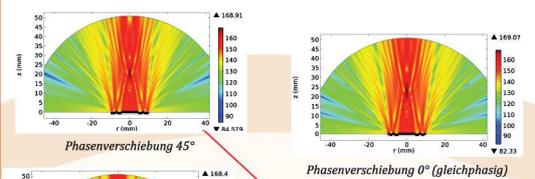
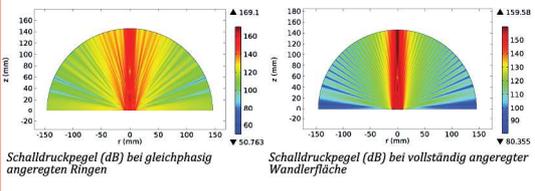
## Modellierung

In einer numerischen Studie wurde mit dem FEM-Programm COMSOL ein idealisiertes Modell der Wandlerscheibe erstellt und mit einer harmonischen Analyse untersucht. Die Ergebnisse wurden mit einem mechanischen Ersatzmodell verglichen, bei dem ein Kolbenschwinger mit Ringen in den Abmessungen der strukturierten Elektroden untersucht wurde.

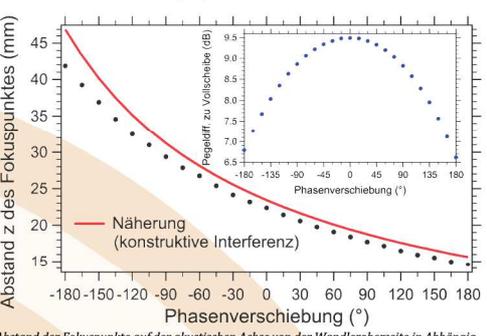
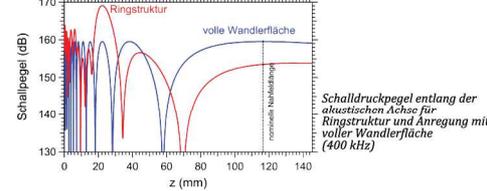
## Zusammenfassung und Ausblick

Die Lage der Maxima des Schalldruckpegels einer piezoelektrischen Wandlerplatte lassen sich durch eine phasenversetzte Ansteuerung der strukturierten Elektroden verändern. Durch die mechanische Kopplung geschieht das über eine Veränderung der Schwingungsform, welche ein qualitativ anderes Verhalten als beim mechanischen Ersatzmodell des Kolbenschwingers zur Folge hat. Das Schwingungsverhalten von Kompositen verdient weitere Untersuchungen. Am FZU wird das Schallfeld eines Wandlers mit strukturierten Elektroden demnächst charakterisiert.

## Kolbenschwinger mit phasenversetzt angesteuerten Ringen



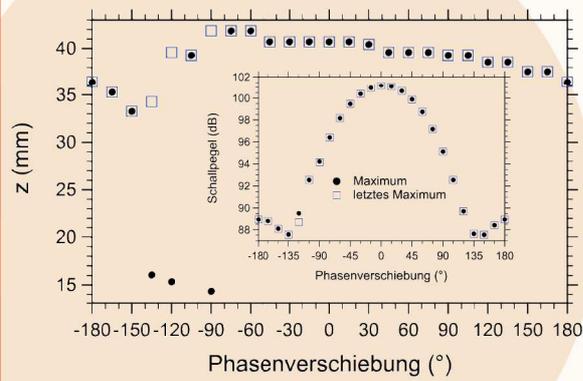
Schalldruckpegel entlang der akustischen Achse für verschiedene Phasenwinkel zwischen benachbarten Ringen



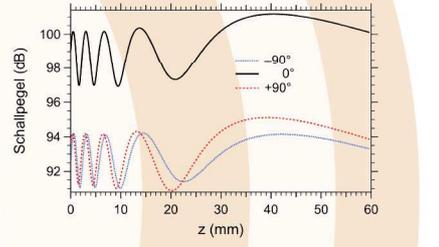
Abstand der Fokuspunkte auf der akustischen Achse von der Wandleroberseite in Abhängigkeit von der Phasenverschiebung benachbarter Ringe. Die Näherungslinie beruht auf einer genäherten Auswertung der Gangunterschiede zweier benachbarter Ringe. Der Schalldruck im Fokuspunkt wurde mit dem maximalen Schalldruck einer vollständig angeregten Wandlerscheibe verglichen.

Das Ersatzmodell zeigt, dass durch phasenversetzte Ansteuerung der Ringe der Fokuspunkt auf der akustischen Achse verschoben werden kann.

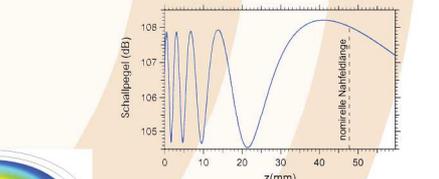
## Wandlerscheibe mit phasenversetzt angesteuerten Elektrodenringen



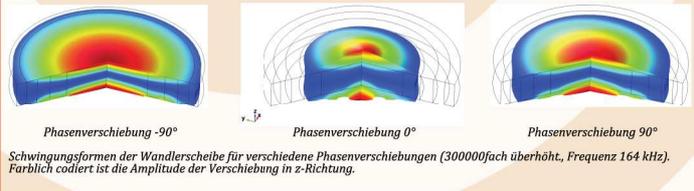
Abstand der Schalldruckmaxima auf der akustischen Achse von der Wandleroberseite und die zugehörigen Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Phasenverschiebung der Anregungsspannung benachbarter Elektrodenringe. (Frequenz 164 kHz)



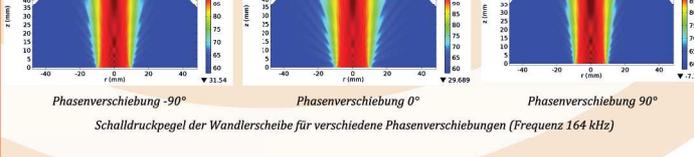
Schalldruckpegel entlang der akustischen Achse für ausgewählte Phasenwinkel (Frequenz 164 kHz)



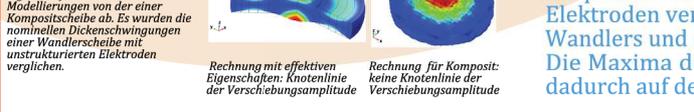
Zum Vergleich: Schalldruckpegel entlang der akustischen Achse für einen Schallwandler mit unstrukturierter Elektrode (Frequenz 164 kHz).



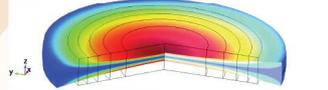
Schwingungsformen der Wandlerscheibe für verschiedene Phasenverschiebungen (30000fach überhöht, Frequenz 164 kHz). Farblich codiert ist die Amplitude der Verschiebung in z-Richtung.



Schalldruckpegel der Wandlerscheibe für verschiedene Phasenverschiebungen (Frequenz 164 kHz)



Die Schwingungsform einer Wandlerscheibe mit effektiven Eigenschaften weicht nach ersten Modellierungen von der einer Kompositischeibe ab. Es wurden die nominalen Dickenbewegungen einer Wandlerscheibe mit unstrukturierter Elektroden verglichen.



Zum Vergleich: Verformung eines Schallwandlers mit unstrukturierter Elektrode (Frequenz 164 kHz, Überhöhung 20000fach).

Die phasenversetzte Anregung der strukturierten Elektroden verändert die Schwingungsform des Wandlers und damit das resultierende Schallfeld. Die Maxima des Schalldruckpegels lassen sich dadurch auf der akustischen Achse verschieben.