

Mechanische Fokussierung von Ultraschallfeldern

Andreas MÜCK, Mark ACHTENBERG, Werner KRAUSE, Norman MORITZ,
Christian PROBST,
SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH, Nauendorfer Str. 2, 06112 Halle,
sonotec@sonotec.de

Kurzfassung. Wie jede Welle lässt sich auch Ultraschall in einem Punkt fokussieren. Während aber ein Laser Licht gebündelt über sehr große Distanzen aussenden kann, sind Ultraschallwandler durch einen physikalisch bedingten natürlichen Fokus, die Nahfeldlänge, gekennzeichnet.

Innerhalb dieser Grenze kann durch zusätzliche Maßnahmen eine Verstärkung der Fokussierung und damit insbesondere eine Verkleinerung des Fokusdurchmessers erreicht werden. Damit verbessert man die laterale Auflösung eines Ultraschallmesssystems, was zur Detektion kleiner Fehler benötigt wird.

Eine zusätzliche Fokussierung erreicht man durch eine Formung des Piezoschwingers oder, analog zur Optik, durch eine Linse. In der Phased-Array-Technik wird der Ultraschall durch eine verzögerte Ansteuerung der Einzelelemente des Gruppenstrahlers fokussiert.

Der Beitrag stellt die theoretischen Modelle vor und vergleicht die Charakteristik der entstehenden Schallfelder anhand praktischer Beispiele.

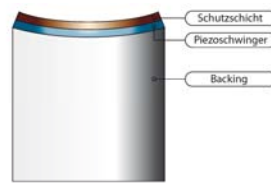
Mechanische Fokussierung von Ultraschallfeldern

Andreas Mück, Mark Achtenberg, Werner Krause, Norman Moritz, Christian Probst
SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH

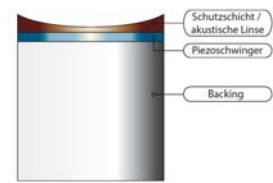
Wozu dient die Fokussierung des Ultraschalls?

Das laterale Auflösungsvermögen von Ultraschallprüfköpfen ist durch die Breite des Schallbündels festgelegt. Ähnlich wie in der Optik kann durch geeignete Maßnahmen das Schallfeld fokussiert, der Fokusdurchmesser verkleinert und damit das Auflösungsvermögen verbessert werden.

Es werden zwei verschiedene Verfahren angewandt: die Krümmung des Piezomaterials sowie der Einsatz einer akustischen Linse.



Aufbau eines Prüfkopfs mit gekrümmtem Piezoschwinger

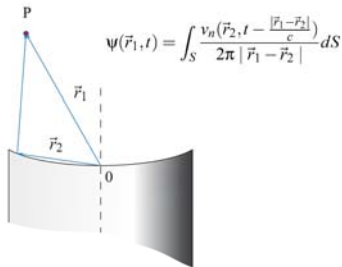


Aufbau eines Prüfkopfs mit akustischer Linse

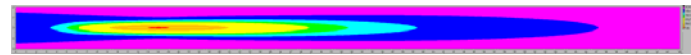
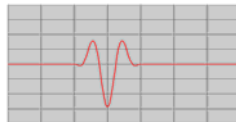
Simulation

Die Berechnung des Fokusabstandes und des Fokusdurchmessers ist insbesondere bei breitbandigen Prüfköpfen analytisch nicht möglich. Neben Näherungsformeln können Schallfeldsimulationen zur theoretischen Ermittlung der Schallfeldparameter herangezogen werden.

Die für diesen Beitrag simulierten Schallfelder wurden mit einer von SONOTEC entwickelten Software basierend auf dem Verfahren der Punktquellensynthese berechnet.



$$\psi(\vec{r}_1, t) = \int_S \frac{v_n(\vec{r}_2, t - \frac{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}{c})}{2\pi |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|} dS$$



Simuliertes Schallfeld eines Prüfkopfs mit gekrümmtem Piezoschwinger (Koordinatenursprung bei $Z_0=17\text{mm}$)



Simuliertes Schallfeld eines Prüfkopfs mit akustischer Linse (Koordinatenursprung bei $Z_0=17\text{mm}$)

Gleichung zur Berechnung des Schallfeldpotentials. Der für die Simulation angenommene Impuls stimmt mit dem gemessenen überein.

Überprüfung der Ergebnisse

Zum Aufbau der Prüfköpfe wurden Piezokompositscheiben mit einer Frequenz von 5 MHz und einem Durchmesser von 10 mm verwendet. Für Variante 1 wurde der Schwinger sphärisch mit einem Radius von 40 mm gekrümmt. Bei der 2. Variante wurde eine sphärisch konkave Linse mit dem Radius von 14 mm aufgebracht.

Die Charakterisierung der Prüfköpfe erfolgte in Anlehnung an die DIN EN 12668-2. Die Schallfelder sind mit Hilfe eines Kugelreflektors aufgenommen.



Schallfeld des Prüfkopfs SONOSCAN IK-5-10 P30.1 (Koordinatenursprung bei $Z_0=17\text{mm}$)



Schallfeld des Prüfkopfs SONOSCAN IK-5-10 P30.2 (Koordinatenursprung bei $Z_0=17\text{mm}$)

Prüfkopfparameter nach DIN EN 12668-2

Prüfkopftyp	IK-5-10 P30.1		IK-5-10 P30.2	
Schwingermaterial	Piezokomposit			
Schwingerform und -größe	Rund Ø 10 mm, sphärisch gekrümmt (R40)		Rund Ø 10 mm, eben, mit akustischer Linse (R14)	
Mittenfrequenz [MHz]	4,8		5,2	
Echoempfindlichkeit [dB]	- 31		- 32	
Fokusabstand [mm]	30,8	31,5	30,0	30,0
Fokusbereich [mm]	1,0	1,0	0,9	0,9
Länge des Fokusbereichs [mm]	22,4	21,4	19,8	19,3
Divergenzwinkel [°]	0,9	1,1	0,9	1,1
	Simul.	Exp.	Simul.	Exp.

Fazit

Anhand der aufgebauten Prüfköpfe konnte bestätigt werden, dass eine Fokussierung von Ultraschallfeldern mit gekrümmten Piezoschwingern genauso wie mit akustischen Linsen prinzipiell möglich ist. Die Unterschiede zwischen beiden Verfahren sind im vorliegenden Beispiel gering.

Diese Aussage kann jedoch nicht auf alle Anwendungsfälle verallgemeinert werden. Vielmehr ist eine Anpassung des Prüfkopfs an die konkrete Aufgabe nötig. Dazu können Simulationsprogramme eingesetzt werden. Mit Hilfe dieser Ergebnisse kann der nachfolgende experimentelle Aufwand reduziert werden.