

Der Einfluss der aktiven und passiven Apertur von linearen Phased Array-Prüfköpfen auf das resultierende Wellenfeld

Andreas GOMMLICH, Frank SCHUBERT

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP Institutsteil Dresden (IZFP-D)
Maria-Reiche-Straße 2, 01109 Dresden

Kurzfassung

Die Arbeitsweise eines Ultraschall Phased Arrays wird durch die sogenannten "Focal Laws" bestimmt. Durch die separate Ansteuerung der Einzelelemente eines Phased Arrays zu unterschiedlichen Zeitpunkten wird sowohl das Schwenken als auch das Fokussieren des resultierenden Schallbündels realisiert. Es ist ersichtlich, dass die Qualität dieser Schallbündelformung direkt von der Qualität der Focal Law-Berechnung abhängt. Nach dem aktuellen Stand der Technik werden lineare Phased Arrays von Herstellerseite mit einer bestimmten Elementbreite (der aktiven Apertur) sowie einer deutlich größeren Elementlänge (der sogenannten passiven Apertur), gefertigt. Bei der eigentlichen Berechnung der Focal Laws finden beide aber in der Regel keine weitere Beachtung. Die Methode der schnellen vierdimensionalen Schallfeldberechnung mittels EFIT-PSS, einer Kombination von EFIT mit der transienten Punktquellensynthese, ermöglicht eine umfassende Simulation von Phased Array-Wellenfeldern. Diese Berechnungen sowie die Signalanalyse in einzelnen Fokuspunkten zeigen, dass die aktive und insbesondere auch die passive Apertur linearer Phased Arrays das Zeit- und Frequenzverhalten im Fokuspunkt deutlich beeinflussen.

Basierend auf den Focal Laws, deren Berechnung mit und ohne Berücksichtigung der passiven Apertur erfolgt, werden Schallfelder für ausgewählte Fokuspunkte berechnet. Der direkte Vergleich der simulierten Schallfelder veranschaulicht, welchen qualitativen und quantitativen Einfluss die aktive und passive Apertur auf das Zeit- und Frequenzverhalten und folglich auf die Qualität der Messungen mit einem linearen Phased Array haben. Basierend auf diesen Ergebnissen können neue Abschätzungen zum optimalen Längen-zu-Breitenverhältnis der Einzelelemente sowie wellenphysikalische Korrekturen der Focal Laws abgeleitet werden. Damit lassen sich größere Amplituden und Mittenfrequenzen im Fokuspunkt erreichen.



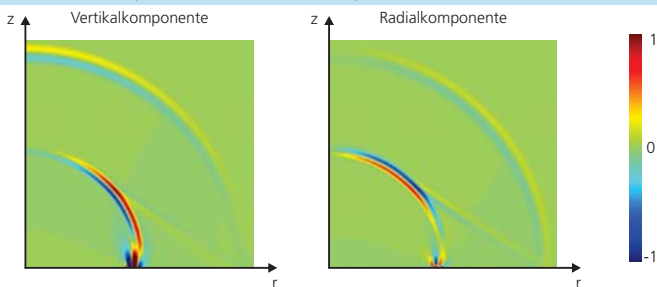
Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren, Institutsteil Dresden IZFP-D
Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden
andreas.gommlich@izfp-d.fraunhofer.de
www.izfp-d.fraunhofer.de

Der Einfluss der aktiven und passiven Apertur von linearen Phased Array-Prüfköpfen auf das resultierende Wellenfeld

Einführung und Motivation

Bisher werden bei der Berechnung von Focal Laws die Einzelelemente von US-Phased Arrays mit Punktquellen modelliert. Die aktive und passive Aperturlänge der Elemente findet dabei keine Berücksichtigung. In dieser Arbeit wird gezeigt, dass die tatsächlichen Abmessungen der Apertur einen deutlichen Einfluss auf das Zeit- und Frequenzverhalten des resultierenden Wellenfeldes haben. Anhand umfangreicher 4D-CEFIT-PSS-Simulationen wird dieser Einfluss verdeutlicht.

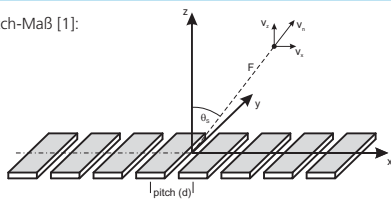
Wellenfeld einer Punktquelle in Radial- und Vertikalkomponente (CEFIT-Simulation) [2]



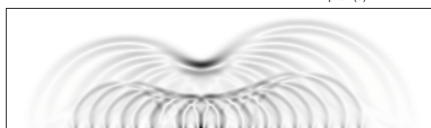
Modellierung beliebiger Aperturen mittels PSS (monolithisch und Gruppenstrahler) und Berechnung der resultierenden Wellenfelder mittels Punktquellensynthese und Focal Laws

Abhängigkeit der Focal Laws (t_s) nur von Pitch-Maß [1]:

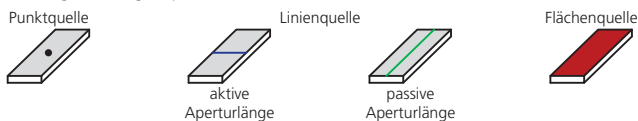
$$t_s = \frac{F}{c} \left\{ \left[1 + \left(\frac{Nd}{F} \right)^2 + \frac{2Nd}{F} \sin \theta_s \right]^{1/2} - \left[1 + \left(\frac{(n-N)d}{F} \right)^2 - \frac{2(n-N)d}{F} \sin \theta_s \right]^{1/2} \right\}$$



Beispiel einer fokussierenden Wellenfront



Modellierung rechteckiger Aperturen



Validierung der Modellierungsart im Zeit- und Frequenzbereich mit dem Ziel einer verbesserten Auflösung bei US-Phased Array Anwendungen

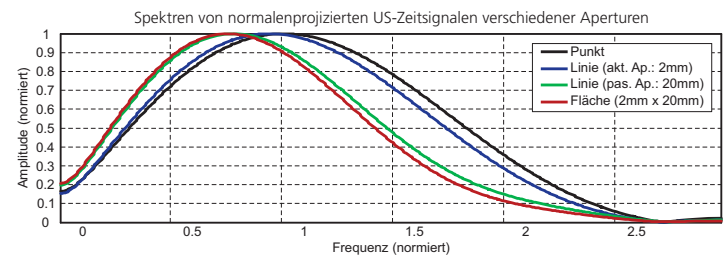
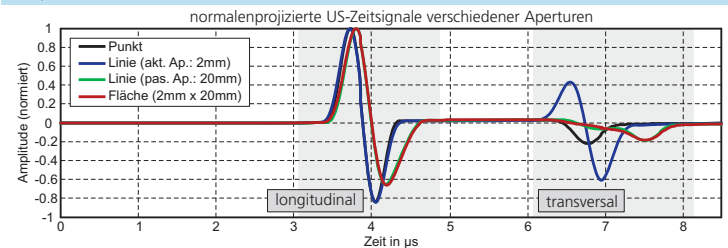
Literatur

- [1] Azar, L.; Shi, Y. & Wooh, S.-C.: „Beam focusing behavior of linear phased arrays“, NDT & E International, 2000, 33, 189 - 198
[2] Schubert, F. & Lamek, B.: „Fast numerical calculations of 3-D phased array wave fields based on transient point source synthesis“ 10th European Conference on Non-Destructive Testing, Moskau, 2010

Simulationsergebnisse

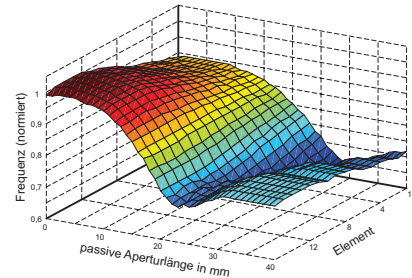
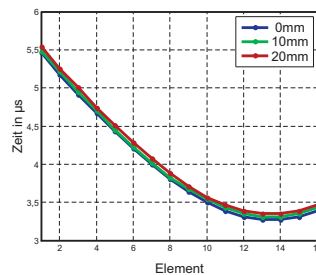
- Berechnung resultierender Ultraschallwellen basierend auf verschiedenen Aperturgeometrien (Punkt, Linie und Fläche)
- getrennte Analyse der Longitudinal- und Transversalanteile im Zeit- und Frequenzbereich

Beispiel für monolithische US-Wandler für Schwenkwinkel $\theta=30^\circ$ und Fokus $F=20\text{mm}$



Beispiel für Gruppenstrahler US-Wandler (Lin-16) für Schwenkwinkel $\theta=30^\circ$ und Fokus $F=20\text{mm}$

Zeitpunkt und Frequenz der maximalen Amplitude der Longitudinalwelle für jedes Einzelelement in Abhängigkeit der passiven Aperturlänge (aktive Aperturlänge ist konstant $d_{akt}=1.92\text{mm}$)



Fazit und Ausblick

Durch die 4D-EFIT-PSS-Simulation ist eine detaillierte Analyse des resultierenden Wellenfeldes von US-Wandlern möglich. Es wird deutlich, dass die Aperturmaße sowohl einen Einfluss auf das Zeit- als auch auf das Frequenzverhalten haben. Mit den hier gezeigten Ergebnissen können somit die Seitenverhältnisse von aktiver zu passiver Aperturlänge der US-Wandler optimiert werden. Die entsprechende Modifizierung der Focal Laws lässt darüber hinaus eine verbesserte Auflösung erwarten.