

3D-Schallfeldsimulation in Echtzeit am Beispiel von Prüfköpfen für die hochauflösende Ultraschallprüfung

Dascha DOBROVOLSKIJ*, Alexander DILLHÖFER*, Hans RIEDER*, Martin SPIES*

* Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern

Kurzfassung

Bei der Inspektion komplex geformter Bauteile wie beispielsweise Triebwerkskomponenten müssen verschiedene Aspekte beachtet werden. So führt der Einfluss der gekrümmten Bauteiloberflächen auf die Ultraschallanregung zu fokussierten oder zu divergenten Prüfkopfschallfeldern im zu prüfenden Objekt. Die Verhältnisse werden noch komplexer, wenn sphärisch oder zylindrisch fokussierende Prüfköpfe eingesetzt werden. Daher ist es ratsam, die entstehenden Schallfelder zu simulieren und in drei Dimensionen zu betrachten. Im Hinblick auf die Fehlerprüfung ist es darüber hinaus oftmals gar nicht notwendig, die Prüfsituation vollständig zu simulieren, da die Hauptmerkmale der Ultraschallprüfung selbst an komplexen Bauteilen bereits aus den 3D-Schallfeldern ersichtlich sind. In diesem Beitrag stellen wir Ergebnisse vor, die mit einem Simulationsverfahren auf der Basis der Überlagerung Gaußscher Strahlen (Gaussian Beam Superposition 'GBS') erzielt wurden. Die Methode zeichnet sich durch geringe Rechenzeiten aus und erlaubt daher eine schnelle Evaluierung komplexer Prüfsituationen. In unserem Ansatz verwenden wir eine geringe Anzahl Gaußscher Strahlen, sodass die Prüfkopfschallfelder dreidimensional in Echtzeit berechnet werden können. Charakteristische Parameter für die GBS-Methode werden dazu aus den lateralen Schallfeldprofilen in der Nahfeldlänge bzw. dem Fokuspunkt des jeweiligen Prüfkopfes individuell ermittelt. Diese Referenzprofile können anhand von Experimenten oder durch exakte Simulationsmethoden wie der von uns eingesetzten Generalisierten Punktquellensynthese (GPSS) bestimmt werden. Der Einsatz der GBS-Methode in Kombination mit einer eigenständigen graphischen Visualisierungssoftware - in unserem Fall MeVisLab - zur Darstellung der Schallfelder in drei Dimensionen stellt eine Option dar. Derzeit arbeiten wir an einem alternativen Ansatz, bei dem der GBS-Code und ein geeignetes Visualisierungstool in einer graphischen Benutzeroberfläche vereint sind. Entsprechende Ergebnisse stellen wir am Beispiel der hochauflösenden Ultraschallprüfung an Triebwerkskomponenten vor.



3D-Schallfeldsimulation in Echtzeit am Beispiel von Prüfköpfen für die hochauflösende Ultraschallprüfung

D. Dobrovolskij, M. Spies, A. Dillhöfer, H. Rieder

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Abteilung Bildverarbeitung, Fraunhofer-Platz 1, D-67663 Kaiserslautern, www.itwm.fraunhofer.de

Motivation & Ziele

Problemstellung

- hochauflösende Fehlerprüfung von Bauteilen mit gekrümmter Oberfläche
- Vielfalt der einsetzbaren Prüfköpfe

Simulation von Schallfeldern

- a-priori Abschätzung der Prüfergebnisse in Abhängigkeit der Prüfvoraussetzungen
- Berücksichtigung spezifischer Prüfkopfdaten
- Echtzeitsimulation

Entwicklung einer Benutzeroberfläche

- Simulation und Visualisierung von Schallfeldern
- Menü-geführte Eingabe der Parameter
- anschauliche Darstellung der Rechenergebnisse

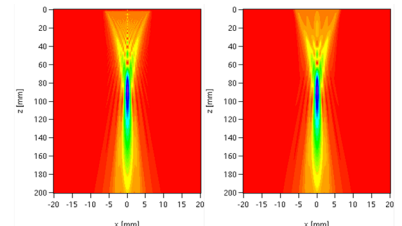
Modellierung & Simulation

Berücksichtigung der Prüfkopfparameter

- Abmessungen, Frequenz, Wellenart
- Apertur (zirkular, rechteckig)
- eben oder fokussiert (sphärisch, zylindrisch)

Simulationsverfahren

- Generalisierte Punktquellensynthese (GPSS)
 - Rechenzeit frequenzabhängig
 - geeignet zur exakten Modellierung



Schallfeld eines Fokussprüfkopfes

- links GPSS, rechts GBS
- Frequenz 10 MHz
- Durchmesser 12.7 mm
- Medium: Wasser
- Fokustiefe: 101.6 mm

- Überlagerung von Gaußschen Strahlen (GBS)

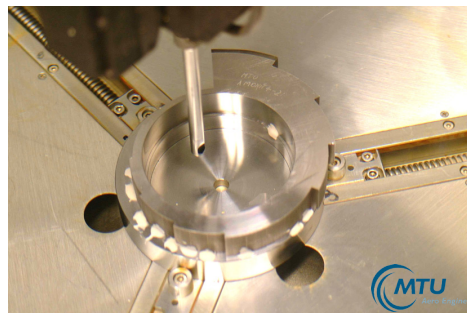
$$|\mathbf{u}_n^{GPSS}(\mathbf{R})| = \sum_{n=1}^N \frac{U_n}{1 + M_n v_n z} \exp \left[j\omega \frac{M_n r^2}{2(1 + M_n v_n z)} \right]$$

- prüfkopfspezifische Charakterisierung mittels der Koeffizienten (U_n, M_n)
- Näherungsverfahren
- geeignet zur Echtzeitsimulation

Anwendungsfall, Simulation und Validierung

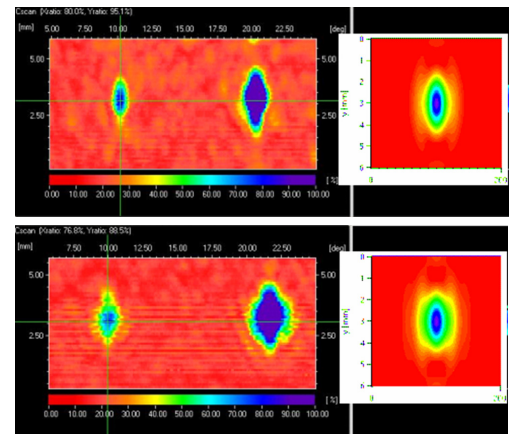
Inspektionsszenario*

- Testkörper mit stark gekrümmter Oberfläche («Ammonit«)
- Flachbodenbohrungen (FBB) in der Tiefe von 2 mm bis 15 mm
- 10 MHz sphärisch fokussierter Prüfkopf (9.5 mm Durchmesser)
- Fokustiefe (gemessen in Wasser) bei 75 mm



Vergleich der C-Scans

- experimentelle (links) und simulierte Daten (rechts)
- FBB mit $d=0.2$ mm/0.3 mm, 12 mm Tiefe (oben)
- FBB mit $d=0.2$ mm/0.3 mm, 14 mm Tiefe (unten)



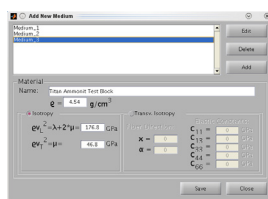
- Modell für FBB: Punktrefektor
- qualitativer Vergleich
- Ergebnis: sehr gute Übereinstimmung

3D-Simulation - »Beam Field Simulation Tool«

- Simulation und Visualisierung in einer Umgebung
- entwickelt in Matlab GUI-Toolbox
- Einbindung von Routinen anderer Programmiersprachen möglich (C/C++, Fortran)

implementiert für:

- isotropes Materialverhalten
- Transmission und Reflexion an Grenzübergängen
- verschiedene Prüfkopfarten
- anisotropes Materialverhalten



Dialog zur Eingabe von Materialparametern

geplante Erweiterungen:

- verschiedene Auswertemöglichkeiten
- Simulation von Winkelprüfköpfen, Phased Arrays, ...
- flexible Geometriemodellierung
- Modellierung der Schallstreuung

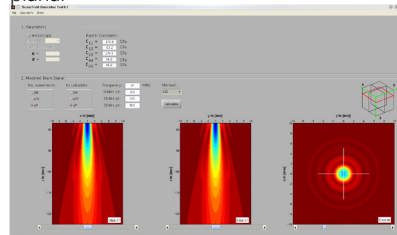
*Dank

Wir bedanken uns bei Wolf-Dieter Feist, Wilhelm Satzger und Dr. Joachim Bamberg, MTU Aero Engines, München.

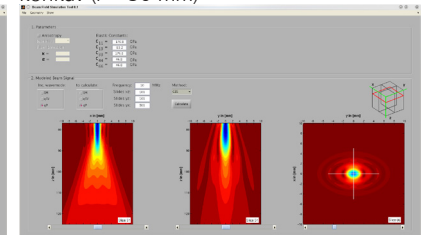
3D-Darstellung der Simulationsergebnisse

- Einschallung in Titan-Testkörper, verschiedene Oberflächen, Wasservorlauf 75 mm
- Ansicht in Schnittebenen

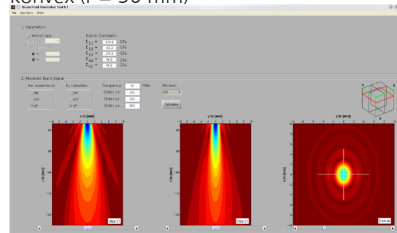
planar



konkav (r = 50 mm)



konvex (r = 50 mm)



konkav-konvex (jeweils r = 50 mm)

