Berichte aus der Akustik

Ludwig Bahr

**Simulation und messtechnische Erfassung von
Ultraschall in Medien mit Dämpfung gemäß
allgemeinem Frequenzpotenzgesetz**

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7689-8

ISSN 1611-1303

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Ludwig Bahr

Simulation und messtechnische Erfassung von Ultraschall in Medien mit Dämpfung gemäß allgemeinem Frequenzpotenzgesetz

Kurzfassung - Dissertation

Die Ausbreitung von Ultraschallwellen findet bei vielen Applikationen, wie der Ultraschall-Spektroskopie, der Sonografie, der Ultraschallchirurgie und der Lithotripsie, in Medien statt, in denen sich die Schalldämpfung nicht mit thermoviskosen Verlusten beschreiben lässt. Im Entwicklungsprozess der Geräte werden vielfach computergestützte Simulationsverfahren eingesetzt. Fehlbeschreibungen der Schalldämpfung können allerdings zu merklichen Abweichungen in simulierten Signalverläufen des Schallfeldes führen.

Als Ziel der Arbeit wurde deswegen angesetzt, Methoden für Forschung und Entwicklung zur Verfügung zu stellen, welche die spektralen Eigenschaften von Dämpfung und Schallgeschwindigkeit wirklichkeitsgetreu abbilden. Zur Beschreibung der Schalldämpfung wurde ein Frequenzpotenzgesetz-Ansatz gewählt, mit dessen Hilfe auch das dispersive Verhalten der Schallgeschwindigkeit einheitlich über die Kramers-Kronig-Beziehungen beschrieben werden kann. Die Legitimität des Ansatzes im Rahmen der in der Literatur bekannten Modelle wurde diskutiert.

Darauf aufbauend wurde ein Simulationsprogramm auf Basis der Finite-Elemente-Methode entwickelt, welches Simulationen der Schallausbreitung mit Frequenzpotenzgesetz-Dämpfung im Zeit- und Frequenzbereich erlaubt. In der Zeitbereichssimulation konnte darüber hinaus der nichtlineare Zusammenhang von Druck und Dichte, der zu einer fortschreitenden Aufsteilung der Schallwelle über den Ausbreitungsweg führt, berücksichtigt werden. Die erzielbare Rechengenauigkeit wurde in drei Szenarien der Schallausbreitung geprüft.

Mit einem spezialisierten Kopplungsverfahren wurde aus der dissipierten Schallenergie der Zeitverlauf der Wärmeübertragung im Ausbreitungsmedium berechnet, wobei im Ansatz explizit keine geometrischen Vereinfachungen getroffen wurden. Das Schallfeld wurde hierbei unter Voraussetzung von quasi-kontinuierlicher Anregung im Frequenzbereich gelöst. Die Gültigkeit der Simulationsmethode für praktische Anwendungen konnte durch Messungen mit einer Thermokamera bestätigt werden.

Um Simulationen der Schallausbreitung in Medien mit Frequenzpotenzgesetz-Dämpfung direkt mit gemessenen Schalldruckverteilungen vergleichen zu können, wurde ein neuartiges optisches Messverfahren entwickelt, welches für flüssige und feste transparente Medien eingesetzt werden kann. Es wertet den optischen Weg eines Laserstrahls mit Hilfe eines Interferometers aus; der Schalldruck wird orts- und zeitaufgelöst mit tomographischen Algorithmen rekonstruiert. Aus simulierten Schallfelddaten konnten synthetische Messdaten generiert werden, um so die tomographische Rekonstruktion zu testen und um die für Detailtreue notwendige Ortsabstastung zu ermitteln. Exemplarisch für Stoffe mit genanntem Dämpfungsverhalten wurden Schalldruckmessungen in einem Plexiglasblock durchgeführt.