

Vergleich von iterativen Inversionscharakterisierungsmethoden und direkten Methoden für starre poröse Materialien

Ferina Saati, Karl-Alexander Hamilton Hoppe, Steffen Marburg

Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme, Technische Universität München, 85748 Garching b. München

E-Mail: ferina.saati@tum.de

Einleitung

Die Modellierung der Schallausbreitung in porösen Medien erfordert die Kenntnis mehrerer intrinsischer Materialparameter, von denen einige schwierig oder nicht direkt messbar sind [1], insbesondere im Fall eines porösen Mediums, das aus Poren mit einem breiten Skalenbereich und zufälligen Verbindungen besteht. Um das akustische Verhalten von porösen oder granularen Materialien zu beschreiben, werden Schallausbreitungsmodelle verwendet. Die Vorhersage mehrerer Parameter durch solche Modelle ist auf verschiedene Bereiche anwendbar, wie z.B. Geräuschunterdrückung im Innen- und Außenbereich, zerstörungsfreie Materialcharakterisierung, thermoakustisch kontrollierte Wärmeübertragung usw. Für diese Zwecke werden in vielen Situationen äquivalente Fluidmodelle verwendet [2]. Hier wird das in die Poren eingeschlossene Fluid als homogen approximiert und mit der komplexen, frequenzabhängigen charakteristischen Impedanz sowie der komplexen Wellenzahl dargestellt. Das Material wird makroskopisch durch eine äquivalente Fluid ersetzt. Dies bedeutet, dass das Verhalten des Materials als Bulkmedium anstelle von Fluid in einer einzelnen Pore untersucht wird. Die Hauptannahme ist, dass der feste Teil des Materials starr und unbeweglich ist. Daher ist das Verhalten des Materials als Massenmedium von Interesse. In jedem Modell gibt es mehrere Parameter.

Bei dem weit verbreiteten Modell Johnson-Champoux-Allard handelt es sich zum Beispiel um fünf makroskopische Parameter [3], die als Strömungswiderstand, Porosität, Torusität, viskose und thermische charakteristische Längen bezeichnet werden. Unter den Charakterisierungstechniken haben inverse Verfahren für makroskopische Parameter von akustischen porösen Materialien aufgrund ihrer Einfachheit an Popularität gewonnen. Diese Verfahren haben den großen Vorteil, dass mehrere Parameter gleichzeitig durch Inversion bestimmt werden. Somit werden für jeden Parameter weniger Messgeräte notwendig.

Der Absorptionsgrad wird normalerweise mit einem standardmäßigen 2-Mikrofon-Impedanzrohr gemäß einem ISO-Standard von 2001 geprüft. Das Rohr in dieser Studie ist in einem vertikalen Zustand fixiert, um den Einfluss der Schwerkraft auf granulares Material aus Gründen der Oberflächensymmetrie zu vermeiden. Messungen werden im Frequenzbereich von 100 Hz bis 4,5 kHz durchgeführt. Die Probe wird im Probenhalter montiert, unterstützt von einer starren Platte. Die unbekannten Parameter variieren je nach Modellwahl. Diese können durch genaue Messungen der Oberflächenimpedanz an einer porösen Probe abgeleitet werden. Mit diesem Ausdruck kann eine nichtlineare Regressionsanpassung entworfen und optimiert werden, um

die verbleibenden Unbekannten zu identifizieren. Durch Definieren des unbekannt parametrischen Vektors besteht der Ansatz darin, eine Kostenfunktion zu entwerfen, die die Übereinstimmung zwischen eines beobachteten Absorptionsgrades und einer numerischen Vorhersage für eine bestimmte Schätzung des einstellbaren Vektors über einen bestimmten Frequenzbereich bemisst.

VERGLEICHEN DER METHODEN

Die drei Inversionsmodelle, die in dieser Studie verwendet wurden, sind Miki [4], CA (Champoux-Allard) [5] und NUPSD (Non Uniform Pore Size Distribution) [6].

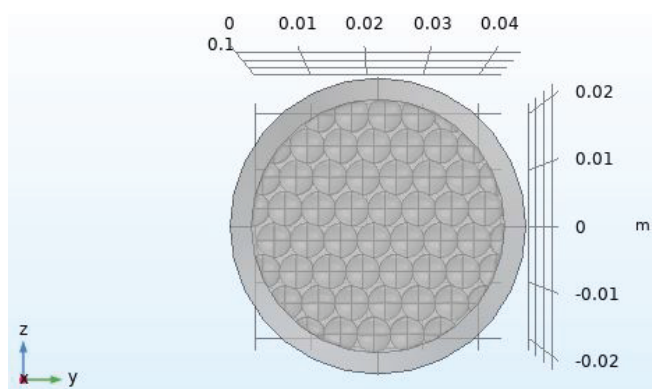


Abbildung 1: Ein Beispielmodell in Comsol Multiphysics®

Alle drei Modelle bieten einen interessanterweise ähnlichen durchschnittlichen Fehlerbereich. Basierend auf Strömungswiderstandsdaten, die unter Verwendung von 7 Charakterisierungsmodellen (3 Inversion, 4 Direkt) abgeleitet wurden, werden verschiedene Ergebnisse erzielt. Um dies zu analysieren, zum Beispiel aufgrund der verfügbaren Messdaten für 2 mm Glasperlen, finden wir, dass der gemessene Wert besser mit Inversionsmodellen vergleichbar ist. Perlen mit einem Durchmesser von 6 mm wirken jedoch anders. Es ist interessant, die Gründe dafür herauszufinden, wie das Vorhersageverfahren verbessert werden kann. Auf einem Stapel von Glasperlen mit einem Durchmesser von 6 mm (Abbildung 1) wurde ein Finite Elemente Modell erstellt. Der Absorptionsgrad wird berechnet und in Abbildung 2 gezeigt. Der Durchmesser des Impedanzrohrs beträgt 44 mm. Die Länge des Rohres muss mehr als das Dreifache des Durchmessers betragen. Das Netz ist auf sehr fein eingestellt und die Netzkonvergenz ist abgeschlossen. Obwohl der Vernetzungs- und Lösungsprozess ziemlich kostenintensiv ist, hoffen wir, dass wir beim Vergleich der Simulations- und Messergebnisse mit Inversions- und direkten Methoden Muster der Morphologie gegenüber dem porösen akustischen Verhalten unserer Proben finden können. In Abbildung 3 sehen wir ein Beispiel für den erwähnten Vergleich. Der

Grund für den Unterschied zwischen den Absorptionsspitzen wird derzeit untersucht.

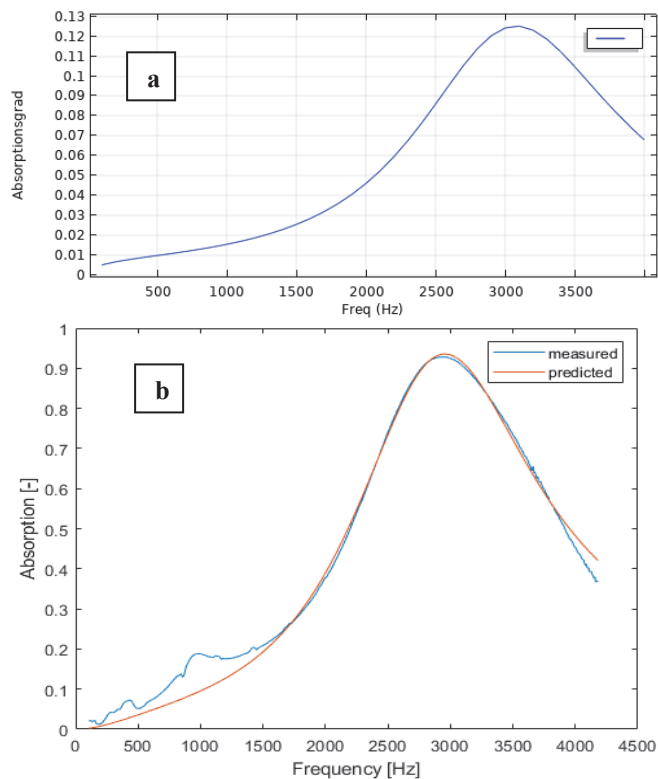


Abbildung 2: Absorptionsgradkurve von Finite Elemente Modell (a) und Absorptionsgradkurve von Impedanzrohrmessung / CA Inversionsmethode auf eine 22 mm Stapel von Glasperlen mit 6 mm Durchmesser

Schlussfolgerungen

Theoretische und empirische Modelle für die akustischen Eigenschaften granularer Medien ermöglichen es, nichtakustische Eigenschaften wie Strömungswiderstand, Tortuosität und Porengröße invers zu ermitteln. Granulare Materialien werden typischerweise unter Verwendung akustischer Modelle charakterisiert. Die Genauigkeit der Vorhersage hängt jedoch stark von den Eingabeparametern und der gewählten Methode ab. Um makroskopisch granulare Medien mit Hilfe von Impedanzrohrmessungen zu charakterisieren, sind unter der Annahme von Homogenität sowie starrem Rahmen akustische Inversionsmodelle verfügbar. Diese Modelle sagen das Verhalten der Materialien effizient voraus und werden häufig verwendet, um die intrinsischen Eigenschaften der Medien abzuleiten. Oft ist aber unklar, wie solche Modelle die einzelnen Materialeigenschaften darstellen. In dieser Arbeit wird gezeigt, dass die Vorhersage von Schlüsselporencharakteristika granularer Medien mittels akustischer Charakterisierungsmethoden vergleichbar zur Vorhersage mit bisherigen Methoden ist. Die dreidimensionale Finite-Elemente-Modellierung wurde ebenfalls als Beispiel für ein Stapel von Glasperlen in einem Impedanz-Rohr gezeigt, und die resultierende Absorptionsgradkurve wurde mit derjenigen der tatsächlichen Messung und einer beispielhaften Inversionsmethode verglichen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Prof. Kirill V. Horoshenkov und Alistair I. Hurrell für ihre Hilfe bei der ursprünglichen Idee und den Messungen.

Literatur

- [1] Bonfiglio Paolo, Pompoli Francesco, Comparison of Different Inversion Techniques for Determining Physical Parameters of Porous Media, 19th International Congress on Acoustics, ICA 2007 Madrid
- [2] Atalla, Youssef, and Raymond Panneton. "Inverse acoustical characterization of open cell porous media using impedance tube measurements." *Canadian acoustics* 33, no. 1 (2005): 11-24.
- [3] Allard, Jean-François and Gilles Daigle. "Propagation of sound in porous media: Modeling sound absorbing materials." *The journal of the acoustical society of America* 95, 2785 (1994): 2785-2785.
- [4] Miki, Yasushi. "Acoustical properties of porous materials-Modifications of Delany-Bazley models." *Journal of the acoustical society of Japan (E)* 11, no. 1 (1990): 19-24.
- [5] Allard, Jean-François and Yvan Champoux. "New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials." *The journal of the acoustical society of America* 91, no. 6 (1992): 3346-3353
- [6] Horoshenkov, Kirill V., Jean-Philippe Groby, and Olivier Dazel. "Asymptotic limits of some models for sound propagation in porous media and the assignment of the pore characteristic lengths." *The journal of the acoustical society of America* 139, no. 5 (2016): 2463-2474.