

MESSUNG DES REFLEXIONSFAKTORS VERSCHIEDENER MATERIALIEN IM ULTRASCHALLBEREICH

M. Schuster, V. Mellert, J. Wempen

Fachbereich Physik, Universität Oldenburg, D-2900 Oldenburg

Einleitung

Für akustische Modelluntersuchungen im verkleinerten Maßstab (Ultraschallmodell) werden Materialien benötigt, die für die Modellfrequenzen ähnliche Reflexionseigenschaften aufweisen, wie entsprechende Materialien im Hörfrequenzbereich. Es wird ein Impulsmeßverfahren vorgestellt, das die breitbandige Bestimmung des Reflexionsfaktors bzw. der Oberflächenimpedanz in Abhängigkeit vom Einfallswinkel im Frequenzbereich von etwa 5 kHz bis 200 kHz gestattet. Die obere Grenzfrequenz ist derzeit noch durch die nicht perfekte Reproduzierbarkeit der Schallimpulse sowie die Mikrofonempfindlichkeit limitiert.

Meßverfahren

Als Impulsschallquelle wird die von einem Schlauch (8mm Innen-Ø) abgestrahlte Stoßwelle genutzt, die von einer elektrischen Entladung erzeugt wird [3]. Die Schallquelle erzeugt ein breitbandiges Spektrum bis zu einigen hundert kHz. Die Reproduzierbarkeit hängt von der elektrischen Entladung ab, die obere Grenzfrequenz ist durch die Geometrie der ebenen Abstrahlung der Stoßfront gegeben.

Der Schallimpuls trifft unter definiertem Einfallswinkel auf das Probenmaterial. Der Abstand Probe - Schallquelle beträgt etwa 0.8 m. Der reflektierte Schallimpuls wird von einem 1/8" - Meßmikrofon, das zur Vermeidung von Reflexionen am Ende eines etwa 1 m langen PVC-Rohres montiert ist, aufgenommen. Das Mikrofonsignal wird von einem Transientenspeicher (12 bit, 2 MHz) zwischengespeichert. Der Speicher verfügt über vier einzeln einlesbare Bereiche. Der Speicherinhalt wird über eine parallele Schnittstelle in einen FFT - Analysator übertragen und weiter verarbeitet. Vor jeder Meßreihe wird der an einer 6 mm starken Glasplatte reflektierte Schallimpuls als Referenzsignal eingelesen. Anschließend wird das Probenmaterial auf der Glasplatte befestigt. Der von der Probe reflektierte Meßimpuls wird spektral zerlegt und durch das Spektrum des abgespeicherten Referenzimpulses dividiert. Auf diese Weise wird eine "Übertragungsfunktion" nach Betrag und Phase berechnet. Die zeitliche Synchronität wird durch ein Triggermikrofon erzielt. Der geometrische Aufbau darf während einer Meßreihe nicht verändert werden. Lediglich das Meßmikrofon wird aufgrund unterschiedlicher Schichtdicken der Probenmaterialien im Abstand entsprechend variiert. Durch die Beibehaltung des Laufweges zwischen Referenz- und Probenmessung ist es nicht notwendig, auf die geometrische Abnahme der Kugelwelle zu korrigieren.

Der Meßaufbau erlaubt derzeit die spektrale Mittelung je zwei aufeinander folgender Meßsignale.

Der Betrag der Übertragungsfunktion ist gleich dem Betrag des Reflexionsfaktors der Probenoberfläche, die Phase kann bis auf eine lineare Frequenzabhängigkeit mit der Phase des Reflexionsfaktors identifiziert werden. Der Versuchsaufbau gestattet die Messung unter verschiedenen Einfallswinkeln von rund 10° bis 60° (vom Lot gemessen).

In Fig. 1 ist die Übertragungsfunktion zwischen dem Direktsignal und dem an der Glasplatte reflektierten dargestellt. Je zwei Übertragungsfunktionen wurden gemittelt. Ab ca 180 kHz treten merkliche Phasen- und Amplitudenschwankungen auf, darunter liegen die Amplitudenfehler bei ± 1 dB. Die untere Grenzfrequenz liegt bei ca 5 kHz und ist durch die geome-

trischen Abmessungen des Meßaufbaus (Mikrofonabstand, Probengröße) begrenzt. Die Beugungswellen vom Probenrand und Reflexionen an Begrenzungsflächen des Meßaufbaus werden durch zeitliche Fensterung eliminiert.

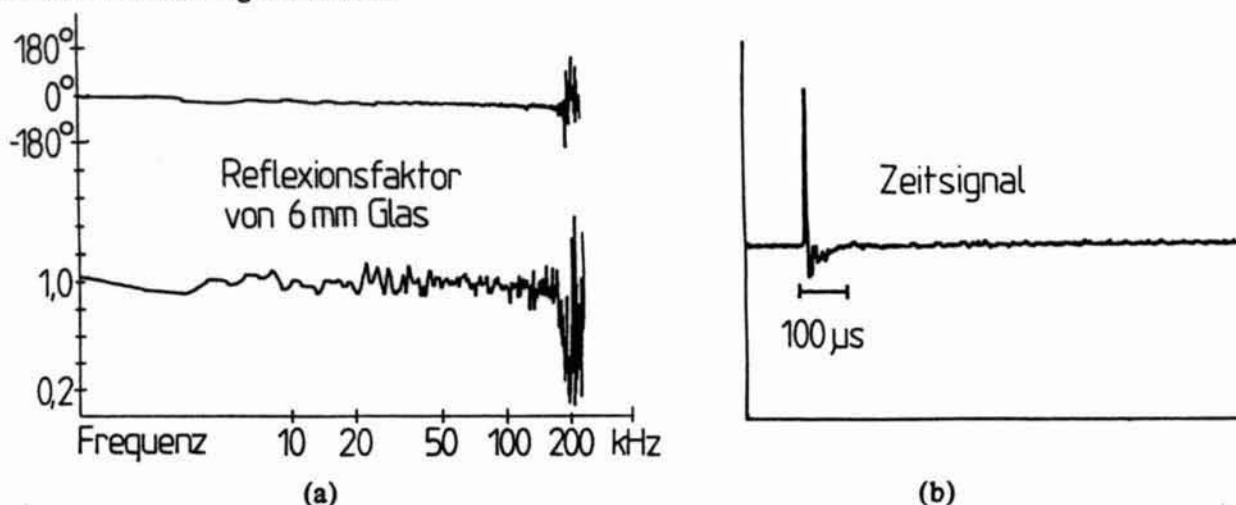


Fig. 1a "Übertragungsfunktion" zwischen dem Direktsignal und dem an einer Glasplatte reflektierten Referenzsignal.

Fig. 1b Zeitsignal des Meßimpulses.

Die meisten Materialien wurden auf der Glasplatte liegend vermessen. Im Prinzip kann auch ein anderes Probenträgermaterial verwendet werden.

Materialproben

Bei der Auswahl der Probenmaterialien wurde einmal auf leichte Beschaffbarkeit, zum anderen auf möglichst unterschiedliche Reflexionseigenschaften geachtet, um eine leichtere Modellierung tatsächlicher, im Hörfrequenzbereich wichtiger Materialien zu erreichen. Es wurden verschiedene Teppichgewebe mit unterschiedlichem Flor, Dicke, Schaumrücken u.s.w. vermessen; Mineralfaser mit und ohne Kaschierung; Baustoffe. Styroporplatten mit Stärken von einigen mm wurden zur Realisierung geschichteter akustischer Materialien benutzt, um einfache nicht-lokal reagierende Impedanzen zu modellieren.

Meßergebnisse

In Fig. 2a und 2b sind Betrag und Phase der Reflexionsfaktoren von 23 mm Steinwollplatten unter nahezu senkrechtem Schalleinfall (10°) dargestellt. Bei der kaschierten Platte (Fig. 2b) steigt

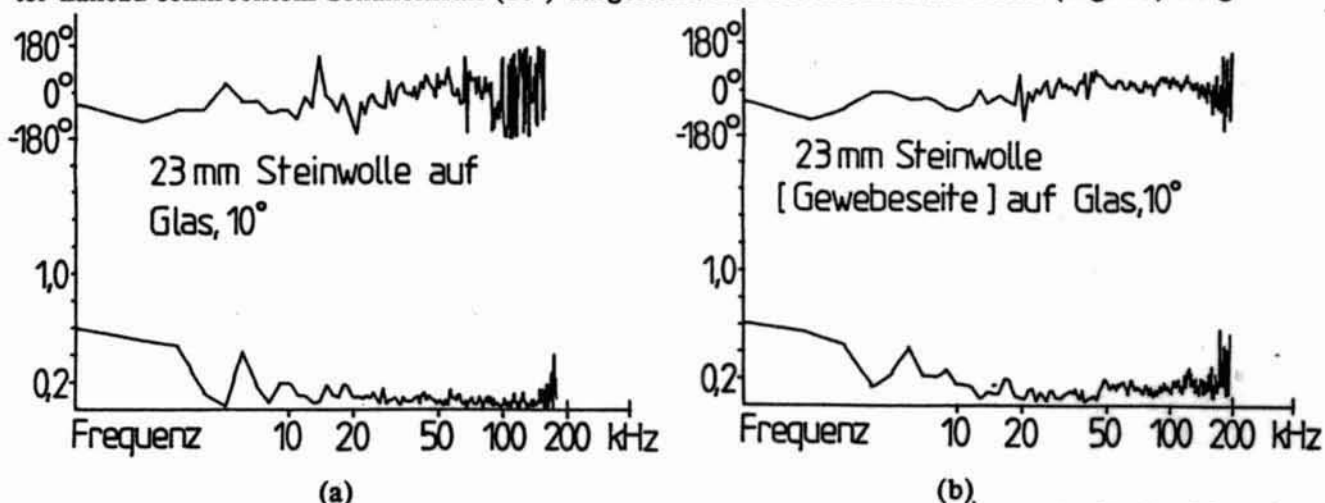


Fig. 2 Reflexionsfaktor nach Betrag und Phase von Steinwolle ohne Gewebeoberfläche (a) und mit Gewebekaschierung (b).

der Reflexionsfaktor etwa ab ca. 50 kHz wieder leicht an, außerdem schwankt die Phase weniger als in Fig. 2a. Diese Effekte sind auf die glattere Gewebeoberfläche zurückzuführen.

In Fig. 3b ist die Messung von Teppichboden mit 4 mm Schlingenhöhe für nahezu senkrechten Schalleinfall (10°) dargestellt. Im Vergleich dazu fällt bei einem Florteppich von 10 mm Faserhöhe auf (Fig. 3a), daß die Absorption mit der Frequenz stärker zunimmt. Die gleiche Teppichprobe ist in Fig. 3c mit 40° Einfallswinkel vermessen. Zwischen 3a und 3c ist kaum ein Unterschied festzustellen. Es läßt sich aus den zugehörigen Impedanzen leicht abschätzen, daß der Reflexionsfaktor dem Betrage nach in Fig.3a bei ca. 75 % von Fig.3c liegen sollte, wenn die Impedanz bei diesem Material innerhalb des untersuchten Winkelbereiches unabhängig vom Einfallswinkel wäre. Dieses Verhalten ist auch in Messungen an nicht-lokal reagierenden Absorbentien (Schaumstoffen) im gleichen Winkelbereich zu beobachten [1]. Meßbare Abweichungen des Absorptionskoeffizienten treten in [1] erst für flacheren Schalleinfall als 40° auf.

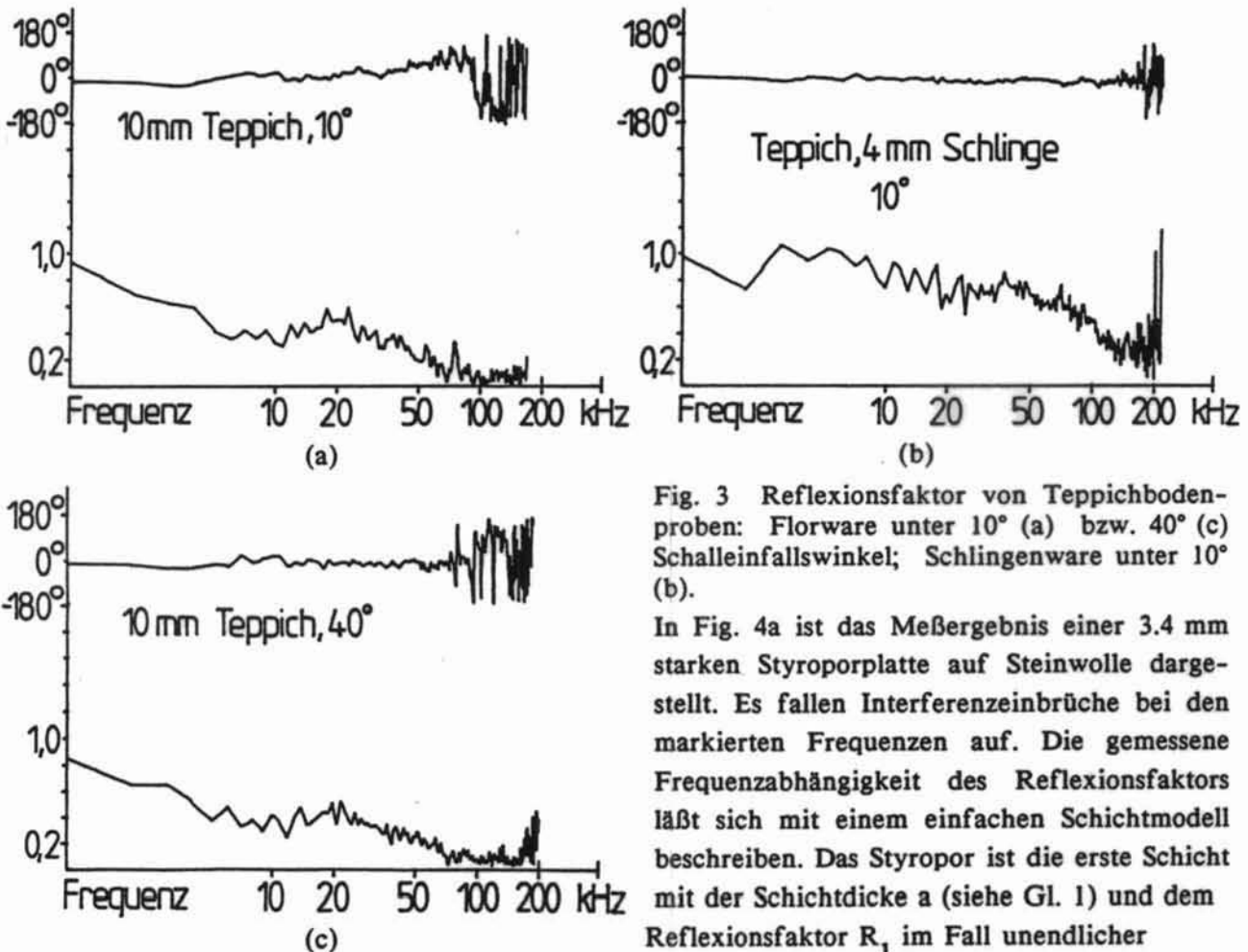


Fig. 3 Reflexionsfaktor von Teppichbodenproben: Florware unter 10° (a) bzw. 40° (c) Schalleinfallswinkel; Schlingenware unter 10° (b).

In Fig. 4a ist das Meßergebnis einer 3.4 mm starken Styroporplatte auf Steinwolle dargestellt. Es fallen Interferenzeinbrüche bei den markierten Frequenzen auf. Die gemessene Frequenzabhängigkeit des Reflexionsfaktors läßt sich mit einem einfachen Schichtmodell beschreiben. Das Styropor ist die erste Schicht mit der Schichtdicke a (siehe Gl. 1) und dem Reflexionsfaktor R_1 im Fall unendlicher

Schichtdicke. Unter Berücksichtigung des Reflexionsfaktors R_2 der Grenzfläche zwischen dem Schichtmaterial und dem Probenträgermaterial, sowie den Normalkomponenten des Wellenvektors in der Schicht, $k_n + id_n$ (d Dämpfungskonstante in der Schicht) ergibt sich der gesamte Reflexionsfaktor der Schicht auf dem Probenträger zu

$$R_g = (R_1 + R_2 \exp(2a[ik_n - d_n])) / (1 + R_1 R_2 \exp(2a[ik_n - d_n])) \quad (1)$$

(Der Probenträger wird als unendlich ausgedehnt angenommen). Die Interferenzextrema treten auf, wenn der Betrag von R_g extremal wird, das ist für $(2aik_n) = 0^\circ$ oder 180° der Fall; die Dämpfungskonstante d_n wird mit R_2 zum Ausdruck $R_2 \exp(-2ad_n)$ zusammengefaßt, der aus der Höhe der Maxima und Minima berechnet wird. Aus den Abständen der Minima läßt sich bei

Kenntnis des Einfallswinkels und der Schichtdicke die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Schichtmaterial bestimmen [2]. Die Dichte wird durch Wägung ermittelt. Mit diesen Daten kann der Wellenwiderstand des Schichtmaterials zur Bestimmung von R_1 und von k_n berechnet werden. Für negatives R_2 ergibt der theoretische Verlauf (1) eine Frequenzabhängigkeit von R_g gemäß Fig. 4b. Man erkennt eine gute Übereinstimmung des grundsätzlichen Verlaufs.

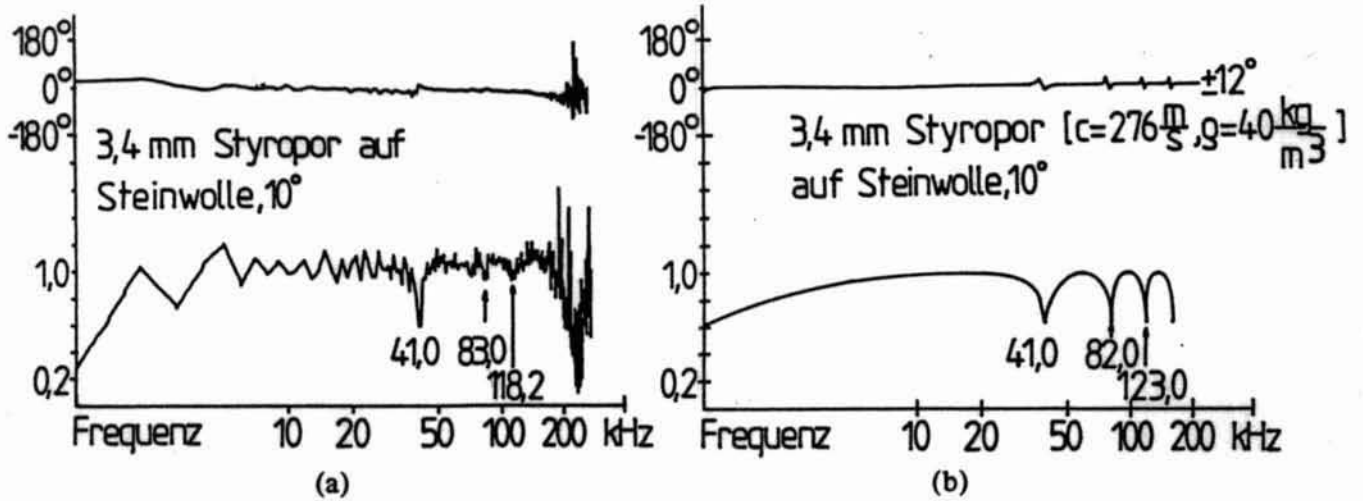


Fig. 4 gemessener Reflexionsfaktor einer Schicht Styropor auf Steinwolle (a); theoretischer Verlauf des Schichtmodells (1) mit den angegebenen Materialkonstanten (b).

Zur Überprüfung des Ansatzes wurden die bei Reflexionsfaktormessungen an der Styroporschicht unter 10° , 20° , 30° und 40° erhaltenen Frequenzwerte der Minima gegen die entsprechenden Werte aus dem Schichtmodell (1) aufgetragen (Fig. 5). Die vorhergesagte Abhängigkeit vom Einfallswinkel wird recht gut wiedergegeben.

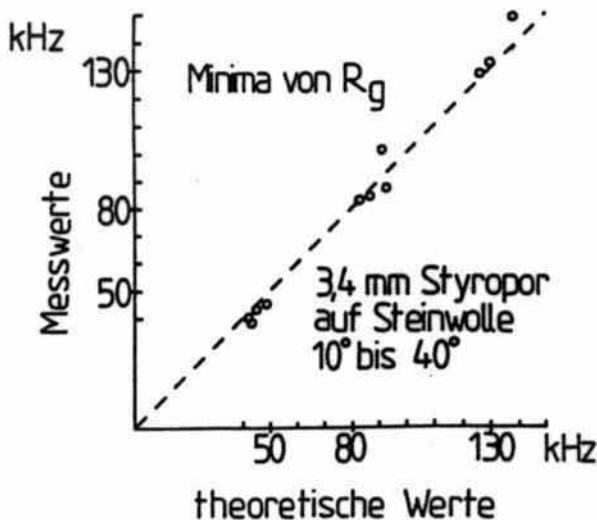


Fig. 5 Vergleich zwischen gemessenen und nach (1) berechneten Frequenzminima.

Zusammenfassung

Es wurde ein Impulsmeßverfahren vorgestellt, welches die breitbandige Messung des Reflexionsfaktors unter Einfallswinkeln von 10° bis 60° gestattet. Damit können Materialien auf ihre Eignung als gewünschte Impedanz im Ultraschall-Modellmaßstab vermessen werden. Die untersuchten Materialien zeigten nicht das Verhalten lokaler Impedanz. Die untersuchte Styroporschicht kann auf einfache Weise als Schicht vor einem unendlich ausgedehnten Proben-trägermaterial beschrieben werden.

Literatur

- [1] M. Minten, A. Cops, W. Lauriks : Absorption characteristics of an acoustic material at oblique incidence measured with the two-microphone technique. Journ. of Sound and Vibration 120, 499 - 510, (1988)
- [2] C.C.H. Guyott, P. Cawley : The measurement of through thickness plate vibration using a pulsed ultrasonic transducer. Journ. Acoust. Soc. Amer. 83, 623 - 631, (1988)
- [3] M. Schultz, A. Sill : Modelluntersuchungen zur Schallausbreitung im Freien unter Einfluß meteorologischer Parameter. in: Fortschritte der Akustik - FASE/DAGA'82, S. 487-490, Göttingen 1982