

Kundtsches Rohr mit örtlicher Schallfeldabtastung durch ortsfeste Mikrofone

Thomas Dietrich, Ennes Sarradj
 TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation;

Email: dietrich.th@arcor.de, Ennes.Sarradj@akustikforschung.de

Einleitung

In vielen Bereichen im Alltag, zum Beispiel bei der Lärmbekämpfung im Straßenverkehr, sind die Kenntnisse von Schallabsorptionsgrad und Wandimpedanz eines Materials sehr wichtig. Für die Bestimmung dieser Größen unter senkrechtem Schalleinfall, wird das sogenannte Kundtsche Rohr genutzt.

Ziel dieser Arbeit waren Aufbau und Erprobung eines Kundtschen Rohres zur Messung von Wandimpedanz und Absorptionsgrad für den Frequenzbereich 200 Hz bis 1600 Hz. Dabei sollte die Methode der örtlichen Schallfeldabtastung mit mehreren ortsfesten Mikrofonen angewandt werden.

Stand der Technik zur Messung der Schallabsorption im Rohr

Stehwellenmethode

Die Stehwellenmethode [1] ist eine einfache und zuverlässige Methode zur Messung von Wandimpedanz und Absorptionsgrad. Allerdings ist sie sehr zeitaufwendig, da die Messungen bei einzelnen Frequenzen erfolgen.

Zwei-Mikrofon-Methode

Bei der Zwei-Mikrofon-Methode [2] wird der Reflexionsfaktor aus der Bestimmung der Druckübertragungsfunktion zwischen den zwei Mikrofonen berechnet. Dabei ist die Messung problematisch, wenn der Abstand zwischen den Mikrofonen im Bereich der halben Wellenlänge liegt. Nachteilig bei dieser Methode sind außerdem die relativ hohen Anschaffungskosten für ein Messsystem dieser Art, da es unter anderem den Einsatz von Präzisionsmikrofonen erfordert, um notwendige Korrekturen von Amplituden- und Phasenfehlpassungen zwischen den Mikrofonen zu verringern.

Vielpunkt-Messmethode

Die Vielpunkt-Messmethode [3] ist eine Erweiterung der Zwei-Mikrofon-Methode. Nachteilig bei ihr ist der Mehraufwand bei Verwendung von nur einem Mikrofon für die Messung an den verschiedenen Messpunkten.

Methode der örtlichen Schallfeldabtastung

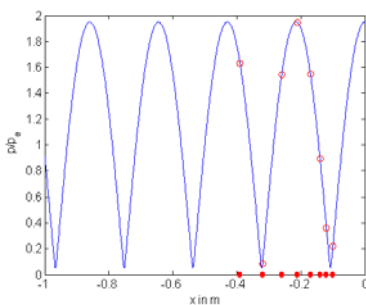


Abbildung 1: Beispiel einer stehenden Welle mit Abtastpunkten. Die roten Punkte stellen Abtastpunkte entlang des Rohres dar und die roten Kreise die zugehörigen Abtastwerte.

Bei der Methode der örtlichen Schallfeldabtastung werden die Schalldruckwerte im Rohr an n verschiedenen Messpunkten aufgenommen. Die stehenden Wellen werden aus den an den jeweiligen Mikrofonpositionen gemessenen Amplituden des Schalldrucks für

diskrete Frequenzen mathematisch rekonstruiert. Dadurch ist es möglich, den Betrag und die Phase des Reflexionsfaktors sowie den Schalldruck der einfallenden Welle zu ermitteln.

Der Gesamtschalldruck an einem Messpunkt x ist abhängig von der Wellenzahl, dem Schalldruck der einfallenden Welle sowie dem Betrag und der Phase des Reflexionsfaktors:

$$\tilde{p}(x, k, \tilde{p}_e, r, \gamma) = \tilde{p}_e \cdot \sqrt{r^2 + 2 \cdot r \cdot (\cos(2 \cdot k \cdot x + \gamma))} + 1 \quad \text{eq. 1}$$

Soweit außer dem Ort x auch die Frequenz f und somit die Wellenzahl k des eingespeisten Signals bekannt sind, erhält man eine Formel mit drei Unbekannten. Durch die Betrachtung des Schalldrucks an n Punkten ($n > 3$) lässt sich ein nichtlineares überbestimmtes Gleichungssystem aus n Gleichungen und den drei Unbekannten r , γ und p_e aufstellen:

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1(x_1, k, \tilde{p}_e, r, \gamma) &= \tilde{p}_e \cdot \sqrt{r^2 + 2 \cdot r \cdot (\cos(2 \cdot k \cdot x_1 + \gamma))} + 1 \\ &\vdots \\ \tilde{p}_n(x_n, k, \tilde{p}_e, r, \gamma) &= \tilde{p}_e \cdot \sqrt{r^2 + 2 \cdot r \cdot (\cos(2 \cdot k \cdot x_n + \gamma))} + 1 \end{aligned} \quad \text{eq. 2}$$

Eine mathematische Lösung dieses Gleichungssystems bietet die Methode der kleinsten Quadrate. Dabei werden die drei unbekannt Parameter durch Minimierung der quadratischen Fehlersumme bestimmt.

Der Vorteil der Messmethode liegt darin, dass für die Berechnung der Parameter nur die Amplitude des Schalldruckes benötigt wird und somit Korrekturen der Phasenfehlpassungen der einzelnen Mikrofone entfallen.

Varianten der Mikrofonanordnung

Die Anzahl der Mikrofone für die Messung wurde unter anderem wegen der vorhandenen Messtechnik auf acht festgelegt.

Zur Bestimmung einer günstigen Positionierung der Mikrofone auf dem Messrohr wurden Anordnungsvarianten mit:

1. nichtlinear ansteigendem Abstand zwischen den Mikrofonen
2. linear ansteigendem Abstand zwischen den Mikrofonen
3. gleichem Abstand zwischen den Mikrofonen

erstellt und ihre Eignung für das Messsystem überprüft.

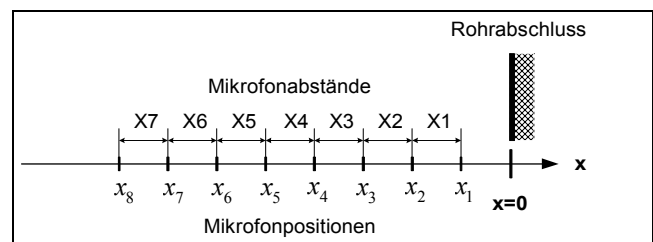


Abbildung 2: Mikrofonpositionen und -abstände in Bezug auf den Rohrabschluss

Die Untersuchung dieser erstellten Anordnungsvarianten erfolgte mit MATLAB. Dazu wurde ein Skript geschrieben (vgl. Abbildung 3), das die Messung simulierte und so Rückschlüsse auf die Eignung der Anordnungen erlaubte. (Der Kern dieses Skriptes wird auch für die Messaufgabe genutzt.)

Als günstig erwies sich eine Anordnung mit nichtlinear ansteigendem Abstand. Diese wurde für das Messsystem verwendet.

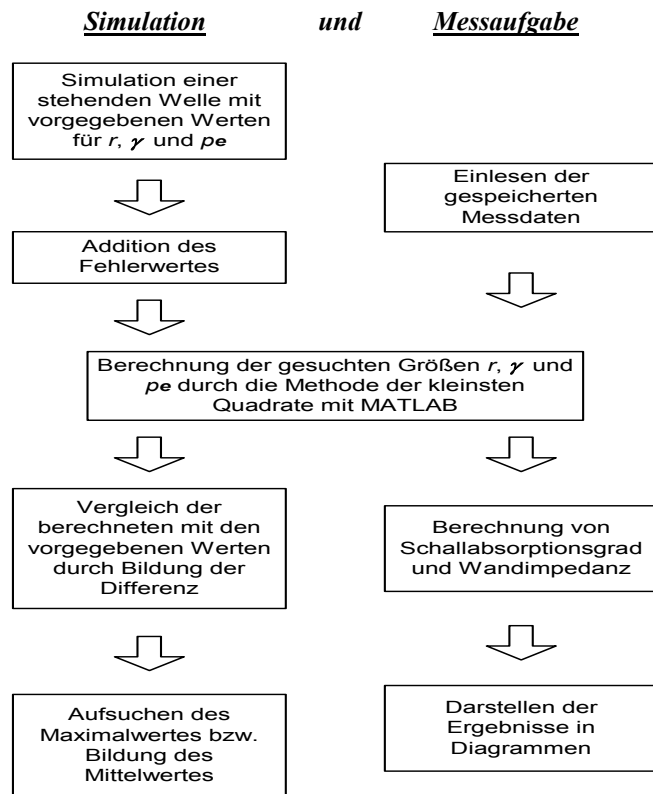


Abbildung 3: Blockbilder der MATLAB-Skripte

Das Messsystem

Das Messsystem besteht aus dem Signalgenerator, dem Messrohr mit dem Lautsprecher, den acht Messmikrofonen und dem Probenhalter, dem Analysator und einem PC mit dem Berechnungsprogramm für die akustischen Größen.

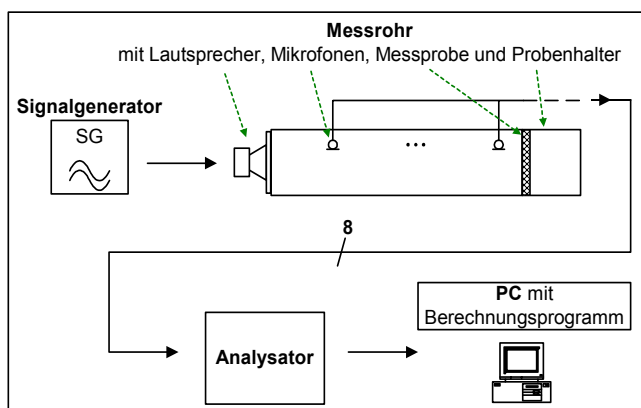


Abbildung 4: Blockschaltbild des Messsystems

Der 8-Kanalanalysator 2035 von B&K übernimmt sowohl die Generierung des Anregungssignals (Multisinus) als auch die Messwertaufnahme. Die aufgenommenen Messdaten werden ge-

speichert und im entsprechenden MATLAB-Skript weiterverarbeitet.

Probemessungen

Bereits nach ersten Messungen mit schallhartem Abschluss stellte

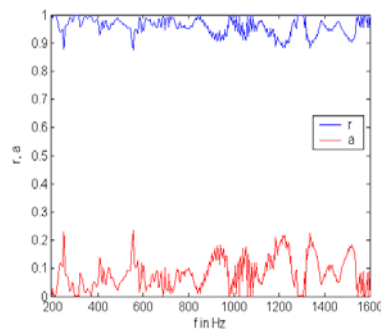


Abbildung 5: Betrag des Reflexionsfaktors (blau) und Schallabsorptionsgrad (rot) bei Messung mit schallhartem Abschluss

sich heraus, dass der berechnete Reflexionsfaktor teilweise um 10% und mehr vom theoretisch zu erwartenden Wert abwich. Ein Reflexionsfaktor von 1 und somit ein Schallabsorptionsgrad von 0 trat nicht für den gesamten Frequenzbereich ein. Die Ursache dafür konnte trotz zahlreicher Probemessungen mit veränderten Messbedingungen bisher noch nicht abschließend geklärt werden. In Abbildung 5 sind die Kurvenverläufe vom Betrag des Reflexionsfaktors und vom Absorptionsgrad einer Messung mit schallhartem Abschluss dargestellt.

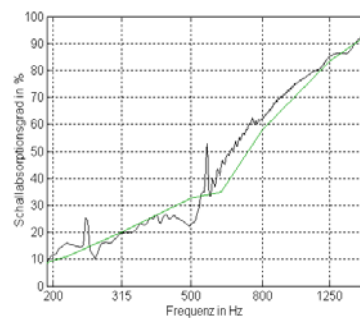


Abbildung 6: Gemessener Schallabsorptionsgrad der Schaumstoffprobe (schwarz) verglichen mit den Angaben des Herstellers (grün).

Im Gegensatz zu den Messungen mit schallhartem Abschluss lieferte die Messung einer Schaumstoffprobe deutlich bessere Ergebnisse. Beim Vergleich mit den Herstellerangaben (vgl. Abbildung 6) lässt sich feststellen,

dass der prinzipielle Verlauf der Absorptionsgradkurven übereinstimmt.

Im Gegensatz zu den Messungen mit schallhartem Abschluss lieferte die Messung einer Schaumstoffprobe deutlich bessere Ergebnisse. Beim Vergleich mit den Herstellerangaben (vgl. Abbildung 6) lässt sich feststellen, dass der prinzipielle Verlauf der Absorptionsgradkurven übereinstimmt.

Fazit

Das aufgebaute Messsystem ist prinzipiell dazu geeignet, den Schallabsorptionsgrad und die Wandimpedanz von Materialproben zu bestimmen. Die Probemessungen haben ergeben, dass vor allem zu hohe Pegel des Anregungssignals und auftretende Rohrresonanzen die Berechnungen von Absorptionsgrad und Wandimpedanz stärker beeinflussen. Speziell bei Rohrabschlüssen mit hohen Reflexionsfaktoren bzw. niedrigen Absorptionsgraden zeigten diese Faktoren ihren Einfluss auf die Messergebnisse.

Eine Weiterentwicklung des Messsystems ist noch notwendig, um gewährleisten zu können, dass es für die Messungen von Wandimpedanz und Absorptionsgrad unterschiedlichster Materialproben eingesetzt werden kann.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 10534-1: Verfahren mit Stehwellenverhältnis
- [2] DIN EN ISO 10534-2: Verfahren mit Übertragungsfunktion
- [3] Weber, M.: Vielpunkt-Messmethode für das Kundt'sche Rohr, Projektarbeit, Institut für Technische Akustik, Technische Universität Berlin, 1993