

20 (1993) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

W. Frommhold, J. Hunecke

## Verbesserung der Impedanzmessungen im Rohr

### Einleitung

Die Messung von Absorptionsgrad und Impedanz einer Absorberprobe gehört zu den Standardaufgaben einer akustischen Forschungs- und Prüfstelle. Die genormte Meßmethode mit Abtastung der stehenden Welle durch ein bewegliches Mikrofon erfordert einen großen Zeitaufwand, wenn z.B. Resonatoren zu vermessen sind, und ein sehr langes Rohr, wenn der Frequenzbereich bis zu 30 Hz hinab ausgedehnt werden soll. Diese Nachteile werden bei der nachstehend beschriebenen Meßmethode vermieden.

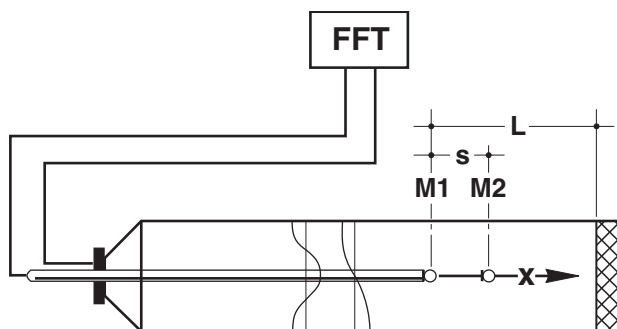


Bild 1: Meßanordnung für Impedanzmessungen

FFT: = Fast-Fourier-Transformator  
M 1: Mikrophon 1  
M 2: Mikrophon 2

### Meßmethode

Die Impedanzmessung nach [1] mit Hilfe der Transferfunktion (TF) zwischen einem feststehenden Mikrofonpaar ist in Bild 1 skizziert. Die Anregung erfolgt mit weißem Rauschen. Mit einem Spektrum-Analysator wird die Transferfunktion  $H_{12}$  gemessen und daraus der Reflexionsfaktor  $R$  an der Probenoberfläche berechnet:

$$R = \frac{H_{12} - \exp(-jks)}{\exp(+jks) - H_{12}} \exp(jk2L) \quad (1)$$

( $k$  = Wellenzahl).

Die Berechnung von Impedanz und Absorptionsgrad aus  $R$  erfolgt in bekannter Weise. In der hier vorgestellten Meßeinrichtung nach [2] wird nur ein einziges Mikrofon benötigt, an das keine besonderen Qualitätsansprüche gestellt wer-

den.  $H_{12}$  wird aus den TF zwischen dem Lautsprecher und dem Mikrofon an den Positionen M1 und M2 ermittelt. Dadurch werden bei jeder Messung die systematischen Amplituden- und Phasenfehler ausgeglichen. Die Führung des Mikrofons auf der Kanalachse blendet die erste akustische Quermode aus und verdoppelt so den nutzbaren Frequenzbereich.

### Aufbau und Erprobung

Das Meßrohr mit dem freien Querschnitt  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  sollte transportabel sein und wurde deshalb zweischalig aus 18 mm dicken Sperrholzplatten mit 20 mm Sandfüllung aufgebaut. Die Länge beträgt 120 cm. Das 5 mm große Elektretmikrofon befindet sich an der Spitze eines verschiebbaren Messingrohres. Trotz dieses relativ massiven Aufbaus schwingen die Holzwände etwas mit und verursachen eine merkliche Scheinabsorption. Abhilfe schafft hier eine Kalibrierung: bei hartem Abschluß wird  $H_{12}$  gemessen, in Gleichung (1) wird  $jk = \Gamma$  und  $R = 1$  gesetzt und die resultierende Gleichung (2)

$$H_{12} \exp(\Gamma 2L) - \exp(\Gamma s) - \exp(-\Gamma(s-2L)) + H_{12} = 0 \quad (2)$$

iterativ nach der komplexen Ausbreitungskonstanten  $\Gamma$  gelöst, die nun anstelle von  $jk$  in Gleichung (1) bei der Auswertung verwendet wird.

Weiterhin wurde ein vorhandener Betonkanal von  $65 \times 170 \text{ cm}^2$  Querschnitt und 11 m Länge für Messungen nach der obigen Methode benutzt, wobei der Lautsprecher auf der Kanalachse montiert und die restliche Querschnittsfläche mit Absorberkeilen gefüllt wurde. Hier war keine Kalibrierung erforderlich.

### Meßergebnisse

Die Meßergebnisse in den Bildern 2 bis 4 sind mit einem phasenfreien Tiefpaß geglättet. Bild 2 für eine dünne Absorberprobe zeigt sehr gute Übereinstimmung des Meßergebnisses mit Theorie und Vergleichsmessung im runden Rohr. Der Realteil der Impedanz kann unterhalb 100 Hz auch mit vergrößertem Mikrofonabstand ( $s = 40 \text{ cm}$ ) nicht zuverlässig gemessen werden. Bild 3 für Absorbermaterial mit der Dichte  $75 \text{ kg/m}^3$  zeigt im quadratischen Rohr um 170 Hz eine deutliche Dickenresonanz des mitschwingen-

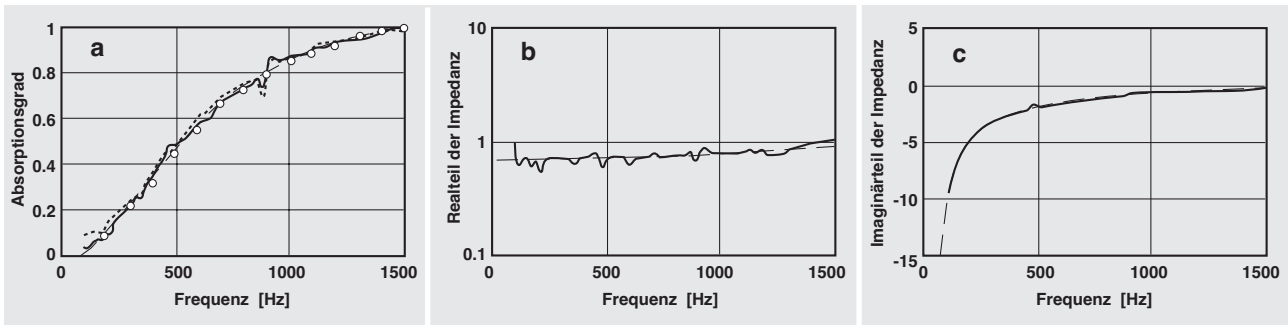


Bild 2: Kenndaten eines porösen Absorbers ( $\Xi = 16 \text{ kNs/m}^4$  und  $d = 4 \text{ cm}$ )

- (a) Absorptionsgrad  $\alpha(0)$
- (b) Realteil der Impedanz,  $Z'$
- (c) Imaginärteil der Impedanz,  $Z''$  (bezogen auf  $Z_0$  der Luft)

- - - - - Theorie  
 — Messung im quadratischen Rohr mit Kalibrierung,  $s = 10 \text{ cm}$   
 — Messung im runden Rohr ohne Kalibrierung,  $s = 10 \text{ cm}$   
 ○○○○ Messung im Rohr  $10 \text{ cm}$

den Skeletts, die im engeren runden Rohr nur noch andeutungsweise bei 400 Hz erscheint. Dies ist überraschend, weil bei so dichtem Material stets das Modell des starren Skeletts als zutreffend angesehen wurde. Tatsächlich ist aber eine Abhängigkeit von der Einbausituation zu beobachten.  $Z'$  kann bei  $s = 20 \text{ cm}$  bis etwa 100 Hz, bei  $s = 40 \text{ cm}$  bis etwa 50 Hz ausgewertet werden. Bei verdoppelter Probendicke ist dagegen  $Z'$  auch bei  $s = 20 \text{ cm}$  bis hinab zu 30 Hz auswertbar. Allgemein gilt: Bei sehr tiefen Frequenzen ist die Impedanzmessung dann zuverlässig, wenn der Absorptionsgrad oberhalb etwa 10 % liegt. Bild 4 zeigt schließlich im großen Meßkanal das Ergebnis an einem Plattenresonator, bei dem die zwei niedrigsten akustisch anregbaren Plattenmoden zur Absorption ausgenutzt werden.

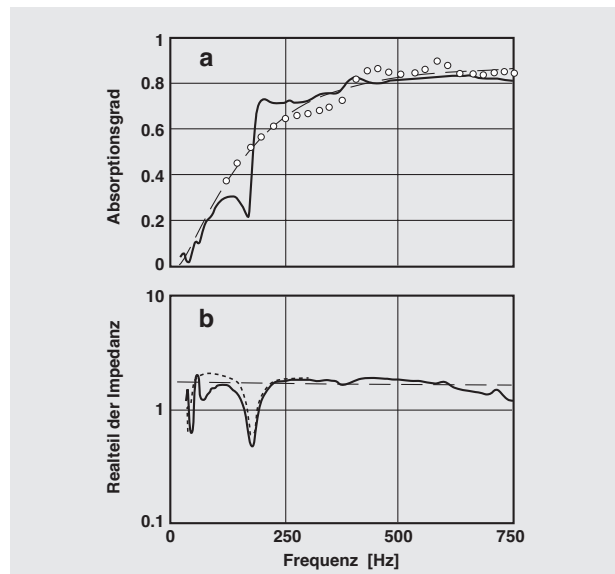


Bild 3: Kenndaten eines porösen Absorbers ( $\Xi = 23 \text{ kNs/m}^4$ ,  $d = 10 \text{ cm}$ ).

- (a) Absorptionsgrad  $\alpha(0)$
- (b) Realteil der Impedanz,  $Z'$

- - - - - Theorie  
 — Messung im quadratischen Rohr  
 ○○○○ Messung im runden Rohr

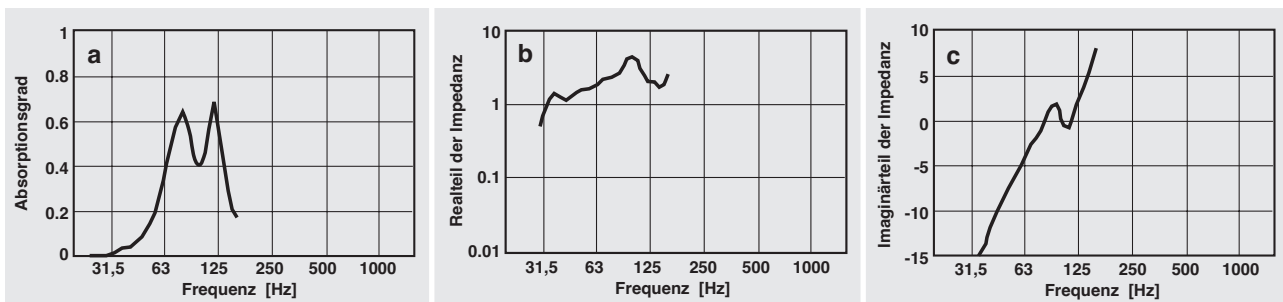


Bild 4: Kenndaten eines Plattenabsorbers ( $50 \times 50 \times 10 \text{ cm}^3$  mit Schaumfüllung). Messung im Kanal  $65 \times 170 \text{ cm}^2$

- (a) Absorptionsgrad  $\alpha(0)$
- (b) Realteil der Impedanz,  $Z'$
- (c) Imaginärteil der Impedanz,  $Z''$  (bezogen auf  $Z_0$  der Luft)

#### Literatur:

- [1] Chung, J.Y.; Blaser, D.A.: Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. J.A.S.A. 68 (1980), H. 3, S. 907-913.
- [2] Chu, W.T.: Transfer function technique for impedance and absorption measurements in an impedance tube using a single microphone. J.A.S.A. 80 (1986), H. 2, S. 555-560.



**Fraunhofer** Institut  
Bauphysik

**FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)**

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis

D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00

D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0