

## Präzise Strömungswiderstandsmessungen mit der Vergleichsmethode

Ennes Sarradj<sup>1</sup>, Tobias Lerch<sup>2</sup>

TU Dresden, <sup>1</sup>Institut für Akustik und Sprachkommunikation und <sup>2</sup>Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau

### Einleitung

Der Strömungswiderstand eines porösen Materials wird als Parameter benötigt, um seine Eigenschaften als akustischer Absorber beschreiben zu können.

Für die Akustik ist der Strömungswiderstand bei sehr kleinen Strömungsgeschwindigkeiten von Interesse. Die direkte Messung bereitet hier Schwierigkeiten. Deshalb wird üblicherweise bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten gemessen und ein auf eine niedrige Strömungsgeschwindigkeit extrapolierter Wert verwendet [1]. Um dabei entstehende Messunsicherheiten zu verringern, ist jedoch eine direkte Messung unumgänglich, bei der nicht nur bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten gemessen werden kann, sondern auch die effiziente Erfassung der Abhängigkeit des Strömungswiderstandes von der Strömungsgeschwindigkeit möglich ist.

### Strömungswiderstand und Messverfahren

Wird eine Probe porösen Materials von Luft mit einem Volumenfluss  $q$  durchströmt, entsteht ein Druckabfall  $\Delta p$ . Der Strömungswiderstand  $R = -\Delta p/q$  der Probe ist abhängig von der Dicke  $d$  und der Querschnittsfläche  $A$  der Probe. Deshalb wird als Parameter zur Kennzeichnung des Absorbermaterials der längenbezogene Strömungswiderstand  $\Xi = RA/d$  verwendet.

Zur Messung des Strömungswiderstandes gibt es eine Reihe unterschiedlicher Verfahren, von denen die wichtigsten hier genannt werden sollen. In [2],[3] wird ein Verfahren beschrieben, bei dem ein zeitlich konstanter Luftstrom sehr geringer Geschwindigkeit durch eine Probe geleitet wird. Aus dem über der Probe gemessenen, geringen Druckabfall kann dann der Strömungswiderstand berechnet werden. Bei dem in [4] beschriebenen Verfahren wird mittels einer Vorrichtung aus einem Kolben und einer Balkenwaage ein während der Messung zeitlich konstanter Druck über der Probe erzeugt und der Volumenfluss durch die Probe gemessen. Beiden Verfahren und ihren Varianten ist gemeinsam, dass wegen der geringen Strömungsgeschwindigkeiten und Differenzdrücke sowohl an die Regelung des Luftstromes bzw. des Drucks als auch an die Messung der Größen hohe Anforderung hinsichtlich ihrer Genauigkeit gestellt werden. Ein weiteres Verfahren, das Luftwechselstromverfahren [1], benutzt den in einem Spezial-Pistonfon erzeugten Schallfluss (Frequenz 2 Hz) bei gleichzeitiger Messung des Schalldrucks zur Bestimmung des Strömungswiderstandes. Auch hier ist die Realisierung der Messeinrichtung recht aufwendig und stellt hohe Genauigkeitsanforderungen.

### Vergleichsverfahren

Das Vergleichsverfahren zur Messung des Strömungswiderstandes nach [5] ist eine Variante des Verfahrens mit konstantem Luftstrom, bei dem auf die direkte, hochgenaue Messung des Volumenflusses verzichtet werden kann.

Das Messprinzip dabei ist folgendes: Es wird ein zeitlich konstanter Luftstrom erzeugt, dessen Volumenfluss nur mit geringer Genauigkeit bekannt sein muss. Der Luftstrom wird nacheinander durch einen bekannten, hoch genauen Strömungswiderstand  $R_R$  (Referenz) und durch die Probe geführt. Aus dem Vergleich der über Referenz und Probe gemessenen Differenzdrücke  $p_R$  und  $p_x$  kann direkt der Strömungswiderstand der Probe  $R_x = R_R p_x/p_R$  bestimmt werden.

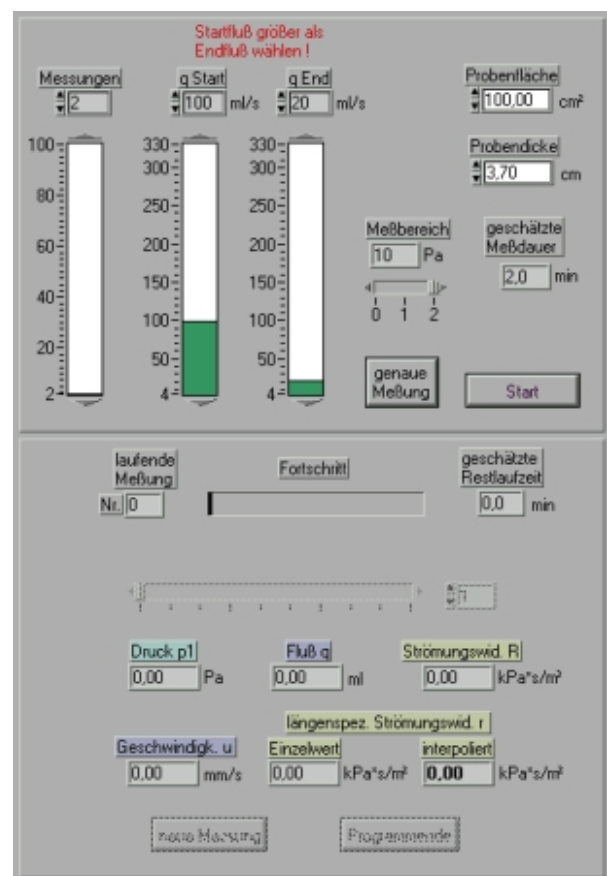


Bild 1: Oberfläche der Software zur automatisierten Messung

Das Vergleichsverfahren gestattet nicht nur präzise Messungen, sondern ermöglicht auch die einfache Automatisierung der Messungen durch den Einsatz von einem PC gesteuerter elektronischer Durchflussregler und Druckmesser die effektive Messung einer größeren Probenanzahl [6] (Bild 1). Bild 2 zeigt den Aufbau des

Messplatzes und die verwendeten Bauteile. Der Messplatz wurde so ausgelegt, dass Strömungswiderstände von  $5,4 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3$  mit einem relativen Fehler von höchstens 10% bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0,4 – 74 mm/s gemessen werden können. Durch Kompensation von Messfehlern mit Hilfe des angeschlossenen PC konnte am realisierten Messplatz der Messfehler auf etwa 1% verringert werden.

**Messergebnisse**

Zur Inbetriebnahme des Messplatzes wurden eine Reihe verschiedener Proben vermessen. Bild 3 zeigt die Ergebnisse für ausgewählte Proben. Auffallend sind die unterschiedlichen Abhängigkeiten des längenbezogenen Strömungswiderstands von der Strömungsgeschwindigkeit für die Mineralfaserdämmplatte, den

offenporigen Schaumstoff und den offenporigen Asphalt. Während für die hochporösen Mineralfaser- und Schaumstoffproben (Porosität ca. 99%) kaum eine Abhängigkeit festzustellen ist, weist der offenporige Asphalt mit einer Porosität von 22% schon bei sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten ab etwa 1 mm/s ein nichtlineares Verhalten, d.h. eine Abhängigkeit des Strömungswiderstandes von der Strömungsgeschwindigkeit auf. Bezogen auf einen mittleren Porendurchmesser von ca. 1 mm entspricht das einer kritischen Reynoldszahl von nur 0,2. In der Literatur finden sich neben Werte für die kritische Reynoldszahl zwischen 0,1 und 75 auch Erklärungen für die Ursachen der Nichtlinearität des Zusammenhangs zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Druckdifferenz [7],[3].

**Literatur**

- [1] DIN EN 29053: Bestimmung des Strömungswiderstandes.
- [2] Brown, R. u. R. Bolt: The measurement of flow resistance of porous acoustic materials. JASA 13, 1942, S.337-344
- [3] Abschlußbericht "Strömungswiderstands- und Porositätsmessung", TH Dresden, Inst. f. Elektro- und Bauakustik, 1955
- [4] Leonard, R.: Simplified flow resistance measurements. JASA 17, 1946, S.240-241
- [5] Stinson, M. u. G. Daigle: Electronic system for the measurement of flow resistance. JASA 83, 1988, S. 2422-2428
- [6] Meyer, J.: Strömungswiderstands - Meßplatz . Studienarbeit, TU Dresden, IAS, 2000
- [7] Scheidegger, A.: The physics of flow through porous media. Third edition. University of Toronto Press, 1974

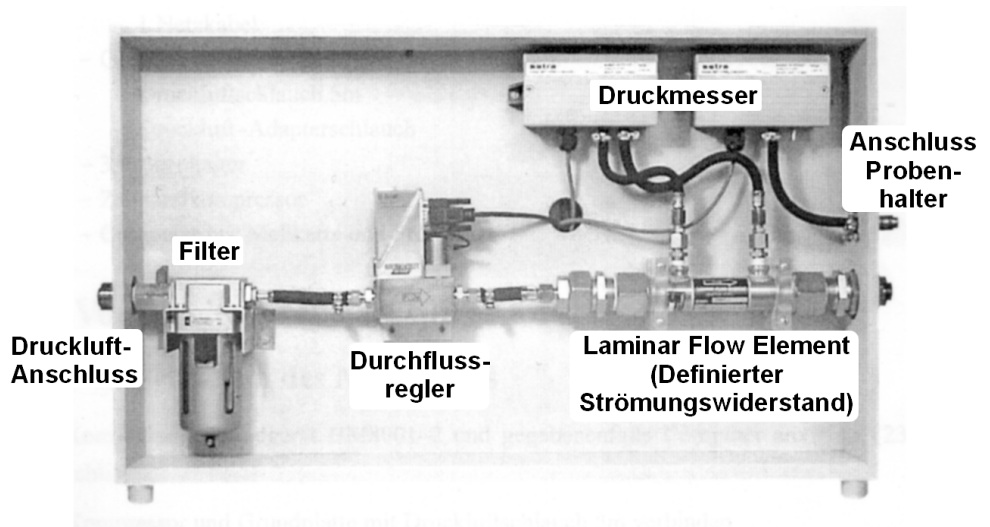


Bild 2: Aufbau des Messplatzes

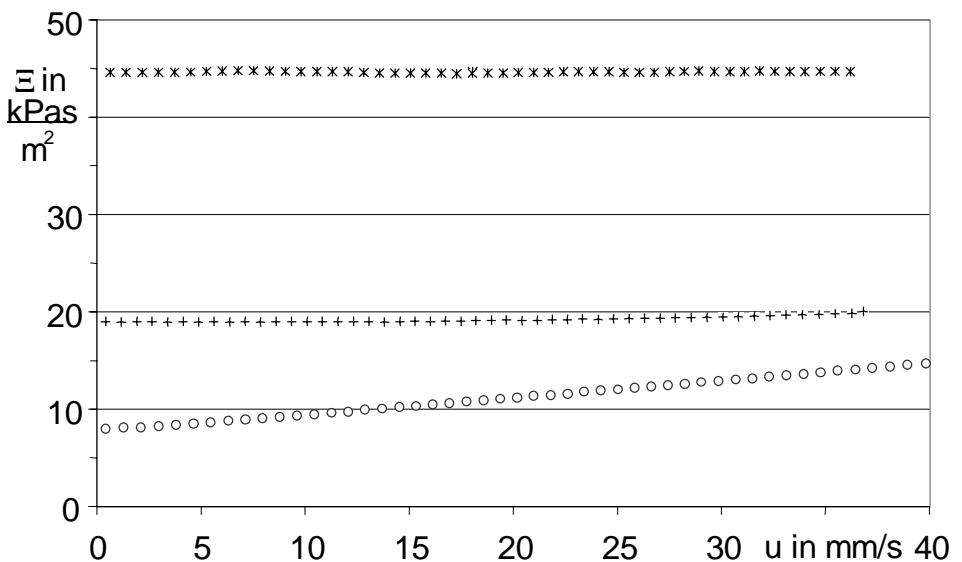


Bild 3: Messergebnisse – Abhängigkeit des längenbezogenen Strömungswiderstandes von der Strömungsgeschwindigkeit:  
 xxx Mineralfaserdämmplatten, +++ Schaumstoff, ooo offenporiger Asphalt