

# Der Einfluss meteorologischer Bedingungen auf bauakustische Messungen

Volker Wittstock, Christian Bethke, PTB, Braunschweig, volker.wittstock@ptb.de, christian.bethke@ptb.de

## 1 Einleitung

Eine Vielzahl akustischer Phänomene wird von den beiden wesentlichen meteorologischen Größen Luftdruck und Temperatur beeinflusst. Detailliert untersucht wurde dies bereits für die von Schallquellen emittierte Schalleistung, wobei sich eine systematische Abhängigkeit sowohl vom Luftdruck als auch von der Temperatur zeigte (z.B. [1]). In die entsprechenden Messnormen wurden demgemäß Korrekturen eingeführt, die die Vergleichbarkeit von unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen ermittelten Schalleistungen erhöhen.

Auch für bauakustische Messgrößen ergibt sich daraus die Frage, ob ein systematischer Einfluss zu erwarten ist und wie groß er ist.

## 2 Analytische Beschreibung

Zunächst wird das Problem anhand des Schalldämmmaßes analytisch betrachtet. Das Schalldämmmaß eines Bauteils berechnet sich aus dem Verhältnis von auftretender zu transmittierter Schalleistung

$$R = 10 \lg (P_1 / P_2) \text{ dB.} \quad (1)$$

Unter Annahme diffuser Schallfelder auf der Sende- und auf der Empfangsseite ergibt sich

$$R = 10 \lg \left[ \frac{p_1^2}{p_2^2} \frac{S}{A} \right] \text{ dB} \quad (2)$$

mit dem Schalldruck im Senderaum  $p_1$ , dem Schalldruck im Empfangsraum  $p_2$ , dem Flächeninhalt des Prüfobjekts  $S$  und dem Absorptionsvermögen im Empfangsraum  $A$ . Gl. (2) wird üblicherweise zur Bestimmung der Schalldämmung verwendet, und es ist keinerlei Luftdruck- oder Temperatureinfluss berücksichtigt.

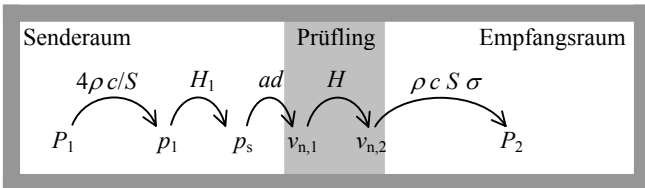


Bild 1 Schallübertragung vom Sende- in den Empfangsraum

In einem nächsten Schritt wird nun der exakte Schallausbreitungspfad vom Sende- in den Empfangsraum verfolgt (Bild 1).

Ausgangspunkt ist die auf den Prüfling auftreffende Schalleistung, die sich aus dem mittleren Schalldruckpegel im Senderaum  $p_1$  sowie der Luftdichte  $\rho$  und der Schallgeschwindigkeit in Luft  $c$  berechnet

$$P_1 = \frac{p_1^2}{\rho c} S. \quad (3)$$

Den Zusammenhang zwischen dem mittleren Schalldruckpegel im Senderaum  $p_1$  und dem Schalldruckpegel direkt auf der Oberfläche des Prüflings liefert eine Übertragungsfunktion  $H_1$

$$p_s = H_1 p_1. \quad (4)$$

Die von diesem Oberflächendruck auf der sendeseitigen Oberfläche des Prüflings erzeugte flächennormale Schallschnelle ergibt sich dann aus der Admittanz  $ad$

$$v_{n,1} = ad p_s. \quad (5)$$

Die Übertragung der Schallschnelle von der sendeseitigen zur empfangsseitigen Prüflingsoberfläche sei durch die Übertragungsfunktion  $H$  beschrieben

$$v_{n,2} = H v_{n,1}, \quad (6)$$

und die vom Prüfling abgestrahlte Schalleistung ist

$$P_2 = \rho c S v_{n,2}^2 \sigma \quad (7)$$

mit dem Schallabstrahlgrad  $\sigma$ . Die empfangsseitige Schalleistung wird mit Gln. (4) - (7) zu

$$P_2 = \rho c S H_1^2 H^2 ad^2 p_1^2 \sigma, \quad (8)$$

und mit der sendeseitigen Schalleistung (3) ergibt sich das Schalldämmmaß zu

$$R = 10 \lg \left[ \frac{1}{4} \frac{1}{(\rho c)^2} \frac{1}{ad^2} \frac{1}{\sigma} \frac{1}{H_1^2} \frac{1}{H^2} \right] \text{ dB.} \quad (9)$$

Gl. (9) enthält nun alle physikalischen Mechanismen, die zur Schalldämmung beitragen und ist daher geeignet, eventuell vorliegende Luftdruck- oder Temperatureinflüsse zu ermitteln.

Die Eingangsadmittanz  $ad$  ist eine mechanische Eigenschaft des Prüflings, die innerhalb der in der Bauakustik üblicherweise betrachteten Temperatur- und Luftdruckspannen konstant bleiben sollte. Vom Schallabstrahlgrad  $\sigma$  wie auch von der Übertragungsfunktion  $H_1$  ist bekannt, dass eine Abhängigkeit von der Luftschallwellenzahl und somit über die Schallgeschwindigkeit von der Temperatur vorliegt. Bei beiden Größen ist diese Abhängigkeit jedoch nur schwach ausgeprägt, so dass sie hier vernachlässigt wird.

Für einschalige Bauteile lässt sich ein Druck- oder Temperatureinfluss auf die Übertragungsfunktion  $H$  weitgehend ausschließen. Bei mehrschaligen Prüflingen kann jedoch die Steifigkeit eines Luftpolsters vom Luftdruck wie auch von der Temperatur abhängen. Im Rahmen dieser Ableitung sei dieser Einfluss jedoch vernachlässigt.

Für das Schalldämmmaß nach Gl. (9) bedeutet dies, dass die einzigen vom Luftdruck und von der Temperatur abhängigen Größen die Luftdichte und die Schallgeschwindigkeit sind. Wird nun die Schalldämmung eines Bauteils zwei Mal gemessen, ein Mal bei beliebigen Bedingungen  $(\rho c)$  und ein Mal bei Bezugsbedingungen  $(\rho c)_N$ , so ergibt sich eine Differenz im Schalldämmmaß von

$$\Delta R = R - R_N = -20 \lg \left[ \frac{(\rho c)}{(\rho c)_N} \right] \text{ dB} \quad (10)$$

bzw. als Funktion von Luftdruck  $B$  und Temperatur  $T$  ausgedrückt

$$\Delta R = -20 \lg \left[ \frac{B}{B_N} \sqrt{\frac{T_N}{T}} \right] \text{ dB.} \quad (11)$$

In analoger Weise lässt sich auch für den Normtrittschallpegel eine Differenz ermitteln

$$\Delta L_n = L_n - L_{n,N} = 20 \lg \left[ \frac{B}{B_N} \sqrt{\frac{T_N}{T}} \right] \text{ dB.} \quad (12)$$

Die Größenordnung dieser durch Luftdruck- bzw. Temperaturschwankungen zu erwartenden Änderungen des Schalldämmmaßes und des Normtrittschallpegels zeigt Bild 2. Der größere Einfluss stammt vom Luftdruck, insbesondere wenn man berücksichtigt, dass verschiedene Messlaboratorien auf verschiedenen geographischen Höhen liegen können. In einer Höhe von 400 m beträgt der Unterschied zum auf Meereshöhe bezogenen Referenzwert ca. 0,5 dB. Temperatureinflüsse sind demgegenüber geringer, betragen aber immer noch 0,3 dB bei einer Temperaturänderung um 20 K.

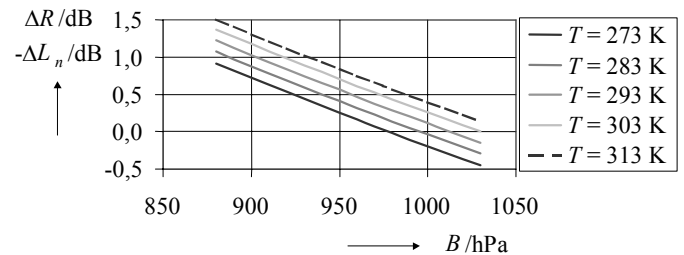


Bild 2 Änderung des Schalldämmmaßes und des Trittchallpegels,  $B_N = 1013 \text{ hPa}$ ,  $T_N = 293 \text{ K}$

## 3 Experimentelle Untersuchungen

Nachdem ein systematischer Einfluss des Luftdrucks und der Temperatur auf die Schalldämmung bzw. den Normtrittschallpegel zu erwarten ist, stellt sich die Frage nach einer experimentellen Verifizierung. Dazu wurde zunächst überprüft, ob aus bereits vorliegenden

Daten Erkenntnisse gewonnen werden können. Es zeigte sich jedoch, dass, sowohl bei Daten zur Bestimmung der Wiederholstreuung (z.B. [2]) als auch bei Daten zur Bestimmung der Vergleichsstreuung (z.B. [3]), die Unsicherheit der Messungen zu groß ist im Vergleich zur erwarteten Größenordnung des Luftdruck- bzw. Temperatureinflusses. Für eine Messreihe zur Überprüfung der Gl. (11) bedeutet dies, dass entweder die Messgenauigkeit gegenüber herkömmlichen bauakustischen Messungen wesentlich erhöht oder der zu messende Effekt künstlich vergrößert werden muss. Es wurde entschieden, den zweiten Weg zu beschreiten und ein im Maßstab 1:12 verkleinertes Prüfstandsmodell in einen Druckbehälter einzubauen und den Luftdruck dabei so weit abzusenken, dass sich nach Gl. (11) Schalldämmmaßänderungen in Schritten von 2 dB einstellen. Realisierbare Temperaturänderungen würden demgegenüber nur geringe Schalldämmmaßänderungen bewirken, so dass auf eine Temperaturvariation verzichtet wurde.

Der Modellprüfstand besteht aus 20 mm dicken MDF-Platten. Der Frequenzbereich der Untersuchungen lag zwischen 1,6 und 20 kHz. Die Schalldruckmessungen wurden mit 1/4"-Mikrofonen durchgeführt, wobei die Änderung des Frequenzgangs der Mikrofone mit dem statischen Druck ermittelt und korrigiert wurde. Gemessen wurde an je zwei festen Mikrofonpositionen im Empfangs- und im Senderaum bei drei Lautsprecherpositionen. Zur Nachhallzeitmessung wurde stationäres Terzrauschen abgeschaltet, und es wurden je drei Abklingvorgänge bei zwei Mikrofon- und zwei Lautsprecherpositionen ausgewertet.

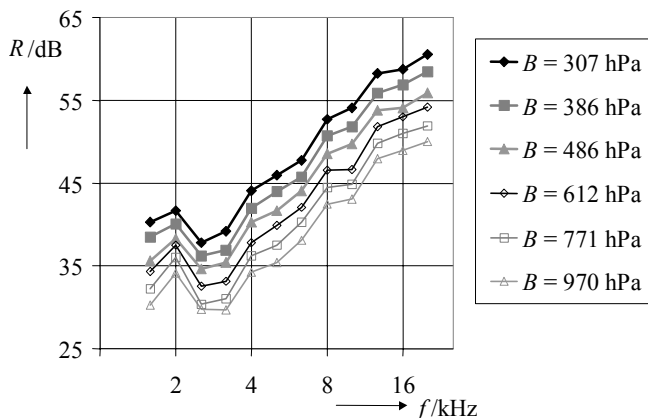


Bild 3 Gemessenes Schalldämmmaß bei verschiedenen statischen Drücken, Beispiel: Keramikfliese von 7 mm Dicke

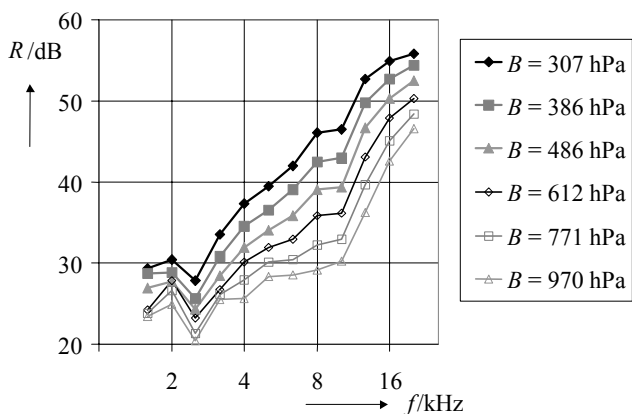


Bild 4 Gemessenes Schalldämmmaß bei verschiedenen statischen Drücken, Bsp.: Hartfaserplatte mit Folie in 1,5 mm Abstand

Es wurden ein- und zweischalige Prüflinge verwendet, wobei die einschaligen Prüfbjekte so ausgewählt wurden, dass der Frequenzbereich bei, oberhalb und unterhalb der Koinzidenzgrenzfrequenz abgedeckt und zudem Objekte mit verschiedener innerer Dämpfung einbezogen waren. Bei den zweischaligen Objekten wurden zwei unterschiedliche Resonanzeffekte berücksichtigt, zum Einen eine Masse-Luftfeder-Konstellation und zum Anderen eine Dickenresonanz. Die gemessenen Schalldämmmaße zeigen im gesamten Frequenzbereich das erwartete Verhalten (Bild 3, Bild 4). Mit einer Absenkung

des statischen Drucks ist ein deutlicher Anstieg des Schalldämmmaßes verbunden.

Zur quantitativen Überprüfung der Gl. (11) wurde angesetzt

$$R = m \lg(B/B_N) \text{ dB} + R_N \quad (13)$$

wobei der Wert  $m$ , der Anstieg des Schalldämmmaßes mit dem Logarithmus des Verhältnisses von Luftdruck zu Bezugsluftdruck, mittels linearer Regression berechnet wurde. Die berechneten Anstiege liegen für die einschaligen Bauteile in der Nähe des theoretisch vorhergesagten Wertes von  $-20$  (Bild 5). Bei zweischaligen Bauteilen kommt es demgegenüber zu größeren Abweichungen, wobei ein Trend zu steileren Anstiegen mit Werten von bis zu  $-35$  beobachtet werden kann.

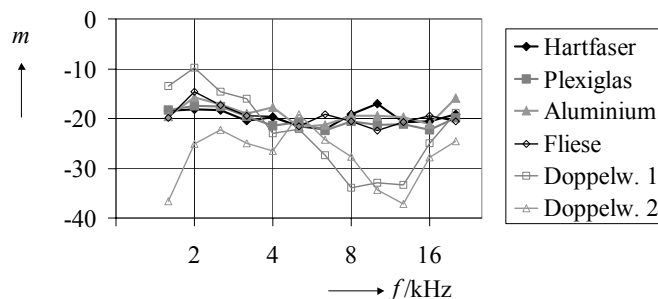


Bild 5 Berechnete Anstiege des Schalldämmmaßes nach Gl. (13)

#### 4 Schlussfolgerungen

Die theoretisch ermittelte Luftdruckabhängigkeit des Schalldämmmaßes wurde experimentell bestätigt. Es ist somit zu vermuten, dass auch eine Temperaturabhängigkeit in der vorhergesagten Weise vorliegt.

Beide Abhängigkeiten sind unabhängig vom verwendeten Messverfahren. Sie sind jedoch in der Definition (1) implizit enthalten, da sowohl die Anregung eines Bauteils durch eine Schallleistung als auch die von einem schwingenden Bauteil abgestrahlte Schallleistung proportional zur Schallkennimpedanz ist.

Um die Vergleichbarkeit gemessener Schalldämmmaße zu erhöhen, erscheint es daher angebracht, ein auf Referenzbedingungen umgerechnetes Schalldämmmaß  $R_N$  einzuführen. Aus dem gemessenen Schalldämmmaß  $R$  ist es wie folgt zu bestimmen

$$R_N = R + 20 \lg \left( \frac{B}{B_N} \sqrt{\frac{T_N}{T}} \right) \text{ dB} \quad (14)$$

Für den Normtrittschallpegel wäre die entsprechende Korrektur

$$L_{n,N} = L_n - 20 \lg \left( \frac{B}{B_N} \sqrt{\frac{T_N}{T}} \right) \text{ dB} \quad (15)$$

Bei bauakustischen Messgrößen, die sich aus Differenzen von Messergebnissen berechnen, wie Verbesserungsmaßen von Vorsatzschalen, relativen Installationsgeräuschen und Verbesserungsmaßen von Deckenauflagen sind keine Korrekturen erforderlich, solange beide zur Differenzbildung herangezogenen Messungen bei den gleichen meteorologischen Bedingungen durchgeführt wurden.

#### Danksagung

Die Autoren bedanken sich herzlich bei den Mitarbeitern vom Fachlabor „Grundlagen der Schallmessung“ für die Bereitstellung des Druckbehälters und vom Fachlabor „Masse“ für die Bereitstellung der Vakuumpumpe und weiterer Zubehörteile.

#### Literatur

- [1] Hübner, G.; Wittstock, V.: *Investigations on the sound power of aerodynamic sound sources in function of static pressure*. Proceedings of InterNoise 2001, CDROM, Den Haag, 2001
- [2] Meier, A.: *Die Bedeutung des Verlustfaktors bei der Bestimmung der Schalldämmung im Prüfstand*. Dissertation, RWTH Aachen, 2000
- [3] Meier, A.; Schmitz, A.; Raabe, G.: *Inter-Laboratory test of sound insulation measurements on heavy walls: Part II – Results of main test*. Building Acoustics 6 (3), pp. 171 – 186, 1999