

# Sekundärkalibrierung von Mikrofonen und Schallpegelmessern im Infrasschallbereich

Tobias Alexander Michaelis<sup>1</sup>, Dr. Christoph Kling<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Physikalisch Technische Bundesanstalt, D-38116 Braunschweig, E-Mail: tobias.michaelis@tu-bs.de*

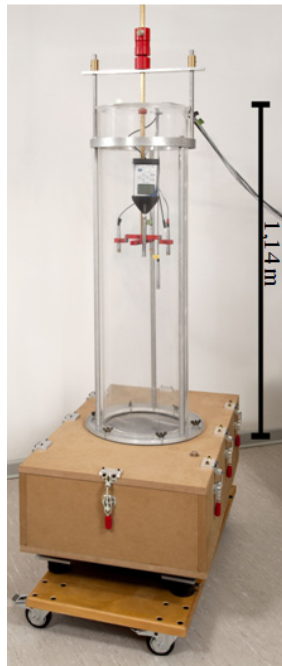
<sup>2</sup> *Physikalisch Technische Bundesanstalt, D-38116 Braunschweig, E-Mail: christoph.kling@ptb.de*

## Einleitung

Die Rückführung der Schalldruckeinheit Pascal ist derzeit bis 10 Hz möglich. Es ist gefordert, dass die Einheit mithilfe einer Sekundärkalibrierung an verschiedenste Mikrofone und Schallpegelmesser weitergegeben wird. Dies wird durch den hier dargestellten Messplatz erreicht. Es ist in diesem möglich selbst größte Schallpegelmesser komplett dem Schallfeld auszusetzen. Dies ist erforderlich, da z.B. die Ausgleichsöffnung von Tieffrequenz Mikrofonen oftmals nach hinten gesetzt ist. Dadurch reicht es nicht, nur die Mikrofonskapsel dem Schallfeld auszusetzen, da die Ausgleichsöffnung evtl. durch den Vorverstärker entlüftet. Des Weiteren ist es hier möglich, nach Komparation und Substitution zu kalibrieren, wodurch verschiedene Einflussgrößen erkannt und berücksichtigt werden können. Erste Messungen ergaben, dass eine Kalibrierung im Bereich von 0,5 Hz – 300 Hz möglich ist, sofern ein entsprechendes Primärnormal zur Verfügung steht. Des Weiteren lassen die Ergebnisse auf eine Unsicherheit in der Größenordnung einiger zehntel dB hoffen.

## Aufbau der Druckkammer

Um die richtige Form der Druckkammer zu finden, wurden verschiedene Aufbauten mit verschiedenen Lautsprechern in COMSOL simuliert (FEM Simulation). Anhand dieser Ergebnisse ist die Druckkammer in Abbildung 1 aufgebaut worden. Diese wird angetrieben durch einen Tieftonlautsprecher, der bei tiefsten Frequenzen wenig nichtlineare Verzerrungen besitzt. Aufgrund des hohen Körperschalls von Gebäuden im Infrasschallbereich, wird der Messplatz mithilfe von Luftfedern vom Boden entkoppelt. Luftschall, z.B. von Sprache oder Lüfter von Messgeräten im Labor, wird durch die Druckkammer selbst mit ca. 60 dB ausreichend gedämmt. In der Druckkammer werden Schalldrücke des Messsignals von  $L_p > 100$  dB(Z) im Bereich von 0,5 – 300 Hz erreicht. Das Störgeräusch liegt bei Frequenzen  $f > 20$  Hz immer unter 40 dB(Z), im Durchschnitt unter 20 dB(Z).



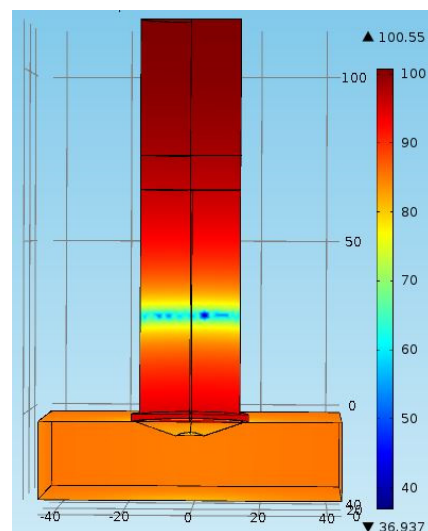
**Abbildung 1:**  
Die Druckkammer

Bei Frequenzen  $f < 20$  Hz steigt es bis zu 60 dB(Z) an. Dadurch ist ein Störabstand von mindestens 40 dB erreicht, im Mittelwert über dem Frequenzbereich sogar 60 dB.

Schalldruckschwankungen in der horizontalen Ebene der Druckkammer sind messtechnisch nicht feststellbar. In der vertikalen Ebene werden diese mit zunehmender Frequenz größer. Daraus folgt, dass eine Positionierungsgenauigkeit in der horizontalen vernachlässigbar ist. In der vertikalen hingegen ist eine Positionierungsgenauigkeit von ca. 1 mm ausreichend um eine Schalldruckdifferenz  $< 0,01$  dB zu erreichen.

## Moden der Druckkammer

Da die Druckkammer ein Zylinder mit schallharten Grenzflächen ist, gibt es in ihr Reflexionen und dadurch stehende Wellen. Eine simulierte Darstellung der Schalldruckverteilung bei 100 Hz in der Druckkammer befindet sich in Abbildung 3. In der Farbskala ist der Schalldruckpegel in dB(Z) angegeben. Die Knotenlinie im unteren Drittel ist hierbei gut erkennbar. Für die Darstellung in Abbildung 4 wurde eine vertikale Schnittebene gewählt und im Frequenzbereich von 5 Hz bis 250 Hz ausgewertet. Dort ist erkennbar, dass der Schalldruck bei einer Knotenlinie stark abfällt und dass sich in der Nähe einer Knotenlinie der Schalldruck in der vertikalen Ebene stark ändert. In Abbildung 5 wurde dieser Verlauf nachgemessen. Die leichten Abweichungen zur Simulation lassen sich durch Undichtigkeiten der Druckkammer erklären. Daraus folgt, dass für Kalibrierungen immer möglichst weit von einer Knotenlinie entfernt gemessen werden muss.



**Abbildung 2:** Schalldruckpegelverlauf in der Druckkammer bei 100 Hz, Simulation. Farbskala in dB

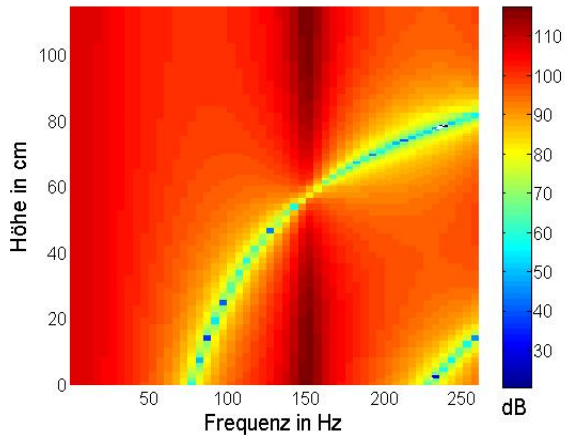


Abbildung 3: Schalldruckpegelverlauf in der Druckkammer in einer vertikalen Schnittebene, Simulation

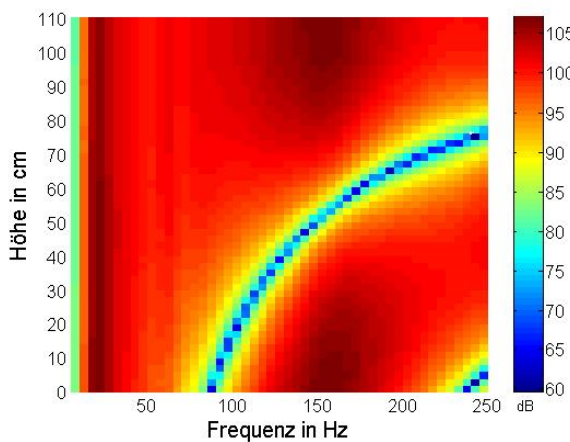


Abbildung 4: Schalldruckpegelverlauf in der Druckkammer in einer vertikalen Schnittebene, Messung

### Einfluss der elektrischen Kette

Der Einfluss der elektrischen Messkette, speziell vom Vorverstärker und dem Speisegerät, ist nicht zu vernachlässigen. Dieser wird mithilfe einer Insert-Voltage Kalibrierung berücksichtigt. In Abbildung 5 sind die Frequenzgänge einiger Vorverstärker und Speisegeräte dargestellt. Die Polarisationsspannung der Speisegeräte wird vor und nach einer Kalibrierung mithilfe eines Elektrometers gemessen und ihr Einfluss ggf. korrigiert.

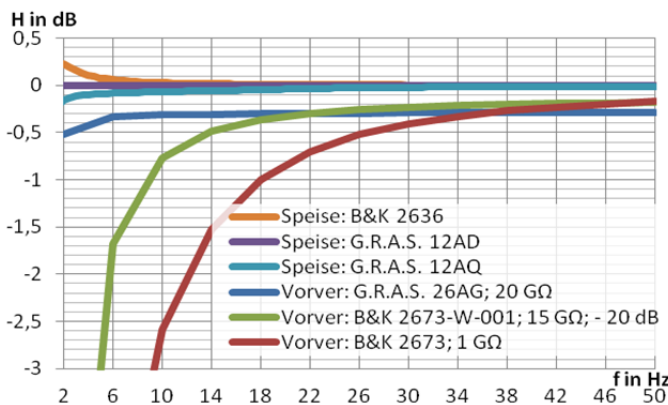


Abbildung 5: Frequenzgänge von Speisegeräten und Vorverstärkern

### Einfluss der Ausgleichsöffnung

Die Ausgleichsöffnung hat für  $f < 10$  Hz einen nicht zu vernachlässigen Einfluss. Nach [2] ist der Einfluss in Abbildung 6 und 7 dargestellt. Dort ist der Unterschied im Frequenzgang eines Mikrofons dargestellt, wenn die Ausgleichsöffnung vom Schallfeld isoliert ist (A) oder ihm ausgesetzt ist (B). Die Darstellung der Einheit Pascal erfolgt für Frequenzen  $f < 1$  kHz nur durch die Druck-Reziprozitäts-Kalibrierung. Dort ist die Ausgleichsöffnung vom Schallfeld isoliert, siehe (A). Im allgemeinen entspricht aber die Messsituation beim Anwender dem Fall (B). In Abbildung 7 ist auch die Differenz von Fall (B) zu Fall (A) dargestellt. Daran ist erkennbar, dass die Theorie mit der Praxis gut übereinstimmt. Aufgrund dieses Unterschiedes ist es erforderlich, die Ausgleichsöffnung gezielt dem Schallfeld auszusetzen oder von ihm isolieren zu können. Dies ist im Deckel der Druckkammer möglich, wodurch die Primärkalibrierung an beliebige Mikrofone weitergegeben werden kann

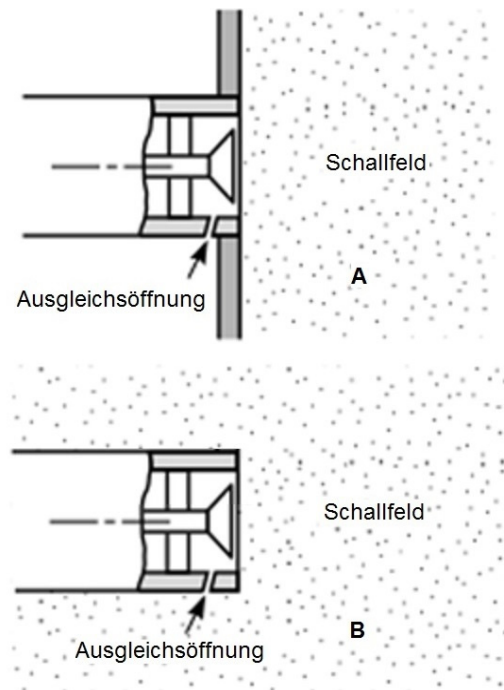


Abbildung 6: Falldarstellung Ausgleichsöffnung nach [2]

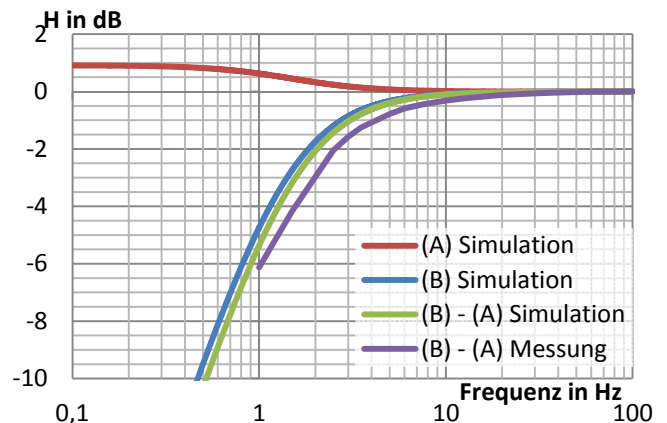


Abbildung 7: Änderung im Frequenzgang eines Mikrofons aufgrund der Ausgleichsöffnung

## Zusammenfassung

Es wurde ein Messplatz aufgebaut, mit dem Mikrofone und Schallpegelmessgeräten unter Realbedingungen geprüft bzw. kalibriert werden können. Der Aufbau wurde vorher simuliert und die Ergebnisse wurden durch Messungen bestätigt. Es ist möglich, Mikrofone und Schallpegelmessgeräten nach Komparation und Substitution zu kalibrieren bzw. zu prüfen. Da der Einfluss der elektrischen Kette nicht vernachlässigbar ist, wird dieser mithilfe einer Insert-Voltage Messung berücksichtigt. Speziell der Einfluss der Ausgleichsöffnung wurde genau betrachtet und entsprechend berücksichtigt. Diese verringert die Sensitivität eines handelsüblichen Mikrofons für den Hörschallbereich bei 20 Hz bereits um ca. 0,1 dB. Da diese Verringerung zu tiefen Frequenzen zunimmt, muss dieser Einfluss berücksichtigt werden. Es ist möglich im Bereich von 0,5 – 300 Hz zu messen, sofern man bei hohen Frequenzen den Verlauf der Knotenlinien beachtet und bei tiefen Frequenzen die Druckkammer nahezu keine Undichtigkeiten aufweist. Des Weiteren muss ein entsprechendes Primärnormal zur Verfügung stehen. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse liegt im Bereich von ca. 0,05 dB. Die Messwerte weichen von denen der Primärkalibrierung um weniger als 0,1 dB ab, sofern ein Prüfling verwendet wird von dem die Sensitivität durch die Primärkalibrierung bekannt ist. Die Gesamtunsicherheit kann auf wenige Zehntel dB geschätzt werden und wird vom verwendeten Primärnormal dominiert.

## Literatur

- [1] Michaelis T. A.: Realisierung eines Messplatzes zur Infraschallkalibrierung, Wolfenbüttel, 2014
- [2] Bruel & Kjaer: Technical Documentation: Microphone Handbook, Vol. 1 Theory, Nærum, Denmark, 1996