

Kalibrierservice Luftultraschall

Christoph Kling

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116 Braunschweig
E-Mail: Christoph.Kling@ptb.de

Einleitung

Die Messung von Luftultraschall, also die Bestimmung von Schalldruckpegeln über 20 kHz, findet zunehmend Anwendung, zum Beispiel zur Bestimmung der Lärmimmission am Arbeitsplatz nach VDI 3766 oder zur Schallemissionmessung von Produkten nach DIN EN 61010-1. Sollen die Messungen QM-tauglich oder gerichtsfest sein, so ist das generelle Problem, dass verwendete Schallpegelmessgeräte im Frequenzbereich über 20 kHz bisher nicht rückgeführt werden können. Neben der in der Regel notwendigen Kalibrierung des elektrischen Teils der Messkette, ist der schwierigste Teil die akustische Kalibrierung des verwendeten Mikrofons.

Seit kurzem ist ein Primärnormal für den Schalldruck im Ultraschallbereich verfügbar. Um Messsysteme von Anwendern an dieses anzuschließen, wurde an der PTB ein Kalibrierservice für Luftultraschall aufgebaut. Im akustischen Freifeld wird das Leerlauf-Übertragungsmaß einer Kombination aus einem 1/4"-Messmikrofon und einem Adapter auf 1/2" mit einem Substitutionsverfahren bis zu einer Frequenz von 100 kHz auf ein primäres Transfornormal rückgeführt. Das Sekundärverfahren schließt die Rückführungskette, so dass nun, wie aus dem Hörschall gewohnt, auch für den Ultraschall bis 100 kHz Bezugsnormale erstellt werden können. Das ermöglicht erstmals allen interessierten Anwendern die rückgeführte Messung von Luftultraschall.

Rückführung im Ultraschallbereich

Der Aufbau der Rückführung für die Schalldruckeinheit Pascal im Luftultraschall erfolgt analog zum Hörschallbereich. Zunächst wird in einem Freifeld-Reziprozitätsverfahren nach IEC 61094-3 ([2]) das Freifeld-Leerlauf-Übertragungsmaß eines Referenzmikrofons ermittelt. Dieses Primärverfahren wurde vor kurzem am dänischen Metrologieinstitut DFM aufgebaut ([3]). Das Referenzmikrofon besteht verfahrensbedingt aus einer 1/4"-Messmikrofonkapsel, die mit einem Adapter auf 1/2"-Gewinde verheiratet ist. Dieses primäre Transfornormal dient als Referenz, um im Sekundärverfahren an der PTB per Vergleich weitere Mikrofone zu kalibrieren.

Substitutionsverfahren bis 100 kHz

Bei dem Sekundärverfahren handelt es sich um ein klassisches Substitutionsverfahren nach IEC 61094-8 ([1]) mit erweitertem Frequenzbereich. Referenz und Prüfling werden nacheinander einem geeigneten Schallfeld ausgesetzt und jeweils eine akustische Übertragungsfunktion gemessen (siehe Abbildung 1).

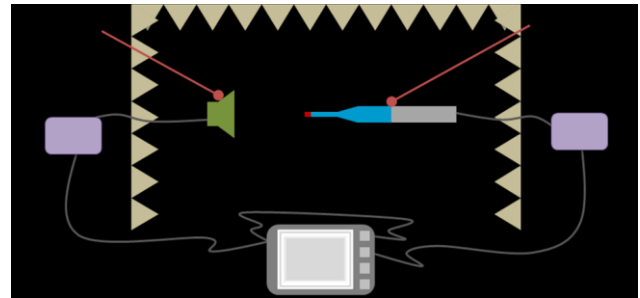


Abbildung 1: Aufbauskitze des Sekundärverfahrens.

Das Freifeld-(Leerlauf)-Übertragungsmaß des Prüflings $S_{0,Prüf}$ ergibt sich nach Gleichung (1) aus dem Übertragungsmaß der Referenz $S_{0,Ref}$ und der Differenz der gemessenen akustischen Übertragungsfunktionen $H_{ak,Ref}$ und $H_{ak,Prüf}$. Je nach Prüfling ist eine Korrektur der elektrischen Übertragungswege um die entsprechenden elektrischen Übertragungsfunktionen $H_{el,Ref}$ und $H_{el,Prüf}$ notwendig.

$$S_{0,Prüf} = S_{0,Ref} + \left[(H_{ak,Ref} - H_{el,Ref}) - (H_{ak,Prüf} - H_{el,Prüf}) \right] \quad (1)$$

Abbildung 2 zeigt eine 1/4"-Mikrofonkapsel, montiert auf dem verheirateten Adapter auf 1/2"-Gewinde und einem 1/2"-Vorverstärker, im Messaufbau.



Abbildung 2: 1/4"-Mikrofonkapsel auf einem Adapter zu 1/2"-Gewinde mit 1/2"-Vorverstärker.

Störeinflüsse

Der Kalibrieraufbau muss einige besondere Eigenschaften des Luftultraschalls berücksichtigen. Die Wellenlängen sind im Vergleich zum Hörschall sehr klein: Zum Beispiel 3,4 mm bei 100 kHz. Dadurch führen bereits kleine Flächen

und Kanten zu störenden Reflexionen und Beugung, die den Schalldruck am Messort verfälschen. Schallquellen haben in der Regel eine ausgeprägte Richtcharakteristik, was erhöhte Anforderungen an die Positionierung des Messaufbaus stellt. Im Ultraschallbereich ist die Ausbreitungsdämpfung in Luft verhältnismäßig stark (siehe dazu Abbildung 3). Insbesondere ist sie stark von Temperatur und Feuchte der Luft abhängig, so dass während der Kalibrierprozedur die Klimaparameter in engen Grenzen gehalten werden müssen.

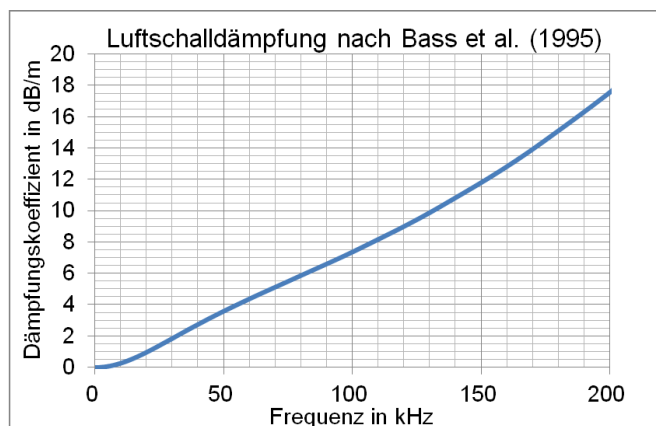


Abbildung 3: Ausbreitungsdämpfung in Luft unter Standardklimabedingungen: Temperatur 23 °C, rel. Luftfeuchte 50 %, Luftdruck 1013 mbar.

Diese Einflüsse machen den Aufwand, der bei der Kalibrierung im Luftultraschall betrieben werden muss, größer als im Hörschallbereich. Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$) liegt zur Zeit zwischen 0,4 dB und 0,6 dB, abhängig von Frequenz und Typ des zu kalibrierenden Prüflings.

Beispiel

Abbildung 4 zeigt typische Frequenzgänge von $\frac{1}{4}$ “-Mikrofonen. Aus dem Freifeld-Leerlauf-Übertragungsmaß einer Referenz ($\frac{1}{4}$ “-Mikrofonkapsel + Adapter auf $\frac{1}{2}$ “-Kurve in Schwarz) wurde das Freifeld-Übertragungsmaß einer $\frac{1}{4}$ “-Kapsel (hier in einem Pegelglied mit einem Vorverstärker und einem Speisemodul) bestimmt. Während der Frequenzgang ohne montiertes Schutzgitter ‚nur‘ in einem Bereich von ± 1 dB schwankt (durchgezogene Kurve in Blau), verformt das aufgesetzte Schutzgitter den Frequenzgang stark (gestrichelte Kurve in Blau). Eine herkömmliche Ein-Punkt-Kalibrierung mit einem Kalibrator bei 1 kHz ist dann nicht mehr ausreichend.

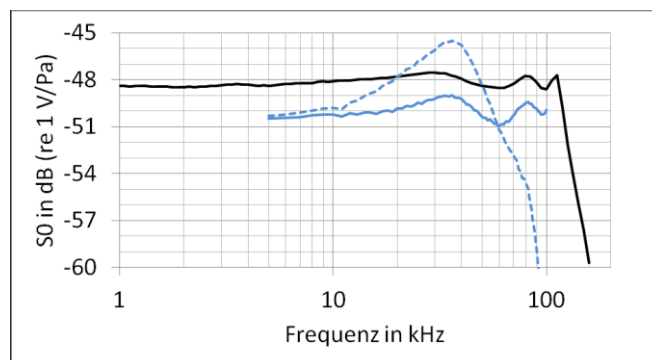


Abbildung 4: Freifeld-Übertragungsmaße S_0 einer $\frac{1}{4}$ “-Kapsel auf $\frac{1}{2}$ “-Adapter (schwarz) und einer sekundärkalibrierten $\frac{1}{4}$ “-Kapsel in einem Pegelglied (blau), ohne (durchgezogen) und mit (gestrichelt) montiertem Schutzgitter.

Zusammenfassung

Die Kalibrierung von Messmikrofonen ist nun an der PTB bis zu 100 kHz möglich und wird als Dienstleistung angeboten. Aus dem verfügbaren primären Transfernormal können Gebrauchsnormale zur Verwendung im Labor bei Herstellern und Kalibrierlaboratorien hergestellt werden.

Bisher können Kombinationen aus $\frac{1}{4}$ “-Mikrofonkapsel und einem Adapter auf $\frac{1}{2}$ “ kalibriert werden, ebenso wie konventionelle $\frac{1}{2}$ “-Mikrofonkapseln. Die Messunsicherheit des Kalibrierverfahrens ist aufgrund der besonderen Eigenschaften des Luftultraschall höher als im Hörschall, jedoch völlig ausreichend für die praktische Anwendung.

Im nächsten Schritt wird das Sekundärverfahren derart modifiziert, dass Gerätekalibrierungen möglich werden. Da die metrologische Infrastruktur im Luftultraschall hier noch nicht existiert ist, werden die Verfahren zunächst an der PTB entwickelt und dann an interessierte Anwender weitergegeben werden. Damit wird künftig die Rückführung von beliebiger ultraschallfähiger Messtechnik, wie zum Beispiel Ultraschallpegelmessgeräten, möglich werden.

Literatur

- [1] DIN EN 61094-8:2013-04: Messmikrofone - Teil 8: Verfahren zur Ermittlung des Freifeld-Übertragungskoeffizienten von Gebrauchsnormalmikrofonen nach der Vergleichsmethode (IEC 61094-8:2012)
- [2] DIN EN 61094-3:2015-09: Messmikrofone - Teil 3: Primärverfahren zur Freifeld-Kalibrierung von Laboratoriums-Normalmikrofonen nach der Reziprozitätsmethode (IEC 29/873/CDV:2015)
- [3] Barrera Figueroa, Salvador ; Torras Rosell, Antoni ; Jacobsen, Finn: Extending the frequency range of free-field reciprocity calibration of measurement microphones to frequencies up to 150 kHz. Proceedings of Inter-Noise 2013.