

PTB-Kalibrier-Service für Luftultraschall

Sonja Walther¹, Christoph Kling²

¹ Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, E-Mail: Sonja.Walther@PTB.de

² Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, E-Mail: Christoph.Kling@PTB.de

Motivation

Luftschallmessungen bei hohen Frequenzen und im Ultraschallbereich werden immer häufiger, zum Beispiel im Arbeitsschutz. Allerdings fehlt diesen Messungen in der Regel die Rückführung. Daher hat sich die Physikalisch-Technische Bundesanstalt zur Aufgabe gemacht, einen Kalibrierservice für Mikrofone und Pegelmessglieder im Frequenzbereich 20 kHz bis 100 kHz anzubieten. Ein sekundärer Messplatz auf Basis des Substitutionsprinzips wurde im Rahmen des EARS-Projektes erstellt [1] und muss nun von einem Forschungs-Aufbau zu einem praxistauglichen Dienstleistungs-Messplatz weiterentwickelt werden.

Messplatz

Mit einem Substitutionsverfahren wird die Schalldruckeinheit von einem primärkalibrierten Mikrofon (Referenz) auf ein zu kalibrierendes Mikrofon (Prüfling) übertragen.

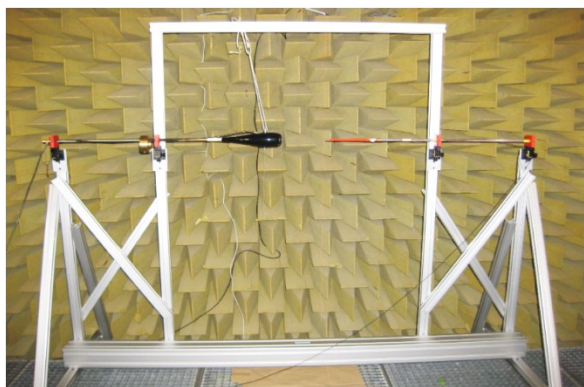


Abbildung 1: Messaufbau mit Quelle (links) und Referenz bzw. Prüfling (rechts)

Der messtechnische Vorgang ist hierbei der Vergleich zweier schalldruckproportionaler Mikrofonspannungen bei konstantem Schalldruck, wobei das Ersatzspannungsverfahren verwendet wird. Referenz und Prüfling werden im freien Schallfeld nacheinander dem gleichen Schalldruckpegel einer geeigneten Schallquelle ausgesetzt.

Schallquelle

Die folgenden generellen Anforderungen an die Schallquelle gelten für die Kombination aus Signalgenerator, Verstärker und Lautsprecher: Sie soll zeitlich stabil sein, einen möglichst glatten Frequenzgang haben, einen hohen Signalpegel bieten, aber klirrfrei sein und außerdem wenig Reflexionsfläche aufweisen.

Praktische Probleme gibt es hier insbesondere bei der Stabilität. Dies betrifft sowohl den Verstärker als auch den Lautsprecher. Für jede Quelle muss individuell untersucht

werden, ob sie einen stabilen Zustand erreicht, nach welcher Zeit sie unter welchen Bedingungen warmgelaufen ist oder ob sie eine Drift aufweist.

Als weitgehend stabil hat sich ein als Quelle verwendetes Kondensatormikrofon erwiesen. Dies ist allerdings relativ leise, so dass bei weniger empfindlichen Prüflingen die Messung durch ein geringes Signal-Rausch-Verhältnis schwierig wird. Alternativ wird ein Diamanthochtöner eingesetzt, der einen deutlich höheren Signalpegel bietet, aber auch eine geringere Stabilität hat. Der Messzyklus muss gegebenenfalls auf die Eigenschaften der Quelle angepasst werden.

Referenz

Ein Prüfling wird mit mindestens zwei Referenzen vermessen. Da es keine LS3-Mikrofone gibt, dienen als Referenzen WS3-Kapseln ohne Schutzgitter inklusive Adapter auf 1/2"-Gewinde mit Rückführung auf ein Freifeld-Reziprozitätsverfahren.

Prüflinge

Als Prüflinge kommen Halbzollkapseln, Viertelzollkapseln (WS3-Kapsel) inklusive Adapter auf 1/2"-Gewinde, Achtelzollkapseln inklusive Adapter auf 1/2"-Gewinde, Pegelmessglieder verschiedener Bauart, auch zum Beispiel MEMS-Mikrofone und optische Mikrofone, in Frage. Abhängig von Sensitivität und Rauschen des Prüflings kann eine Kalibrierung bis zu 100 kHz erfolgen.



Abbildung 2: Beispiele kalibrierbarer Ultraschallmikrofone

Klimabedingungen

Je kleiner die Wellenlänge ist, desto größer ist die Luftdämpfung. Auch der Einfluss, den eine Änderung der Klimabedingungen auf die Luftdämpfung hat, nimmt bei hohen Frequenzen zu. Daher ist es unbedingt erforderlich, die Klimabedingungen konstant zu halten. Der für die Luftultraschallkalibrierung genutzte reflexionsarme Raum muss bezüglich Temperatur und Feuchte auf die Referenzumgebungsbedingungen stabilisiert sein.

Messverfahren

Durch die kleinen Wellenlängen des Ultraschalls werden bereits kleine Reflexionsflächen relevant. So gibt es Reflexionen auch zwischen Quelle und Mikrofon sowie an Halterungen und Kabeln.

Mit ausgeschnittenen Impulsantworten können bei richtig angepasster Geometrie viele Reflexionen aus der

Auswertung ausgeschlossen werden. Innerhalb einer Ellipse, in deren Brennpunkten das Mikrophon und die Quelle sitzen, sollten sich keine Reflexionsflächen befinden. Reflexionen von Flächen außerhalb der Ellipse werden aus dem Zeitsignal ausgeschnitten. Die Länge des Signals muss an die Geometrie angepasst sein. Als Signalform ist zum Beispiel ein Sweep geeignet.

Da Reflexionen von Flächen außerhalb der Ellipse keinen Einfluss haben, kann das Stativ massiv gebaut sein, was die Montage erleichtert und die Positionierung verbessert. Innerhalb der Ellipse können spezielle kantenarm gefertigte Halterungen mit innenliegenden Kabeln helfen, Reflexionen zu vermeiden.

Messbeispiel

Abbildung 3 zeigt als Beispiel die gemessene Sensitivität einer Viertelzoll-Kapsel mit zwei verschiedenen Vorverstärkern. Zwischen 10 kHz und 40 kHz zeigt sich ein deutlicher Einfluss des Vorverstärkers.

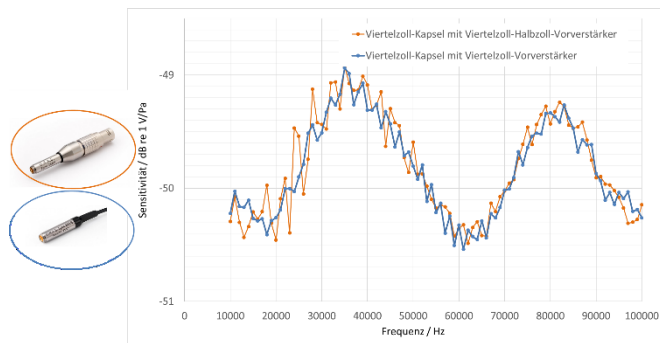


Abbildung 3: Zwei Einzelmessungen derselben Viertelzollkapsel mit zwei verschiedenen Vorverstärkern

Messunsicherheit

Die Messunsicherheit liegt üblicherweise im Ultraschallbereich höher als im Hörschall. Sie ist abhängig vom Prüfling und beträgt typischerweise $< 0,8$ dB bei 100 kHz.

Zusammenfassung

Es zeigte sich, dass Kalibrierungen im Luftultraschallbereich deutlich schwieriger sind als im Hörschallbereich. Ursache hierfür ist unter anderem, dass in diesem Frequenzbereich die Quellen oft instabil und leise sind, während die Mikrofone unempfindlich sind und stark rauschen. Dennoch lassen sich gute Ergebnisse erzielen, wenn man unter Berücksichtigung der jeweiligen Vor- und Nachteile die richtige Schallquelle für die aktuelle Messaufgabe einsetzt. Eine deutliche Verbesserung des Messplatzes wurde mit der Umstellung auf das Time-Gating-Verfahren erzielt – insbesondere in Zusammenhang mit einer neuen Mechanik. Eine weitere Verbesserung von Positionierung und Klimabedingungen ist geplant.

Inzwischen liegen einige Erfahrungen mit verschiedenen Prüflingen vor. So können nun an der PTB vom klassischen Kondensatormikrofon bis zum speziellen optischen Wandler Mikrofone und Pegelmessglieder verschiedener Bauart im Frequenzbereich bis zu 100 kHz im Freifeld kalibriert werden. Für die Zukunft soll auch eine Bestimmung der

Sensitivität für Viertelzoll-Kapseln ohne Adapter realisiert werden. Eine Erweiterung des Frequenzbereiches bis 150 kHz ist nicht ausgeschlossen.

Literatur

[1] PTB Homepage, URL:

www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt1/fb-16/ag-163.html