

Pegel und Richtcharakteristiken von Luftultraschallquellen

Christoph Kling¹, Tobias A. Michaelis², Sonja Walther¹

¹ *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, E-Mail: Christoph.Kling@ptb.de*

² *Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, 38302 Wolfenbüttel*

Einleitung

Der Lärmbelastung durch Luftultraschall wird zunehmend Beachtung geschenkt. Im Gegensatz zum Hörschallbereich gibt es jedoch bisher keine anerkannten Mess- und Bewertungsverfahren. In der Ausgabe der VDI 3766 aus dem Jahr 2012 [1] wurde das derzeitige Wissen um die Wirkung, Erfassung und Beurteilung der Lärmwirkung von Frequenzen jenseits von 20 kHz zusammengetragen. Es liegen derzeit jedoch zu wenige Daten vor, so dass nur grundlegende Anhaltspunkte für eine Vermessung und Bewertung von Ultraschall definiert werden konnten. Grund hierfür ist vor allem das Fehlen einer metrologischen Basis und geeigneten Messtechnik.

An der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) werden daher Verfahren entwickelt, um Messtechnik außerhalb des Hörbereichs zu kalibrieren und Luftultraschall quantitativ zu erfassen. Unter anderem wurde ein Messplatz aufgebaut, um den Schalldruckpegel verschiedener Schallquellen in Größe und Richtwirkung zu bestimmen.

Dieser Artikel stellt die Messtechnik und Kalibrierung des Messplatzes vor und zeigt beispielhaft Richtcharakteristiken und Schalldruckpegel verschiedener Ultraschallquellen.

Aufbau des Messplatzes

Die Schallquellen sollen unabhängig von Einfluss des umgebenden Raumes charakterisiert werden. Dazu werden Sie in einem akustischen Freifeld platziert, in dem pegelverfälschende Reflexionen unterdrückt werden. Auf einem festen Radius auf mehreren Punkten rund um die Quelle verteilt wird im laufenden Betrieb das Schalldrucksignal aufgezeichnet und ausgewertet. Damit ist der prinzipielle Aufbau ähnlich dem zur Bestimmung der Schalleistung an Maschinen. Allerdings wird hier kein Halbraum mit reflektierendem Boden sondern ein Vollraum verwendet, um eine vollständige Richtcharakteristik bestimmen zu können.

Die zu vermessende Quelle wird auf einem Drehtisch positioniert und definiert ausgerichtet. Darüber wird ein WS3F-Mikrofon (1/4"-Gebrauchs-Normalmikrofon nach DIN EN 61094) an einem Galgen über die Quelle hinweg geführt. Drehtisch und Galgen werden jeweils mit einem Servomotor präzise bewegt. Abbildung 1 zeigt den Aufbau im großen Freifeldraum der PTB. An jedem Messpunkt über der Quelle wird das emittierte Schallsignal über ein repräsentatives Zeitintervall aufgezeichnet. Dazu wird eine Samplingkarte NI USB-6356 verwendet. Sie bietet laut Hersteller eine Samplingrate von 1,25 MHz mit einer Dynamik von 16 Bit. Es zeigte sich jedoch im Laufe der

Untersuchungen, dass die Dynamik und die Messbereiche der Karte nicht bei jeder Quelle ausreichen.

Die aufgezeichneten Zeitsignale werden auf einer Festplatte gesammelt und nach der Messung offline in Matlab analysiert. Die Signaldateien werden geschnitten, auf den richtigen Schalldruck skaliert, mit inversen Frequenzgängen einzelner Teile der Messkette vorgefiltert und nach verschiedenen Beurteilungsgrößen ausgewertet. Danach kann jedem Messpunkt ein Beurteilungswert zugeordnet werden. In einem 3D-Oberflächenplot lässt sich das Endergebnis dann in aller Regel am besten beurteilen.

Als Beurteilungsgrößen können zum Beispiel der unbewertete Spitzenschalldruckpegel LZpeak, der AUBewertete Mittelungspegel LAUeq bzw. der auf 8 Stunden hochgerechnete Expositionspegel LAUE8h und der Schalldruckpegel der 20 kHz-Terz herangezogen werden. Diese Größen werden in der VDI 3766 zur Beurteilung der Lärmbelastung am Arbeitsplatz vorgeschlagen. Allerdings können auch andere Größen sinnvoll sein. So zeigt Abbildung 3 zum Beispiel den Schalldruckpegel bei einer einzelnen FFT-Linie zur Beurteilung der Richtcharakteristik eines Lautsprecherarrays.



Abbildung 1: Richtcharakteristikscanner im (Voll-) Freifeldraum mit Drehtisch für die Quelle und Galgen zur Mikrofonführung.

Reflexionsfreiheit des Schallfeldes

Übliche Schallabsorptionsmaterialien sind nur bis maximal 10 kHz charakterisiert. Eigene Untersuchungen zeigten jedoch, dass die in der Nähe der Quellen verwendeten Materialien zumindest bis zur 40 kHz-Terz noch ca. 90% Absorption aufweisen. Zusätzlich wurden nach Möglichkeit alle Oberflächen derart ausgerichtet, dass etwaige Reflexionen vom Messplatz weg in den Raum abgeleitet werden. Die schiere Größe des Raumes sorgt für hohe Ausbreitungsdämpfung und große freie Weglängen. Die zu

höheren Frequenzen stark zunehmende Schallabsorption in Luft [2] kann dadurch zusätzlich zur Dämpfung des Schalls beitragen.

Kalibrierung und Messunsicherheit

Kalibriert wird die vollständige Messkette mit einem Pistophon bei 250 Hz und 124 dB. Das Kalibriersignal wird aufgezeichnet und für die Referenzierung in der späteren Offlineanalyse abgespeichert.

Für den Ultraschallbereich verwendbare Messtechnik ist in aller Regel nicht auf Frequenzbereiche oberhalb von 20 kHz ausgelegt. So zeigen manche 1/4“-Mikrofone bereits ab ca. 40 kHz deutliche Schwankungen im Frequenzgang. Vorverstärker und Speisemodule sind oft bis 200 kHz mit einer Linearität bis zu 0,3 dB ausgelegt. Geeignete Samplingkarten für diese Anwendung sind selten und können sehr unterschiedliche Frequenzgänge zeigen. Die Messkette ist in jedem Falle individuell auf Linearität zu untersuchen. Wird, so wie bei Pegelmessungen im Hörschallbereich üblich, die Abweichung von der Linearität nicht korrigiert, können im Ultraschallbereich Messunsicherheiten von mehreren dB auftreten.

Die Messunsicherheit der hier verwendeten Messkette kann mit unkorrigiertem Frequenzgang auf ca. 2,5 dB abgeschätzt werden. Die Ursachen sind hier vor allem die nichtlinearen Frequenzgänge der Mikrophonkapsel und der Samplingkarte. Im derzeitigen Aufbau können diese in der Offlineanalyse korrigiert werden. Zum Zeitpunkt der Manuskripterstellung lagen diese Korrekturdaten allerdings (noch) nicht vor, so dass für die im Nachfolgenden angegebenen Pegelwerte die oben genannte Messunsicherheit angesetzt werden muss.

Beispiel Reinigungswanne

Beim ersten Beispiel handelt es sich um eine kleine handelsübliche Reinigungswanne, die im Standardbetrieb mit geschlossenem und mit geöffnetem Deckel untersucht wurde. Wegen einer eingebauten Abschaltautomatik wurden nur 82 Punkte über der Quelle vermessen. Abbildung 2 zeigt den unbewerteten Spitzenschalldruckpegel L_{Zpeak} in einem Messabstand von 50 cm. Bei geöffnetem Deckel wird der Grenzwert der VDI 3766 von 140 dB gerade überschritten.

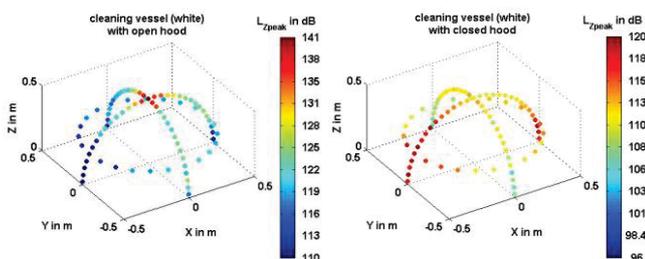


Abbildung 2: Spitzenschalldruckpegel in einem Abstand von 50 cm über einer kleinen Reinigungswanne. Oben links: Bei geöffnetem Deckel. Oben rechts: bei geschlossenem Deckel. Unten rechts: Foto.



Bereits das Öffnen des Deckels im laufenden Betrieb gefährdet somit das Gehör des Bedieners. Das Schließen des Deckels reduziert den Pegel über der Wanne auf etwa 114 dB. Der Rundumscan offenbart auf der Vorder- und auf der Rückseite des Geräts höhere Pegel von ca. 120 dB, die ‚undichte‘ Stellen durch die Öffnungskerbe und Scharniere des Deckels zeigen.

Beispiel Lautsprecherarray

Das zweite Beispiel ist ein Array aus sieben Piezo-Lautsprechern, von denen vier korreliert mit einem Sinussignal betrieben werden. Abbildung 3 zeigt den mittleren Schalldruckpegel in einer FFT-Linie in einer Entfernung von 44 cm bei Anregung mit einem 120 kHz-Sinus. In einem weiten Raumwinkelbereich von etwa $\pm 45^\circ$ zeigen sich vor dem Array starke Interferenzen mit Pegelschwankungen von ca. 20 dB. Interessant ist ein radförmiges Muster aus Maxima im Zenit, das etwa den Durchmesser und die Form des Lautsprecherarrays aufweist. Die Aufnahme besteht aus 12430 Messpunkten, die untereinander etwa 1 cm Abstand auf der Halbkugelschale haben.

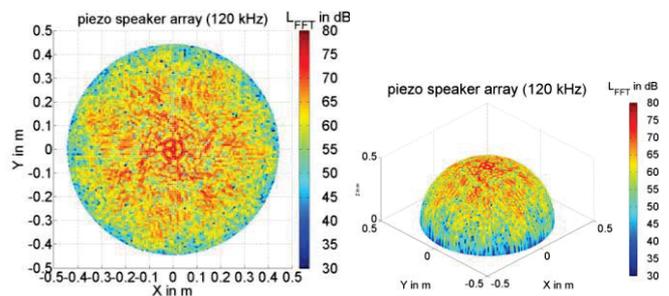


Abbildung 3: Schalldruckpegel einer FFT-Linie bei 120 kHz in einem Abstand von 44 cm über einem Array von sieben Piezolautesprechern, von denen vier in Betrieb sind (im Foto rechts markiert). Gezeigt ist die 3D-Ansicht von oben (links) und schräg von der Seite (rechts). Rot entspricht einem Pegel von ca. 80 dB, gelb von ca. 55 dB, blau von ca. 30 dB.

Zusammenfassung

Der Scanner bietet die Möglichkeit schnell und mit relativ geringem Aufwand das Schallfeld einer Quelle im Hör- und Ultraschallbereich umfassend zu untersuchen. Die angegebenen Schalldruckpegel sind kalibriert, die Winkelauflösungen hoch und die Aufnahmen frei von verfälschenden Reflexionen. Direkte Anwendungen sind Emissionsmessungen an Lärmquellen und die Entwicklung von Messtechnik.

Literatur

- [1] VDI 3766:2012-09: Ultraschall - Arbeitsplatz - Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung.
- [2] Bass, H.E.; Sutherland, L.C.; Zuckerwar, A.J.; Blackstock, D.T.; Hester, D.M.: Atmospheric absorption of sound: Further developments. Journal of the Acoustical Society of America 97 (1), 1995, pp. 680-683.