

Tiefstfrequenzkalibrierung von dynamischen Druckaufnehmern

Michael Mende¹, Dr. Holger Nicklich¹, Petko Bakardijev²

¹ SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden, E-Mail: sales@spektra-dresden.com

² TU Dresden, Institut für Halbleiter- und Mikrosystemtechnik

Einleitung

Dynamische Druckaufnehmer finden in sehr unterschiedlichen Branchen und in unterschiedlichsten Bauformen Verwendung. Das Spektrum reicht dabei von der Medizintechnik (Blutdruckmessung, Atemüberwachung) über die Strömungstechnik (Abgasuntersuchungen, Flugzeugbau etc.) bis zur Messung von Infraschall (Flugüberwachung, Windkraftanlagen, geophysikalische Vorgänge etc.). Im Folgenden wird ein Kalibriersystem vorgestellt, das die dynamische Kalibrierung von Niederdruckaufnehmern und Messmikrofonen erlaubt:

- unabhängig von der Bauform
- im Frequenzbereich 0,1 Hz bis 31,5 Hz
- im Schalldruckpegelbereich 114 dB – 124 dB

Aufbau des Druckgenerators

Das System basiert auf einem Tieffrequenz-Druckgenerator, der in seiner Wirkungsweise einem Pistonphon ähnlich ist. Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Pistonphon wird der Prüfling hier vollständig in das Druckschallfeld einer Messkammer eingebracht. Der Schalldruck in der Messkammer wird durch einen Wellenbalg erzeugt, der von einem Schwingungserreger angetrieben wird. Als Referenznormal dient ein piezoresistiver Differenzdrucksensor, der außen an der Messkammer angebracht ist und dessen Messzweig über eine Öffnung in der Messkammerwand den Wechseldruck im Inneren der Kammer misst. Der Schwingungserreger wird von einem Schwingregelsystem angetrieben, wobei auf das Signal des Differenzdrucksensors geregelt wird.

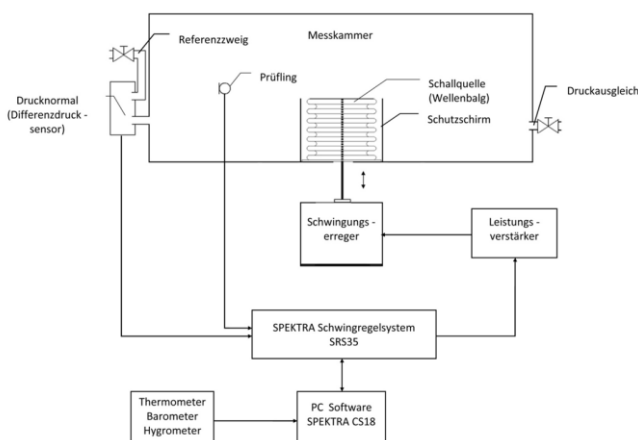


Abbildung 1: Prinzipskizze des Kalibriersystems mit Tieffrequenz-Druckgenerator

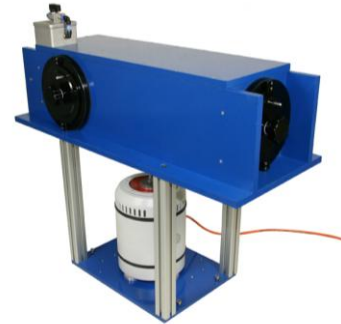


Abbildung 2: Außenansicht des Tieffrequenz-Druckgenerators

Schallfeld und Schalldruckregelung

Der Schwingungsregler, mit dem der Schalldruck geregelt wird, verwendet zur Wahl des Startpunktes für den Regelprozess eine Übertragungsfunktion $H(f)$ [PA/V], die den Zusammenhang zwischen Eingangsspannung am Leistungsverstärker mit dem generierten Schalldruck beschreibt. Diese Übertragungsfunktion ist jedoch nicht nur von der Frequenz, sondern auch von den in die Messkammer eingebrachten Prüflingen abhängig, welche das Volumen/Oberfläche Verhältnis der Messkammer verändern. Im Tieffrequenzbereich kann der Druckwechsel nicht mehr als adiabater Prozess beschrieben werden, sondern wird zunehmend isotherm. Daher hat dieses Verhältnis einen Einfluss auf die Übertragungsfunktion. Um ein Gefühl für die Stärke dieses Einflusses zu bekommen, wurden akustische Übertragungsfunktionen $H(f)$ [PA/mm] gemessen, die den Zusammenhang zwischen Auslenkung des Wellenbalges zu generierten Schalldruck beschreibt. Das Volumen zu Oberfläche Verhältnis der Messkammer wurde durch schrittweises Füllen der Messkammer mit Aluminiumfoliestreifen verändert (Abbildung 3).

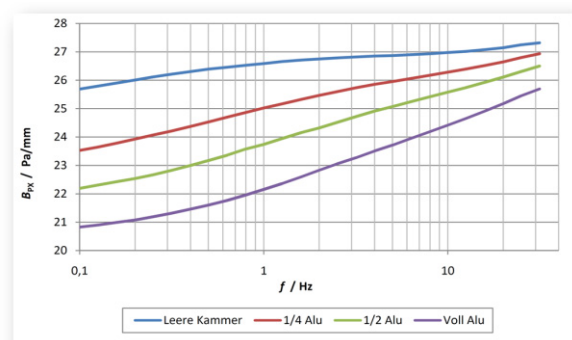


Abbildung 3: Akustische Übertragungsfunktionen B_{px} (Schalldruck pro mm-Schwingungsamplitude des Erregers) bei Veränderung des Volumen/Oberfläche Verhältnisses durch Füllen der Messkammer mit Alufolie

Die Messungen zeigen, dass die Änderungen der Übertragungsfunktion selbst durch massive Veränderungen des Volumen/Oberfläche Verhältnisses so gering sind, dass sie für den Regler unproblematisch sind. Da die Übertragungsfunktionen über der Frequenz nur leicht abfallen und nirgendwo abknicken, kann weiterhin geschlossen werden, dass die Messkammer hinreichend dicht ist.

Darüber hinaus wurde die Verteilung des Schalldrucks in der Messkammer bei verschiedenen Frequenzen untersucht. Ein Messmikrophon wurde dazu zuerst an einem Referenzpunkt nahe dem Drucksensor positioniert und kalibriert. Dann wurde das Mikrophon systematisch in der Messkammer verschoben und an jedem Punkt erneut kalibriert. Nimmt man an, dass die Sensitivität des Mikrophones sich während der Messungen nicht verändert, dann können die gemessenen Abweichungen in den Kalibrierdaten in Bezug auf den Referenzpunkt als Differenz zwischen dem Schalldruck am Referenzpunkt zum Schalldruck an der Position des Messmikrophons interpretiert werden. Es zeigte sich, dass das Schalldruckfeld bis 10 Hz als vollkommen homogen angesehen werden kann und sich erst darüber in der Nähe der Schallquelle leichte Schalldruckunterschiede ausbilden (Abbildungen 4 und 5). Geht man davon aus, dass in der Praxis die Prüflinge immer in der Nähe des Referenzsensors positioniert werden, kann man von einem vernachlässigbaren Einfluss der Schalldruckdifferenzen über den gesamten Frequenzbereich ausgehen.

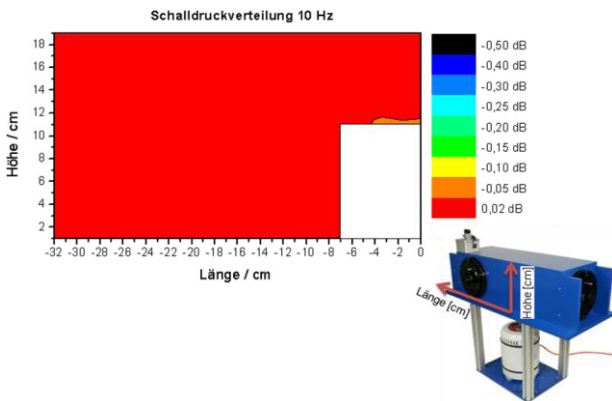


Abbildung 4: Schalldruckverteilung bei 10 Hz entlang der Mittelebene der Messkammer; der weiße Bereich kennzeichnet die Position der Schallquelle

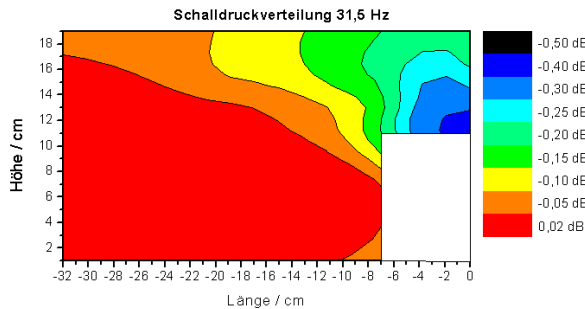


Abbildung 5: Schalldruckverteilung bei 31,5 Hz entlang der Mittelebene der Messkammer; der weiße Bereich kennzeichnet die Position der Schallquelle

Messunsicherheit

Zur Bestimmung der Messunsicherheit des Kalibriersystems wurde erst ein Messunsicherheitsbudget (MUB) erstellt und nachfolgend versucht dieses mittels Messungen zu verifizieren. Bei der Erstellung des MUB stellte sich heraus, dass keine dynamischen Kalibrierdaten (Frequenzgang) zum Bezugsnormal erhältlich waren und auch keine ausreichenden Daten zur Langzeitstabilität zur Verfügung standen. Mittels Angaben aus der Literatur zu diesem Typ von Drucksensor wurde versucht die nicht ermittelbaren Beiträge zur Messunsicherheit zumindest abzuschätzen. Das Ergebnis des MUB war eine erstaunlich kleine Messunsicherheit von nur 0,05 dB über den gesamten Frequenzbereich.

In Reihenkalibrierungen mit verschiedenen Prüflingen wurde versucht dieses Ergebnis messtechnisch zu verifizieren. Darüber hinaus wurden die Prüflinge in Anschlussmessungen mit anderen bekannten Bezugsnormalen und Verfahren kalibriert, und die Ergebnisse mit den Ergebnissen dieses Kalibriersystems verglichen.

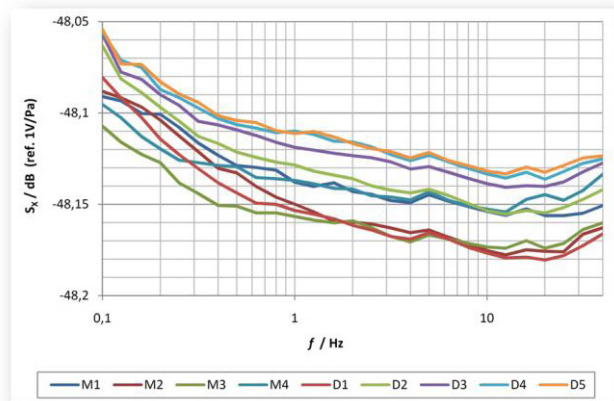


Abbildung 6: Messungen zur Verifizierung der Messunsicherheit (hier Prüfling B&K 4147/2631) D = unmittelbar aufeinander folgende Messungen M = Einzelmessungen an unterschiedlichen Tagen

Prüfling	Referenzverfahren	$S_{X,TF-DG}$ / dB	$S_{X,REF}$ / dB	$S_{X,TF-DG} - S_{X,REF}$ / dB
1	a	-26,432	-26,358	-0,074
2	b	-48,13	-48,10	-0,03
3	b	-25,58	-25,61	0,03

Abbildung 7: Anschlussmessungen an bekannte Bezugsnormale; a = Pistonphon 250 Hz 124 dB, b = Kuppler 31,5 Hz, 84 dB

Sowohl die exzellente Wiederholgenauigkeit der Reihenmessungen, als auch die Ergebnisse der Anschlussmessungen an andere Bezugsnormale deuten derzeit darauf hin, dass eine Messunsicherheit von nur 0,05 dB realistisch erscheint. Weitere Untersuchungen zur Eignung des Differenzdrucksensors als Bezugsnormal (z.B. Frequenzgang, Langzeitstabilität) sind allerdings wünschenswert.

[1] Bakardijev, P.: Tieffrequenz-Generator zur sinusförmigen Druckerzeugung, Diplomarbeit TU Dresden, 2009