

Über den Einfluss von Konstantstrom-Adapttern für vorpolarisierte Messmikrofone auf den Frequenzgang

Norbert F. Bischof & Bernhard U. Seeber

Audio-Signalverarbeitung, Technische Universität München, 80333 München
ga69pov@mytum.de, seeber@tum.de

Einleitung

Akkurate akustische Messungen sind sowohl in der Forschung als auch in der Industrie von großer Bedeutung. Bei vibroakustischen Messungen werden häufig piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer verwendet, die über eine Konstantstromquelle gespeist werden, welche direkt vom Messgerät bereitgestellt werden kann. Jedoch hat auch die Verwendung von hochqualitativen Audio-Soundkarten mit 48 V Phantomspeisung bei akustischen Messungen mit vorpolarisierten Elektret-Messmikrofonen große Vorteile. So kann bei der Verwendung einer Audio-Soundkarte eine samplegenaue simultane Aufnahme und Wiedergabe gewährleistet werden. Beispielsweise können dadurch präzise, mehrkanalige akustische Messungen in einem reproduzierten Schallfeld in-Situ gemessen werden, um zu verifizieren, ob der gemessene Schalldruckpegel dem erwarteten Schalldruckpegel entspricht und für die audiologische Forschung verwendet werden kann [1]. Auch für die Umsetzung der Simulation komplexer akustischer Situationen sind akkurate Messungen notwendig. Hladek et al. [2] verwendeten für Impulsantwortmessungen einer U-Bahn-Station unter anderem ein vorpolarisiertes Elektret-Kondensator Messmikrofon in Verbindung mit einem 48 V-zu-IEPE-Adapter. Mit den Messungen sollte die vermessene U-Bahn-Station im Labor akustisch realgetreu nachgebildet werden und die Simulation verifiziert werden. Bei der Durchführung solcher komplexen Messungen wird bei der Auswahl der verwendeten Messgeräte ein hohes Augenmerk auf Frequenzunabhängigkeit und Rauscharmut gelegt. Dabei sollen die Pegeltoleranzen nach DIN EN 61672-1:2014-07 [3] möglichst für eine Messung der Güteklasse 1 eingehalten werden. Die Verwendung von vorpolarisierten Elektret-Kondensator Messmikrofonen in Verbindung mit Audio-Soundkarten ermöglicht die effiziente Programmierung in Matlab und Python und wird auch aus Kostengründen und aufgrund des Vorteils der simultanen Aufnahme des Mikrofonsignals und Wiedergabe des Testsignals gängiger. Jedoch sind zur Konstantstrom-Versorgung der Elektret-Kondensator Messmikrofone Adapter notwendig, die z.B. eine 48 V Phantomspeisung in eine Konstantstromquelle wandeln. Hierzu kann ein Integrated Electronics Piezo Electric (IEPE) Adapter verwendet werden. Die Verwendung durch eine IEPE-Konstantstromquelle ist industrieller Standard für piezoelektrische Sensoren [4]. Diese Speisetechnik findet jedoch auch bei der Verwendung von vorpolarisierten Elektret-Kondensator Messmikrofonen Verwendung und wird unter verschiedenen herstellereigenen Bezeichnungen geführt (*DeltaTron* (Brüel & Kjær), *Integrated Circuit Piezoelectronic (ICP)* (PCB Piezoelectronics), *Constant Current Power CCP* (G.R.A.S.)).

Diese Arbeit vergleicht verschiedene IEPE-Adapter für den Anschluss eines vorpolarisierten Elektret-Kondensator Messmikrofons an eine Audio-Soundkarte mit 48 V Phantomspeisung auf ihren Einfluss auf den Frequenzgang und das Grundrauschen. Der Frequenzgang als auch das Grundrauschen fünf verschiedener IEPE-Adapter wurde in einem Insert-Verfahren vermessen.

Aufbau eines IEPE-Speisemoduls

Aufgabe des IEPE-Moduls ist es, den Sensor (z.B. Elektret-Kondensator Mikrofon) mit einem konstanten Strom von etwa 4 mA zu versorgen. Dabei beträgt die Arbeitspunktspannung des Sensors zwischen 8V und 14V [5]. Das Sensorsignal wird auf die Arbeitspunktspannung auf moduliert. Durch den Koppelkondensator C_{Koppel} im IEPE-Modul wird das Signal vom überlagerten Gleichanteil entkoppelt, wodurch am Eingang der Audio-Soundkarte nur die vom Sensor bereitgestellte Wechselspannung als Messsignal abfällt. Abbildung 1 zeigt den generellen Aufbau eines solchen IEPE-Speisemoduls gemäß [4].

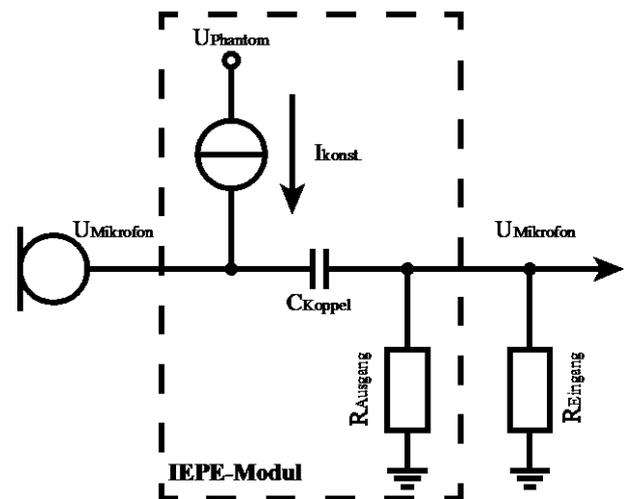


Abbildung 1: Beschaltung gemäß IEPE-Standard nach [4]. Das Mikrofon wird über die Konstantstromquelle betrieben, das Mikrofonsignal wird über einen Koppelkondensator zum Messgerät übertragen.

Methoden

Getestete IEPE-Speiseadapter

In dieser Arbeit wurden fünf verschiedene Konstantstrom-Adapter getestet: NTi P48.3 (NTi Audio AG, Schaan, Liechtenstein) IEPE-Adapter mit eingebautem ASD-Chip zur Übertragung eines elektronischen Datenblattes des Mikrofons [6], iSEMcon SA-P48 (iSEMcon GmbH, Viernheim, Deutschland), AVM MP48 (AVM Audio Video Manufaktur GmbH, Malsch, Deutschland) und ROGA MP48 (ROGA

Instruments, Nentershausen, Deutschland). Die letzteren Konstantstrom-Adapter zum Anschluss an eine 48 V Phantomspeisung hatten keinen eingebauten ASD-Chip für die Übertragung eines elektronischen Datenblattes. Auch das einkanalige IEPE-Speisemodul G.R.A.S. 12AL (GRAS Sound & Vibration, Holte, Dänemark) wurde getestet. Dieses Speisemodul wird jedoch nicht über die 48 V Phantomspeisung der Soundkarte betrieben, sondern kann wahlweise über zwei AA-Alkalibatterien oder über eine externe Gleichstrom-versorgung von 3-6 V versorgt werden. Für die Messung wurden zwei neue AA-Alkalibatterien verwendet. Das G.R.A.S. 12AL verfügt außerdem über einen zuschaltbaren A-Bewertungsfilter, der für die Messungen jedoch ausgeschaltet war. Der interne Aufbau der einzelnen Adapter ist den Autoren nicht bekannt.

Messaufbau und Durchführung

Zur Messung des Frequenzgangs und des Grundrauschens der zu testenden Konstantstrom-Adapter wurde ein RME UFX II Audiointerface (RME Audio, Haimhausen, Deutschland) verwendet. Die Messung wurde in Matlab (MathWorks Inc., Natick, MA, USA) implementiert. Hierfür wurden sowohl der verwendete Mikrofoneingang als auch der Audioausgang mit einem Audio Precision System One (Audio Precision Inc., Beaverton, OR, USA) so kalibriert, dass exakte Spannungswerte gemessen beziehungsweise ausgegeben wurden. Der Audioausgang der Soundkarte wurde mit einem BNC-Kabel mit dem Kathodenfolger-Adapter BK JJ2615 (Brüel & Kjær, Nærum, Dänemark) verbunden. Dieser wurde mit einem MV210 Mikrofonverstärker (Microtech Gefell GmbH, Gefell, Deutschland) verbunden. Mit dieser Insert-Methode kann ohne akustische Einflüsse die Signalübertragung gemessen werden. Der Mikrofonverstärker wurde schließlich über ein weiteres BNC-Kabel mit dem jeweiligen Konstantstrom-Adapter verbunden. Der Ausgang des Adapters wurde über einen Mikrofoneingang der Soundkarte mit 48 V Phantomspeisung aufgenommen. Als Referenz für alle Messungen diente eine Durchgangsmessung. Hierfür wurde der Audioausgang der Soundkarte direkt mit dem verwendeten Mikrofoneingang verbunden. Um die Übertragungsfunktion der Messkette, und somit des Konstantstrom-Adapters zu messen, wurde ein exponentieller Sinus-Sweep von 20 Hz bis 20 kHz mit einer Dauer von 10 Sekunden verwendet bei einer Abtastfrequenz von 44.1 kHz. Der Sinus-Sweep hatte eine Amplitude von 35 mV rms. Würde die Empfindlichkeit des Messmikrofons 50 mV/Pa betragen, so würde das verwendete Signal einem Schalldruckpegel von 91 dB einer akustischen Messung entsprechen. Für die Messung des Grundrauschens wurde am Audioausgang kein Signal angelegt, sondern lediglich die Spannung am Mikrofoneingang gemessen. Die Auswertung erfolgte jeweils zur Referenzmessung, um das Grundrauschen der Messstrecke mit Soundkarte zu berücksichtigen.

Messergebnisse

Pegelabweichung und Phasenabweichung

Die Ergebnisse für die Pegelabweichung und die Phasenabweichung der einzelnen Adapter im Vergleich zu einer Durchgangsmessung ohne Adapter sind in Abbildung 2 dargestellt. Sie zeigen deutliche Unterschiede zwischen

verschiedenen Adaptern, die über die Validität einer Klasse 1 Messung entscheiden. Bei zwei Konstantstrom-Adapter (AVM MP48 & ROGA MP48) fiel der Frequenzgang bereits bei 100 Hz mit 6 dB pro Dekade ab, so dass diese nicht den Frequenzgang nach Klasse 1 [3] erfüllen. Bei diesen zwei Adaptern konnte auch eine höhere Phasenabweichung bei Frequenzen unterhalb von 500 Hz im Vergleich zu den übrigen getesteten IEPE-Speisemodulen festgestellt werden. Die Phase weicht hier mit bis zu 42° im Vergleich zur Durchgangsmessung ab. Ohne Berücksichtigung der konstanten Dämpfung des iSEMcon SA-P48 unterscheidet sich der Frequenzgang sowohl im Pegel als auch in der Phase kaum von dem des G.R.A.S. 12AL. Sowohl der Adapter von iSEMcon als auch das Speisemodul von G.R.A.S. weisen eine maximale Abweichung vom Pegel von unter 1 dB auf bei einer maximalen Phasenverschiebung um 11° an tiefen Frequenzen. Der NTi P48.3 zeigt die geringste Abweichung vom Pegel und von der Phase. Hier ist mit einer maximalen Pegelabweichung von 0.1 dB zu rechnen, die maximale Phasenabweichung für den NTi P48.3 beträgt 5.8° an 20 Hz.

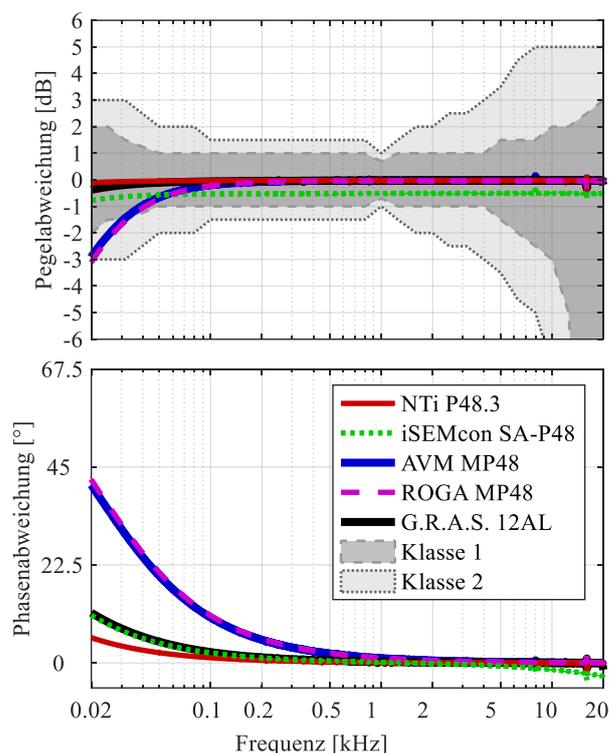


Abbildung 2: Pegelabweichung (obere Grafik) und Phasenabweichung (untere Grafik) der getesteten Konstantstrom-Adapter relativ zu einer Messung ohne Adapter. Die grau schraffierten Bereiche in der oberen Grafik zeigen die Pegeltoleranzen aus der DIN EN 61472-1:2014-07 [3] für eine Messgüte der Klassen 1 und 2.

Grundrauschen

Die Ergebnisse für die Pegeländerung des Grundrauschens im Vergleich zur Durchgangsmessung sind in Abbildung 3 dargestellt. Auch hier sind erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Adaptern zu erkennen. Wie bereits bei den Ergebnissen im vorherigen Abschnitt weisen der AVM MP48 und der ROGA MP48 eine deutlich höhere Pegeländerung des Grundrauschens auf. Bereits ab 2 kHz steigt es zu tiefen Frequenzen um bis zu 40 dB an. Die übrigen Adapter (iSEMcon SA-P48, G.R.A.S. 12AL & NTi P48.3) sind im

Einfluss auf das Grundrauschen ähnlich. Bei diesen Adaptern steigt das Grundrauschen ab 200 Hz zu tieferen Frequenzen an, bleibt jedoch größtenteils unterhalb von 20 dB. Der G.R.A.S. 12AL hat einen etwas stärkeren Einfluss auf das Grundrauschen bei Frequenzen unterhalb von 50 Hz. Hier steigt das Grundrauschen auf maximal 26 dB im Vergleich zur Durchgangsmessung.

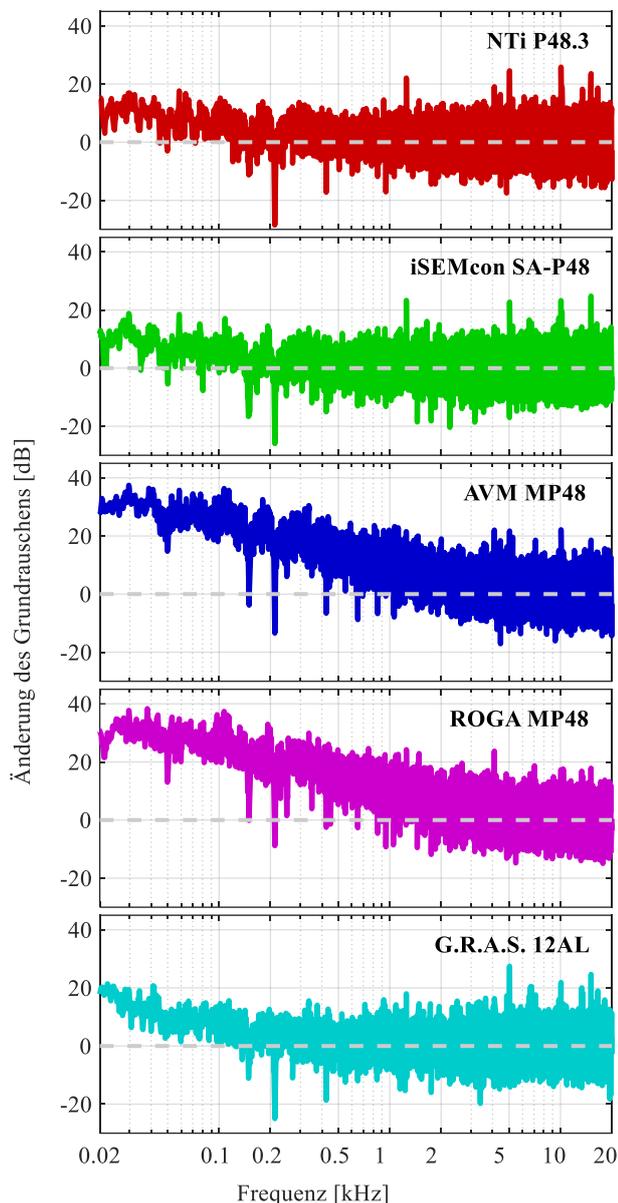


Abbildung 3: Pegeländerung des frequenzabhängigen Grundrauschens relativ zu einer Messung ohne angeschlossenen Konstantstrom-Adapter. Die einzelnen Graphen zeigen jeweils die Pegeländerung eines der fünf getesteten Konstantstrom-Adapter.

Schlussfolgerung

Die Messungen in dieser Arbeit zeigen, dass für rauscharme, normgerechte Messungen über Soundkarten mit 48 V Phantomspeisung auch auf die Auswahl des verwendeten Konstantstrom-Adapters geachtet werden muss. Für eine akkurate akustische Messung nach Klasse 1 in DIN EN 61672-1:2014-07 [2] eignen sich nach den vorliegenden Messergebnissen nur der NTi P48.3, mit separatem

Batteriebetrieb auch der G.R.A.S. 12AL. Wird mit dem angeschlossenen Adapter mit einem Kalibrator kalibriert, so dass eine konstante Pegelabweichung herausgerechnet wird, kann auch der Adapter iSEMcon SA-P48 verwendet werden. Es ist jedoch in jedem Fall ratsam, die verwendeten Adapter auf Grundrauschen und Frequenzgang zu überprüfen.

Literatur

- [1] Kuntz, M., Bischof, N.F. & Seeber, B.U.: Sound field synthesis for psychoacoustic research: In situ evaluation of auralized sound pressure level, *J. Acoust. Soc. Am.* 154 (2023), 1882-1895.
- [2] Hladek, L., Ewert, S. & Seeber, B.U.: Communication Conditions in Virtual Acoustic Scenes in an Underground Station, *Proc. of 2021 Immersive and 3D Audio: From Architecture to Automotive (I3DA)*, Bologna, Italy, IEEE, New York (2021).
- [3] DIN EN 61672-1:2014-07: „Elektroakustik - Schallpegelmessung - Teil1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013) Deutsche Fassung EN 61672-1:2013, Beuth-Verlag, Berlin, (2014)
- [4] Weber, M.: ICP®-Versorgungsgeräte M27 und M31, Bedienungsanleitung der Metra Mess- und Frequenztechnik Radebeul, (2002) (<https://mmf.de/wp-content/uploads/2023/08/m2731man.pdf>)
- [5] Microtech Gefell GmbH: Mikrofonglied Klasse 1 DIN EN 60651 MV210 mit MK250, (2017) (https://www.microtechgefell.de/datei/923/MM-210_Vk9ji.pdf)
- [6] NTi Audio GmbH: ICP Adapter ASD, (2022) (<https://www.nti-audio.com/Portals/0/data/de/NTi-Audio-ICP-Adapter-ASD-Produktdatenblatt.pdf>)