

Untersuchungen zur Eignung des Einsatzes von preiswerten Mikrofonen in Mikrosystemtechnik (MEMS) in hochkanaligen Mikrofonarrays

Patrick von Pflug¹

¹ *Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V., 12489 Berlin, E-Mail: pflug@gfai.de*

Einleitung

Vom 26. – 28. 10. 2015 wurden im reflexionsarmen Raum (RAR) der TU Berlin Amplituden- und Phasenfrequenzgangmessungen an preiswerten Mikrofonkapseln durch Vergleich mit einem G.R.A.S. 46AE Messmikrofon durchgeführt; unter den getesteten Mikrofonen waren auch 4 MEMS-Mikrofone.

MEMS-Mikrofone

MEMS-Mikrofone gehören zu den MEMS-Sensoren. Sie arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie andere Mikrofone und wandeln Schalldruck in elektrische Signale. Der Unterschied zwischen MEMS-Mikrofonen und traditionellen Mikrofonen besteht in der Kleinheit und dem Herstellungsprozess. Das Wandlungsprinzip ist häufig das des Elektret-Kondensatormikrofons. Der Schalldruck wird über eine extrem dünne, mikromechanisch hergestellte Membran aufgenommen und die Bewegung kapazitiv in ein elektrisches Signal gewandelt. Die MEMS-Mikrofone werden zusammen mit einer integrierten Schaltung auf einem Keramikplättchen montiert und mit einer Schirmung gegen elektromagnetische Beeinflussung umgeben.



Abbildung 1: MEMS-Mikrofon, Foto: Infineon

Verfügbare MEMS-Mikrofone

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen standen zahlreiche MEMS-Mikrofone zur Verfügung, von denen vier Typen für die Messungen ausgewählt wurden. Aktuell (2016/2017) stehen verbesserte Nachfolger zur Verfügung.

Beim getesteten INMP510 handelt es sich um ein analoges MEMS-Mikrofon (SNR: 65dBA, max.SPL: 124dB), mit dem ICS-40618 gibt es bereits eine bessere Alternative (SNR: 67dBA, max.SPL: 132dB).

Das, auch heute noch aktuelle, hier getestete INMP621 ist ein MEMS-Mikrofon mit pulsdichtemoduliertem (PDM) Digitalausgang (SNR: 65dBA, max.SPL: 133dB).

Auch das getestete MP34DT01 ist solch ein PDM MEMS-Mikrofon (SNR: 61dBA, max.SPL: 120dB), inzwischen gibt es mit dem MP34DT04 einen verbesserten Nachfolger (SNR: 64dBA, max.SPL: 120dB).

Die meisten verfügbaren digitalen MEMS-Mikrofone haben einen PDM Ausgang; es gibt sie von vielen Herstellern.

Soweit bekannt, gibt es nur wenige digitale MEMS-Mikrofone mit I2S Digitalausgang und auch nur von einem Hersteller.

Mit dem INMP441 wurde auch solch ein Mikrofon getestet (SNR: 61dBA, max.SPL: 120dB), das neue ICS-43434 ist eine bessere Alternative (SNR: 65dBA, max.SPL: 120dB).

Vorurteile zu MEMS-Mikrofonen

Häufig hört man:

- MEMS-Mikrofone sind digitale Mikrofone
- MEMS-Mikrofone sind bessere Mikrofone
- MEMS-Mikrofone kosten weniger

Dass es auch analoge MEMS-Mikrofone gibt, war schon im vorherigen Abschnitt zu lesen.

Viele MEMS-Mikrofone haben ähnliche Parameter, wie konventionelle Elektret-Kondensator-Mikrofon-Kapseln, vergleicht man aber ein sehr gutes analoges MEMS-Mikrofon, wie das ICS-40618 (SNR: 67dBA, max.SPL: 132dB) mit einer sehr guten Elektret-Kapsel, wie der EM173 (SNR: 80dBA, max.SPL: 135dB), sieht man, dass noch Raum für Verbesserungen ist.

Die Kosten für MEMS-Mikrofone und Elektret-Kapseln sind ungefähr gleich; sie liegen im einstelligen Euro-Bereich.

Untersuchungen im RAR der TU Berlin

Grundlegende Überlegungen zu Messung des Amplituden-Frequenzgangs

Für die Amplituden-Frequenzgangmessung wäre ein Lautsprecher mit linearem Frequenzgang ideal, leider gibt es den nicht, jedoch existieren sehr lineare Messmikrofone, die zum Vergleich herangezogen werden können.

Zur Abdeckung des Frequenzbereichs von 50Hz-20kHz wäre ein einzelner Lautsprecher nicht in der Lage gewesen, die Verwendung mehrerer Lautsprecher nacheinander am selben Ort erschien zu umständlich, ein konventioneller 2-Wege-Lautsprecher hätte kein homogenes Schallfeld erzeugt, die Entscheidung fiel auf einen 2-Wege-Koaxial-Lautsprecher, der für eine gute punktförmige Schallquelle gehalten wurde.

Da gleichzeitig mehrere MEMS-Mikrofone gleichen Typs

vermessen werden sollten, wurde für einen großen Abstand zwischen Mikrofonen und Lautsprecher plädiert, um distanzbasierte Pegelunterschiede vernachlässigen zu können. Zur Minimierung von Raumeinflüssen sollten alle Messungen im reflexionsarmen Raum stattfinden.

Lautsprecher

Ausgewählt wurde der aktive 2-Wege-Koaxial-Lautsprecher C8-COAX, den der Hersteller KSdigital als „analog entzerrte Punktschallquelle“ bewirbt.



Abbildung 2: 2-Wege-Koaxial-Studiomonitor C8-COAX, Foto: KSdigital

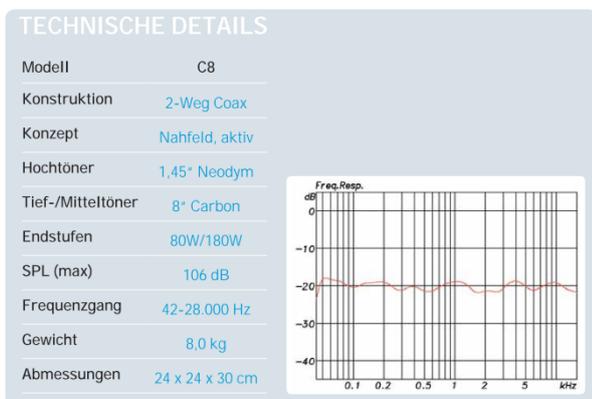


Abbildung 3: Technische Details C8, Quelle: KSdigital

Zur Ansteuerung genügt der vorhandene Frequenzgenerator Tektronix AFG3102.

Messmikrofon

Mit dem G.R.A.S. 46AE stand ein für die Frequenzgangmessungen von 50Hz-20kHz geeignetes Freifeld-Messmikrofon zur Verfügung. Der spezifizierte Frequenzgang ist von 20Hz-1kHz sehr linear, geht bei 12-13kHz auf +1dB herauf und bei 20kHz auf -1dB herunter.



Abbildung 4: Messmikrofon 46AE, Foto: G.R.A.S.

Grundlegende Überlegungen zu Messung des Phasen-Frequenzgangs

Der Phasen-Frequenzgang sollte relativ zum linearen Messmikrofon durch Vergleich der Zeitpunkte des ersten positiven Nulldurchgangs und Umrechnung in einen entsprechenden Phasenwinkel ermittelt werden. Da das Messmikrofon an einer anderen Messkarte als die MEMS-Mikrofone angeschlossen werden musste und die Lage der Membranen von Messmikrofon und MEMS-Mikrofonen nicht genau bekannt war, sollten die Zeitunterschiede (bestehend aus Laufzeiten zwischen Schallquelle und Mikrofonmembranen und elektrischer Verzögerung durch die Signalverarbeitung) mit einer punktförmigen Pulsschallquelle (Funkengenerator) bestimmt und bei der anschließenden Phasen-Frequenzgangmessung berücksichtigt werden.

Funkengenerator

Seit vielen Jahren steht eine selbstgebaute punktförmige Pulsschallquelle zur Verfügung. Der Funkengenerator besteht aus zwei Elektroden im Abstand von wenigen Millimetern, die von einem Generator mit einstellbarer Frequenz und einer KFZ-Zündspule (ähnlich einer Transistorzündung) angesteuert werden. Über der Zündspule und den Elektroden befindet sich ein geerdetes Stahlsieb als Berührungsschutz. Aufbaubedingt gibt es an der Oberseite des Generators Schallreflexionen, die aber beim gewählten großen Messabstand alle an der Decke des RAR absorbiert werden.



Abbildung 5: Funkengenerator und Lautsprecher auf Stativ, Foto: GFaI e.V.

Messzenario

Beim RAR der TU Berlin handelt es sich um einen sog. Vollraum, d. h. alle 6 Seiten absorbieren den Schall. Der Messabstand wurde mit 11 Metern sehr groß gewählt.

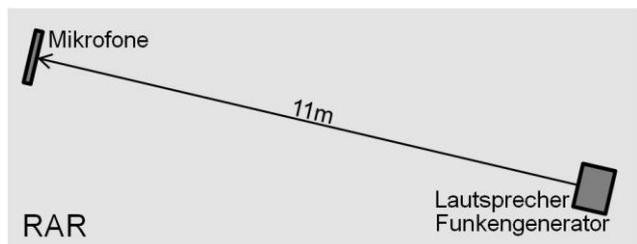


Abbildung 6: Messzenario

Messungen, Genauigkeiten und Probleme

Für die Messungen wurden das eigene Messsystem AC Pro und die Software NoiseImage4 verwendet, alle Messungen fanden bei einer Abtastfrequenz von 48kHz statt.

Aufgrund des sich durchbiegenden Stahl-Gehnetzes des RAR war die genaue Bestimmung des Messabstands mittels Laser-Distometer und die senkrechte Ausrichtung der Mikrofon-Ebene auf die Schallquelle schwierig.

Die Positionsgenauigkeit der Mikrofone wurde auf 10mm geschätzt, mit der Schallgeschwindigkeit ergibt sich daraus eine maximale Zeitabweichung von $29\mu\text{s}$ und eine Winkelabweichung zwischen $0,5^\circ$ bei 50Hz und 209° bei 20kHz. Bei 20kHz war die Bestimmung des positiven Nulldurchgangs nicht mehr eindeutig möglich. Die Phasenauflösung liegt zwischen $0,4^\circ$ bei 50Hz und 150° bei 20kHz.

Bei der Auswertung der Amplituden-Messungen zeigte sich, dass es schon ab 1kHz große Unterschiede zwischen den Mikrofonen gab – anscheinend war das Schallfeld des 2-Wege-Koaxial-Lautsprechers leider schon ab 1kHz viel weniger homogen, als erhofft; statt der zunächst favorisierten 1kHz-Bezugsfrequenz wurde dann 500Hz gewählt.

Ergebnisse

Aufgrund der Formatierkonventionen lassen sich die gemessenen Frequenzgänge hier nicht in ausreichender Größe darstellen; sie sind dennoch abgedruckt, da man zumindest den Verlauf recht gut erkennen kann.

Analog MEMS Mikrofon InvenSense INMP510

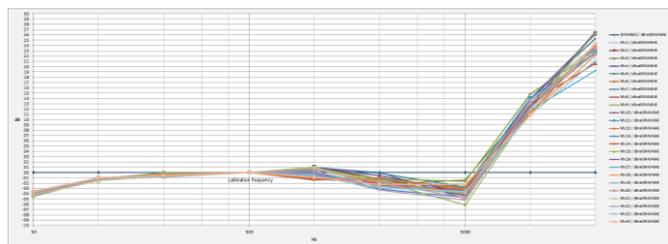


Abbildung 7: gem. Amplituden-Frequenzgänge INMP510

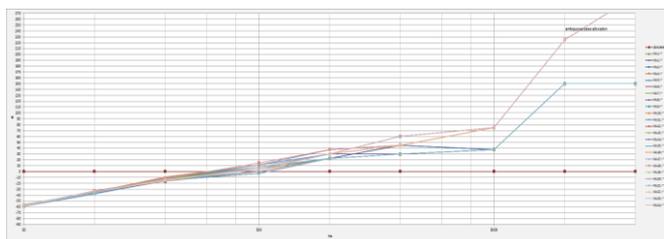


Abbildung 8: gemessene Phasen-Frequenzgänge INMP510

Digital PDM MEMS Mikrofon InvenSense INMP621

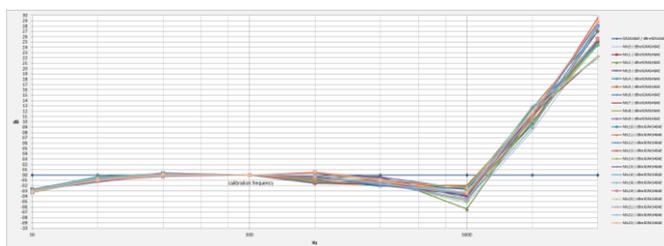


Abbildung 9: gem. Amplituden-Frequenzgänge INMP621

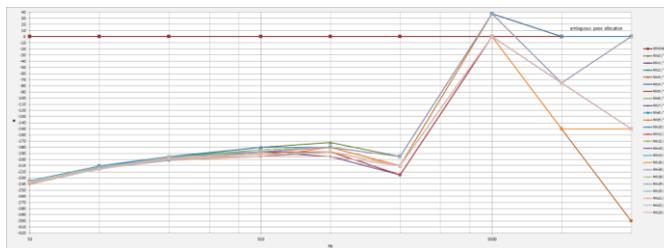


Abbildung 10: gem. Phasen-Frequenzgänge INMP621

Die Verschiebung um 180° resultiert aus einem invertierten Ausgangssignal.

Digital PDM MEMS Mikrofon STMicroelectronics MP34DT01

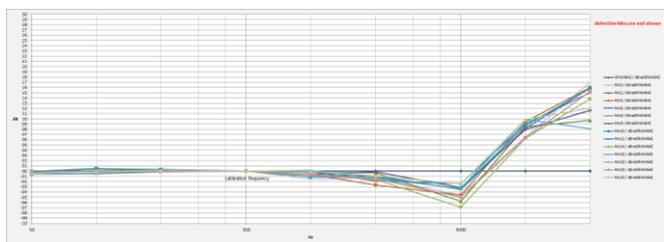


Abbildung 11: gem. Ampl.-Frequenzgänge MP34DT01

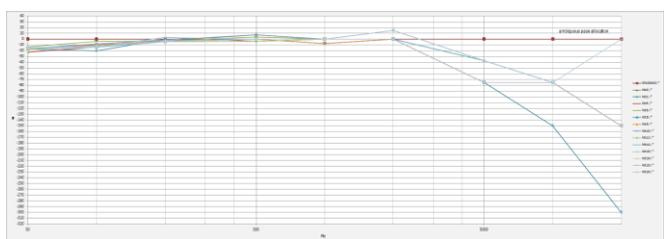


Abbildung 12: gem. Phasen-Frequenzgänge MP34DT01

Digital I2S MEMS Mikrofon InvenSense INMP441

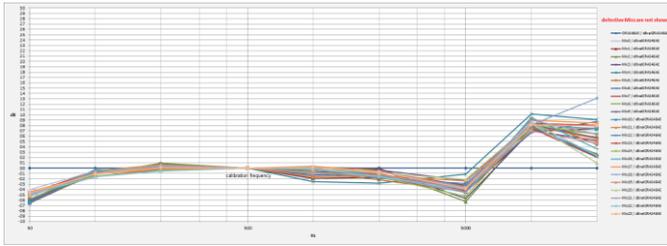


Abbildung 13: gem. Amplituden-Frequenzgänge INMP441

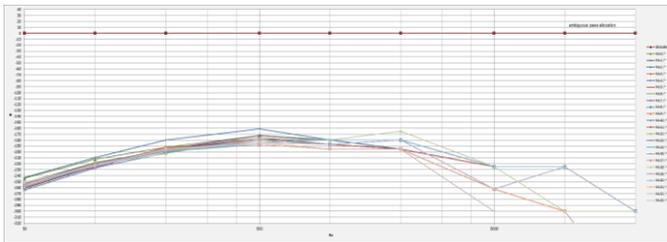


Abbildung 14: gem. Phasen-Frequenzgänge INMP441

Auch dieses Mikrofon hat ein invertiertes Ausgangssignal.

Fazit

Der 2-Wege-Koaxial-Lautsprecher C8-COAX ist für die Frequenzgangmessungen nur zwischen 50Hz und 500Hz geeignet. Die bei der Auswertung erkannten Amplitudenunterschiede (Sinus 1kHz und darüber) in 11 Metern Abstand resultieren möglicherweise aus Reflexionen zwischen Hochtöner und konusförmigem Tiefmitteltöner. Soweit aufgrund dieser Einschränkung beurteilbar, entsprechen die gemessenen Amplitudenfrequenzgänge im Großen und Ganzen denen aus den MEMS-Mikrofon-Datenblättern.

Bei, je nach Typ, gegebenenfalls notwendiger typbasierter Korrektur des Frequenzgangs sind die MEMS-Mikrofone für das „BeamForming“ in hochkanaligen Mikrofonarrays geeignet.

Für Schallintensitätsmessungen mit Mikrofonarrays eignen sich diese Mikrofone, wegen der Empfindlichkeit des Verfahrens, trotz relativ geringer Phasenabweichungen nur bedingt.

Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt mit den Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter der Projektnummer MF140061.

Literatur

- [1] Datenblatt INMP510, Document Number: DS-INMP510-00, Revision: 1.1, Rev Date: 05/21/2014, InvenSense Inc.
- [2] Datenblatt ICS-40618, Document Number: DS-000044, Revision: 1.0, Release Date: 03/21/2016, InvenSense Inc.

- [3] Datenblatt INMP621, Document Number: DS-INMP621-00, Revision: 1.1, Rev Date: 05/21/2014, InvenSense Inc.
- [4] Datenblatt MP34DT01, DocID022331 Rev 11, June 2013, www.st.com
- [5] Datenblatt MP34DT04, DocID027586 Rev 3, November 2016, www.st.com
- [6] Datenblatt INMP441, Document Number: DS-INMP441-00, Revision: 1.0, Rev Date: 02/06/2014, InvenSense Inc.
- [7] Datenblatt ICS-43434, Document Number: DS-000069, Revision: 1.2, Release Date: 08/29/2016, InvenSense Inc.
- [8] Datenblatt EM173, Date: Oct. 2009, PRIMO CO., LTD.
- [9] KSdigital Homepage, URL: <http://studio.ksdigital.de/de/>
- [10] G.R.A.S. Homepage, URL: <http://www.gras.dk/46ae.html>