

Erste Untersuchungen zur Etablierung neuer Referenzmikrofone

Maria Enge

SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH, 01189 Dresden, E-Mail: maria.enge@spektra-dresden.de

Einleitung

Die Mikrofonkalibrierung nach dem Reziprozitätsverfahren (DIN EN 61094-2) wird üblicherweise verwendet um den Übertragungsfaktor von Laboratoriums-Normalmikrofonen (DIN EN 61094-1) zu bestimmen. Bislang wurde die Methode fast ausschließlich zur Kalibrierung von Laboratoriums-Normalmikrofonen des Herstellers Brüel & Kjær angewendet. Demzufolge werden überwiegend Brüel & Kjær Normalmikrofone als Referenzmikrofone, das heißt zur Darstellung der Schalldruckeinheit, verwendet. Dieses Paper präsentiert Ergebnisse der Untersuchung von Laboratoriums-Normalmikrofonen des Typs G.R.A.S. 40AU-1, durchgeführt mittels eines neuentwickelten Reziprozitätskalibriersystems von SPEKTRA, sowie Vergleichsmessungen zwischen SPEKTRA und dem nationalen Metrologieinstitut der Schweiz METAS.

Theorie

Die Mikrofonkalibrierung nach dem Reziprozitätsverfahren (DIN EN 61094-2) wird verwendet, um den Übertragungsfaktor von Laboratoriums-Normalmikrofonen (DIN EN 61094-1) mit geringstmöglicher Messunsicherheit zu bestimmen. Grundlage der Kalibriermethode ist, dass Laboratoriums-Normalmikrofone reziproke Schallwandler sind. Reziproke Schallwandler können sowohl als Schallempfänger als auch als Schallsender eingesetzt werden. Bei der Reziprozitätsmethode werden zwei von drei Mikrofonen akustisch miteinander gekoppelt, wobei ein Mikrofon als Schallsender und ein Mikrofon als Schallempfänger fungiert. Die Kopplung erfolgt üblicherweise mit Hilfe eines Kupplers (eines kleinen zylindrischen Hohlraums). Zur Bestimmung der Übertragungsfaktoren wird die elektrische Transferimpedanz der akustisch verbundenen Mikrofone gemessen und die akustische Transferimpedanz des Schallfeldes zwischen den Mikrofonen bestmöglich approximiert. Die akustische Transferimpedanz wird durch mehrere Faktoren einschließlich der Mikrofonparameter beeinflusst. Für die weltweit-bekanntesten Laboratoriums-Normalmikrofone wurden die Mikrofonparameter durch einen sehr hohen Aufwand an messtechnischen Untersuchungen und eine ausreichende Zahl von Exemplaren ermittelt. Vergleichbare Untersuchungsergebnisse zu alternativen Laboratoriums-Normalmikrofonen wurden bisher nicht publiziert.

Laboratoriums-Normalmikrofone

Laboratoriums-Normalmikrofone müssen spezielle Anforderungen erfüllen. Diese sind in dem Standard DIN EN 61094-1 [2] beschrieben. Die Anforderungen betreffen sowohl geometrische Abmessungen als auch elektroakustische Eigenschaften. Die Eigenschaften schließen auch die Mikrofonparameter ein, wie die Vorraumtiefe, das

Vorraumvolumen und die akustische Impedanz der Mikrofone.

Die Mikrofonparameter sind spezifisch für jedes individuelle Mikrofon und unterliegen mit der Zeit einer gewissen Varianz. Aus diesem Grund, ist es notwendig, die Mikrofonparameter der Mikrofone bei jeder Kalibrierung zu ermitteln. In dem Standard [1] sind dazu verschiedene Verfahren gegeben. Ein etabliertes Verfahren basiert auf der Durchführung der Reziprozitätskalibrierung mit mehreren Kupplern unterschiedlicher Längen. Es wird der Umstand ausgenutzt, dass die Übertragungskoeffizienten unabhängig von der verwendeten Kupplerlänge sind. Die Mikrofonparameter werden ausgehend von nominellen Parametern so lange variiert, bis sich bei allen Kalibrierungen derselbe Übertragungsfaktor für ein Mikrofon ergibt. Der Iterationsprozess ist nicht standardisiert. Demnach wird ein Spielraum zur Bestimmung der Mikrofonparameter offen gelassen.

Untersuchung

Für die Untersuchungen standen drei Mikrofone des Typs G.R.A.S. 40AU-1 zur Verfügung. Das Mikrofon G.R.A.S. 40AU-1 stellt die Weiterentwicklung des Mikrofons G.R.A.S. 40AU dar.

Zunächst wurden die Mikrofone des Typs G.R.A.S. 40AU-1 von SPEKTRA untersucht. Anschließend wurden die Mikrofone von dem nationalen Metrologieinstitut der Schweiz METAS kalibriert. Nach dem Transport der Mikrofone wurden die Mikrofone erneut von SPEKTRA vermessen um die Stabilität der Mikrofone zu dokumentieren. Jedes Laboratorium bestimmte den Druck-Übertragungskoeffizient der Mikrofone im Frequenzbereich von 31,5 Hz bis 20 kHz nach dem aktuellen Standard [1].

Neben den Standardmikrofonkombinationen wurden weitere Mikrofonkombinationen zur Überprüfung der Reziprozität der Mikrofone gemessen. Dazu wurden die Rollen der Mikrofone getauscht. Das heißt das Mikrofon, das zunächst als Schallsender verwendet wurde, wurde daraufhin als Schallempfänger eingesetzt.

Weiterhin wurden verkürzte Wiederholungsmessungen zur Bestimmung des Kurzzeit-Stabilitätskoeffizienten der Mikrofone durchgeführt. Es wurden drei Messungen innerhalb von fünf Tagen in Abständen von etwa 24 Stunden durchgeführt.

Messequipment

SPEKTRA entwickelte ein eigenes Reziprozitätskalibriersystem nach dem aktuellen Standard [1]. In der Abbildung 1 ist eine schematische Übersicht des Kalibriersystems dargestellt.

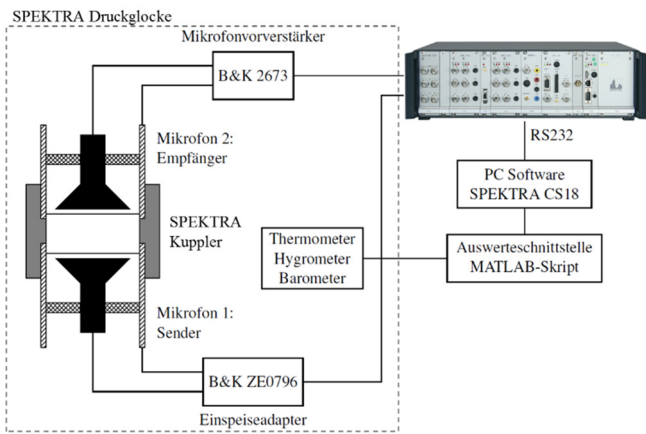


Abbildung 1: Blockschaltbild des Reziprozitätskalibriersystems von SPEKTRA

Zur Kalibrierung werden jeweils zwei Mikrofone nacheinander mit einem von drei Saphirkupplern akustisch verbunden. Die Positionen der Mikrofone und Kuppler werden durch eine Mikrofon-Kuppler-Halterung fixiert. Zur Verwendung des Mikrofons 1 als Schallsender wird ein Einspeiseadapter (Brüel & Kjær ZE0796) genutzt, zur Verwendung des Mikrofons 2 als Schallempfänger ein Mikrofonvorverstärker (Brüel & Kjær 2673). Die Mikrofon-Kuppler-Halterung sowie eine Messeinheit zur Erfassung der Umgebungsbedingungen befinden sich in einer Druckglocke. Die Signalerzeugung und Messwertaufnahme wird mit dem Schwingregelsystem SRS 35 von SPEKTRA realisiert. Die Ansteuerung des Systems erfolgt über die Software CS18 von SPEKTRA. Das MATLAB-Skript dient zur Auswertung der Messdaten, genauer zur Berechnung der Übertragungskoeffizienten der Mikrofone. Ein Vorteil des MATLAB Skriptes ist, dass die Berechnungsalgorithmen frei zugänglich sind.

Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt die Druck-Übertragungskoeffizienten des Mikrofons G.R.A.S. 40AU-1 285094 ermittelt durch SPEKTRA (vor und nach dem Transport des Mikrofons) und durch METAS.

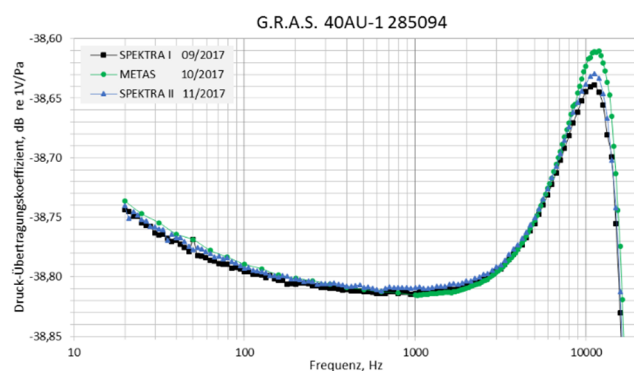


Abbildung 2: Druck-Übertragungskoeffizient ermittelt durch SPEKTRA (SPEKTRA I: vor dem Transport, SPEKTRA II: nach dem Transport) und METAS, beispielhaft für G.R.A.S. 40AU-1 285094

Über einen großen Frequenzbereich ist die Differenz der Druck-Übertragungskoeffizienten kleiner als 0,01 dB. Im ungünstigsten Fall beträgt die Differenz 0,12 dB bei 20 kHz.

Zur Beurteilung der Äquivalenz der Ergebnisse wurde der E_n -Wert wie folgt bestimmt,

$$E_n = \frac{M_{SPEKTRA} - M_{METAS}}{\sqrt{u_{SPEKTRA}^2 + u_{METAS}^2}} \quad (1)$$

dabei ist $M_{SPEKTRA}$ der Druck-Übertragungskoeffizient ermittelt durch SPEKTRA nach dem Transport, M_{METAS} der Druck-Übertragungskoeffizient ermittelt durch METAS, $u_{SPEKTRA}$ und u_{METAS} die von SPEKTRA und METAS angegebenen erweiterten Messunsicherheiten ($k = 2$) der Druck-Übertragungskoeffizienten. In Abbildung 3 ist der Betrag des E_n -Wertes dargestellt.

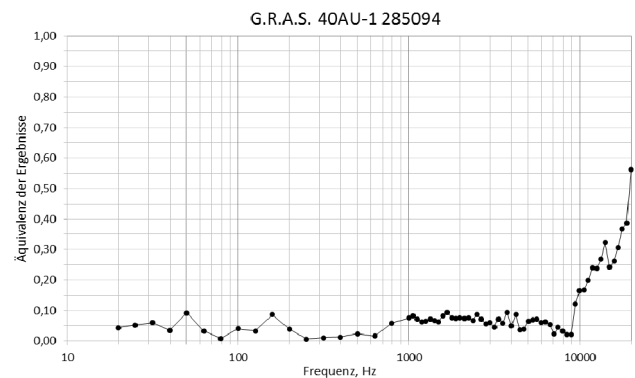


Abbildung 3: Äquivalenz der Ergebnisse ermittelt durch SPEKTRA und METAS, beispielhaft für G.R.A.S. 40AU-1 285094

Der E_n -Wert ist kleiner als 0,2 im Frequenzbereich von 20 Hz bis 10 kHz. Im schlechtesten Fall beträgt der E_n -Wert 0,56 bei 20 kHz. Ein E_n -Wert kleiner als 1,0 zeigt die Äquivalenz der Ergebnisse ermittelt durch SPEKTRA und METAS.

Die Wiederholungsmessungen ergaben einen deutlich geringeren Kurzzeit-Stabilitätskoeffizient als den geforderten von maximal 0,02 dB [2] im Frequenzbereich von 250 Hz bis 1 kHz (siehe Abbildung 4).

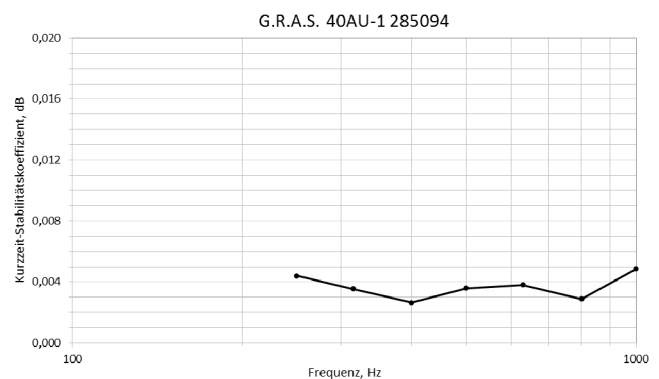


Abbildung 4: Kurzzeit-Stabilitätskoeffizient des Mikrofons G.R.A.S. 40AU-1 285094

In Abbildung 5 ist das Ergebnis der Reziprozitäts-Überprüfung der Mikrofone dargestellt. Die Differenz der Druck-Übertragungskoeffizienten vor und nach dem Rollentausch der Mikrofone ist maximal 0,01 dB.

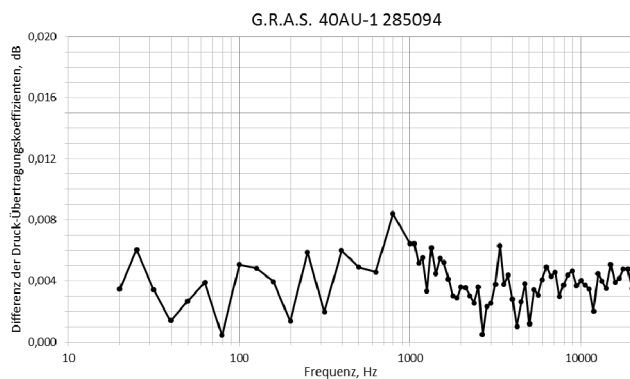


Abbildung 5: Differenz der Druck-Übertragungskoeffizienten des Mikrofons G.R.A.S. 40AU-1 285094

Ein weiteres Resultat der Untersuchungen sind die Mikrofonparameter des Mikrofontyps G.R.A.S. 40AU-1. Beispielfhaft sind die Mikrofonparameter des Mikrofons G.R.A.S. 40AU-1 285094 in der Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Mikrofonparameter des Typs Brüel & Kjær 4180 nach [3] und des Mikrofons G.R.A.S. 40AU-1 285094

	Brüel & Kjær 4180	G.R.A.S. 40AU-1
Vorraumvolumen	34 mm ³	35,30 mm ³
Vorraumtiefe	0,50 mm	0,49 mm
Äquivalenzvolumen	9,2 mm ³	9,2 mm ³
Resonanzfrequenz	22000 Hz	22868 Hz
Verlustfaktor	1,05	1,12

Ausgangspunkt für die Parameteranpassung zur Ermittlung der Mikrofonparameter des Typs G.R.A.S. 40AU-1 waren die nominellen Mikrofonparameter des Typs Brüel & Kjær 4180 [3]. Soweit aufgrund der ersten Untersuchungsergebnisse beurteilbar, können die nominellen Mikrofonparameter des Typs Brüel & Kjær 4180 [3] zur Ermittlung der exakten Mikrofonparameter des Typs G.R.A.S. 40AU-1 verwendet werden.

Fazit

Die Vergleichsmessungen zwischen SPEKTRA und METAS zeigten eine sehr gute Übereinstimmung der Messergebnisse. Folglich konnten die Mikrofone des Typs G.R.A.S. 40AU-1 erfolgreich nach der Reziprozitätsmethode kalibriert werden.

Im Rahmen weiterführender Untersuchungen ist eine Bestimmung der Temperatur- und Luftdruckkoeffizienten des Mikrofontyps G.R.A.S. 40AU-1, wie sie für die Mikrofontypen Brüel & Kjær 4180 und 4160 ermittelt worden sind [4], wünschenswert. Weiterhin soll die Anwendbarkeit des Standards IEC TS 61094-7 [5] zur Bestimmung der Freifeld-Übertragungsfaktoren basierend auf den Druck-Übertragungsfaktoren überprüft werden. Außerdem ist eine Überprüfung der Langzeitstabilität des Mikrofontyps G.R.A.S. 40AU-1 notwendig. Momentan sind aufwendige Vergleichsmessungen zwischen SPEKTRA und nationalen Metrologieinstituten zur Etablierung des neuen Laboratoriums-Normalmikrofons als Referenzmikrofon in Arbeit und geplant.

Danksagung

Besonderer Dank gebührt Herrn Dr. Christian Hof vom nationalen Metrologieinstitut der Schweiz METAS für die Vergleichsmessungen und wertvollen Diskussionen zur Etablierung neuer Referenzmikrofone.

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Literatur

- [1] DIN EN 61094-2:2009 Elektroakustik – Messmikrofone – Teil 2: Primärverfahren zur Druckkammer-Kalibrierung von Laboratoriums-Normalmikrofonen nach der Reziprozitätsmethode, 2009
- [2] DIN EN 61094-1:2000 Elektroakustik – Messmikrofone – Teil 1: Anforderungen an Laboratoriums-Normalmikrofone, 2000
- [3] Brüel & Kjær, Reciprocity Calibration System Type 9699, Technical Documentation, 1997
- [4] Rasmussen, K. The static pressure and temperature coefficients of laboratory standard microphones, Metrologia 36 pp 265-273, 1999
- [5] IEC TS 61094-7:2006 Measurement microphones – Part 7: Values for the difference between free-field and pressure sensitivity levels of laboratory standard microphones, 2006