

# Breitbandmessplatz zur Prüfung der Richtcharakteristik von Schallpegelmessern und Messmikrofonen

Christoph Kling, Michaela Schuster, Ingolf Bork

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, E-Mail: christoph.kling@ptb.de*

## Einleitung

In der Arbeitsgruppe 1.72 „Geräuschesmesstechnik“ der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) gehört die Richtcharakteristikprüfung von Schallpegelmessgeräten im Rahmen der Bauartzulassung ebenso wie die Sekundärkalibrierung von Messmikrofonen im Freifeld zu den Standardaufgaben. Beide Verfahren basieren auf der Anregung mit Sinustönen. Um die Frequenzabhängigkeit der jeweils gesuchten Größen darzustellen, sind zeitintensive Messungen notwendig, die je nachdem bis zu 24 Stunden dauern können. Bei solch langen Messzeiten treten typische Schwierigkeiten auf: Die Umgebungsbedingungen wie der statische Druck und die Raumtemperatur bleiben nicht stabil, oder Messgeräte und Prüfling laufen warm und verändern ihre Kennlinien. Das erhöht den Aufwand für solche Messungen unverhältnismäßig. Weiterhin wird dadurch die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse verschlechtert und die Messunsicherheit der Prüfergebnisse erhöht.

Daher wurden im Rahmen einer Diplomarbeit [1] die Messplätze zur Mikrofonkalibrierung und zur Richtcharakteristikmessung derart modifiziert, dass mit Breitbandsignalen anstatt mit Sinustönen gemessen werden kann. Die Zeitersparnis kommt unter anderem der Frequenzauflösung zugute. Obwohl einige zu treffende Näherungen zusätzliche Beiträge zur Messunsicherheit liefern, erhöht sich die Gesamtunsicherheit im Vergleich zum Sinusverfahren dabei nicht.

## Breitbandverfahren via Sinusverfahren

Grundlage des Breitbandverfahrens ist die Bestimmung der Übertragungsfunktion von einer Quelle zum Empfänger mithilfe eines 2-Kanal-Analysators und der Fouriertransformation (FFT) unter Verwendung eines breitbandigen Anregungssignals. Wenn die Bezugsquelle gleich bleibt und als Empfänger nur der Prüfling gegen eine Referenz ausgetauscht wird, ergibt sich aus dem logarithmierten Verhältnis der Übertragungsfunktionen eine Pegelkorrektur. Schlägt man diese Korrektur auf die als bekannt vorausgesetzten Referenzdaten, so erhält man die gesuchten Prüflingsdaten. Am Beispiel der beiden Messverfahren wird die Anwendung dieser bekannten Technik deutlicher.

Da der rechnerische Aufwand heutzutage kein Hindernis mehr darstellt, liefert das Breitbandverfahren mit einer Messung je nach Einstellung des FFT-Algorithmus Stützstellen bei mehreren hundert Frequenzen, während die Sinustechnik bei gleichem Aufwand nur den Wert bei einer Messfrequenz bietet. Der Einsatz von Sinussignalen ist nur in seltenen Fällen angebracht, um zum Beispiel besondere

Störabstände zu erreichen. Bei richtiger Wahl der Parameter, ist die Verwendung von Breitbandsignalen die bessere Methode. Im Rahmen der vorgestellten Untersuchungen wurde mit Sweep-Signalen angeregt, mit deren Hilfe sich Übertragungsfunktionen in geeigneter Qualität bestimmen lassen.

## Sekundärkalibrierung von Messmikrofonen

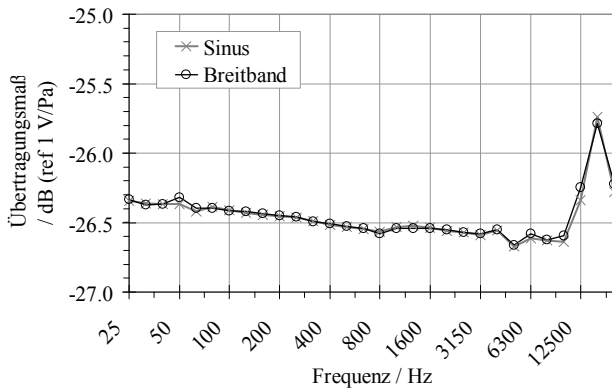
Bei der Sekundärkalibrierung von Messmikrofonen wird in einem Substitutionsverfahren eine zu prüfende Mikrofonkapsel auf eine Referenzkapsel mit bekanntem Übertragungsmaß zurückgeführt. Das gesuchte Übertragungsmaß ist definiert aus dem Verhältnis der Leerlaufspannung der Kapsel und dem an der Membran anliegenden Schalldruck. In vier Einzelschritten wird das gesuchte Verhältnis bestimmt. Da dabei die Ersatzspannungsmethode und ein spezieller Typ von Vorverstärker eingesetzt werden, können nur Sinussignale zur Anregung verwendet werden. Der relativ große Aufwand stellt sicher, dass Wechselwirkungen zwischen Mikrofonkapsel und Vorverstärker bei der Messung berücksichtigt werden. Folge des großen Aufwandes ist, dass die Messung in der Regel nur auf die notwendigsten Frequenzen, meistens die Terzmittenfrequenzen, beschränkt wird.

Die Erfahrung zeigt, dass bei heutigen Qualitätsmessmikrofonen und -vorverstärkern die Beeinflussung der Übertragungseigenschaften des Vorverstärkers so gering ist, dass die Ersatzspannungsmethode nicht zwangsläufig verwendet werden muss. Die Notwendigkeit der Verwendung von Sinussignalen entfällt somit.

Unter Verwendung von breitbandigen Anregungssignalen beschränkt sich die Prüfmessung auf das Einmessen des Schallfeldes mit einer Referenzkapsel und dem Vermessen der Prüfkapsel im bekannten Schallfeld. Aus dem Verhältnis der Übertragungsfunktionen von Anregungssignal zu Ausgangssignal der Referenz bzw. des Prüflings folgt eine Korrektur. Dieser wird auf das bekannte Übertragungsmaß der Referenz geschlagen und liefert somit das gesuchte Übertragungsmaß des Prüflings.

Der Zeitaufwand für eine Messung reduziert sich von etwa 1,5 Stunden auf wenige Minuten. Die Zahl der Stützstellen im Übertragungsspektrum erhöht sich von ca. 30 logarithmisch verteilten Frequenzen auf 800 linear verteilte Frequenzen. Die Gesamtmessunsicherheit liegt mit 0,2 dB bis 0,4 dB im gleichen Bereich wie im Sinusverfahren. Zwar ergeben sich zusätzliche Beiträge aus der Wechselwirkung der Kapsel mit dem Vorverstärker, diese können jedoch

aufgrund der kurzen Messzeit durch die verbesserte Reproduzierbarkeit der Messergebnisse ausgeglichen werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den direkten Vergleich der Prüfergebnisse des Übertragungsmaßes eines geprüften Messmikrofons aus dem Sinus- und aus dem Breitbandverfahren.



**Abbildung 1:** Beispielhaftes Übertragungsmaß eines Messmikrofons bestimmt aus dem Sinusverfahren und aus dem Breitbandverfahren.

Allerdings kann die gewonnene Anzahl an Stützstellen nur bedingt genutzt werden. Da der Prüfling auf die Referenz zurückgeführt wird, können streng genommen nur die Frequenzen angegeben werden, für die auch Referenzdaten aus der Primärkalibrierung der Referenzkapsel vorliegen. Zwar können die Referenzdaten zwischen den gegebenen Frequenzen interpoliert werden, dies führt jedoch zu neuen Beiträgen im Messunsicherheitsbudget.

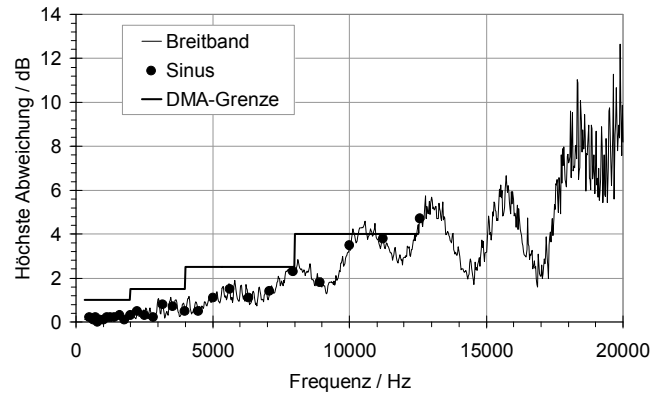
### Richtcharakteristikbestimmung von Schallpegelmessern

Die Richtcharakteristik eines Schallpegelmessers (SPM) wird im Rahmen der Bauartzulassung nach DIN EN 61672-2 durchgeführt. Dabei wird der Schallpegelmesser im Freifeld aus verschiedenen Winkeln beschallt und für jede Frequenz der Höchstwert des Differenzbetrags zwischen den Anzeigewerten des Schallpegels für zwei beliebige Schalleinfallswinkel innerhalb eines festgelegten Winkelbereichs bestimmt. Die so definierte Abweichung des SPM von der Kugelcharakteristik muss über der Frequenz aufgetragen festgelegten Grenzwerten genügen.

Als Referenz für das Breitbandverfahren dient für alle Messungen in den verschiedenen Schalleinfallrichtungen die Messung in Bezugsrichtung, also den Schalleinfall ‚von vorne‘. Ein Referenzgerät wie bei der Mikrofonkalibrierung wird nicht benötigt, da die Richtcharakteristik nur ein Relativverfahren ist. Die gefundenen Abweichungen in den verschiedenen Ausrichtungen gegenüber der Bezugsrichtung können in einem Polardiagramm aufgetragen werden.

Der Zeitaufwand kann hier durch den Einsatz des Breitbandverfahrens erheblich reduziert werden, von bis zu 24 Stunden auf etwa 20 Minuten für eine Messung in allen genormten Schalleinfallrichtungen. Einen ebenso großen Gewinn liefert die hohe Zahl an Stützstellen im Spektrum, denn nun können Kammfiltereffekte identifiziert werden, die

zur Ortung von Reflexionen herangezogen werden (siehe Abbildung 2). So können Reflexionen an Mängelstellen des Prüflings von verfälschenden Reflexionen an Stativen oder Ähnlichem unterschieden werden. Die Messunsicherheit reduziert sich hier sogar im Vergleich zum Sinusverfahren von etwa 0,3 dB bis 0,5 dB teilweise bis auf 0,1 dB, denn die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse kann durch die Messzeitverkürzung deutlich verbessert werden.



**Abbildung 2:** Abweichung eines Schallpegelmessers von der Kugelcharakteristik in einem Winkelbereich von  $\pm 30^\circ$  um die Bezugsrichtung mit überlagerter Reflexion.

### Zusammenfassung

Die Nutzung von Breitbandsignalen in den Messplätzen zur Sekundärkalibrierung von Messmikrofonen im Freifeld und zur Richtcharakteristikbestimmung von Schallpegelmessern führt zu einer starken Reduzierung der Messzeit. Dadurch sind höhere Frequenzauflösungen möglich, was der Qualität der Prüfungen zugute kommt. Trotz zusätzlicher Beiträge erhöht sich die Messunsicherheit im Vergleich zum Sinusverfahren nicht, was vor allem auf die stabilere Messumgebung zurückzuführen ist.

Das neue Verfahren wird nun an der PTB parallel zu den Sinusverfahren eingesetzt. Im Falle der Mikrofonkalibrierung kann es genutzt werden, um schnell Einflüsse zum Beispiel von Gerätereflexionen aufspüren zu können. Im Falle der Richtcharakteristikprüfung ist es sogar denkbar, das herkömmliche Sinusverfahren durch die Breitbandmessung zu ersetzen. Hierzu müssen jedoch zunächst noch weitere Vergleichsdaten gesammelt werden.

### Literatur

- [1] Schuster, Michaela: Entwicklung eines zeitoptimierten Messplatzes zur präzisen Bestimmung von Kalibrierdaten und Richtcharakteristiken von Messmikrofonen mit breitbandigen Prüfsignalen. Diplomarbeit, Technische Universität Ilmenau, 2008.