

EIN PATENT DER  
MÜLLER-BBM  
ACOUSTIC SOLUTIONS GMBH

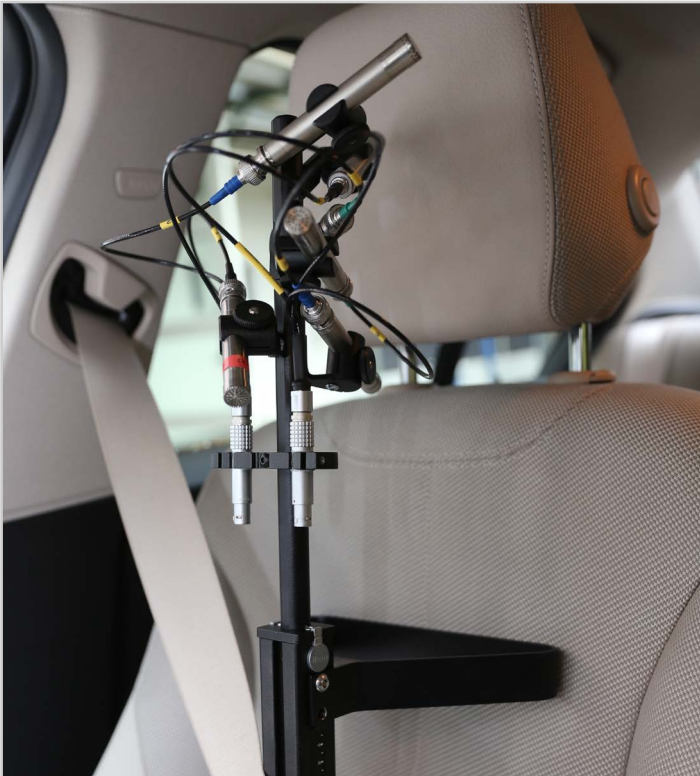
# m | multimic

DAS MIKROFONARRAY FÜR DIE RÄUMLICHE PEGELMITTELUNG AM FAHRERKOPF

OBJEKTIVE MESSERGEBNISSE

WIEDERHOLBARER AUFBAU

ZIELSICHERE AKUSTISCHE BEURTEILUNG



## multimic - HIGHLIGHTS

- Schnelle Sensorpositionierung
- Wiederholbarkeit im Aufbau
- Reproduzierbare und robuste Messergebnisse
- Signifikante Verkleinerung des Vertrauensbereichs für Frequenzen ab 500 Hz
- Optimales Verhältnis zwischen Mikrofonanzahl und erfasstem Raumbereich (Kopf)
- Zielsichere akustische Fahrzeugbeurteilung

## multimic - ANWENDUNGSFELDER

- Rollenprüfstände zur Erfassung von Roll- und Motorgeräuschen
- eMobilität – Komfortmessungen bei elektrischen Antrieben
- Engineering mechatronischer Komponenten, u. a. Lüftungsgeräusche, Betätigungsgeräusche
- Qualitätssicherung – End-of-Line-Testing
- Tunneldurchfahrten
- Erfassung akustischer Klangzeichen
- Laboraufbauten

## HERAUSFORDERUNG

Zur Messung des Schalldrucks im Bereich der Kopfpositionen von Fahrzeugen werden bislang einzelne Mikrofone, Mikrofonpaare, Kopfbügelmikrofone oder Kunstköpfe verwendet. Typische Anwendungen sind das Erfassen der Reifenroll- und Motorgeräusche, der Geräusche von mechatronischen Komponenten, Tunneldurchfahrten und akustischen Klangzeichen.

Die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse erweist sich hierbei oft als äußerst schwierig. Die gemessenen Schalldrücke hängen nicht nur von Fahrzeugzustand, Rollenposition, Fahrbahnzustand etc., sondern im mittel- und hochfrequenten Bereich auch von der genauen Sensorposition ab. Diese wird von der Sitzposition, der Stellung der Rückenlehne und der Befestigung der Mikrofone bestimmt. Bereits eine geringe Änderung der Sensorposition hat einen erheblichen Einfluss auf den gemessenen Schalldruck, was sich beispielsweise für ein Schmalbandspektrum mit 8 Hz in einer Standardabweichung von ca.  $\sigma = 5$  dB ausdrückt. Die Schalldruckschwankungen ergeben sich statistisch aus der Interferenz der Schallwellen an der Messposition.

Damit ist nicht nur die Reproduzierbarkeit, sondern vor allem die Aussagekraft von ein oder zwei zufällig gewählten Messpunkten problematisch. Die Lösung dieses Problems heißt räumliche Mittelung.

## LÖSUNG

Hierfür wurde ein spezielles Mikrofonarray entwickelt, das den speziellen Anforderungen im Fahrzeug gerecht wird und möglichst wenige, unabhängig voneinander wirkende Mikrofone optimal positioniert. Das Volumen, welches durch die einzelnen Mikrofone erfasst wird, entspricht in etwa dem Bereich der möglichen Ohrpositionen unterschiedlich großer Menschen und deren verschiedenen Kopfstellungen. Die erforderliche Anzahl der Mikrofone und deren Positionen wurden durch aus Fahrzeugmessungen bestimmten Korrelationsfunktionen im Kopfbereich optimiert, um die geringst mögliche Messwertstreuung zu gewährleisten.

Anhand der räumlichen Korrelationsfunktion im Fahrzeug kann die Anzahl unabhängiger Mikrofonpositionen berechnet werden. Messungen im Fahrzeug haben gezeigt, dass sich die räumlichen Korrelationsfunktionen bei unterschiedlichen Anregungen ausgehend vom Motor (siehe Abbildung 1), Reifen oder Fahrtwind kaum unterscheiden. Die Korrelationsfunktionen wurden ausgehend von der Kopfposition in verschiedene Raumrichtungen (zur Frontscheibe, zum Beifahrerplatz) bestimmt. Auch die gewählte Raumrichtung hat innerhalb des Kopfbereichs keinen signifikanten Einfluss. Es kann daher eine universelle Funktion „Näherung“ für die Optimierung der Mikrofonpositionen verwendet werden, deren Verlauf der Korrelationsfunktion im diffusen Schallfeld ähnelt.

## MESSAUFBAU/-ABLAUF

Das multimic-Mikrofonarray ermöglicht eine reproduzierbare Aufstellung durch eine integrierte Höhen- und Winkelskalierung. Die sechs Mikrofonhalterungen mit Klemm-Verschlüssen erlauben ein schnelles und einfaches Befestigen aller marktüblichen 1/2-Zoll-Messmikrofontypen, die über zwei Kabel an das Messfrontend angeschlossen werden. Hierfür ist das Messfrontend MKII oder MicroQ der Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH\* bestens geeignet. Die Messung erfolgt wie gewohnt, wobei sechs Mikrofonsignale erfasst werden. Anschließend wird eine energetische Mittelung der Schalldrücke durchgeführt.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass selbst bei größeren Änderungen der Position des Arrays kaum Abweichungen im Pegelmittelwert auftreten. Der Vertrauensbereich (95 %) des Schalldruckpegels im Bereich des Kopfes wird durch das Messen mit dem multimic im Vergleich zu einer herkömmlichen Anordnung mit zwei Mikrofonen oder einem Kunstkopf deutlich verringert (Abbildung 2). Insbesondere im Frequenzbereich über 500 Hz, der durch die Verwendung von Elektroantrieben (Abbildung 3) zunehmend an Bedeutung gewinnt, kann der Vertrauensbereich erheblich verkleinert werden. Eine zielsichere akustische Beurteilung von Fahrzeugen lässt sich ohne große zusätzliche Aufwände sicherstellen. Abbildung 4 zeigt den Vertrauensbereich des Schalldruckpegels, der aus einer Zug-/Schub-Analyse bei einem Elektrofahrzeug ermittelt wurde. Der Schalldruckpegel wurde mit dem multimic-Mikrofonarray an sechs Mikrofonpositionen ermittelt. Die hergeleiteten Prognosen in Abbildung 2 stimmen gut mit den experimentellen Ergebnissen in Abbildung 4 überein.

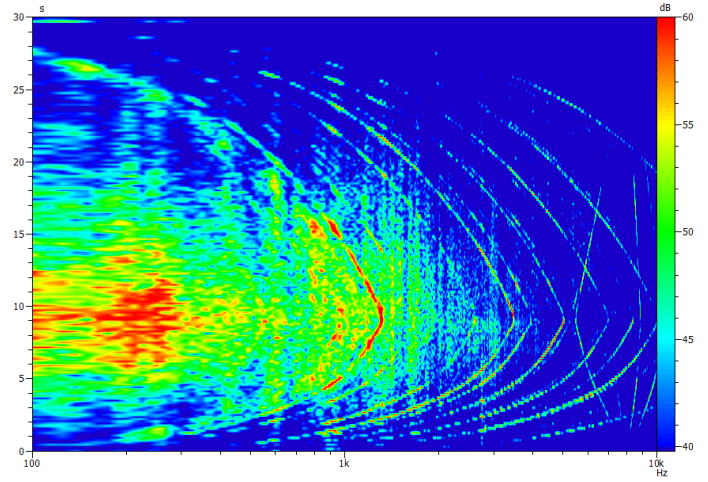


Abbildung 3  
APS des Schalldrucks an einem Fahrerohr in einem Fahrzeug mit Elektroantrieb.

### 8 Hz Schmalband

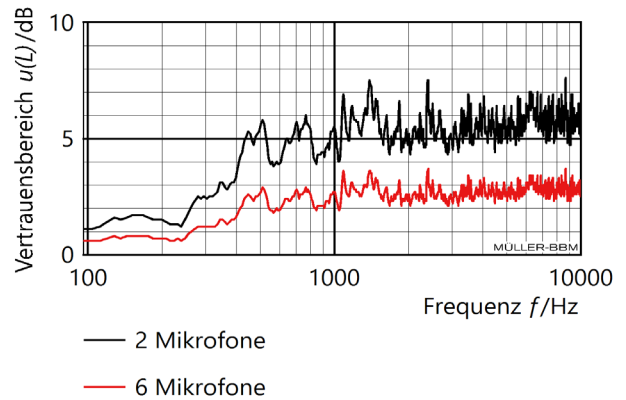


Abbildung 4  
Experimentell mit dem multimic-Mikrofonarray ermittelter Vertrauensbereich des Schalldruckpegels aus einer Zug-/Schubanalyse im Elektrofahrzeug.

### Anregung mit 2 Lautsprechern im Motorraum

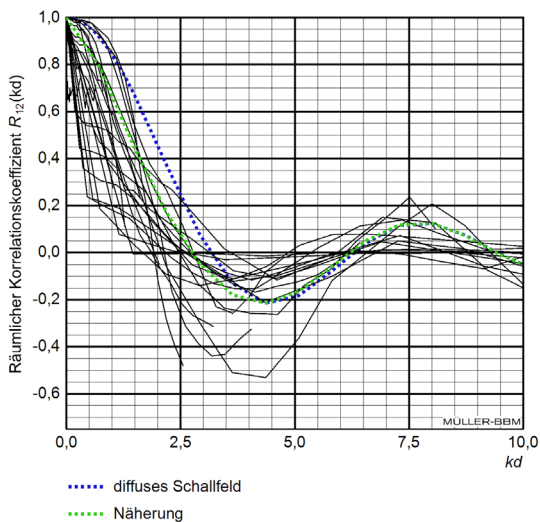


Abbildung 1  
Räumliche Korrelationsfunktion des Schalldrucks von 50 Hz bis 6300 Hz über dem Produkt aus Wellenzahl  $k$  und Abstand zwischen zwei Mikrofonpositionen  $d$  im Kopfbereich des Fahrersitzes.

### 8 Hz Schmalband

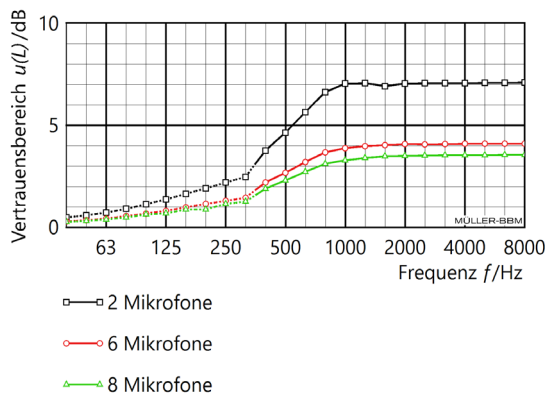


Abbildung 2  
Vertrauensbereich des Schalldruckpegels mit dem multimic-Mikrofonarray mit sechs und acht Mikrofonen im Vergleich zu zwei Mikrofonen mit Ohrabstand bei Rauschen mit 8 Hz Linienbreite.



Abbildung 5  
Einstellbarkeit von Winkel und Höhe des Mikrofonarrays.

## Kontaktinformationen

Müller-BBM Acoustic Solutions GmbH  
Robert-Koch-Straße 11, 82152 Planegg, Deutschland  
Tel. +49-89-85602-3205  
E-Mail: [info@mbbm-aso.de](mailto:info@mbbm-aso.de)  
[www.mbbm-aso.de](http://www.mbbm-aso.de)

\* Die Müller-BBM VibroAkustik Systeme ist einer der führenden Anbieter für vibroakustische Messtechnik  
[www.muellerbbm-vas.de](http://www.muellerbbm-vas.de) | [info.de@MuellerBBM-vas.de](mailto:info.de@MuellerBBM-vas.de) | +49 89 85602-400