

## Bestimmung der Einfügungsdämpfung an verkürzten Lärmschutzwänden

Christian Schulze<sup>1</sup>, Jörn Hübelt<sup>1</sup>, Markus Auerbach<sup>2</sup>, Wolfram Bartolomaeus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, 01099 Dresden, Deutschland,  
Email: christian.schulze@akustikforschung.de*

<sup>2</sup> *Bundesanstalt für Straßenwesen, 51401 Bergisch Gladbach, Deutschland, Email: m.auerbach@bast.de*

### Einleitung

Ziel eines Forschungsvorhabens [1] war die Entwicklung und Erprobung eines neuartigen kostengünstigen Messverfahrens zur In-situ-Bestimmung der spektralen Einfügungsdämpfung ( $D_e$ ) einer Lärmschutzwand (Lsw). Das bisher eingesetzte Einzelmikrofon (EM)-Verfahren erfordert eine semi-infinite Lsw (ca. 200 m Länge). Damit sind erhebliche Kosten sowie gegebenenfalls Beeinträchtigungen des laufenden Verkehrs verbunden. Die Messung mit einem Mikrofonarray (MA)-Messsystem soll die Ermittlung von  $D_e$  an einer stark verkürzten Wand ermöglichen (ca. 20 m Länge). Durch die erhebliche Verringerung der notwendigen Mindestlänge der zu untersuchenden Testwand können die Baukosten um ein Vielfaches gesenkt werden (Diesem Paper liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE-Nr. 02.272/2006/LRB durchgeführten Forschungsarbeit zugrunde. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.).

### Bestimmung der Einfügungsdämpfung von Schallschirmen

Beim EM-Verfahren wird in einem Abstand von 25 m zur Mitte des ersten Fahrstreifens und einer Höhe von 4 m über Fahrbahnniveau mit Hilfe eines einzelnen Mikrofons der mittlere Schallimmissionspegel bestimmt, der sich bei kontrollierter Vorbeifahrt eines PKW über den horizontalen Schalleinfallswinkel von  $+60^\circ$  bis  $-60^\circ$  hinter der Lsw ergibt. Wird eine analoge Schallimmissionsmessung vor Errichtung der Lsw durchgeführt, erhält man die  $D_e$  der Lsw aus der Differenz der bestimmten Immissionspegel. Dieses Verfahren erfordert eine Lsw mit einer Länge von ca. 200 m, da aufgrund der kugelförmigen Richtcharakteristik des EM störende Schallfeldanteile abgeschirmt werden müssen.

Innerhalb des neu entwickelten MA-Messverfahrens soll dieser Nachteil des EM vermieden werden, indem ein MA mit steuerbarer Richtcharakteristik durch Anwendung des Beamforming-Algorithmus eingesetzt wird. Durch Fokussierung des MA auf die zu untersuchende Schallquelle (PKW) können Störquellen ausgeblendet werden. Die Richtcharakteristik des eingesetzten MA wurde im Hinblick auf die In-situ-Bestimmung der spektralen  $D_e$  einer Lsw im Frequenzbereich von 315 Hz bis 3150 Hz optimiert. Die Frequenzbandgrenzen resultieren dabei aus dem energetischen Schwerpunkt des Standardisierten Verkehrslärmspektrums. Für die Untersuchungen wurde ein Linienarray ausgewählt, da für die Ermittlung der vom horizontalen Schalleinfallswinkel abhängigen  $D_e$  ausschließlich die Quelllokalisierung in horizontaler Richtung notwendig ist. Gegenüber einem zwei-

dimensionalen MA erhöhen sich dadurch bei gleicher Mikrofonanzahl die örtliche Auflösung und die Nebenkeulenunterdrückung (SNR). Die Anforderungen an die Richtcharakteristik des MA ergaben sich dabei aus Ergebnissen von Schallausbreitungsberechnungen nach dem in [2] vorgestellten Verfahren. Dieses Verfahren beruht auf der Ermittlung der Differenz der Einzeldämpfungen, die bei Vorhandensein einer Lsw und bei freier Schallausbreitung zwischen Quelle und Empfänger auftreten. Die Berechnungsergebnisse zeigten, dass die maximale  $D_e$  der Lsw mit zunehmender Höhe steigt. Unabhängig von der Höhe der Lsw tritt das Maximum von  $D_e$  unter einem horizontalen Schalleinfallswinkel von  $0^\circ$  auf. (vgl. Abbildung 2).

Die höchste Anforderung an die Richtcharakteristik des MA ergibt sich für den Einsatz des Messverfahrens in gestörter Umgebung. Dabei ist es notwendig, durch einen entsprechend hohen minimalen SNR des MA, sowohl den am Wandende auftretenden Dämpfungssprung  $\Delta D_{\max}$  als auch die Wirkung einer seitlich der Lsw auftretenden Störquelle zu unterdrücken. Die notwendige Mindestlänge der Lsw resultiert aus der Breite der Richtkeule der Richtcharakteristik des MA, wenn dieses auf den Wert von  $\text{SNR}_{\min}$  abgefallen ist (vgl. Tabelle 1). Der Einsatz eines mittels numerischer Synthese optimierten 32-elementigen Linienarrays der Länge von 2,6 m garantiert einen SNR von 18,8 dB. Die In-situ-Bestimmung der  $D_e$  einer Lsw in gestörter akustischer Umgebung ist damit nicht gesichert. Durch Anwendung einer Hamming-Mikrofonwichtung auf eine äquidistante Mikrofonanordnung kann der SNR auf 44,3 dB erhöht werden. Dies ermöglicht die In-situ-Bestimmung der  $D_e$  einer Lsw bis zu einer Höhe von 9 m im fließenden Verkehr.

### Messtechnische Untersuchungen

Unter Einsatz des optimierten MA wurden messtechnische Untersuchungen zur Bestimmung der spektralen winkelabhängigen  $D_e$  einer 3 m hohen und ca. 160 m langen Referenz-Lsw im Raum Sachsen durchgeführt. Dabei wurden zeitgleich das EM- und das neu entwickelte MA-Verfahren angewendet. Die Messungen erfolgten zum einen mit Hilfe einer stationären Punktschallquelle (rosa Rauschen), zum anderen bei kontrollierter Vorbeifahrt eines PKW mit konstanter Geschwindigkeit von 80 km/h. Die näherungsweise Bestimmung des Schallimmissionspegels für freie Schallausbreitung erfolgte mittels Referenzmikrofon auf der dem MA gegenüberliegenden Seite der Lsw (vgl. Abbildung 1). Der Schwerpunkt der Auswertung lag auf der Analyse der Unterschiede der Messergebnisse beider Verfahren in Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel und der Frequenz. Die messtechnischen Untersuchungen mit Punktschallquelle ergaben eine nahezu winkelunabhängige Differenz von

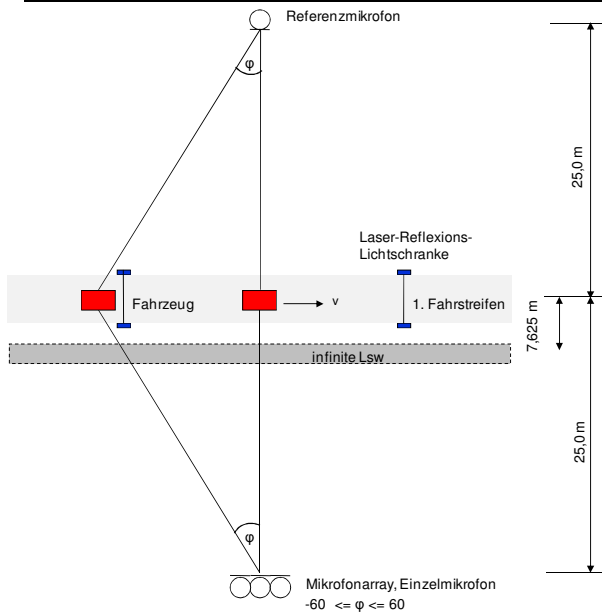
ca. 1,1 dB zwischen EM- und MA-Verfahren (vgl. Abbildung 3). Der Schallimmissionspegel wurde mit MA stets niedriger und damit  $D_e$  höher bestimmt als mit EM. Bei Betrachtung der Terzbandspektren ließen sich jedoch frequenzabhängige Unterschiede erkennen. Mit steigender Frequenz nimmt die Differenz des Immissionspegels zwischen EM- und MA-Verfahren zu. Daraus lässt sich vermuten, dass die Ursache der Dämpfungsunterschiede Störgeräusche sind, die mit steigender Frequenz zunehmen und durch die Anwendung des MA-Messsystems entfernt werden. Die Ergebnisse bei kontrollierter Vorbeifahrt weisen dagegen Unterschiede von durchschnittlich 2,9 dB auf (vgl. Abbildung 4).

### Zusammenfassung

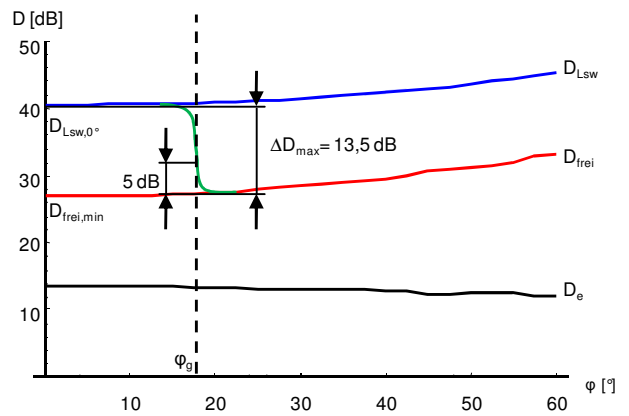
Zur Anpassung der Ergebnisse des EM-Verfahrens bei Beobachtung des Fahrzeugs über einen Winkel von  $\varphi = \pm 60^\circ$  an die mittels MA unter  $0^\circ$  bestimmten Dämpfungswerte der Lsw wurde innerhalb der Untersuchungen für die betrachtete Quell-Empfänger-Geometrie ein Korrekturterm ermittelt. Für eine geometrieunabhängige Korrektur sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Es zeigte sich, dass das MA-Verfahren mit Punktschallquelle praktisch einsetzbar ist, wobei für den Einsatz in gestörter Umgebung entgegen 20 m eine Mindestlänge der Lsw von ca. 37 m notwendig ist. Die Ursache der erhöhten Dämpfungsunterschiede bei kontrollierter Vorbeifahrt ist noch ungeklärt.

**Tabelle 1:** max. Dämpfungsdifferenz  $\Delta D_{\max}$ ,  $SNR_{\min}$  des MA und Mindestlänge  $L_{\min}$  der Lsw in Abhängigkeit von der Höhe  $h_{Lsw}$  der Lsw für Anwendung des MA-Verfahrens mit Punktschallquelle unter  $\varphi = 0^\circ$  in gestörter Umgebung

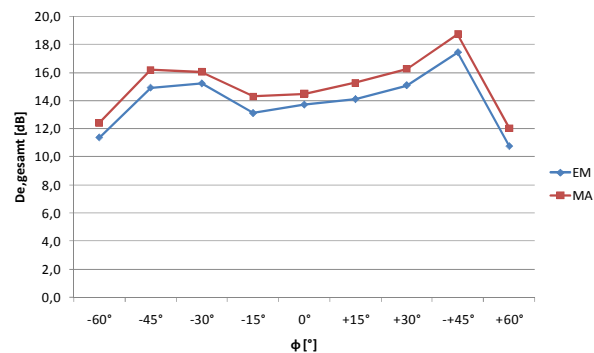
$h_{Lsw}$ [m]	$\Delta D_{\max}$ [dB]	$SNR_{\min}$ [dB]	$L_{\min}$ [m]
3,0	13,5	25,5	37,1
5,0	18,5	30,5	44,4
7,0	21,5	33,5	49,7
9,0	24,5	36,5	56,3



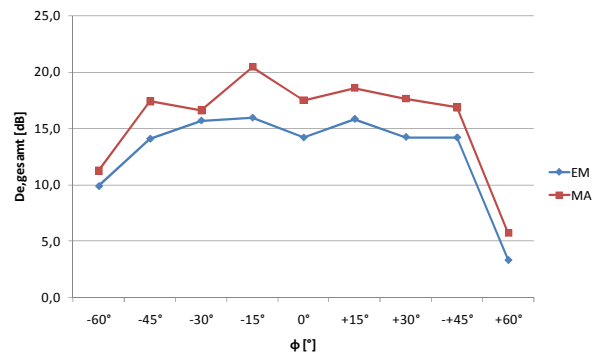
**Abbildung 1:** Prinzipieller Messaufbau zur In-situ-Bestimmung der spektralen  $D_e$  der Lsw bei kontrollierter Vorbeifahrt des PKW in Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel durch zeitgleiche Anwendung von EM- und MA-Verfahren



**Abbildung 2:** Einfügdämpfung  $D_e$  für schallharte Lsw der Höhe 3 m in Abhängigkeit vom horizontalen Schalleinfallswinkel  $\varphi$  im Vergleich zur Dämpfung mit ( $D_{Lsw}$ ) und ohne ( $D_{frei}$ ) Lsw, Frequenzbereich 100 Hz - 5 kHz



**Abbildung 3:**  $D_e$  der Referenz-Lsw bestimmt mit EM- und MA-Verfahren in Abhängigkeit vom horizontalen Schalleinfallswinkel bei Einsatz der Punktschallquelle, Gesamtpegel 315 Hz - 3150 Hz



**Abbildung 4:**  $D_e$  der Referenz-Lsw bestimmt mit EM- und MA-Verfahren in Abhängigkeit vom horizontalen Schalleinfallswinkel bei kontrollierter Vorbeifahrt des PKW, Gesamtpegel 315 Hz - 3150 Hz

### Literatur

- [1] Schulze, C, Hübel, J.: Bestimmung der Einfügdämpfung an verkürzten Lärmschutzwänden, Forschungsvorhaben FE 02.272/2006/LRB, Abschlussbericht, 2008
- [2] Hübel, J., Schulze, C.: Reflexion von Schall an seitlichen Hindernissen. Forschungsprojekt FE 02.264/2005/LRB, Abschlussbericht, 2007