Eine mobile Referenzschallquelle zum Einsatz im öffentlichen Straßenverkehr

Holger Marschner[1], Alexander Pfaff[2], Jochen Krimm[3]

[1] *Frankfurt University of Applied Sciences, 60318 Frankfurt am Main, marschner@fb2.fra-uas.de*
[2] *HoloMetrix GmbH, 64390 Erzhausen, a.pfaff@holo-metrix.com*
[3] *Frankfurt University of Applied Sciences, 60318 Frankfurt am Main, Jochen.Krimm@fb1.fra-uas.de*

Abstract

Der Straßenverkehr ist laut aktueller Statistik des Umweltbundesamtes die Lärmquelle, von der die höchste Belastung für die Bevölkerung in Deutschland ausgeht. Mittlerweile hat der Verkehrslärm ein Ausmaß angenommen, das immer häufiger zu Beschwerden und Rechtsstreitigkeiten führt. Zur Ermittlung der Notwendigkeit von Schallschutzmaßnahmen dient die im März 2021 verabschiedete Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen, RLS-19 [4]. Die Berechnungsvorschriften der RLS-19 sind bei der Auslegung von Lärmschutzmaßnahmen anzuwenden. Vor-Ort-Messungen sind nicht vorgesehen. Dabei bildet die RLS-19 einige akustische Einflussparameter nur unzureichend ab, was dazu führt, dass nicht alle Belastungsszenarien für die Anwohner stark befahrener Straßen erfasst werden. An der Frankfurt University of Applied Sciences werden seit Jahren sowohl die akustischen Emissionen von Kraftfahrzeugen, als auch die Übertragungswege von Luft- oder Körperschall zum Menschen hin untersucht. In diesem Beitrag wird eine mobile Referenzschallquelle vorgestellt, die auf der Anhängerkupplung von PKW montiert werden kann und ohne Einschränkungen für den Einsatz im öffentlichen Verkehr geeignet ist. Mit ihrer Hilfe lassen sich Schallfelder durch bewegte Fahrzeuge im Kontext der Bebauung erzeugen und bemessen. Damit werden u. a. grundlegende Erkenntnisse über das Ausbreitungsverhalten von Luftschall vor Lärmschutzwänden gewonnen, die Beiträge für detailliertere Berechnungsvorschriften liefern.

Problemstellung

Um die akustischen Auswirkungen unterschiedlicher Autobahn-Randbebauung auf die Lärmimmissionen in angrenzenden Wohngebieten experimentell zu ermitteln, wird nach einer Möglichkeit gesucht, eine definierte Schallquelle auf verschiedenen zu untersuchenden Streckenabschnitten zu positionieren. Eine stationäre Platzierung scheidet aus, da die Autobahn dazu gesperrt werden müsste. Daher wird ein Ansatz verfolgt, die Referenzschallquelle mit einem PKW über die Fahrbahn zu bewegen. Sie soll ein Spektrum erzeugen und eine Abstrahlcharakteristik aufweisen, das einem Mittelklasse-PKW entspricht. Ein konkreter Anwendungsfall ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Fahrbahnen des entgegenkommenden Verkehrs sind durch zwei Betongleitschutzwände sowie eine Lärmschutzwand begrenzt. Die rechten zwei Fahrbahnen verfügen hingegen nur über eine Betongleitschutzwand in der Mitte. Es ist leicht nachvollziehbar, dass akustische Reflektionen an diesen schallharten Begrenzungen das Übertragungsverhalten der Fahrgeräusche durch Reflektionen beeinflussen. Diese Beeinflussung gilt es, quantitativ zu ermitteln. Insbesondere die blau skizzierten Schallpfade des indirekten Schalls sind von Interesse. Dazu ist es bei Verwendung einer künstlichen Schallquelle notwendig, dass diese möglichst bodennah installiert wird und nicht nur das Spektrum der Reifen-Fahrbahn-Geräusche wiedergibt, sondern auch den Abstrahlort mit allen relevanten Beugungs- und Reflektionseigenschaften möglichst genau abbildet.

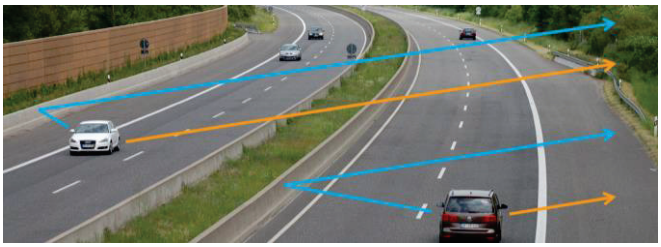

Abbildung 1: Schallpfade des abgestrahlten direkten (orange) und indirekten Schalls (blau) auf Autobahnen

Lösung

Nach der Analyse und Bewertung einiger Konzeptvorschläge fällt die Wahl auf einen Dodekaeder-Lautsprecher, der in einem speziellen Schutzgehäuse mit Richtcharakteristik auf der Anhängerkupplung eines PKW montiert wird. Abbildung 2 zeigt den Aufbau der mobilen Schallquelle, die alle genannten Anforderungen erfüllt und problemlos im Straßenverkehr einsetzbar ist.

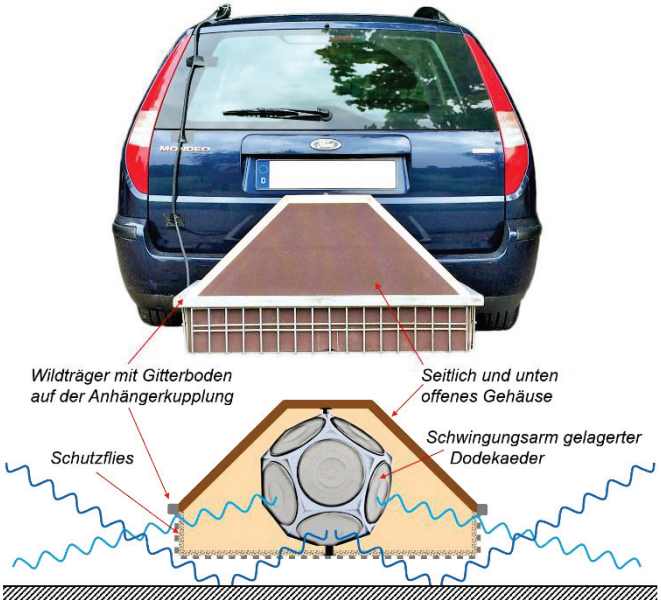

Abbildung 2: Mobile Schallquelle auf der Anhängerkupplung eines PKW und in Schnittansicht

In Abbildung 3 sieht man die mobile Referenzschallquelle auf dem Trägerfahrzeug im Einsatz im realen Verkehr.

Abbildung 3: Trägerfahrzeug mit angebauter mobiler Referenzschallquelle im Einsatz im realen Verkehr

Zur Durchführung der Messungen wird der Dodekaeder-Lautsprecher aus dem Fahrzeuginneren von einem mobilen Klasse 1 Leistungsverstärker mit einem an die Messaufgabe angepassten Signal gespeist. Über die Einspielung gefilterter Rauschsignale können bei entsprechender Pegelanpassung verschiedene Kraftfahrzeugtypen und Antriebsarten simuliert werden. Die zweifelsfreie Identifikation des abgestrahlten Schalls der Referenzschallquelle in den Messdaten, einem Mischsignal aus abgestrahltem Schall vom Trägerfahrzeug, der mobilen Referenzschallquelle und anderen Verkehrsteilnehmern, wird durch mehrere Maßnahmen erreicht. Zum einen werden bandbegrenzte Rauschsignale eines charakteristischen Spektrums eingespielt, die ggf. zeitlich moduliert oder gepulst werden können, zum anderen ist die zur Verfügung stehende Schallleistung ausreichend hoch, um immer einen mindestnotwendigen Signal-Rausch-abstand sicherstellen zu können.

Messung und Einstellung der relevanten Schallfeld- und Schallenergiegrößen

Zur Homologation von Kraftfahrzeugen sind genormte Messungen nach DIN ISO 362-1:2017-10 [1], Messverfahren für das von beschleunigten Straßenfahrzeugen abgestrahlte Geräusch vorgesehen. Da dieses Verfahren eindeutig dokumentiert, gängig und zudem geeignet ist, auch die Vorbeifahrtgeräusche der Referenzschallquelle zu charakterisieren, werden die darin beschriebenen Mikrofonpositionen übernommen.

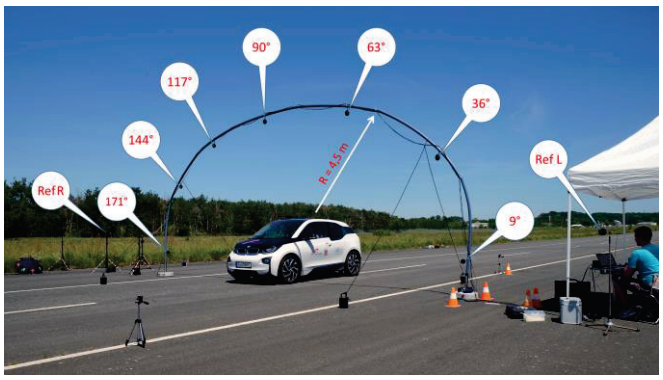

Abbildung 4: Mikrofonpositionen zur Ermittlung der Vorbeifahrtgeräusche und der Richtcharakteristik

Um die Richtcharakteristik zu ermitteln, werden zusätzlich sieben weitere Mikrofone halbkreisförmig in einem Radius von 4,5 m positioniert, wie in Abbildung 4 dargestellt. Im Unterschied zu [1] wird die Messstrecke nicht beschleunigt durchfahren, sondern mit verschiedenen konstanten Geschwindigkeiten, wie es auf der Autobahn in der Regel der Fall ist.

Im ersten Schritt wird der Messbogen in Abbildung 4 mit dem zu simulierenden Fahrzeug durchfahren. Aus dem gemessenen Spektrum und den Pegeln an den Normpositionen wird das Beschickungssignal für die die Schallquelle definiert und der Pegel an die gewünschte Fahrgeschwindigkeit angepasst. Im nächsten Schritt wird die Schallquelle mit dem entsprechenden Signal gespeist und zur Kontrolle ebenfalls durch den Messbogen gefahren. Ergebnis ist eine Datenbank mit abgeglichenen Nutzsignalen für unterschiedliche Kraftfahrzeuge (auch Motorräder) und den kalibrierten Pegeln für die jeweilige Geschwindigkeit. Mit dieser Prozedur lassen sich die Schaldruckpegel der Referenzschallquelle an der Normposition bis auf 1 dB und die Richtcharakteristik bis auf 3 dB an das Wunschfahrzeug anpassen. Das Ergebnis ist für die Referenzschallquelle sowie für alle Vergleichsfahrzeuge in Abbildung 5 dokumentiert.

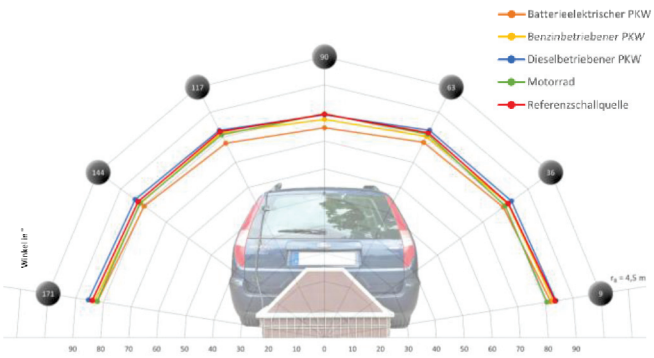

Abbildung 5: Richtcharakteristik der mobilen Referenzschallquelle im Vergleich zu anderen Fahrzeugen bei der konstanten Vorbeifahrt mit 100 km/h

Da Schalldruckpegel immer vom Messort abhängen, soll der Vollständigkeit halber noch die maximale Schallleistung und die erzeugbaren Schallleistungspegel ermittelt werden. Bei Kenntnis dieser Schallenergiegrößen lassen sich nämlich daraus die Pegel an beliebigen Positionen ableiten, die ggf. gefordert sein können. Die Messung erfolgt gemäß DIN EN ISO 9614-3 [2] im Scanning-Verfahren mit einer Schallintensitätssonde und liefert die Genauigkeitsklasse 1. Der mäanderförmige Scanpfad, den diese Norm vorsieht, wird mit der patentierten HoloMetrix-Methode [3] beschritten. Dabei dienen eine virtuelle Hüllfläche und ein sich konstant bewegender Cursor als Messhilfe. Beides ist ausschließlich durch eine Augmented Reality-Brille sichtbar und erspart insbesondere bei großen Messobjekten aufwendige Hilfskonstruktionen. Hier betragen die Maße der Hüllfläche 7,5m x 3,7m x 2,4m (L x B x H). Abbildung 6 illustriert die Schallintensitätsmessung, die für alle fünf Hüllflächen separat durchgeführt wird.

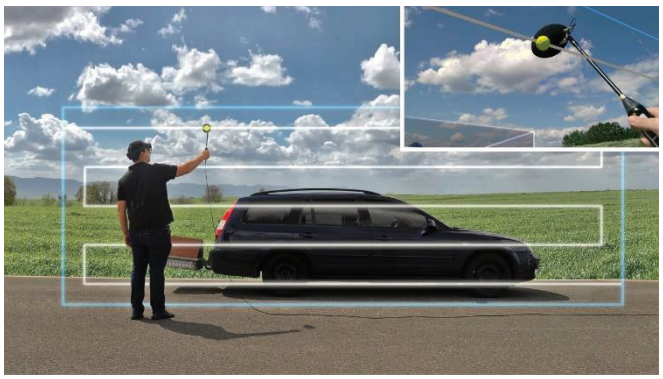

Abbildung 6: Schallintensitätsmessung zur Bestimmung der Schallleistungspegel gemäß DIN EN ISO 9614-3 im Scanning-Verfahren mittels Augmented Reality

Die Ergebnisse der Messung mit der Schallintensitätssonde sind in sind in Tabelle 1 für alle fünf Teilflächen sowie für die Gesamtfläche zusammengefasst. Die letzte Spalte gibt die abgestrahlte Schallleistung in Watt an.

Tabelle 1: Schallintensitäts- und Schallleistungsverteilung

Max. Power	Parameter		
	dB(SIL)	dB(PWL)	$W/10^{-3}$
hinten	111,8	95,4	3,51
vorne	102,7	84,7	0,30
oben	108,4	92,2	1,68
links	108,8	92,7	1,89
rechts	108,8	92,7	1,89
gesamt	115,9	99,6	9,26

Man kann unschwer erkennen, dass die seitlich abgestrahlte Schallleistung die vertikal abgestrahlte Schallleistung deutlich übertrifft, was beweist, dass die konstruierte Schallführung ihre Aufgabe erfüllt und die gewünschte Richtcharakteristik realisiert.

Nutzen und Einsatzmöglichkeiten der mobilen Referenzschallquelle

Die ursprünglich zum Lösen der eingangs beschriebenen Problematik der unklaren Schallausbreitung vor Lärmschutzwänden konstruierte mobile Referenzschallquelle erlaubt es, zahlreiche Geräuschsituationen miteinander zu vergleichen, bei denen aufgrund von vielen gleichzeitigen Parametervariationen eigentlich gar keine Rückschlüsse auf die tatsächlichen Ursachen gezogen werden können. Zu diesem Zweck lassen sich gezielt einzelne Parameter verändern, während die Auswirkung anderer zwangsläufiger - aber unerwünschter Parametervariationen durch die Schallquelle kompensiert werden. Beispielsweise lassen sich Streckenabschnitte mit und ohne Lärmschutzwand akustisch vergleichen, selbst wenn sich ebenfalls der Fahrbahnbelag ungewollt mit verändert. Derartige Störgrößen werden erkannt und von der Schallquelle ausgeregelt.

Nach dem gleichen Prinzip sind „virtuelle“ Parametervariationen möglich, um herauszufinden, welchen Einfluss eine Maßnahme, beispielsweise ein Flüsterasphalt, im Kontext der Bebauung ausübt. Zusammengefasst sind folgende Variationen möglich:

- Verschiedene Antriebe simulierbar (Benzin, Diesel, Elektro, etc.)
- Variation der Fahrgeschwindigkeit simulierbar
- Verschiedene Fahrbahnzustände simulierbar (z. B. Kopfsteinpflaster)

Auf diese Weise lässt sich auch etwaiger Nachbbesserungsbedarf vorhandener Richtlinien, wie der RLS-19 [4], leicht herausfinden.

Selbst bei lauten Hintergrundgeräuschen (Signal-Rauschabstände < 3 bB) ist die Referenzschallquelle durch spezielle Algorithmen zur Identifikation des abgestrahlten Schalls einsetzbar. Fußend auf einem Heckträger mit allgemeiner Betriebserlaubnis (ABE) nach § 20 StVZO [5] kann sie an jeder Anhängerkupplung befestigt werden. Dadurch ist die genehmigungsfreie Durchführung von Messungen im fließenden Verkehr sichergestellt.

Zusammenfassung

Die beschriebenen positiven Eigenschaften der an einem PKW angebrachten Referenzschallquelle können daher als geeignet angesehen werden, ein deutlich erkennbares Signal für referenzierbare Messungen mit hoher Wiederholgenauigkeit im fließenden Straßenverkehr innerorts oder außerhalb von Ortschaften auf allen Straßenarten darzustellen.

Literatur

[1] DIN ISO 362-1:2017-10, Messverfahren für das von beschleunigten Straßenfahrzeugen abgestrahlte Geräusch - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 - Teil 1: Fahrzeuge der Klassen M und N (ISO 362-1:2015)

[2] Akustik – DIN EN ISO 9614-3: Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 3: Scanning-Verfahren der Genauigkeitsklasse 1 (ISO 9614-3:2002); Deutsche Fassung EN ISO 9614-3:2009

[3] Morschel, C. und Marschner, H.: "Akustische Messungen mit Augmented-Reality",„Jahrestagung für Akustik (2018), München. In: Seeber, B. (ed.), Deutsche Gesellschaft. für Akustik, Fortschritte der Akustik - DAGA 2018, ISBN 978-3-939296-13-3, pp. 585-586

[4] RLS-19: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. FGSV 052. Ausgabe 2019

[5] Allgemeine Betriebserlaubnis für Typen, § 20 Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), Bundesrechtsverordnung, Fassung mit der letzten Änderung vom Art. 11 G vom 12. Juli 2021, aufgerufen am 15.09.2021, 14:24, unter: https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__20.html