

# Vergleich von verschiedenen Messverfahren für Fassadenoberflächen

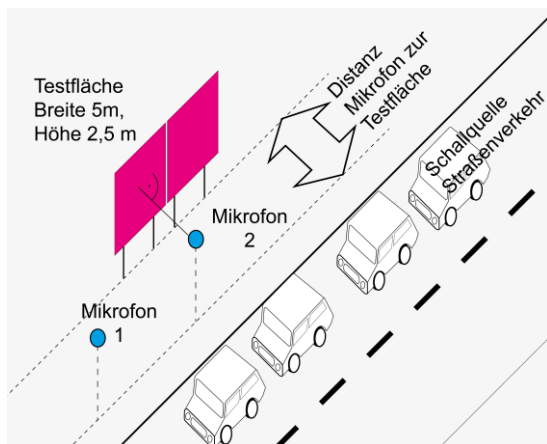
Jochen Krimm<sup>1</sup>, Wolfram Bartolomaeus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurter Forschungsinstitut für Architektur-Bauingenieurwesen-Geomatik E-Mail: jochen.krimm@fb1.fra-uas.de

<sup>2</sup> Bundesanstalt für Straßenwesen, 51427 Bergisch Gladbach, Deutschland, Email: bartolomaeus@bast.de

## Einleitung

Die Reflexion von Verkehrslärmereignissen an den vertikalen Begrenzungsflächen des Stadtraums, den Fassaden, führt zu deutlich höheren Pegeln in deren Umgebung. Die Reflexionseigenschaften von Fassaden müssen in Planungsparameter überführt werden, um diese Parameter in Planungsprozesse einbinden zu können. Bisher wurde das Reflexionsvermögen von vertikalen Oberflächen ausschließlich materialbezogen im Kontext von Lärmschutzbauwerken näher betrachtet. So berücksichtigt die Normenreihe DIN EN 1793 [1] ausschließlich die intrinsischen akustischen Eigenschaften (Schalldämmung, -reflexion und -beugung) der Lärmschutzvorrichtung ohne deren Wirkung auf die Umgebung zu berücksichtigen. Besonders auffällig ist dies bei dem Hallraumverfahren, dessen diffuses Schallfeld im realen Außenraum meist so nicht vorkommt. Ausgehend von bekannten Verfahren der akustischen Oberflächenmessung, wurde ein kontextuelles Messverfahren entwickelt, aus denen sich Planungsparameter für Stadtplanungs- oder Bauprozesse ableiten lassen. Das hier verwendete, vergleichende Verfahren basiert auf der Oberflächenmessung nach Kühl und Meyer [2]. Jedoch werden der reflektierte Schall und der Direktschall gemeinsam betrachtet, um die tatsächliche Situation im Stadtraum abzubilden. Die Lautsprecher-Schallquelle der Laboranordnung wurde durch die in Situ vorhandenen Lärmquellen ersetzt. Den grundsätzlichen Aufbau zeigt Abbildung 1.



**Abbildung 1:** Anordnung der Mikrofone im vereinfachten Verfahren zur akustischen Bestimmung von Fassadenoberflächen

Dieses Verfahren entspricht einer vereinfachten Version der statistischen Vorbeifahrtmessung nach DIN EN ISO 11819-1 [3].

Im Rahmen des Projektes: "Bestimmung der akustischen Wirksamkeit von Fassadenoberflächen im Stadtraum", gefördert mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-16.26), wurde ein mobiles Fassadenlabor entwickelt, um Fassadenoberflächen an verschiedenen Standorten im Stadtraum akustisch bestimmen zu können. An einem Standort in Frankfurt am Main wurden die statistische Vorbeifahrtmessung und das vereinfachte Verfahren zur Bestimmung der Reflexionseigenschaften parallel durchgeführt, um eine Korrelation der Verfahren und eine Anwendbarkeit für Fassadenmessungen zu prüfen. Die Anordnung des Fassadenmessstandes und der bewegten Schallquelle wurde in einem skalierten Aufbau in der Halle für akustische Modell-Technik (HaMt) der BAST untersucht, um das Architekturmodell, als Grundlage architektonischer Entscheidungen, mit zu betrachten.

## Aufbau des mobilen Fassadenlabors

Die Basis des mobilen Fassadenlabors bildet das Fassadentestgerüst mit einer Gesamtfläche von 12 m<sup>2</sup>. Die Grundfläche der Fassadenfläche besteht aus zwölf, 43 cm breiten und 250 cm hohen Siebdruckplatten, mit 1,9 cm Dicke. Diese Platten bilden zusammenschaltet eine 12,5 m<sup>2</sup> große, schallharte Referenzfläche, oder aufgeklappt, eine Lamellen Anordnung mit einem Öffnungswinkel von 90 Grad. Abbildung 2 zeigt die geschlossene Anordnung der glatten schallharten "Referenzfläche". Abbildung 3 zeigt die Anordnung "90 Grad geöffnete Lamellen". Diese beiden Anordnungen wurden für den Vergleich der Messverfahren zur Messung eingesetzt. Die Anordnung der Messtechnik ist in Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 2:** Das mobile Fassadenlabor in der geschlossenen Grundstellung "Referenzfläche" neben der Fahrbahn



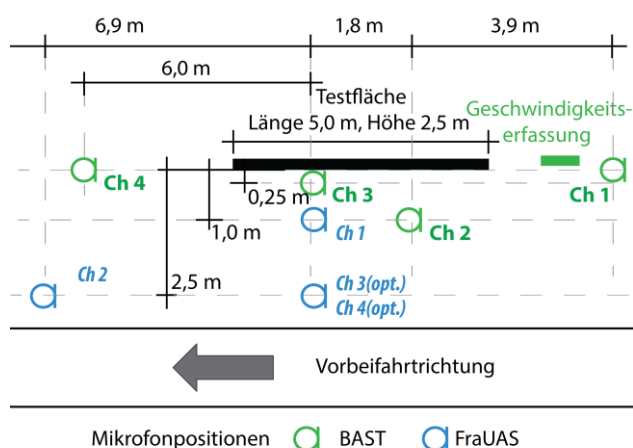
**Abbildung 3:** Die Testfläche des Fassadenlabors in der Stellung "90 Grad geöffnete Lamellen"

### Die Statistische Vorbeifahrt

Die Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgläusche erfolgte u. a. mit dem Statistischen Vorbeifahrverfahren [3]. Die Geräuschemission einer ausreichend großen Anzahl von Fahrzeugen (Pkw und Lkw) wird in einem Abstand von 7,50 m zur Fahrzeugachse in 1,20 m Höhe (Freifeldposition) gemessen.

Die dabei verwendeten Mikrofone wurden so positioniert, dass eine Übertragbarkeit der am Fassaden-Prüfstand ermittelten Werte zum einen auf die Freifeldposition und zum anderen auf die Position des ADRIENNE-Verfahrens 0,25 m vor der Fassade [4] möglich ist.

In zwei Messkampagnen wurden insgesamt 109 Pkw, ein schwerer Lkw, fünf leichte Lkw und ein Krad aufgenommen. Bei der ersten Kampagne waren die Lamellen des Fassaden-Prüfstandes geschlossen, bei der zweiten um ca. 45 Grad geöffnet. Die Messungen erfolgten mit dem Messsystem der Statistischen Vorbeifahrt mit insgesamt vier Mikrofonen. Die Anordnung der Mikrofone im Grundriss zeigt Abbildung 4.



**Abbildung 4:** Übersicht der Mikrofonpositionen für die Messungen am mobilen Fassadenlabor

Neben der Standardauswertung der Maximalpegel als Funktion der logarithmierten Vorbeifahrt-Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge wurde auch eine spektrale Auswertung in zeitliche, über drei Sekunden gemittelten Terzpegeln der Vorbeifahrten durchgeführt.

### Vereinfachtes Verfahren zur akustischen Bestimmung von Fassadenoberflächen

Um einen direkten Vergleich zwischen der statistischen Vorbeifahrtmessung und dem vereinfachten Verfahren zu ermöglichen, wurden mit zusätzlichen Mikrofonen und einem Digitalrekorder, die gleichen Zeiträume bzw. Vorbeifahrten aufgezeichnet. Für die Anwendung im Kontext der Architektur wurde das vereinfachte Verfahren zur Bestimmung der Reflexionseigenschaften von Fassadenoberflächen entwickelt. Im Bereich der Messung beschränkt sich die grundlegende Datenakquise auf 2 Messmikrofone. Weitere Mikrofonpositionen sind optional, werden aber im Rahmen des Artikels nicht berücksichtigt.

Eine Mikrofonposition befindet sich lotrecht vor der Testfläche im Abstand von 1 m (Ch 1, blau in Abbildung 3). Um den Effekt von Beugungseffekten auf diese Mikrofonposition zu reduzieren, ist diese Position, bezogen auf die Höhe und die Breite der Testfläche, asymmetrisch angeordnet. Die zweite Mikrofonposition ist neben der Testfläche angeordnet (Ch2 Blau in Abbildung 3). Der Abstand zur Kante der Testfläche soll, wenn die baulichen Gegebenheiten dies zulassen, grösser sein als die Länge der Testfläche. Durch die Verwendung eines Windschutzes, nur an dem Messmikrofon neben der Fassade, ist der Windeinfluss im Vergleich der Daten beider Mikrofone ablesbar. Die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge wird nicht erfasst. Die Messaufnahmen wurden, in einem nicht komprimierten Audioformat, in einem Digitalrekorder gespeichert. Zu Beginn und Ende der Messungen wurden Aufnahmen einer Referenzschallquelle durchgeführt, um Aufnahmen verschiedener Messzeiträume, pegelrichtig in Bezug zu bringen.

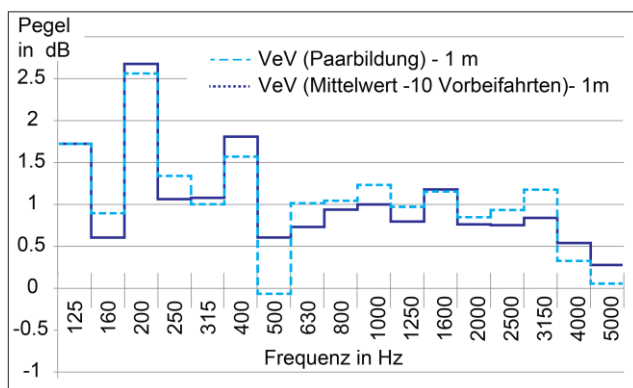
Anhand während der Messung geführter Notizen und dem Anhören der Audiodateien per Kopfhörer, wurden einzelne Vorbeifahrtereignisse identifiziert, markiert und als Einzeldateien je Mikrofonkanal exportiert. Mit dem Pegelmaximum des Mikrofonkanals vor der Testfassade wurde die Länge der Einzeldatei zu 4 s bestimmt: Im Datensatz wurden 2s vor dem Pegelmaximum und 2 s nach dem Pegelmaximum der Vorbeifahrt für den Export ausgewählt. Die so generierten Einzeldateien der verwendeten Mikrofonkanäle wurden hinsichtlich ihres Frequenzspektrums und des Pegel-Zeitverlaufs analysiert.

Anhand des Datensatzes, der unbeeinflussten Mikrofonposition neben der Testfläche, wurden Paarungen von Vorbeifahrten der Messung mit geschlossener Testfläche und der 90 Grad geöffneten Lamelle gebildet. Die Frequenzspektren sollen eine möglichst geringe Abweichung voneinander aufweisen, um eine Vergleichbarkeit der Vorbeifahrten zu gewährleisten. Aus den gepaarten

Frequenzspektren der Mikrofonposition vor der Testfläche wurde die Differenz gebildet. Aus den Differenzwerten der drei Paarungen wurde das arithmetische Mittel berechnet, jeweils für beide Mikrofonpositionen. Das resultierende Frequenzspektrum aus der Differenz zwischen beiden Mittelwerten entspricht der Verbesserung der akustischen Situation vor der Fassade durch die Lamellen.

Parallel wurde ein zweiter Auswertevorgang erprobt. Aus den einzelnen Frequenzspektren von je 10 Vorbeifahrten vor der geschlossenen Fassade und der 90 Grad geöffneten Lamelle werden die energetischen Mittelwerte gebildet, jeweils für beide Mikrofonpositionen. Im Anschluss wird die Differenz zwischen dem Frequenzspektrum vor der geschlossenen Fassade und der 90 Grad geöffneten Lamelle gebildet. Die Bildung der Differenz, zwischen beiden Frequenzspektren, drückt die akustische Wirkung der Fassade aus.

Abbildung 5 zeigt die gemessene Verbesserung in einem Terzbandspektrum für beide Verfahren. Da die Pegel einzelner Terzbänder für beide Verfahren wenig voneinander abweichen, können beide Verfahren als anwendbar gesehen werden. Aufgrund des geringeren Aufwandes in der Auswertung und der Ähnlichkeit mit dem Auswertungsverfahren der statistischen Vorbeifahrt, werden in Folge nur noch Werte aus dem vereinfachten Verfahren mit einer Mittelwertbildung von 10 Vorbeifahrten verwendet.



**Abbildung 5:** Vergleich der Terzbandspektren aus dem vereinfachten Verfahren (VeV) mit Paarbildung und den Vereinfachten Verfahren, durchgeführt mit einer Mittelwertbildung für 10 Vorbeifahrten

### Skalierte Messung des Fassadenprüfsandes

In der HaMt können skalierte Messungen im Maßstab 1:8 bis 1:20 durchgeführt werden. Die Halle ist klimatisiert und besitzt bei Messungen eine relative Luftfeuchtigkeit von 3%. Damit werden auch hochfrequente Ultraschallwellen in ihrer Ausbreitung kaum gedämpft. Die Halle ist als reflexionsarmer Halbraum ausgebildet. Die an den Wänden und der Decke angebrachten Absorber sorgen ab 400 Hz für reflexionsfreie Freifeldbedingungen. Gegenüber Messungen in-situ besteht der Vorteil von Messungen in der HaMt darin, dass unter kontrolliert wiederholbaren Bedingungen an verkleinerten Modellen vergleichende Messungen durchgeführt werden können. Das gilt allerdings nur für

Messungen an Objekten mit einer schallharten Oberfläche. Andere akustische Impedanz-Randbedingungen müssten aufwändig mit speziellen Materialien modelliert werden.

Gegenüber Simulationen mit der Boundary-Element-Methode (BEM) oder der Finite-Elemente-Methode (FEM) sind die Messungen in der HaMt leichter und schneller durchzuführen. Bis heute sind große drei-dimensionale Modell bei hohen Frequenzen rechnerisch vielfach zu aufwändig. Allerdings führen Störeffekte bei der Signalverarbeitung immer wieder zu Abweichungen in den Ergebnissen, vor allem bei einer absoluten Betrachtung der Pegel. Bei einer relativen Betrachtung der Ergebnisse heben sich diese Fehler aber häufig wieder auf. Der Fassadenprüfstand wurde im Modell-Maßstab 1:10 auf einer schallharten Siebdruck-Holzplatte aufgebaut.

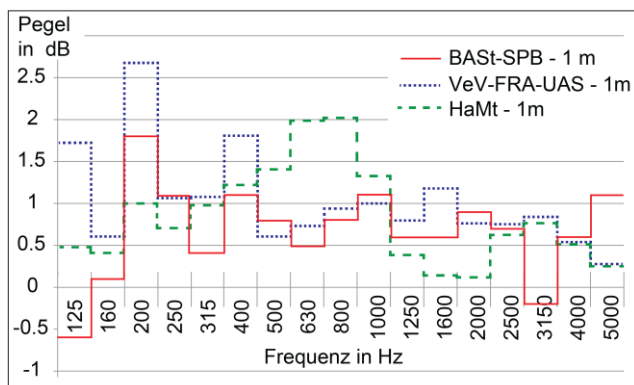


**Abbildung 6:** Das mobile Fassadenlabor in der HaMt im Maßstab 1:10. Die Fassadevariante "90 Grad geöffnete Lamellen" ist aufgebaut

Als Schallquelle wurde ein Druckluftschallerzeuger – eine Eigenentwicklung der BAST – verwendet, der bei einer guten Raumabstrahlung hohe Schalldrücke bis weit über 100 kHz erzeugt. Diese wurde auf der Verfahrenseinheit in einer Höhe von 75 mm angebracht. Der erfasste und später ausgewertete Frequenzbereich betrug 1 kHz – 50 kHz, entsprechend dem Frequenzbereich des Verkehrslärmspektrums von 100 Hz – 5 kHz [5]. Insgesamt fünf Mikrofone wurden in unterschiedlichen Abständen zum Modell des Fassadenprüfstandes hängend positioniert. Gemessen wurden jeweils ca. 300 Messpunkte in Abständen von jeweils 5 mm zueinander.

### Ergebnisse

In Abbildung 4 sind vergleichend die Terzbandspektren von 125 Hz bis 5 kHz für die Statistische Vorbeifahrt-Messung der BAST (BAST-SPB), das Vereinfachte Verfahren zur akustischen Bestimmung von Fassadenoberflächen (VeV FRA-UAS) und der Messungen in der Halle für akustische Modelltechnik (HaMt) für die Mikrofonposition, jeweils 1 m vor der Fassade, dargestellt.



**Abbildung 7:** Vergleich der Terzspektren für die akustische Verbesserung für die drei angewandten Messverfahren

Während die Übereinstimmung zwischen BAST-SPB und VeV-FRA-UAS recht groß ist, gibt es große spektrale Abweichung zu den Modellmessungen in der HaMt.

In Tabelle 1 sind für alle drei Messverfahren aus den Terzbandspektren jeweils die Differenz der Mittelwerte zwischen geschlossener Stellung und offener Stellung des Fassadenprüfstandes, die maximale Abweichung der Terzbandpegel relativ zur Vorbeifahrtmessung und die Abweichung des mittleren Pegels relativ zur Vorbeifahrtmessung dargestellt.

**Tabelle 1:** Vergleich der Mittelwerte aus dem Terzbandspektrum

Parameter	Variante		
	Vorbeifahrtmessung	Vereinfachtes Verfahren	Messung HaMt
Mittelwerte der Differenzpegel geschlossen zu offen	0,7 dB	1,0 dB	0,8 dB
Maximale Abweichung der Terzbandpegel relativ zur Vorbeifahrtmessung	---	1,0 dB	1,5 dB
Abweichung gemittelter Pegel relativ zur Vorbeifahrtmessung	---	-0,3 dB	-0,1 dB

## Diskussion

Die Mittelwerte der Differenzpegel zwischen geschlossener und offener Fassade liegen bei allen Verfahren in einem Bereich von 0,7 dB und 1,0 dB nahe beieinander. Die Abweichung zur Vorbeifahrtmessung beträgt für das vereinfachte Verfahren bzw. für die Messungen in der HaMt -0,3 dB bzw. -0,1 dB. Dahingegen sind die Abweichungen der einzelnen Terzen mit maximal 1,0 dB bzw. 1,5 dB recht groß.

Die akustische Wirkung verschiedener Fassadenoberflächen lässt sich mit diesen drei Messmethoden, durch das Vergleichen der Messwerte unterschiedlicher Oberflächen

bestimmen. Durch die höhere Anzahl an ausgewerteten Vorbeifahrten, stellt sicherlich das Verfahren der statistischen Vorbeifahrt den der Wirklichkeit entsprechenden akustischen Effekt der Lamellenanordnung dar.

Die Unsicherheit des vereinfachten Verfahrens, durch die geringere Anzahl von nur 10 ausgewerteten Vorbeifahrten je Fassadenvariante drückt sich in einer Abweichung des Mittelwertes, von nur 0,3 dB aus. Das vereinfachte Verfahren wurde entwickelt mit der Zielsetzung Fassaden in ihrer akustischen Wirkung, im urbanen Kontext zu bestimmen. Die Ungenauigkeit des Verfahrens, durch die Nutzung des Verkehrslärms als Messsignalquelle, wird durch die Einbeziehung der umgebenden Flächen wieder ausgeglichen. Aus der Messung ausgeblendete Umgebungsfaktoren müssen nicht durch Korrekturfaktoren eingebracht werden. Deshalb eignet sich dieses Verfahren durchaus für die Ableitung von Planungsparameter aus den, im städtischen Kontext gewonnenen Messwerten. Es eignet sich nicht für Bestimmung von Materialeigenschaften mit der Genauigkeit einer Laborumgebung.

Die skalierte akustische Messung schafft eine Möglichkeit akustische Maßnahmen an Gebäuden im Modellmaßstab zu entwerfen und zu beurteilen. Durch einen genaueren Abgleich des Modelaufbaus mit der in-situ vorhanden Situation lässt sich die Übereinstimmung der Messwerte verbessern. Skalierte Messungen haben ihre Berechtigung bei Variantenvergleichen, bei denen es nicht auf absolute Aussagen bezüglich der akustischen Wirkung einer Maßnahme (z. B. Fassadengeometrie) ankommt.

Simulationen sind heute für Außenraumprobleme, aufgrund der großen Abmessungen, häufig immer noch nicht effizient einsetzbar. Mit diesen drei Methoden lassen sich städtebauliche Situationen ortsgetreu akustisch erfassen und in Planungsprozesse einbringen. Das schafft die Möglichkeit, mit gezielten akustischen Planungen die leisere Stadt in Zukunft zu realisieren.

## Literatur

- [1] DIN EN 1793 Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 1 – 6.:
- [2] Kühl, V. und Meyer, E., Berl. Ber. Phys.math.Kl.1932,XXVI
- [3] DIN EN ISO 11819-1:2001, Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 1: Statistische Vorbeifahrverfahren, Mai 2002.
- [4] DIN EN 1793-5:2016, Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 5: Produktspezifische Merkmale – In-situ-Werte der Schallreflexion in gerichteten Schallfedern, Oktober 2016.
- [5] DIN EN 1793-3:2016, Lärmschutzeinrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum, November 1997.