

Exposé zur geplanten Masterarbeit

## Entwicklung eines modellskalierten Prüfverfahrens zur Bestimmung der Schallbeugung von Schallschutzwänden

19.10.2021

**Stefanie Traub**

Mat.-Nr.: 413390

s.traub@campus.tu-berlin.de

Betreuung

Prof. Dr. Stefan Weinzierl

Karlheinz Stegmaier, M.A.

Technische Universität Berlin

Fakultät I – Geistes- und Bildungswissenschaften

M.Sc. Audiokommunikation und -technologie

## Abstract

Die messtechnische Beurteilung der Wirksamkeit innovativer Schallschutzwände und Wandaufsätze ist oftmals aufwändig und mit hohen Kosten verbunden. Die maßstabsgetreue Durchführung solcher akustischen Messungen im Modell könnte hier enorme Erleichterungen mit sich bringen. Anhand einer Schallschutzwand mit Wandaufsatz im Maßstab 1:4 soll die Funktionalität und Anwendung einer Modellmessung im reflexionsarmen Raum untersucht und validiert werden. Konkrete Kenngröße ist in diesem Zusammenhang die Schallbeugungsindex-Differenz, welche die akustische Wirkung des Wandaufsatzes auf das Schallfeld hinter der Schallschutzwand charakterisiert.

Ziel der Arbeit ist es, Aussagen zu treffen, inwieweit der Einsatz von Modellmessungen im Bereich von Lärmschutzwänden, insbesondere in Bezug auf die Schallbeugung, zielführend ist. Eine weitere Fragestellung bildet außerdem die akustische Wirkung des untersuchten, innovativen Wandaufsatzes. Diese soll im Vergleich zu anderen Wandaufsätzen beurteilt werden, um die Entwicklung zukunftsfähiger Lärmschutzwände für die Anwendung in der Praxis voranzutreiben.

# Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
1. Einleitung und Fragestellung.....	4
2. Stand der Forschung.....	4
2.1. Beugungskante von Schallschutzwänden.....	4
2.2. Modellmessung.....	5
3. Methode und Quellen.....	6
4. Arbeits- und Zeitplan.....	7
Literaturverzeichnis.....	8

# 1. Einleitung und Fragestellung

Akustische Messungen an physikalischen Modellen werden seit vielen Jahrzehnten in der Praxis angewandt. Auch wenn die Modellmesstechnik durch die neuen Möglichkeiten der mathematischen Modellierung am Rechner in den Hintergrund gerückt ist, kommt sie v.a. im Bereich der Raumakustik noch heute zum Einsatz [1]. Im Bereich des Schallimmissionsschutzes dagegen scheint der Einsatz der Modellmesstechnik in der Praxis eher unüblich zu sein. Dabei ist eine Messung der akustischen Eigenschaften von Lärmschutzwänden vor Ort oftmals mit enormem Aufwand und hohen Kosten verbunden, besonders dann, wenn neue Prototypen auf ihre akustische Wirksamkeit untersucht werden sollen.

Aus einem gemeinsamen Forschungsprojekt des *Akustikbüro Krämer & Stegmaier* aus Berlin und des *Instituts für Angewandte Bauforschung Weimar* ging ein solcher Prototyp einer Lärmschutzwand mit Wandaufsatz im Maßstab 1:4 hervor. Eine der Besonderheiten daran äußert sich in Form des „T“-förmigen Wandaufsatzes, welcher an der quellseitigen Unterkante mit Helmholtz-Resonatoren versehen ist, die auf verschiedene straßenverkehrslärmrelevante Frequenzen abgestimmt sind.

Zur Messung und Bestimmung der Schallbeugungsindex-Differenz dieses Wandaufsatzes soll in Anlehnung an DIN EN 1793-4:2015 [2], der Norm für die in-situ Messung der Schallbeugung, ein Modellmessverfahren entwickelt werden. Die Qualität der gewonnenen Messergebnisse und die generelle Durchführbarkeit dieser Modellmessung sollen Aussagen über die Anwendung von Modellmessungen an Lärmschutzwänden, insbesondere im Hinblick auf die akustische Qualität von Wandaufsätzen, in der Praxis ermöglichen.

Anhand der gewonnenen Messergebnisse soll auch konkret die akustische Wirkung des innovativen Wandaufsatzes bewertet und im Vergleich zu anderen Wandaufsätzen eingeordnet werden. Dadurch soll der Einfluss der quellseitigen Helmholtz-Resonatoren auf die Beugung über die Schallschutzwand beurteilt werden können.

## 2. Stand der Forschung

Nachfolgend wird der Forschungsbereich anhand relevanter wissenschaftlicher Literatur zur Schallbeugungskante an Schallschutzwänden und zur Anwendung von Modellmessungen beleuchtet.

### 2.1. Beugungskante von Schallschutzwänden

Die akustische Wirkung von Schallschutzwänden an Straßen oder Zuglinien ist in erster Linie abhängig von Höhe, Form und absorbierenden Eigenschaften und wird meist anhand der Kenngrößen Schalldämmungs-, Schallreflexions- und Schallbeugungsindex definiert [3]. Die Ausbreitung der

Schallwellen in der Umgebung der Schallschutzwand, besonders im Bereich der zu schützenden Bebauung hinter der Wand, wird dabei durch den physikalischen Effekt der Schallbeugung dominiert [4]. Diese hängt vom Verhältnis der Schallwellenlänge und der Ausdehnung des Hindernisses ab und basiert auf den drei folgenden Haupttheorien: das Huygens-Fresnel Prinzip, die Helmholtz-Kirchhoff-Beugung und die Geometrische Theorie der Beugung (engl. GDT). In Anlehnung an die Beugungsgesetze lassen sich spezielle Beugungskanten entwickeln, welche als sogenannte Wandaufsätze auf Schallschutzwände aufgesetzt werden und damit die Schallbeugung im Sinne des Lärmschutzes positiv beeinflussen sollen [5].

Die Ausbildung der Beugungskante von Schallschutzwänden wird in vielen wissenschaftlichen Veröffentlichungen thematisiert. Piechowicz hat akustische Messungen an Schallschutzwänden mit insgesamt vier Wandaufsätzen unterschiedlicher geometrischer Form durchgeführt, konnte allerdings nur geringfügige Verbesserungen im Vergleich zu einer Wand ohne Aufsatz feststellen. Er vermutete, dass für eine größere Wirkung kompliziertere Geometrien notwendig sind [4, 5].

Ishizuka und Fujiwara nutzten die Randelementmethode zur Untersuchung von Beugungskanten unterschiedlicher geometrischer Form und akustischer Beschaffenheit. Durch absorbierendes Material an der Beugungskante kann der Schalldruck an der Kante und dadurch die Beugung reduziert werden. Dabei schneiden Wandaufsätze in „T“-Form am besten ab, reflektierende Wandaufsätze dagegen sind wirkungsvoller, wenn sie mehrere Kanten aufweisen [6].

Möser und Volz forschten vor der Jahrtausendwende an einem Wandaufsatz mit  $\lambda/4$ -Resonatoren und bestimmten dessen Verbesserungsmaß [7]. Diese Konstruktion kommt der geplanten Ausführung des zu messenden Aufsatzes mit Helmholtz-Resonatoren am nächsten.

## 2.2. Modellmessung

Als Rechner vor wenigen Jahrzehnten noch nicht so leistungsstark waren, stellten Modellmessungen oft die einzige Möglichkeit dar, akustische Fragestellungen im Vorfeld realistisch einschätzen oder bewerten zu können [8, 9]. Aber auch heute noch bieten diese physikalischen Modelle einige Vorteile gegenüber mathematischen Modellen, wie z.B. die reale Abbildung wellentheoretischer Ausbreitungsphänomene, wozu auch die Schallbeugung gehört [10].

Im Jahr 2007 untersuchten Brodbeck und Mehra die Schallausbreitung im Freien anhand von Modellmessungen im reflexionsarmen Raum (RAR). Da die Fresnel-Zahl, anders als der zu messende Frequenzbereich, unabhängig vom gewählten Maßstab ist, wird das Beugungsverhalten an Hindernissen realitätsgetreu abgebildet. Kleine Unterschiede der gemessenen Schallpegel zwischen Modellmessung und realer Freifeldmessung lassen sich unter anderem auf die erhöhte Luftabsorption bei der Modellmessung zurückführen [9].

Konkrete Modellmessungen an Lärmschutzwänden haben sowohl Hoislbauer als auch Piechowicz durchgeführt. Beide hatten zum Ziel die akustische Wirkung unterschiedlicher Wandaufsätze zu untersuchen. Hoislbauer hat diese anhand von Pegeldifferenzen zu einer Wand ohne Aufsatz charakterisiert, wohingegen Piechowicz den Schallbeugungsindex bestimmt hat. Außerdem konnte er dabei signifikante Übereinstimmungen in den Ergebnissen von Modell- und in-situ Messung feststellen [5, 11].

### 3. Methode und Quellen

Ziel der Modellmessung ist die Bestimmung der Schallbeugungsindex-Differenz für den gegebenen Wandaufsatz. Dafür ist zunächst eine Einarbeitung in die entsprechende Messnorm, die DIN EN 1973-4 [2] erforderlich. Diese beschreibt die Vorgehensweise zur in-situ Messung von Schallschutzwänden mit Wandaufsatz sowie zur Bestimmung der Schallbeugungsindex-Differenz aus der durchgeführten Messung. Außerdem finden sich im Anhang weiterführende Informationen zur Durchführung dieser Messung in Innenräumen. An diesem Punkt lässt sich an die geplante Modellmessung im reflexionsarmen Raum anknüpfen.

Um das in-situ-Messverfahren in ein Modellmessverfahren im Maßstab 1:4 überführen zu können, ist eine umfangreiche Recherche zum Thema der akustische Modellmessungen unerlässlich. Eine ausführliche Quelle hierzu bildet die Masterthesis zum Thema Modelluntersuchungen an Schallschutzwänden von Busch [12]. So sind beispielsweise Lautsprecher und Mikrofone bezüglich ihres Frequenzganges auf den resultierenden Messbereich von 400 Hz bis 20 kHz abzustimmen. Ultraschallfähige Wandler sind damit nicht notwendig, jedoch sollte eine Korrektur der Luftabsorption vorgenommen werden, welche bei hohen Frequenzen nicht mehr linear sondern fast quadratisch zunimmt [8, 10].

Die Planung der Modellmessung umfasst eine Testmessung, welche vor der tatsächlichen Durchführung im RAR erfolgt. Zur Auswertung der Messung und Bestimmung der Schallbeugungsindex-Differenz ist neben der Einarbeitung in die genutzte Software *Dirac*<sup>1</sup> ein solides Grundlagenwissen zur digitalen Signalverarbeitung erforderlich, das bei Bedarf entsprechend erweitert wird. Hierfür eignet sich zum Beispiel das Buch *Messtechnik der Akustik* von Möser aus dem Jahr 2010 [13].

Da eine in-situ Messung der gleichen Schallschutzwand bzw. des gleichen Wandaufsatzes nicht möglich ist, soll die Validierung des entwickelten Modellmessverfahrens über einen Vergleich der

---

<sup>1</sup> <https://www.bksv.com/en/analysis-software/acoustic-analysis-software/room-acoustics-software-dirac>

Messergebnisse mit entsprechenden Computersimulationen des gleichen Sachverhalts in der Software *COMSOL Multiphysics*<sup>2</sup> erfolgen.

Um den gemessenen Wandaufsatz im Hinblick auf die akustische Wirksamkeit und den Einfluss auf die Schallbeugung beurteilen und einordnen zu können, ist im Vorfeld eine ausführliche Recherche zu bisherigen Untersuchungen von Wandaufsätzen erforderlich. Außerdem ist in diesem Zusammenhang ein generelles Vertiefen der Kenntnisse über die Beugung an Kanten sowie die Wirkung von Helmholtzresonatoren auf das Schallfeld sinnvoll. Hierfür empfiehlt sich u.a. die Veröffentlichung *Modelling the sound diffraction* von Bartolomaeus [14] und Fachliteratur wie das Buch *Technische Akustik* von Möser [15].

#### 4. Arbeits- und Zeitplan

Die nachfolgende Tabelle stellt stichpunktartig die geplanten Arbeitsschritte für die Erstellung der Masterarbeit innerhalb der nächsten sechs Monate dar:

Tabelle 1: Zeitplan und geplante Arbeitsschritte

<b>Monat</b>	<b>Tätigkeit</b>
Oktober	Recherche, Einarbeitung in die DIN EN 1793-4, Planung der Modellmessung
November	Probemessung, Durchführung der Modellmessung, Dokumentation
Dezember	Auswertung und schriftl. Ausarbeitung der Modellmessung
Januar	schriftl. Ausarbeitung der Modellmessung, Recherche zu Wandaufsätzen
Februar	Ergebnisvergleich mit Simulationen und Theorie, schriftl. Ausarbeitung
März	schriftliche Ausarbeitung

---

<sup>2</sup> <https://www.comsol.de/comsol-multiphysics>

## Literaturverzeichnis

- [1] MüllerBBM, *Modellmessungen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.muellerbbm.de/bau/raumakustik/modellmessungen/> (Zugriff am: 28. September 2021).
- [2] *DIN EN 1793-4:2015-05, Lärmschutzvorrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 4: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte der Schallbeugung*.
- [3] P. Reiter, R. Wehr und H. Ziegelwanger, „Simulation and measurement of noise barrier sound-reflection properties“, *Applied Acoustics*, Jg. 123, S. 133–142, 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.03.007.
- [4] J. Piechowicz, „Sound Diffraction Over Noise Barriers with Added Devices Installed on the Top Edge“, *Acta Phys. Pol. A*, Jg. 128, 1A, A-36-A-40, 2015, doi: 10.12693/APhysPolA.128.A-36.
- [5] J. Piechowicz, „Sound Wave Diffraction at the Edge of a Sound Barrier“ (en), *Acta Phys. Pol. A*, Jg. 119, 6A, S. 1040–1045, 2011, doi: 10.12693/aphyspola.119.1040.
- [6] T. Ishizuka und K. Fujiwara, „Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions“, *Applied Acoustics*, Jg. 65, Nr. 2, S. 125–141, 2004, doi: 10.1016/j.apacoust.2003.08.006.
- [7] M. Möser und R. Volz, „Aufsätze für Schallschirme- Messungen an einer Lärmschutzwand“, Institut für Technische Akustik, Technische Universität Berlin.
- [8] H.-P. Tennhardt und H. Winkler, „Raumakustische Simulation am physikalischen Modell (Teil 1)“, *Tagungsband DAGA 2001*, 2001. [Online]. Verfügbar unter: [https://pub.dega-akustik.de/DAGA\\_1999-2008/data/articles/000314.pdf](https://pub.dega-akustik.de/DAGA_1999-2008/data/articles/000314.pdf)
- [9] M. Brodbeck und S.-R. Mehra, „Modellmessungen mit Ultraschall“, *Tagungsband DAGA 2007*, 2007.
- [10] W. Leschnik, „Raumakustische Simulation mit mathematischen und physikalischen Modellen“, *Tagungsband DAGA 2001*, 2001. [Online]. Verfügbar unter: [http://pub.dega-akustik.de/DAGA\\_1999-2008/data/articles/000311.pdf](http://pub.dega-akustik.de/DAGA_1999-2008/data/articles/000311.pdf)
- [11] H. Hoislbauer, „Lärmschutzwände komplexer Geometrie - Modellmessungen“, *Tagungsband DAGA 2014*, 2014. [Online]. Verfügbar unter: [https://pub.dega-akustik.de/DAGA\\_2014/data/articles/000010.pdf](https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2014/data/articles/000010.pdf)
- [12] T. Busch, „Scale-model investigation of highway traffic noise barriers“, University of British Columbia, 2009. [Online]. Verfügbar unter: <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0080879>
- [13] M. Möser, *Messtechnik der Akustik*. Heidelberg Berlin: Springer-Verlag; Springer, 2010.
- [14] W. Bartolomaeus, „Modelling the sound diffraction at modified noise barriers“, *Tagungsband DAGA 2015*, 2015. [Online]. Verfügbar unter: [https://pub.dega-akustik.de/DAGA\\_2015/data/articles/000226.pdf](https://pub.dega-akustik.de/DAGA_2015/data/articles/000226.pdf)
- [15] M. Möser, *Technische Akustik*, 9. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.