

Hochschule für Technik Stuttgart

Zentrum für akustische und thermische Bauphysik

Abschlussbericht für Projekt Nr. 122-004 22P

Auxiliaris -

Unterstützung bei akustischen Messungen und Hörversuchen

Auftraggeber: Carl-Zeiss-Stiftung

Förderkennzeichen: P2022-10-008

Bearbeitet von: Dr. Jan Krüger

Berichtsdatum: 25. Juli 2023

Der Bericht hat: 12 Seiten

Inhaltsverzeichnis

1	Ausrichtung und Zielsetzung	3
2	Projektangaben	3
2.1	Angaben zur ukrainischen Wissenschaftlerin	3
2.2	Angaben zur geplanten inhaltlichen Arbeit	3
3	Arbeitsergebnisse im Projekt „Lärmschutz in Erdgeschoss“	4
3.1	Psychoakustische Hörversuche	4
3.2	Zusammenfassung der Projektunterstützung „Lärmschutz in Erdgeschoss“ ..	7
4	Weitere Arbeiten an Matlab®-Software-Applikationen	8
4.1	Applikation zur Durchführung von Hörversuchen	8
4.2	Applikation zur Auralisierung von gefilterten Außengeräuschen	9
5	Zusammenfassung und Danksagung	10
6	Literatur	11

1 Ausrichtung und Zielsetzung

Die Carl-Zeiss-Stiftung möchte mit der Ausschreibung CZS Auxiliaris geflüchtete ukrainische Wissenschaftler:innen dabei unterstützen, ihre wissenschaftliche Tätigkeit Übergangsweise an einer Gasteinrichtung in Baden-Württemberg, Thüringen oder Rheinland-Pfalz fortzusetzen. Zu diesem Zweck konnten Hochschulen und Forschungseinrichtungen in den o.g. Ländern bei der Carl-Zeiss-Stiftung kurzfristig und unbürokratisch Fördermittel beantragen, um geflüchteten Personen mit ukrainischer Staatsbürgerschaft die Mitarbeit in bestehenden Arbeitsgruppen und Projekten zu ermöglichen. Die Förderung war als kurzfristige Überbrückung gedacht, um ggf. längerfristige Unterstützung von anderer Stelle einwerben zu können.

2 Projektangaben

2.1 Angaben zur ukrainischen Wissenschaftlerin

Frau Dr. Perchevska hat von 2010-2021 an der National Technical University of Ukraine studiert. In der Zeit von 2016 hat sie dabei am Department of Acoustics an Acousto-electronics den Abschluss als BSc und MSc erbracht. Ab 2016 fertigte sie am „Igor Sikorsky

Kyiv Polytechnic Institute“ ihre Dissertation zum Thema „Thermal fields of piezoceramic electroacoustic transducers in sound radiation mode“ an und schloss diese 2021 erfolgreich ab. Zu diesem Zeitpunkt hatte sie bereits zahlreiche wissenschaftliche Veröffentlichungen publiziert, die unter

<https://scholar.google.com/citations?user=FVaVAwMAAAAJ> zu finden sind.

Nach dem russischen Überfall auf ihre Heimat flüchtete sie zusammen mit ihrem Sohn zu deutschen Freunden. Anschließend nahm sie Kontakt zu Dr. Krüger auf, der sich bereit erklärt hatte, geflüchtete ukrainische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Hochschule für Technik in Stuttgart zu unterstützen.

2.2 Angaben zur geplanten inhaltlichen Arbeit

Gemäß den Förderrichtlinien der Carl-Zeiss-Stiftung im Auxilliaris-Programm sollte Dr. Perchevska kurzfristig eine Möglichkeit gegeben werden, an laufenden wissenschaftlichen Projekten unterstützend mitzuwirken. Dies wurde insbesondere in dem von Dr. Krü-

ger bearbeiteten Projekt „Lärmschutz im Erdgeschoss“ angestrebt. In diesem Forschungsprojekt (Fördergeber: Vermögen und Bau Baden-Württemberg), das Anfang 2022 begonnen hat und noch bis Mitte 2025 läuft, müssen zahlreiche akustische Messungen vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet werden. Ebenso müssen umfangreiche psycho-akustische Hörversuche vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet werden. Auf Grund ihrer Ausbildung als BSc und MSc sowie die Promotion mit akustischem Fokus und ihre umfangreichen praktischen Vorkenntnisse konnte Frau Dr. Perchevska hierbei den Projektleiter ideal unterstützen.

3 Arbeitsergebnisse im Projekt „Lärmschutz in Erdgeschossen“

3.1 Psychoakustische Hörversuche

Um die Auswirkung auf die real in einer Wohnung erlebte Lärmbelästigung näher zu untersuchen, wurden im psychoakustische Hörversuche mit extrahierten Vorbeifahrt-Geräuschen geplant. Die Vorbeifahrt-Messungen fanden an unterschiedlichen Orten statt, wobei Dr. Perchevska die letzte Messkampagne am Zentrum für Bauphysik (ZfB) unterstützen konnte (Abbildung 1).



Abbildung 1: Messung der Vorbeifahrt in einem Büro am Zentrum für Bauphysik

Die Hörversuche wurden gemäß den ISO-Vorschriften [21] durchgeführt. Hierbei sollte insbesondere bestimmt werden, ob und wie sehr sich die Belastung bei gleichem Außenpegel L_a unterscheiden kann. Dazu wurden zunächst aus dem vorhandenen Pool an Vorbeifahrt-Hörproben insgesamt 10 WAV-Dateien ausgesucht, die sich in ihrem Geräusch stark unterscheiden. Anschließend wurden die L_a und L_i bestimmt. Diese unterschieden sich zum Teil deutlich, wie schon in Abbildung 4 gezeigt wurde. Um die Lärmbelastung im inneren bei nominell gleichen Außenpegeln zu ermitteln, wurden nunmehr der Differenzpegel aller Außengeräusche zum lautesteten Außenpegel (Schwerlaster mit $L_a = 74$ dB(A)) bestimmt und diese Differenz bei jedem entsprechenden Innenpegel aufgeschlagen. Auf diese Art und Weise wurden die Innenpegel auf den lautesten Außenpegel normiert.

Am Hörversuch nahmen insgesamt 32 Teilnehmerinnen und Teilnehmer überwiegend aus dem Bereich der Hochschule teil. Der Hörversuch selbst fand in einem unbenutzten Büro am Ende eines Ganges statt, das relativ ruhig gelegen war, jedoch keine ausgesprochene Wohnzimmeratmosphäre darstellen konnte (Abbildung 2). Dabei wurden die Hörbeispiele über ein Programm abgespielt, die zum großen Teil am NRC Canada geschrieben wurde. Die Wiedergabe erfolgte über eine hochwertige Soundkarte und ebenfalls besonders gute elektrostatische Kopfhörer.



Abbildung 2: Raum und Arbeitsplatz für die Hörversuche

Die Probandinnen und Probanden wurden gebeten, sich eine Wohnzimmeratmosphäre vorzustellen, in der sie nach einem anstrengenden Arbeitstag entspannen wollen. Nach dem Abspielen der Hörproben sollten sie dann angeben, wie störend das Geräusch auf einer Skala von 0 (überhaupt) nicht bis 10 (extrem) war.

Die Ergebnisse des Hörversuchs sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Measurement Name	Pass-by vehicle	L_i / dB(A)	Loudness N10	Psychoacoustic Annoyance
TÜ_a	Heavy Truck	35,2	2,6	5,5
TÜ_b	Passenger car Horn	40,5	4,1	6,9
TÜ_c	Const. Motorbike	38	3,6	5,9
TÜ_d	Bus	39,7	3,1	5,1
TÜ_e	Truck	36,6	2,9	5,2
TÜ_f	Acc. motorbike	37,2	2,9	6,1

TÜ_g	Flowing traffic	40,9	3,3	4,9
ZFB_a	Pass car	46,5	6,2	7,4
ZFB_b	Acc. Pass car	46,6	6,6	7,1
ZFB_c	Const. Pass car	47,9	7	7,2

Tabelle 1: Ergebnisse des Hörversuchs für 10 verschiedene Vorbeifahrtgeräusche

Zunächst einmal ist festzustellen, dass der resultierenden Innenpegel L_i selbst nach der Normierung auf den gleichen Außenpegel L_a noch in einem Bereich von 35 bis 48 dB(A) schwankt. Es überrascht daher nicht, dass auch die Lautheit N_{10} einen Wertebereich von 2,6 bis 7 umfasst. Dies entspricht – bei gleichem Außenpegel – fast einer Verdreifachung der wahrgenommenen Lautheit [27]! Der im Hörversuch ermittelte Mittelwert der empfundenen Lästigkeit entspricht in den meisten Fällen recht gut der gemessenen Lautheit und sogar dem A-bewerteten L_i , wie die farbliche Codierung der Wertebereiche zeigt. Auffällig ist lediglich, dass z.B. das Hupengeräusch (TÜ_b) und das beschleunigende Auto (ZFB_b) mehr stören als der Schalldruckpegel und die Lautheit dies eigentlich vorhersagen. Im Gegensatz dazu wird der fließende Verkehr (TÜ_g) deutlich weniger störend wahrgenommen, als dies aus den recht hohen L_i vorherzusehen gewesen wäre. Auch dies bestätigt die Ergebnisse anderer Forschungsgruppen, dass weniger der Außenpegel selbst, als vielmehr dessen Spektrum und auch der zeitliche Verlauf für die empfundene Lärmbelastung innen maßgebend sind. Selbstverständlich gilt dies nur, wenn die Fenster geschlossen sind und nicht etwa zum Lüften oder zum sommerlichen Auskühlen des Wohnraums nachts geöffnet werden müssen.

3.2 Zusammenfassung der Projektunterstützung „Lärmschutz in Erdgeschossen“

Frau Dr. Perchevska war eine große Unterstützung sowohl bei der letzten Messkampagne als auch bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des Hörversuchs. Dadurch konnte bestätigt werden, dass der A-bewertete Außenpegel nur geringe Aussagekraft für den letztlich im Gebäude herrschenden Schalldruckpegel und die dortige Lärmbelastung hat. Vielmehr ergibt sich aus dem Anregespektrum des Verkehrslärms und der typischen Schalldämmung von 2-Scheiben-Isolierfenstern ein Maximum im Spektrum innen um ca. 200 Hz. Weiterhin wurden mit den real gemessenen Innenlärmpegeln Hörversuche durchgeführt, die weitere wichtige Aussagen zur Lästigkeit dieser

Geräusche zulassen. Die bisherigen Ergebnisse wurden auf einer wissenschaftlichen Fachtagung [28] einem größeren Fachpublikum vorgestellt und dort diskutiert.

4 Weitere Arbeiten an Matlab®-Software-Applikationen

Auf Grund der besonderen Kenntnisse und Fähigkeiten in der Handhabung der mathematisch-wissenschaftlichen Software Matlab® konnte uns Dr. Perchevska weiterhin bei der Erstellung von zwei Software-Applikationen wertschöpfend unterstützen.

4.1 Applikation zur Durchführung von Hörversuchen

Bei der Vorbereitung des Hörversuchs wurde ein Matlab-Programm verwendet, das auf Vorarbeiten des Instituts für technische Akustik (ITA) der RWTH Aachen sowie der Weiterentwicklung durch das National Research Centres (NRC) von Canada beruht. Dieses Programm wurde für unsere Zwecke angepasst, war aber noch immer relativ komplex in der Bedienung und Ausführung. Daher wurde eine separate App „Listening Test“ erstellt, die auch weniger mit Matlab vertrauten Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen die einfache Erstellung und Durchführung eines Hörversuchs ermöglichen soll. Aktuell wird diese App im Rahmen einer Master-Arbeit an der Fachhochschule Rosenheim erprobt.

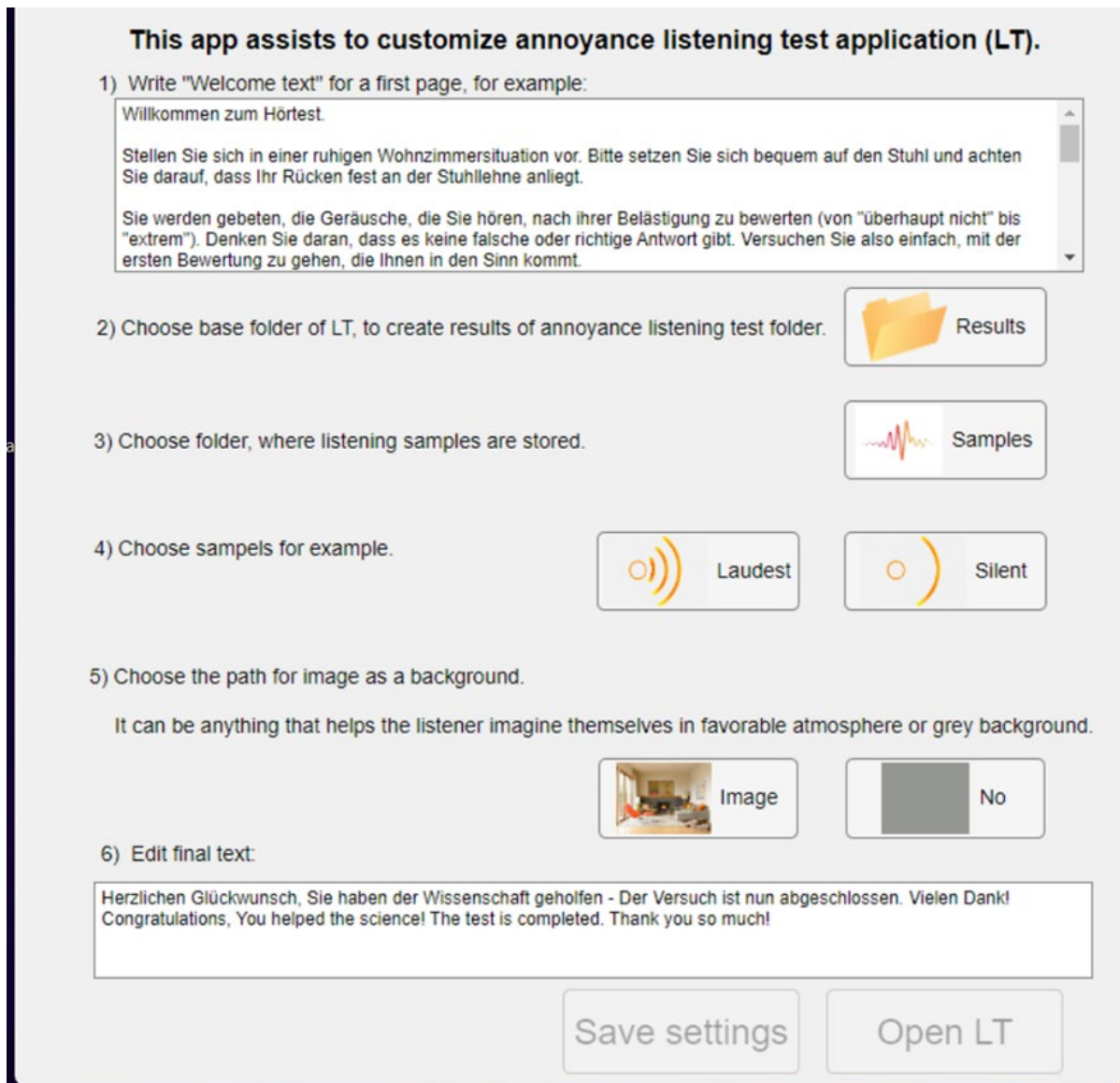


Abbildung 3: Screenshot der App „Listening Test“

4.2 Applikation zur Auralisierung von gefilterten Außengeräuschen

Mit einer weiteren von Dr. Perchevska erstellten Matlab-Software-Applikation "Auralization App" sollen gemessene Außengeräusche durch eine gemessene oder berechnete Fassadendämmung gefiltert und auralisiert, d.h. hörbar gemacht werden (Abbildung 4). Dadurch kann man die gefilterten Außengeräusche mit den ebenfalls gemessenen Innengeräuschen vergleichen. Im Idealfall klingen diese sehr ähnlich und ermöglichen so zukünftig den Verzicht auf die aufwändige Messung von Innengeräuschen und deren Ersatz durch einfacher zu bestimmenden Außengeräusche und Filterung mit der Fassadendämmung. Diese App (Software-Tool) befindet sich derzeit in der Erprobung und ggfs. Weiterentwicklung durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter am ZfB der HfT Stuttgart.

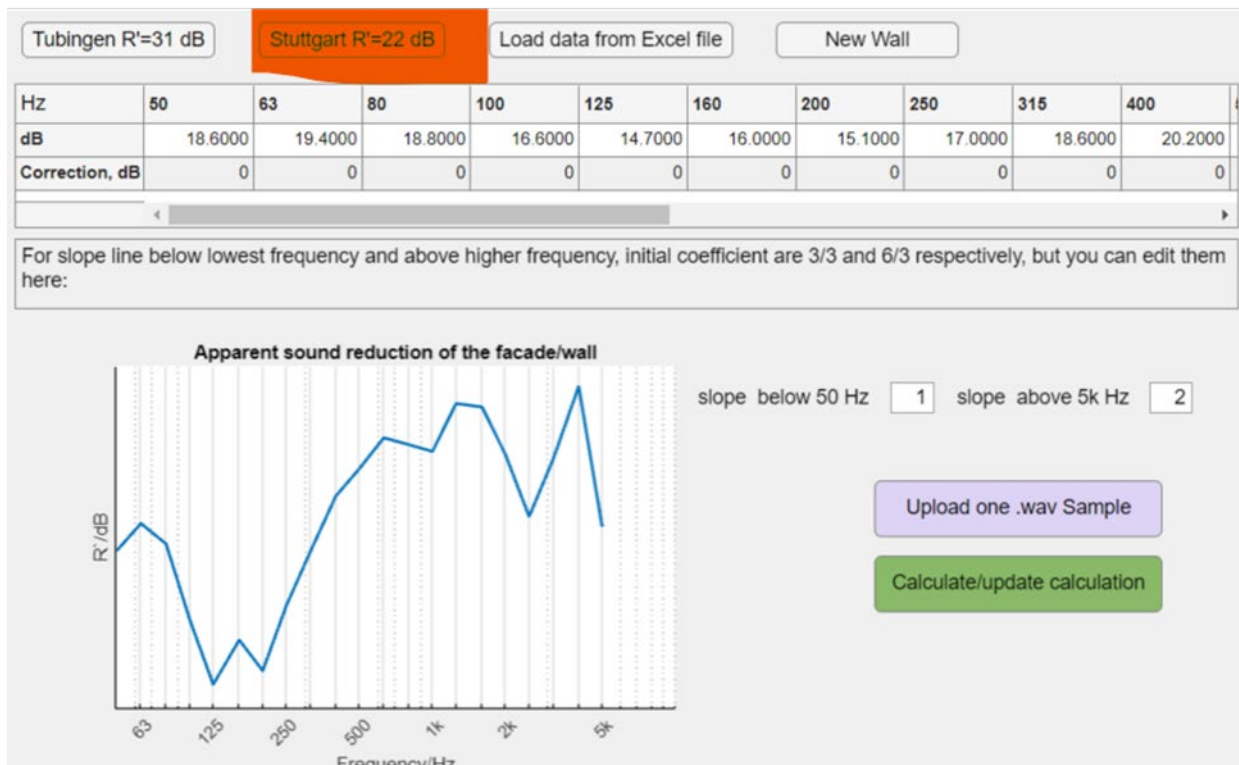


Abbildung 4: Screenshot der “Auralization App”

5 Zusammenfassung und Danksagung

Wir bedanken uns an diese Stelle sehr herzlich für die ausgezeichnete Zusammenarbeit mit Dr. Perchevska, die nach dem Projektabschluss wieder in ihre Heimat nach Kiew zurückkehren wollte, obwohl dort noch immer kein Frieden herrscht. Wir wünschen ihr und ihrem Land für die Zukunft alles Gute! Bei der Carl-Zeiss-Stiftung bedanken wir uns für die schnelle, unbürokratische und großzügige Förderung im Rahmen des Auxiliaris-Stipendiums. Ebenso bedanken wir uns bei allen Unterstützerinnen und Unterstützern an der Hochschule für Technik für ihre vielfältige Hilfe in diesem menschlich ganz besonderen Fall.

Fachliche Bearbeitung:

Projektleiter:

Dr.-Ing. Jan Krüger

Prof. Dr.-Ing. Berndt Zeitler

6 Literatur

- [1] T. Preuß, A. Bunzel, S. Hanke und D. Michalski, „Gute Praxisbeispiele kompakter und zugleich lärmarter städtischer Quartiere“, Umweltbundesamtes, 2020.
- [2] R. Mischke, *Darum sollten Sie ins Erdgeschoss ziehen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.welt.de/finanzen/immobilien/article186306216/Wohnungsnot-Das-Erdgeschoss-soll-Deutschlands-Staedte-retten.html>.
- [3] J. Sethmann, *Das Wohnen im Erdgeschoss hat Unterschätzte Qualitäten*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.berliner-mieterverein.de/magazin/online/mm0407/das-wohnen-im-erdgeschoss-hat-unterschaetzte-qualitaeten-040714.htm>.
- [4] D. Zoller und et al, *Herausforderung Erdgeschoss: Ground floor interface*. Berlin, Ludwigsburg: Jovis; Wüstenrot-Stiftung, 2014.
- [5] Umweltbundesamt, *Lärmbelästigung*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung> (Zugriff am: 13. Februar 2023).
- [6] Umweltbundesamt, *Umweltbewusstseinsstudie 2020*, 2020.
- [7] F. Theakston, Hg., *Burdens of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, 2011.
- [8] *ENVIRONMENTAL NOISE GUIDELINES for the European Region*, WHO, 2018.
- [9] J. Wothge, „WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region: Lärmfachliche Bewertung der neuen Leitlinien der Weltgesundheitsorganisation für Umgebungslärm für die Europäische Region“, Umweltbundesamt.
- [10] *Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen*, 4109-1, DIN 4109-1, 2018.
- [11] S. Eggers und F. Arnhold, *Nutzung von Lärmkarten und Lärmaktionsplänen nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie für die Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels nach DIN 4109: Forschungsbericht*. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2012.
- [12] *Schallschutz im Städtebau – Berechnungsverfahren – Schalltechnische Orientierungswerte für die städtebauliche Planung*, 18005, DIN 18005 E - Beiblatt 1.
- [13] „Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes- Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV)“ in *Die Enteignungsentschädigung*, M. Aust, D. Pasternak und R. Jacobs, Hg., De Gruyter, 2019, S. 465, doi: 10.1515/9783110927825.465.

- [14] *Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm: 6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz*, Bundes-Immissionsschutzgesetz, 1998.
- [15] *Schallschutz im Hochbau Wohnungen: Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz*, VDI 4100, Okt. 2012.
- [16] *DEGA-Empfehlung 103: Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis*, 103, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., 2018.
- [17] H.-M. Fischer und M. Schneider, *Handbuch zu DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau*. Beuth Verlag GmbH, 2019.
- [18] U. Möhler und C. Eulitz, „Tieffrequente Geräusche im Wohnumfeld: Ein Leitfadens für die Praxis“, 2017.
- [19] *Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 3: Luftschalldämmung von Außenbauteilen gegen Außenlärm*, 12354-3, DIN EN ISO 12354-3, 2017.
- [20] M. Ascigil-Dincer, „Listening test on road traffic noise annoyance inside dwellings“. International Congress on Sound and Vibration, Florence, 2015.
- [21] *Acoustics — Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*, ISO/TS 15666, 2021.
- [22] A. Fiebig, „Die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Lärmbekämpfung aus psychoakustischer Sicht“, 2020.
- [23] M. Jäcker-Cüppers und C. Beckert, „Lärmschutz im Städtebau“ in *Bauphysik-Kalender*, Bd. 2020, *Bau- und Raumakustik*, N. A. Fouad, Hg., Berlin: Ernst et Sohn, 2020, S. 1–18, doi: 10.1002/9783433610091.ch1.
- [24] M. Jäcker-Cüppers, „Traditionelle Lärmschutzpolitik und Psychoakustik - prinzipielle Anforderungen an ein erweitertes Indikatorensystem“. DAGA Oldenburg, 2014.
- [25] *Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen Teil 4: Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden*, DIN EN ISO 140-4, 1998.
- [26] *Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung*, DIN EN ISO 16283-1, 2018.
- [27] H. Fastl und E. Zwicker, *Psychoacoustics*, 3. Aufl. Springer, 2007.
- [28] J. Krüger, L. Perchevska, B. Zeitler und M. Müller-Trapet, „Annoyance inside buildings due to road traffic noise“. Hamburg, 2023.