

Die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Lärmbekämpfung aus psychoakustischer Sicht

André Fiebig¹

¹ Technische Universität Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, Fachgebiet Technische Akustik, Einsteinufer 25, 10587 Berlin, E-Mail: Andre.Fiebig@tu-berlin.de

Einleitung

Die von der WHO veröffentlichten Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region fordern aufgrund der systematischen Bewertung neuester Lärmwirkungsbefunde ein höheres Niveau zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Belastungen durch Umgebungslärm [1]. Dabei werden Leitlinienwerte vorgeschlagen, bei denen nachweislich ein erhöhtes Risiko für nachteilige Gesundheitswirkungen besteht. Bei Einhaltung bzw. Unterschreitung der definierten Leitlinienwerte für verschiedene Geräuschquellen sollen erhebliche Risikoanstiege negativer Gesundheitswirkungen vermieden werden. Diese durch die WHO abgeleiteten Leitlinienwerte als L_{DEN} und L_{Night} -Werte sind vielfach kritischer als geltende nationale Richt- und Grenzwerte. Dabei geht die WHO davon aus, dass die empfohlenen Belastungspegel in Bezug auf ihre gesundheitlichen Auswirkungen auf alle europäischen Regionen anwendbar und weltweit geeignet sind, da den Empfehlungen zugrunde liegende Evidenz aus weltweiten Untersuchungen resultiert. Neben der Veröffentlichung der neuen Erkenntnisse zu Dosis-Wirkungszusammenhängen für spezifische Geräuschquellen werden auch geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Belastung diskutiert und quellspezifische Interventionsmöglichkeiten empfohlen.

Gerade unter Berücksichtigung des hohen Schutzniveaus, deren Umsetzung eine große lärmschutzpolitische Herausforderung darstellt, müssen Maßnahmen zur Bekämpfung von Umgebungslärm hinsichtlich deren Wirksamkeit umfassend evaluiert werden. Hierbei erscheint auch eine wahrnehmungsorientierte Bewertung der tatsächlichen Eignung von Lärmschutzmaßnahmen aus Sicht der Psychoakustik geboten. Um das von der WHO geforderte hohe Schutzniveau zu erreichen, gilt es, Maßnahmen zur Lärminderung auch in deren effektiven perzeptiven Wirkung und Nachhaltigkeit zu evaluieren.

Maßnahmen und Interventionen

Die Leitlinien der WHO bieten nicht nur eine fundierte evidenzgestützte Orientierung zum Schutz der Bevölkerung vor Lärmwirkungen, die WHO betrachtet ebenfalls Maßnahmen bezüglich deren Wirksamkeit zur Verringerung der Belastung durch Umgebungslärm einschließlich der dadurch bedingten Gesundheitsergebnisse. Abschließend empfiehlt die WHO für die verschiedenen lärmrelevanten Geräuschquellen entsprechende auf das Kriterium der Wirksamkeit bezogene Maßnahmen, die sich auf die Quelle, Ausbreitung, Infrastruktur oder sogar auf Verhaltensregulierungen beziehen. Tabelle 1 zeigt eine systematische Auflistung von Maßnahmen, die zur Verringerung von Belastungen und gesundheitlichen Auswirkungen je nach Geräuschquelle relevant sein können.

Tabelle 1: Übersicht zu Lärmschutzmaßnahmen [nach 2]

| Maßnahmen-kategorie | Maßnahmen-unterkategorien |
|----------------------------|---|
| quellbezogen | Reduzierung Emissionen, zeitliche Einschränkungen von Geräuschquellen |
| transmissions-bezogen | Veränderung der Transmission, sekundärer Lärmschutz |
| infrastruktur-bezogen | Planung, „Kapselung“ von Geräuschquellen |
| andere physische Maßnahmen | Veränderung anderer physischer Dimensionen (Wohnhäuser, Wohngebiete) |
| Verhaltens-änderungen | Verhaltensänderungen zur Geräuschreduktion, Vermeidung von Belastungen, Kommunikation, Aufklärung |

In der Diskussion zur Wirksamkeit von Lärmschutzmaßnahmen muss auch der Einfluss von nicht-akustischen Faktoren auf Dosis-Wirkungs-Relationen anerkannt und als Störfaktor interpretiert werden. Hierunter fallen auch Faktoren, wie Persönlichkeitsmerkmale (z. B. Lärmempfindlichkeit), Einstellung zur Geräuschquelle und persönliche Bewältigungsstrategien im Umgang mit Lärm, aber auch intermodale Kombinationsbelastungen (Erschütterungen, Luftverschmutzung, optische Bedrängung) [1]. Dabei geht man allgemein davon aus, dass etwa nur ein Drittel der Varianz bei Belästigungsdaten durch akustische Faktoren und ein ähnlicher Anteil mit psychologischen und sozialen Variablen aufgeklärt werden kann [3]. Eine umfangreichere Betrachtung von akustischen Faktoren findet jedoch häufig nicht statt und Dosis-Wirkungszusammenhänge werden ausschließlich auf pegelbezogene Größen bezogen. Folglich schlussfolgert die WHO: „Further studies directly linking noise interventions to health outcomes are required, particularly for sources other than road traffic noise, and for human health outcomes other than annoyance.“[1] Vielfach liegt also keine ausreichende Evidenz vor, um eine Art von Maßnahme gegenüber einer anderen begründet vorzuziehen.

Aus älteren Untersuchungen ist bereits bekannt, dass Maßnahmen zur Bekämpfung von Umgebungslärm teilweise nicht den erwarteten Erfolg zeigten. Beispielsweise ließ sich beobachten, dass die erwartete Verringerung der Geräuschbelastung beim Bau einer Lärmschutzwand nicht gemäß der Reduktion des Schalldruckpegels ausfällt [4]. Häufig jedoch lässt sich auch ein Überschusseffekt (*Change Effect* bzw. *Excess Effect*) beobachten, d.h. nach einer Intervention tritt eine deutlichere Veränderung der Bewertung durch die Betroffenen auf, als dies durch Bezug auf die Dosis-Wirkungsbeziehungen zu erwarten wäre. Nach Brown und Kamp sollte dieser „reale Effekt“ (der je nach Veränderung in die positive wie auch negative Richtung wirkt) in Vorhersagen zur Reaktion von Betroffenen mit der Begründung einbezogen werden:

„To do otherwise would be to deny them important information regarding potential community response in these contexts“ [2].

Psychoakustische Aspekte

Die Psychoakustik, die sich mit der quantitativen Beschreibung der Zusammenhänge von Geräuscheigenschaften und den dadurch hervorgerufenen Empfindungen beschäftigt, bietet erweitertes Wissen über die Wirkung von Geräuschen auf den Menschen. Sie erlaubt eine detaillierte Charakterisierung der durch (Umwelt-)Geräusche ausgelösten Hörempfindungen.

Die Anzahl an Geräuscheignissen ist aus psychoakustischer Sicht oft relevant und wird auch häufig als ein wirkungsrelevantes Merkmal angesehen [2]. Dabei wird davon ausgegangen, dass durch wahrnehmbare Einzelereignisse wiederholt die Aufmerksamkeit von Belasteten auf den Stressor, d.h. die störende Geräuschquelle, gelenkt wird. Dieser Effekt verringert sich nicht gleichwertig mit einer Schalldruckpegelabnahme, sofern das Einzelereignis hörbar bleibt. So konnten beispielweise Veränderungen in Dosis-Wirkungsrelationen bezüglich Fluglärm im Vergleich von 1982 zu 2005 mittels einer gewichteten Berücksichtigung der Anzahl an Überflügeignissen aufgeklärt werden [5]. Analog stellt auch Guski et al. fest, dass Häufigkeiten von Flugbewegungen kaum weniger stark mit Belästigungsangaben korrelieren als der Dauerschallpegel [6]. Die Ursachen für die „Verschiebung“ der Dosis-Wirkungsrelationen sind jedoch nicht schlüssig geklärt, „they may be due to co-determinant factors, like vibration, valleys, or high traffic volume as well as other factors, such as societal factors“ [7]. Geräuschbezogene, psychoakustische Aspekte sind in diese Diskussion ebenfalls einzubeziehen.

Zur näheren Betrachtung der Aussagekraft von psychoakustischen Größen werden die im Rahmen einer COST Action TD0804 [8] wiederholt durchgeführten Ortsbegehungen in Aachen betrachtet. Die Datenerhebung erfolgte über mehrere Jahre (2010, 2011, 2012, 2015) mittels der Soundwalk-Methodik, die in Anlehnung an die ISO/TS 12913-2 [9] realisiert wurde. Dabei suchten die Teilnehmenden der Ortsbegehungen definierte Orte auf und nahmen in-situ verschiedene Bewertungen bezüglich der jeweiligen Umgebungsgeräusche vor. Zusätzlich wurden parallel akustische Messungen mittels eines binauralen Messsystems durchgeführt. Die Messdauer an den Messorten betrug jeweils drei Minuten. Nach dieser Expositionszeit bewerteten die Versuchsteilnehmenden u. a. die *wahrgenommene Lautheit* und die *Unangenehmheit* der Umgebungsgeräusche auf 5-stufigen kontinuierlichen Kategorienskalen. Insgesamt nahmen 57 Personen an den Ortsbegehungen teil, die in den verschiedenen Jahren dieselben Orte aufsuchten und beurteilten. Um den Einfluss von Reihenfolgeeffekten zu verringern, wurde die Reihenfolge der aufgesuchten Messorte variiert. Der beobachtete Zusammenhang der individuellen Urteile zur Unangenehmheit mit der vor Ort gemessenen Lautstärke der Umgebungsgeräusche (L_{Aeq} , psychoakustische Lautheit N nach ISO 532-1 [10]) fiel mit aus der Literatur bekannten Varianzaufklärungen durchaus vergleichbar aus [vgl. 3]. Abbildung 1 zeigt die Bewertungen in Bezug auf die gemessenen

L_{Aeq} -Werte sowie psychoakustischen Lautheitswerte nach der ISO 532-1. Insgesamt lassen sich durch die psychoakustische Lautheit 42% der 456 Einzelbewertungen aufklären, wohingegen der Mittelungspegel L_{Aeq} ein Bestimmtheitsmaß von nur 0.36 aufweist. Dies zeigt, dass durch die Verwendung von wahrnehmungsbezogenen, psychoakustischen Größen im Vergleich zu einfachen Pegelgrößen mehr Varianz aufgeklärt werden kann. Da die Bewertung der Unangenehmheit nicht nur durch die Lautstärke bestimmt wird, lässt sich durch die Betrachtung von weiteren Größen (Schärfe, Tonalität) möglicherweise eine verbesserte Vorhersage der Lästigkeit von Umweltgeräuschen realisieren.

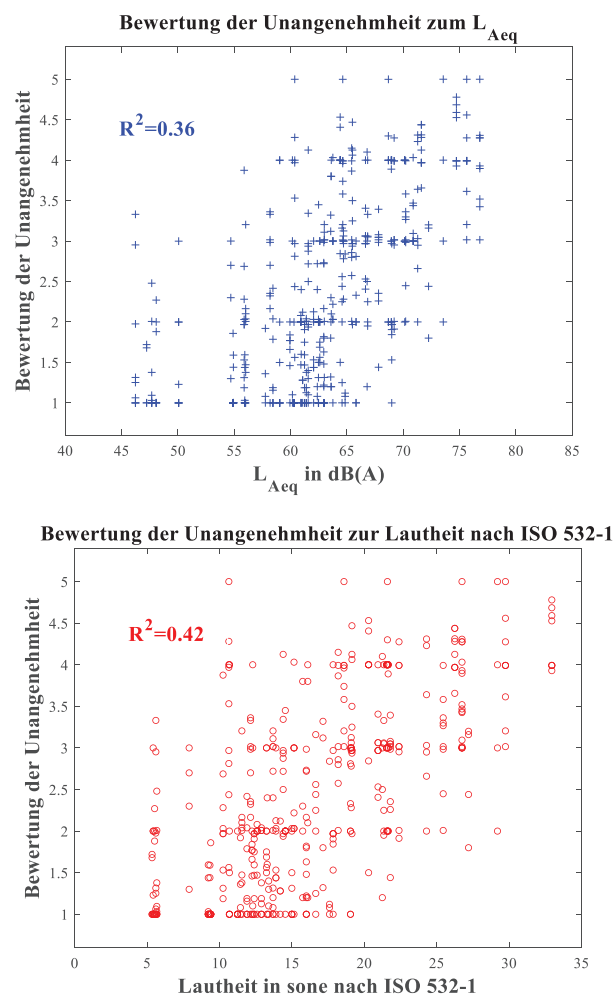


Abbildung 1: In-situ Bewertungen der Unangenehmheit von Umgebungsgeräuschen und die korrespondierenden äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} (oben) sowie Lautheitswerte nach ISO 532-1 (unten)

Ferner, wie Abbildung 2 zeigt, lassen sich mit in-situ Urteilen, in denen nur eine zeitlich begrenzte Episode von den Versuchsteilnehmenden betrachtet werden kann, robuste Zusammenhänge zu üblichen (L_{Aeq}) oder psychoakustischen Größen (Lautheit N nach ISO 532-1) beobachten. Dies verdeutlicht die prinzipielle Möglichkeit, durch derartige Ortsbegehungen ortsspezifische Gegebenheiten explizit in Lärmschutzüberlegungen einfließen zu lassen.

Abbildung 3 verdeutlicht, dass eine Verringerung des Schalldruckpegels, z. B. durch Installation einer Schallschutzwand, nicht zwingend in gleichem Maße zur relativen Abnahme anderer psychoakustischer Größen führt.

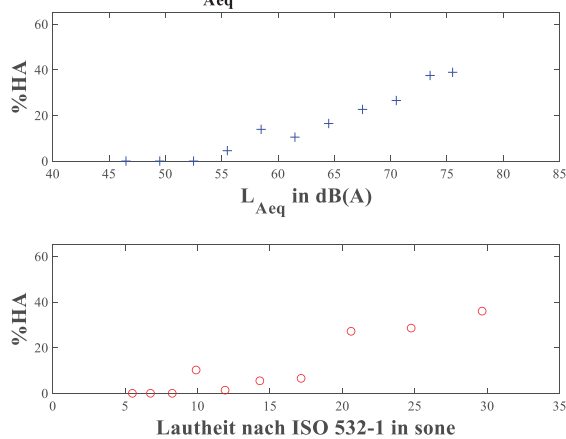
Zusammenhang von L_{Aeq} und Lautheit mit in-situ Urteilen (%HA)

Abbildung 2: Anteil von in-situ Bewertungen zur Unannehmlichkeit (Anteil *erheblich unangenehm* (%HA)) von Umgebungsgeräuschen über den äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} (oben) sowie Lautheitswerte nach ISO 532-1 (unten)

Die psychoakustischen Karten wurden mit Hilfe eines Analyse- und Syntheseverfahrens erstellt [11], mit dem die Geräuscherzeugung von Fahrzeugen modelliert und die resultierenden Verkehrsgeräusche auralisiert werden konnten. Die schwächere Abnahme von anderen, nicht pegelbezogenen Größen (z. B. Anzahl an Geräuscheignissen, Schärfe, Rauigkeit, Schwankungsstärke) könnte erklären, warum die Reduktion der Belästigung teilweise geringer ausfällt als erwartet [12].

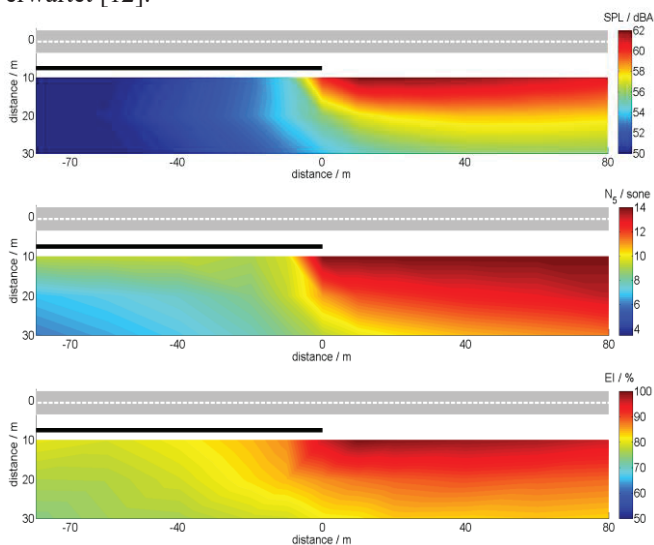


Abbildung 3: „Lärm“-Karten auf Basis von iterativen Auralisierungen einer definierten innerstädtischen Straßenverkehrssimulation. Von -80 m bis 0 m wurde eine 5 m hohe Lärmschutzwand simuliert: Oben: A-bewerteter Schalldruckpegel, Mitte: Lautheit nach DIN 45631/1, unten: Bewertungsindex zur Vorhersage der Lästigkeit (Metrik mit verschiedenen psychoakustischen Größen) [13]

Ruhige Gebiete

Neben der Verringerung der Geräuschbelastung gilt der Schutz von ruhigen Gebieten als ein wichtiges strategisches Ziel der EU-Umgebungsärmrichtlinie, da dies „ein wichtiges Qualitätsmerkmal von dicht besiedelten Städten“ ist [14]. Die Wirkung ruhiger Gebiete in urbanen Kontexten erfordert ein erweitertes Verständnis von Dosis-Wirkungsrelationen. Es

wurde beobachtet, dass sich die bewertete Belästigung durch Verkehrslärm im Wohnumfeld verringert, wenn ein Zugang zu einem ruhigen Gebiet besteht [15]. Ruhige Gebiete können als belästigungsverringend und möglicherweise sogar als gesundheitsfördernd interpretiert werden. Dabei geht es nicht um Stille, die für viele Menschen tendenziell beängstigend wirkt, sondern um Ruhe und auditive Erholung [16]. Eine gute Qualität einer Klanglandschaft ist nicht schlicht mit der Abwesenheit von lästigen Geräuschen gleichzusetzen [17]. Erholung lässt sich nicht nur mit Ruhe und Vermeidung mentaler Ermüdung aufgrund verbrauchter Aufmerksamkeitskapazität erzielen, auch *faszinierende, affordante* Umgebungen können einen hohen Erholungscharakter implizieren. Die Theorie der Erholung von attentionaler Ermüdung aufgrund von vier Kernkomponenten nach Kaplan [18] legt dabei nahe, dass absolute Schalldruckpegelgrenzwerte als Auswahlkriterium für ruhige Gebiete mit hoher Aufenthaltsqualität zu kurz greifen. Van Rentergem schätzt beispielsweise den positiven Effekt von "*visible green from home with relation to annoyance*" in Form eines Pegeläquivalents auf bis zu 10 dB(A) [19]. Dieser Effekt, nur schwächer ausgeprägt, wäre auch zu beobachten, wenn Grünflächen nicht unmittelbar von der Wohnung sichtbar sind. Dieser Interaktionseffekt wird von Watts und Pheasant in dem sogenannten *Tranquility Index* aufgenommen, der die positive Wirkung von Naturkomponenten und von Vegetation auf die Geräuschwahrnehmung quantifiziert [20]. Dabei werden verschiedene, für die wahrgenommene Ruhe relevante Faktoren (Schalldruckpegel, Anteil der naturbezogenen und kontextuellen Features einer Umgebung) in einer Berechnungsvorschrift kombiniert.

Neben dem positiven Beitrag naturbezogener Komponenten auf die erlebte akustische Umgebung können bestimmte Geräuschquellen grundsätzlich auch zu einer Aufwertung der Aufenthaltsqualität führen, was konträr zur Anwendung pegelbasierter Grenzwerte steht. Beispielsweise lässt sich durch die Installation von Springbrunnen an öffentlichen Plätzen - aufgrund der Maskierung von Verkehrsgeräuschen - häufig eine Verbesserung der akustischen Qualität erzielen [21]. Nach wie vor besteht aber bezüglich der wahrgenommenen akustischen Qualität von ruhigen Gebieten einschließlich Dosis-Wirkungs-Beziehungen und der Entwicklung von Indikatoren und Methoden zur Beurteilung ruhiger Gebiete erheblicher Forschungsbedarf [14]. Nur mit Kenntnis der zur (auditiven) Erholung beteiligten akustischen und nicht-akustischen Faktoren lassen sich geeignete Maßnahmen zum Schutz und Erhalt ruhiger Gebiete ableiten.

Zusammenfassung

Die von der WHO im Jahre 2018 veröffentlichten Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region zeigen den dringlichen Bedarf einer ambitionierten Lärmschutzpolitik zum umfassenden Schutz der Bevölkerung vor Gesundheitswirkungen. Dabei wurden auch eine quellenorientierte Eignung von Lärmschutzmaßnahmen diskutiert. Grundsätzlich haben Lärmschutzmaßnahmen nicht nur auf die unmittelbare Geräuschbelastung eine Wirkung. Gleichmaßen liegt bezüglich extra-auraler Lärmwirkungen eine ausreichende Evidenz für den Mehrwert von Interventionen vor, obgleich die Studienlage nicht ausreicht, für alle lärmrelevanten

Geräuschquellen die Wirksamkeit von Maßnahmen belastbar zu evaluieren [1]. Insgesamt sind die Erkenntnisse von Lärmschutzmaßnahmen und deren Wirksamkeit zur Verringerung von Lärmwirkungen derartig gering, dass die WHO gar von einem „research gap“ sprechen muss [1].

Eine schalldruckpegelbezogene Bewertung von Umweltgeräuschen erscheint bezüglich einer differenzierten Betrachtung von Geräuschbelästigungen und Lärmwirkungen unzureichend. Mit Hilfe der Psychoakustik, die zunehmend standardisierte Berechnungsgrößen bereitstellt und auf die detaillierte Erfassung und Beschreibung von Hörempfindungen abzielt, lassen sich einzelne Geräuscheigenschaften und die dadurch hervorgerufenen Reaktionen verbessert abschätzen. Beispielsweise lässt sich eine gewisse Erhöhung der Varianzaufklärung bei Bewertungsdaten durch die Hinzunahme der Psychoakustik, wie die Auswertung von Ortsbegehungen mit in-situ-Geräuschbewertungen zeigt, vermuten.

Ein besseres Verständnis von den Dosis-Wirkungszusammenhängen wäre auch für eine wirkungsorientierte Evaluation von Lärmschutzmaßnahmen förderlich. Da zur Berechnung psychoakustischer Größen stets der Zugang zu Zeitsignalen erforderlich ist, müssen diverse Herausforderungen bezüglich akustischer Messungen von Umgebungsgeräuschen in der Praxis adressiert werden. Jedoch versprechen die zunehmenden Fortschritte zur Auralisierung von komplexen Geräuschsituationen [22] die zukünftige Betrachtung psychoakustischer Größen auch in der Prognose und für Planungsfragen.

Literaturverzeichnis

- [1] World Health Organization. Noise guidelines for the European Region, Kopenhagen, Dänemark, 2018
- [2] Brown, A.L., van Kamp, I.: WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review of transport noise interventions and their impacts on health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(8), 2017
- [3] Guski, R.: Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise Health*. 3, 45-56, 1999
- [4] Penn-Bressel, G.: Subjektive Wirksamkeit von Lärmschutzmaßnahmen, Fortschritte der Akustik, DAGA 1988, Braunschweig, 1988
- [5] Masurier, P. le, Roberts, M., Flindell, I., Bates, J.: Attitudes to Noise from Aviation Sources in England (ANASE), Executive Summary for Department for Transport, Norwich, 2007
- [6] Guski, R. Schreckenberger, D., Brink, M., Isermann, U. Schmid, R., Schäffer, B., Wunderli, J.M.. (2018). Ein Projekt zur Re-Analyse von Fluglärm-Belästigungsdaten: Leq+X, DAGA 2018, München, 2018
- [7] Guski, R., Schreckenberger, D., Schuemer, R.: WHO environmental noise guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14(12), 2017
- [8] COST Action TD 0804: Soundscape of European Cities and Landscapes COST Action, <http://soundscape-cost.org>, 2010-2012
- [9] ISO/TS 12913-2:2018: Acoustics-Soundscape-Part 2: Data collection and reporting requirements. International Organization for Standardization, Genf, Schweiz, 2018
- [10] ISO 532-1: 2017. Acoustics. Methods for calculating loudness. Part 1: Zwicker method, International Organization for Standardization, Genf, Schweiz, 2017
- [11] Fiebig, A., Marla, P.: Auralization and psycho-acoustic analysis of virtual road traffic scenarios, Noise in the Built Environment, Ghent, Belgien, 2010
- [12] Nilsson, M.E., Berglund, B.: Noise annoyance and activity disturbance before and after the erection of a roadside noise barrier, *J. Acous. Soc. Am.*, 119 (4), 2178-2188, 2006
- [13] Fiebig, A., Guidati, S., Goehrke, A.: Psychoacoustic Evaluation of Traffic Noise, DAGA/NAG 2009, Rotterdam, Niederlande, 2009
- [14] Hintzsche, M.: Der Schutz ruhiger Gebiete – Ein Beitrag zur Stadtentwicklung. In: UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst, Nr. 02/2014, 44-54, 2010
- [15] Gidlöf-Gunnarsson, A., Öhrström, E.: Noise and well-being in urban residential environments: The potential role of perceived availability to nearby green areas, *Landscape and Urban Planning*, 83 (3), 115-126, 2007
- [16] European Environment Agency: Good practice guide on quiet areas. EEA technical report No 4. European Environment Agency, Kopenhagen, 2014
- [17] Nilsson, M.E., Berglund, B.: Soundscape quality in suburban green areas and city parks, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 92 (6), 903-911, 2006
- [18] Kaplan, S.: The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework, *J. Environ. Psychol.*, 15:169-182, 1995
- [19] van Renterghem, T.: Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise, *Urban Forestry & Urban Greening* 40, 133-144, 2019
- [20] Watts, G., Pheasant, R.: Tranquillity Trails - linking positive soundscapes for healthier cities, *Internoise*, San Francisco, USA, 2015
- [21] Jeon, J.Y., Lee, P.J., You, J., Kang, J.: Perceptual assessment of quality of urban soundscapes with combined noise sources and water sounds, *J. Acoust. Soc. Am.*, 127(3), 1357-1366, 2010
- [22] Pieren, R.: Auralization of Environmental Acoustical Sceneries Synthesis of Road Traffic, Railway and Wind Turbine Noise, Dissertation, Zürich, Schweiz, <http://repository.tudelft.nl>, 2018