

Ein Erhebungsinstrument zur differenzierten Bewertung von Straßenverkehrsgeräuschen

Paul Schweidler¹, Astrid Oehme¹, André Fiebig²,
Moritz Schuck⁴, Michael Chudalla³, Fabio Strigari³, Stefan Weinzierl⁴

¹ HFC Human-Factors-Consult GmbH, 12555 Berlin, Deutschland, Email: schweidler@human-factors-consult.de

² TU Berlin, Fachgebiet Technische Akustik ³ Bundesanstalt für Straßenwesen ⁴ TU Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation

Abstract

Das Erleben der Soundscape Straßenverkehr wird oft vereinfachend als Lästigkeit quantifiziert und mit konventionellen Schalldruckpegelindikatoren in Verbindung gebracht. Die Wahrnehmung von Straßenverkehrsgeräuschen beinhaltet jedoch verschiedene Komponenten, deren Objektivierung komplex ist. Eine differenzierte Betrachtung der Komplexität dieser Wahrnehmungskomponenten erfolgte bisher zwar für Umgebungsgeräusche allgemein, für Straßenverkehrsgeräusche bestanden hingegen noch weitgehende Forschungslücken. In zwei aufeinander aufbauenden Studien wurden Straßenverkehrsszenen akustisch realistisch in einer virtuellen Testumgebung präsentiert, um zunächst von Menschen genutzte Attribute zur Beschreibung von Straßenverkehrsgeräuschen zu erheben und daraus anschließend ein Modell für Beschreibungsdimensionen zu erarbeiten. Die Studienergebnisse zeigen deutlich, dass Menschen Straßenverkehrsgeräusche auf mehreren Dimensionen wahrnehmen, die interindividuell Bestand haben. Für die Erhebung dieser Dimensionen wurde ein Fragebogen entwickelt, der eine umfassende qualitative Beurteilung des Höreindrucks ermöglicht. Damit kann die Bewertung von durch Straßenverkehr erlebtem Lärm qualitativ besser eingeordnet und die Wirkung von Schallschutzmaßnahmen differenzierter betrachtet werden.

Einführung

Straßenverkehrslärm ist die am weitesten verbreitete Quelle von Umgebungslärm und trägt am stärksten zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm bei [1]. Das Ziel, möglichst wirksame Lärmschutzmaßnahmen zu ermitteln und umzusetzen, um die nachteiligen Auswirkungen des Straßenverkehrslärms zu verringern, scheint daher naheliegend. Die Bewertung der Auswirkungen von Verkehrslärm und der Wirksamkeit von Lärminderungsmaßnahmen hat sich in der Vergangenheit jedoch oft als schwierig erwiesen, wiewohl die vom Menschen berichtete Belästigung doch in vielen Fällen von dem ab, was Veränderungen des Schalldruckpegels und einfache Dosis-Wirkungs-Beziehungen vermuten ließen [2, 7]. Diese Diskrepanz lässt sich teilweise verstehen, wenn man den Straßenverkehrsgeräusche als Sonderfall einer städtischen Geräuschkulisse betrachtet, die kontextabhängig wahrgenommen und affektiv bewertet wird [3] und für die es eine Vielzahl potenziell relevanter Einflussgrößen geben kann [4, 5]. Die Wahrnehmungsqualitäten akustischer Umgebungen sind ein Thema, das sich in der jüngeren Vergangenheit eines steigenden wissenschaftlichen Interesses erfreut [11, 10, 9, 8]. Spezi-

fisch für Straßenverkehrsgeräusche als Hauptschallquelle in städtischen Umgebungen existieren jedoch weder Modelle noch dedizierte psychologische Erhebungsinstrumente. Um diesem Mangel zu begegnen, wurde im Rahmen der nachfolgend beschriebenen dreistufigen Studie ein neuer Fragebogen zur quantitativen Bewertung der Wahrnehmungsqualitäten von Straßenverkehrsgeräuschen entwickelt.

Kurzdarstellung der drei Studien und ihrer Ergebnisse

Es wurden drei unabhängige, aber aufeinander aufbauende Hörversuche durchgeführt. Bei Versuch I handelte es sich um eine explorative Studie, die darauf abzielte, möglichst viele Attribute zu sammeln, die Menschen typischerweise zur Beschreibung von Straßenverkehrslärm verwenden würden, um auf dieser Basis einen ersten Fragebogen zu entwerfen. In Versuch II wurden typische, realweltliche Straßenverkehrssoundscapes anhand dieses initialen Fragebogens bewertet und die Ergebnisse einer Faktorenanalyse unterzogen. Das Ziel von Versuch III war es, die entstandene Faktorenstruktur zu validieren und außerdem die qualitative Wirkung verschiedener Lärminderungsmaßnahmen zu testen (dazu siehe [6]).

Material

Für das Stimulusmaterial wurden audiovisuelle Aufnahmen an 39 verschiedenen Orten im Stadtgebiet und der Umgebung von Berlin gemacht. Die Audioaufnahmen wurden mit einem 19-kanaligen Kugelmikrofon-Array durchgeführt, das Aufnahmen im Ambisonics-Format dritter Ordnung ermöglichte (Zylia ZM-1). Gleichzeitig wurde Videomaterial mit einer 360-Grad-Kamera in 8K-Auflösung (Insta360 Pro II) aufgenommen. Um die ökologische Validität der aufgezeichneten Szenen im Labor sicherzustellen, wurden die Schalldruckpegel am Aufnahmeort kontinuierlich mit einem kalibrierten Pegelmessgerät mit einem Messmikrofon der Klasse 2 (NTI XL2) aufgezeichnet. Die drei Hörversuche wurden im Mixed Reality Design Lab der TU Berlin und der UdK Berlin durchgeführt. Das Labor ist mit einem 21.2 Higher Order Ambisonics (HOA) Array ausgestattet, das die Erzeugung von immersiven 3D-Klangfeldern in einem zentralen Hörbereich von etwa 3x3m ermöglicht.

Experiment I

Für das erste Experiment wurden 73 audiovisuelle Szenen von je 20 Sekunden aus dem Originalmaterial ausgewählt. Durch Vortests und unter Berücksichtigung der Merkmale jeder Szene (Straßenoberfläche, Verkehrsdichte, Verkehrszusammensetzung, Geschwindigkeitsbegren-

zung, Verkehrsfluss, Immissionspunkt, Verkehrsrichtung) sollte eine Auswahl getroffen werden, die die gesamte Vielfalt der Aufnahmen repräsentiert. Die Szenen wurden dann zu 40 Dyaden zusammengefasst, wobei sich die Szenen in jeder Dyade in mindestens drei der sieben vordefinierten Merkmale unterscheiden mussten. $N = 22$ Teilnehmende (9 weiblich, 13 männlich) im Alter von 22 bis 64 Jahren ($M = 38.6$, $SD = 13.4$) nahmen an dem ersten Experiment teil. Ihnen wurden in 43 Versuchsdurchläufen (davon 3 zur Übung ohne Datenerhebung) jeweils zwei aufeinanderfolgende audiovisuelle Szenen präsentiert. Für jede dieser Dyaden wurden die Versuchspersonen gebeten, Attribute zu nennen, die die Szenen und insbesondere die Unterschiede zwischen den beiden Szenen am besten beschrieben. Die genannten Attribute wurden dokumentiert und anschließend semantisch-qualitativ analysiert: Die Rohdaten wurden um Attribute, die sich hauptsächlich auf visuelle Eindrücke bezogen, um Nicht-Attribute (z.B. "Ich höre ein Auto") und um Duplikate bereinigt. Die verbleibenden Attribute wurden anschließend in theoriebasierte Cluster gruppiert. Darunter waren psychologische Kategorien wie die Basisemotionen und die Dimensionen Valenz, Aktivierung und Dominanz, klangbildbezogene Dimensionen wie Ereignisfülle oder Vertrautheit, und akustische Kategorien wie Lautstärke und Geräuschcharakter. In einem mehrstufigen Prozess wurden daraus die wichtigsten, nicht redundanten Item-Kandidaten für den initialen Fragebogenentwurf für Experiment II ausgewählt. Die Entscheidungen wurden von einer Gruppe mit Expertise in Akustik, Psychoakustik und Psychologie anhand mehrerer Kriterien getroffen (u.a. Verständlichkeit der Attribute, Repräsentativität für die jeweilige Kategorie, Semantik). Die 4626 von den Versuchspersonen genannten Attribute und Umschreibungen wurden in diesem Zuge auf 59 Attribute reduziert, die dann den Pool von Fragebogenelementen für Experiment II bildeten.

Experiment II

Für das zweite Experiment wurden 32 Audioszenen von je 30 Sekunden aus dem Originalmaterial ausgewählt. In einem Vortest hatte sich herausgestellt, dass diese Dauer gerade lang genug war, um den Teilnehmern genügend Zeit zu geben, in die Soundscape einzutauchen, und kurz genug, damit die Szene als homogen wahrgenommen wurde. Für jeden Durchgang des Experiments wurde eine Zufallsauswahl von 15 Szenen getroffen. $N = 78$ Personen (30 weiblich, 48 männlich) im Alter von 21 bis 85 Jahren nahmen an Experiment II teil ($M = 39.5$, $SD = 19.4$). Als Teil der Instruktionen erhielten die Versuchspersonen eine Liste mit allen 59 Items des Fragebogens in alphabetischer Reihenfolge, um sich damit vertraut zu machen und ggf. Fragen zu stellen. Im Experiment wurde dann von jedem Probanden eine Auswahl von 15 der 32 Szenen anhand der 59 Likert-skalierten Items bewertet.

Um die Anzahl der zugrundeliegenden Dimensionen in dem in Experiment II erhaltenen Datensatz zu bestimmen und die Anzahl der Items im Fragebogen zu reduzieren, wurden sämtliche Antworten einer explorative Faktorenanalyse (EFA) unterzogen. Aus drei möglichen Lösungen mit guter Passung ($CFI_{8-Faktor} =$

0.95 , $CFI_{7-Faktor} = 0.93$, $CFI_{5-Faktor} = 0.88$) wurde von einer Expertengruppe unter Berücksichtigung der Konsistenz und Interpretierbarkeit der Faktoren sowie der Augenscheinvalidität der zugehörigen Items die siebenfaktorielle Lösung ausgewählt. Um die Dimensionalität, Reliabilität und diskriminante Validität der sieben durch die EFA ermittelten Faktoren zu testen, wurde zudem eine konfirmatorische Faktorenanalyse (CFA) am gleichen Datensatz durchgeführt. Der Gesamttest der Anpassungsgüte war signifikant mit $\chi^2 = 622.111$; $df = 168$; $p < .001$, das CFA-Messmodell zeigte eine gute Anpassung an die empirischen Daten ($RMSEA = .06$; $CFI = .94$; $SRMR = .05$). Der nun vorläufig geprüfte Fragebogen bestand aus den sieben Faktoren VALENZ, DYNAMIK, RISKANZ, SCHWERE, SCHÄRFE, NÄHE und KONSISTENZ, die jeweils durch drei Items abgebildet wurden. Er wurde für weitere Untersuchungen im dritten Experiment genutzt.

Experiment III

Das dritte Experiment hatte das vorrangige Ziel, Lärminderungsmaßnahmen auf ihre perzeptive Wirksamkeit im Gegensatz zur technischen Wirksamkeit zu prüfen (siehe [6]). Die Erhebung wurde aber auch dazu genutzt, die Faktorenstruktur und damit auch den Fragebogen anhand einer weiteren Stichprobe zu validieren. Die Stimuli in diesem Experiment waren 17 audiovisuelle Verkehrsszenen, ähnlich wie in Experiment I. Die Aufnahmen wurden in der Nachbearbeitung jedoch teilweise modifiziert, um die Wirkung verschiedener Lärminderungsmaßnahmen an diesen Orten darzustellen. Die Stichprobe für Experiment III bestand aus $N = 40$ Teilnehmern (11 Frauen, 29 Männer) im Alter von 22 bis 55 Jahren ($M = 31.88$; $SD = 9.25$), jede Versuchsperson bewertete 17 Szenen anhand von 22 Items, die sich aus drei Items für jeden der sieben Faktoren und dem Kriteriums-Item „lästig“ zusammensetzten. Die CFA ergab mit $\chi^2 = 521.318$; $df = 168$; $p < .001$ eine signifikante allgemeine Modellpassung und mit ($RMSEA = .07$; $CFI = .93$; $SRMR = .07$) eine befriedigende Anpassungsgüte an die empirischen Daten.

Zusammenfassung und Ausblick

Der entwickelte Fragebogen erfasst die Beschreibungsdimensionen VALENZ, DYNAMIK, RISKANZ, SCHWERE, SCHÄRFE, NÄHE und KONSISTENZ mit jeweils drei Items. Die Dimension VALENZ umfasst dabei, wie angenehm ein auditiver Stimulus empfunden wird und ähnelt damit der bekannten klassischen Affektdimension, die in anderen Forschungsarbeiten bereits zur Bewertung von Umgebungsgeräuschen eingesetzt wurde ([12]). DYNAMIK beschreibt, wie ereignis- und detailreich ein Höreindruck bewertet wird. RISKANZ bildet ebenfalls eine affektive Komponente des Hörerlebens ab, allerdings in einer negativen Konnotation. SCHWERE adressiert eher tieffrequente, basshaltige Aspekte eines auditiven Stimulus. SCHÄRFE korrespondiert mit der gleichnamigen psychoakustischen Komponente des Hörerlebnisses zuzüglich auffälliger tonaler Komponenten. NÄHE beschreibt, wie direkt und auch wie dominant ein Hörereignis aus dem Straßenverkehrsspektrum emp-

funden wird. KONSISTENZ wiederum bezieht sich auf den Verlauf des Geräusches, z.B. wie gleichmäßig dieses empfunden wird.

Als Ergebnis der Studienreihe konnte gezeigt werden, dass die Wahrnehmung der Straßenverkehrsgeräusche ein mehrdimensionales Konstrukt ist, das durch die bisherigen Erhebungsmethoden nur unzureichend erfasst werden konnte. Die beobachteten Dimensionen haben interindividuellen Bestand und tragen differenziert zum Gesamturteil der Lästigkeit von Straßenverkehrslärm bei. Der neu entwickelte Fragebogen „Traffic Noise Quality Inventory“ TraNQi ermöglicht folglich eine qualitative Beurteilung des Höreindrucks abseits von ausschließlich lautstärkebezogenen Größen und kann damit in der Lärmwirkungsforschung zu tieferen Einblicken beitragen. Der konkrete Beitrag verschiedener Lärminderungsmaßnahmen zum wahrnehmungsbezogenen mehrdimensionalen Erleben kann damit genauer erforscht werden.

Danksagung

Diesem Beitrag liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE-Nr. 02.0431/2019/IRB durchgeführten Forschungsarbeit zugrunde. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.

Literatur

- [1] EEA: Health impacts of exposure to noise from transport. European Environment Agency. Copenhagen, Denmark, 2022
- [2] Brown, A. L., & Van Kamp, I. (2017). WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review of transport noise interventions and their impacts on health. *International journal of environmental research and public health*, 14(8), 873.
- [3] Fiebig, A., Jordan, P., & Moshona, C. C. (2020). Assessments of acoustic environments by emotions—the application of emotion theory in soundscape. *Frontiers in Psychology*, 11, 573041.
- [4] Lionello, M., Aletta, F., & Kang, J. (2020). A systematic review of prediction models for the experience of urban soundscapes. *Applied Acoustics*, 170, 107479.
- [5] Engel, M. S., Fiebig, A., Pfaffenbach, C., & Fels, J. (2021). A review of the use of psychoacoustic indicators on soundscape studies. *Current Pollution Reports*, 1-20.
- [6] Fiebig, A., Chudalla, M., Oehme, A., Schuck, M., Schweidler, P., Strigari, F., & Weinzierl, S. (2024). Wahrnehmungsbezogene Evaluierung von innovativen Lärmschutzmaßnahmen in audiovisueller Umgebung. DAGA 2024
- [7] Bendtsen, H., Pedersen, T. H., Volk, C., Eggers, S., & Gjestland, T. (2022). Factors moderating people's subjective reactions to road noise. in *Fortschritte der Akustik – DAGA 2022*, Stuttgart, Germany, pp. 1307–1309
- [8] Acun V, Yilmazer S. A grounded theory approach to investigate the perceived soundscape of open-plan offices. *Appl Acoust* 2018;131:28-37. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.09.018>;
- [9] Seo R, Jo HI, Jeon JY (2019) VR environment-based evaluation of impact factors on the urban soundscape recognition. *Proceedings of ICA 2019*, Aachen, September 2019
- [10] Sun K, De Coensel B, Filipan K, Aletta F et al (2019) Classification of soundscapes of urban public open spaces. *Landsc Urban Plan* 189:139–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.016>
- [11] Yang M (2019) A review of regression analysis methods: establishing the quantitative relationships between subjective soundscape assessment and multiple factors. *Proceedings of ICA 2019*, Aachen, September 2019
- [12] Axelsson, O., Nilsson, M. E., and Berglund, B. (2010). “A principal components model of soundscape perception,” *J. Acoust. Soc. Am.* 128, 2836 – 2846