

André Fiebig, David Ackermann, Sandra Böhm, Michael Chudalla, Athansios Karakantas, Astrid Oehme, Sophie Pourpart, Moritz Schuck, Fabio Strigari, Stefan Weinzierl

## Attribute zur gesamtheitlichen Charakterisierung der Wahrnehmung von Straßenverkehrsgeräuschen

Open Access via institutional repository of Technische Universität Berlin

### Document type

Conference paper | Published version

(i. e. publisher-created published version, that has been (peer-) reviewed and copyedited; also known as: Version of Record (VOR), Final Published Version)

### This version is available at

<https://doi.org/10.14279/depositonce-15552>

### Citation details

Fiebig, André; Ackermann, David; Böhm, Sandra; Chudalla, Michael; Karakantas, Athansios; Oehme, Astrid; Pourpart, Sophie; Schuck, Moritz; Strigari, Fabio; Weinzierl, Stefan (2022): Attribute zur gesamtheitlichen Charakterisierung der Wahrnehmung von Straßenverkehrsgeräuschen. In: AIA-DAGA 2022 : proceedings of the International Conference on Acoustics. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. pp. 500-503.

### Terms of use

This work is protected by copyright and/or related rights. You are free to use this work in any way permitted by the copyright and related rights legislation that applies to your usage. For other uses, you must obtain permission from the rights-holder(s).

# Attribute zur gesamtheitlichen Charakterisierung der Wahrnehmung von Straßenverkehrsgläuschen

André Fiebig<sup>1</sup>, David Ackermann<sup>2</sup>, Sandra Böhm<sup>3</sup>, Michael Chudalla<sup>4</sup>, Athansios Karakantas<sup>2</sup>, Astrid Oehme<sup>3</sup>, Sophie Pourpart<sup>3</sup>, Moritz Schuck<sup>2</sup>, Fabio Strigari<sup>4</sup>, Stefan Weinzierl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Berlin, Fachgebiet Technische Akustik, 10587 Berlin, E-Mail: andre.fiebig@tu-berlin.de

<sup>2</sup> Technische Universität Berlin, Fachgebiet Audiokommunikation, 10587 Berlin

<sup>3</sup> HFC Human-Factors-Consult GmbH, 12555 Berlin

<sup>4</sup> Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach 51427

## Einleitung

Die Lärmwirkungsforschung beschäftigt sich bereits seit vielen Jahren mit der Belastung durch Verkehrsgläuschen und den dadurch hervorgerufenen extra-auralen Lärmwirkungen einschließlich der Lärmbelästigung (siehe z.B. [1]). Dabei wird die Belästigung üblicherweise in den Zusammenhang zum gemittelten Schalldruckpegel (z.B.  $L_{Aeq}$ ,  $L_{DEN}$ ) der unerwünschten Geräuschquelle gestellt und Dosis-Wirkungsrelationen abgeleitet [2]. Die Wirkung wird demnach nahezu ausschließlich mit dem Grad der Belästigung beschrieben und eine differenzierte Betrachtung der verschiedenen Aspekte der Geräuschwahrnehmung erfolgt nicht. Da einige Lärm-schutzmaßnahmen jedoch nicht die erwartete Reduzierung der Belästigung auf Basis eines geminderten Schalldruckpegels der jeweiligen Geräuschquelle hervorrufen (z.B. [3]), scheinen weitere Faktoren Einfluss auf die Wahrnehmung und Bewertung von Verkehrsgläuschen zu nehmen. Mittlerweile gilt der Einfluss nicht-akustischer Faktoren auf die Lärmbewertung als unbestritten [4], und auch der Einfluss von psychoakustischen Eigenschaften ist vielfach untersucht und belegt [5].

Ziel der vorliegenden Studie war es, Beschreibungsattribute zu erheben, die dediziert beim Erleben von Straßenverkehrsgläuschen verbalisiert werden. Zwar explorierten einige Arbeiten (z.B. [6]) bereits verschiedene Dimensionen, die der Wahrnehmung von Umgebungsgläuschen zu Grunde zu liegen scheinen, jedoch wurden die Dimensionen weder spezifisch für Straßenverkehrsgläusche noch im Kontext virtueller Realität mit hoher Immersionsgüte ermittelt. Um diese Forschungslücke zu schließen, wurden verschiedene Straßenverkehrsszenarien realitätsnah im Mixed Reality Design Lab der TU Berlin und der UdK Berlin erzeugt und von Versuchspersonen beschreibende und differenzierende Attribute elizitiert.

## Methode

### Stichprobe

Insgesamt nahmen 22 Personen (9 w, 13 m) im Alter von 22 bis 64 Jahren an dem audio-visuellen Hörversuch teil. Das Durchschnittsalter betrug 38.6 Jahre mit einer Standardabweichung von 13.4. Der Mittelwert der Lärmempfindlichkeit, die nach dem Lärmempfindlichkeitsfragebogen LEF-K nach Zimmer und Ellermeier [7] ermittelt wurde, betrug im Mittel 13.6 bei einer Standardabweichung von 4.5. Die Hälfte aller Teilnehmenden verfügte bereits über Erfahrungen mit einer VR-Brille und/oder VR-Umgebungen. Der Großteil der

Teilnehmenden gab an, kein explizites Akustikfachwissen zu besitzen.

### Stimuli

Insgesamt 39 Straßenverkehrsszenen, die mittels einer Insta360 Pro II 360° Kamera, einem Zylia ZM1 Ambisonics Mikrofon und einem NTI XL2 Schallpegelmessgerät aufgezeichnet wurden (siehe Messaufbau in Abb. 1), dienten als Basis zur Erzeugung der Versuchsstimuli. Das verwendete Ambisonics Mikrofon erlaubt die Generierung von Ambisonics Aufnahmen dritter Ordnung.

Die Aufnahmen unterschieden sich anhand diverser Kriterien, wie Verkehrsmenge, Verkehrszusammensetzung, Immissionspunkt, Straßenbelag, Straßenführung und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Dazu wurden punktuell Aufnahmen realisiert, in denen neben dem Straßenverkehrsgläusch auch noch weitere Geräuschquellen hörbar sind. Die 8 Minuten langen Aufnahmen deckten einen weiten Pegelbereich ( $L_{Aeq}$  von 55.0 dB(A) bis 78.0 dB(A)) sowie erhebliche Unterschiede in der Verkehrsmenge (DTVw von 4.500 bis 54.000) mit einem variierenden LKW-Anteil von bis zu 6.400 DTVw ab.

Aus den Aufnahmen wurden Szenen mit einer Dauer von 20 Sekunden extrahiert, die spezifische Verkehrssituationen repräsentieren. Die Szenen wurden für den Versuch jeweils paarweise (Dyade) so zusammengestellt, dass sie sich in mehreren der oben genannten Kriterien unterschieden und sich somit stark kontrastierten. Der Hauptteil an Szenen entfiel auf die mittlere Pegelkategorie von 60 dB(A) bis 64 dB(A). Insgesamt wurden 73 verschiedene Szenen erzeugt und in 40 Dyaden präsentiert. Abb. 2 verdeutlicht exemplarisch die Bandbreite an präsentierten Straßenverkehrssituationen.



**Abbildung 1:** Aufbau zur Messung von audio-visuellen Straßenverkehrsszenen mit Ambisonics-Mikrofon, Schallpegelmessgerät und 360°-Kamera

## Apparatus

Die audio-visuellen Szenen wurden im Mixed Reality Design Lab der TU Berlin und UdK Berlin mittels 3D-Audio (21.2-Kanal Ambisonics) und einem Head Mounted Display (Varjo VR-3 OLED, 1920 x 1920 px per eye, 115° FoV) kontrolliert mit dem originalen Schalldruckpegel wiedergegeben (siehe Abb. 3).



**Abbildung 2:** Beispiele von präsentierten Straßenverkehrssituationen

## Prozedur

Den Versuchspersonen wurden 40 Dyaden in randomisierter Form jeweils dreidimensional audio-visuell präsentiert, wobei zunächst eine Verkehrsszene einer Dyade abgespielt wurde und nach einem kurzen Standbild von 3 Sekunden (weiße Blende) unmittelbar die zweite Szene folgte.

Die Probanden wurden gebeten, Begriffe zu nennen, die ihren individuellen Höreindruck bezogen auf die präsentierte Dyade am besten beschreiben. Die Probanden wurden angehalten, spontan und frei die erlebten Szenen zu kommentieren.



**Abbildung 3:** Versuchsperson mit HMD im Sweetspot des Mixed Reality Design Lab (links) und Technikleitung (rechts)

Eine Trainingssequenz, bestehend aus drei Test-Dyaden, diente zum Kennenlernen der Versuchsumgebung, zum Adaptieren und Gewöhnen in die VR-Welt und der Demonstration der Methodik. Die erste Test-Dyade wurde als zwei separate Verkehrsszenen nacheinander präsentiert und es wurde zuerst einmal das Verbalisieren des Höreindrucks mittels Adjektive erprobt. Danach wurden die beiden folgenden Test-Dyaden als Paar, also lediglich mit der trennenden Blende, abgespielt. Danach konnten die

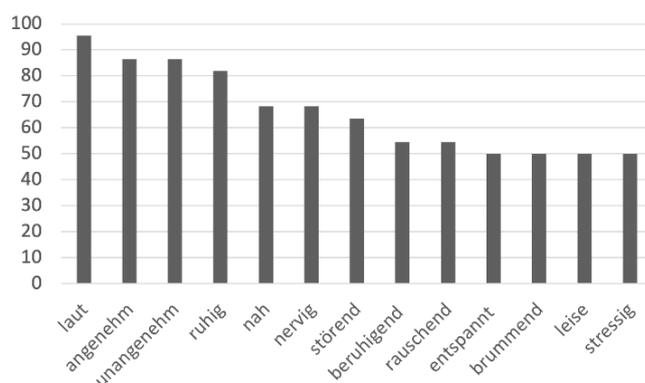
Versuchspersonen offene Punkte mit der Versuchsleitung besprechen und dann mit dem eigentlichen Versuch beginnen. Die Versuchspersonen waren angehalten, Pausen nach individueller Notwendigkeit einzulegen und mindestens nach der Hälfte der Versuchszeit, also nach 20 Dyaden, eine Unterbrechung zur Erholung vorzunehmen.

Die Erfassung der elizierten Attribute erfolgte verbal vom Probanden an die Versuchsleitung, die die Begriffe unbearbeitet und vollständig protokollierte. Die Probanden wurden instruiert, pro Dyade bis zu fünf Attribute für jede der beiden Verkehrsszenen zu benennen und, sofern möglich, ebenfalls bis zu fünf Attribute, die die Unterschiede der Stimuli der Dyade beschreiben. Jede Versuchsperson nahm einzeln am Versuch teil und platzierte sich im Sweetspot des Lautsprechersystems. Ein Versuch dauerte insgesamt 60 bis 90 Minuten einschließlich der Aufklärung und Dokumentation zur Einhaltung von Hygienemaßnahmen sowie der Bearbeitung von Fragebögen zur Person und zur Lärmempfindlichkeit im Anschluss an den Hörversuch.

## Ergebnisse

Die Datenanalyse der über 4000 Wortnennungen erfolgte semantisch-qualitativ. Zunächst wurden die Rohdaten um Beschreibungen bereinigt, die sich primär auf die visuellen Eindrücke bezogen oder Wortgruppen umfassten, ohne Attribute zu benennen. Nach der Bereinigung umfasste der Datensatz zur weiteren Analyse insgesamt 742 verschiedene Adjektive. Während des Versuchs wurden durch jeden der Teilnehmenden zwischen 88 und 310 Attribute ( $M = 183.4$ ,  $SD = 50.9$ ) genannt. Dabei handelte es sich bei ca. 33 % der genannten Worte um Einzelattribute im Sinne von individuell gewählten Worten, während es sich bei dem anderen Anteil um Begriffe handelte, die auch von anderen Teilnehmenden genannt wurden (interindividuelle Übereinstimmung).

Abbildung 4 zeigt die Rangreihenfolge der interindividuell (relativ) am häufigsten genannten Attribute zur Charakterisierung der erlebten audio-visuellen Straßenverkehrsszenen.



**Abbildung 4:** Rangreihenfolge der relativ am häufigsten genannten Begriffe zur Beschreibung der erlebten Unterschiede zwischen zwei Straßenverkehrsszenen jeweils bezogen auf die Stichprobengröße in %

Zur exemplarischen Visualisierung der häufig genannten Begriffe zeigt Abb. 5 eine Wortwolke. Deutlich ist die Vielfalt

an Attributen zu erkennen, die im Kontext der audio-visuellen Straßenverkehrsszenen genannt wurden.

Um die hohe Anzahl ähnlicher Attribute zu kategorisieren bzw. zu clustern, wurden diese anhand semantischer Überlegungen und theoretischer Plausibilität einschlägigen Beschreibungsdimensionen zugeordnet. Hierbei wurden für alle Begriffe jeweilige Kategorisierungen von drei Personen (2 Psychologinnen, 1 Psychoakustiker) unabhängig voneinander vorgenommen. Eine Zuweisung zu einer Kategorie erfolgte dann, wenn ein Attribut von mindestens zwei der drei Beurteilenden der identischen Kategorie zugewiesen wurde.



Abbildung 5: Wortwolke mit den insgesamt am häufigsten genannten Begriffen

Bekannte Dimensionen im Bereich der Wahrnehmung von Umgebungen im Allgemeinen und Umgebungsgläuschen im Speziellen sind *Valenz* [8], *Aktivierung* [9] und *Ereignisfülle* [6], *Dominanz* [10], *Lautheit* [11] und *Vertrautheit* [12]. Diese wurden als hypothetische Kategorien bei der Clusterung der gesammelten Begriffe genutzt. Ferner ergaben sich in der Analyse weitere plausible Kategorien, die sich eher auf den *Geräuschcharakter*, auf *audio-visuelle Aspekte*, der *Wahrnehmung des Raums* oder der Trennung von *Vordergrund und Hintergrund* bezogen.

Tabelle 1 zeigt die Häufigkeiten der Nennung von Attributen über die zur Clusterung genutzten Kategorien.

Der Kategorie *Valenz* lassen sich Begriffe zuordnen, die sich auf Präferenz, Ablehnung, Akzeptanz oder Bevorzugung beziehen. Beispielhafte Attribute für diese Kategorie sind „angenehm“, „akzeptabel“, „nervig“ oder „zumutbar“. Zu Beschreibungen innerhalb der Kategorie *Aktivierung* zählen beispielsweise „aktivierend“, „monoton“, „hektisch“, während sich die Kategorie *Dominanz* auf die in einer Situation erlebte Kontrolle bezieht. Beschreibende Adjektive hierfür sind „bedrohlich“, „dominant“ oder „aggressiv“. In der Kategorie *Zeitstruktur* wurden Begriffe wie „regelmäßig“, „zyklisch“ und „vereinzelt“ eingeordnet, wohingegen der Kategorie *Ereignisfülle* „hektisch“, „voll“, „durcheinander“ oder „viel“ zugeordnet wurden. In die Kategorie *Vertrautheit* wurden Begriffe, wie „normal“, „realistisch“ oder „erwartbar“, oder „vertraut“ aufgenommen.

Tabelle 1: Anteil der Attributnennungen in den Kategorien

Kategorie	Anzahl Nennungen gesamt	Anteil Nennungen gesamt [%]
Valenz	945	23.4
Geräuschcharakter	696	17.2
Lautstärke	562	13.9
Aktivierung	444	11.0
Zeitstruktur	298	7.4
Vorder-/Hintergrund	290	7.2
Dominanz	205	5.1
Raum	181	4.5
Vertrautheit	134	3.3
Ereignisfülle	134	3.3
Audio-visuell	117	2.9
Klarheit	41	1.0

Attribute der Kategorie *Klarheit* beschreiben den Eindruck der "Erfassbarkeit" der Umgebung. Beispielhafte Attribute sind „verschommen“, „transparent“ oder „klar“. Die Kategorie *Raum* beinhaltet dagegen Begrifflichkeiten, die eine räumliche, umhüllende oder richtungsbezogene Komponente enthalten, wie „offen“, „geschlossen“ oder „umhüllend“. Zur *audio-visuellen Kategorie* wurden Attribute gezählt, die einen deutlich visuellen Bezug aufweisen. Beispiele hierfür sind „industriell“, „sommerlich“ oder „städtisch“. Der Aspekt des *Vordergrundes/Hintergrundes* beschreibt gemäß der Figur-Grund-Theorie alles, was sich auf die Trennung von Vordergrund und Hintergrund bezieht. Beispiele dafür sind „vordergründig“, „hintergründig“ oder „präsent“.

### Diskussion

Die Kategorie *Geräuschcharakter* fungiert bei der Clusterung der gesammelten Begriffe als Sammelbehälter für Hörphänomene, die unmittelbar mit dem auditiven Eindruck zusammenhängen, der von spezifischen akustischen Eigenschaften ausgelöst wird (siehe Abb. 6).



Abbildung 6: Wortwolke zu den häufigsten Attributen in der Kategorie Geräuschcharakter

Hier erscheint eine weitere Unterteilung in Subkategorien angemessen, um die Vielfalt an Attributen weiter auf semantische Einheiten herunterzubrechen. Insgesamt fällt auf, dass ca. die Hälfte aller der Kategorie Geräuschcharakter zugeordneten Begriffe mit dem spektralen Schwerpunkt bzw. mit der *Klangfarbe* zusammenhängen. Hier werden häufig Begriffe, wie „scharf“, „hell“, „dumpf“, „tief“, „hoch“, „schrill“ oder „hochfrequent“ genannt. In der Psychoakustik wird für die auditive Empfindung, die sich unmittelbar auf den spektralen Schwerpunkt eines Geräusches ohne Berücksichtigung der spektralen Feinstruktur bezieht, der Parameter *Schärfe* [13] vorgeschlagen. Ferner werden vielfach Begriffe verwendet, die sich auf die wahrgenommene *Bandbreite* (z.B. „schmalbandig“, „breitbandig“) oder auf typische *Störgeräusche* („dröhnend“, „brummend“, „quietschend“, „klappernd“, „knatternd“, „polternd“, „ratternd“, „wummernd“) beziehen, vgl. [14]. Insgesamt entfallen rund 20% aller Begriffe aus der Kategorie Geräuschcharakter auf Störgeräuschphänomene. Dazu werden sporadisch Begriffe genannt, die weiteren auditiven Basisempfindungsgrößen zuzuordnen sind, wie *Tonhaltigkeit*, *Rauigkeit* und *Schwankungsstärke*. Im Kontext dieser Kategorie können einige wenige Begriffe auch unmittelbar der Kategorie *Geräuschqualität* zugeordnet werden und beziehen sich mit Attributen wie „sanft“, „melodios“, „sonor“, „fett“, „harmonisch“ oder „dünn“ auf Qualitätsaspekte.

## Zusammenfassung und Ausblick

Im Mixed Reality Design Lab wurden diverse audio-visuelle Stimuli dargeboten und mittels eines explorativen Studiendesign zur Entwicklung von Beschreibungsdimensionen zur Bewertung von Straßenverkehrsgeräuschen wahrnehmungsbezogene Attribute abgeleitet.

Die Versuchsteilnehmenden generierten insgesamt eine große Anzahl an Beschreibungen, die teils eine hohe interindividuelle Übereinstimmung aufwiesen. Erwartungsgemäß lassen sich etablierte Dimensionen aus der Soundscape-Theorie (Affektmodell) in den Daten wiederfinden, d.h. die bekannten Dimensionen *Valenz*, *Aktivierung* und *Ereignisfülle*. Dazu kommen noch weitere Begriffe, die akustische Aspekte (z.B. Lautstärke, Zeitstruktur) und die dadurch hervorgerufenen auditiven Empfindungen (z.B. Klangfarbe) thematisieren. Dazu erscheint auch der Grad der *Vertrautheit* für die Versuchsperson zur Charakterisierung und Unterscheidung der erlebten Szenen relevant.

Der Attributpool bildet eine umfassende Ausgangsbasis zur Entwicklung eines Fragebogens zur Bewertung von Straßenverkehrsgeräuschen, der in einer Folgestudie eingesetzt wird, um die generelle Eignung ausgewählter Items zu überprüfen.

## Danksagung

Diesem Bericht liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, 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] Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D.H. (Eds.) Guidelines for community noise. World Health Organization, 1999.
- [2] Miedema, H.M.E., Vos, H. Exposure-reponse relationships for transportation noise, J. Acoust. Soc. Am. 104(6), 3432-3445, 1998
- [3] Nilsson, M.E., Berglund, B. Noise annoyance and activity disturbance before and after the erection of a roadside noise barrier, Acoust. Soc. Am.119(4), April 2006, 2178-2188, 2006
- [4] Guski, R. Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. Noise Health 3:45-56, 1999
- [5] Engel, M.S., Fiebig, A., Pfaffenbach, C., Fels, J. A Review of the Use of Psychoacoustic Indicators on Soundscape Studies. Curr. Pollution Rep. 2021, <https://doi.org/10.1007/s40726-021-00197-1>, 2021
- [6] Axelsson, Ö., Nilsson, M.E., Berglund, B. A principal components model of soundscape perception, J. Acoust. Soc. Am., 128 (5), 2836-2846, 2010
- [7] Zimmer, K., Ellermeier, W. Ein Kurzfragebogen zur Erfassung der Lärmempfindlichkeit. Umweltpsychologie, 2 (2), 54-63, 1998
- [8] ISO/TS 12913-3: 2019. Acoustics — Soundscape — Part 3: Data analysis. International Organization of Standardization, Genf, 2019
- [9] Andringa, T.C., van den Bosch, K.A.M. Core affect and soundscape assessment: Fore- and background soundscape design for quality of life. Proceedings of Internoise 2013, Innsbruck, Austria, 2013
- [10] Choi, Y., Lee, S., Choi, I.M., Jung, S., Park, Y.K., Kim, C. International Affective Digitized Sounds in Korea: A cross-cultural adaptation and validation study. Acta Acustica United with Acustica, 101, 134-144. <https://doi.org/10.3813/AAA.918811>, 2015
- [11] Yu, B., Kang, J., Ma, H. Development of indicators for the soundscape in urban shopping streets. Acta Acustica united with Acustica, 102 (3): 462-473, DOI:10.3813/AAA.918965, 2016
- [12] Zhang, Y., Kang, J. The development of emotional indicators for the soundscape in urban open public spaces, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 780, 052006, DOI:10.1088/1757-899X/780/5/052006, 2020
- [13] DIN 45692:2009-04: Messtechnische Simulation der Hörempfindung Schärfe, Beuth Verlag, 2009
- [14] Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen FVV. Störgeräusch. Beurteilung und Katalogisierung von Störgeräuschen bei Verbrennungsmotoren. Vordruck Nr. 720, Heft 715, Frankfurt am Main, 2001