

Psychoakustische Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen im Rahmen des EU-Forschungsprojektes Quiet City Transportation

Sandro Guidati, Sebastian Rossberg

HEAD acoustics GmbH, 52134 Herzogenrath, Email: Sandro.Guidati@HEAD-acoustics.de

Einleitung

Die Bewertung von Fahrzeuggeräuschen wird meist aufgrund des A-bewerteten Schalldruckpegels vorgenommen, beispielsweise als L_{\max} für den Vorbeifahrtpegel oder als L_{EQ} für Umweltlärm. Leider spiegelt der dB(A)-Wert nicht immer die Lästigkeitswirkung von Fahrzeuggeräuschen korrekt wieder. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des EU-Projektes QCITY Untersuchungen zu ergänzenden objektiven Bewertungsmethoden für Fahrzeugaußengeräusche unter Einbeziehung von psychoakustischen Parametern durchgeführt.

Hierfür wurden zunächst Vorbeifahrtgeräusche von 21 PKW aufgezeichnet [1] (16 Fahrzeuge von Mini bis Oberklasse, zwei VAN, ein SUV, zwei Utilities). Von jedem Fahrzeug wurden sechs typische Fahrsituationen des Stadtverkehrs erfasst:

- konstant 30 km/h
- konstant 50 km/h
- mittlere Beschleunigung aus 30 km/h
- Rollen aus 50 km/h
- Ampelsituation (Bremsen-Stehen-Anfahren)
- Stehen im Leerlauf

Das Außengeräusch der Testfahrzeuge wurde mit einem Kunstkopf in einem Abstand von 7,5 m und in einer Höhe von 1,2 m (analog zur ISO 362) aufgezeichnet (Abbildung 1). Diese Geräusche bildeten die Basis für die nachfolgenden Untersuchungen.



Abbildung 1: Messung der Vorbeifahrtsgeräusche

Hörversuche

Die aufgezeichneten Geräusche wurden in Hörversuchen bewertet. Dazu wurden sie in Gruppen zusammengefasst und von Testpersonen hinsichtlich ihrer Lästigkeit bewertet. Die Gruppierung erfolgte nach folgenden Kriterien:

- eine spezifische Fahrsituation für die verschiedenen Fahrzeuge; Ziel: Vergleich der Fahrzeuge / Fahrzeugtypen und Bestimmung von Deskriptoren für die entsprechende Fahrsituation,
- ein spezifisches Fahrzeug in verschiedenen Fahrsituationen; Ziel: Vergleich der Fahrsituationen und Bestimmung von Deskriptoren für das entsprechende Fahrzeug (bzw. den Fahrzeugtyp),
- unterschiedliche Fahrzeuge in unterschiedlichen Fahrsituationen; Ziel: Analyse unabhängig von Fahrzeug und Situation.

Die in einem einzelnen Hörversuch von der Versuchsperson zu beurteilende Gruppe bestand aus je 4 bis 8 Vorbeifahrtgeräuschen. Zur Beurteilung der Lästigkeit wurde ein alltäglicher Kontext vorgegeben (Versuchsperson sitzt an einer Bushaltestelle, an der die Fahrzeuge vorbeifahren). Die Geräusche konnten beliebig oft gehört und direkt miteinander verglichen werden. Die Lästigkeit eines jeden Geräusches wurde mit Hilfe einer Skala von 1 (nicht lästig) bis 9 (sehr lästig) bewertet. Die verwendete Software „Square“ ordnet die Geräusche entsprechend der abgegebenen Bewertung. Somit erstellt die Versuchsperson gleichzeitig auch eine Rangfolge der Geräusche (Abbildung 2).

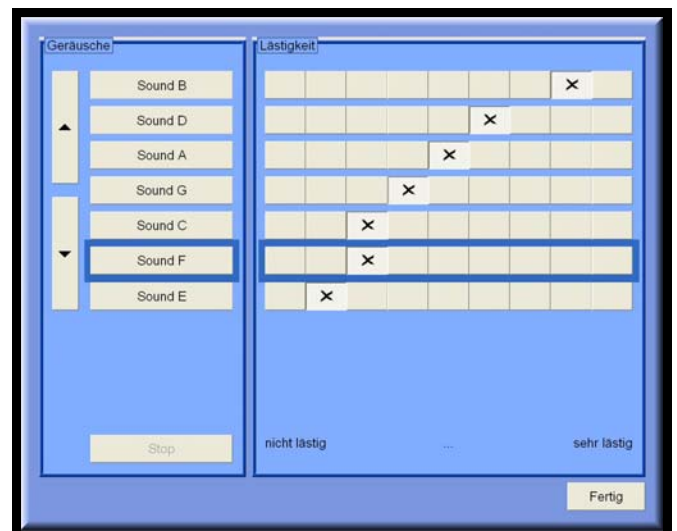


Abbildung 2: Square-Bildschirm zur Bewertung von Geräuschsets

Nach dem Hörversuch wurde mit den Versuchspersonen jeweils ein kurzes Interview zum Test und zu den Bewertungsparametern, die den individuellen Urteilen zugrunde lagen, durchgeführt.

Geräuschanalysen

Im Anschluss an die Hörversuche wurden basierend auf Expertenmeinungen und den Interviewäußerungen der Testpersonen die wichtigsten akustischen Charakteristika der Geräusche definiert und adäquate akustische und psychoakustische Analysen zu ihrer objektiven Beschreibung ausgewählt.

Die Analyseparameter beinhalteten neben dem A-bewerteten Schalldruckpegel (Mittelwert und Maximum) auch die zeitvariante Lautheit (Mittelwert; 1% (N_1), 5% (N_5) und 10% (N_{10}) Perzentil) [2]. Weiterhin wurden Parameter berücksichtigt, die Geräuscheigenschaften beschreiben, die wie oben beschrieben als relevant identifiziert wurden. Als wichtigste Eigenschaft ist das Motorengeräusch zu nennen – vor allem das typische Geräusch eines Dieselmotors – das durch die Relative Approach Analyse (RA) sehr gut repräsentiert wird. Diese Analyse ermöglicht die Identifizierung relevanter Zeit- und Frequenzmuster innerhalb eines Geräusches und berücksichtigt dadurch die Adaptivität und Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs [3].

Weitere berücksichtigte Parameter waren Schärfe (S_5 , z.B. störendes „Zischen“ der Reifen), Tonhaltigkeit, Booming (tieffrequente Anteile) und der Lautheitsanstieg.

Statistische Analyse & Metrikentwicklung

Die subjektiven Bewertungen eines jeden Sets wurden mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis PCA) ausgewertet. Diese ermöglicht die Bestimmung gemeinsamer Faktoren, die in unterschiedlicher Ausprägung allen Einzelbewertungen zugrunde liegen. Es wurden jeweils zwei bis drei relevante Faktoren extrahiert, wobei stets der erste Faktor mit Varianzerklärungen über 60 % klar dominierte und fast immer gut bis sehr gut mit den berechneten Relative Approach Werten korrelierte.

Daraus kann geschlossen werden, dass das Antriebsgeräusch – auch wenn es nicht den Gesamtpegel bestimmt – klar den stärksten Einfluss auf die Bewertung hat. So liegen die Bewertungen der Situationen „konstant 50 km/h“ zwei bis drei Kategorien über denen der Situation „Rollen aus 50 km/h“.

Weitere hohe Korrelationen mit dem ersten oder zweiten Faktor der PCA traten für den Parameter N_5 und die Schärfe auf. Durch lineare Regression und Optimierung ergaben sich folgende Parametergewichtungen:

$$\text{Metrik} \sim \text{RA}(f) + \text{RA}(t) + 0.4 N_5 + 10 S_5.$$

Die erstellte Metrik korreliert mit $r = 0,91$ mit den subjektiven Lästigkeitsbewertungen (siehe Abbildung 3), im Vergleich zu $r = 0,54$ für den A-bewerteten Maximalpegel der Vorbeifahrten (in Anlehnung an die ISO 362) (siehe Abbildung 4). Verifikationstests mit neuen Geräuschen bestätigten die Metrik.

Geringere Korrelationen erhält man für die Bewertung der Leerlaufgeräusche. Dies lässt sich damit erklären, dass ein stillstehendes Fahrzeug im Gegensatz zur Vorbeifahrt für die Testperson eine unterschiedliche Geräuschsituation darstellt und die Bewertung der Lästigkeit daher auch auf anderen Kriterien basiert.

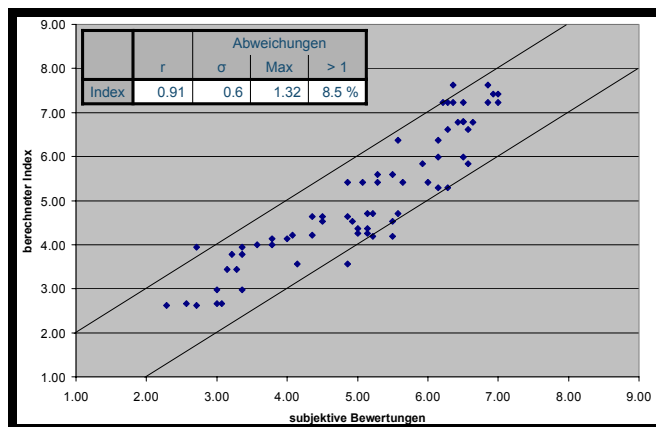


Abbildung 3: Abbildung der subjektiven Bewertungen durch entwickelte Geräuschetrik

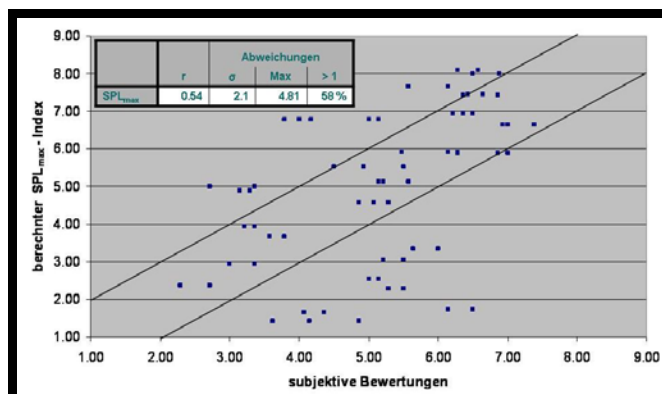


Abbildung 4: Abbildung der subjektiven Bewertungen durch $L_{\max,A}$

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine Kombination von Relative Approach und Lautheit eine bereits sehr gute Beschreibung der Lästigkeitswirkung von Einzelvorbeifahrten ergibt. Trotzdem sollte der Einfluss des hochfrequenten Anteils eines Geräusches nicht vernachlässigt werden, da er zum einen sehr häufig von Versuchspersonen kommentiert wird und zum anderen die zweitwichtigste Emissionsquelle – Reifen/Fahrbahn – repräsentiert. Bisher ist die erstellte Metrik nur für Vorbeifahrten einzelner Fahrzeuge, die direkt an der Straße aufgenommen wurden, gültig. Weitere Untersuchungen im Rahmen von QCity werden Verkehrsflusssituationen beinhalten. Die auftretenden Geräuschüberlagerungen und der mehr stationäre Charakter werden sicherlich die Bewertungen beeinflussen und damit eine Anpassung der Metrik erfordern. Schließlich werden auch die Geräuschimmissionen innerhalb von Gebäuden mit Hilfe von entsprechenden Transferfunktionen berechnet und evaluiert werden.

Literatur

- [1] Guidati, S.; Rossberg, S.: Außengeräuschsimulation von innerstädtischen Verkehrsmitteln im Rahmen des EU-Forschungsprojektes Quiet City. DAGA 2006, Braunschweig.
- [2] aktueller Entwurf der neuen DIN 45631
- [3] Genuit, K.: A New Approach to Objective Determination of Noise Quality Based on Relative Parameters. Proceedings of Inter-Noise 1996, Liverpool, UK