

Prognose der globalen Lautheit von Geräuschmissionen anhand der Lautheit von Einzelereignissen

G. Gottschling¹, H. Fastl

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München; ¹ derzeit bei Akustik Süd GmbH, München

1. Einführung

Im Bereich der Lärmbeurteilung läßt sich mit der psychoakustischen Meßmethode der „Linienlänge“ die subjektiv empfundene globale Lautheit von Geräuschszenarien, wie z.B. Schienenverkehrsgeräuschen kombiniert mit Straßenverkehrsgeräuschen, durch Versuchspersonen ermitteln (Stempler und Gottschling, 1997; Gottschling und Fastl 1997). Aufgrund mehrerer zurückliegender Studien mit unterschiedlichen Szenarien zeigte sich, daß die globale Lautheit stark von lauten Ereignissen innerhalb der Darbietung, also von Lautheitsspitzen, abhängt.

Erste Ansätze zeigen, daß ein Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Verlauf der momentanen Lautheit (instantane Lautheit) und der globalen Lautheit hergestellt werden kann (Fastl, 1997; Gottschling 1998). In dieser Arbeit soll der Frage nachgegangen werden, ob sich durch Kenntnis der subjektiven Lautheit von Einzelereignissen die globale Lautheit eines Szenarios rechnerisch prognostizieren läßt.

2. Durchführung von psychoakustischen Experimenten zur globalen Lautheit

Anhand 15 psychoakustischer Experimente wurden Abhängigkeiten zwischen der instantanen Lautheit und der globalen Lautheit untersucht. Bei den Darbietungen in den Experimenten handelte es sich um gleichmäßige Straßenverkehrsgeräusche mit einem L_{eq} von 47 dB(A), die mit drei Vorbeifahrtsgeräuschen mit A-bewerteten Maximalpegeln von $L_{A,max} = 69,5$ dB(A) bis $L_{A,max} = 94,5$ dB(A) überlagert wurden. Die Dauer der Szenarien betrug jeweils 15 Minuten. Die Geräuschkombination erzeugte energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} zwischen 54,3 dB(A) und 71,2 dB(A).

Bei den lauten Vorbeifahrtsgeräuschen handelte es sich um Geräusche von Zügen der DB AG als auch des Transrapid TR07, die aus einer Entfernung von 25 m und 100 m aufgezeichnet wurden. Die leisen Straßenverkehrsgeräusche stammten aus einem Innenhof einer Wohnanlage nahe einer Ringstraße in München zur Nachtzeit.

Zunächst soll kurz der Ablauf eines psychoakustischen Experimentes zur Bestimmung der globalen Lautheit von Geräuschszenarien erläutert werden: Das Hintergrundgeräusch und die Vorbeifahrtsgeräusche werden auf einem DAT-Recorder zu Geräuschszenarien kombiniert. Diese werden über einen freifeldentzerrten Kopfhörer (Beyer DT 48) in einer schallgedämmten Hörkabine diotisch in Originalpegeln dargeboten (Zwicker und Fastl, 1990). Die Versuchsperson hat die Aufgabe, während der Darbietung die momentane Lautheit auf die Länge eines horizontalen Balkens auf dem Bildschirm eines PCs abzubilden. Der Balken kann mit Hilfe eines Trackballs innerhalb eines umlaufenden Rahmens zwischen „extrem leise“ und „extrem laut“ variiert werden. Die Länge des Balkens wird alle 100 ms abgetastet und in einer Datei abgelegt.

Im Anschluß an die Darbietung hat der Proband die Aufgabe, die globale Lautheit auf einem Fragebogen anzugeben, auf dem mehrere Abfragemethoden angewandt werden. Hier soll allerdings nur auf die Abfragemethode der „Linienlänge“ eingegangen werden. Dabei soll die globale Lautheit des gehörten Szenarios auf einer horizontalen Linie beurteilt werden, die am linken Ende mit „sehr leise“ und am rechten Ende mit „sehr laut“ beschriftet ist. Die Länge des Streckenabschnittes zwischen dem linken Ende und der Markierung durch die Versuchsperson stellt ein Maß für die globale Lautheit dar.

3. Zusammenhang zwischen instantaner und globaler Lautheit

In mehreren Untersuchungen zeigte sich, daß sich die globale Lautheit von Geräuschszenarien durch einen an Lautheitsspitzen orientierten Perzentilwert der nach DIN 45 631 gemessenen Lautheit angeben läßt (Fastl, 1997). Bei unterschiedlichen Szenarien zeigte

der Perzentilwert N_4 gute Übereinstimmungen. N_4 ist die Lautheit, die in 4% der Meßdauer erreicht oder überschritten wird.

Die 15 Experimente wurden mit 10 Versuchspersonen im Alter zwischen 24 und 52 Jahren (Median 27 Jahre) durchgeführt. Von jeder Versuchsperson stand pro Experiment ein Datenpunkt stellvertretend für die globale Lautheit und ein Datensatz der instantanen Lautheit in Abhängigkeit von der Zeit zur Verfügung.

Es wurden mehrere Berechnungsmethoden getestet, die es ermöglichen sollen, aus der instantanen Lautheit Rückschlüsse auf die globale Lautheit des Szenarios ziehen zu können (Gottschling, 1998). Im folgenden soll kurz auf die Methode eingegangen werden, die die höchste Korrelation mit den geringsten Abweichungen zeigte:

Bei der Berechnungsmethode wird der Verlauf der instantanen Lautheit über der Zeit mit einer exponentiellen „Ausklüpfungsfunktion“ mit einer Zeitkonstanten von $\tau = 30$ s modifiziert. Dies bedeutet, daß steil abfallende Lautheitsverläufe je nach der Größe der Zeitkonstanten unterschiedlich stark abgeflacht werden. Die instantane Lautheit eines Szenarios ist in Abb. 1 zusammen mit dem modifizierten Verlauf bei drei unterschiedlichen Zeitkonstanten ($\tau = 30$ s, $\tau = 3$ min und $\tau = 5$ min) dargestellt.

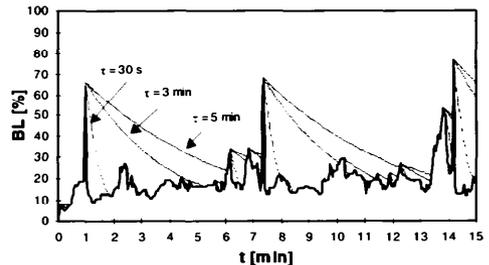


Abb. 1: Instantane Lautheit eines Szenarios aufgetragen über der Versuchsdauer. Modifikationen mit einer exponentiellen Ausklüpfungsfunktion mit den Zeitkonstanten $\tau = 30$ s, $\tau = 3$ min und $\tau = 5$ min.

Die Ermittlung der gewissermaßen „prognostizierten“ globalen Lautheit geschieht durch Perzentilwertberechnung aus dem modifizierten Verlauf. Dabei erhalten kurzzeitige Lautheitsspitzen durch die Modifikation eine höhere Gewichtung. Nach dem Durchlauf mehrerer Testreihen ergab sich die höchste Korrelation zwischen der anhand der Linienlänge beurteilten globalen Lautheit und der aus der Balkenlänge berechneten mit den geringsten mittleren Fehlern bei einem Perzentilwert BL und einer Zeitkonstanten von $\tau = 30$ s.

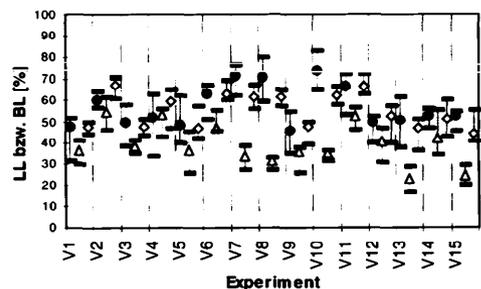


Abb. 2: Globale Lautheit, beurteilt durch die Linienlänge LL (ausgefüllte Kreise) im Vergleich zu den berechneten Werten aus der Balkenlänge BL bei einer Zeitkonstanten von 10 s (Dreiecke) und 30 s (Rauten). Mediane und Interquartilbereiche.

In Abb. 2 sind Median und Interquartilbereiche der Beurteilung der globalen Lautheit durch die Linienlänge (LL) der Prognose durch die Balkenlänge (BL) bei zwei unterschiedlichen Zeitkonstanten ($\tau = 10$ s und $\tau = 30$ s) gegenübergestellt.

Die relativ gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und tatsächlich beurteilter globaler Lautheit wirft die Frage auf, ob sich das Durchführen lange andauernder Experimente erübrigen würde, wenn man lediglich die Lautheitsverläufe der lauten Einzelereignisse abfragen würde. Sind diese Lautheitsverläufe als Datensätze präsent, so kann man damit im Prinzip jede Geräuschkombination auf dem Rechner simulieren und könnte somit das subjektive Lautheitsurteil der Gesamtsituation vorherbestimmen.

4. Beurteilung von Einzelereignissen

In einem psychoakustischen Experiment zur Beurteilung von Einzelereignissen wurden Vorbeifahrtsgeräusche von vier verschiedenen spurgebundenen Fahrzeugen und ein 30 Sekunden langer Ausschnitt von gleichmäßigen Straßenverkehrsgeräuschen verwendet. Die Vorbeifahrtsgeräusche hatten A-bewertete Maximalpegel L_{AFmax} von 75,5 dB(A) bis 89 dB(A), die Straßenverkehrsgeräusche einen mittleren Pegel von ca. 47 dB(A). Es wurden Aufnahmen aus dem „Geräuschsortiment“ der Experimente V1 bis V15 verwendet.

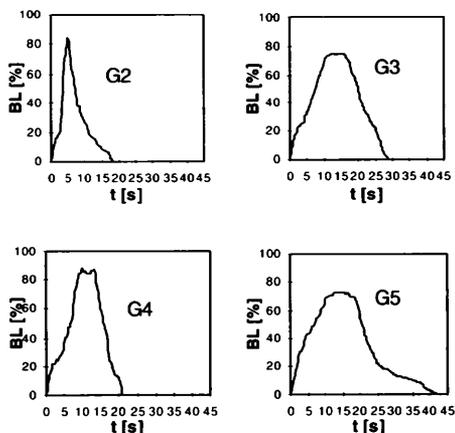


Abb. 3: Verlauf der instantanen Lautheit der Vorbeifahrtsgeräusche G2 bis G5 über der Zeit.

Die Geräusche wurden wie folgt zu einem Experiment kombiniert: Nach drei nicht für die Auswertung herangezogenen Geräuschen wurde jedes der fünf oben aufgeführten Geräusche G1 bis G5 in randomisiert angeordneter Reihenfolge jeweils dreimal dargeboten. Es sind also insgesamt 18 Ereignisse zu beurteilen gewesen. Zwischen den Geräuschereignissen wurden Pausen von 4 s Dauer eingefügt. Das Experiment wurde als Pilotstudie mit sieben Versuchspersonen im Alter von 24 bis 29 Jahren durchgeführt (Median 26 Jahre). Nach dem Durchlauf des Versuches lagen damit pro Geräuschereignis 21 „mitgetrackte“ Beurteilungen vor.

In Abb. 3 sind die über 21 Beurteilungen gemittelten Verläufe der instantanen Lautheit der Geräusche G2 bis G5 (nur Vorbeifahrten, nicht das Straßenverkehrsgeräusch) über der Zeit aufgetragen.

Aus den Einzelverläufen lassen sich die Versuche V1 und V2 des vorigen Abschnittes auf dem Rechner nachbilden. Dabei wurde für das Hintergrundgeräusch ein konstanter Medianwert angesetzt. Auf den zusammengeführten Verlauf der Balkenlänge wurde für jede Versuchsperson getrennt der oben beschriebene Berechnungsalgorithmus $BL_{5,exp30}$ angewandt, um zu einem Wert für die globale Lautheit zu gelangen. Dieser Wert (SIM) läßt sich zum einen mit dem durch die Linienlänge ermittelten Wert (LL) und zum anderen mit dem aus Abschnitt 3 berechneten Wert (CALC) der wirklich

„mitgetrackten“ Situation vergleichen. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 gegenübergestellt. Zwischen psychoakustisch gemessenen (LL), berechneten (CALC) und anhand von Daten für Einzelereignisse simulierten (SIM) Werten zeigt sich bei Berücksichtigung der wahrscheinlichen Schwankungen eine brauchbare Übereinstimmung.

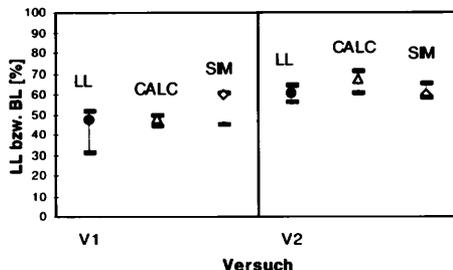


Abb 4: Vergleich der globalen Lautheit, ermittelt durch die Linienlänge (LL) im Vergleich zur globalen Lautheit berechnet aus dem „mitgetrackten“ Verlauf der instantanen Lautheit (CALC) und dem künstlich zusammengesetzten Lautheitsverlauf (SIM). Mediane und Interquartilbereiche.

5. Zusammenfassung

Anhand von 15 verschiedenen Geräuschszenarien, jeweils Kombinationen aus lauten Ereignissen von spurgebundenen Fahrzeugen und Straßenverkehrsgeräuschen, konnte ein Zusammenhang zwischen der globalen Lautheit und der Lautheit der Einzelereignisse festgestellt werden. Durch einen Berechnungsalgorithmus läßt sich bei den hier untersuchten Situationen die globale Lautheit aus den Daten der instantanen Lautheit berechnen. In einem Pilotexperiment wurden die Einzelereignisse isoliert voneinander dargeboten und beurteilt, um Geräuschszenarien gewissermaßen „synthetisieren“ zu können. Die ersten Berechnungsansätze der globalen Lautheit aus den synthetisierten Szenarien geben Aussicht auf erfolgreiche weitere Untersuchungen des Zusammenhangs.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204 „Gehör“ gefördert.

Literatur

- Fastl, H., (1997). *Gehörgerechte Geräuschbeurteilung*. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 97, Verl.: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. Oldenburg, 57-64.
- Gottschling, G., Fastl, H., (1997). *Akustische Simulation von 6-Sektionen-Fahrzeugen des Transrapid*. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 97, Verl.: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. Oldenburg, 254-255.
- Gottschling, G., (1998). *On the relations of instantaneous and overall loudness*. *Acustica / acta acustica* 1998 (submitted).
- Stemplinger, I., Gottschling, G., (1997). *Auswirkungen der Bündelung von Verkehrswegen auf die Beurteilung der Globalen Lautheit*. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 97, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., Oldenburg, 410-402.
- Zwicker, E. and Fastl, H., (1990). *Psychoacoustics. Facts and models*. Springer-Verlag, Heidelberg, New York.

Literatur im Internet:

<http://www.mmk.e-technik.tu-muenchen.de/admin/noise.html>