

## Auswirkungen der Bündelung von Verkehrswegen auf die Beurteilung der Globalen Lautheit

I. Stemplinger, G. Gottschling  
Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

### Einleitung

Bei der Bündelung von Verkehrswegen wird aus Sicht des Anwohners stark zeitvarianter Schienenverkehrslärm durch gleichmäßige Straßenverkehrsgläusche überlagert. Statt Ruhepausen zwischen einzelnen Zugvorbeifahrten sind nun ständig Straßenverkehrsgläusche zu hören.

Die Beurteilung der Globalen Lautheit der Kombination von Schienen- und Straßenverkehrsgläuschen wird in Abhängigkeit von Zugart und energieäquivalentem Dauerschallpegel der Straßenverkehrsgläusche in dieser Studie dargestellt. Das für diese Geräuschszenarien dominante Geräusch wird ermittelt, um einen Anhaltspunkt für die Bildung der subjektiven Beurteilung zu erhalten.

Eine Möglichkeit die Ergebnisse der psychoakustischen Experimente mit meßtechnisch erfaßbaren Werten nachzubilden wird vorgestellt.

### Messungen

In psychoakustischen Experimenten beurteilten neun Versuchspersonen die Globale Lautheit von acht unterschiedlichen Szenarien (SZn) bestehend aus Schienenverkehrsgläuschen in Kombination mit Straßenverkehrsgläuschen. Innerhalb von 14 Minuten Darbietungsdauer wurde eine Konstellation aus zwei verschiedenen Zugtypen zu sechs Zugvorbeifahrten zusammengestellt. Bei den Geräuschszenarien 1 bis 4 wurden als Schienenverkehrsgläusche vier ICE mit einer Geschwindigkeit von 250 km/h und zwei Güterzüge (GZ) eingespielt, um ein hohes Lautheitsniveau zu erreichen, bei den Szenarien 5 bis 8 wurden vier ICE (160 km/h) und zwei S-Bahnen als relativ leise Zugvorbeifahrten verwendet. Die Charakteristika der einzelnen Züge sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Zugart	ICE 250	Güterzug	ICE 160	S-Bahn
Länge / m	331	247	331	130
Konstellation	2 Triebw. 12 Mittelw. 12 Mittelw.	2 Loks 15 Containerw.	2 Triebw. 12 Mittelw.	2 Einheiten
Aufnahmeabstand / m	25	25	25	14,8
Geschwindigkeit v / km/h	250	105	160	70
Vorbeifahrtdauer / sec	15	53	27	25
Pegel $L_{max}$ / dB(A)	89,5	88,7	82	78,6
Lautheitsanstieg sone/sec	5,5	1,2	1,5	2,4
Lautheit $N_{max}$ / sone	87,2	73,6	55,9	47,6

Tab. 1. verwendete Zugtypen

Die verwendeten Zugkombinationen wurden mit vier unterschiedlichen Straßenverkehrsgläuschen unterlagert, um den Einfluß des zunehmend lautereren Hintergrundgeräusches in den Pausen des Zugverkehrs auf die Beurteilung der Globalen Lautheit studieren zu können. Die Straßenverkehrsgläusche sind in Tabelle 2 mit der gefährlichen Richtgeschwindigkeit, der Perzentillautheit  $N_5$  und dem maximalen A-bewerteten Schalldruckpegel aufgeführt. Unter einer Perzentillautheit  $N_x$  versteht man dabei die Lautheit in sone, die in x% der Meßzeit erreicht oder überschritten wird.

Ort	Aufnahmeabstand / m	Geschwindigkeit / km/h	Lautheit $N_5$ / sone	Pegel $L_{Aeq}$ / dB(A)
Wohnstr.	10	30	1	35
Ringstr.	100	80	12,6	55
Autobahn	50	130	27	67
Ringstr.	10	80	39,1	72

Tab. 2. Straßenverkehrsaufnahmen

Der Lautheitszeitverlauf wurde dabei basierend auf DIN 45 631 gemessen und die Perzentile anschließend berechnet (Zwicker, Fastl 1983).

In Szenario (SZ) 9 wurden Straßenverkehrsgläusche der Ringstraße mit einem Schallpegel von 72 dB(A) ohne Schienenverkehrsgläusche dargeboten. Alle Geräuschkombinationen sind in Tabelle 3 zusammengestellt, der energieäquivalente Dauerschallpegel der gesamten Darbietung und die Perzentillautheit  $N_5$  sind ebenfalls angegeben.

SZ	Züge	Hintergr. $L_{Aeq}$ / dB(A)	Gesamtpegel $L_{Aeq}$ / dB(A)	Lautheit $N_5$ / sone
1	4 ICE 250 2 GZ	35	74,2	50,3
2	4 ICE 250 2 GZ	55	74,3	50,4
3	4 ICE 250 2 GZ	67	74,9	51,0
4	4 ICE 250 2 GZ	72	76,3	53,6
5	4 ICE 160 2 S-Bahnen	35	66,5	41,6
6	4 ICE 160 2 S-Bahnen	55	66,9	42,6
7	4 ICE 160 2 S-Bahnen	67	69,9	43,9
8	4 ICE 160 2 S-Bahnen	72	73,2	45,7
9	—	72	72,0	37,5

Tab. 3. dargebotene Geräuschszenarien

Die Lautheitsperzentilverteilungen der SZn 1 bis 8 sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

Durch die Überlagerung der Schienen- und Straßenverkehrsgläusche werden nicht nur die Perzentile der Lautheit im Bereich des Hintergrundgeräusches stark angehoben.

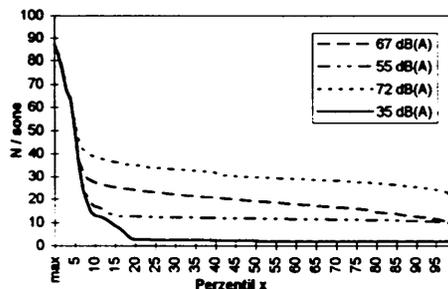


Abb. 1. Lautheitsperzentilverteilung der Szenarien 1 bis 4

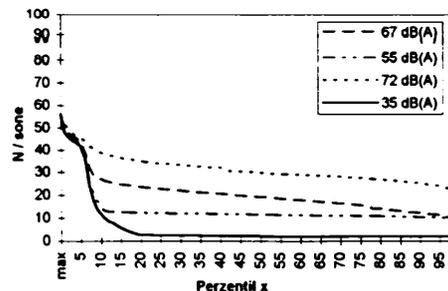


Abb. 2. Lautheitsperzentilverteilung der Szenarien 5 bis 8

Die Lautheitsspitzen der Geräusche (bei den untersuchten Szenarien also die Zugvorbeifahrten) werden aufgrund der Summation der spezifischen Lautheits-Tonheitsmuster beider Geräuscharten ebenfalls leicht erhöht. Diese Erhöhung wirkt sich bei den leiseren Vorbeifahrten des ICEs 160 und der S-Bahnen deutlicher aus, da bei den SZn 5 bis 8 der Lautheitsunterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrsgereuschen wesentlich geringer ist, bei SZ 8 sogar die Zugvorbeifahrten nur noch schwach wahrnehmbar sind.

Die Schienen- und Straßenverkehrsgereusche wurden mit Eichleitungen kalibriert, von einem Addierverstärker aufsummiert und den Versuchspersonen (VPn) über einen freileitend zertritten dynamischen Kopfhörer (BEYER DT 48) (Zwicker, Fastl 1990) diotisch in einer schallsolierten Meßkabine dargeboten. Die neun normalhörenden VPn setzten sich aus Studenten/innen im Alter von 22 bis 27 Jahren zusammen. Die VPn hatten die Aufgabe der gesamten Darbietung aufmerksam zuzuhören und im Anschluß daran einen Fragebogen zur Empfindung der Globalen Lautheit auszufüllen. Der Fragebogen enthielt eine Frage zu den gehörten Geräuschquellen, zum dominanten Geräusch der Darbietung und die psychometrischen Methoden der Kategorienbeurteilung und der Größenschätzung. Die verschiedenen Szenarien wurden allen VPn einzeln in willkürlicher Reihenfolge mit mindestens einem Tag Abstand dargeboten.

### Ergebnisse

In Tabelle 4 sind die Häufigkeiten der Nennungen der Geräuschquellen Zug und KFZ als dominantes Geräusch für die einzelnen SZn aufgeführt. Die VPn orientieren sich offenbar bei der Beurteilung der Globalen Lautheit mit den Zugvorbeifahrten an den Lautheitsspitzen der Geräuschdarbietung obwohl die Zugvorbeifahrten nur bis zu etwa 10% der Darbietungszeit ausmachen. Erst bei sehr lauten Straßenverkehrsgereuschen rücken diese in den Vordergrund und werden als dominant bezeichnet. Literaturdaten von Möhler 1988 bestätigen diesen Trend. Die Auswertung von Umfrageergebnissen in Gebieten mit gemischtem Verkehrslärm ergab in seiner Studie ebenfalls einen größeren Schienenbonus als in Gebieten mit überwiegend Schienen- bzw. Straßenverkehrsgereuschen, so daß in Mischgebieten die Schienenverkehrsgereusche weniger lästig empfunden wurden (Möhler 1988).

SZ	1	2	3	4	5	6	7	8
Zug	9	7	6	4	9	7	4	-
KFZ	-	2	3	5	-	2	5	9

Tab. 4: Anzahl der VPn, welche die Zug- bzw. KFZ-Gereusche bei den einzelnen SZn als dominant bezeichnen.

In Abbildung 3 sind Mediane und Wahrscheinliche Schwankungen der Beurteilung der Globalen Lautheit von neun VPn dargestellt. Die Urteile mit der Methode der Größenschätzung wurden dabei auf einen nicht zu dieser Versuchsreihe gehörenden Hörversuch, ähnlich dem Szenario 1, normiert.

Mit zunehmendem höherem Schallpegel der Straßenverkehrsgereusche werden die Szenarien geringfügig höher in der Globalen Lautheit beurteilt. Mediane und Wahrscheinliche Schwankungen überlappen sich bei den SZn 1 bis 3 bzw. 5 bis 6 größtenteils, erst die Kombination mit den Straßenverkehrsgereuschen der Ringstraße aus geringem Abstand mit Schallpegel von 72 dB(A) wird deutlich höher bewertet. Ein deutlicher Einfluß der Zugvorbeifahrten ist selbst beim SZ 8 noch gegeben, denn das Hintergrundgeräusch alleine (SZ 9) wird in der Globalen Lautheit geringer bewertet.

Durch einen t-Test für gepaarte Stichproben (gleiche VPn bei allen Beurteilungen) lassen sich beobachtete Trends statistisch absichern. Diese Berechnungen wurden mit der SPSS Software durchgeführt. Der Mittelwert des SZ 4 weicht dabei signifikant von den Mittelwerten der SZn 1 bis 3 ab. Die Beurteilungen der SZn 1 bis 3 gehören einer Grundgesamtheit an, obwohl die Straßenverkehrsgereusche innerhalb dieser Gruppe sich deutlich in ihrer Lautheit unterscheiden, nur die Lautheitsspitzen bleiben nahezu unverändert. In der Gruppe der SZn 5 bis 8 mit den leiseren Zugvorbeifahrten sieht die Situation ähnlich aus. SZ 8 unterscheidet sich hoch signifikant von den SZn 5 und 6, SZ 7 weicht ebenfalls noch hoch signifikant von SZ 5 ab. Die Lautheitserhöhung der Lautheitsspitzen ist bei diesen SZn aufgrund der leisen Zugvorbeifahrten signifikant wahrnehmbar. Die SZn 4 und 8 unterscheiden

sich hoch signifikant bzw. signifikant von der Darbietung SZ 9 mit den gleichen Straßenverkehrsgereuschen jedoch ohne Schienenverkehrsgereusche.

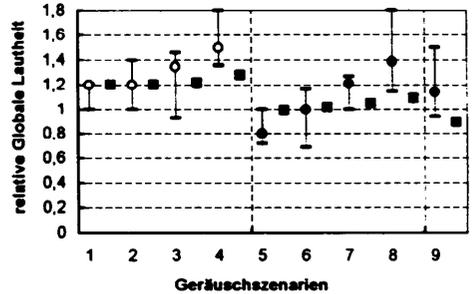


Abb. 3: Mediane und Wahrscheinliche Schwankungen aus 9 VPn Daten (Kreise) im Vergleich zur Perzentillautheit  $N_5$  (Quadrate) der Geräuschszenarien aus Tab. 3.

Den subjektiven Beurteilungen der VPn (Kreise) sind in Abbildung 3 die gemessenen Perzentilwerte  $N_5$  der Lautheit basierend auf DIN 45 631 (Quadrate) gegenübergestellt. Diese wurden auf SZ 1 normiert. Die Perzentilwerte liegen dabei meist innerhalb der Wahrscheinlichen Schwankungen in der Nähe des Medians. Da die Perzentillautheit  $N_5$  als ein Maß für die Lautheitsspitzen betrachtet werden kann, spiegelt sie sowohl qualitativ als auch quantitativ die Beurteilungen der Globalen Lautheit wider.

Ein Einfluß der Ruheigkeit zwischen den Schienenverkehrsgereuschen, d.h. der Pausen zwischen den Zügen mit Dauerschallpegeln unterhalb von 40 dB(A), scheint bei der Beurteilung der Globalen Lautheit bei der Bündelung von Verkehrswegen keine Rolle zu spielen. Anders als beim energieäquivalentem Dauerschallpegel (Finke 1989) muß sie bei Verwendung der Perzentillautheit  $N_5$  als Maß für die subjektive Beurteilung nicht mehr berücksichtigt werden.

### Zusammenfassung

Szenarien bestehend aus verschiedenen Kombinationen von Schienen- und Straßenverkehrsgereuschen, wie sie bei der Bündelung von Verkehrswegen an Immissionsorten auftreten, wurden sowohl psychoakustisch als auch meßtechnisch untersucht. Dabei zeigte sich, daß sich die VPn in ihrer Beurteilung der Globalen Lautheit an den Lautheitsspitzen orientieren. Bei zunehmend lauterem Straßenverkehrsgereuschen innerhalb der Pausen des Schienenverkehrs steigt die Beurteilung der Globalen Lautheit entsprechend der Erhöhung der Lautheitsspitzen der Schienenverkehrsgereusche an. Durch die gemessene Perzentillautheit  $N_5$  basierend auf DIN 45 631 wird diese Abhängigkeit sowohl qualitativ als auch quantitativ gut erfaßt, da durch die Summation der spezifischen Lautheits-Tonheitsmuster beider Geräuscharten auch die Lautheitsspitzen zunehmend erhöht werden. Eine zusätzliche Berücksichtigung der Ruheigkeit, des Hintergrundpegels oder hoher Perzentilwerte im Bereich des Hintergrundgeräusches ist über die Perzentillautheit  $N_5$  hinaus als Maß für die Globale Lautheit nicht notwendig.

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

### Literatur

- Finke, H.-O. (1989): Berücksichtigung der Ruheigkeit bei Lärmbeurteilungen. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'89, Bad Honnef DPG-GmbH, 755-758.
- Möhler, U. (1988): Vergleich der Pausenstruktur von Schienenverkehrslärm und Straßenverkehrslärm. Zeitschr. f. Lärmbekämpfung 35, 10-15.
- Zwicker, E., Fastl, H. (1983): A portable loudness-meter based on ISO 532 B. In: Proc. 11. ICA Paris, Vol. 8, 135-137.
- Zwicker, E., Fastl, H. (1990): Psychoacoustics, Facts and Models Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag.