

# Beurteilung der Globalen Lauthheit bei Kombination von Verkehrsgeräuschen mit simulierten Industriegeräuschen

I. Stempinger

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

## Einleitung

Aufgrund des Verursacherprinzips werden Schallimmissionen verschiedener Schallquellen bei Richtlinien und Normen jeweils getrennt bewertet. Für den von den Schallimmissionen betroffenen Anwohner summieren sich jedoch die Geräusche. Auswirkungen der Kombination von Verkehrsgeräuschen und zusätzlich vorhandenen Industriegeräuschen auf die Empfindung der Globalen Lauthheit wurden anhand psychoakustischer Experimente untersucht. Die für die Empfindung dominante Schallquelle wurde dabei ebenfalls ermittelt.

## Messungen

Im Labor wurden psychoakustische Experimente mit verschiedenen drei-minütigen Geräuschszenarien durchgeführt. Die Szenarien (SZn) setzten sich zusammen aus einer Kombination von PKW/LKW/PKW-Vorbeifahrten und einem vorbeifahrenden Güterzug als Verkehrsgeräusche (VKG), die im Originalpegel dargeboten wurden und Rosa Rauschen (RR) als „Standardindustriegeräusch“. Industriegeräusche wurden anhand von Rosa Rauschen simuliert, da dieses in seiner Spektralverteilung vielen realen Industriegeräuschen am Immissionsort aufgrund der frequenzabhängigen Ausbreitungsdämpfung der Luft sehr ähnlich ist. Dies erscheint auch insofern gerechtfertigt zu sein, da Versuchspersonen typische Industriegeräuschimmissionen oft nur als Rauschen bezeichnen, wenn sie die gehörten Geräusche beschreiben sollen. Das Rosa Rauschen wurde mit energieäquivalenten Schallpegeln  $L_{Aeq}$  von 40, 50, 60 und 70 dB (entsprechend mit A-Bewertung  $L_{Aeq}$  von 37,5, 47,5, 57,5 und 67,5 dB(A)) den VKGn im Originalpegel überlagert (SZn 2, 3, 4 und 5). Die VKG erzeugten einen A-bewerteten Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  von 55,2 dB(A) mit Spitzenpegeln  $L_{AFmax}$  bis zu 70,2 dB(A). Als Vergleichssituation „ohne Industriegeräusche“ wurde eine Nachtaufnahme in einem ruhigen Wohngebiet mit leisen Umgebungs- und weit entfernten VKGn als Hintergrundgeräusch dargeboten (SZ 1). Der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel dieser Umgebungsgeräusche (UG) betrug 41 dB(A).

Bei den Szenarien 6 bis 9 wurden die VKG um 10 dB im Darbietungspegel reduziert, um Einflüsse des zunehmend lautereren Rosa Rauschens auch bei einem niedrigeren Lauthheitsniveau zu untersuchen. Mit den um 10 dB reduzierten VKGn wurde RR mit 70 dB Dauerschallpegel nicht kombiniert, da dann die VKG nicht mehr wahrgenommen werden konnten.

Der Lauthheitszeitverlauf der dargebotenen Geräuschkombinationen wurde basierend auf DIN 45631 bzw. ISO 532 B (Zwicker, Fastl 1983) gemessen und die Perzentillauthheiten  $N_5$  daraus berechnet. Unter der Perzentillauthheit  $N_5$  versteht man die Lauthheit  $N$  in sone, die in x% der Zeit erreicht oder überschritten wird. Ein hoher x-Wert beschreibt bei dieser Definition dabei die Lauthheit des Hintergrundgeräusches, ein kleines x gibt die Lauthheit im Bereich der Lauthheitsspitzen an.

Durch die Überlagerung der VKG mit den simulierten Industriegeräuschen erhöht sich jedoch nicht nur die Lauthheit im Bereich der großen Perzentilwerte. Die Lauthheit im Bereich der Lauthheitsspitzen wird durch die Summation der spezifischen Lauthheits-Tonheitsmuster von VKG und RR ebenfalls bereits bei niedrigen Schallpegeln des RR erhöht. Diese Erhöhung kann bei Kenntnis der Spektralverteilung beider Geräusche vorausberechnet werden. Anders verhält es sich mit dem Schallpegel. Der maximale Schallpegel der VKG würde durch das RR erst erhöht, falls der Pegelunterschied zwischen Geräuschspitzen und Hintergrundgeräusch kleiner als 10 dB ist, also z.B. erst beim RR mit 70 dB bei den VKG im Originalpegel.

Da die anschließend vorgestellten Ergebnisse zur Beurteilung der Globalen Lauthheit der SZ 1 bis 9 auf eine starke Korrelation der subjektiven Urteile mit der gemessenen Perzentillauthheit  $N_5$  schließen lassen, wurden Kontrollversuche mit konstanter Perzentillauthheit  $N_5$  zusammengestellt. Als Referenzversuch wurde das Szenario Nr. 2 mit VKGn im Originalpegel überlagert von RR mit 40 dB Schallpegel verwendet. Die Perzentillauthheit  $N_5$  dieses Versuchs beträgt 14,8 sone. Um die Perzentillauthheiten  $N_5$  der SZ 1, 3 und 4 auf diesen Wert abzugleichen wurde der Darbietungspegel der Verkehrsgeräusche solange variiert, bis die Perzentillauthheiten  $N_5$  übereinstimmten (SZ 10, 11, 12 und 13). Die

dazu nötigen Pegelerhöhungen bzw. -absenkungen sind in Tabelle 1 eingetragen. Eine Angleichung des Szenarios 5 auf diese Perzentillauthheit war nicht möglich, da alleine das RR mit 70 dB Schallpegel bereits eine höhere Perzentillauthheit  $N_5$  hervorruft. Eine Angleichung der Lauthheit der SZn ist stets nur für einen bestimmten Perzentilwert möglich, alle anderen Lauthheitsperzentile unterscheiden sich aufgrund der verschiedenen Lauthheitszeitverteilung der Darbietungen weiterhin.

Beim leiseren Lauthheitsniveau wurde auf die Perzentillauthheit  $N_5$  des entsprechenden Szenarios Nr. 7 abgeglichen (SZ 14, 15 und 16). Das RR mit 60 dB erzeugte wiederum eine größere Perzentillauthheit als 8,1 sone, so daß auch diese Kombination nicht verwendet werden konnte.

In Tabelle 1 sind alle SZn mit der verwendeten Geräuschkombination und Darbietungspegeln der einzelnen Geräusche zusammengestellt. Der Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  und die Perzentillauthheit  $N_5$  über die gesamte Darbietung sind ebenfalls angegeben.

Szenario Nr.	VKG Darbiet.-pegel	Hintergrund Darbietungspegel	$L_{Aeq}$ dB(A)	Lauthheit $N_5$ sone
1	original	41 dB(A) UG	55,4	14,4
2	original	40 dB RR	55,3	14,8
3	original	50 dB RR	55,9	15,8
4	original	60 dB RR	59,5	18,9
5	original	70 dB RR	67,7	25,9
6	-10 dB	41 dB(A) UG	46,6	7,2
7	-10 dB	40 dB RR	45,9	8,1
8	-10 dB	50 dB RR	49,5	8,8
9	-10 dB	60 dB RR	57,7	12,6
10	+1,5 dB	41 dB(A) UG	56,8	14,8
11	original	40 dB RR	55,3	14,8
12	-2,5 dB	50 dB RR	53,8	14,8
13	-7,5 dB	60 dB RR	57,9	14,8
14	-9 dB	41 dB(A) UG	47,3	8,1
15	-10 dB	40 dB RR	45,9	8,1
16	-14 dB	50 dB RR	48,4	8,1

Tab. 1: Geräuschszenarien

Die Verkehrs- und simulierten Industriegeräusche wurden mit Eichleuchten kalibriert, von einem Addierverstärker aufsummiert und den Versuchspersonen (VPn) über einen freifeldzentrierten dynamischen Kopfhörer (BEYER DT 48) (Zwicker, Fastl 1990) diotisch in einer schallsolierten Meßkabine dargeboten.

Die VPn setzten sich aus Studenten/innen und Mitarbeiter/innen des Lehrstuhls im Alter von 24 bis 30 Jahren zusammen. Das Hörvermögen der normalhörenden VPn wurde überprüft, die Ruheshörschwelle wich dabei bei keiner VP über 20 dB von der Norm ab.

Die VPn hatten die Aufgabe der gesamten Darbietung aufmerksam zuzuhören und im Anschluß daran einen Fragebogen zur Empfindung der Globalen Lauthheit auszufüllen. Der Fragebogen enthielt eine Frage zu den gehörten Geräuschquellen, zum dominanten Geräusch der Darbietung, verschiedene psychometrische Abfragemethoden und die Möglichkeit Kommentare zum Hörversuch zu geben. Die Globale Lauthheit der Darbietung wurde von den VPn anhand von sieben Kategorien, der absoluten Größenschätzung und der Methode der Linienlänge beurteilt.

## Ergebnisse

In Figur 1 sind Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen der Beurteilungen der Globalen Lauthheit mit der Methode der Linienlänge stellvertretend für alle untersuchten Meßmethoden über 8 VPn dargestellt. Die Angaben wurden dabei auf die Situation Verkehrsgeräusche in Originallautstärke ohne Industriegeräusche (SZ 1) normiert. Mit zunehmendem Schallpegel des Rosa Rauschens steigen die Mediane der Beurteilungen der Globalen Lauthheit geringfügig bis zum Faktor 1,4 an, obwohl sich die dargebotenen energieäquivalenten Schallpegel der Szenarien gravierend verändert haben. Bei den SZn 6 bis 9 ist ein Anstieg von etwa 0,8 auf ca. 1,0 mit zunehmendem Hintergrundpegel zu

verzeichnen. Offenbar orientieren sich die VPn bei ihrer Beurteilung der Globalen Lauthet der Hörversuche an den Lauthetsspitzen der Schalldarbietung, denn die Lauthet des Hintergrundgeräusches ändert sich um mehrere Faktoren mit zunehmendem Schallpegel des RRs. Außerdem werden die lauterer Verkehrsgeräusche auch bei den meisten SZn als dominante Geräusche angegeben.

Gaben nahezu alle VPn bei den Situationen „Verkehrsgeräusche mit leisen Umgebungsgeräuschen“ bzw. „VKG mit RR mit 40 dB“ die Verkehrsgeräusche als dominante Geräusche an, so ist bei den Szenarien Nr. 5, 9, 13 und 16 für die meisten VPn das RR dominant. In Tabelle 2 sind die Häufigkeiten der Nennungen von RR bzw. VKG als dominantes Geräusch aufgeführt.

SZ	1	2	3	4	5	6	7	8
RR	-	-	2	3	7	-	-	3
VKG	8	8	6	5	1	8	8	5

SZ	9	10	11	12	13	14	15	16
RR	6	1	-	1	6	1	1	5
VKG	2	7	8	7	2	7	7	3

Tab 2 dominante Geräusche

Bei den SZn 10, 11, 12 und 13 mit konstanter Perzentillauthet  $N_5$  von 14,8 sone liegen alle Mediane auf gleichem Niveau, die Wahrscheinlichen Schwankungen überlappen sich größtenteils. Bei den SZn 14, 15 und 16 liegen die Mediane ebenfalls auf gleichem Niveau, Versuch Nr. 16 besitzt jedoch eine deutlich nach oben vergrößerte Wahrscheinliche Schwankung.

Mit einem t-Test für gepaarte Stichproben (gleiche VPn bei allen Hörversuchen) kann die Signifikanz von im Mittelwert beobachteten Trends bestimmt werden. Die statistische Auswertung wurde mit der SPSS Software durchgeführt. Bei den SZn 1 mit 9 unterscheiden sich die SZn 4, 5 und 9 signifikant von den Beurteilungen innerhalb der vergleichbaren Darbietungen mit geändertem Hintergrundgeräusch. Bei den SZn mit konstanter Perzentillauthet  $N_5$  unterscheiden sich die Mittelwerte bei der Gruppe mit einer Perzentillauthet von 14,8 sone nicht signifikant von den Darbietungen mit jeweils 10 dB geringerem RR, bei den SZn mit einem  $N_5$  von 8,1 sone weicht der Mittelwert der Darbietung 16 signifikant von den beiden anderen Szenarien bei diesem Lauthettsniveau ab. Beim SZ 16 sind die Verkehrsgeräusche nur noch schwach aufgrund des lauten Rauschens wahrnehmbar, so daß ev. darauf die erhöhte Beurteilung zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse aus den Hörversuchen (Kreise) sind der gemessenen Perzentillauthet  $N_5$  (Quadrate) als Maß für die Lauthetsspitzen gegenübergestellt. Die Perzentilwerte wurden ebenfalls auf das SZ 1 normiert. Durch die Perzentillauthet  $N_5$  lassen sich die subjektiven Beurteilungen der Globalen Lauthet der verschiedenen Szenarien sowohl qualitativ als auch quantitativ gut

beschreiben. Durch eine Erhöhung des Schallpegels des RRs werden ebenfalls die Lauthetsspitzen und damit auch der Lauthettsperzentil  $N_5$  erhöht. Die Größenordnung dieser Zunahme liegt in der selben Größenordnung wie das subjektive Urteil der VPn. Bei den Versuchen mit konstanter Perzentillauthet  $N_5$  ist dieser Wert aufgrund der Konstellation der Geräuschkombination per definitionem gleich und entspricht den Medianen aus den Beurteilungen. Größere absolute Abweichungen zwischen Meßwerten und subjektivem Urteil ergeben sich bei den Hörversuchen mit niedrigem Lauthettsniveau (SZn 6 mit 9 bzw. 14 mit 16). Tendenzen werden jedoch gehörig durch die Perzentillauthet  $N_5$  erfaßt. Diese Unterschiede lassen sich auf zwei Ursachen zurückführen:

1.) Die Daten wurden nur auf SZ 1 normiert und nicht pro Gruppe angepaßt.

2.) Mit der psychometrischen Methode der Linienlänge werden Unterschiede lauterer und leiser Schallen meist geringer bewertet als z.B. bei der Größenschätzung, so daß die „fehlende Dynamik“ im subjektiven Urteil auf die Methode zurückzuführen ist (Stempinger 1996).

### Zusammenfassung

Bei der Kombination von Verkehrsgeräuschen und simulierten Industriegerauschen steigt die Empfindung der Globalen Lauthet proportional mit der Erhöhung der Lauthetsspitzen der Geräuschkombinationen an. Bei einer Kontrollversuchsreihe mit zunehmend lauterer Hintergrundgeräuschen aber unveränderter Perzentillauthet  $N_5$  blieben die Bewertungen konstant trotz erheblich geänderter Lauthettsperzentile im Bereich des Hintergrundgeräusches.

Die gemessene Lauthet basierend auf DIN 45631 mit Bestimmung der Perzentillauthet  $N_5$  kann die subjektive Empfindung der Globalen Lauthet dieser Geräuschkombinationen sowohl qualitativ als auch quantitativ erfassen. Eine Perzentillauthet im Bereich der Lauthetsspitzen ist damit nicht nur zur Bestimmung der Globalen Lauthet von einzelnen Schallquellen, wie z.B. Straßenverkehr, sondern auch zur Erfassung der Wirkung von Geräuschkombinationen aus Verkehrs- und Industriegerauschen geeignet.

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

### Literatur

- Stempinger, I. (1996): Globale Lauthet von Industriegerauschen. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 96, Verl.: Dt. Gesell. für Akustik e. V., Oldenburg, 240-241 (1996).  
 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.

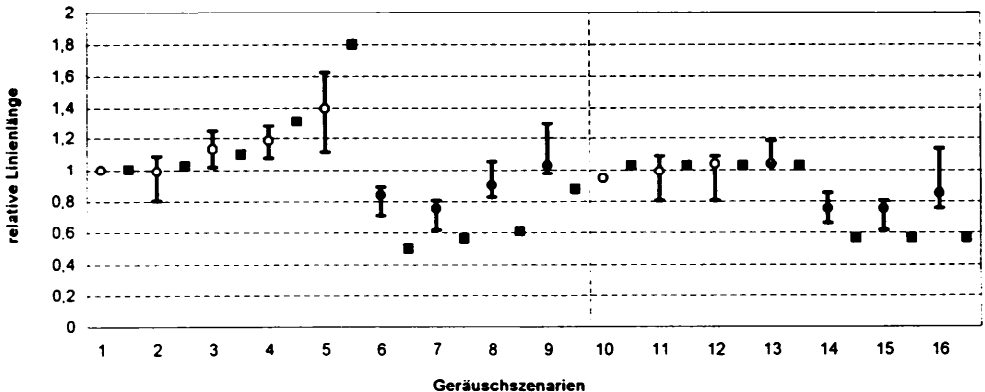


Fig. 1. Mediane und Wahrscheinliche Schwankungen von 8 VPn (Kreise) im Vgl. zur Perzentillauthet  $N_5$  (Quadrate) der Geräuschszenarien aus Tab. 1.