

# Globale Lautheit von gleichförmigen Industriegeräuschen

I. Stempinger

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

## Einführung

Bei Industriegeräuschen korreliert die Lästigkeit stark mit der empfundenen Lautheit der Schalle [1]. Daher sollte in dieser Studie die Abhängigkeit der globalen Lautheit von der Darbietungsdauer und von physikalischen Schallparametern untersucht werden. Besonders Augenmerk wurde dabei auf mögliche Effekte wie die Gewöhnung an das Geräusch oder auch auf ein Ansteigen der Lautheitsempfindung über der Zeit gelegt.

## Industriegeräusche

Gleichförmige Schallmissionen werden von vielen großen bis sehr großen Industriebetrieben, die kontinuierliche Güter wie z. B. Stoffbahnen, Papierrollen, Folien, Flüssigkeiten, Gase usw. oder große Mengen von Gütern in schneller Abfolge bearbeiten, hervorgerufen. 22 gleichförmige Industriegeräusche, wie sie typischerweise an Immissionsorten auftreten, wurden für die Untersuchungen ausgewählt. Die verwendeten Geräusche stammen von Industriebetrieben unterschiedlicher Branchen und setzen sich vor allem aus Maschinen- bzw. Motorengeräuschen, Rauschen unterschiedlicher Klangfarbe und tonalen Komponenten zusammen. Die Aufnahmen der Industriegeräusche auf DAT entstanden in Anlehnung an die Vorschriften für Geräuschimmissionsmessungen der TA Lärm [2] in 3 m Abstand von der Werksgrenze und 1,2 m Höhe. Die Industriegeräusche zeichnen sich durch sehr geringe Lautheits- und Pegelschwankungen aus.

Bei einer Lautheitsmessung nach DIN 45 631 und anschließender Statistikanalyse der Industriegeräusche ergeben sich die in Figur 1 dargestellten Lautheitsperzentilverteilungen. Unter der Perzentillautheit  $N_x$  versteht man die Lautheit, die in x% der Zeit erreicht oder überschritten wird. Die untersuchten Geräusche decken einen Lautheitsbereich von 2 bis 24 sone ab. Nahezu alle Geräusche weisen in ihrer Lautheitsperzentilverteilung einen sehr flachen, fast glatten Verlauf auf, der bei hohen bzw. niedrigen Perzentilen etwas stärker nach oben bzw. nach unten gekrümmt ist. Die Lautheitsmaxima und -minima unterscheiden sich um nur wenige Sone, d. h. die Lautheit der Geräusche schwankte nur geringfügig.

Bei einer Schallpegelanalyse der Geräusche ergeben sich ähnliche Ergebnisse. Die A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{eq}$  liegen im Bereich von 37,5 bis 66,5 dB(A) und repräsentieren damit einen großen Dynamikbereich von 29 dB. Der äquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  ist meist nur ca. 3 dB geringer als der Maximalpegel

$L_{Amax}$ , was ebenso auf geringe zeitliche Fluktuationen hinweist.

## Experimente

Für die Hörversuche wurden Geräuschabschnitte der Originalaufnahmen ohne Störgeräusche wie Vogelgezwitscher oder Straßenverkehrslärm ausgewählt, um eine Wiedererkennung der Darbietung an speziellen Einzelgeräuschen zu verhindern. Diese Abschnitte wurden zum Teil mehrmals wiederholt, um die gewünschte Darbietungsdauer von maximal 20 min zu erreichen. Daß es sich um Wiederholungen handelte, war jedoch nicht wahrnehmbar. Die Schalldarbietung erfolgte im Originalpegel dritsch über einen elektrodynamischen Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer [3]. Die Versuchspersonen (VPn) befanden sich in einer schallisolierten Kabine und erhielten jeweils eine schriftliche Versuchsanleitung. Bei der Darbietung sollte stets die globale Lautheit beurteilt werden, d. h. das Geräusch sollte ganzheitlich, umfassend in der Lautheit beurteilt werden und nicht etwa nur eine spezielle Schallkomponente.

Von besonderem Interesse war der Einfluß der Darbietungsdauer auf die von den Versuchspersonen empfundene globale Lautheit. Daher wurden Experimente mit Geräuschdauern von 3 s, 5 min, 10 min und 20 min durchgeführt. Eine noch längere Versuchsdauer ist im Labor bei solch gleichförmigen Geräuschen den VPn nicht zuzumuten. Je nach Schalldauer wurden verschiedene psychometrische Abfragemethoden verwendet.

## Schalldauern von 3 Sekunden

Psychoakustische Experimente zur Lautheit von 3 Sekunden dauernden, gleichförmigen Industriegeräuschen wurden mit der Methode der Größenschätzung (GS) ohne Ankerschall durchgeführt. Die VPn erhielten dabei die Aufgabe, den Schallen einen Zahlenwert entsprechend der empfundenen Lautheit zuzuordnen. Dabei galt zu beachten, daß die Verhältnisse der Zahlenwerte die Verhältnisse der Lautheiten wiedergeben sollten. Ein fünfmal so lautes Geräusch sollte einen fünffachen Zahlenwert erhalten, ein nur halb so lautes entsprechend den halben Zahlenwert. Der verwendete Zahlenbereich war von der VP frei wählbar. Jedes Geräusch wurde von neun Versuchspersonen in einer Sitzung viermal beurteilt, die Darbietungsreihenfolge der Geräusche wurde variiert. Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 23 und 37 Jahren (Median 27 Jahre). Nach jedem Geräusch stand eine Pause von 2 Sekunden zur Urteilsabgabe zur Verfügung. Als Vorlauf wurden sechs Geräusche, die nicht in die Auswertung mit eingingen, zur Orientierung über den Lautheitsbereich dargeboten.

Bei der Methode der Größenschätzung sind die intraindividuellen Schwankungen sehr gering, die Abweichungen vom Median betragen zwischen 7 und 10%, die interindividuellen Schwankungen liegen in der gleichen Größenordnung.

In Figur 2 sind Mediane und Interquartile über neun VPn aufgetragen. Die Daten wurden dabei auf die erste Bewertung des Geräusches Nr. 16 normiert. Die Lautheitsbeurteilungen der VPn wurden den jeweiligen gemessenen Perzentillautheiten  $N_x$  gegenüber-

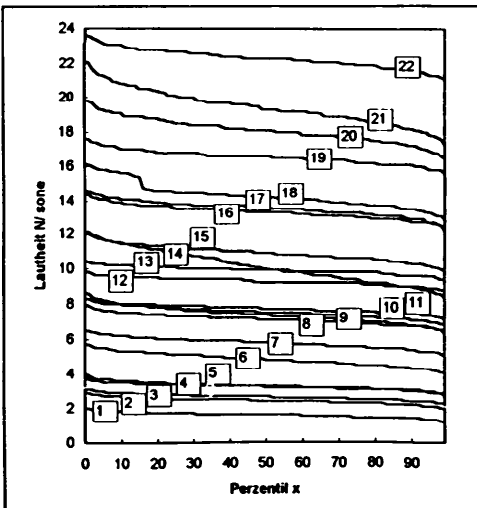


Fig. 1: Lautheitsperzentilverteilungen der Industriegeräusche. Parameter: Geräusch Nr.

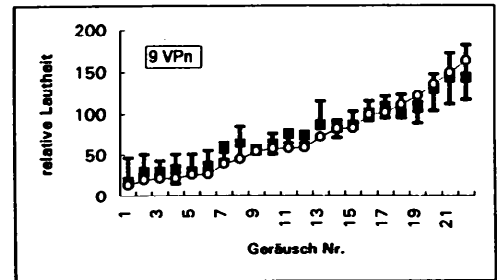


Fig. 2: Quadratische Relative Lautheit der 3 s dauernden Industriegeräusche (GS), Kreise: Perzentillautheit  $N_x$

gestellt. Die Unterschiede zwischen Meßwerten nach DIN 45 631 und Ergebnissen mit der Methode der GS sind sehr gering. Die Lautheit  $N$ , liegt meist innerhalb der wahrscheinlichen Schwankungen. Aufgrund der geringen Lautheitschwankungen der Industrie-geräusche würde sich ein anderer Perzentilwert ähnlich gut zum Vergleich eignen.

#### Schalldauern von 5 min bis 20 min:

Die globale Lautheit der Industrie-geräusche mit 5, 10 und 20 Minuten Dauer wurde mit der Methode der Linienlänge (LL) untersucht. Aufgabe der VPn war, auf einer 150 mm langen Linie mit den Endmarkierungen „very soft“ und „very loud“ die empfundene globale Lautheit der Darbietung anzutragen. Die Länge der Linie stellt somit ein Maß für die empfundene Lautheit dar. Die Wiederholgenauigkeit der VPn liegt bei dieser Methode ebenso bei 10%.

Aufgrund der Begrenzung der Linie am oberen Rand können bei der Methode der Linienlänge jedoch nicht beliebig große Linienlängen angegeben werden, so daß es zu einer „Stauchung“ der Lautheitsbeurteilungen der lautereren Geräusche kommt; die Dynamik der fünfminütigen Geräusche (Verhältnis zwischen leisestem und lautestem Geräusch) ist gegenüber den Ergebnissen der Größenschätzung bei 3 s dauernden Geräuschen reduziert.

In Figur 3 sind die Mediane und Interquartile der Beurteilungen der Industrie-geräusche Nr. 2 und Nr. 20 bei verschiedenen Darbietungsdauern dargestellt. Die Zentralwerte bei verschiedenen Schalldauern unterscheiden sich nur gering, die Schwankungen überlappen sich. Statistisch läßt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Bewertungen nachweisen. D.h. bei einer Verlängerung der Darbietungsdauer von 5 auf 20 min ändert sich das Empfinden der globalen Lautheit nicht. Bei diesen Ergebnissen kann weder von einer Gewöhnung an das Geräusch noch von einem Ansteigen der Lautheit mit zunehmender Schalldauer ausgegangen werden.

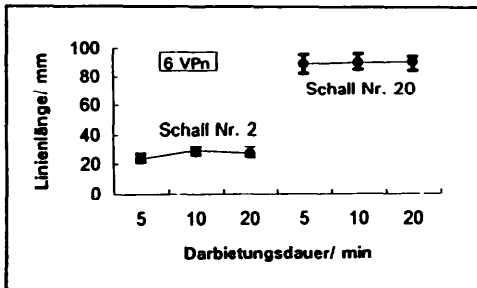


Fig. 3: Mediane u. Interquartile von Geräusch Nr. 2 u. Nr. 20 bei Dauern von 5, 10 u. 20 min. Methode der Linienlänge

#### Vergleich von Schalldauern mit 3 s und 5 min

Um Schalle solch unterschiedlicher Dauer miteinander vergleichen zu können, wurde eine neue psychoakustische Meßmethode basierend auf Verhältnissschätzungen entwickelt, die zur Beurteilung sowohl von kurzen als auch lang andauernden Geräuschen verwendet werden kann.

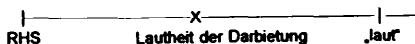
Dabei lautete die Versuchsanweisung wie folgt:

Sie sollen nun die globale Lautheit dieser Darbietung beurteilen, indem Sie auf der Linie zwei Markierungen antragen.

1. Markieren Sie mit einem senkrechten Strich (|) die Lautheitsempfindung „laut“.

2. Setzen Sie die globale Lautheit der eben gehörten Darbietung ins Verhältnis zur Empfindung „laut“ und markieren Sie sie mit einem Kreuz (x) auf der Linie.

Haben Sie die globale Lautheit der Darbietung z.B. nur als halb so laut wie die Empfindung „laut“ empfunden, so ist die Markierung „x“ auf der halben Strecke zwischen Ruheshörschwelle (RHS) und der Markierung „laut“ (|) anzutragen. Haben Sie die globale Lautheit der Darbietung z.B. als dreimal so laut wie „laut“ empfunden, so soll der Abstand RHS - x dreimal so groß sein wie RHS - „laut“.



In die dargestellte Linie ist bereits ein Beispiel einer möglichen Beurteilung mit der Methode der Verhältnisslinienlänge eingetragen. Mit dieser Methode läßt sich zugleich ein absolutes Urteil über die Lautheit als auch ein relatives Verhältnis zwischen einzelnen Geräuschbeurteilungen ermitteln. Den VPn wurde jeweils nach einer Geräuschdarbietung ein Antwortbogen ausgehändigt, auf dem außerdem die wahrgenommenen Geräusche beschrieben werden sollten. Die intraindividuellen Schwankungen einer VP liegen bei 10%. Trotz der theoretisch beliebig realisierbaren Lautheitsverhältnisse bei dieser Methode unterscheiden sich lautestes und leisestes Industrie-geräusch nur um den Faktor fünf und nicht wie bei der Methode der GS um Faktor 8,5.

In Figur 4 sind Mediane und Interquartile über 8 VPn bei einigen Geräuschen exemplarisch dargestellt. Die Unterschiede in der Beurteilung zwischen Schallen der Dauer 3 Sekunden bzw. 5 Minuten liegen innerhalb der Schwankungen und sind statistisch nicht signifikant.

Unterschiede im globalen Lautheitsurteil bei verschiedenen Schalldauern bei der GS und der LL sind auf Einflüsse der Meßmethoden zurückzuführen. Werden die Geräusche allerdings mit der selben Methode beurteilt, so ist ein Unterschied nicht gegeben.

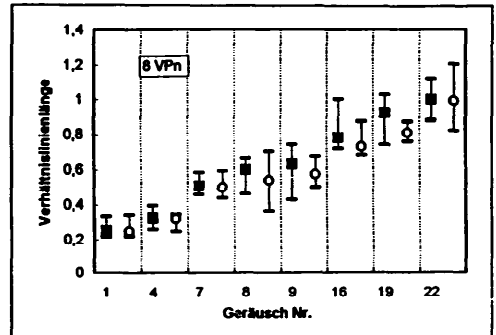


Fig. 4: Vergleich der Lautheit bei Schalldauern von 3 s (Quadrate) und 5 min (Kreise), Methode der Verhältnisslinienlänge.

#### Zusammenfassung

Bei der Beurteilung der globalen Lautheit von gleichförmigen Industrie-geräuschen führen verschiedene psychometrische Meßmethoden zu unterschiedlichen Ergebnissen. Werden Lautheitsbeurteilungen von Geräuschen mit unterschiedlicher Schalldauer jedoch mit derselben Methode gewonnen, so läßt sich statistisch kein Unterschied in der Beurteilung der Lautheit bei Variation der Schalldauer von 3 Sekunden auf 5 min und von 5 min auf 20 min nachweisen. Somit läßt sich auf Unabhängigkeit des Lautheitsempfindens von der Schalldauer von 3 s bis 20 min bei gleichförmigen Industrie-geräuschen schließen.

Die Lautheitsbeurteilungen, die mit der Methode der Größenschätzung gewonnen wurden können durch die nach DIN 45 631 gemessene Lautheit  $N$ , sowohl quantitativ als auch qualitativ gehörig beschrieben werden.

Die Autorin dankt Herrn Dipl.-Ing. G. Staffa für wertvolle Mitarbeit.

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

#### Literatur

- [1] Brennecke, W., Remmers, H., Physikalische Parameter bei der Bewertung der Lästigkeit von Industrie-geräuschen, *Acustica* 52, 279 - 289, (1983).
- [2] Techn. Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), (1968).
- [3] Zwicker, E., Fastl, H., *Psychoacoustics - Facts and Models*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, (1990).