

Psychoakustische und instrumentelle Beurteilung typischer Geräusche von Gebläsen

Jakob Putner¹, Hugo Fastl¹, Rudi Dittmar²

¹ AG Technische Akustik, MMK, TU München, 80333 München, Deutschland, E-Mail: putner@tum.de

² Gardner Denver Deutschland GmbH

Einleitung

Bei der Auslegung von Gebläsen sind typischerweise Druckdifferenz und Volumenstrom maßgebliche Faktoren. Die technische Weiterentwicklung wird vor allem durch steigende Anforderungen an Wirkungsgrad, Geräuschpegel und Klangqualität der Gebläse vorangetrieben. Für die Optimierung der Geräusche ist die Berücksichtigung der Wahrnehmung durch den Menschen von essentieller Bedeutung.

In diesem Beitrag wird die Wahrnehmung typischer Geräusche von Gebläsen anhand ausgewählter Hörempfindungen betrachtet. In Hörversuchen wurde die Psychoakustische Lästigkeit sowie die Lautheit - von der die Psychoakustische Lästigkeit maßgeblich abhängt, wie Zwicker [6] und Widmann [5] festgestellt haben - untersucht. Da die für Geräusche von Gebläsen typischen tonalen Anteile die Psychoakustische Lästigkeit beeinflussen können, wurde die Hörempfindung „Ausgeprägtheit der Tonhöhe“ ebenfalls berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Hörversuche zur Psychoakustischen Lästigkeit werden mit den Ergebnissen zur Lautheit und Ausgeprägtheit der Tonhöhe verglichen. Diese werden instrumentellen Analysen nach den entsprechenden Normen, DIN 45631/A1 [1] zur Lautheit und DIN 45681 [2] zur Tonhaltigkeit, gegenübergestellt, um deren Anwendbarkeit für die Beurteilung der Wahrnehmung der Geräusche von Gebläsen zu überprüfen.

Versuchsaufbau und -durchführung

Für die Hörversuche wurden acht Schalle von Gebläsen mit Pegeln von $L_{AF,max} = 78.2$ bis 85.8 dB(A) ausgewählt. Die Darbietung erfolgte im Originalpegel, diotisch über elektrodynamische Kopfhörer vom Typ Beyerdynamic DT48A mit Freifeldentzerrung nach Fastl und Zwicker [4]. Die Probanden befanden sich für die Experimente in einer abgedunkelten, schallisolierten Hörkabine. An den Experimenten nahmen 15 normalhörende Versuchspersonen im Alter zwischen 22 und 32 Jahren (Median: 23 Jahre) teil.

Als Versuchsmethode kam die von Fastl [3] vorgestellte Methode Random Access zum Einsatz. Hier haben die Probanden die Aufgabe, die Schalle, beziehungsweise deren Symbole, in eine Rangreihenfolge im Bezug auf die untersuchte Hörempfindung zu bringen. Dabei besteht ein direkter Zugriff auf die Schalle, so dass diese beliebig oft wiedergegeben werden können und die Rangreihenfolge beliebig oft korrigiert werden kann. Die Beurteilung wurde in dieser Untersuchung für jede Hörempfindung zwei mal wiederholt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Hörversuche sind im folgenden als Mediane und Interquartilbereiche der intra-individuellen arithmetischen Mittelwerte dargestellt.

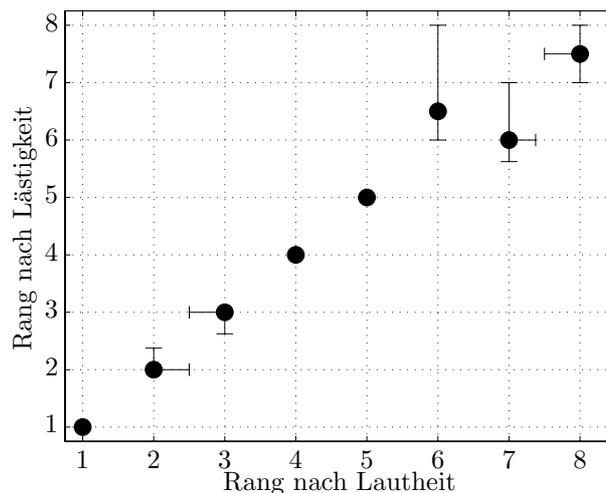


Abbildung 1: Rangfolge der Signale nach dem Hörversuch zur Lästigkeit aufgetragen über der Rangfolge der Signale nach dem Hörversuch zur Lautheit.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse aus den zwei Hörversuchen zur Psychoakustischen Lästigkeit und zur Lautheit gegenübergestellt. Die erwartete hohe Korrelation zwischen der Psychoakustischen Lästigkeit und der Lautheit wird durch die Versuchsergebnisse bestätigt. Bis auf einen Rangwechsel, von zwei Stimuli um einen Platz, stimmt die Reihenfolge überein. Der Schall mit Rang 6 nach der Lautheit wird im Hörversuch zur Ausgeprägtheit der Tonhöhe am höchsten bewertet. Eine besonders deutlich wahrnehmbare Tonhöhe kann, wie in diesem Fall, zu einer Steigerung der empfundenen Lästigkeit führen. Bei den Urteilen zur Lästigkeit dieses Schallpaares treten größere inter-individuelle Schwankungen auf, was darauf hindeutet, dass ein Teil der Versuchspersonen sich bei diesen Signalen an der Ausgeprägtheit der Tonhöhe und ein anderer Teil an der Lautheit orientiert hat.

Ein Vergleich der Rangreihenfolge nach der Lautheit ermittelt im Hörversuch und der Lautheit berechnet nach DIN 45631/A1 ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Analyse der instationären Lautheit wurde mit der Software PAK von Müller-BBM VibroAkustik Systeme durchgeführt. Aus diesen Werten wurde die Perzentillautheit N_5 berechnet und mit dieser die dargestellte Rangreihenfolge bestimmt. Insgesamt zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Rangreihenfolgen nach Hörversuch

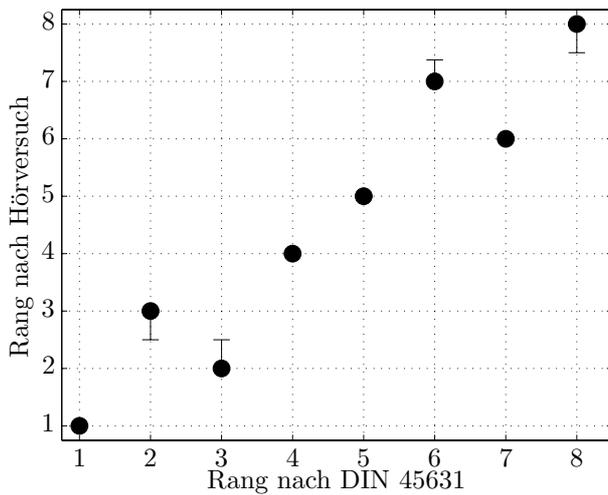


Abbildung 2: Rangfolge der Signale nach dem Hörversuch zur Lautheit aufgetragen über der Rangfolge der Signale nach Analyse der Lautheit gemäß DIN 45631/A1.

und instrumenteller Analyse. Es kommt lediglich zu zwei Vertauschungen benachbarter Ränge. Bei der Vertauschung der Signale auf den Rängen 2 und 3 deuten bereits die Quartile der Hörversuchsergebnisse darauf hin, dass kein sehr deutlicher Unterschied zwischen den Signalen, bezogen auf die Lautheit, besteht. Die berechneten Perzentillautheiten $N_5 = 48.8$ und 49.4 sone bestätigen den geringen Unterschied. Die Signale auf den Rängen 6 und 7 werden im Hörversuch relativ eindeutig den Rängen zugeordnet, während die berechneten Perzentillautheiten mit $N_5 = 71.1$ und 72.1 sone einen geringen Unterschied aufweisen.

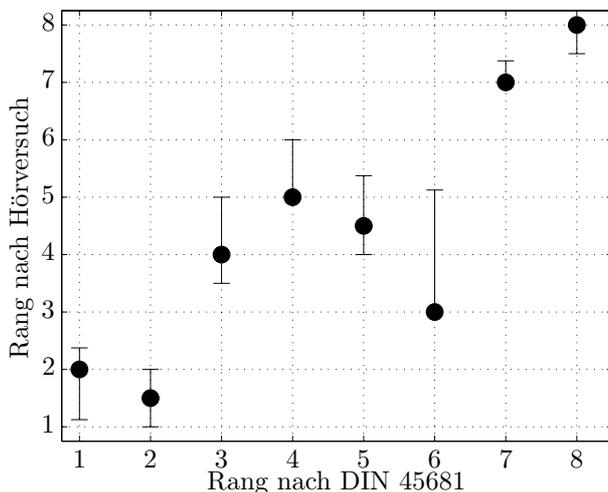


Abbildung 3: Rangfolge der Signale nach Hörversuch zur Ausprägtheit der Tonhöhe aufgetragen über der Rangfolge der Signale nach Analyse der Tonhaltigkeit gemäß DIN 45681.

Die Ergebnisse aus den Hörversuchen zur Ausprägtheit der Tonhöhe werden in Abbildung 3 der Tonhaltigkeit nach DIN 45681 gegenübergestellt. Um die Rangreihenfolge zu bilden, wurde zunächst die sogenannte maßgebliche Differenz für die Tonhaltigkeitsbestimmung für jedes Signal mit der Software PAK berechnet und mit diesen Werten die Zuordnung bestimmt. Es zeigt, sich

dass Extremwerte des Experiments zur Ausprägtheit der Tonhöhe von der instrumentellen Analyse abgebildet werden können. Bei mittleren Rängen kann die Reihenfolge nicht nachgebildet werden und bei den benachbarten niedrigen Rängen kommt es zu einer Vertauschung. Die Interquartile der Hörversuchsergebnisse in diesen beiden Bereichen überlappen, was darauf hinweist, dass hier auch zwischen den Versuchspersonen Schwankungen auftreten.

Zusammenfassung

Mit den Ergebnissen der durchgeführten Hörversuche zur Psychoakustischen Lästigkeit, Lautheit und Ausprägtheit der Tonhöhe lässt sich für die untersuchten acht typischen Gebläsegeräusche die Annahme bestätigen, dass die Lästigkeit maßgeblich von der Lautheit abhängt. Eine höhere Lästigkeit, als sie nach der Lautheit prognostiziert würde, konnte auf den Einfluss der Ausprägtheit der Tonhöhe zurückgeführt werden.

Mit der instrumentellen Analyse nach DIN 45631/A1 konnten die Ergebnisse der Hörversuche zur Lautheit gut nachgebildet werden, womit sich diese auch für die Beurteilung der Geräusche von Gebläsen als geeignet erweist.

Beim Vergleich der Hörversuchsergebnisse zur Ausprägtheit der Tonhöhe mit den Werten der Analyse der Tonhaltigkeit nach DIN 45681 hat sich gezeigt, dass Extremwerte gut, aber Rangreihenfolgen hinsichtlich der Mediane ungenau prognostiziert werden.

Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Bayerischen Forschungsstiftung im Verbund FORLärm, Projekt B1 gefördert.

Literatur

- [1] DIN 45631/A1: *Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum - Verfahren nach E. Zwicker - Änderung 1: Berechnung der Lautheit zeitinvarianter Geräusche*. Beuth Verlag, Berlin (März 2010)
- [2] DIN 45681: *Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschmissionen*. Beuth Verlag, Berlin (März 2006)
- [3] Fastl, H.: *Sound Quality of Electric Razors - Effects of Loudness*. In: *Proceedings inter-noise 2000* (2000)
- [4] Fastl H., E. Zwicker: *Psychoacoustics. Facts and Models*. 3. Auflage (Springer, Berlin, New York 2007)
- [5] Widmann, U.: *Ein Modell der Psychoakustischen Lästigkeit von Schallen und seine Anwendung in der Praxis der Lärmbeurteilung*. Dissertation, Technische Universität München (1993)
- [6] Zwicker, E.: *Ein Vorschlag zur Definition und zur Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit*. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 38, 91-97 (1991)