Entwicklung und Verifikation eines Lautheits-Thermometers

H. Fastl, D. Menzel, W. Maier

AG Technische Akustik, MMK, TU München, Arcisstr. 21, D-80333 München, fastl@mmk.ei.tum.de

Einführung

Um breiten Bevölkerungsschichten die Bedeutung von dB(A)-Werten näher zu bringen, werden öfters Pegel-Thermometer verwendet, bei denen dB(A)-Werten typische Geräusche zugeordnet sind. Beispielsweise werden 20 dB(A) durch Blätterrauschen dargestellt, während für 120 dB(A) ein Preßlufthammer steht (z. B. Brüel & Kjær 1984, Lärmfibel 1998). Ein Vorteil dieser Pegel-Thermometer liegt in ihrer Anschaulichkeit; als Nachteil ist jedoch festzuhalten, dass trotz gleichem dB(A)-Wert verschiedene Geräusche eine recht unterschiedliche Lautstärke erzeugen können. Die Differenzen im zugehörigen Lautheitswert können - trotz gleichem dB(A)-Wert - mehr als den Faktor 3 betragen.

Deshalb bietet es sich an, anstelle eines Pegel-Thermometers ein Lautheits-Thermometer zu verwenden. Dies hat den Vorteil, dass durch die lineare Lautheitsskale die Unterschiede in der Geräuschentwicklung durch verschiedene Schallquellen besonders augenfällig veranschaulicht werden. Darüber hinaus können mit dem Lautheits-Thermometer breite Bevölkerungsschichten mit der Maßeinheit „sone“ der Lautheit besser vertraut gemacht werden. In dieser Arbeit wird daher anhand der Ergebnisse psychoakustischer Experimente ein Lautheits-Thermometer entwickelt und vorgestellt.

Experimente

Um zu einem Lautheits-Thermometer zu gelangen, wurden zwei unterschiedliche Versuchstypen durchgeführt: Zum einen sollten zehn Versuchspersonen (ohne akustische Darbietung) Geräusche von leise nach laut skalieren. Dazu wurden ihnen in alphabetischer Reihenfolge 21 Begriffe vorgelegt, die sie gemäß deren Lautheit sortieren sollten. Die Versuchspersonen waren zwischen 21 und 81 Jahre alt (Median 40 Jahre) und hatten nach eigener Angabe keine Hörschäden.

Die so erhaltene Liste wurde weiteren zehn normalhörenden Versuchspersonen im Alter zwischen 22 und 78 Jahren (Median 48,5 Jahre) zur Überprüfung vorgelegt. Die Versuchspersonen konnten die Reihenfolge der Geräusche so belassen oder beliebig umstellen.

Darüber hinaus sollten 23 nach eigener Angabe normalhörende Versuchspersonen im Alter zwischen 8 und 82 Jahren (Median 36 Jahre) jeweils selbst (ohne Vorgabe) 20 Geräusche benennen und in eine Reihenfolge bezüglich deren Lautstärke bringen.

Zum anderen wurden die in den ersten Versuchsreihen benannten 45 Geräusche auf DAT aufgenommen und 13 normalhörenden Versuchspersonen im Alter zwischen 22 und 60 Jahren (Median 23 Jahre) in einer schallisolierten Meßzelle diotisch über elektrodynamische Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer nach Zwicker und Fastl (1999, S. 7) im Originalpegel dargeboten. Die Dauer der Geräusche lag zwischen 0,084 und 7,9 Sekunden, ihr Schallpegel L_{AFmax} zwischen 25,2 und 102,0 dB(A). Die Geräusche wurden mittels der Meßmethode Größenschätzung mit Ankerschall beurteilt.

Ergebnisse

Tabelle I zeigt die Anordnung der Geräusche ohne Schalldarbietung. Als leisestes Geräusch wird „ruhiger Innenraum“ als lautestes Geräusch „Presslufthammer“ eingeschätzt.

Tabelle I: Anordnung von Geräuschen (ohne Schalldarbietung) von leise nach laut.

Presslufthammer
Rockband live
Kreissäge
Autohupe
Platzen eines Luftballons
Motorrad
Trompete
Staubsauger
Straßenverkehr in Ortschaft
Geige
Dunstabzugshaube
Normale Unterhaltung
Zerreißen von Papier
Kaffeemaschine
Tropfender Wasserhahn
Ruhiger Bach
Blätterrauschen
Anzünden eines Feuerzeugs
Uhrenticken
Flüstern
Ruhiger Innenraum

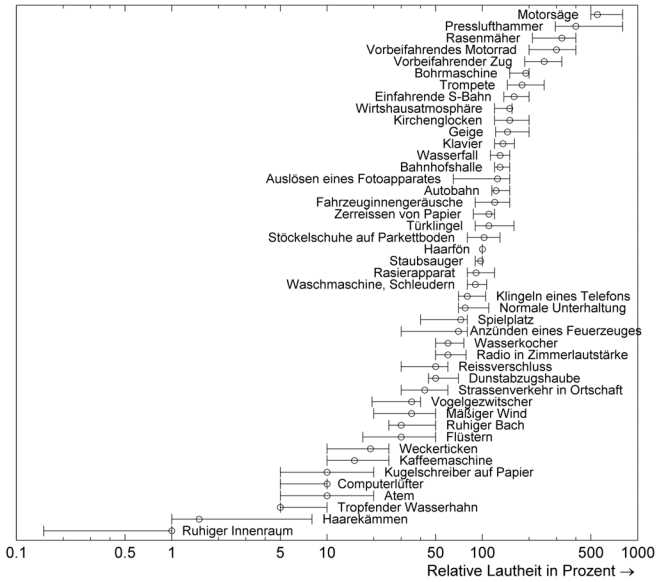
Zehn weitere Versuchspersonen, die die Anordnung der Begriffe nach deren Lautstärke überprüfen sollten, haben kaum Veränderungen in der Anordnung vorgenommen; lediglich „Motorrad“ und „Platzen eines Luftballons“ wurden häufiger vertauscht.

Tabelle II zeigt aus insgesamt 183 benannten Schallereignissen die 22 am häufigsten genannten. Die Prozentzahlen geben an, wieviele der 23 Versuchspersonen das jeweilige Geräusch genannt haben.

Tabelle II: Übersicht über die 22 aus 183 am häufigsten genannten Schallereignisse.

Schallereignis	Häufigkeit (%)	Schallereignis	Häufigkeit (%)
Hundegebell	61	Gewitter	35
Vogelgezwitscher	52	Kirchenglocken	35
Radio	48	Fernsehgerät	30
Motorsäge	43	Rasenmäher	30
Presslufthammer	43	Spielplatz	30
Mäßiger Wind	39	Wasserfall (klein)	30
Staubsauger	39	Eisenbahn	26
Türschlagen	39	Telefonklingeln	26
Bohrmaschine	35	Toilettenspülung	26
Diskothekenmusik	35	Uhrenticken	26
Düsenjäger	35	Motorrad	26

In Figur 1 sind die Ergebnisse der Größenschätzung mit Ankerschall als Mediane mit Interquartilen aus jeweils 36 Meßdaten dargestellt. Der in den Hörversuchen bestimmten Lautheit des Ankerschalls „Haarfön“ wurde der Zahlenwert 100 zugeordnet.



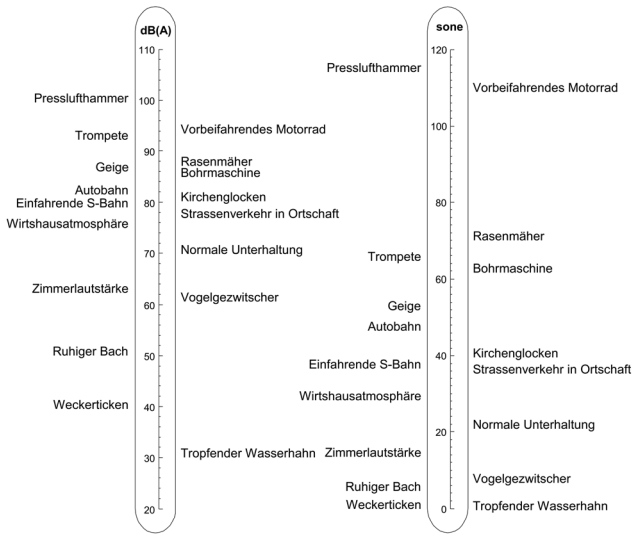
Figur 1: Lautheitsskalierung von 45 Geräuschen. Mediane (Kreise) und Interquartile.

In Übereinstimmung mit den in Tabelle I dargestellten Daten ohne Schalldarbietung zeigen die Ergebnisse aus dem Hörversuch, dass das Geräusch in einem „ruhigen Innenraum“ als leisestes and das Geräusch eines „Presslufthammers“ als eines der lautesten eingeordnet wird.

Einige Geräusche wie „Anzünden eines Feuerzeugs“ oder „Zerreißen von Papier“ liegen bei der Beurteilung im Hörversuch höher als bei der Anordnung ohne Schalldarbietung. Dies liegt im wesentlichen darin begründet, dass bei den Geräuschaufnahmen ein sehr geringer Abstand zum Mikrofon gewählt wurde, während die Versuchspersonen in ihrer Erinnerung an diese Geräusche offensichtlich von einem größeren Abstand der Schallquelle von den Ohren ausgingen.

In Figur 2 sind für ausgewählte Geräusche Pegel-Thermometer und Lautheits-Thermometer gegenübergestellt. Die Pegelwerte wurden mit einem Schallpegelmesser nach DIN EN 60 651, die Lautheitswerte mit einem Lautheitsanalysator nach DIN 45 631 bestimmt.

In beiden Darstellungen repräsentiert ein „tropfender Wasserhahn“ das leiseste und ein „Presslufthammer“ das lauteste Geräusch. Während eine Trompete in der Pegelskale über einem Rasenmäher liegt, ist es bei der Lautheitsskale umgekehrt. Wegen der größeren Bandbreite seines Geräusches erzeugt ein Rasenmäher - trotz niedrigerem A-bewerteten Schallpegel - eine größere Lautheit als eine Trompete. Ähnliches gilt beim Vergleich der Geräusche einer Bohrmaschine und einer Geige.



Figur 2: Vergleich von Pegel-Thermometer und Lautheits-Thermometer

Diskussion

Pegel-Thermometer und Lautheits-Thermometer ermöglichen eine allgemein verständliche Zuordnung der Lautstärke von Alltagsgeräuschen zu Meßwerten. Im Vergleich zum Pegel-Thermometer hat ein Lautheits-Thermometer den Vorteil, dass auch Klangfarbenunterschiede, die sich in unterschiedlichen Spektralverteilungen äußern, mit erfaßt werden. Darüber hinaus veranschaulicht die Lautheitsskale auch ohne tiefere Kenntnis von (auf Logarithmen basierenden) Meßverfahren, dass beispielsweise das Geräusch eines Rasenmähers etwa fünfmal lauter ist als Zimmerlautstärke.

Literatur

[1] Brüel & Kjær: *Measuring Sound*, 1984
http://www.bksv.com/pdf/Measuring_Sound.pdf

[2] *Lärmfibel – Selbsthilfe bei Lärmbeschwerden*, 4. Auflage, Hrsg: Gesellsch. f. Lärmbekämpfung e.V., Dt. Arbeitsring f. Lärmbekämpfung, e.V., Bundesvereinigung gegen Fluglärm e.V., 1998

[3] DIN EN 60 651: *Schallpegelmesser*, DIN, 1994

[4] DIN 45 631: *Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum.* Verfahren nach E. Zwicker, DIN, 1991

[5] Zwicker, E., Fastl, H: *Psychoacoustics. Facts and Models.* Second updated edition. Springer, Heidelberg, New York, 1999