

Vergleich psychoakustischer Meßmethoden zur Skalierung der Lautstärke:

I. Grundlagen

G. Gottschling¹⁾, W. Schmid, H. Fastl

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München; ¹⁾derzeit bei Akustik Süd GmbH, München

1. Einführung

Die Ergebnisse psychoakustischer Grundlagenforschung haben in neuerer Zeit zu zahlreichen praktischen Anwendungen geführt (vgl. Zwicker, Fastl, 1990). Hinsichtlich der Beurteilung der Lautstärke haben sich insbesondere zwei Anwendungsfelder entwickelt: Zum einen die Beurteilung der Lautstärke von Geräuschmissionen im Bereich der Lärmbekämpfung und zum anderen die Beurteilung der Lautstärke von Schallen zur Diagnose von Hörstörungen im Bereich der Audiologie. Für die Beurteilung der Lautstärke von Geräuschmissionen wird häufig die Methode der Linienlänge verwendet (vgl. Fastl et al., 1989) während im Bereich der Audiologie vermehrt Kategorienskalen für das Lautstärkeurteil Verwendung finden (vgl. Hellbrück, 1993).

In dieser Arbeit werden die beiden genannten psychoakustischen Meßmethoden einander gegenübergestellt und Meßergebnisse von Pilotstudien berichtet. Ergebnisse umfangreicher Studien in einem klinischen Umfeld werden in einer zweiten Arbeit dargestellt (Baumann et al., 1998).

2. Lautstärkeskalierung anhand der Linienlänge

Im Bereich der Lärmbewertung wurde und wird häufig und erfolgreich die „Methode der Linienlänge“ (vgl. Fastl, 1997) eingesetzt. Der Versuchsperson wird dazu eine horizontale Strecke vorgegeben, die am linken Streckenende mit „extrem leise“ und am rechten Streckenende mit „extrem laut“ beschriftet ist. Die Probanden erhalten die Anweisung, für jeden Testschall die Strecke entsprechend der wahrgenommenen Lautstärke an einer Stelle zu markieren. Die wahrgenommene Lautstärke soll dabei linear auf die Linienlänge abgebildet werden, d.h. die doppelte Lautstärke entspricht einem doppelt so langen Streckenabschnitt der Linienlänge. Die Länge des markierten Streckenabschnitts vom linken Ende bis hin zur Markierung stellt dabei ein Maß für die wahrgenommene Lautstärke des dargebotenen Schalles dar.

Sowohl die augenblicklich wahrgenommene Lautstärke (Lautheit) als auch die über einen längeren Zeitraum gemittelte (globale) Lautheit kann anhand der Methode der Linienlänge erfaßt werden. Darüberhinaus werden Methoden entwickelt (Fastl, 1997; Gottschling, 1998), die eine Vorhersage der globalen Lautheit aus der instantanen Lautheit gestatten.

3. Kategoriale Skalierung der Lautstärke

Im Bereich der Audiologie wird die Beurteilung der Lautstärke von Schallen anhand von Kategorien bereits erfolgreich eingesetzt (Hellbrück, 1993; Kollmeier, 1997). Eine Variante der kategorialen Skalierung der Lautstärke, die Hörfeldskalierung (Heller, 1985) ist unter der Bezeichnung „Würzburger Hörfeld“ (WHF) bereits kommerziell erhältlich.

4. Der computergesteuerte Meßplatz

Am Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation wurde ein Meßplatz entwickelt, der es ermöglicht, psychoakustische Experimente zur Lautstärkeskalierung durchzuführen. Ziel bei der Implementierung des Meßplatzes war es, beliebige Testschalle direkt über den Rechner ausgeben zu können und die Skalierungsdaten der Versuchspersonen wiederum in den Rechner einzulesen. Als Eingabemedium für die Skalierungsdaten dient ein Skalieretablrett der Fa. Westra. Das linke Ende des horizontal liegenden Kontaktstreifens

(Linie) ist mit „extrem leise“ und das rechte Ende mit „extrem laut“ beschriftet.

Ein psychoakustisches Experiment zur Lautstärkeskalierung läuft wie folgt ab: Zu Beginn werden personenbezogene Daten, wie Alter und Geschlecht eingegeben. Ein auf Festplatte abgelegter Testschall wird über eine 16 bit D/A-Wandlerkarte gemäß einer editierbaren Abspielliste analog ausgegeben. Der jeweilige Schall ist zuvor aus Gründen des günstigeren Signal/Rauschabstandes so aufgezeichnet worden, daß der Quantisierungsbereich (unter Berücksichtigung des Headrooms) möglichst gut ausgenützt wird. Eine digital steuerbare Eichleitung dient zur Dämpfung des ausgegebenen Signals in 0,1 dB-Schritten in einem Bereich von 0 bis 80 dB um den gewünschten Wiedergabepegel des Testsignals zu erzeugen (siehe Abb. 1). Die Schalle werden über Lautsprecher (Westra LAB 501) in einer schalldämmten Hörkabine ausgegeben. Der Lautsprecher wird auf Ohrhöhe (die Versuchsperson sitzt auf einem Stuhl mit Kopfstütze) in 1,50 m Abstand zur VP positioniert.

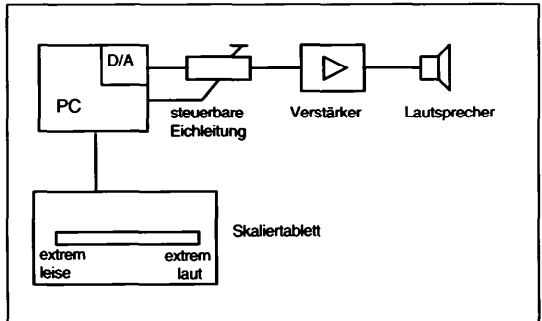


Abb. 1: Computergesteuerter Meßplatz zur Lautstärkeskalierung.

Nach der Schallausgabe hat der Proband 4 s Zeit, die wahrgenommene Lautstärke des Testschalles über das Skalieretablrett einzugeben. Dazu berührt der Proband den Kontaktstreifen mit dem Finger an einer Stelle zwischen den beiden Endpunkten. Die Darbietung kann durch vorzeitige Eingabe eines Skalierungswertes nicht unterbrochen werden. Wird andererseits das Zeitfenster für die Eingabe überschritten, so wird der Skalierungswert zu „0“ und damit als „extrem leise“ angenommen. Der ermittelte Skalierungswert wird in eine Versuchsdatei geschrieben, und die Ausgabe des nächsten Testschalles beginnt.

Der Meßplatz verbindet somit folgende Vorteile:

- Ausgabe beliebiger Testschalle (also auch natürlicher Geräusche) mit Zeitdauern zwischen Millisekunden und Stunden
- Zusammenstellung verschiedener Darbietungsreihenfolgen
- Erzeugen beliebiger Dämpfungen in einem Dynamikbereich von 80 dB in 0,1 dB Schritten

5. Experimente

Der Ablauf der hier dargestellten psychoakustischen Experimente wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit stark an das „Würzburger Hörfeld“ angelehnt. Es wird in zwei Versuchstypen (Versuch A und Versuch B) unterschieden. In den Experimenten werden Terzrauschen nach DIN 45 652 mit einer Dauer von ca. 2 s dargeboten. Der Pegelbereich der Testschalle bei beiden Versuchen erstreckt sich von 30 dB bis 90 dB in 5 dB-Schritten bei den Mittenfrequenzen der

Terzrauschen von $f_m = 500$ Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz. Somit stehen insgesamt $13 \times 4 = 52$ Testschalle zur Beurteilung. Dabei werden zu Anfang vier Testschalle dargeboten, die zwar beurteilt, diese Daten aber nicht ausgewertet werden. Bei diesen vier Schallen werden Schalle im unteren als auch im oberen Pegelbereich dargeboten, um den Probanden einen groben Eindruck über die dargebotene Pegelspanne und somit über die Einteilung des Tablettis zu geben. Die Versuchsdauer jedes Experimentes beträgt insgesamt ca. 10 min. Die Versuche A und B unterscheiden sich lediglich in der Darbietungsreihenfolge, die durch die Abspielliste gesteuert wird. Der Ablauf der beiden Versuche wird im folgenden kurz geschildert:

Versuch A:

Die Testschalle werden geordnet nach Mittenfrequenz dargeboten. Eine Ausnahme bilden dabei die vier ersten nicht auszuwertenden Schalle. Zunächst wird die Mittenfrequenz auf $f_m = 500$ Hz konstant gehalten und das Terzrauschen mit 13 verschiedenen Pegeln, die randomisiert gewählt worden sind, dargeboten. Danach wird die Mittenfrequenz auf 1 kHz, dann auf 2 kHz und schließlich auf 4 kHz gesetzt. Zu beachten ist dabei, daß die Pegelreihenfolge randomisiert in der Abspielliste festgehalten wurde, d.h. die Reihenfolge ist bei jeder erneuten Darbietung dieses Experiments identisch. Dieser Versuch erlaubt also die Untersuchung der Auswirkung auf die Lautstärkeskalierung bei der Variation nur eines Parameters, nämlich des Pegels.

Versuch B:

In diesem Versuch sind sowohl die Pegel als auch die Mittenfrequenz des jeweiligen Testschalles randomisiert in der Abspielliste definiert worden. Somit ergibt sich eine randomisierte Variation von 2 Parametern gleichzeitig. In Tabelle 1 sind die Versuche zusammen mit den zugehörigen Parametern aufgeführt.

Versuch	Tablett	Beschriftung	Testschalle
A	horizontal	an den Enden	Mittenfrequenz fest; Pegel randomisiert
B	horizontal	an den Enden	Mittenfrequenz und Pegel randomisiert
WHF	vertikal	Verbalkategorien	Mittenfrequenz und Pegel randomisiert

Tab. 1: Gegenüberstellung der durchgeführten Experimente.

6. Ergebnisse von Pilotstudien

Um die Eignung des computergesteuerten Meßplatzes zur Durchführung der Versuche an einer großen Probandenzahl zu untersuchen, wurden die Versuche A, B sowie das Würzburger Hörfeld WHF mit zwei Probanden bei viermaliger Wiederholung ausgetestet. Damit standen pro Testschall 8 Beurteilungen und damit 8 Datenpunkte zur Verfügung.

In Abb. 2 sind die Mediane für die drei Versuchsanordnungen für die Mittenfrequenzen $f_m = 500$ Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz über dem Pegel L in gemeinsamen Diagrammen dargestellt.

Bei mittleren Frequenzen liegen die Werte für das „Würzburger Hörfeld“ (Dreiecke) systematisch über den Daten, die mit der „Methode der Linienlänge“ gewonnen wurden. Offensichtlich ergibt sich eine unterschiedliche Anordnung von Lautstärkeurteilen nach der „Methode der Linienlänge“ einerseits und kategorialen Lautstärkeurteilen andererseits. Insbesondere ist in Abb. 2 zu erkennen, daß die einzelnen Kategorien nicht gleichabständig auf die Linienlänge abgebildet werden.

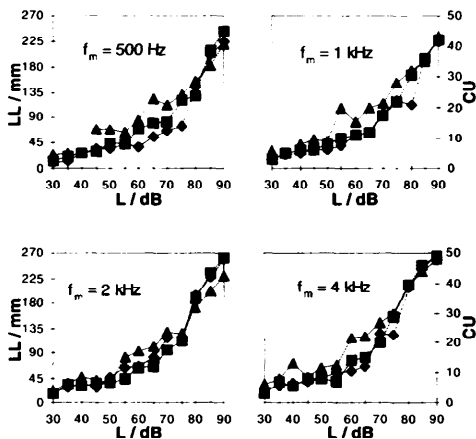


Abb. 2: Mediane der 8-maligen Beurteilung der Testschalle aus den Versuchen A, B und des WHF für die Mittenfrequenzen $f_m = 500$ Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz.

Raute: Versuch A, Quadrat: Versuch B, Dreieck: Westra WHF

7. Ausblick

Die hier dargestellten Ergebnisse von Pilotstudien deuten an, daß bei der Skalierung der Lautstärke nach unterschiedlichen psychoakustischen Meßmethoden insbesondere im Bereich mittlerer Pegel unterschiedliche Ergebnisse auftreten können. In einer zweiten Arbeit (Baumann et al., 1998) sollen diese Tendenzen mit einer größeren Zahl von Versuchspersonen überprüft werden. Für die Praxis der Audiologie erscheint besonders bedeutsam, daß bei freier Zuordnung der Linienlänge mittlere bis höhere Pegel überproportional viele Längeneinheiten beanspruchen.

Literatur

- Baumann, U., Arnold, B., Schorn, K., (1998), Vergleich psychoakustischer Meßmethoden zur Skalierung der Lautstärke: II. Klinische Anwendungen. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 98. Verl.: Dt. Gesellschaft für Akustik e.V. Oldenburg, (in diesem Band).
- Fastl, H., (1997), Gehörgerechte Geräuschbeurteilung. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 97. Verl.: Dt. Gesell. Für Akustik e.V., Oldenburg, 57-64.
- Fastl, H., Zwicker, E., Kuwano, S., Namba, S., (1989), Beschreibung von Lärmimmissionen anhand der Lautheit. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 89. Verl.: DPG-GmbH, Bad Honnef, 751-754.
- Gottschling, G., (1998), On the relations of instantaneous and overall loudness. Acustica / acta acustica 1998 (submitted).
- Hellbrück, J., (1993), Hören. Verlag Hogrefe, Göttingen.
- Heller, O., (1985), Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienteilung (KU). Psychologische Beiträge, 27, 478-493.
- Kollmeier, B., (1997), Ed., Hörfächenskalierung. median-Verlag, Heidelberg.
- Zwicker, E., Fastl, H., (1990), Psychoacoustics. Facts and models. Springer Verlag, Heidelberg, New York.

Literatur im Internet:

<http://www.mmk.e-technik.tu-muenchen.de/admin/psycho.html>