

# Kategoriale Lautstärkeskalierung in der klinischen Anwendung

U. Baumann<sup>1</sup>, I. Stemplinger<sup>2</sup>, B. Arnold<sup>1</sup>, K. Schorn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>HNO-Poliklinik Großhadern, Ludwig-Maximilians-Universität München

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, Techn. Univ. München

Kategoriale Lautstärkebeurteilungen sind zur Erfassung des Dynamikbereichs zwischen Hörschwelle und Unbehaglichkeitsschwelle entwickelt worden und sollen in Zukunft für Hörgeräteanpassungen verwendet werden. Bei diesen Verfahren werden Schalle in verschiedenen Frequenzbereichen mit unterschiedlichem Pegel dargeboten und die Einzelbeurteilungen der Lautstärke dieser Signale durch hörgeschädigte Patienten ermittelt. Durch einen Vergleich mit den aus vorangegangenen Untersuchungen resultierenden Beurteilungen Normalhörender dieser Signale erhofft man sich, grundlegende Parameter zur Anpassung der Verstärkungskennlinien von Hörgeräten zu erhalten. Ein Hörgerät ist optimal angepaßt, wenn sich der eingegrenzte Dynamikbereich des hörgeschädigten Patienten durch geschickte Auswahl der Kenndaten dem Dynamikbereich eines Normalhörenden annähert. Aus diesem Grund ist die Bestimmung von Bezugskurven der kategorialen Lautstärke von Normalhörenden von besonderer Bedeutung. Deshalb wurden mit einem kommerziell erhältlichen Gerät unter kontrollierten elektroakustischen Bedingungen eigene Versuchsreihen zur Gewinnung von Bezugskurven für die klinische Anwendung durchgeführt.

## Methode

Es wurde ein computergestützter Meßplatz der Firma Westra (WHF 386/3) verwendet [1]. Zum Einsatz kamen die Hörfelder 1 und 3 mit terzbandgefiltertem Rauschen,  $f_m$  zwischen 500 Hz und 6,3 kHz, sowie Hörfeld 4 mit oktavbandgefilterten Umweltgeräuschen. Die Hörversuche wurden in einem schallgedämpften Audiometrie-Raum der Klinik durchgeführt. Sowohl der Computer als auch der Untersucher befand sich außerhalb der Kabine. Insgesamt nahmen 57 normalhörende Versuchspersonen (Vpn, Hörverlust zwischen 0,5 kHz und 8 kHz kleiner als 20 dBHL), 28 männl. und 29 weibl. Personen im Alter zwischen 13 und 53 Jahren (Mittel = 29±7 Jahre) an der Versuchsreihe teil. Die Vpn rekrutierten sich aus Personal und Patienten der HNO-Klinik mit Normalgehör. Aus dem Versuchspersonenkollektiv der Angestellten wiederholten 8 Vpn in minimal täglichem Abstand die Versuchsreihe sechsmal. Aus dieser Gruppe hatten 3 Vpn Erfahrungen in der Beurteilung von Schallen, die übrigen Vpn hatten bisher an keinen psychoakustischen Experimenten teilgenommen. Die Darbietung der Schalle erfolgte über die mit dem System ausgelieferten aktiven Lautsprecher (WESTRA Typ LAB 501) in einem Abstand von einem Meter. Die Höhe des Lautsprecherpodestes betrug 122 cm, die Höhe der Sitzfläche der Vpn 45 cm. Die Kopfhaltung der Vpn wurde durch eine verstellbare Kopfstütze fixiert. Den Vpn lag eine schriftliche Versuchsanleitung vor; zusätzlich wurden sie von Versuchsleiter gebeten, die Kopposition gegenüber dem Lautsprecher nicht zu verändern. Ein Versuchsdurchlauf bestand aus der sukzessiven Darbietung der Hörfelder 1, 4, und 3 von kurzen Pausen unterbrochen, die durch das Abspeichern der Ergebnisse und Neustarten des nächsten Hörfeldes bedingt waren. Die Darbietung der Schalle erfolgte in der Einstellung *flexibel*. Bei diesem Modus wird sofort nach dem Betätigen des Skaliertabletts mit der Ausgabe des nächsten Schalles begonnen. Das Skaliertablett ist gemäß [1] mit kategorialen Lautstärkebeschreibungen von *nicht gehört* bis zu *laut* unterteilt.

Die Bewertungen der Vpn wurden als Zahlenwert zwischen 0 cu (nicht gehört) und 50 cu (zu laut, Einheitsbezeichnung cu, „categorical unit“) abgespeichert. Den Versuchspersonen wurden keine Vorab-informationen über den zu erwartenden Pegelbereich gegeben.

Das Skaliertablett und die Schallwiedergabe wurde in regelmäßigen Abständen kalibriert. Bei der Überprüfung des Pegels bei einer Mittenfrequenz von 500 Hz ein um 5 dB zu geringer Schalldruck, der auf einen Einbruch des Frequenzganges der WESTRA-Box in diesem Bereich zurückzuführen ist. In Fig. 1 wird dies durch eine Pegelkorrektur bei 500 Hz bereits berücksichtigt. Zusätzlich zeigte die Box bei Frequenzen oberhalb 2 kHz eine ausgeprägte Richtcharakteristik mit Einbrüchen bis zu 20 dB bei Einfallsrichtungen von  $\pm 10^\circ$ . Bei den Hörversuchen wurde deshalb auf eine sorgfältige Ausrichtung der Lautsprecherbox besonderer Wert gelegt.

## Ergebnisse

Die Bewertungen der 8 wiederholenden Vpn wiesen wahrscheinliche Schwankungen zwischen 5 cu und 10 cu auf. Der Vergleich der durch die 3 geübten Vpn vorgenommenen Skalierungen mit denen von 5 ungeübten zeigte für die geübten Vpn zwar eine etwas geringere Schwankungsbreite; die Bewertungen hatten jedoch unterhalb von  $f_m = 4$  kHz keine signifikanten Abweichungen. Ab  $f_m = 4$  kHz ergab der Vergleich der Bewertungen der beiden Vpn-Kollektive einen Trend zu etwas erhöhten Lautstärkebewertungen bei den ungeübten Vpn.

Da sich durch die sechsfache Wiederholung des Versuches ein Lerneffekt ergeben konnte, wurde ein Vergleich der Ergebnisse des ersten sowie des sechsten Versuchsdurchlaufes vorgenommen. Es zeigte sich keine signifikante Änderung der Bewertung mit steigender Versuchszahl.

Ungeübte Vpn werden stärker von den am Skaliertablett angebrachten Beschriftungen beeinflusst als geübte Vpn; die Angaben der ungeübten Vpn zeigten häufig keinen gleichmäßigen Anstieg, sondern hatten einen stufenförmigen Verlauf. Dieser Effekt konnte auch an Verteilungs-Histogrammen beobachtet werden. Statt der erwarteten Normalverteilung hatten die zusammengefaßten Bewertungen der Vpn entweder eine Schiefelage oder eine Mehrgipfligkeit.

Fig. 1 zeigt unsere Versuchsergebnisse über alle Vpn für Terzbandrauschen (durchgezogen: Ausgleichskurve 2. Ordnung). Die gestrichelt eingezeichneten Referenzkurven für Normalhörende der Firma WESTRA verlaufen meistens deutlich oberhalb der aus der hier vorgestellten Untersuchung erhaltenen Ergebnissen. Die größte Abweichung findet sich bei  $f_m = 1$  kHz: während die WESTRA-Referenzkurve bei einem Wiedergabepegel von 50 dB die Lautstärke-Kategorie „mittel“ (25 cu) angibt, erreichen die Vpn dieser Studie diesen Wert erst bei 65 dB. Weiterhin läßt sich aus dem Verlauf der eingezeichneten Ausgleichskurven (Polynome 2. Grades) erkennen, daß mit steigender Mittenfrequenz eine anwachsende Krümmung dieser Kurven erfolgt. Außerdem verdeutlicht Fig. 1 die bereits angesprochene Stufung der Lautstärkebeurteilungen; z.B. liegt der Median der Bewertung des 2 kHz

Terzrauschens zwischen 35 dB und 50 dB Darbietungspegel relativ konstant bei etwa 15 cu (leise) und zwischen 60 dB und 75 dB bei 25 cu (mittel). Häufig findet sich auch ein sprunghaftes Anwachsen der Beurteilung. Bei  $f_m = 1$  kHz wird ein Terzrauschpegel von 50 dB im Median als knapp leise bewertet. Ein Pegelzuwachs von nur 5 dB auf 55 dB läßt den Median der Bewertungen der Vpn sprunghaft um fast 10 cu auf knapp mittel anwachsen. Einen ähnlichen Sprung findet man auch bei  $f_m = 2$  kHz von 75 dB auf 80 dB.

Da sich in einigen vorangegangenen Untersuchungen (Hellbrück et al. [2], Kießling et al. [3]) zwischen männlichen und weiblichen Vpn eine unterschiedliche Lautstärkebewertung ergeben hatte, wurde in den hier vorgestellten Hörversuchen eine nach Geschlecht getrennte Auswertung vorgenommen. Es zeigte sich bei  $f_m = 1$  kHz und 2 kHz kein Unterschied; bei  $f_m = 3, 1$  kHz, 4 kHz und 6,3 kHz ergab sich bei höheren Pegeln bei den weibl. Vpn ein Trend zu einer etwas geringeren Beurteilung (max. 5 cu) der Lautstärke.

In Fig. 2 sind Median und Interquartile der Lautstärkebeurteilung von Umweltgeräuschen ( $f_m = 4$  kHz) dargestellt. Der Bereich der wahrscheinlichen Schwankung ist gegenüber dem Terzrauschen gleicher Mittenfrequenz vergrößert; zusätzlich sind Unstetigkeiten des Zuwachses der Lautstärkebeurteilung zu erkennen. So zeigen sich bei 40, 55 und 75 dB starke Bewertungseinbrüche, die auf die ausgeprägte zeitliche Strukturierung der bei diesen Pegeln verwendeten Schalle (Dampflok mit Signalpfeif, Rufen eines Eichelhähers) zurückzuführen sind.

### Diskussion

Die hier vorgestellte Untersuchung ergab teilweise deutliche Abweichungen von der Referenzkurve der Firma WESTRA. Da die Kalibrierung der Versuchsanordnung mehrfach überprüft wurde, ist eine Erklärung der Unterschiede durch eine fehlerhafte Kalibrierung ausgeschlossen. Zusätzlich zeigt sich bei höheren Mittenfrequenzen eine stärkere Krümmung der Auslegelkurven. Die Einteilung des Skaliertablets in verbale Lautstärkekategorien führt zu nicht-normalverteilten, treppenförmigen Lautstärkebewertungen. Ein Verzicht auf diese Kategorienunterteilung könnte in diesem Punkt Abhilfe

schaffen. Diese Maßnahme hätte vermutlich eine größere Varianz der Bewertungen zur Folge, dürfte jedoch zu eher an eine Normalverteilung angenäherten Ergebnissen ohne stufenweisen Anstieg der Bewertungen führen.

Für eine IIG-Überprüfung bei Kindern erscheint ein mit Umweltgeräuschen arbeitendes Hörfeld wünschenswert, da durch die gegenüber einem Rauschsignal interessanter erscheinenden Umweltgeräusche ein Mehr an Motivation und Konzentration erwartet werden kann. Die bisher im WESTRA Verfahren eingesetzten Umweltgeräusche eignen sich aber anscheinend nur in eingeschränktem Umfang zum Einsatz in kategorialen Lautstärkebewertungen. Gerade in den beiden höheren Oktavbändern (2 kHz, 4 kHz) entsteht durch die Bandpaßfilterung ein ungewohntes Klangbild, welches vielen der verwendeten Umweltschallen die Natürlichkeit nimmt. Die im Hörfeld 4 verwendeten Umweltgeräusche weisen zudem eine große Zeitstrukturvariation auf. Neben Schallen mit weniger ausgeprägten zeitlichen Schwankungen der Hüllkurve wie z.B. einer stark verhaltenen Bahnhofsdurchsage werden Hubschraubergeräusche oder stark impulsive Schalle (zerberstendes Glas) verwendet. Diese eignen sich zwar sicher für eine Akzeptanzprüfung bei IIG-Versorgungen, nicht jedoch zur genauen Bestimmung der Verstärkungsleistung oder Kompressionseinstellung. Abhilfe könnte hier durch eine verbesserte Auswahl der Umweltschalle sowie eine Gruppierung in Schalle mit ähnlicher zeitlicher Hüllkurve erreicht werden.

Wir bedanken uns bei bei Dipl.-Ing. Stephan Gamp für die Durchführung der Messungen und das Anfertigen von Diagrammen zur Auswertung, sowie bei der Firma WESTRA für die Bereitstellung des WIF-Meßplatzes. Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204 „Gehör“, München, unterstützt.

### Literatur

- [1] Kammermeier, S. (1995). *Das Würzburger Hörfeld, Einführung und Leitfaden*. WESTRA ELECTRONIC GmbH, Wertingen.
- [2] Hellbrück, J., Thomamüller, D., Zeitler, A. (1995). *Hörfeldaudiometrie mit Gruppen normalhörender Personen in natürlichen Schallfeldern*. *Audiol. Akustik*, 2, 60-61.
- [3] Kießling, J., Steffens, T., Wagner, I. (1993). *Untersuchungen zur praktischen Anwendbarkeit der Lautheitskalibrierung*. *Audiol. Akustik*, 4, 100-115.

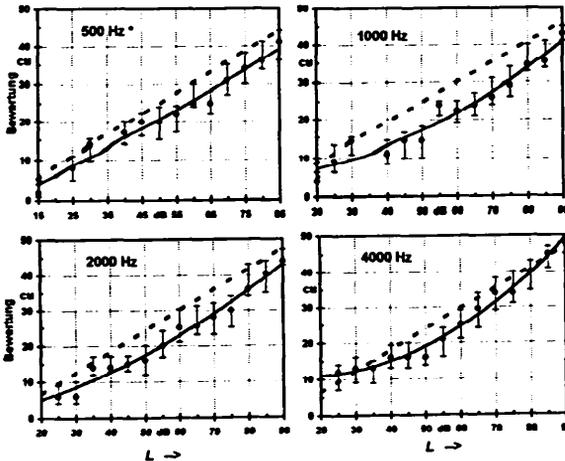


Fig. 1 (links): Mediane und Interquartile der Lautstärkebewertung von Terzbandrauschen für die eingetragenen Mittenfrequenzen, 57 normalhörende Vpn, 97 Bewertungen je Median. Unterbrochene Linie: WIF-Referenzkurve für Normalhörende.

Fig. 2 (unten): Lautstärkebewertung von oktavband-gefilterten Umweltgeräuschen,  $f_m = 4$  kHz (gleiche Vpn).

