

# Bandbreitenabhängige binaurale Lautheitssum- mation bei Normal- und Schwerhörnden

Sven Herrmann<sup>1,3</sup>, Dirk Oetting<sup>1,2</sup>, Martin Hansen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Projektgruppe für Hör-, Sprach- und Audiotechnologie des Fraunhofer IDMT, Oldenburg

<sup>2</sup> Exzellenzcluster „Hearing4All“, Universität Oldenburg

<sup>3</sup> Institut für Hörtechnik und Audiologie, Jade Hochschule, Oldenburg

## Einleitung

Bei der Anpassung von Hörgeräten spielt die Lautheitswahrnehmung insbesondere von breitbandigen Signalen wie Sprache oder Musik eine entscheidende Rolle. Insbesondere bei der heute üblichen binauralen Versorgung sind die Effekte der binauralen Lautheitssum- mation bei einer Anpassung zu berücksichtigen. In der Literatur gibt es jedoch unterschiedliche Ergebnisse zum Einfluss der spektralen Bandbreite auf die binaurale Lautheitssum- mation. Gemäß [1] ist in Normalhörenden die binaurale Lautheitssum- mation für Breitbandrauschen geringer (3-8 dB) als für Schmalbandrauschen (ca. 10 dB). Gemäß [2] hingegen ist die binaurale Lautheitssum- mation für Schmal- und Breitbandrauschen bei mittleren Pegeln in Normalhörenden mit 3-6 dB gleich groß. In Untersuchungen zur Auswirkung eines Hörverlustes auf die binaurale Lautheitssum- mation wurden ebenfalls unterschiedliche Ergebnisse aufgezeigt: Für schmal- und breitbandige Signale bei mittleren Pegeln wurde kein Unterschied in der binauralen Lautheitssum- mation zwischen Normal- und Schwerhörnden berichtet [2]. Gemäß [3] ist die binaurale Lautheitssum- mation bei Schwerhörnden im Frequenzbereich des Hörverlustes für schmal- und breitbandige Signal verringert. In [4] wurde im Vergleich mit Normalhörenden eine erhöhte binaurale Lautheitssum- mation für Breitbandrauschen bei Schwerhörnden gefunden. Die Auswirkung der Bandbreite auf die binaurale Lautheitssum- mation bei Normal- und Schwerhörnden ist somit nicht eindeutig geklärt. Aus diesem Grund wurden mit Hilfe eines Lautheitsvergleichs- Experiment mit Signalen unterschiedlicher Bandbreite weitere Messungen zum Vergleich zwischen Normal- und Schwerhörnden durchgeführt. Es wurde dabei auch untersucht, ob sich die Erkenntnisse mit künstlichen Signalen auf reale Signale übertragen lassen.

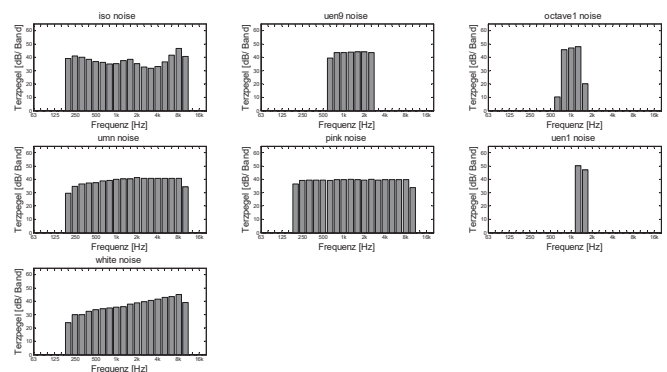
## Methode

Zur Untersuchung des Einflusses der spektralen Bandbreite auf die binaurale Lautheitssum- mation wurden zwei Lautheitsvergleiche durchgeführt. Die erste Signalklasse bestand aus künstlich generierten Signalen deren Terz- Spektren in Abb. 1 dargestellt sind. In der zweiten Signalklasse wurden reale Signale getestet (Abb. 2). Die Signale wurden so gewählt, dass unterschiedliche Bandbreiten und unterschiedliche spektrale Verteilungen in jeder Klasse vertreten waren. Damit konnte der Einfluss der spektralen Verteilung der Energie auf die binaurale Lautheitssum- mation untersucht werden. Alle Signale lagen

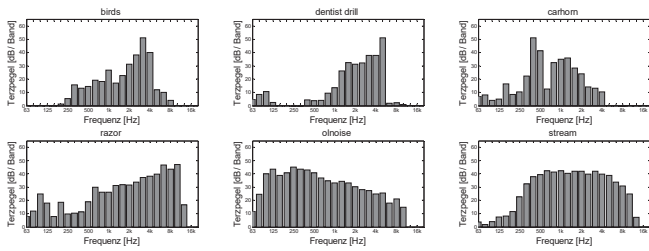
in monauraler Form (nur links) und in binauraler Form (diotisch) vor und wurden jeweils in einem vollständigen Paarvergleich bezüglich ihrer Lautheit miteinander verglichen. Bei dem Vergleich der Signale konnten die Probanden zwischen folgenden Antwortmöglichkeiten wählen: „A deutlich lauter B“, „A lauter B“, „A und B gleich laut“, „B lauter A“ und „B deutlich lauter A“. Den Antwortmöglichkeiten wurden für die spätere Auswertung die Zahlenwerte -2, -1, 0, +1 und +2 zugeordnet und in  $\beta_A(B)$  gespeichert. Für jeden Probanden wurde der Mittelwert P für die Bewertung aller Signale nach (1) berechnet. Hierfür wurde bei jedem Probanden in jedem Vergleich die entsprechenden Werten aufsummiert und durch die Anzahl der Vergleiche geteilt.

$$P_j = \frac{\sum_{i \neq j}^N \beta_i(j) - \sum_{j \neq i}^N \beta_j(i)}{2 \cdot (N-1)} \quad (1)$$

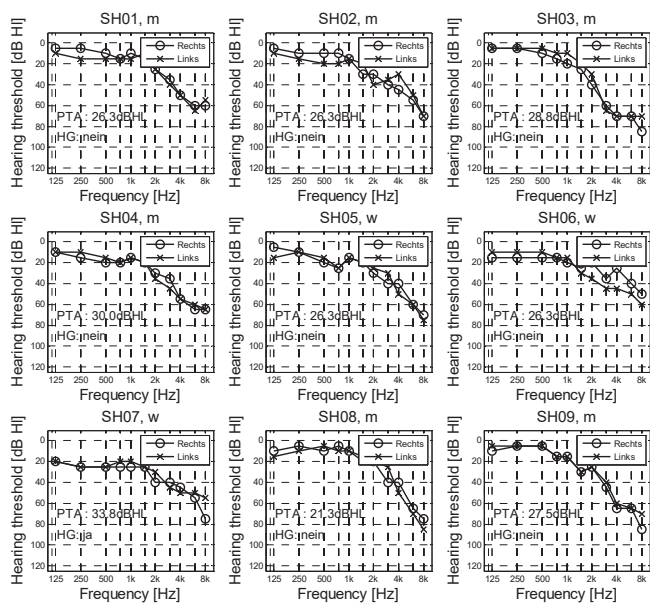
Daraus ergibt sich ein maximaler Wert P von +2, im Falle dass ein Signal in allen Vergleichen als deutlich lauter bewertet wurde. Die Zahlen waren für die Probanden nicht sichtbar. Für die Auswertung wurde der Mittelwert von P separat für die Normal- und Schwerhörnden bestimmt. Präsentiert wurden die Signale über einen freifeld-entzerrten Kopfhörer HDA 200 in einer reflexionsarmen Messkabine. Alle Signale wurden mit 65 dB SPL äquivalentem Freifeldpegel präsentiert. Bei binauraler Darbietung betrug der Pegel auf jeder Kopfhörerseite jeweils 65 dB SPL. Durchgeführt wurde die Messung mit 9 Normalhörenden (21-30 Jahre) und 9 Schwerhörnden (65-75 Jahre) mit einer symmetrischen Schallempfindungsschwerhörigkeit im Hochtonbereich. Die Audiogramme der Schwerhörnden sind in Abb. 3 dargestellt.



**Abbildung 1:** Terzspektren der 7 künstlich generierten Signale. Oben: Signale unterschiedlicher Bandbreite. Mitte und Unten: Signale ähnlicher Bandbreite, aber unterschiedlicher spektraler Verteilung der Energie



**Abbildung 2:** Terzspektren der 6 realen Signale mit unterschiedlicher Bandbreite und unterschiedlicher spektraler Verteilung der Energie. Alle Signale hatten einen zeitlich stationären Charakter.



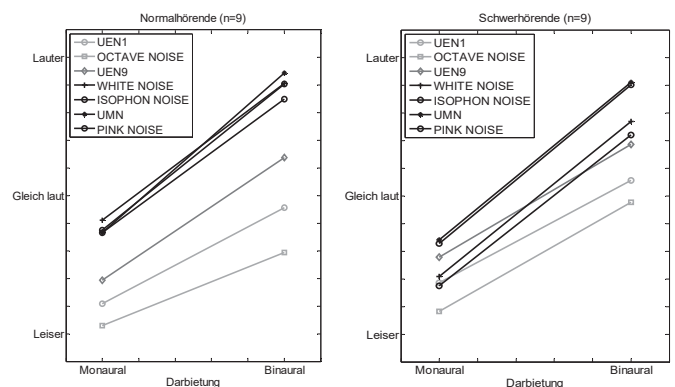
**Abbildung 3:** Hörverluste der schwerhörenden Probanden. Zusätzlich ist der mittlere Hörverlust (engl. pure-tone-average, PTA) des besseren Ohres angegeben, und ob der Proband mit einem Hörgerät (HG) versorgt ist.

**Ergebnisse**

In Abb. 4 sind die Mittelwerte der monauralen und binauralen Darbietung aller künstlich generierten Signale dargestellt. Auf der linken Seite sind die Ergebnisse der Normalhörenden gezeigt. Es lässt sich beobachten, dass die schmalbandigen Signale (hellgrau) einen geringeren Wert haben als die breitbandigen Signale (schwarz), was auf eine geringere Lautheit der schmalbandigen Signale bei gleichem Pegel deutet. Dieser Effekt ist als (spektrale) „Lautheitssummutation“ in der Literatur bekannt. Weiter lässt sich erkennen, dass der Unterschied der mittleren Bewertungen von monauraler zu binauraler Darbietung mit zunehmender Bandbreite ansteigt. Um den Effekt visuell zu verdeutlichen wurden die entsprechenden Punkte durch eine Linie verbunden. Die schmalbandigen Signale (hellgrau) weisen den geringsten Unterschied zwischen monauraler und binauraler Bewertung auf. Die breitbandigen Signale (schwarz) einen deutlich höheren Unterschied. Das mittelbreitbandige Signal UEN9 (grau) zeigt einen Unterschied, der dazwischen liegt. Die Ergebnisse deuten

auf eine binaurale Lautheitssummutation in Normalhörenden, die mit der Bandbreite ansteigt.

Die Ergebnisse der Schwerhörenden sind in Abb. 4 auf der rechten Seite abgebildet. Es zeigt sich ein ähnlicher Verlauf der Lautheitsurteile. Der Unterschied zwischen der monauralen und binauralen Präsentation ist für die schmalbandigen Signale geringer als für die breitbandigen Signale. Der Wertebereich aller Signale ist verringert und im monauralen Fall zeigt sich keine deutliche Trennung zwischen schmal- und breitbandigen Signale, wie es in Normalhörenden beobachtet werden konnte. Zudem gibt es Änderungen in der Reihenfolge der Lautheitsbewertung im Vergleich beider Darbietungsformen. Das UEN9 wird monaural geringer (leiser) bewertet als das weiße Rauschen, wohingegen im binauralen Fall das weiße Rauschen höher bewertet wurde.



**Abbildung 4:** Mittelwerte aller Probanden der Lautheitsbewertung künstlich generierter Signale.

In Abb. 5 sind die Ergebnisse des Lautheitsvergleichs der realen Signale dargestellt. Auf der linken Seite sind die Ergebnisse der Normalhörenden dargestellt. Die geringste und höchste Bewertung im monauralen Fall haben unterschiedliche schmalbandige Signale bekommen. Die spektral breiteren Signale befanden sich dazwischen. An dem ähnlichen Verlauf der Verbindungslinien ist zu erkennen, dass der Unterschied zwischen monauraler und binauraler Bewertung nicht deutlich unterschiedlich war. Auf der rechten Seite sind die Ergebnisse der Schwerhörenden dargestellt. Im monauralen Fall haben alle Signale mit Ausnahme des Bachrauschens (Stream) eine sehr ähnliche Bewertung. Deutliche Unterschiede in der Lautheitsbewertung lassen sich jedoch im binauralen Fall erkennen. Der Unterschied zwischen monauraler und binauraler Bewertung zeigt deutlich unterschiedliche Ergebnisse, jedoch gibt es keinen eindeutigen Anstieg der Bewertung mit ansteigender Bandbreite der Signale.

Bei der binauralen Präsentation zeigen sich insgesamt deutliche Unterschiede bei der Lautheitswahrnehmung. Gleiche Bewertung und damit ein gleich lautes Empfinden in der monauralen Darbietung führt also nicht zu einer gleich lauten Bewertung in der binauralen Darbietung.

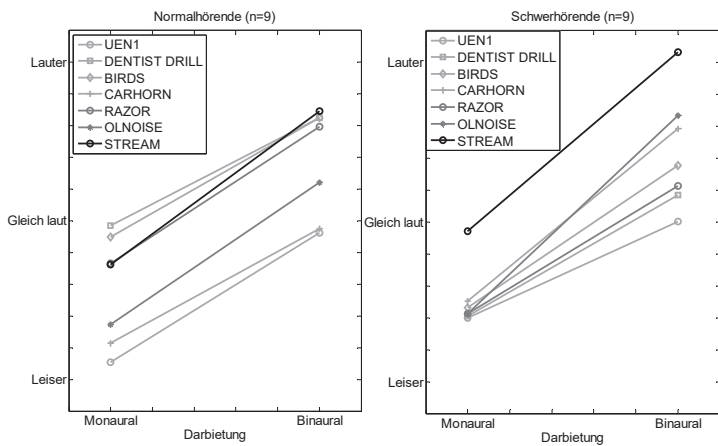


Abbildung 5: Mittelwerte über alle Probanden der Lautheitsbewertung realer Signale.

### Fazit und Zusammenfassung

Insgesamt ließ sich eine Zunahme der binauralen Lautheitssumation mit steigender Bandbreite bei den künstlich generierten Signalen bei Normal- und Schwerhörnden feststellen. Das Lautheitsempfinden der künstlich generierten Signale mit einer hohen Bandbreite war unabhängig von der spektralen Verteilung der Energie bei den Normalhörenden. Bei den Schwerhörnden wird vermutet, dass der Hochtonhörverlust zu einer verringerten Lautheitswahrnehmung von Signalen mit großen Energieanteil (isophon noise, white noise) im Hochtonbereich führte.

Die binaurale Lautheitssumation bei den realen Signalen in Normalhörenden war unabhängig von der spektralen Bandbreite. In der Gruppe der Schwerhörnden zeigte sich

eine unterschiedliche binaurale Lautheitssumation bei den realen Signalen, wobei keine eindeutige Abhängigkeit von der Bandbreite der Signale beobachtet wurde. Hier scheinen noch weitere Faktoren eine Rolle zu spielen, die in der bisherigen Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Eine wesentliche Erkenntnis des Lautheitsvergleichs ist, dass eine gleiche Bewertung im monauralen Fall nicht zu einer gleichen Bewertung im binauralen Fall führen muss, da es einen großen Einfluss der binauralen Sumation insbesondere für Schwerhörnde auf das Lautheitsempfinden gibt.

### Literatur

- [1] Marks, L.E. (1980) Binaural summation of loudness: Noise and two-tone complexes. *Perception & Psychophysics*, 27(6), 489-498
- [2] Hawkins, H.B., Prosek, R.A., Walden, B.E. und Montgomery, A.A. (1987) Binaural loudness summation in the hearing impaired. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30, 37-43
- [3] Moore, B.C.J., Gibbs, A., Onions, G. und Glasberg, B.R. (2014) Measurement and modeling of binaural loudness summation for hearing-impaired listeners. *J. Acoust. Soc. Am.*, 136, 736-747
- [4] Oetting, D., Appell, J.E., Hohmann, V. und Ewert, S. (2015). Characterizing individual hearing loss using narrow-band loudness compensation. *Proceedings of ISSAR 2015: Individual Hearing Loss – Characterization, Modelling, Compensation Strategies. 5<sup>th</sup> symposium on Auditory and Audiological Research*