

# Lautheit von Signalen mit einer subkritischen Bandbreite bei Innenohrschwerhörigkeit

Jan Hots<sup>1,2</sup>, Jesko L. Verhey<sup>1</sup>

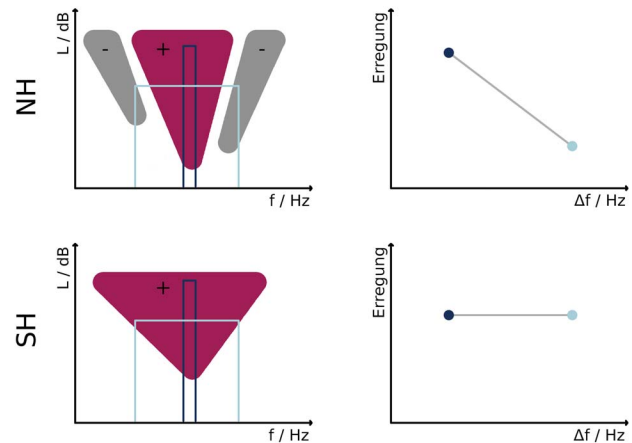
<sup>1</sup> Abteilung für Experimentelle Audiologie, Otto-von-Guericke Universität, D-39120 Magdeburg

<sup>2</sup> Email: jan.hots@med.ovgu.de

## Einleitung

Die Lautheit eines Geräusches wird, neben anderen Parametern, von dessen Bandbreite beeinflusst. In stationären Lautheitsmodellen wird diese Abhängigkeit von der Bandbreite durch eine spektrale Zerlegung in Frequenzgruppen mit anschließender Kompression der Erregung in jeder Frequenzgruppe sowie spektraler Integration berücksichtigt. Für Signale deren Bandbreite geringer ist als die Frequenzgruppenbreite (subkritische Bandbreite) ist die Lautheit in stationären Modellen von der Bandbreite unabhängig [1, 2]. Aufgrund der inhärenten Pegelfluktuationen des Rauschens sagen dynamische Lautheitsmodelle bei gleichem Pegel eine höhere Lautheit für schmalbandiges Rauschen als für einen Sinuston an der Rauschmittenfrequenz vorher (vgl. [3]). Aktuelle Studien an Normalhörenden zeigen jedoch einen gegenteiligen Effekt: Für den subkritischen Bandbreitenbereich nimmt die Lautheit mit zunehmender Bandbreite ab. Erst bei weiterer Erhöhung der Bandbreite wird aufgrund der spektralen Lautheitssummation die Lautheit des Rauschens größer als die des Sinustons. Zunächst wurde diese Abnahme der Lautheit mit zunehmender Bandbreite innerhalb der Frequenzgruppe – im folgenden als subkritische Lautheitsunterdrückung bezeichnet – für 1.5 kHz gezeigt [3]. Die subkritische Lautheitsunterdrückung findet sich jedoch auch bei anderen Mittenfrequenzen. Ihre Stärke nimmt mit dem Referenzpegel ab (vgl. [4]). Als möglicher zugrundeliegender Mechanismus wurde die laterale Suppression vorgeschlagen, die schon auf der Ebene des auditorischen Nervens zu finden ist. Abbildung 1 zeigt die Wirkung von Suppression bei Normalhörenden (NH) anhand des Abstimmverhalten dieser Zellen schematisch (oben links). Sehr schmalbandige Signale (dunkelblau) die ausschließlich in den exzitatorischen Bereich (rot) fallen führen zu einer gewissen Erregung. Ein breitbandigeres Signal bei gleicher Intensität (hellblau) fällt zum Teil in die inhibitorischen Bereiche (grau) und die resultierende Erregung verringert sich (siehe oben rechts), was zu einer reduzierten Lautheit des Signals führt.

Der vorliegende Beitrag testet diesen Erklärungsansatz durch Experimente an Innenohrschwerhörigen. Sowohl physiologische (vgl. z.B. [5]) als auch psychoakustische (vgl. z.B. [6]) Studien zeigen, dass bei Innenohrschwerhörigkeit eine Verbreiterung des exzitatorischen und das Fehlen der inhibitorischen Bereiche gefunden wird (siehe Abb. 1 unten, SH). Ist Suppression die Ursache für subkritische Lautheitsunterdrückung, so sollten Versuchspersonen mit Innenohrschwerhörigkeit diesen Effekt nicht zeigen.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung von Suppression für Normalhörende (NH, obere Bildhälfte) und Schwerhörige (SH, untere Bildhälfte). In der linken Bildhälfte ist das Antwortverhalten auditorischer Nervenzellen für verschiedene Pegel als Funktion der Frequenz dargestellt. In rot sind exzitatorische Bereiche, in grau inhibitorische Bereiche gekennzeichnet. Die blauen Rechtecke symbolisieren zwei Rauschsignale unterschiedlicher Bandbreite bei gleicher Intensität. In der rechten Bildhälfte wird die durch diese Rauschsignale hervorgerufene Erregung dargestellt.

## Versuchspersonen

Neun Versuchspersonen mit einer Innenohrschwerhörigkeit im Alter zwischen 21 und 71 Jahren haben an der Studie teilgenommen. Alle hatten einen flachen Hörverlust (nicht mehr als 10 dB Unterschied zwischen Minimum und Maximum an den audiometrischen Frequenzen) von 40 bis 75 dB HL im untersuchten Frequenzbereich. Für die Messung wurde das Ohr der Versuchsperson verwendet, das diesen Kriterien besser entsprach. Keine der Versuchspersonen hatte eine retrochocläre Störung oder einen Tinnitus im untersuchten Ohr.

## Methode

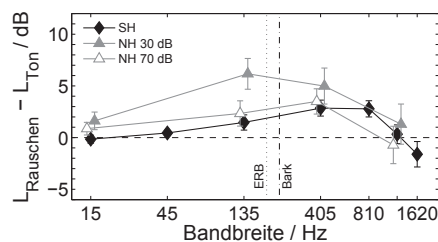
Die Lautheit von Rauschsignalen einer Mittenfrequenz von 1.5 kHz und Bandbreiten von 15 bis 1620 Hz wurde in einem adaptiven 2-Intervall 2-AFC-Verfahren an die eines 1.5-kHz Sinustons mit festem Referenzpegel angeglichen. Aufgabe der Versuchspersonen war es in jedem Vergleich anzugeben welches der Signale in den beiden Intervallen als lauter empfunden wurde. Die Signaldauer betrug 500 ms. Die Intervalle wurden durch eine Pause von 500 ms voneinander getrennt und während der Wiedergabe optisch hervorgehoben. Ein identisches Verfah-

ren wurde für Messungen mit Normalhörenden in [3] und [4] verwendet. Der Referenzpegel des Tons ( $L_{ref}$ ) wurde nach Gleichung (1) für jede Versuchsperson individuell angepasst:

$$L_{ref} = thr_{SH} + \left( \frac{ucl_{SH} - thr_{SH}}{ucl_{NH} - thr_{NH}} \right) \cdot 30 \text{ dB} \quad (1)$$

$thr_{SH}$  gibt die individuelle Schwelle der schwerhörenden Versuchspersonen an. Für die Unbehaglichkeitsschwelle für Normal- ( $ucl_{NH}$ ) und Schwerhörende ( $ucl_{SH}$ ) wurde ein Wert von 100 dB HL angenommen, für die Ruheschwelle Normalhörender ein Wert von 0 dB HL. Ziel dieses Angleichs war es, die Messung bei einer Lautheit durchzuführen, die vergleichbar zu einem 30 dB Referenzpegel für Normalhörende ist, bei dem für diese Versuchspersonengruppe die größten Effekte gefunden wurden [4]. Der mittlere Referenzpegel aller Versuchspersonen der vorliegenden Studie betrug 67.5 dB. Startpegel von -10 dB, 0 dB und +10 dB bezüglich des individuellen Referenzpegels wurden für jede Bandbreite verwendet. Die Messungen der verschiedenen Bandbreiten und Startpegel wurden verschachtelt gemessen.

## Ergebnisse und Diskussion



**Abbildung 2:** Mittlere Pegeldifferenz der neun schwerhörenden Versuchspersonen zwischen Rauschsignalen und Sinuston bei gleicher Lautheit als Funktion der Bandbreite (schwarze Rauten). In grau sind die Mittlere Pegeldifferenzen der normalhörenden Versuchspersonen aus [4] für Referenzpegel von 30 dB (geschlossene Dreiecke) und 70 dB (offene Dreiecke) dargestellt. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler über die Versuchspersonen. Durch die senkrechten Linien ist die kritische Bandbreite in  $ERB_N$  (gepunktete Linie) und in Bark (Strichpunktlinie) gekennzeichnet.

Die mittlere Pegeldifferenz zwischen Rauschsignalen und Ton bei gleich empfundener Lautheit der neun schwerhörenden Versuchspersonen ist in Abb. 2 als Funktion der Bandbreite dargestellt. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler über die Versuchspersonen an. Die senkrechten Linien kennzeichnen die kritische Bandbreite bei einer Mittenfrequenz von 1.5 kHz in  $ERB_N$  (gepunktete Linie) und in Bark (Strichpunktlinie). Für die Bandbreiten von 15 und 45 Hz ist die gemessene Pegeldifferenz nahe Null. Für diese Bandbreiten sind Rauschen und Sinuston also bei gleichem Pegel etwa gleich laut. Für größere Bandbreiten bis 810 Hz steigt die Pegeldifferenz auf etwa 3 dB an, d.h. auch die

Schwerhörenden zeigen eine subkritische Lautheitsunterdrückung. Mit weiter steigender Bandbreite nimmt die Pegeldifferenz wieder ab. Für die Bandbreite von 1620 Hz beträgt sie etwa -1.5 dB.

Ein Vergleich dieser Daten mit den Normalhörendendaten aus [4] bei etwa gleicher Lautheit (Referenzpegel von 30 dB, graue geschlossene Dreiecke in Abb. 2) zeigt eine um 3 dB reduzierte subkritische Lautheitsunterdrückung für die schwerhörenden Versuchspersonen (etwa 6 dB für die Normalhörenden und 3 dB für die Schwerhörenden). Zudem ist das Maximum des Effektes zu größeren Bandbreiten verschoben (135 Hz für die Normalhörenden und 810 Hz für die Schwerhörenden). Diese Verschiebung des Maximums ist wahrscheinlich auf die Verbreiterung der auditorischen Filter bei Innenohrschwerhörigkeit zurückzuführen (siehe z.B. [5]).

Dass die Schwerhörenden noch eine subkritische Lautheitsunterdrückung zeigen unterstützt die Anfangshypothese von Suppression als zugrundeliegendem Mechanismus nicht. Die Reduktion des Effektes könnte von dem höheren Referenzpegel herrühren wie ein Vergleich bei nahezu gleichem Referenzpegel zeigt. Die offenen grauen Dreiecke in Abb. 2 zeigen die Daten für die Normalhörenden aus [4] für einen Referenzpegel von 70 dB. Bei diesem vergleichbaren physikalischen Referenzpegel ist die maximale subkritische Lautheitsunterdrückung für normalhörende (3,5 dB) und schwerhörende (etwa 3 dB) Versuchspersonen etwa gleich groß. Der Unterschied in der Pegeldifferenz beträgt zwischen etwa 0.5 dB für bei einer Bandbreite von 405 Hz und etwa 1 dB bei einer Bandbreite von 1215 Hz. Die Ähnlichkeit der Daten deutet darauf hin, dass eher ein zentraler Prozeß zur subkritischen Lautheitsunterdrückung führt.

## Literatur

- [1] Zwicker, E., Flottorp, G., Stevens, S.S.: Critical Band Width in Loudness Summation. *J. Acoust. Soc. Am.* 29 (1957), 548–557
- [2] Moore, B.C.J., Glasberg, B.R., Baer, T.: A model for the prediction of thresholds, loudness and partial loudness. *J. Audio Eng. Soc.* 45(4) (1997), 224–239
- [3] Hots, J., Rennie, J., Verhey, J.L.: Loudness of sounds with a subcritical bandwidth: a challenge to current loudness models? *J. Acoust. Soc. Am.* 134(4) (2013), EL334–EL339
- [4] Hots, J., Rennie, J., Verhey, J.L.: Loudness of subcritical sounds as a function of bandwidth, center frequency, and level. *J. Acoust. Soc. Am.* 135(3) (2014), 1313–1320
- [5] Moore, B.C.J.: *Frequency selectivity in hearing*. Academic Press, London, 1986
- [6] Ernst, S.M.A., Rennie, J., Kollmeier, B., Verhey, J.L.: Suppression and comodulation masking release in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 128(1) (2010), 300–309