

# Modulationsgewinn bei überschwelliger Wahrnehmung von Tönen in Rauschen

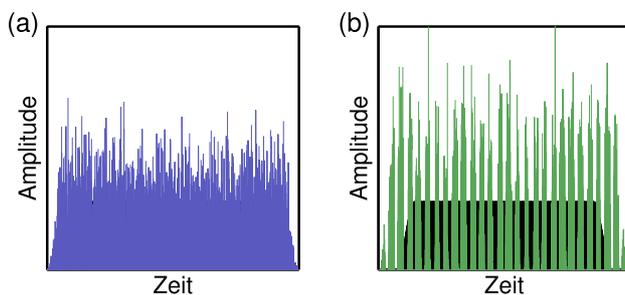
Wiebke Heeren<sup>1,2</sup>, Jesko L. Verhey<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Email: [wiebke.heeren@med.ovgu.de](mailto:wiebke.heeren@med.ovgu.de)

## Einleitung

Eine wesentliche Rolle bei der Wahrnehmung von durch Rauschen verdeckten Tönen spielt ihre Schwelle. Diese wird beispielsweise durch einen modulierten Rauschmaskierer, im Vergleich zu einem unmodulierten Rauschmaskierer mit identischem Langzeitspektrum, verringert. Das Einhüllendenzeitsignal der beiden genannten Rauschmaskierer ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs eines unmodulierten Rauschmaskierers (rechts) und eines modulierten Rauschmaskierers (links).

Die reduzierte Verdeckungswirkung von moduliertem Rauschen (Modulationsgewinn) beeinflusst auch die überschwellige Wahrnehmung, wobei mit zunehmendem Tonpegel der Modulationsgewinn kleiner wird. Dieser Effekt wurde bisher nur indirekt über einen begrenzten Pegelbereich mit einem Lautheitsvergleichsverfahren untersucht [2]. In der vorliegenden Studie hingegen wurden die Lautheitswachstumsfunktionen für vergleichbare Stimuli mit einem Lautheitsskalierungsverfahren nach ISO 16832 [1] direkt gemessen. Insbesondere wurden dabei folgende Fragestellungen betrachtet: (i) Bis zu welchem überschwelligen Pegel ist ein Modulationsgewinn messbar, (ii) kann ein im Pegel um den Betrag des Modulationsgewinns reduzierter unmodulierter Maskierer den selben Effekt erzielen und (iii) wie exakt ist das Skalierungsverfahren?

## Methodik

Als Stimuli wurden ein 700 ms langes Gaußsches Rauschen mit einem Frequenzbereich von 250 bis 4000 Hz und einem Pegel von 55 dB und ein zeitlich im Rauschen zentrierter Sinuston mit einer Frequenz von 986 Hz und einer Dauer von 600 ms verwendet. In der modulierten Kondition wurde der Maskierer mit einem Rechteck moduliert [2]. Die mittlere Modulationsfrequenz  $f_{mod}$  betrug 25 Hz.

Zunächst wurden mittels eines adaptiven 3-AFC-Verfahrens mit 1up-2down-Prozedur die maskierten

Schwellen des Sinustones im unmodulierten (unmod) und im modulierten (mod) Rauschen ermittelt. Die sich ergebende Pegeldifferenz zwischen den beiden Maskierungsschwellen wurde verwendet um einen weiteren unmodulierten Maskierer (unmod<sup>-</sup>) zu erzeugen, der im Pegel um den Betrag des Modulationsgewinns reduziert wurde. Auch für diese Kondition wurde die Mithörschwelle bestimmt. In einem zweiten Schritt wurde die Wahrnehmung des maskierten Tones für verschiedene überschwellige Pegel sowohl mit einem adaptiven Lautheitsskalierungsverfahren nach [1] als auch mit einem Lautheitsvergleichsverfahren gemessen. Mittels des Vergleichsverfahrens wurden analog zu [2] die Pegel gleicher Lautheit des Sinustones in den beiden Rauschmaskierern mod und unmod ermittelt. Im Unterschied zu [2] betrug der Rauschpegel 55 dB SPL. Die Tonpegel im Referenzintervall lagen jeweils 5, 10, 15, 20 und 25 dB oberhalb der individuellen maskierten Schwelle im jeweiligen Rauschen. Mittels des Skalierungsverfahrens wurde die Lautheit des Sinustones über einen größeren Pegelbereich gemessen. Zusätzlich zu den zwei bisherigen Maskierern mod und unmod wurde auch die Lautheitswachstumsfunktion des Sinustones in dem im Pegel reduzierten unmodulierten Rauschen (unmod<sup>-</sup>) gemessen.

Sowohl die Schwellen- als auch die überschwelligen Messungen wurden für jede Kondition und jeden Parameter drei Mal wiederholt. Das Mittel der Ergebnisse dieser drei Messwiederholungen wurde jeweils als gemessene Schwelle bzw. Pegeldifferenz bei gleicher Lautheit angenommen. Im Fall der Lautheitswachstumsfunktion wurden die Fittingparameter der Funktion über die drei Messwiederholungen gemittelt.

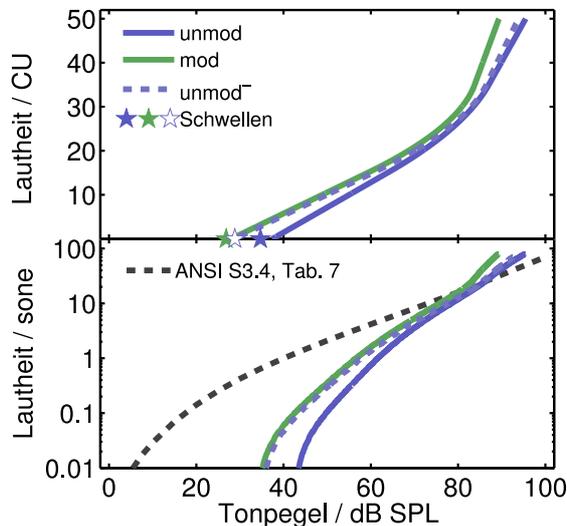
Die Studie wurde mit 24 Versuchspersonen (17 weiblich, 4 männlich) im Alter zwischen 18 und 33 Jahren durchgeführt. Im relevanten Frequenzbereich zwischen 250 und 4000 Hz lagen alle Hörschwellen bei 15 dB HL oder darunter.

## Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse des Lautheitsskalierungsverfahrens. Bei dem Vergleich der Lautheitswachstumsfunktionen im unmodulierten (unmod, blaue Kurve) und im modulierten Rauschen (mod, grüne Kurve), lässt sich ein Modulationsgewinn bis zu etwa 35 dB oberhalb der unmodulierten Schwelle erkennen (Abb. 2, oben). Die frühere Studie [2] dagegen zeigt nur einen Gewinn bis zu etwa 20 dB oberhalb der Schwelle.

Beim Vergleich der Lautheitswachstumsfunktionen des Sinustones im modulierten und im, im Pegel reduzierten,

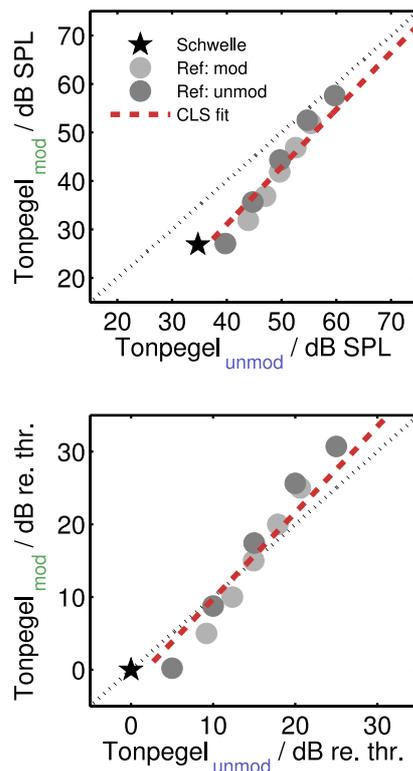
unmodulierten Rauschen ( $\text{unmod}^-$ , hellblau gestrichelte Kurve) zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung im unteren und mittleren Lautheitsbereich. Durch die Transformation der Lautheit von CU in sone (Abb. 2, unten) hingegen wird deutlich, dass beide Kurven im wesentlichen Lautheitsbereich sehr gut übereinstimmen.



**Abbildung 2:** Lautheitswachstumsfunktionen (oberes Teilbild: in CU, unteres Teilbild: in Sone) und Schwellen (Sterne im oberen Teilbild) des Sinustones in unmoduliertem ( $\text{unmod}$ ), moduliertem ( $\text{mod}$ ) und im Pegel um den Modulationsgewinn reduzierten unmoduliertem Rauschen ( $\text{unmod}^-$ ).

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse des Lautheitsskalierungsverfahrens (CLS fit, gestrichelte rote Kurve) im Vergleich zu denen des Lautheitsausgleichsverfahrens (graue Punkte). Dabei ist im oberen Teilbild der absolute Pegel des Sinustones im modulierten Rauschen gegen den im unmodulierten Rauschen bei gleicher Lautheit dargestellt. Der Stern zeigt die Schwelle des Sinustones im jeweiligen Rauschen und spiegelt durch seine Lage unterhalb der Diagonalen gleichzeitig den Modulationsgewinn an der Schwelle wieder. Die Messpunkte des Lautheitsvergleichsverfahrens liegen ebenfalls alle unterhalb der Diagonalen. Dies zeigt, dass auch mit diesem Messverfahren bis mindestens 25 dB oberhalb der Schwelle im unmodulierten Rauschen noch ein Modulationsgewinn nachweisbar ist. Das untere Teilbild zeigt identische Daten jedoch relativ zum Tonpegel an der Maskierungsschwelle im jeweiligen Rauschen. Diese Darstellungsweise verdeutlicht, dass für höhere Pegel, bei denen die Datenpunkte oberhalb der Diagonalen liegen, der relative Tonpegel im modulierten Rauschen bei gleicher Lautheit größer sein muss als im unmodulierten Rauschen. Bei schwelennahen Pegeln hingegen liegen die Datenpunkte unterhalb der Diagonalen. Dieses nichtmonotone Verhalten könnte auf verschiedene psychometrische Funktionen an der Schwelle für die modulierte und unmodulierte Maskiersituation hinweisen [3].

Der Vergleich der Ergebnisse der beiden Messverfahren zeigt, dass der Effekt des Modulationsgewinns bei dem Skalierungsverfahren weniger stark ausgeprägt ist aber entgegen der vorherigen Studie auch noch bei hohen Pe-



**Abbildung 3:** Vergleich von Ausgleichs- und Skalierungsdaten relativ zum absoluten Pegel des Sinustones (oberes Teilbild) und relativ zum Pegel des Sinustones an der Schwelle (unteres Teilbild). Die Schwelle ist mit einem Stern gekennzeichnet.

geln ein Resteffekt zu sehen ist. Außerdem kann das Skalierungsverfahren das nichtmonotone Verhalten bei schwelennahen Pegeln nicht wiedergeben. Dennoch wird der generelle Effekt des Modulationsgewinns auch mittels des Skalierungsverfahrens gut abgebildet.

## Zusammenfassung

- Der Modulationsgewinn ist messbar bis etwa 35 dB oberhalb der unmodulierten Schwelle.
- Der Effekt des Modulationsgewinns entspricht weitestgehend dem eines im Pegel um den Betrag des Modulationsgewinns reduzierten unmodulierten Rauschmaskierers.
- Das Skalierungsverfahren kann wesentliche Aspekte der überschwelligen Wahrnehmung wiedergeben.

## Literatur

- [1] DIN ISO 16832: Loudness scaling by means of categories. (2006)
- [2] Verhey, J.L. and Heise, S.J.: Suprathreshold Perception of Tonal Components in Noise Under Conditions of Masking Release. *Acta Acust. united Ac.* 98 (2012), 451–460
- [3] Buus, S. and Zhang, L.: Stimulus-driven, time-varying weights for comodulation masking release. *J. Acoust. Soc. Am.* 99(4) (1996), 2288–2297