

ZUR AUSGEPRÄGTHEIT DER TONHÖHE GEDROSSELTER SINUSTÖNE

A. Hesse

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

1. EINLEITUNG

Experimente zur Empfindungsgröße Tonhöhe beschäftigen sich in vielen Fällen mit der Unterscheidbarkeit von komplexen Schallen oder Sinustönen anhand des empfundenen Tonhöhenindrucks sowie auch mit der direkten Beurteilung gemäß einer Skalierung in hoch und tief. Darüber hinaus können diese Schalle jedoch auch nach der durch sie hervorgerufenen Ausprägtheit der Tonhöhe beurteilt werden. Aus der Literatur bekannte Untersuchungen zeigen, daß die Größe der Ausprägtheit der Tonhöhe von Testschallen in starkem Maße von ihrer spektralen Zusammensetzung abhängt /1/. Komplexe Schalle oder Rauschsignale werden als um so ausgeprägter in ihrer Tonhöhe empfunden, je schmalbandiger ihre spektrale Verteilung ist. Schmalstbandige Schalle wie Sinustöne zeigen daher bei vergleichenden Messungen durchweg die am deutlichsten ausgeprägte Tonhöhe. Die Ausprägtheit kann durch zugesetzte drosselnde Maskierer in starkem Maße reduziert werden. Dieser Vorgang wurde in Abhängigkeit vom Pegel des Testtones über der Mithörschwelle untersucht. Dabei wurde die Drosselung sowohl durch Flankenerregungen schmalbandiger Maskierer (Testton in der Frequenz oberhalb bzw. unterhalb der Maskierermittenfrequenz) als auch durch Kernerregungen breitbandiger Maskierer erzeugt.

2. MESSUNGEN

An allen Experimenten waren neun normalhörende Versuchspersonen beteiligt. Die Schalle wurden in einer schallisolierten Meßkabine monaural über einen dynamischen Kopfhörer (Beyer DT 48) dargeboten, dem ein Freifeldentzerrer (/2/, S. 40) vorgeschaltet war. Die Methode der Größenschätzung mit Vergleichston als Ankerschall wurde angewandt. Diese hat sich bei Versuchen zur Ausprägtheit der Tonhöhe gut bewährt /1/,3/ und ist in /1/ ausführlich beschrieben. Zu Beginn eines jeden Experimentes wurde zunächst die Mithörschwelle des Testtones verdeckt durch den drosselnden Maskierer ermittelt. Ausgehend von diesem Wert wurde in den nachfolgenden Darbietungen der Pegel ΔL_T des Testtones über der Mithörschwelle variiert (Abszisse in allen Figuren). Bei allen Messungen war die Frequenz des Testtones gleich der des Vergleichstones. Das Zeitraster der Darbietung von Maskierer, Testton und Vergleichston (Ankerschall mit Wert 100) war wie folgt: zeitverzögert um 300 ms zum Beginn des Maskierers mit einer Dauer von 1000 ms wurde der 700 ms andauernde Testton zugesetzt, so daß Maskierer und Testton zur gleichen Zeit beendet waren. Nach einer Pause von 300 ms folgte der ebenfalls 700 ms dauernde Vergleichston. Nach 3 Darbietungsintervallen mußte die Versuchsperson die Ausprägtheit der Tonhöhe des gedrosselten Testtones im Vergleich zu dem ungedrosselten Vergleichston, dem der Wert 100 zugeordnet war, beurteilen. Nach jeder Beurteilung wurde der Pegel ΔL_T des Testtones über der Mithörschwelle in zufälliger Reihenfolge verändert. Für jede Maskierer/Testton-Konfiguration wurden 4 Größenschätzungen durchgeführt. Zu Beginn jedes Experimentes wurden die auftretenden Kombinationen je einmal als Orientierungshilfe angeboten, die zugehörigen Schätzwerte jedoch nicht ausgewertet.

3. ERGEBNISSE

Die Fig. 1a bis 1d zeigen jeweils Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen, gebildet aus den individuellen Zentralwerten der 9 Versuchspersonen. Alle dargestellten Ergebnisse gelten jeweils für die an der Abszisse bezeichneten ΔL_T -Werte und sind nur zur besseren Übersicht teilweise leicht versetzt eingetragen. In Fig. 1a sind die Ergebnisse für einen Sinuston mit Pegel $L_M = 80$ dB und Frequenz

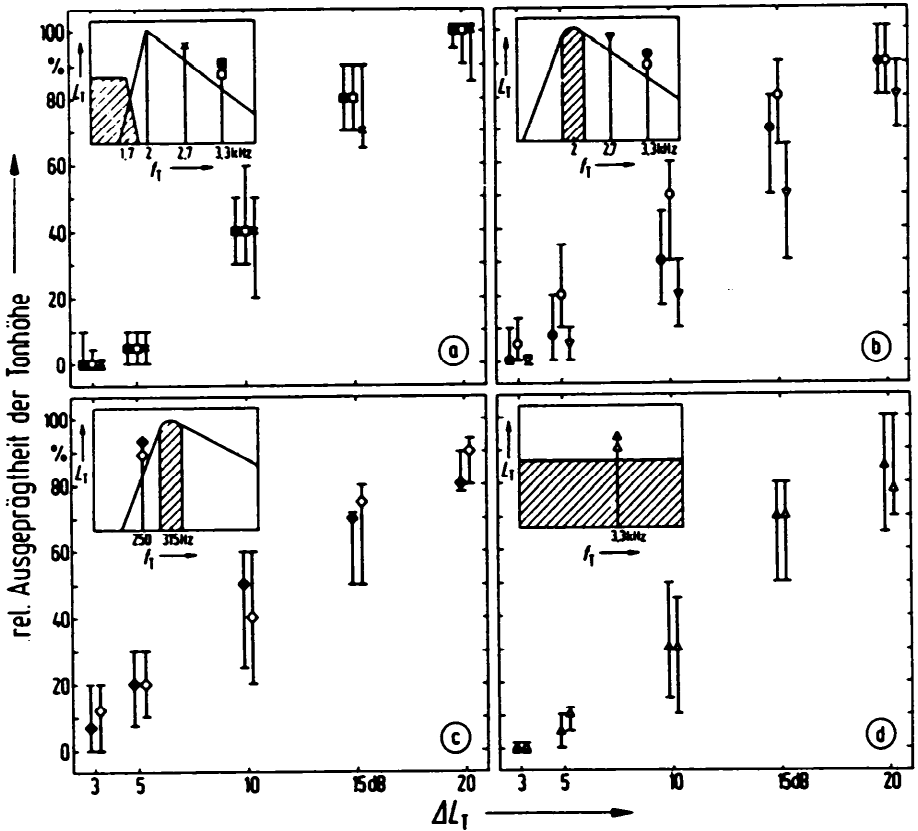


Fig. 1: Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Sinus-Testtönen in Abhängigkeit vom Pegel der Testtöne über der Mithörschwelle (ΔL_T) verdeckt durch drosselnde Maskierer. Offene Symbole: Für Test- und Vergleichston gleiche Lautheit. Ausgefüllte Symbole: Für Test- und Vergleichston gleiche Schalldruckpegel. Verwendete Abkürzungen: Maskierfrequenz f_M , Maskierermittelfrequenz f_m , Maskierpegel L_M , Testtonfrequenz f_T . Folgende Maskierer wurden verwendet:

- (a) Sinuston, $f_M = 2$ kHz, $L_M = 80$ dB, $f_T = 2.7$ kHz (x) bzw. 3.3 kHz (□, ●)
- (b) Terz-Rauschen, $f_m = 2$ kHz, $L_M = 80$ dB, $f_T = 2.7$ kHz (▽) und 3.3 kHz (○, ●)
- (c) Terz-Rauschen, $f_m = 315$ Hz, $L_M = 80$ dB, $f_T = 250$ Hz (◊, ◆)
- (d) Gleichmäßig Verdeckendes Rauschen, 20 Hz ... 20 kHz, $L_M = 70$ dB, $f_T = 3.3$ kHz (Δ, ▲)

$f_M = 2$ kHz als drosselnden Maskierer dargestellt. Der Pegel ΔL_T des Testtones über der Mithörschwelle wurde hier, wie bei allen anderen Messungen, zwischen 3 dB und 20 dB variiert (Abszisse). Die von den Versuchspersonen abgegebenen Werte der Größenschätzung zur relativen Ausgeprägtheit der Tonhöhe des gedrosselten Testtones im Vergleich zu einem ungedrosselten Sinuston (Ankerschall mit Wert 100) sind an der Ordinate in Prozent aufgetragen. Dabei repräsentieren die offenen Symbole Ergebnisse für Testtöne mit den Frequenzen $f_T = 2.7$ kHz bzw. $f_T = 3.3$ kHz, wobei der Vergleichston identischer Frequenz jeweils mit einem zum

gedrosselten Ton etwa gleiche Lautheit /2/ hervorrufenden Schallpegel dargeboten wurde. Die dafür notwendigen Schalldruckpegel der jeweiligen Vergleichstöne wurden aus eigenen Voruntersuchungen und aus /4/ abgeschätzt und waren innerhalb einer Versuchsreihe gleich für alle Versuchspersonen. Die ausgefüllten Symbole beziehen sich auf entsprechende Meßergebnisse für $f_T = 3.3$ kHz, wobei hier Vergleichs- und Testton mit jeweils gleichem Schallpegel dargeboten wurden. Zusätzlich wurde bei diesen Messungen während der gesamten Darbietung ein kontinuierliches Tiefpaßrauschen mit der oberen Grenzfrequenz $f_g = 1.7$ kHz und dem Pegel $L_{TP} = 60$ dB überlagert, um die bei gleichzeitiger Darbietung von 2 Sinustönen (Maskierer und Testton) entstehenden Differenzöne zu maskieren. Diese hätten sonst die Beurteilung des gedrosselten Testtones stark erschwert bzw. bei großen Drosselungsgraden unmöglich gemacht (Differenzton dominant gegenüber Testton).

Aus den Ergebnissen von Fig. 1a läßt sich ablesen, daß die relative Ausprägtheit der Tonhöhe bei Drosselung durch einen maskierenden Sinuston für Werte ΔL_T von 5 dB bis 20 dB etwa linear von 5 % auf 100 % ansteigt. Dies ist sowohl unabhängig von der Frequenz der hier verwendeten Testtöne, als auch von den Lautheitsunterschieden zwischen Test- und Vergleichston, wenn diese mit gleichem Schalldruckpegel dargeboten werden (ausgefüllte Symbole).

Fig. 1b zeigt Meßergebnisse, die sich gegenüber denen aus Fig. 1a in der Wahl des drosselnden Maskierers unterscheiden. Dieser ist hier ein terzbreites Schmalbandrauschen mit der Mittenfrequenz $f_m = 2$ kHz und dem Pegel $L_M = 80$ dB. Bei den Messungen zu Fig. 1b wurde auf das zusätzliche Tiefpaßrauschen verzichtet, da hier keine störenden Differenzton-Probleme auftraten. Auch hier beziehen sich die offenen Symbole auf Meßergebnisse für die etwa gleiche Lautheit zwischen gedrosseltem Testton und ungedrosseltem Vergleichston angenähert wurde. Gegenüber Fig. 1a zeigen sich hier jedoch Unterschiede für die zwei Testtonfrequenzen 2.7 kHz und 3.3 kHz. Die Ausprägtheit der Tonhöhe nimmt für den näher bei der Maskierer-Mittenfrequenz liegenden Testton weniger stark mit steigendem ΔL_T zu. Dagegen zeigt sich im Rahmen der wahrscheinlichen Schwankungen wieder gute Übereinstimmung für Messungen mit Test- und Vergleichstönen gleicher Lautheit bzw. gleichen Schalldruckpegels.

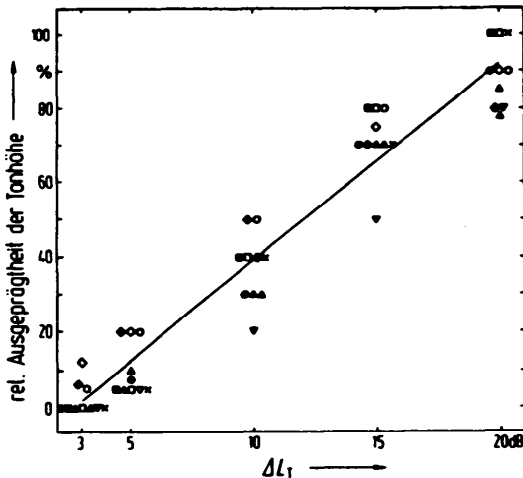


Fig. 2: Zusammenfassung aller Meßergebnisse aus Fig. 1a bis d. Durchgezogene Linie: Aus Einzelzentralwerten errechnete Regressionsgerade ($r = 0.972$).

Fig. 1c zeigt Meßergebnisse für gedrosselte Testtöne ($f_T = 250$ Hz) an der unteren Mithörschwellen-Flanke eines terzbreiten Schmalbandrauschens mit $f_m = 315$ Hz und einem Schalldruckpegel $L_M = 80$ dB. Auch hier ergeben sich keine signifikanten Unterschiede für Messungen mit Test- und Vergleichstönen gleicher Lautheit bzw. gleichen Schalldruckpegels. Im Vergleich zu anderen Maskierer/Testton-Konfigurationen zeigt sich jedoch ein etwas flacherer Verlauf mit Änderung von ΔL_T .

Die in Fig. 1d dargestellten Werte wurden aus Messungen mit Gleichmäßig Verdeckendem Rauschen /2/ als Maskierer ($L_M = 70$ dB) und Testtönen mit $f_T = 3.3$ kHz gewonnen. Wieder zeigt sich eine mit

den anderen Ergebnissen (Fig. 1a bis c) gut übereinstimmende Abhängigkeit. Es ist auch hier kein Einfluß von Lautheitsdifferenzen zwischen Test- und Vergleichston auf die Meßergebnisse feststellbar.

Die Größe der Wahrscheinlichen Schwankungen wird bei allen Meßergebnissen vornehmlich durch inter-individuelle Unterschiede einzelner Versuchspersonen bestimmt; individuelle Wahrscheinliche Schwankungen zeigen eine durchschnittliche Größe von etwa 5 % bis 10 %. Da trotz verschiedenartiger drosselnder Maskierer die gezeigten Ergebnisse sehr gut übereinstimmen, wurde in Fig. 2 eine zusammenfassende Darstellung gegeben. Dabei entsprechen die Symbole denjenigen aus Fig. 1a bis d. Die durchgezogene Linie repräsentiert die aus den 50 mit jeweils 9 Versuchspersonen ermittelten Zentralwerten gebildete Regressionsgerade (Korrelationskoeffizient $r = 0.972$). Daraus läßt sich ableiten, daß für Testtöne im Bereich von $\Delta L_T = 3$ dB bis 20 dB über der Mithörschwelle eines drosselnden Maskierers eine Änderung von ΔL_T um 10 dB im Mittel einer Änderung der relativen Ausgeprägtheit der Tonhöhe um etwa 50 % entspricht.

4. SCHLUSSBEMERKUNG

Die dargestellten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Ausgeprägtheit der Tonhöhe gedrosselter Sinustöne ändert sich linear zwischen 10 % und 90 % für Testtonpegel von 5 dB bis 20 dB über der jeweiligen Mithörschwelle, verdeckt durch den Maskierer. Dabei bewirken unterschiedliche drosselnde Maskierer keine signifikanten Veränderungen der gemessenen Abhängigkeiten. Die relative Ausgeprägtheit der Tonhöhe gedrosselter Sinustöne in Abhängigkeit vom Pegel ΔL_T über der Mithörschwelle zeigt gleiches Verhalten sowohl bei Drosselung durch Flanken-erregungen (obere und untere Mithörschwellen-Flanken schmalbandiger Maskierer) als auch bei Drosselung durch Kernerregungen (breitbandige Maskierer). Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse keine Unterschiede für Messungen mit Test- und Vergleichstönen gleicher Lautheit und solchen mit Test- und Vergleichstönen gleichen Schalldruckpegels.

Die gewonnenen Ergebnisse können insofern zur Abschätzung sinnvoller Testschall-Parameter bei der Messung von Tonhöhenverschiebungen bei gedrosselten Sinustönen hilfreich sein, als Tonhöhe nur dann eindeutig gemessen werden kann, wenn sie auch ausgeprägt ist. Die bei ähnlichen Maskierer/Testton-Konfigurationen zu beobachtenden Tonhöhenverschiebungen /5/ sind nur dann reproduzierbar und damit aussagekräftig in psychoakustischen Experimenten zu untersuchen, wenn die Ausgeprägtheit der Tonhöhe des Testtones einen bestimmten Mindestwert überschreitet.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204, "Gehör", München gefördert.

LITERATUR

- /1/ Fastl, H. and Stoll, G.(1979). Scaling of pitch strength. *Hearing Research* 1, 293-301.
- /2/ Zwicker, E. und Feldtkeller, R.(1967). Das Ohr als Nachrichtenempfänger. 2. erw. Auflage, Hirzel-Verlag, Stuttgart.
- /3/ Fastl, H.(1981). Ausgeprägtheit der Tonhöhe pulsmodulierter Breitbandrauschen. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'81, VDE-Verlag, Berlin, 725-728.
- /4/ Zwicker, E.(1963). Über die Lautheit von ungedrosselten und gedrosselten Schallen. *Acustica* 13, 194-211.
- /5/ Sonntag, B.(1981). Zur Tonhöhenverschiebung gedrosselter Sinustöne. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'81, VDE-Verlag, Berlin, 729-732.