

ZUR TONHÖHENVERSCHIEBUNG GEDROSSELTER SINUSTÖNE

B. Sonntag

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

1. EINLEITUNG

Sinustöne können durch gleichzeitig dargebotene Störschalle (Geräusche oder Sinustöne) in ihrer Tonhöhe beeinflusst werden. Eine Zusammenfassung der zu diesem Thema bekanntgewordenen Ergebnisse findet sich in [1]: ein sinusförmiger Störton bzw. ein Schmalbandrauschen kann einen spektral dichtbenachbarten Sinuston in seiner Tonhöhe um etwa 6 % verschieben; dabei kann der Sinuston eine höhere oder eine tiefere Frequenz als der Störschall annehmen. In der vorliegenden Arbeit wurde die Tonhöhenverschiebung von Sinustönen durch folgende Störschalle untersucht:

- (1) Gleichmäßig Verdeckendes Rauschen, um Einflüsse einer Drosselung durch Kern-
erregung bei konstantem Pegel über der Mithörschwelle des Störschalles zu
ermitteln.
- (2) Terzrauschen, um Einflüsse der oberen Flanke des drosselnden Schalles bei
konstantem Pegel über der Mithörschwelle des Störschalles festzustellen
und
- (3) Terzrauschen und Testton mit konstantem Pegel (Testton an der oberen Flan-
ke), um die Größe interindividueller Unterschiede abzuschätzen.

2. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

An den Experimenten nahmen 8 normal hörende Versuchspersonen (VPn) im Alter zwischen 25 und 35 Jahren teil; 4 VPn waren musikalisch vorgebildet, was aber - wie sich herausstellte - auf die Ergebnisse ohne Einfluß war. Die Darbietung erfolgte monaural über den dynamischen Kopfhörer Beyer DT 48 mit vorgeschaltetem Freifeldentzerrer nach [2]. Die VPn saßen in einer schallisolierten Meßzelle und hatten die Aufgabe, zwischen Störschall plus Testton und Vergleichston umzuschalten und letzteren auf gleiche Lautheit und Tonhöhe wie den gedrosselten Testton einzuregeln. Die Frequenz f_v des Vergleichstones wurde auf 0,1 % genau gemessen, der Testton mit der Frequenz f_T einem quarzstabilisierten Funktionsgenerator entnommen. Aus den beiden Frequenzen läßt sich die Tonhöhenverschiebung v berechnen:

$$v = \frac{f_v - f_T}{f_T} \cdot 100 \%$$

3. ERGEBNISSE

Für die Auswertung lagen je VP und Parameter 2 Einstellwerte vor. Daraus wurden Zentralwert und wahrscheinliche Schwankungen berechnet. Wenn Ergebnisse einzelner VPn angegeben sind, entspricht ein Punkt dem arithmetischen Mittelwert der 2 Einstellwerte bei diesem Parameter.

3.1 Gleichmäßig Verdeckendes Rauschen (GVR) als Störschall

Als Störschall wurde GVR-Rauschen mit einer Bandbreite von 20 kHz verwendet. Der Testton lag stets um 10 dB über der durch das GVR-Rauschen gebildeten

Mithörschwelle. Gemessen wurde die Tonhöhenverschiebung im Frequenzbereich von 350 Hz bis 4,4 kHz. Fig. 1 zeigt das Ergebnis; die Tonhöhenverschiebung v ist als Funktion der Tonheit z_T des Testtones angegeben.

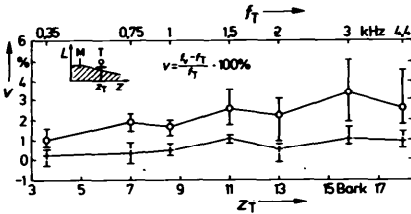


Fig. 1. Tonhöhenverschiebung des Testtones (T) durch drosselndes GVR-Rauschen (M, $\Delta f = 20$ kHz)

Kreise: $L_M = 60$ dB, $L_T = 50$ dB
 Kreuze: $L_M = 40$ dB, $L_T = 30$ dB
 L_V gleich laut

Für ein GVR-Rauschen mit einem Gesamtpegel von 60 dB (Kreise) ergibt sich eine mit der Frequenz zunehmende Tonhöhenverschiebung zwischen etwa 1 % und 3 %. Die großen wahrscheinlichen Schwankungen beruhen auf Unterschieden zwischen den einzelnen VPn. Die individuellen Werte der Tonhöhenverschiebung wurden im Mittel auf 1 % genau reproduziert. Für ein GVR-Rauschen mit 40 dB Gesamtpegel (Kreuze) ergeben sich bei tiefen Frequenzen kaum Tonhöhenverschiebungen; bei hohen Frequenzen beträgt die Tonhöhenverschiebung etwa 1 %.

In beiden Versuchen wurde ein breitbandiger Störschall verwendet.

Es tritt nur Drosselung durch Kernerregung auf. Für Weißes Rauschen als Störschall ergeben sich nach [3] bei einem konstanten Mithörschwellen-Pegel von 40 dB und einem Testtonpegel von 50 dB (also wieder 10 dB über der Mithörschwelle) im Frequenzbereich von 350 Hz bis 4,4 kHz Tonhöhenverschiebungen zwischen 0 % und 2 %.

3.2 Terzrauschen als Störschall bei konstanter Mithörschwelle

Bei zwei Frequenzlagen (Terzrauschen um 1 kHz und 2 kHz) wurde bei konstantem Mithörschwellen-Pegel von 40 dB die Tonhöhenverschiebung eines Testtones mit

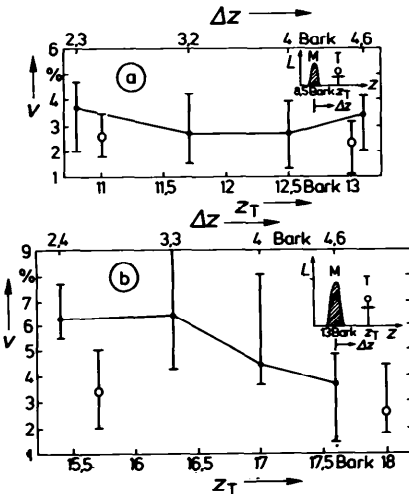


Fig. 2. Tonhöhenverschiebung des Testtones (T) durch Störschall (M)

Punkte: Terzrauschen (M) bei $z_M = 8.5$ Bark bzw. 13 Bark
 $L_{MHS} = 40$ dB,
 $L_T = 50$ dB
 Kreise: GVR-Rauschen (M),
 $\Delta f = 20$ kHz
 $L_{MHS} = 40$ dB,
 $L_T = 50$ dB
 $L_V =$ gleich laut

50 dB bestimmt. Fig. 2 zeigt die Ergebnisse für Testtöne an der oberen Flanke des drosselnden Terzrauschens bei gleichen Tonheitsabständen Δz in beiden Frequenzlagen.

Für ein Terzrauschen um 8,5 Bark (Fig. 2a, Punkte) ergibt sich eine vom Tonheitsabstand Δz nahezu unabhängige Tonhöhenverschiebung von $v = 3\%$. Für ein Terzrauschen bei 13 Bark (Fig. 2b, Punkte) hängt die Tonhöhenverschiebung von Δz ab: Mit wachsendem Δz zwischen Störschall und Testton verringert sich die Tonhöhenverschiebung von etwa 6% bei 15,4 Bark auf 3,5% bei 17,6 Bark. Die signifikanten wahrscheinlichen Schwankungen beruhen wieder vor allem auf interindividuellen Unterschieden.

Wegen des identischen Pegelniveaus können die Tonhöhenverschiebungen gemäß Fig. 1 und Fig. 2 verglichen werden. In Fig. 2 sind die im selben Tonheitsbereich liegenden Ergebnisse von Fig. 1 durch offene Symbole dargestellt: Die Drosselung durch Kernerregungen verschiebt die Tonhöhe eines überlagerten Testtones weniger als die Drosselung durch Flankenerregungen. Bei diesen Versuchen wurde der Mithörschwellen-Pegel des Störschalles konstant gehalten und für einen konstanten Testton-Pegel die frequenzabhängige Tonhöhenverschiebung bestimmt. Nachfolgend sollen Ergebnisse für konstanten Störschall- und Testton-Pegel dargestellt werden.

3.3 Drosselndes Terzrauschen mit konstantem Pegel

Gemessen wurde wieder bei zwei Frequenzlagen (Terzrauschen um 1 kHz und 2 kHz) und Testtönen an der oberen Flanke des Störschalles. Der Pegel des Terzrauschens betrug 80 dB, der Pegel des Testtones 70 dB. Die Pegel wurden während des Versuches konstant gehalten und die Tonhöhenverschiebungen in Abhängigkeit vom Tonheitsabstand Δz bestimmt.

Da die Tonhöhenverschiebungen von VP zu VP extreme Unterschiede aufweisen, ist eine gemittelte Darstellung wenig aussagekräftig. Deshalb sind in Fig. 3 die Einzelergebnisse dreier typischer VPn zusammengestellt. Die Tonhöhenverschiebung v ist als Funktion der Tonheit z_T des Testtones dargestellt.

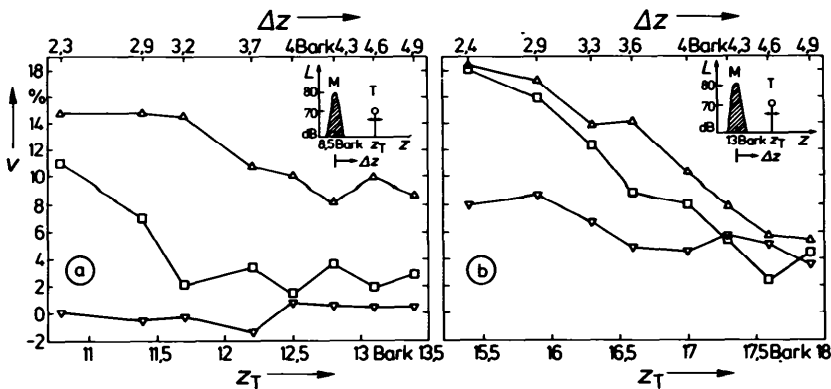


Fig. 3. Tonhöhenverschiebung des Testtones (T) durch Terzrauschen (M) bei der Tonheit $z_M = 8.5$ Bark bzw. 13 Bark; $L_M = 80$ dB, $L_T = 70$ dB, L_V gleich laut. Tonheitsabstand $\Delta z = z_T - z_M$
 Δ, \square, ∇ Ergebnisse von 3 Versuchspersonen

Für ein Terzrauschen bei 8,5 Bark (Fig.3a) zeigen zwei VPn (Δ , \square) mit größer werdendem τ_T abnehmende Tonhöhenverschiebungen. Für die dritte VP (∇) ergibt sich praktisch keine Tonhöhenverschiebung, unabhängig von der Tonheit des Testtones. Diese VP zeigte bereits bei den in 3.1 und 3.2 beschriebenen Versuchen eine deutlich geringere Tonhöhenverschiebung als die anderen beiden VPn. In Fig. 3b sind die Tonhöhenverschiebungen für ein Terzrauschen um 13 Bark dargestellt. Auch hier liegt die Tonhöhenverschiebung der VP (∇) deutlich unter den Werten der anderen beiden VPn. Der Unterschied in der Tonhöhenverschiebung ist zwischen den VPn (Δ , \square) nicht mehr so groß, wie das in Fig. 3a (Terzrauschen um 8,5 Bark) der Fall war. Insgesamt liefern alle 3 VPn über einen weiten Tonheitsbereich größere Tonhöhenverschiebungen für Terzrauschen bei 13 Bark als für Terzrauschen um 8,5 Bark. Folglich ist nicht nur der Tonheitsabstand Δz , also die relative Lage des Testtones zum Störschall, für die Tonhöhenverschiebung maßgebend, sondern auch die absolute Frequenzlage des Störrauschens.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Für gedrosselte Sinustöne zeigen sich unterschiedliche Tonhöhenverschiebungen, abhängig von Art, Pegel und Frequenzlage des Störschalles sowie von Pegel und Frequenz des Testtones.

- (1) GVR-Rauschen bewirkt für Sinustöne mit 10 dB SL Tonhöhenverschiebungen zwischen 0 % und 3 %.
- (2) Testtöne mit 50 dB SPL und 10 dB SL an der oberen Flanke drosselnder Terzrauschen erfahren eine Tonhöhenverschiebung von im Mittel 3 % für Rauschen bei 8,5 Bark und im Mittel 3,5...6% für Terzrauschen bei 13 Bark.
- (3) Werden Störschall- und Testtonpegel konstant gehalten (Terzrauschen mit 80 dB, Testton mit 70 dB), und bleibt folglich der Pegel des Testtones über der Mithörschwelle des Störrauschens nicht konstant, so ergeben sich für die Tonhöhenverschiebung von VP zu VP extreme Unterschiede. Für einen Testton an der oberen Flanke des Terzrauschens findet man individuelle Werte von $v = 0 \dots 18\%$. Alle 3 VPn zeigen größere Tonhöhenverschiebungen für ein Terzrauschen bei 13 Bark als für ein Terzrauschen bei 8,5 Bark.

LITERATUR

- [1] Terhardt, E. und Fastl, H., Zum Einfluß von Störtönen und Störgeräuschen auf die Tonhöhe von Sinustönen. *Acustica* 25, 53 (1971).
- [2] Zwicker, E. und Feldtkeller, R., Das Ohr als Nachrichtenempfänger. 2. erw. Auflage, Hirzel-Verlag, Stuttgart (1967).
- [3] Walliser, W., Über die Abhängigkeit der Tonhöhenempfindung von Sinustönen vom Schallpegel, von überlagertem drosselndem Störschall und der Darbietungsdauer. *Acustica* 21, 211 (1969).

Der Verfasser dankt Herrn Prof. Zwicker und Herrn Dr. Fastl für wertvolle Hinweise bei der Durchführung der Untersuchungen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat diese Arbeit im Rahmen des SFB 50 "Kybernetik" gefördert.