

# AUSGEPRÄGTHEIT DER VIRTUELLEN TONHÖHE UND FREQUENZ-UNTERSCHIEDSSCHWELLEN VON HARMONISCHEN KOMPLEXEN TÖNEN

N. Wiesmann, H. Fastl

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

## Einleitung

Tonhöhenempfindungen können nicht nur in eine Skale hoch - tief, sondern auch in eine Skale ausgeprägt (deutlich) - unausgeprägt eingeordnet werden. Aus früheren Arbeiten ist bekannt [1], daß Sinustöne sehr ausgeprägte (spektrale) Tonhöhen hervorrufen. In dieser Arbeit wird die Ausgeprägtheit der (virtuellen) Tonhöhe von komplexen Tönen mit Basisfrequenzen  $f_b = 60, 125, 250$  und  $500$  Hz relativ zur Ausgeprägtheit der Tonhöhe des Sinustons mit der Frequenz  $f_b$  in Abhängigkeit von der Anzahl der harmonischen Teiltöne beschrieben.

Die Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Bandpaß-Rauschen ist umgekehrt proportional zu deren Frequenzunterschiedsschwelle [2]. Deshalb wurde der Zusammenhang zwischen Ausgeprägtheit der Tonhöhe und Frequenzunterschiedsschwelle auch für harmonische komplexe Töne mit der Basisfrequenz  $250$  Hz untersucht.

## AUSGEPRÄGTHEIT DER TONHÖHE VON HARMONISCHEN KOMPLEXEN TÖNEN

### Messungen

Die Experimente wurden mit 8 normalhörenden Versuchspersonen im Alter von 27 - 45 Jahren (Zentralwert 30 Jahre) durchgeführt. Die Schalle wurden digital erzeugt und nach Digital-Analog-Wandlung mit anschließender Tiefpaß-Filterung über freifeldentzerrte elektrodynamische Kopfhörer (Beyer DT 48) mit einem Schallpegel von  $50$  dB dargeboten. Die Teiltöne der komplexen Töne hatten gleiche Amplitude und lagen alle in Sinusphase. Die verwendeten Testschalle sind exemplarisch für die Basisfrequenz  $f_b = 250$  Hz in Fig. 1 dargestellt.

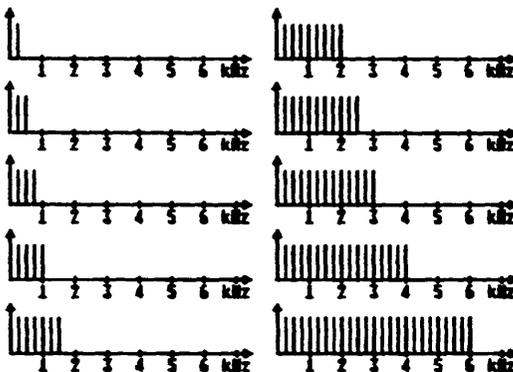


Fig. 1 : Verwendete Testschalle am Beispiel der Meßreihen mit der Basisfrequenz  $f_b = 250$  Hz. Die Amplituden der Teiltöne sind konstant, die Teiltöne liegen in Sinusphase, der Pegel der Testschalle beträgt  $50$  dB.

Als Meßmethode wurde Größenschätzung mit Ankerschall verwendet. Zu jeder Basisfrequenz  $f_b$  wurden zwei Meßreihen mit verschiedenen Ankerschällen durchgeführt: Ankerschall war zum einen ein Sinuston mit der Frequenz  $f_b$ , zum anderen ein komplexer Ton, der eine relativ kleine Ausgeprägtheit der Tonhöhe aufwies. Ankerschall und Testschall hatten jeweils eine Dauer von 1.2 s, zwischen Ankerschall und Testschall lag eine Pause von 0.8 s, zwischen den Ankerschall-Testschall-Paaren eine Pause von 1.2 s Dauer. Nach dreimaliger Darbietung eines solchen Schallpaares mußte die Versuchsperson die Ausgeprägtheit der Tonhöhe des Testschalls relativ zur Ausgeprägtheit der Tonhöhe des Ankerschalls (Zahlenwert 100 für den Sinus als Ankerschall, Zahlenwert 50 für den komplexen Ton als Ankerschall) beurteilen und in einen PC eingeben. Nach dieser Eingabe wurde das nächste Schallpaar - wiederum dreimal - dargeboten. Die Testschalle wurde von jeder Versuchsperson jeweils viermal bewertet, so daß den Zentralwerten mit Wahrscheinlichen Schwankungen in Fig. 2 jeweils 32 Daten zugrunde liegen.

Komplexe Töne können gleichzeitig mehrere Tonhöhenempfindungen hervorrufen. Beurteilt werden sollte jedoch nur die Virtuelle Tonhöhe im Bereich der Basisfrequenz  $f_b$ . Dies wurde erreicht, indem der Versuchsperson der Tonhöhenbereich durch den Sinuston der Frequenz  $f_b$  vorgegeben wurde (Ankerschall). Die Versuchsperson wurde angewiesen, die Ausgeprägtheit der Tonhöhe nur in diesem Tonhöhenbereich zu bewerten.

### Ergebnisse

Figur 2 zeigt die Ausgeprägtheit der Tonhöhe von komplexen harmonischen Tönen mit den Basisfrequenzen  $f_b = 60$  Hz (a),  $f_b = 125$  Hz (b),  $f_b = 250$  Hz (c) und  $f_b = 500$  Hz (d) als Funktion der Anzahl der Teiltöne. Nicht ausgefüllte Symbole repräsentieren Daten für die Meßreihen mit dem Sinuston als Ankerschall, ausgefüllte Symbole Daten für den komplexen Ton als Ankerschall. Der Ankerschall ist jeweils durch ein Quadrat gekennzeichnet. Die Daten mit dem komplexen Ton als Ankerschall wurden jeweils so normiert, daß der Sinuston den Wert 100 als Zentralwert aller Daten erhielt.

Die Ausgeprägtheit der Tonhöhe komplexer harmonischer Töne nimmt ungefähr logarithmisch mit der Anzahl der Teiltöne ab. Ausgehend vom Sinuston (1 Teilton - spektrale Tonhöhe) mit der rel. Ausgeprägtheit der Tonhöhe von 100% nimmt die Ausgeprägtheit der virtuellen Tonhöhe bei 10 Teiltönen Werte von 40-60% an, bei 100 Teiltönen nur noch Werte von ca. 15%.

Die zum Teil großen Wahrscheinlichen Schwankungen (insbesondere bei tiefen Basisfrequenzen) beruhen vor allem auf interindividuellen Schwankungen, die intraindividuellen Schwankungen betragen im Mittel lediglich ca. 10%.

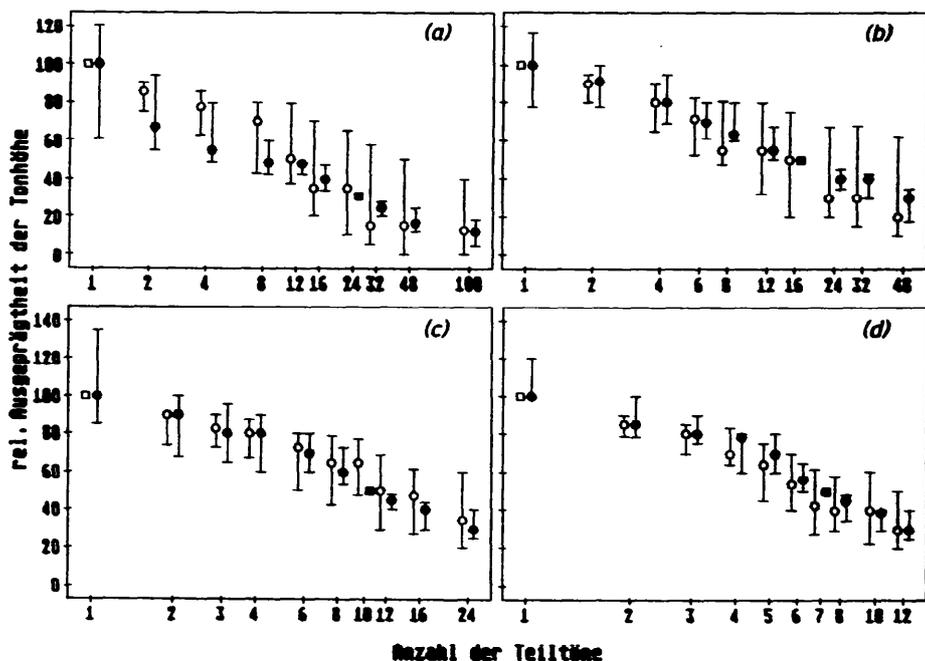


Fig. 2 : Ausprägtheit der Virtuellen Tonhöhe harmonischer komplexer Töne mit den Basisfrequenzen  $f_b = 60$  Hz (a),  $f_b = 125$  Hz (b),  $f_b = 250$  Hz (c) und  $f_b = 500$  Hz (d) in Abhängigkeit von der Anzahl der Teiltöne. Nicht ausgefüllte Symbole: Sinuston als Ankerschall, ausgefüllte Symbole: komplexer Ton als Ankerschall. Ankerschälle sind durch Quadrate gekennzeichnet.

## FREQUENZUNTERSCHIEDSSCHWELLEN UND AUSGEPRÄGTHEIT DER TONHÖHE HARMONISCHER KOMPLEXER TÖNE

### Messungen

Mit vier normalhörenden Versuchspersonen wurden Frequenzunterschiedsschwellen und die Ausprägtheit der Tonhöhe von harmonischen komplexen Tönen mit der Basisfrequenz  $f_b = 250$  Hz bei einem Pegel von 60 dB bestimmt. Die Ausprägtheit der Tonhöhe wurde bei 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16 und 24 Teiltönen mittels Größenschätzung mit Ankerschall (wie oben beschrieben) ermittelt, die Frequenzunterschiedsschwellen mittels Abfragemethode bei 1, 2, 5, 10 und 20 Teiltönen. Positive Frequenzunterschiede ( $\Delta f = 0.1$  Hz, 0.2 Hz, 0.3 Hz, 0.5 Hz, 0.7 Hz, 1 Hz, 1.4 Hz und 2 Hz) wurden jeweils 50 mal dargeboten. Die Frequenzunterschiedsschwelle wurde als 75%-Wert der psychometrischen Funktion definiert. Die Frequenzunterschiede  $\Delta f$  beziehen sich auf die Basisfrequenz. Dementsprechend erhöht sich die Frequenz der 20. Harmonischen um  $20\Delta f$ , wenn die Basisfrequenz um  $\Delta f$  erhöht wird.

### Ergebnisse

In Fig. 3 sind Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen der Frequenzunterschiedsschwellen (Kreise) und der Kehrwert der Ausgeprägtheit der Tonhöhe (Quadrate) - jeweils normiert auf den Wert 1 für den Sinuston - dargestellt. Die mit 4 Versuchspersonen gefundenen Werte für die Ausgeprägtheit der Tonhöhe bei einem Schallpegel von 60 dB stimmen sehr gut mit den Daten der 8 Versuchspersonen bei einem Schallpegel von 50 dB (Fig. 2c) überein.

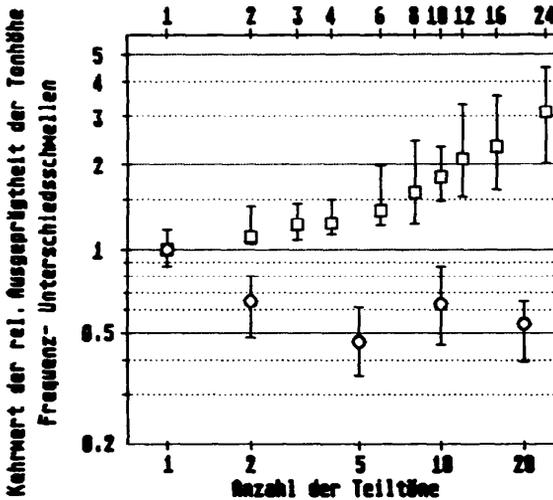


Fig. 3: Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen von Frequenzunterschiedsschwellen (Kreise) und Kehrwerte der Ausgeprägtheit der Virtuellen Tonhöhe (Quadrate) von harmonischen komplexen Tönen in Abhängigkeit der Anzahl der Teiltöne jeweils auf den Wert 1 für den Sinuston normiert.

Der Zentralwert der Frequenzunterschiedsschwelle des Sinustons lag unnormiert bei 0.7 Hz. Für die Frequenzunterschiedsschwellen ist deutlich erkennbar, daß der Sinuston die größte Frequenzunterschiedsschwelle besitzt. Obwohl also die Ausgeprägtheit der Tonhöhe mit steigender Teiltonanzahl abnimmt, können Frequenzunterschiede bei Schallen mit mehreren Teiltönen besser erkannt werden als beim Sinuston (vgl. [3]). Der bei Bandpaß-Rauschen gefundene Zusammenhang zwischen relativer Ausgeprägtheit der Tonhöhe und Frequenzunterschiedsschwelle [2] konnte bei komplexen Tönen nicht bestätigt werden.

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

### Literatur

- [1] Fastl, H. and Stoll, G. Scaling of pitch strength. *Hearing Research* 1, 293-301 (1979).
- [2] Wiesmann, N., Fastl, H. Ausgeprägtheit der Tonhöhe und Frequenzunterschiedsschwellen von Bandpaß-Rauschen. In: *Fortschritte der Akustik, DAGA 91* DPG Verlag Bad Honnef 1991, 505-508
- [3] Fastl, H. and Weinberger, M. Frequency discrimination for pure and complex tones. *Acustica* 49, 77-78 (1981).