

AUSGEPRÄGTHEIT DER TONHÖHE UND FREQUENZUNTERSCHIEDSSCHWELLEN VON BANDPASS-RAUSCHEN

N. Wiesmann, H. Fastl

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

EINLEITUNG

Auch Rauschen können Tonhöhenempfindungen hervorrufen. Die wahrgenommenen Tonhöhen sind aber im allgemeinen nicht so ausgeprägt (deutlich) wie diejenigen von Sinustönen [1]. Die Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Tiefpaß-Rauschen, Hochpaß-Rauschen sowie von verschiedenartig modulierten, bzw. spektral gefilterten Rauschen wurde bereits in früheren Arbeiten beschrieben [1,2,3,4]. In dieser Arbeit wird daher die Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Bandpaß-Rauschen mit Mittenfrequenzen $f_m = 250 \text{ Hz} \dots 4 \text{ kHz}$ und Bandbreiten $\Delta f = 3.16 \text{ Hz} \dots 1 \text{ kHz}$ dargestellt. Ausgehend von der Überlegung, daß ausgeprägte Tonhöhen zu besonders kleinen Frequenzunterschiedsschwellen führen sollten, wird der Kehrwert der Ausgeprägtheit der Tonhöhe mit den Frequenzunterschiedsschwellen für Bandpaß-Rauschen mit der Mittenfrequenz $f_m = 1 \text{ kHz}$ verglichen.

AUSGEPRÄGTHEIT DER TONHÖHE VON BANDPASS-RAUSCHEN

Messungen

Die Experimente wurden mit 8 normalhörenden Versuchspersonen im Alter von 26-45 Jahren (Zentralwert 29 Jahre) durchgeführt. Die Schalle (Tab. 1) wurden von einem Sinus-Rauschgenerator (Brüel & Kjaer 1027) erzeugt und diotisch über freifeldentzerrte Kopfhörer mit einem Schallpegel von 50 dB dargeboten. Meßmethode war Größenschätzung ohne Ankerschall. Jeder Schall wurde dreimal nacheinander mit einer Dauer von 2 s dargeboten (Pausendauer dazwischen: 1 s). Anschließend hatten die Versuchspersonen 4 s Zeit, der Ausgeprägtheit der Tonhöhe dieses Schalles einen Zahlenwert zuzuordnen. In jeder Meßreihe waren Bandpaß-Rauschen bei einer Mittenfrequenz f_m mit verschiedenen Bandbreiten Δf sowie ein Sinuston der Frequenz f_m je viermal zu bewerten. Den Zentralwerten und Wahrscheinlichen Schwankungen in Figur 1 liegen also jeweils 32 Daten zugrunde.

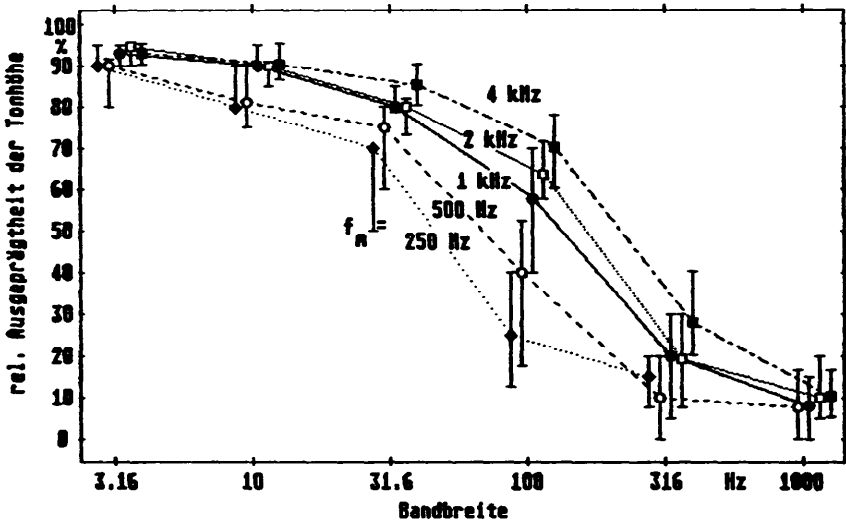
Tab. 1:
verwendete
Testschalle

| f_m | Δf |
|--------|-------------------------------------|
| 250 Hz | Sinus, 3,16 10 31,6 100 316 Hz |
| 500 Hz | Sinus, 3,16 10 31,6 100 316 1000 Hz |
| 1 kHz | Sinus, 3,16 10 31,6 100 316 1000 Hz |
| 2 kHz | Sinus, 3,16 10 31,6 100 316 1000 Hz |
| 4 kHz | Sinus, 3,16 10 31,6 100 316 1000 Hz |

Ergebnisse

Figur 1 zeigt die Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Bandpaß-Rauschen der Mittenfrequenzen f_m relativ zur Ausgeprägtheit der Tonhöhe eines Sinustones mit der Frequenz f_m als Funktion der Bandbreite. Alle Versuchspersonen bewerteten die Ausgeprägtheit der Tonhöhe des Sinustones am höchsten. Die Größenschätzungen

jeder Versuchsperson wurden dergestalt normiert, daß dem Zentralwert der Ausgeprägtheit der Tonhöhe des Sinustones der Wert 100% zugeordnet wird. Bei konstanter Mittenfrequenz nimmt die relative Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Bandpaß-Rauschen mit zunehmender Bandbreite ab. Bei Bandbreiten $\Delta f < 10$ Hz liegt die relative Ausgeprägtheit der Tonhöhe über 80%, bei der Bandbreite von 1 kHz nur noch bei 10... 15%. Bei 100 Hz Bandbreite zeigen sich je nach Mittenfrequenz deutliche Unterschiede in der Ausgeprägtheit der Tonhöhe: Sie ist für niedrige Mittenfrequenzen (250 Hz) klein (25%) und steigt zu hohen Mittenfrequenzen (4 kHz) an (75%). Die zum Teil großen Wahrscheinlichen Schwankungen beruhen vor allem auf interindividuellen Schwankungen (die intraindividuellen Schwankungen betragen im Mittel lediglich 15%).



Figur 1: Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Bandpaß-Rauschen mit verschiedenen Bandbreiten bei Mittenfrequenzen f_m relativ zur Ausgeprägtheit der Tonhöhe eines Sinustones mit der Frequenz f_m . Dargestellt sind Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen der Größenschätzungen von 8 Versuchspersonen, die jeden Schall viernmal bewerteten.

FREQUENZUNTERSCHIEDSSCHWELLEN UND AUSGEPRÄGTHEIT DER TONHÖHE VON BANDPASS-RAUSCHEN

Messungen

Mit 4 normalhörenden Versuchspersonen wurden Frequenzunterschiedsschwellen für Bandpaß-Rauschen bei der Mittenfrequenz $f_m = 1$ kHz mit verschiedenen Bandbreiten, sowie für einen Sinuston ermittelt (Testschalle siehe Tab. 2). Die Schalle wurden diotisch über freifeldentzerrte Kopfhörer mit einem Schallpegel von 60 dB dargeboten. Für dieselben 4 Versuchspersonen wurde die Ausgeprägtheit der Tonhöhe der verwendeten Testschalle mit der Methode der Größenschätzung ohne Ankerschall

bestimmt (s.o.). Zur Messung der Frequenzunterschiedsschwellen wurden zwei verschiedene Methoden angewandt: Bei der Einregelmethode mußten die Versuchspersonen einen Vergleichsschall insgesamt achtmal auf gleiche Tonhöhe wie den Testschall einregeln. Dabei wurden Sinustöne mit Sinustönen bzw. Bandpaß-Rauschen mit Bandpaß-Rauschen **gleicher** Bandbreite verglichen. Der Zentralwert aus den Abweichungen der eingestellten (Mitten-) Frequenzen zur (Mitten-) Frequenz des jeweiligen Testschalls dient als Maß für die Frequenzunterschiedsschwelle. Bei der Abfragemethode wurden verschiedene Schallpaare mit unterschiedlichen (Mitten-) Frequenzen aber gleicher Bandbreite jeweils 50mal dargeboten. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, zu bestimmen welcher Schall eine höhere Tonhöhe hervorruft. Die Frequenzunterschiedsschwelle wird bei 75% positiver Antworten definiert.

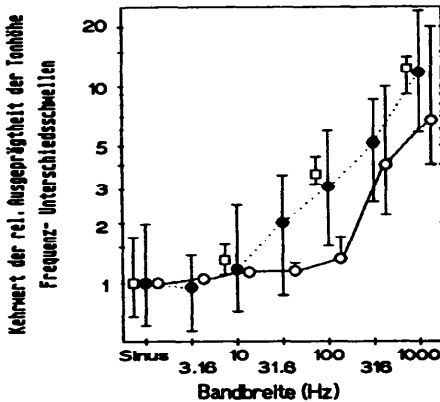
Pegel : 60 dB Mittenfrequenz $f_m = 1$ kHz

| | Δf | | | | | | |
|----------------------------|------------|------|-----|------|-----|-----|---------|
| Abfragemethode | Sinus , | 10 | 100 | 1000 | Hz | | |
| Einregelmethode | Sinus , | 3.16 | 10 | 31.6 | 100 | 316 | 1000 Hz |
| Ausgeprägtheit der Tonhöhe | Sinus , | 3.16 | 10 | 31.6 | 100 | 316 | 1000 Hz |

Tab. 2: Verwendete Testschale

Ergebnisse

Für den Sinuston bei 1 kHz ergibt sich mit der Einregelmethode eine Frequenzunterschiedsschwelle von 0.8 Hz, mit der Abfragemethode eine Frequenzunterschiedsschwelle von 1.6 Hz (Zentralwert der 4 Versuchspersonen). Diese Daten stimmen mit Literaturergebnissen ([5],[6]) gut überein. Die Verhältnisse der Frequenzunterschiedsschwellen der verwendeten Bandpaß-Rauschen zu der Frequenzunterschiedsschwelle des Sinustones sind bei beiden Meßmethoden ungefähr gleich; deshalb wurden die Daten jeweils auf die Frequenzunterschiedsschwelle des Sinustones normiert. Figur 2 zeigt Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen der normierten Frequenzunterschiedsschwellen für beide Meßmethoden, sowie die normierten Kehrwerte der Ausgeprägtheit der Tonhöhe: Bei der Abfragemethode (Quadrate) wurde der Zentralwert mit Wahrscheinlichen Schwankungen aus den ermittelten Frequenzunterschiedsschwellen von 4 Versuchspersonen (4 Daten), bei der Einregelmethode (ausgefüllte Kreise) aus den 8 Abweichungen der eingestellten (Mitten-) Frequenzen von 4 Versuchspersonen (32 Daten) und beim Kehrwert der Ausgeprägtheit der Tonhöhe (unausgefüllte Kreise) aus den 4 Größenschätzungen pro Versuchsperson (16 Daten) berechnet. Normiert wurde jeweils dergestalt, daß die Zentralwerte des Sinustones dem Wert 1 entsprechen. Die Frequenzunterschiedsschwellen von Bandpaß-Rauschen mit Bandbreiten bis zu 10 Hz sind derjenigen des Sinustones annähernd gleich. Oberhalb 10 Hz steigt die Frequenzunterschiedsschwelle deutlich mit zunehmender Bandbreite (gepunktete Kurve). Der Kehrwert der Ausgeprägtheit der Tonhöhe steigt ausgehend vom Sinuston bis zu einer Bandbreite von 100 Hz um den Faktor 1.3 und nimmt oberhalb 100 Hz rascher zu (durchgezogene Kurve).



Figur 2: Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen von Frequenzunterschiedsschwellen (Abfragemethode: Quadrate, Einregel-methode: ausgefüllte Kreise) und Kehrwert der Ausgeprägtheit der Tonhöhe (unausgefüllte Kreise) von Bandpaß-Rauschen unterschiedlicher Bandbreiten jeweils auf den Wert 1 für den Sinuston normiert.

Die Annahme, daß bei abnehmender Ausgeprägtheit der Tonhöhe die Frequenzunterschiedsschwellen größer werden, konnte also für Bandpaß-Rauschen bestätigt werden. Allerdings verhalten sich Ausgeprägtheit der Tonhöhe und Frequenzunterschiedsschwelle nicht exakt umgekehrt proportional.

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Ausgeprägtheit der Tonhöhe ergibt sich folgendes: Ausgehend von der "Bandbreite" 0 Hz (Sinus, Ausgeprägtheit der Tonhöhe von 100%) verschlechtert sich die Ausgeprägtheit der Tonhöhe mit zunehmender Bandbreite. Dabei nimmt die Ausgeprägtheit der Tonhöhe bei niedrigen Mittenfrequenzen schneller ab als bei höheren. Die Frequenzunterschiedsschwellen von Bandpaß-Rauschen der Mittenfrequenz $f_m = 1$ kHz werden mit zunehmender Bandbreite größer. Eine Kehrwertbildung der Frequenzunterschiedsschwellen bildet allerdings die Ausgeprägtheit der Tonhöhe nur qualitativ, nicht jedoch auch quantitativ richtig ab.

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] Fastl, H. Pitch strength and masking patterns of low-pass noise. In: *Psychophysical, Physiological and Behavioural Studies in Hearing*. (G. van den Brink, F.A. Bilsen, eds.), Delft, University Press, 334-339 (1980).
- [3] Fastl, H. Ausgeprägtheit der Tonhöhe pulsmodulierter Breitbandrauschen. In: *Fortschritte der Akustik, DAGA'81*, VDE-Verlag, Berlin, 725-728 (1981).
- [4] Fastl, H. Pitch and pitch strength of peaked ripple noise. In: *Basic Issues in Hearing*, (H. Duifhuis, J.W. Horst, and H.P. Wit, eds.) Academic Press, London, 370-379 (1988).
- [5] Schorer, E. Vergleich eben erkennbarer Unterschiede und Variationen der Frequenz und Amplitude von Schallen. *Acustica* 68, 183-199 (1989)
- [6] Fastl, H. and Hesse, A. Frequency discrimination for pure tones at short durations. *Acustica* 56, 41-47 (1984)