

Zum Zwicker-Ton bei zeitlich gepulsten Erzeugerschallen

G. KRUMP

Lehrstuhl für Elektroakustik, Technische Universität München

1. Einführung

Nach dem Abschalten eines Schallreizes mit geeigneter spektraler Lücke kann ein leiser, abklingender Nachton (Zwicker-Ton) wahrgenommen werden, dessen Tonhöhe einer Frequenz innerhalb der Lücke entspricht [3]. Als Zwicker-Ton-Erzeugerschalle werden rechnergenerierte Linienspektren konstanter Amplituden und zufällig verteilter Phasenlagen mit einem Linienspektrenabstand von 1 Hz verwendet [1] [2]. Der Frequenzbereich der Spektrallinien erstreckt sich von 1 Hz bis 16 kHz. In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluß der zeitlichen Struktur der Erzeugerschalle untersucht.

2. Versuchsdurchführung

Die Linienspektren wurden mit Hilfe eines digitalen Gaußmodulators mit unterschiedlichen Impuls- und Pausendauern (70 Prozent-Werte) amplitudenmoduliert und monaural über Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer [4] sechs normalhörenden Versuchspersonen im Alter von 26 bis 47 Jahren dargeboten. Die Anstiegs- bzw. Abfallzeiten der Gaußimpulse wurden zu 5 ms (10 bis 90 Prozent-Werte) festgelegt. Dadurch war gewährleistet, daß selbst im ungünstigsten Fall, bei 10 ms Impulsdauer die Steigungen der Flanken der spektralen Lücke noch über 50 dB/Bark ausmachten. Die physikalische Steigung der unteren und oberen Flanke ist damit fast um den Faktor 2 größer als die Steigung der entsprechenden Mithörachswelle mit 27 dB/Bark. Die Tonhöhe des Zwicker-Tones entsprach daher stets derjenigen bei ungepulster Anregung, da erst bei geringerer physikalischer Steigung der unteren Flanke der Lücke die Tonhöhe zu höheren Tonheiten hin verschoben wird (siehe [2]).

Der Versuchsperson wurde jede Impuls-/Pause-Kombination statistisch verteilt jeweils viermal dargeboten. Nachdem sie sich den modulierten Erzeugerschall einige Sekunden angehört hatte, sollte sie sich nach dem Abschalten den wahrgenommenen Zwicker-Ton einprägen und anschließend einen Vergleichssinuston in Frequenz und Pegel dem Nachton angleichen. Zusätzlich sollte die Person die Qualität des wahrgenommenen Zwicker-Tones, welche sich aus mehreren Empfindungsgrößen wie Lautheit, Dauer und Ausgeprägtheit der Tonhöhe des Nachtones zusammensetzt, in fünf Kategorien von "sehr schlecht" bis "sehr gut" (siehe Fig. 1) einteilen. Falls sie den Zwicker-Ton nicht wahrnehmen konnte, sollte sie ihn in eine weitere Kategorie als "nicht gehört" einstufen. Nahm eine Versuchsperson den Zwicker-Ton bei den vier Darbietungen mehr als einmal nicht wahr, so wurde er ebenfalls als "nicht gehört" angenommen.

Die einzelnen Qualitätsbeurteilungen der Personen, die den Zwicker-Ton wahrgenommen haben, wurden in eine Tabelle mit den entsprechenden Kategorien eingetragen. Durch Abzählen wurde aus den Einzelbeurteilungen diejenige Kategorie ermittelt, in welche der Zentralwert fällt.

3. Qualität des Zwicker-Tones bei gepulsten Erzeugerschallen

In Fig. 1 sind die Ergebnisse bei einer spektralen Lücke zwischen 15.9 Bark (3150 Hz) und 18.4 Bark (4850 Hz) und einem Darbietungspegel von 40 dB (Zeitkonstante "fast") in Matrixform dargestellt. Es sind zunächst drei grundlegende Tendenzen auffällig: Bei konstanter Pausendauer T_p (Zeilen) verbessert sich mit zunehmender Impulsdauer T_i die Qualität des Nachto-

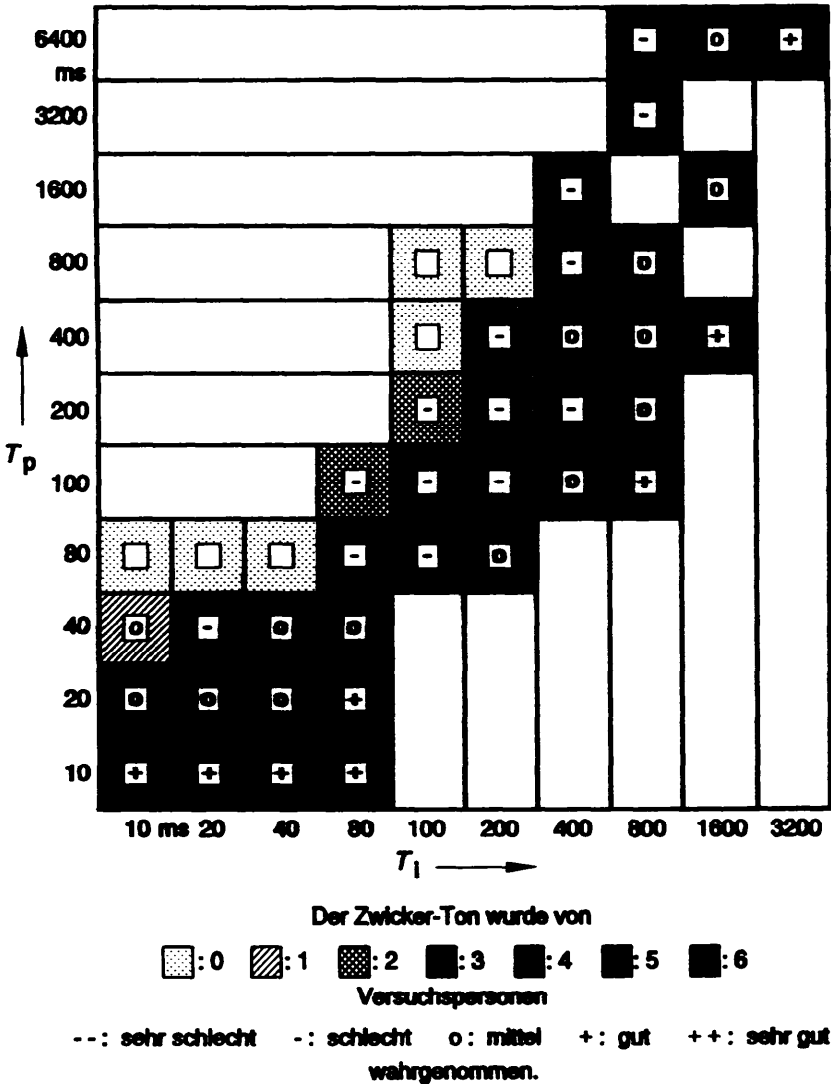


Fig.1: Qualität des Nachttones bei unterschiedlichen Impulsdauern T_i und Pausendauern T_p . Spektrale Lücke zwischen 15.9 Bark und 18.4 Bark. Darbietungspegel: 40 dB.

nes, bis sie schließlich die Qualität "gut" des ungepulsten Erzeugerschalles erreicht. Bei konstanter Impulsdauer T_i (Spalten) wird der Nachtton mit abnehmender Pausendauer besser hörbar. Nicht untersuchte Impuls-/Pause-Kombinationen können somit zum Teil ergänzt werden. Ein bereits "gut" hörbarer Zwicker-Ton bei 80 ms Impulsdauer und Pausendauern von 10 bzw. 20 ms wird mit zunehmenden Impulsdauern auch wieder "gut" wahrgenommen wer-

Fig.2: Qualität des Zwickertones.
Spektrale Lücke zwischen
13.1 Bark und 15.6 Bark.
Darbietungspegel: 40 dB.

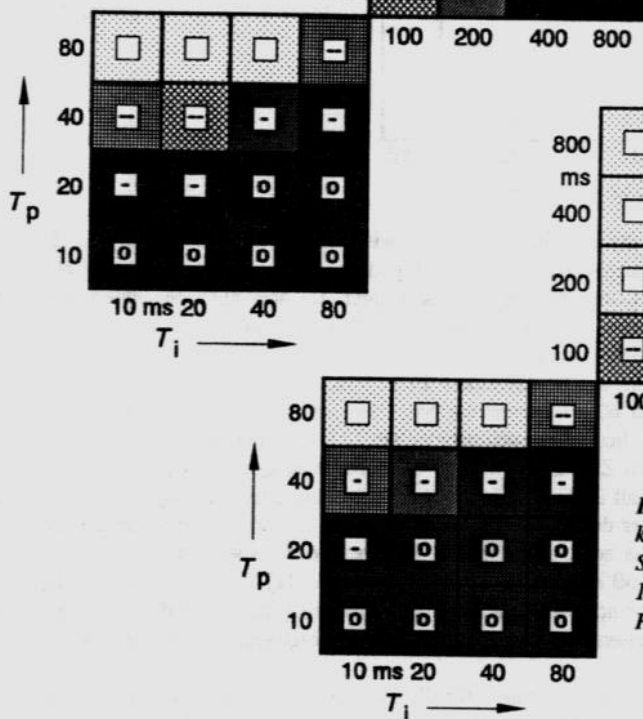


Fig.3: Qualität des Zwickertones.
Spektrale Lücke zwischen
15.9 Bark und 18.4 Bark.
Pegel: 60 dB.

den. Ebenso wird ein Nachton, der bei 10, 20, 40 bzw. 100 und 200 ms Impulsdauer und 80 bzw. 800 ms Pausendauer nicht mehr wahrgenommen wird, bei größeren Pausen ebenfalls nicht mehr gehört werden. Mit einer Impulsdauer von 3200 ms und einer Pausendauer von 6400 ms ist schließlich der Übergang zum ungelulsten Erzeugerschall gegeben. Vergleicht man einen 200 ms langen Ausschnitt der gepulsten Anregung bei einer Impuls-/Pause-Kombination von 100ms/100ms mit 10ms/10ms, so zeigt sich, daß der Nachton bei der höherfrequenten Darbietung wesentlich besser wahrzunehmen ist, obwohl physikalisch die Gesamtdauer der Schalldarbietung in diesem Zeitausschnitt jeweils 100 ms beträgt. Diese Diskrepanz kann vermutlich durch die Berücksichtigung von Gehöreigenschaften wie Vor- und Nachverdeckung erklärt werden.

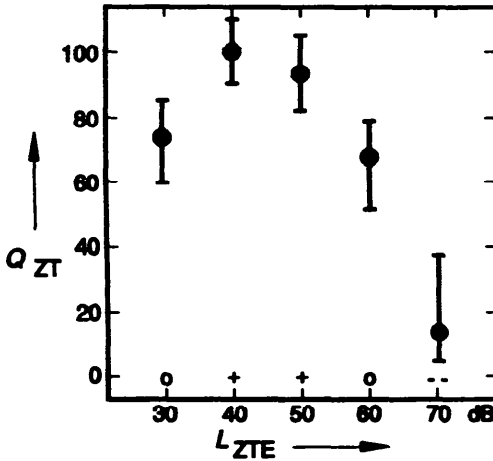


Fig. 4: Qualität Q_{ZT} des Zwicker-Tones bei unterschiedlichen Pegeln des Zwicker-Ton-Erzeugerschalles L_{ZTE} . Größenschätzung ohne Ankerschall. Spektrale Lücke zwischen 15.9 Bark und 18.4 Bark. Über Abszisse: Qualität des Zwicker-Tones in Kategorien gemäß Fig. 1.

Fig. 2 zeigt die Qualitätsangaben bei einer Lücke zwischen 13.1 Bark (2000 Hz) und 15.6 Bark (3000 Hz). Es sind dieselben Tendenzen wie in Fig. 1 zu erkennen, die Qualität des Nachttones ist jedoch fast durchwegs um eine Kategorie schlechter. Da aber auch bei un gepulster Anregung der Nachtton bei der tieferen Lücke nur "mittel" wahrgenommen wird, hat diese Verschlechterung der Qualität eher spektrale Ursachen.

Die Ergebnisse in Fig. 3, welche auf einem Erzeugerschall mit einer Lücke zwischen 15.9 Bark und 18.4 Bark, aber 60 dB Darbietungspegel beruhen, bestätigen die erwähnten Zusammenhänge wiederum. An diesem Versuch nahmen nur fünf Personen teil.

In Fig. 4 sind die auf den Zentralwert von 40 dB normierten Qualitätsangaben einer Größenschätzung ohne Ankerschall in Abhängigkeit vom Darbietungspegel des un gepulsten Erzeugerschalles aufgetragen. Über der Abszisse sind die in einer separaten Versuchsreihe ermittelten Kategorien angegeben. Es zeigt sich deutlich, daß in beiden Experimenten der Nachtton bei einem Pegel von 40 bis 50 dB am besten wahrnehmbar ist [1]. Bei 60 dB Darbietungspegel wird der Zwicker-Ton nur noch in die Kategorie "mittel" eingestuft, so daß er auch bei gepulster Darbietung des Erzeugerschalles höchstens "mittel" wahrgenommen werden kann.

Der Autor dankt allen Versuchspersonen für die geduldige Teilnahme an den Experimenten, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. M. Deutinger für die im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführten zahlreichen Versuche sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Fastl für viele Anregungen und Hinweise. Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft über den SFB 204 Gehör München gefördert.

Literatur

- [1] Fastl H., *Zum Zwicker-Ton bei Linienspektren mit spektralen Lücken*. Acustica 67, Hirzel-Verlag, Stuttgart, 177-186 (1989).
- [2] Krump G., *Zum Zwicker-Ton bei unterschiedlichen Konfigurationen der spektralen Lücke*. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'91, Verl.: DPG-GmbH, Bad Honnef, 513-516 (1991).
- [3] Zwicker E., "Negative afterimage" in hearing. J. Acoust. Soc. Amer. 36, 2413-2415 (1964).
- [4] Zwicker E., Fastl H., *Psychoacoustics - Facts and Models*. Springer-Verlag, Heidelberg (1990).