

Ist temporale Tonhöhe musikalisch?

Christian Kaernbach, Christian Bering
mailto: Christian@Kaernbach.de
Institut für Allgemeine Psychologie
Universität Leipzig

Einleitung

Zur Tonhöhenwahrnehmung tragen zwei verschiedene Mechanismen bei¹: ein *räumlicher* Mechanismus, der das Erregungsmuster auf der Cochlea ausnutzt, und ein *temporaler* Mechanismus, der die Zeitstruktur der Erregung auswertet. Will man den temporalen Mechanismus isoliert untersuchen, muß man Stimuli konstruieren, die keine räumliche Erregungsstruktur aufweisen. Das erreicht man z. B. durch Hochpaßfiltern einer periodischen Klickfolge (ca. ab dem 15-fachen der Grundfrequenz), so daß die verbleibenden Obertöne nicht von der Cochlea getrennt werden können. Zusätzlich muß man im Tieffrequenzbereich mit einem Maskierer eventuelle Distorsionsprodukte überdecken.²

Die von einem derartigen Signal ausgelöste Tonhöhe ist weniger deutlich als die eines ungefilterten Signals. So sind z. B. die ebenmerklichen Unterschiede mit 1,5% gegenüber 0,25% deutlich erhöht³. In der hier vorgestellten Untersuchung ging es um die Frage, ob trotz dieser Einschränkung auch musikalische Informationen übertragen werden können.

Stimuli, Methoden

Den Versuchspersonen wurden „Intervalle“ von verschiedenen Signalen vorgespielt. Das Frequenzverhältnis wurde zufällig im Bereich zwischen 1.0 und 2.0 (0-12 Halbtöne) gewählt. Die Versuchspersonen sollten das Intervall einem musikalischen Intervall zuordnen. In der Testbedingung **F80** wurden gefilterte Klickfolgen in der Oktave oberhalb von 80 Hz gewählt.

Die untere Frequenz wurde zufällig aus [80,160] Hz gewählt, aber so, daß auch die obere Frequenz in diesem Bereich noch realisierbar war. So konnte für das Verhältnis 1:2 nur 80 Hz als untere Frequenz gewählt werden. Beide Klickfolgen wurden hochpaßgefiltert bei der 15-fachen Grundfrequenz der oberen Frequenz, und tiefpaßmaskiert.

Jeder Ton dauerte 1 Sekunde. Das maskierende Tiefpaßrauschen setzte 50 ms vorher ein und hielt 50 ms länger an. Tiefpaßrauschen und Signal

wurden beide an On- und Offset über 150 ms gerampt. Die Versuchsperson konnte sich beide Töne des Intervalls beliebig oft vorspielen, bevor sie die Intervallschätzung abgab. Es gab kein feedback darüber, ob die Schätzung „richtig“ war.

Als *musikalische* Kontrollbedingung **U80** wurden ungefilterte, nicht maskierte Klickfolgen (1 Sekunde) im selben Frequenzbereich eingesetzt. Als *unmusikalische* Kontrollbedingung **U8** wurden gleichfalls ungefilterte Klickfolgen eingesetzt, aber diesmal in der Oktave von 8 bis 16 Hz, in der keine musikalische Empfindung ausgelöst wird. In dieser Bedingung wurde die Tonlänge zwischen 1 und 1,4 Sekunden randomisiert, um zu verhindern, daß die Versuchspersonen die Aufgabe mittels Zählen lösen konnten.

Drei Versuchspersonen mit professioneller musikalischer Ausbildung nahmen an dem Experiment teil. Zwei von ihnen absolvierten 14 Blocks zu je 50 Einzelversuchen pro Bedingung, die dritte absolvierte 5 Blocks. Der jeweils erste Block pro Bedingung galt als Training.

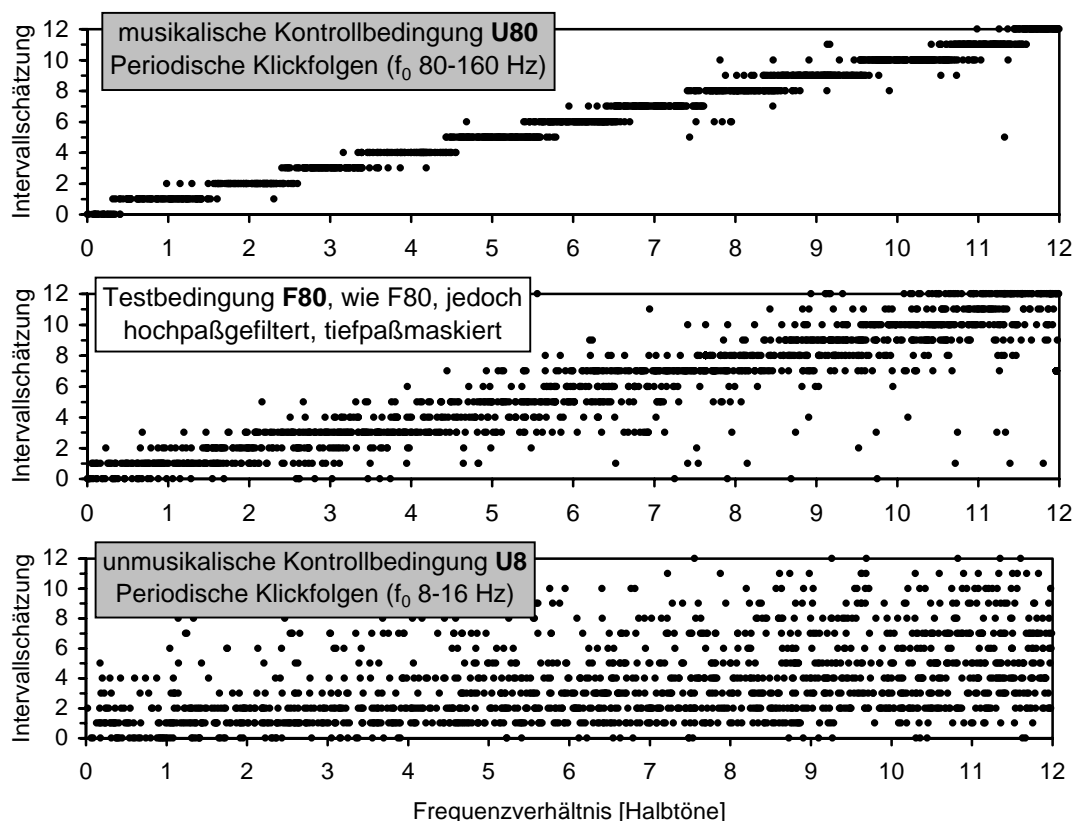


Abbildung 1. Daten von drei musikalisch professionell vorgebildeten Versuchspersonen zu Intervalleinschätzungen für drei verschiedene Stimuli: die Testbedingung F80 (gefilterte und teilweise maskierte Klickfolgen mit rein temporaler Information), die musikalische Kontrollbedingung U80, und die unmusikalische Kontrollbedingung U8. Es ist deutlich erkennbar, daß bei der Testbedingung ein gewisser Tonhöhereindruck vorhanden sein muß, da hier anders als in der unmusikalischen Kontrollbedingung die Intervalle mit einer gewissen Konsistenz korrekt geschätzt werden.

Ergebnisse

- In der musikalischen Kontrollbedingung sind die Versuchspersonen zuverlässig in der Lage, musikalisch richtige Intervalleinschätzungen vorzunehmen. Die Korrelation zwischen vorgegebenem Frequenzverhältnis und Einschätzung beträgt 0.99. Eine Korrelation von 1,0 wäre wegen der Breite der Klassen auch theoretisch nicht erzielbar.
- In der Testbedingung liegt die Korrelation mit 0.89 recht hoch. Es kommt überwiegend zu richtigen Klassifikationen, allerdings auch häufiger zu Verwechslungen.
- In der unmusikalischen Bedingung kommt es zu starken Unterschätzungen des Frequenzverhältnisses mit zufällig wirkenden Klassifikationen. Es besteht zwar eine Tendenz, höhere Frequenzverhältnisse als höher einzustufen. Die Korrelation beträgt jedoch nur 0.40.

Die Übergänge an den Klassengrenzen erreichen für die musikalische Kontrollbedingung eine exzellente Schärfe (Standardabweichung im Durchschnitt 32 cent). Für die Testbedingung beträgt die Breite des Übergangs durchschnittlich 135 cent, wobei sich eine systematische Verschiebung der Klassengrenze nach oben zeigt (im Durchschnitt ca. 50 cent), d. h. die mit temporaler Tonhöhe realisierten Intervalle werden im Durchschnitt um einen Viertelton unterschätzt. Für die unmusikalische Kontrollbedingung kann die Schärfe der Klassengrenzen nicht angegeben werden, da wegen der starken Unterschätzung die Klassengrenzen nicht bestimmt werden können.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch die kumulativen Klassenübergänge 5/6 (Quarte/Tritonus), 6/7 (Tritonus/Quinte), und 7/8 (Quinte/kleine Sexte) für alle drei Stimulusarten. Die Klassengrenzen sind in der musikalischen Kontrollbedingung viel schärfer als in der Testbedingung. Daß es sich bei der temporalen Tonhöhe dennoch um eine in gewissem Ausmaß musikalische Tonhöhe handelt, wird vor allem aus dem Vergleich zur unmusikalischen Kontrollbedingung deutlich, wo sich keine musikalisch brauchbaren Klassengrenzen bestimmen lassen.

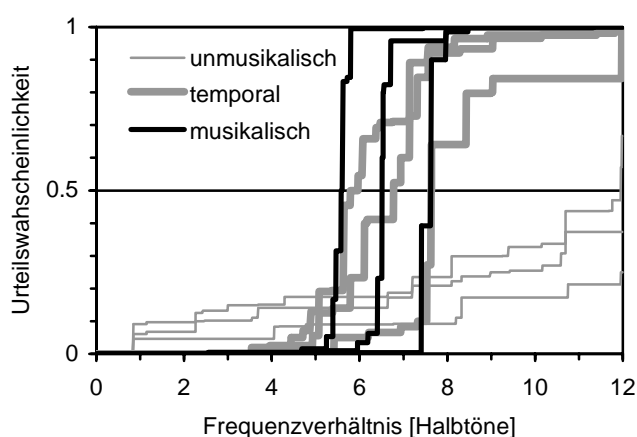


Abbildung 2. Kumulative Urteilstwahrscheinlichkeit für das Urteil Tritonus (6) oder größer, Quinte (7) oder größer, bzw. kleine Sexte (8) oder größer, als Funktion des Frequenzverhältnisses, für alle drei Stimulusarten, monotonisiert mit dem pool-adjacent-violators Verfahren. Die Klassenübergänge sind bei der musikalischen Kontrollbedingung (schwarze Linien) deutlich trennschärfer (steiler) als bei der temporalen Testbedingung (dicke graue Linien). Beim unmusikalischen Kontrollstimulus (dünne graue Linien) lassen sich wegen der starken Unterschätzungen keine Klassengrenzen bestimmen.

Diskussion

Temporale Stimuli erlauben in Diskriminationsexperimenten auf einer von tief nach hoch geordneten Skala halbwegs präzise Urteile. Rechtfertigt das, von einer Tonhöhenempfindung zu sprechen? Auch andere Perzepte sind auf solchen oder ähnlichen Skalen repräsentierbar (z. B. Lautstärke, oder Klangfarbe). Es könnte sein, daß es sich bei den durch temporale Stimuli ausgelösten Perzepten um so ein ähnliches Perzept handelt wie etwa Rauigkeit. Es würde sich dann um eine Art „Nebenperzept“ handeln, das mit Tonhöhenwahrnehmung nichts zu tun hat außer daß es häufig gleichzeitig auftritt.

Die vorliegenden Ergebnisse zur musikalischen Intervallidentifikation widersprechen einer derartigen Interpretation. Die Musikalität der ungefilterten und der gefilterten Klickfolgen unterscheiden sich zwar. Dennoch kann man von einer gewissen Musikalität temporaler Tonhöhe sprechen, wie aus dem Vergleich mit einem unmusikalischen Stimulus deutlich wird. Dies spricht dafür, daß der temporale Mechanismus ein integraler Bestandteil der Tonhöhenwahrnehmung ist, der ein eigenes Studium verdient. Sein potentielles Wirkungsfeld ist keineswegs auf die Obertöne ab dem 15-fachen der Grundfrequenz beschränkt, da auch die niedrigeren Obertöne die temporale Information gut in der neuronalen Erregungsstruktur kodieren. Die Beschränkung auf die Obertöne ab dem 15-fachen der Grundfrequenz ergibt sich lediglich aus der Notwendigkeit, ihn vom räumlichen Mechanismus zu isolieren.

Es ist nicht verwunderlich, daß ein auf den temporalen Mechanismus reduzierter Stimulus auch eine reduzierte Musikalität aufweist. So ist die Musikalität z. B. auch für Töne mit Grundfrequenzen oberhalb von 4 kHz beschränkt, wo der temporale Mechanismus wegfällt und der räumliche Mechanismus alleine operiert. Es muß davon ausgegangen werden, daß sich ein vollwertiges musikalisches Tonhöhenperzept nur dann einstellt, wenn sowohl temporale als auch räumliche Mechanismen operieren können, was bei normalen musikalischen Stimuli in der Regel der Fall ist.

Danksagung

Wir danken Laurent Demany für wertvolle Hinweise. Gefördert durch DFG-Sachbeihilfe KA 824/5 im Schwerpunktprogramm „Zeitverarbeitung im auditiven System“.

Literatur

- ¹ siehe z. B. Houtsma, A. und Smurzynski, J. (1990). "Pitch identification and discrimination for complex tones with many harmonics." *J. Acoust. Soc. Am.*, 87, 304-310.
- ² Zum Stimulusaufbau siehe Kaernbach, C. und Demany, L. (1998). "Psychophysical evidence against the autocorrelation theory of auditory temporal processing." *J. Acoust. Soc. Am.*, 104, 2298-2306.
- ³ Bering, C., und Kaernbach, C. (2000). "Exploring temporal mechanisms involved in pitch perception." Submitted to *J. Acoust. Soc. Am.*, accepted pending revision.