

Zur Ausprägtheit der Tonhöhe von Tönen mit und ohne Vibrato

Ch. Huth und W. Schmid

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

Einleitung

Wie ausgeprägt die Tonhöhe eines Schalles wahrgenommen wird, kann stark beeinflusst werden, indem man die physikalischen Parameter eines Schalles so wählt, bzw. verändert, daß die Empfindung „einer Schwankung“ [1] hervorgerufen wird. Ob eine Erhöhung oder eine Verminderung der Ausprägtheit der Tonhöhe auftritt, hängt jedoch stark vom akustischen Kontext ab, in welchem der Schall dargeboten wird.

Bekannt sind bereits Auswirkungen einer Amplitudenmodulation mit geringer Modulationsfrequenz, welche in erster Linie eine Lautheitsschwankung hervorruft, auf die Ausprägtheit der Tonhöhe eines einzeln dargebotenen Sinustons [2]: mit wachsendem Modulationsgrad – also mit wachsender Lautheitsschwankungsstärke – nimmt die Ausprägtheit der Tonhöhe ab.

Untersucht wurde nun der Einfluß einer Tonhöhenschwankung auf die Ausprägtheit der Tonhöhe anhand frequenzmodulierter Sinustöne und gesungener bzw. auf Musikinstrumenten gespielter Töne jeweils mit und ohne Vibrato (also „einem musikalischen Effekt“, der primär auf einer periodischen Frequenzänderung beruht [3], aber eine Überlagerung aus Amplituden- und Frequenzmodulation bewirkt).

Des weiteren wurde die Ausprägtheit der Tonhöhe untersucht, wenn der zu beurteilende Ton zum einen *separat* (Kontext A), zum anderen *simultan* zu anderen Tönen (Kontext B) dargeboten wurde.

Versuchspersonen und Meßverfahren

An den Experimenten nahmen normalhörende und in Hörversuchen geübte Versuchspersonen im Alter von 24 bis 40 Jahren teil. Die zu beurteilenden Schalle wurden in einer schallisolierten Meßkabine diotisch über einen dynamischen Kopfhörer (Beyer DT48) mit vorgeschaltetem Freifeldentzerrer (nach [4]) dargeboten. Die psychometrische Meßmethode war bei den Versuchsreihen „Frequenzmodulierte Sinustöne“ und „Töne mit und ohne Vibrato / Kontext B“ Größenschätzung mit Ankerschall, bei der Versuchsreihe „Töne mit und ohne Vibrato / Kontext A“ absolute Größenschätzung. Jeder Testschall wurde von jeder Versuchsperson mindestens viermal bewertet. Zu Beginn jeder Sitzung wurden den Versuchspersonen einige Testschall-Ankerschall-Paare als Beispiel für die im folgenden zu bewertenden Schalle dargeboten. In den Diagrammen sind die Medianwerte mit Interquartilbereichen (Abb.1), bzw. die Differenzen der Medianwerte (Abb.2, Abb.3, Abb.4) aus den Gesamtdatensätzen aller Versuchspersonen und Sitzungen dargestellt.

Frequenzmodulierte Sinustöne

In nachfolgend beschriebenem Experiment wurde der Einfluß einer Tonhöhenschwankung auf die Ausprägtheit der Tonhöhe von Sinustönen untersucht. Eine Veränderung der Tonhöhenschwankung wurde durch Variation des Frequenzhubs erzielt. Die Mittenfrequenz f_m wurde aus dem geometrischen Mittel des oberen und unteren Umkehrpunkts der Momentanfrequenz berechnet:

$$f_m = \sqrt{f_u \cdot f_o}$$

Das Experiment bestand aus zwei Teilexperimenten, wobei die Versuchspersonen in Teilexperiment 1 nach der relativen Tonhöhenschwankungsstärke, in Teilexperiment 2 nach der relativen Ausprägtheit der Tonhöhe befragt wurden. Eine Verknüpfung der Ergebnisse dieser Experimente ist in Abb.1 zu betrachten. So führt in jeder untersuchten Tonlage eine Zunahme der Tonhöhenschwankungsstärke zu einer leichten Verminderung der Ausprägtheit der Tonhöhe.

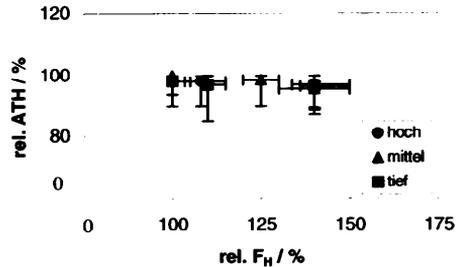


Abb.1 Rel. Ausprägtheit der Tonhöhe (ATH) von frequenzmodulierten Sinustönen mit den Mittenfrequenzen f_m in Abhängigkeit von der rel. Tonhöhenschwankungsstärke (F_H). Mittenfrequenzen f_m : $A_4(110\text{Hz})$ [Quadrate], $A_4(440\text{Hz})$ [Dreiecke], $A_4(3520\text{Hz})$ [Kreise]; Frequenzhübe $f_u/f_o = f_u/f_m$: große Terz, Quinte, Oktave; Modulationsfrequenz: $f_{mod} = 1\text{Hz}$; Darbietungspegel $L = 60\text{dB}$; Ankerschalle: Teilexperiment 1: modulierter Sinuston (Schwankungsstärke $F = 1\text{ vacil}$), Teilexperiment 2: unmodulierter Sinuston, jeweils bei entsprechender Frequenz.

Töne mit und ohne Vibrato

• Kontext A

Desweiteren wurde nun der Einfluß einer Schwankung auf die Ausprägtheit der Tonhöhe bei Schallen aus dem Bereich der Musik untersucht. Hierzu wurden von einem Sänger (voc), einem Saxophon (sax), einer Blockflöte (fl), einer Klarinette (cl) und einer Violine (vl) jeweils ein Ton in tiefer, mittlerer und hoher Tonlage aufgezeichnet (digitale Nahfeld-Aufnahme im reflexionsarmen Raum bzw. in stark gedämpften Räumen). Zusätzlich wurden die Musiker angewiesen jeden Ton einmal mit und einmal ohne Vibrato zu spielen bzw. zu singen. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, den einzelnen Schallen bezüglich ihrer Ausprägtheit der Tonhöhe einen Zahlenwert zuzuordnen. Die Ergebnisse sind in Abb.2 dargestellt und zeigen wiederum fast durchwegs eine Abnahme der Ausprägtheit der Tonhöhe bei Verwendung von Vibrato.

• Kontext B

Frühere Untersuchungen zeigten, daß durch Akzentuierung eines Teiltons in einem harmonischen Komplexen Ton (sei es durch Teiltonpegelerhöhung, Amplitudenmodulation, Frequenzmodulation oder statische Verstimmung) die Ausprägtheit dieses Teiltons erhöht werden kann [5].

Im Hinblick darauf wurde die Ausprägtheit der Tonhöhe der unter Kontext A *separat* betrachteten Schalle untersucht, wenn das Vibrato als Akzentuierung einer Tonlage in einem komplexen Tongefüge fungierte.

Hierzu wurden die Töne der tiefen, mittleren und hohen Tonlage jeweils eines Instruments bzw. des Gesangs *simultan* dargeboten. Nun wurde die Ausprägtheit der Tonhöhe des Tones einer Tonlage mit und ohne Vibrato - relativ zu dem jeweiligen Ton ohne Vibrato - gemessen.

Abb.3 zeigt die Ergebnisse dieses Experiments, die eine gegenläufige Tendenz zu Abb.2 aufweisen: In den meisten Fällen bewirkt nun - in diesem Kontext befragt - das Vibrato eine

Akzentuierung der entsprechenden Tonhöhe und somit eine Erhöhung der Ausprägtheit der Tonhöhe.

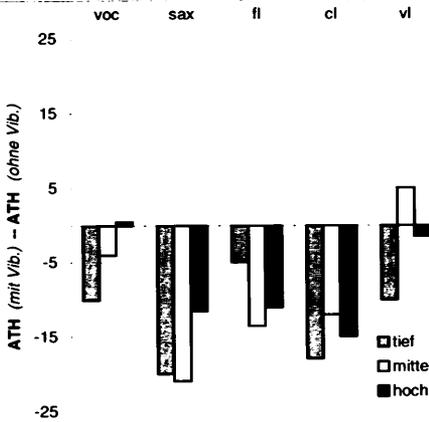


Abb. 2 Die Differenzen der Medianwerte der Ausprägtheit der Tonhöhe (ATH) mit und ohne Vibrato für die einzelnen Instrumente und Tonlagen (tief, mittel, hoch) Darbietungspegel der Testschalle L = 70 dB Befragt in Kontext A: separate Darbietung der einzelnen Schalle

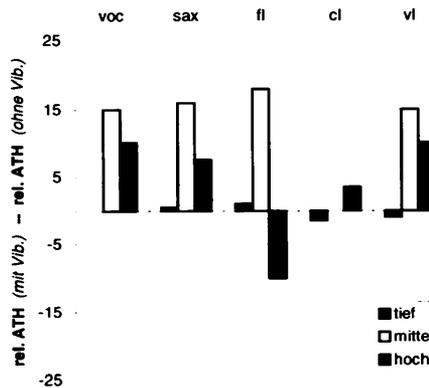


Abb. 3 Die Differenzen der Medianwerte der relativen Ausprägtheit der Tonhöhe (ATH) mit und ohne Vibrato für die einzelnen Instrumente und Tonlagen (tief, mittel, hoch) Darbietungspegel der Testschalle L = 70 dB Befragt in Kontext B: simultane Darbietung der Schalle der drei Tonlagen

Die scheinbar stark differierenden Auswirkungen des Vibratos auf die Ausprägtheit der Tonhöhe in den einzelnen Instrumenten bzw. auch Tonlagen, liegen größtenteils am unterschiedlich praktizierten Vibrato der einzelnen Musiker, bzw. eines Musikers in den einzelnen Tonlagen.

Um dieses ungleichmäßig ausgeführte Vibrato nicht in den Ergebnissen niederschlagen zu lassen, wurde das oben (unter „Kontext B“) beschriebene Experiment wiederholt und die Versuchspersonen wurden nun nach der Schwankungsstärke der Töne in den einzelnen Tonlagen - relativ zu einem modulierten Sinuston mit der Schwankungsstärke 1 vacil - befragt. Der daraus entstehende Zusammenhang zwischen einer Veränderung durch

Vibrato in der Schwankungsstärke und in der Ausprägtheit der Tonhöhe ist Abb. 4 zu entnehmen.

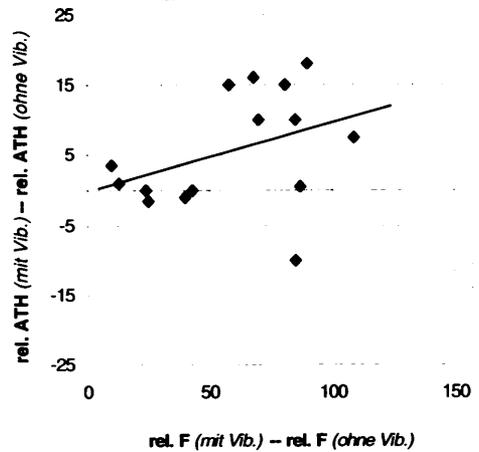


Abb. 4 Die Differenzen der Medianwerte der rel. Schwankungsstärke (F) mit und ohne Vibrato dargestellt über den Differenzen der Medianwerte der rel. Ausprägtheit der Tonhöhe (ATH) mit und ohne Vibrato Darbietungspegel der Testschalle L = 70 dB Befragt jeweils in Kontext B: simultane Darbietung der Schalle der einzelnen Tonlagen

Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Untersuchungen legen den Schluß nahe, daß jede der hier betrachteten Schwankungen (hervorgehoben durch Frequenzmodulation, Vibrato) bei separater Darbietung des Schalles die Tonhöhe eher „verschimmen“ läßt und somit zu einer Abnahme der Ausprägtheit der Tonhöhe führt. Schwankt jedoch nur ein Teil eines komplexen Tongefüges, so zieht die Schwankung die Aufmerksamkeit des Hörers auf sich, die schwankende Tonhöhe wird „akzentuiert“; das führt zu einer Zunahme der Ausprägtheit dieser schwankenden Tonhöhe.

Die Verfasser danken den Versuchspersonen, Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Fastl für hilfreiche Hinweise, sowie Frau Dipl.-Ing. C. Niehaus für die Durchführung eines Teils der Hörversuche.

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

Literatur

- [1] Fastl, H., Fluctuation strength of modulated tones and broadband noise. In: Hearing-Physiological Bases and Psychophysics. (R. Klinke & R. Hartmann, eds.) Springer, Berlin, 282-288 (1983).
- [2] Schmid, W., Zur Ausprägtheit der Tonhöhe gedrosselter und amplitudenmodulierter Sinustöne. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 97, Oldenburg: DEGA 1997, 355-356.
- [3] Handel, S., Listening. An Introduction to the Perception of Auditory Events. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England (1993).
- [4] Zwicker, E., Fastl, H., Psychoacoustics, Facts and Models. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1990.
- [5] Chalupper, J., Schmid, W., Akzentuierung und Ausprägtheit von Spektraltonhöhen bei harmonischen Komplexen Tönen. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 97, Oldenburg: DEGA, 357-358 (1997).