

Ein adaptives Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Tonhaltigkeit

M. Vormann[†], J.L. Verhey[#], V. Mellert[†], A. Schick^{*#}

[†] Fachbereich Physik, AG Akustik [#] Graduiertenkolleg Psychoakustik

^{*} Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen im Fachbereich Psychologie
Carl von Ossietzky Universität, 26111 Oldenburg

Einleitung

Auf der DAGA 1999 [1] wurden Ergebnisse zur subjektiven Tonhaltigkeit (THK) für synthetische Geräusche vorgestellt. Dabei wurde ein 1-up-1-down 2-AFC-Verfahren benutzt. In dieser Studie soll untersucht werden, inwieweit das spezielle Messdesign Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse hat.

Dazu werden Messungen zur THK von harmonischen Tonkomplexen (HTCs) und Sinustöne verschiedener Frequenzen in Räuschen mit unterschiedlichen Messverfahren durchgeführt. Im folgenden sind die Ergebnisse für die HTCs ausführlich dargestellt. Auf die Frequenzabhängigkeit der THK wird in der Diskussion eingegangen. Zudem wird untersucht, inwieweit sich die THK schon durch das Verdeckungsmaß der tonalen Komponenten im Geräusch vorhersagen lässt.

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entspricht dem in [1,2] und wird daher nur kurz dargestellt: Die Geräuscharbeitung erfolgt diotisch über Kopfhörer Sennheiser HDA200 in einer schallisolierten Kabine. Die Länge von Test- und Referenzsignal beträgt jeweils 1s, getrennt durch eine Pause von 0,5s. Alle Signale werden digital auf einer SGI-Workstation erzeugt und über einen 16bit DA-Wandler ausgegeben.

Verwendete Geräusche

Das Referenzgeräusch für die adaptive Messung besteht aus einem von den Versuchspersonen (VPs) im Lautstärkepegel veränderbaren 700Hz-Sinuston in gleichmäßig anregendem Räuschen (UEN).

Als Testgeräusche werden 4 harmonische Tonkomplexe (HTC) mit 1, 2, 4, bzw. 8 Komponenten in dem gleichen UEN wie für das Referenzgeräusch verwendet. Die Grundfrequenz der HTCs ist 700Hz. Sie haben eine konstante Gesamtenergie von 50dB SPL (siehe Abb.1). Das UEN hat ebenfalls 50dB SPL.

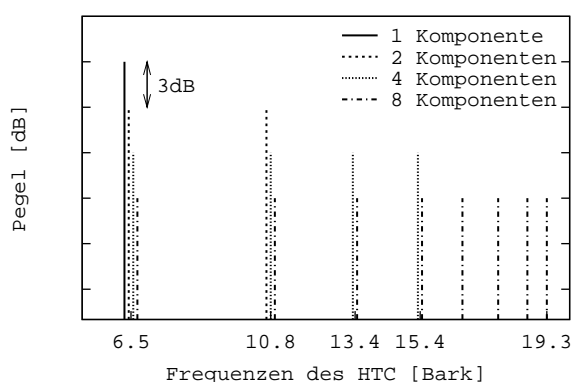


Abb.1: Spektren der verwendeten HTCs. Da die Gesamtenergie der HTCs konstant ist, nimmt die Energie der einzelnen Komponenten bei Verdopplung der Anzahl der Harmonischen um 3dB ab.

Versuchsdesigns

Die VPs haben die Aufgabe, die THK mittels eines 1-up-1-down 2-AFC-Verfahrens zu beurteilen. Für die Messungen werden drei verschiedene Designs verwendet:

- 1.) Einzelne Tracks (ET): Für jeden HTC wird einzeln und nacheinander, aber in zufälliger Reihenfolge, der Pegel bestimmt, für den der Referenzton (im UEN) die gleiche THK besitzt wie das Testsignal, d.h. die HTCs (in UEN).
- 2.) Interleaved Tracks (IT): Prinzip wie bei 1.), jedoch werden die 4 Beurteilungen (für die 4 HTCs) zeitgleich, d.h. parallel durchgeführt.
- 3.) Blocked Tracks (BT): Im Gegensatz zu 1. und 2. wird jeder HTC als Test- und als Referenzsignal verwendet. Hierdurch steigt der Messaufwand auf $4 \times 4 = 16$ Test- Referenzsignal-Kombinationen für die HTCs (gegenüber 4 bei 1. und 2.).
- 4.) Zusätzlich zu den Messungen der THK wird die das Verdeckungsmaß der 4 HTCs im UEN mittels eines 3-AFC-Verfahrens bestimmt.

Ergebnisse

- 1.) Einzelne Tracks (ET): Das Ergebnis zeigt Abb.2. Aufgetragen ist die Pegeldifferenz der HTCs gegen den Referenzton (Sinus): größere Pegeldifferenzen bedeutet größere THK. Der Median dieser Messung liegt im Vergleich zu früheren Untersuchungen [1,2] bei kleineren Pegeldifferenzen. Der Bereich der individuellen VP-Daten ist für die Untersuchungen jedoch gleich und kann auf die Auswahl des VP-Kollektivs zurückgeführt werden.
- 2.) Interleaved Tracks (IT): Aus Abb.3 ergibt sich der gleiche Messwertverlauf wie aus Abb.2, jedoch sind die absoluten Werte der Pegeldifferenzen (und somit der THK) bis zu 2dB größer. Die Konkordanz und die intra- und interindividuellen Abweichungen (nicht dargestellt) sind vergleichbar mit den Daten aus Abb.2.
- 3.) Blocked Tracks (BT): Die in Abb.4. dargestellten Ergebnisse wurden durch Mittelung der 16 Tracks über die jeweils 4 gleichen Testsignale (HTCs) erhalten. Es ergibt sich der gleiche Kurvenverlauf wie für die ersten beiden Designs. Die absoluten Werte weichen jedoch bis zu 3dB von Daten der Messdesigns ET und IT ab. Die interindividuellen Abweichungen sind in der gleichen Größenordnung wie bei ET und IT, während Konkordanz und intraindividuelle Schwankungen deutlich größer sind. Dieses kann als Indiz für eine größere Unsicherheit der VPs angesehen werden.
- 4.) Verdeckungsmaß: Das Verdeckungsmaß der HTC in UEN zeigt Abb.5. Der 700Hz-Sinuston sollte nach Daten von [3] etwa -3dB betragen, der hier gemessene Wert liegt in diesem Bereich. Nach [4] ist bei einer Verdopplung der Anzahl der Komponenten eines HTCs eine Änderung der Mithörschwelle von -1,5dB zu erwarten. Nach Abb.1 sind in dieser Untersuchung bei Verdopplung der Komponenten eines HTCs die einzelnen Komponenten jedoch jeweils um 3dB abgesenkt. Für das Verdeckungsmaß bedeutet beides zusammen somit eine Zunahme von 1,5dB pro Verdopplung der Komponenten. Dieser theoretisch vorhergesagte Zusammenhang stimmt mit den gemessenen Daten gut überein (vgl. Abb.5).

Statische Auswertungen zeigen, dass sich die drei Designs ET, IT, BT zur Bestimmung der THK im Hinblick auf die Mediane nicht signifikant voneinander unterscheiden.

Die „Unsicherheit“ der VPs steigt von ET zu IT leicht an, zu BT deutlich. Daher steigt auch die Versuchsdauer an. Hinzu kommt ein um den Faktor 4 höherer Aufwand bedingt durch das Versuchsdesign von BT gegenüber ET und IT.

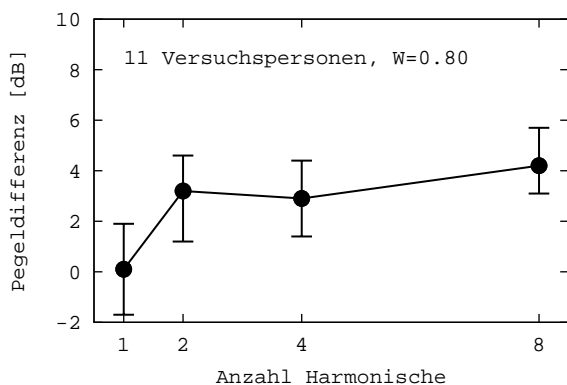


Abb.2: Median und Interquartilsbereich der beurteilten THK für Messdesign ET. Der Konkordanzkoeffizient (Kendall-W) für die 11 Versuchspersonen ist $W=0,80$.

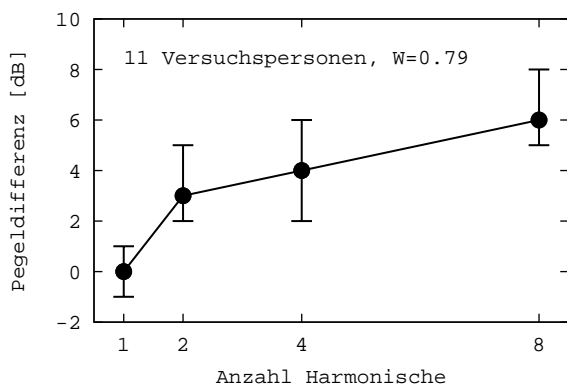


Abb.3: Beurteilte THK für Messdesign IT, vgl. Abb.2.

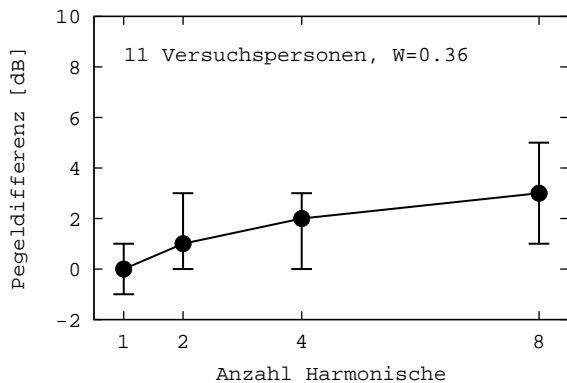


Abb.4: Beurteilte THK für Messdesign BT, vgl. Abb.2 und 3.

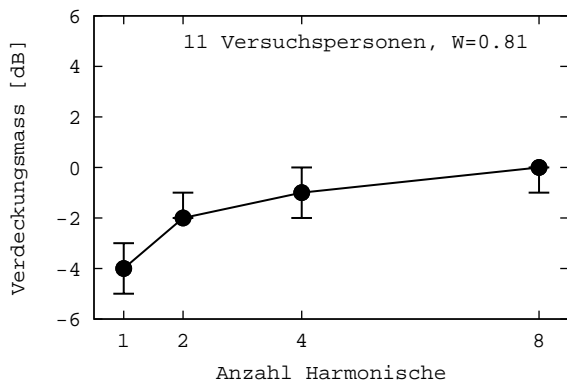


Abb.5: Verdeckungsmaß der HTCs (Abb.1) in UEN.

Diskussion und Ausblick

Im Hinblick auf die untersuchten Messdesigns hat sich gezeigt, dass sie für die THK von HTCs in UEN keine signifikanten Unterschiede hervorrufen. Deutliche Abweichungen zeigen sich in der Konkordanz der Messwerte und in der „Unsicherheit“ der Versuchspersonen, hier sind ET- und IT-Designs dem BT-Design vorzuziehen. Diese Aussagen gelten für HTCs in UEN, jedoch nicht für die Messung der Frequenzabhängigkeit der THK, wie in [1,2] durchgeführt.

Im Vortrag wurde gezeigt, dass das BT-Design bei der Messung der Frequenzabhängigkeit der THK den Einbruch bei der Referenzfrequenz wie bei ET und IT (vgl. [1,2]) nicht zeigt. Dieser Einbruch tritt bei ET und IT möglicherweise auf, weil Test- und Referenzsignale sehr ähnlich sind, aber verschiedene Tonhöhen haben. Daher neigen die VPs dazu, anstelle der THK die Ähnlichkeit, bzw. die Unähnlichkeit von Test- und Referenzgeräusch zu beurteilen. Durch die Darbietung aller Signale mit gleicher Häufigkeit wie bei BT kann dieser Effekt vermieden werden.

Bei den hier verwendeten HTCs in UEN tritt der angesprochene Effekt nicht auf, weil die 4 HTCs jeweils anderen Höreindruck hervorrufen, aber stets die gleiche Tonhöhe haben. Somit lassen sich Test- und Referenzsignale zwar gut voneinander unterscheiden, die Tonhöhe, die kritisch für die THK-Messung zu sein scheint, bleibt aber konstant.

Äußerst interessant ist die Tatsache, dass die Mithörschwelle der Testgeräusche den gleichen Verlauf wie die Tonhaltigkeit der Testgeräusche zeigt. Die Mithörschwelle ist wesentlich leichter zu messen und weniger Fehlerbehaftet als die Messung der Tonhaltigkeit selber. Zudem entfällt die Instruktion und Orientierung der VPs bezüglich der THK. Diese ist bei ungeübten VPs unbedingt notwendig, da der Begriff der THK im technischen Sprachgebrauch definiert ist, aber nicht zur Umgangssprache gehört. Durch die Vermeidung der Instruktion und Orientierung durch Messung von Schwellen kann man diesen Einfluss auf die Messergebnisse ausschließen und so zu einheitlicheren Ergebnissen kommen.

Aus diesem Grund sollte der Zusammenhang zwischen der THK und der Mithörschwelle von synthetischen, natürlichen und Umweltgeräuschen genauer untersucht werden. Wenn es gelingt einen eindeutigen Zusammenhang herzustellen, so würden die Normen und Messverfahren zur Tonhaltigkeit [5,6] in Zukunft erheblich verbessert werden können. Das würde zur weiteren Objektivierung der THK und damit auch zur Überwindung einiger Probleme und Erweiterung der gelten Norm DIN45681 [5] führen. Dafür sind weitere Messungen erforderlich, die sich mit der Fragestellung beschäftigen, welche tonale Komponenten in komplexen Schallen überhaupt zur THK beitragen.

Literatur

- [1] Vormann, M., Verhey, J.L., Mellert, V., Schick, A.: **Factors influencing the subjective rating of tonal components in noise**, Collected Papers from the Joint Meeting "Berlin 99", on CD: ISBN 3-9804568-5-4, 1999
- [2] Vormann, M., Verhey, J.L., Mellert, V., Schick, A.: **Subjective Rating of Tonal Components in Noise with an Adaptive Procedure**, In: Contr. to Psych. Ac., Results of the 8th Oldenburg Symp. on Psych. Ac., Edited by Schick, A., Meis, M., Reckhardt, C., pp. 145-153, BIS, Uni Oldenburg, 2000
- [3] Zwicker, E. und Feldtkeller, E.: **Das Ohr als Nachrichtenempfänger**, 2. Auflage, Hirzel Verlag Stuttgart 1967
- [4] Grose, J.H. and Hall, J.W.III.: **Multiband detection of energy fluctuations**, JASA, Vol. 102(2), Pt. 1, August 1997, pp. 1088-1096
- [5] DIN45681 (Entwurf) **„Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschmissionen“**, Januar 1992
- [6] ANSI S1.13-1995 (ASA118-1995): **„Measurement of Sound Pressure Levels in Air“** 1995