

# Zur Unterscheidbarkeit und Bevorzugung der Werckmeisterschen Temperatur gegenüber der Gleichschwebung

Ch. Patsouras

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, Technische Universität München

## Einleitung

Heutzutage stehen Musiker oftmals vor der Problematik, ob ein Musikstück aus dem 18. Jahrhundert mit der heute gebräuchlichen gleichschwebenden Temperierung oder mit einer damals üblichen sogenannten wohltemperierten Stimmung, wie z.B. die Werckmeistersche Temperatur, aufgeführt werden soll. In Tabelle 1 sind die chromatischen Abstände innerhalb einer Oktave für die Gleichschwebung und für die Stimmung nach Werckmeister II [1] in Cents dargestellt.

C	Cis	D	Dis	E	F	Fis	G	Gis	A	B	H	C
0	90	192	294	390	498	588	696	792	888	996	1092	1200
0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200

Tab. 1: Centwerte für die Stimmung nach Werckmeister II (2. Zeile) und für die gleichschwebende Stimmung (3. Zeile)

In einer ersten Versuchsreihe wurde untersucht, ob bei einem Direktvergleich zwischen gleichschwebend und Werckmeistersch gestimmten Akkorden (Grundton, große Terz, Quinte) grundsätzlich Unterschiede wahrgenommen werden können und wenn ja, wie groß diese empfunden werden.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden die Präferenzen der Versuchspersonen bezüglich der zwei unterschiedlich gestimmten Akkorde befragt.

## Experimente

Es wurden Harmonisch Komplexe Töne (20 Teiltöne mit random verteilten Phasen) mit einer spektralen Hüllkurve von -6 dB/oct, d.h. Teiltonpegel  $a_n$  sind proportional zu  $1/n$ , digital unter Matlab synthetisiert. Ein Stimulus der Hörversuchsreihen besteht aus einem Dreiklang (Grundton, große Terz und Quinte) dreier (mit 20 ms) gaußförmig ein- und ausgeblendeter Harmonisch Komplexer Töne. Um einen von der Tonhöhe unbeeinflussten Vergleich mit dem gleichschwebend gestimmten C-Dur Akkord durchführen zu können, wurden alle Akkorde der einzelnen nach Werckmeister gestimmten Tonarten auf den gleichen Grundton mit der Frequenz 261,626 Hz projiziert. Der Darbietungspegel der Stimuli betrug 75 dB(lin). Die Versuchsreihen wurden mit zwei unterschiedlichen Darbietungsdauern durchgeführt ( $D_{kurz} = 750$  ms und  $D_{lang} = 1500$  ms).

Die Schalle wurden von einer digitalen Soundkarte über den D/A-Wandler eines DAT-Recorders freifeldentzerrt [2] über einen dynamischen Kopfhörer (Beyer DT48) den Versuchspersonen diotisch dargeboten.

An den Versuchen nahmen sechs normalhörende Personen im Alter von 20 bis 30 Jahren mit langjähriger musikalischer Ausbildung teil.

In der ersten Versuchsreihe sollte zum einen die Unterscheidbarkeit und zum anderen die Größe des Unterschieds zwischen gleichschwebend und Werckmeistersch gestimmten Akkorden untersucht werden. Hierzu wurde eine Versuchsmethoden nach Grey und Moorer verwendet, mit der beide Aspekte psychoakustisch gemessen werden können. Hierbei wird den Versuchspersonen, um den Unterschied zwischen dem gleichschwebend gestimmten Akkord A und dem Werckmeistersch gestimmten Akkord B zu messen, eine Gruppe aus zwei Schallpaaren AA AB dargeboten, wobei die

Position des Werckmeistersch gestimmten Akkords B beliebig innerhalb der Gruppe variiert wird. Nach einer solchen Gruppe mußten die Versuchspersonen zunächst beurteilen, ob überhaupt ein Unterschied wahrnehmbar war, wenn ja, in welchem Paar sich der andersartige Akkord befand und schließlich wie groß der Unterschied (von 0 = "nicht vorhanden" bis 9 = "sehr groß") war.

Für die zweite Versuchsreihe zur Präferenzbestimmung wurde die Methode des Paarvergleichs gewählt. Hierbei werden den Versuchspersonen Schallpaare AB dargeboten, wobei der Akkord A immer der gleichschwebend gestimmte und Akkord B einer der Werckmeistersch gestimmten Akkorde ist und die Position von B im Schallpaar zufällig variiert wird. Nach einem jeden Schallpaar sollten die Versuchspersonen beurteilen, die Stimmung welchen Akkordes sie bevorzugen.

## Ergebnisse

Bei reinen Intervallen, bei welchen die Grundfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  der zwei Töne in einem ganzzahligen Verhältnis  $p:q$  stehen, stimmt die  $nq$ -te Harmonische von Ton 1 mit der  $mp$ -ten Harmonischen von Ton 2 überein ( $n, m = 1, 2, \dots$ ). Die bei nicht reinen Intervallen vorkommenden ersten Schwebungsfrequenzen  $f_{b1}$  der Harmonischen sind neben den Abweichungen der Intervalle vom Reinen (RS) oder Gleichschwebenden (GL) (in Cents) für die untersuchten musikalischen Intervalle der großen Terz und der Quinte in Tabelle 2 dargestellt.

	große Terz			Quinte			
	Abw. in Cents von GL	RS	$f_{b1}$	Abw. in Cents von GL	RS	$f_{b1}$	
WE in	F	-10	4	2,79	2	0	0
	C	-10	4	2,79	-4	-6	2,70
	B	-4	10	7,34	2	0	0
	D/G	-4	10	7,34	-4	-6	5,39
<b>GL</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>10,38</b>	<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>0,89</b>	
WE in	E/A/Dis	2	16	11,91	-4	0	0
	H	2	16	11,91	2	-6	5,39
	Cis/Fis/Gis	8	22	16,49	2	0	0

Tab. 2: Analyse der untersuchten Intervalle

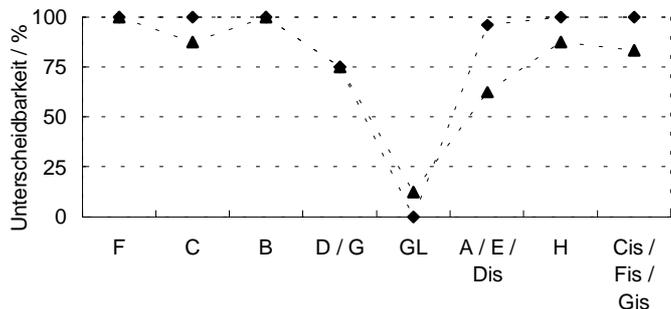
## Unterscheidbarkeit und Größe des Unterschieds

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe zur Unterscheidbarkeit der einzelnen Werckmeistersch gestimmten Tonarten von der Gleichschwebung für die beiden Darbietungsdauern dargestellt. Jede Versuchsperson hatte jede der möglichen Kombination (WE in X-Dur/GL bzw. GL/GL) vier mal zu beurteilen.

Die einzelnen untersuchten Akkorde sind nach aufsteigenden Schwebungsfrequenzen  $f_{b1}$  (siehe Tabelle 2) angeordnet.

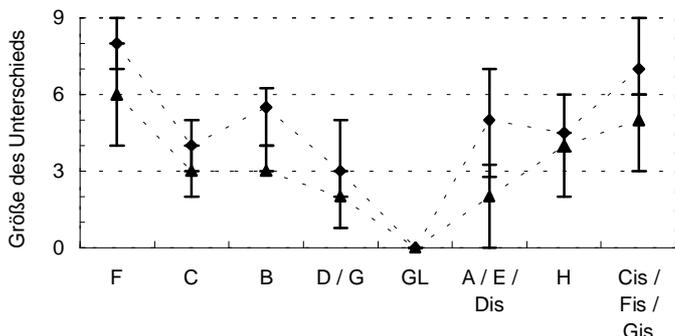
Wie zu erwarten war, ist die Unterscheidbarkeit bei langen Darbietungsdauern besser als kurzen. Für die Zuverlässigkeit der Versuchspersonen spricht, daß bei Darbietung der Kombination GL/GL (bei langer Darbietungsdauer) alle Versuchspersonen keinen Unterschied erkennen. Je mehr sich

die Schwebungsfrequenzen des Werckmeistersch gestimmten Akkords von denen des gleichschwebend gestimmten unterscheiden, desto häufiger erkennen die Versuchspersonen einen Unterschied. So liegt die Unterscheidbarkeit (bei langer Darbietungsdauer) bei einem Vergleich mit Werckmeistersch gestimmtem F-, C-, B-, H-, Cis/Fis/Gis-Dur bei 100 %.



**Abb. 1:** Die Unterscheidbarkeit in % für den Vergleich zwischen Gleichschwebung und den nach rechts aufgetragenen Stimmungen Werckmeister in X, bzw. Gleichschwebung (GL) für lange (E) und kurze (!) Darbietungsdauer.

In Abbildung 2 sind die Mediane und Wahrscheinlichen Schwankungen für die bewertete Größe des Unterschieds (0 = "kein Unterschied" bis 9 = "sehr großer Unterschied") aufgetragen. Es wurden nur diejenigen Angaben ausgewertet, bei welchen die Angabe über den Ort des Unterschieds (Paar 1 / Paar 2) korrekt beantwortet worden war. Übereinstimmend zu den Ergebnissen zur Unterscheidbarkeit, steigt auch die Größe des Unterschieds bei sich stärker unterscheidenden Schwebungsfrequenzen an.



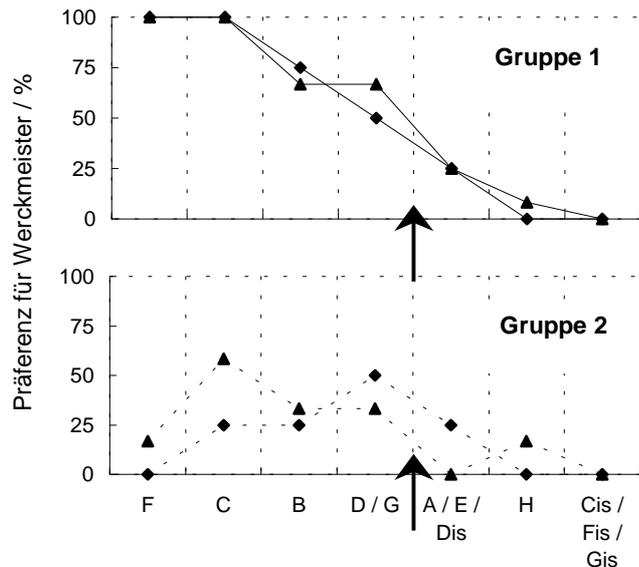
**Abb. 2:** Mediane und Wahrscheinliche Schwankungen für die Größe des Unterschieds zwischen Gleichschwebung und den nach rechts aufgetragenen Stimmungen Werckmeister in X, bzw. Gleichschwebung für lange (E) und kurze (!) Darbietungsdauer.

### Präferenz

Da sich zwei generell unterschiedliche Tendenzen bei der Präferenzvergabe zeigten, wurden die Ergebnisse in Abbildung 3 in zwei Gruppen von jeweils 3 Versuchspersonen aufgeteilt. Die untersuchten Akkorde der Werckmeisterschen Stimmung in den jeweiligen Tonarten sind wieder nach aufsteigenden Schwebungsfrequenzen geordnet, d.h. im Diagramm nimmt von links nach rechts die Ähnlichkeit mit der Reinen Stimmung ab. Die Pfeile stellen die Lage des gleichschwebend gestimmten Akkords bezüglich seiner Schwebungsfrequenzen dar.

Gruppe 1 (2 Violinisten, 1 Hornist) bevorzugt demnach klar das Klangbild der Reinen Stimmung: ist der Werckmeistersch gestimmte Akkord der Reinen Stimmung ähnlicher als der gleichschwebend gestimmte, so wird die Werckmeistersche Stimmung bevorzugt, weist der Werckmeistersch gestimmte Akkord jedoch größere Schwebungsfrequenzen auf als der Gleichschwebende so wird die Gleichschwebung bevorzugt.

Gruppe 2 (2 Gitarristen, 1 Fagottistin) jedoch tendiert unabhängig von den auftretenden Schwebungsfrequenzen meist zum gleichschwebend gestimmten Akkord.



**Abb. 3:** Präferenzen in % für die nach rechts aufgetragenen Werckmeistersch gestimmten Akkorde in den Tonarten X im Vergleich mit dem gleichschwebend gestimmten Akkord für zwei Versuchspersonengruppen 1 und 2 für lange (E) und kurze (!) Darbietungsdauer.

### Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen, daß musikalisch vorgebildete Personen sehr wohl Unterschiede zwischen der heute gebräuchlichen gleichschwebenden Stimmung und einer wohltemperierten Stimmung, wie der Werckmeisterschen Stimmung, wahrnehmen können. Die Größe des wahrgenommenen Unterschieds orientiert sich an der Größe der auftretenden Schwebungen. Jedoch wird nicht grundsätzlich die Wohltemperierung bevorzugt, sondern von zwei Versuchspersonengruppen tendiert eine grundsätzlich dazu, jene Tonarten der Wohltemperierung der Gleichschwebung vorziehen, welche der Reinen Stimmung näher kommen. Diese Versuchspersonengruppe besteht interessanterweise mehrheitlich aus Instrumentalisten (Violinisten), welche auf einem rein gestimmten Instrument ausgebildet sind. Die andere Gruppe jedoch bevorzugt unabhängig von den auftretenden Schwebungen eher die gleichschwebend gestimmten Akkorde.

### Literatur

- [1] Kellertat, H. (1981): Zur musikalischen Temperatur, Bd. 1, Merseburger-Verl., Berlin, 1981.
- [2] Zwicker, E., Fastl, H. (1999): Psychoacoustics. Facts and Models. Second updated edition. Springer, Heidelberg, New York, 1999.
- [3] Vos, J. (1982): The Perception of pure and mistuned musical fifths and major thirds: Thresholds for discrimination, beats, and identification. In: Percept. Psychophys. 32 (4), 297-313.
- [4] Vos, J. (1984): Spectral effects in the perception of pure and tempered intervals: Discrimination and beats. In: Percept. Psychophys. 35 (2), 173-185.
- [5] Vos, J. and Vianen, B. G. van (1985): Threshold for discrimination between pure and tempered intervals: The relevance of nearly coinciding harmonics. In: J. Acoust. Soc. Am. 77, 176-187.
- [6] Vos, J. (1988): Subjective acceptability of various regular twelve-tone tuning systems in two-part musical fragments. In: J. Acoust. Soc. Am. 83 (6), 2383-2392.
- [7] Ward, W. D. and Martin, D. W. (1961): Psychophysical Comparison of Just Tuning and Equal Temperament in Sequences of Individual Tones. In: J. Acoust. Soc. Am. 33 (5), 586-588.