Tief, Tiefer, Titanic Tuba

Wahrnehmungsphänomene in der (Sub)Kontra Oktave

Jörg H. Mühlhans & Christoph Reuter
Institut für Musikwissenschaft, Universität Wien

universität wien
Jahrestagung 2018
Universität Gießen
7.–9. September

„HOW LOW CAN YOU GO?“

Die tiefsten spielbaren Töne etlicher großer Musikinstrumente liegen in der Kontra-Oktave mit Grundfrequenzen zwischen 32,7–65,4 Hz. Einige erreichen sogar das obere Ende der Subkontra-Oktave (Klavier, Kontrafagott, Kontrabasstuba, Harfe), während das untere Ende, ein Subkontra C mit 16,35 Hz Grundfrequenz lediglich von großen Kirchenorgeln mit 32-Fuß Register und dem Boesendorfer Imperial 290 (Konzertflügel) gespielt werden kann. Die Doppelkontra-Oktave, deren unteres Ende (C-1) eine Grundschwindung von 8,2 Hz hat, ist nur bei seltenen Kuriositäten wie der "Titanic Tuba„ (siehe Bild links) oder den zwei weltweit existierenden 64-Fuß-Orgelregistern, anzutreffen (Reuter, 2016). Untersuchungen mit realen Instrumenten sind in diesem Frequenzbereich jedoch kaum noch möglich.

„Titanic Tuba“ Foto Andrew Renneisen, www.nytimes.com, 2014

„Octobass“ Foto: Henrik Beck, www.nymusikk.no, 2015

TIEFTONWAHRNEHMUNG

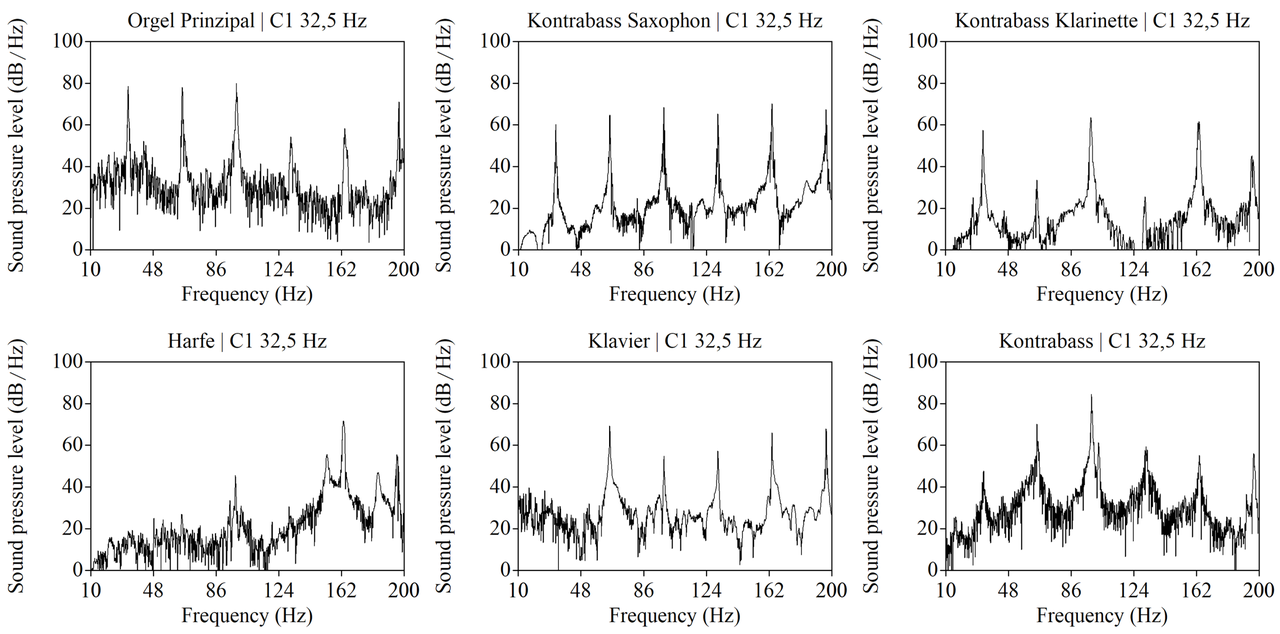
„Man denkt, man hört ihn gar nicht; wenn er jedoch nicht spielt, fehlt er.“
(Jobst Fricke 2001 über den Kontrabass)

Wenn die Grundschwingungen tiefer Klänge überhaupt ausgeprägt sind, liegen sie meist deutlich unterhalb der Hörschwelle, können aber durch Residualtonwahrnehmung dennoch erkannt werden. Entgegen weit verbreiteter Meinung endet die menschliche Hörschwelle nicht abrupt bei 20 Hz, vielmehr nimmt die Empfindlichkeit des Gehörs dort stark ab. Mit ausreichendem Pegel konnte bereits Békésy 1936 eine Hörwahrnehmung bis 2 Hz nachweisen (Békésky, 1936), in späteren Versuchen wurden sogar 1,5 Hz noch gehört (Yeowart et al., 1967).

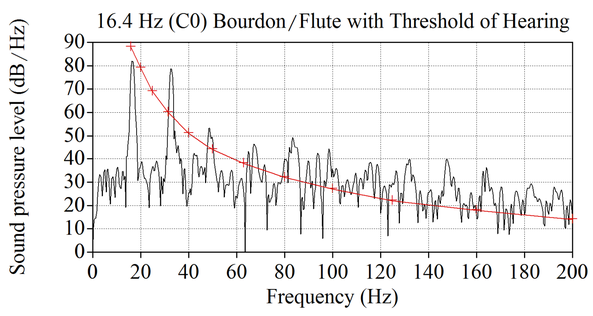
Bereits am oberen Ende der Kontra-Oktave, bei etwa 50-65 Hz fällt es Absoluthörern schwer, Tonhöhen exakt zuzuordnen (Abraham, 1901; Bachem, 1940). Liegt ein Klang eines Intervalls bei etwa 50 Hz oder darunter, werden auch Urteile über Intervalle unsicher (Schneider & Tsatsishvili, 2011). Bis zu einer Grenze von 30–35 Hz sind Hörer in der Lage, Änderungen eines Ganztons in einen Halbton (und umgekehrt) wahrzunehmen (Pressnitzer et al., 2001). Darunter können primär Helligkeitsunterschiede erkannt werden. Zudem kommt es im Bereich um 20 Hz je nach Schwingungsform zu Oktavverwechslungen (Reuter, 2016).

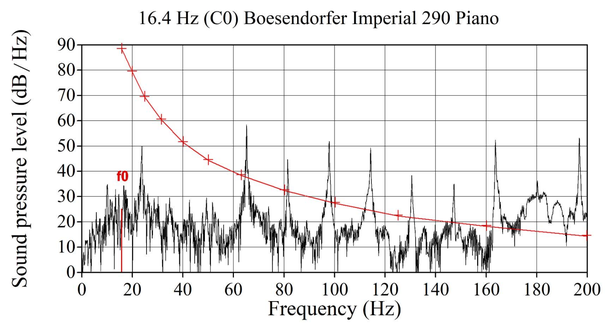
RESIDUALTÖNE

Die meisten Musikinstrumente sind zu klein, bzw. haben einen zu kleinen Resonanzkörper, um die Grundfrequenzen der tiefsten spielbaren Töne gut auszubilden. Nur sehr große Instrumente, wie die Kirchenorgel bilden die Grundfrequenzen stark aus, bei den meisten Saiteninstrumenten sind sie im Spektrum kaum zu erkennen. Nachfolgende Grafiken zeigen Messaufnahmen von sechs unterschiedlichen Instrumenten, die ein C1 (f_0=32,5 Hz) spielen.



Vergleicht man den Verlauf der Ruhehörschwelle im Bereich der Grundfrequenzen, so zeigt sich, dass die Grundschwingungen mit Ausnahme der Orgel deutlich unterhalb der Hörschwelle liegen.

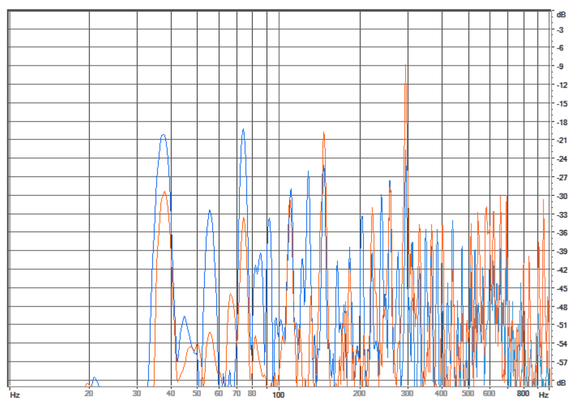




WAHRNEHMUNGSPHÄNOMENE

Da bereits bekannt ist, dass es bei Sinus-, Dreiecks- und Sägezahnschwingungen unterhalb von 50 Hz zu Oktav-Verwechslungen und Schwierigkeiten in der Intervallunterscheidung kommt (s.o.), bietet es sich an, diese Phänomene anhand von realen Instrumentalklängen zu untersuchen. In der Vorbereitung zu einem solchen Unterfangen konnten bereits etliche reale Instrumentalklänge in ihren tiefsten Tonhöhen zwischen C-1 (8,2 Hz) und C1 (32,7 Hz) aufgenommen und für Hörversuche aufbereitet werden.
Diese Instrumentenklänge führen beim Hören nicht nur zu einfachen Oktav-verwechslungen, sondern auch zu weniger erwartbaren Intervallverwechslungen wie Septimen oder Tritoni, deren Ursachen nicht immer psychoakustischer Natur sind:

Intervallverwechslungen in der Oktave aufgrund von Residualtonbildung und Abstrahlcharakteristik des Instruments

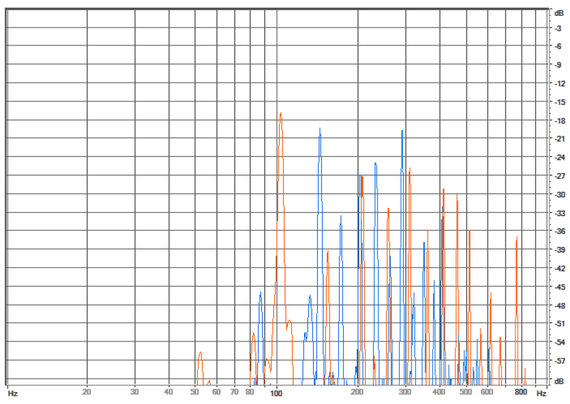


Oktobass-Spektrum bei **D0 (18 Hz)** und **D1 (36 Hz)**

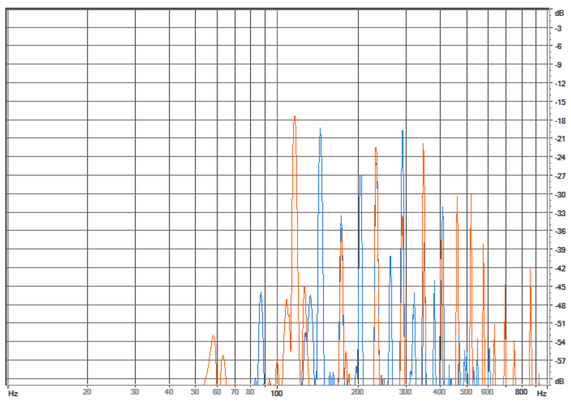
Typische Oktavverwechslungen aufgrund von Residualtonwahrnehmung zeigen sich z.B. bei den Tonhöhen des Oktobass‘, der trotz seiner immensen Korpusgröße die Grundfrequenz eines D0 (18 Hz) nicht mehr abstrahlen kann.
Da besonders die Oktavtöne im Spektrum von D0 und D1 eine ähnlich starke Ausprägung haben und der Grundton bei 18 Hz fehlt, ergibt sich bei beiden Tonhöhen ein in der Oktavlage äußerst ambivalenter Klang, der zu Oktavverwechslungen einlädt.

Intervallverwechslungen in der Septime aufgrund von Residualtonbildung und Saiteninharmonizität:

Bei einmalig angeregten Saiteninstrumenten (Harfe, Klavier, Gitarre etc.) bewirkt die Biegesteifigkeit der Saite, dass sie an den Enden nicht so frei schwingen kann wie in der Mitte, wodurch mit ansteigender Teiltonfrequenz sich die Teiltöne immer mehr nach oben verstimmen (z.B. Meinel 1991, S. 15). Bei extrem tiefen Tonlagen kann sich dieser Effekt dahingehend bemerkbar machen, dass diese in sich nicht mehr stimmigen Teiltonbereiche zur Residualtonbildung eingesetzt werden (besonders wenn das Instrument - wie z.B. die Harfe – für die Abstrahlung ihrer tiefsten Frequenzen viel zu klein ist). Hierdurch bilden sich in der Grundtonhöhe ambivalente Klänge, bei denen z.B. das Intervall A#0-G#1 trotz geringerer Übereinstimmung der Teiltöne oktavähnlicher wirkt als das Intervall A#0-A#1.



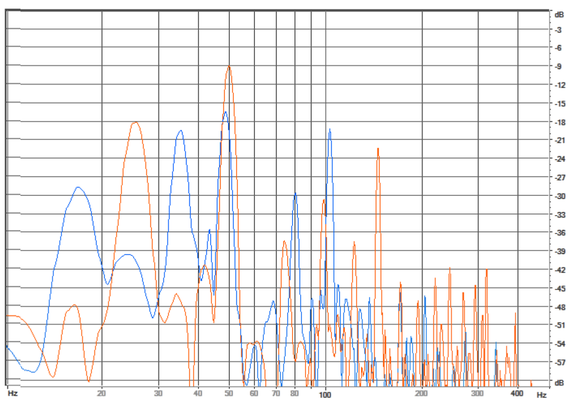
Harfen-Spektrum bei **A#0 (29 Hz)** und **G#1 (52 Hz)**



Harfen-Spektrum bei **A#0 (29 Hz)** und **A#1 (58 Hz)**

Intervallverwechslungen im Tritonus aufgrund von Residualtonbildung und geringfügiger Verstimmung:

Können die tiefsten Teiltöne nicht mehr stark genug abgestrahlt werden, um bei der zu den tieferen Frequenzen hin immer stärker ansteigenden Hörschwelle wahrgenommen zu werden, so kann sich eine geringfügige Verstimmung einer tiefen Prinzipal-Orgelpfeife nach unten (z.B. C#0, von 17 auf 16,4 Hz) dahingehend auswirken, dass ihr dritter Teilton nicht mehr bei 51 Hz liegt sondern bei 49,2 Hz. Damit liegt er weitaus mehr in der Nähe des zweiten Teiltons des Tritonus (49,8 Hz) als in der des zweiten Teiltons der Quinte (52,5 Hz). Hierdurch klingt für den Hörer das C#0 einen Tritonus höher wie ein G0 (bzw. zumindest in der Tonhöhe ambivalent), da die beiden tieferen Teiltöne zu schwach abgestrahlt werden und von den restlichen Teiltönen darüber der jeweils starke 6. (bei 103,6 Hz) und der 12. (207,2 Hz) auch als Oktave und Doppeloktave eines Grundtons bei 49, 2 Hz gedeutet werden können (gleiches gilt auch für die geringfügig zu tiefe Prinzipalpfeife auf D0, deren Tonhöhe wie ein G#0 klingt).



Prinzipalpfeifen-Spektrum bei **C#0 (17 Hz)** und **G0 (24 Hz)**

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Bewertung von Instrumentenklängen in der (Sub)Kontra-Oktave und darunter beeinträchtigen nicht nur psychoakustische Phänomene die Tonhöhenwahrnehmung (Residualtonbildung, Tonhöhen-/Intervallunschärfe) sondern auch instrumenteneigene Spezifika wie die Abstrahlcharakteristik des Korpus‘, die Biegesteifigkeit bei Saiten oder minimale Abweichungen in der Stimmung, die in höheren Oktaven meist nicht auffällt, an der untersten Grenze des Tonraums jedoch im Zusammenspiel mit der Residualtonwahrnehmung zu deutlichen Fehleinschätzungen der Tonhöhe führen kann.

LITERATUR

Abraham, O. (1901) Das absolute Tonbewußtsein. Sammelbände der Internationalen Musikgesellschaft 3(1), 1-86. <> Bachem, A. (1940) A Genesis of Absolute Pitch. JASA 11, 434–439. <> Békésy, G.v. (1936) Über die Hörschwelle und Fühlgrenze langsamer sinusförmiger Luftdruckschwankungen. Annalen der Physik 26(5), 554-566. <> Meinel, E. (1991) Betrachtungen zur Klangerzeugung historischer und moderner Saiten. In: Bericht über das 9. Symposium zu Fragen des Musikinstrumentenbaus. Saiten und ihre Herstellung in Vergangenheit und Gegenwart. Michaelstein / Blankenburg, S. 7-15. <> Pressnitzer, D.; Patterson, R.D. & Krumbholz, K. (2001) The lower Limit of Melodic Pitch. JASA 109(5), 2075-2076. <> Reuter, C. (2016) Zur Wahrnehmung tiefster Tönhöhen. In: Fuhrmann, W.; Geanta, I.; Grassl, M. & Sedivý, D. (Hrsg.) Kürzen - Gedenkschrift Manfred Angerer. Praesens Verlag, 85-101. <> Yeowart, N.S.; Bryan, M.E. & Tempest, W. (1967) The monaural M.A.P. Threshold of Hearing at Frequencies from 1.5 to 100 c/s. Journal of Sound and Vibration, 6(3), 335-342.