

Die Obertonreihe



Beispiel : https://www.youtube.com/watch?v=-Z1GJUvf_i0 (Klaviersounds realisiert auf einer PC-Soundcard mittels Pitchbend-Verstimmung der temperierten Töne)

Wo kommt die Obertonreihe vor (siehe auch Quiz 1 mit extra Blatt):

- ganzzahlige Teilung von Saiten („Schmiedelegende des Pythagoras“)
- Flageolet (Schwingungsknoten erzeugen an „Teilungsstellen“)
- Überblasen von Luftinstrumenten („Naturtonreihe“)
- Intervallarithmetik & Musikphilosophie („Wohlklang = ganze Zahlenverhältnisse“)
- Fourieranalyse: Zerlegung einer periodischen Schwingung in („harmonische“) Sinustöne („Teiltöne“) - geschieht in „Formantinstrumenten“ oder durch FFT (Fast Fourier Transformation)
- Obertongesang: eine extreme Art der Fourieranalyse, bei der ein einzelner durch Rückkopplung Oberton explizit hörbar gemacht wird
- Fouriersynthese: Zusammensetzung von Teiltönen zu einem Gesamtklang
- Innenohr-Mechanismus: im Innenohr wird die eintreffende Schwingung nach analog-akustischen Gesetzen „zerlegt“, um anschließend digitalisiert zu werden

Struktureigenschaften der Obertonreihe:

- Frequenz des N-ten Obertons ist das N-fache der Grundfrequenz (ACHTUNG: Zählung kann auch den Grundton als 0.ten Oberton bezeichnen, sodass die Oktav als 1. Oberton bezeichnet wird).
- Intervalle zwischen den Obertönen sind rationale Zahlen, d.h. Verhältnisse ganzer Zahlen (im Gegensatz zu „temperierten Intervallen“, die irrationale Zahlenverhältnisse darstellen).
- Unendlichkeit → beliebig kleine Intervalle, theoretisch beliebige Näherung an jedes Intervall.
- Pro Oktav verdoppelt sich die Anzahl der Obertöne, und zwar wird „zwischen“ je zwei Obertöne ein neuer eingeschoben (Folge: die Intervalle der darunter liegenden Oktav sind alle in der höheren auch vorhanden, jedoch eben noch mehr).
- Die Amplituden der Oberschwingungen bestimmen die Klangfarbe (Grafische Darstellung im „Spektrum“).

Tonhöhe, Periode, Frequenz:

- Alle Aussagen zur Obertonreihe setzen das Vorhandensein eines „Tons“ mit der Eigenschaft „Tonhöhe“ voraus.
- Der Mensch ordnet einem akustischen Signal die Eigenschaft „Tonhöhe“ zu, wenn das Signal auf einer Schwingung beruht, die periodisch ist.
- Bei einer periodischen Schwingung kann man von Frequenz (Anzahl der Perioden pro Zeit) sprechen.
- Alle nicht periodischen Schwingungsvorgänge („quasi-periodisch“, stochastisch etc.) haben keine Frequenz.

Die Frage, wann einem akustischen Signal von Hörer/innen das Attribut „Tonhöhe“ zugesprochen wird, wird uns im Seminar später (z.B. bei der Musik von Gongs, Xylophonen) noch genauer beschäftigen. Die Vorstellung von „Tonsystem“ und „Stimmung“ scheint aber zunächst jedoch die Musiken der Welt auf alles einzugrenzen, was „Tonhöhen“ hat!

Satz von Fourier (1822):

ist eine mathematische Aussage über die „Zerlegung“ einer beliebigen *periodischen* Bewegung („Schwingung“) in

- (unendlich viele) Sinusschwingungen,
- deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind.

Diese Zerlegung (= „*Fourieranalyse*“) ist universell, also nicht nur in der Musik vorhanden.

Helmholtz (1863) hat den Satz von Fourier auf die Musikalische Akustik übertragen:

Jeder „Ton“ ist zusammengesetzt aus Sinustönen, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind. Das sind die „Obertöne“. Video: https://www.youtube.com/watch?v=-Z1GJUvf_i0 (= Fourieranalyse nach dem Prinzip eines Analogsynthesizers mit Bandpassfilter).

Musikalisch haben diese Sinusschwingungen die Frequenzen, die man durch Teilung einer Saite („Teiltöne“) oder durch Überblasen („Naturtöne“) erhält. Weder Teil- noch Naturtöne sind aber Sinustöne, und daher im strengen Sinn keine „Obertöne“! (Dagegen sind Flageolettöne Sinustöne.)

„*Fouriersynthese*“: die Herstellung einer Schwingung aus Sinusschwingungen. Bei „harmonischen“ Sinusschwingungen (ganzzahlige Frequenzverhältnissen) erhält man eine periodische Schwingung („echte Fouriersynthese“), ansonsten erhält man neuartige nicht-periodische Schwingungen. Siehe das Video https://www.youtube.com/watch?v=-Z1GJUvf_i0.

„*Spektrum*“ eines Tons (einer periodischen Schwingung): die Menge der Amplituden der Obertöne (der Oberschwingungen) des Tons (der periodischen Schwingung).

1965 wurde die „Fast Fourier Transformation“ (FFT) entwickelt, ein Algorithmus zur Berechnung des Spektrums einer digital aufgezeichneten Schwingung.

Basiswissen in Stichworten:

- Schwingungsperioden werden in Sekunden(sec) oder Millisekunden (ms) gemessen,
- Frequenzen werden in Hz (= 1/Periode) gemessen, d.h. 1 Hz = 1/sec.
- Intervalle \leftrightarrow Frequenzverhältnisse
- Aneinanderfügen von Intervallen entspricht der Multiplikation der Frequenzverhältnisse, z.B. „Quint 3:2 und Quart 4:3“ ergeben „Oktav 2:1“ weil $(3:2) \cdot (4:3) = (3 \cdot 4) : (2 \cdot 3) = 12:6 = 2:1$ ist.
- Mathematisch addieren kann man nur die Logarithmen der Verhältnisse, so geschehen bei „Cent“. Vorläufige Aussage: 100 Cent sind ein temperierten Halbton und 1 Cent ist das temperierte Hundertstel eines temperierten Halbtons. Dazu mehr im Kapitel „Temperierung“ (3. Stunde).
- Bei Synthesizern verwendet man „Pitchbend“ anstelle von Cent. 1 Pitchbend teilt einen Ganzton in 32 oder $32 \cdot 128$ Teile (je nach Fähigkeit des Soundmoduls), das ist also grober oder feiner als Cent.

Genauere Erläuterungen auf dem Kommentarblatt <https://www.musik-for.uni-oldenburg.de/weltstimmung/Material/Berechnungen-Exceltabelle-Kommentar.pdf> zur Exceltabelle <https://www.musik-for.uni-oldenburg.de/weltstimmung/01Oberton/Berechnung-Oberton.xlsx> .

Bemerkung: *Alle* Details zu den mathematischen und akustischen Grundlagen im Zusammenhang mit „Stimmung und Tonsysteme“ befinden sich im Akustik-Skriptum: <https://www.musik-for.uni-oldenburg.de/akustik/scriptum.pdf>. Im vorliegenden Seminar wird dies „Basiswissen“ an Ort und Stelle jeweils vermittelt - wobei ich hoffe, dass die Seminarteilnehmer/innen sich getrauen nachzufragen, wenn ihnen etwas nicht klar ist.