

Zur Vielfalt tonräumlicher Gestaltungsmöglichkeiten: Skalen, Modi, Tonsysteme, Kompositionsparadigmen.

2. Übungstermin, am 13.10.2009.

Diese Seite ist noch unvollständig / in Arbeit. Auch die Hörbeispiele werden bald online gestellt!

Ton - Periodizität - Frequenz

Voraussetzung zum Ermitteln einer Frequenz ist Periodizität: dass etwas wiederkehrt. Bei einem periodischen Signal können wir aus dem Zeitabstand zwischen 2 Wiederholungen auf die Frequenz schließen.

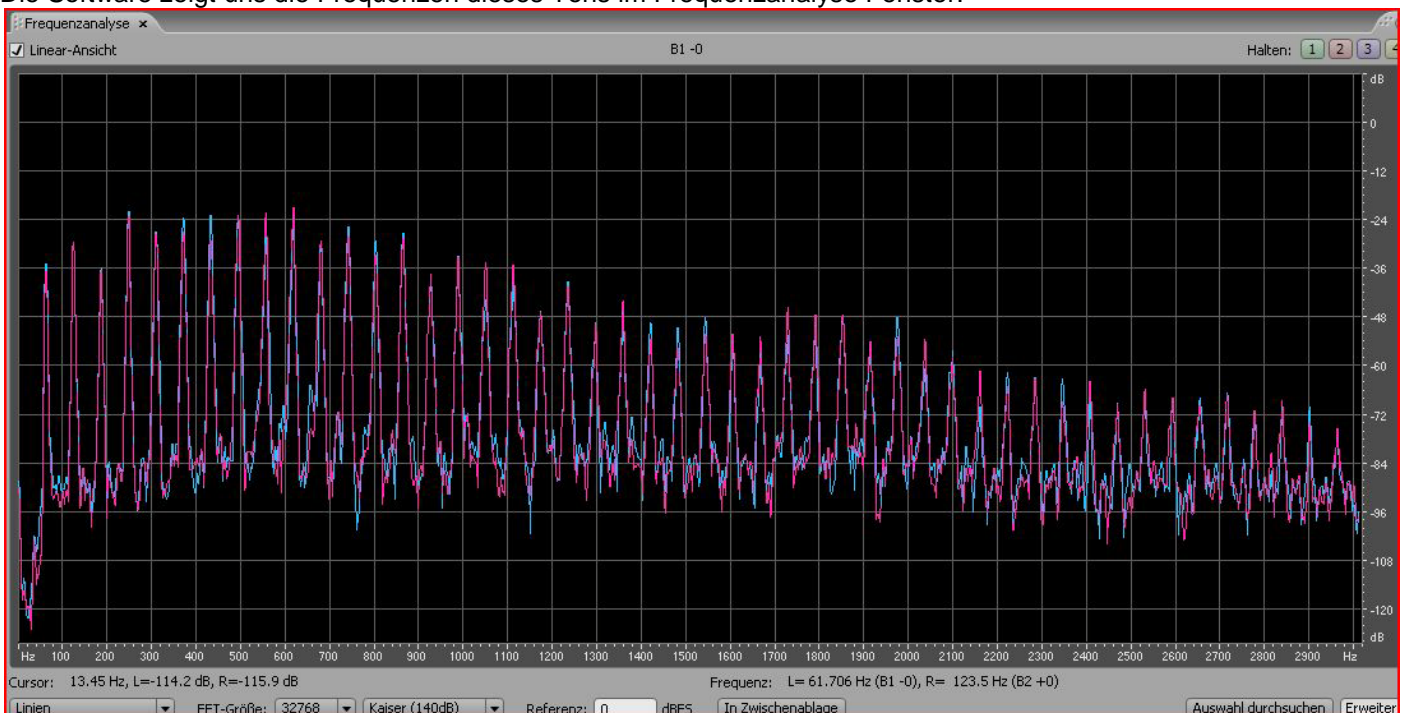


Beispiel Fagott-Ton:

In der Wellenformdarstellung sehen wir eine Regelmäßigkeit - eine Periodizität. Eigentlich ist da ja nur eine Linie. Aber unsere visuelle Wahrnehmung sieht darin ein Muster. Wir erkennen eine wiederkehrende Wellenform. Die muss sich gar nicht wirklich exakt wiederholen. Wir markieren eine WH der Wellenform. Adobe Audition zeigt uns die Dauer des markierten Bereiches in Millisekunden: 16ms.

Wie oft passt so was in eine Sekunde: $1000\text{ms} / 16\text{ms} = 62,5\text{Hz}$.

Die Software zeigt uns die Frequenzen dieses Tons im Frequenzanalyse Fenster:



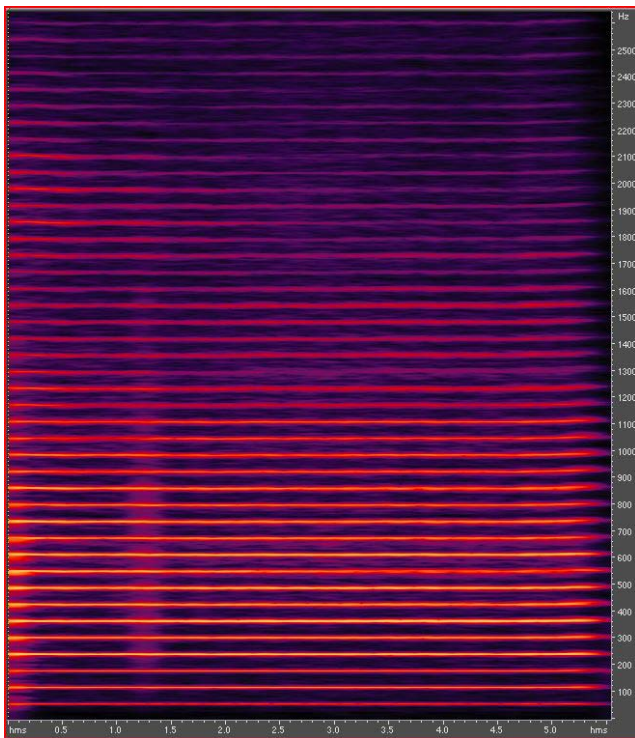
Wir sehen viele Spitzen, es sind also viele Frequenzen enthalten. Die Tonhöhe den wir hören -ca 62 Hz- ist nicht die stärkste. Sie müsste nicht einmal enthalten sein, damit wir die Tonhöhe noch hören, und die Periodendauer noch

sehen können. Wenn wir mit der Software die 62Hz - den untersten Teilton - heraus löschen, ändert das kaum etwas am Klangeindruck und auch an der Periodenlänge (16ms) ändert sich nichts. Auch wenn wir die untersten 8 Teiltöne heraus löschen bleibt der Tonhöhereindruck erhalten, nur die Klangfarbe ändert sich.

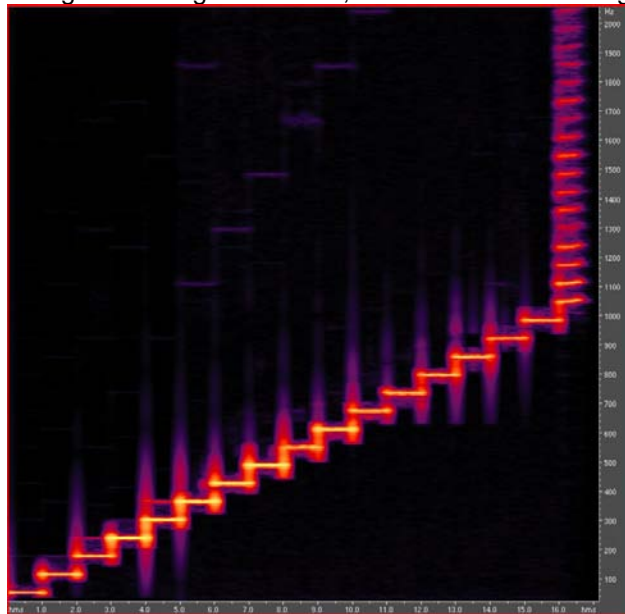
Warum? Weil die Periodizität jedes Tones erhalten bleibt. Unsere optische Wahrnehmung erkennt - wenn wir die Wellenform ansehen - noch immer die Struktur des Tones. Unsere akustische Wahrnehmung erkennt das ebenso. So ein im Klangspektrum gar nicht vorhandener Grundton, den wir trotzdem hören, nennt man Residuum. Das machen nicht die Ohren! Die Periodizitätserkennung geschieht im Zentralnervensystem.

Dieser Grundton, der im Spektrum gar nicht vorhanden sein muss, ist der Ton den wir als musikalische Tonhöhe empfinden. Das ist der Ton der - z.B. in der westlichen Notenschrift, - notiert wird. Über die weitere Teiltonzusammensetzung sagt so ein Notat (Partitur) nur dann etwas aus, wenn auch Instrumentationsangaben vermerkt sind. Wenn da z.B. steht: Das soll ein Fagott spielen.

Das Spektrogramm zeigt uns den Frequenzverlauf über die Zeit. Die einzelnen Frequenzen sind nun Linien nicht Spitzen. 62 Hz - der Grundton- ist nun die unterste Linie, die ist nicht die stärkste. Was sind all die anderen Töne im Spektrum?

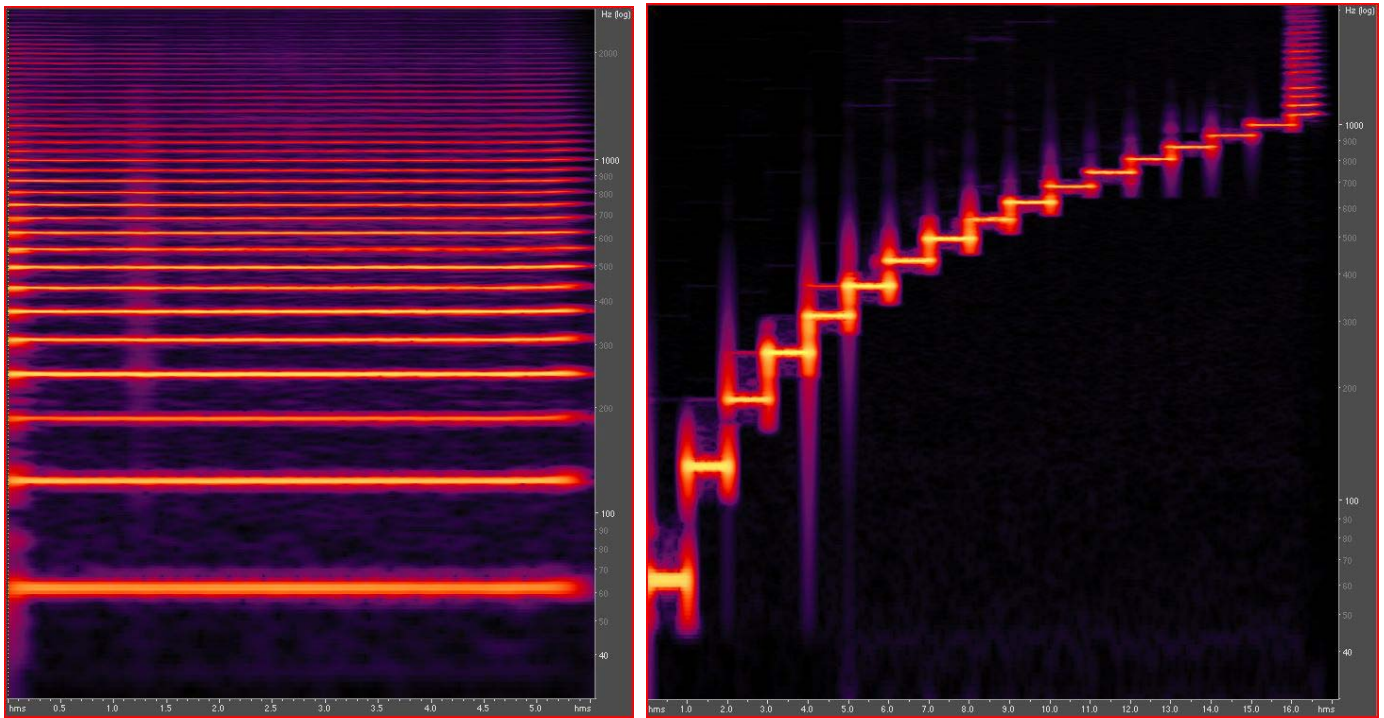


Wir haben aus dem Fagottklang die ersten 16 Teiltöne isoliert, nacheinander einzeln je 1 Sekunde angehört, und danach kurz was oberhalb der 16 TT noch überbleibt (Das ist eine ganze Menge: man hört, dass es einmal ein Fagott war)



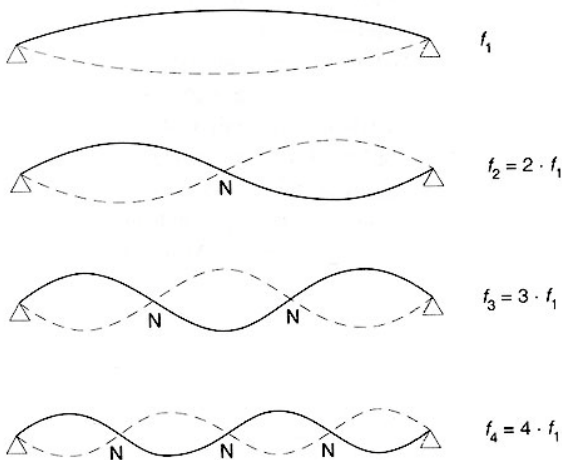
Hörbeispiel 16 Fagott-Teiltöne einzeln: Was hören wir da?

Im Spektrogramm - in linearer Darstellung, wo also gleiche Frequenzabstände gleichen Abständen im Bild entsprechen - sehen wir ja lauter gleichweit entfernte Linien. Wir hören aber was anderes: Am Anfang hören wir - mit etwas Fantasie - eine Oktave. Dann werden die Intervalle immer kleiner, am Ende (im Bereich des 16. Teiltones) sind es ca. Halbtöne. Wir hören also nicht lauter gleiche Tonabstände sondern immer enger werdende Intervalle. Eben das zeigt und die Software in der logarithmischen Darstellung:



Die Obertonreihe

Was ist das, die Teiltöne? Warum gibt es sie, und warum sind es gerade diese?



ideale Saite. Donald E. Hall 1997

Wir haben die Obertonreihe am Beispiel der schwingenden Saite (vorgeführt auf der kretischen Lyra) erklärt, indem wir überlegt haben wie eine Saite schwingen kann: Die Saitenenden (wo die Saite auf Brücke oder Steg aufliegt) sind fixiert. Dazwischen (das sind auf der Lyra 30cm Saitenlänge) kann die Saite schwingen, so daß 1,2,3,4,5,... Schwingungsbäuche entstehen: Die Obertöne sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz.

Diese Schwingungsmöglichkeiten kann man als Flageolett-Töne separat hörbar machen: Man teilt die Saitenlänge in 2,3,4,5,6,7,8,... gleiche Teile (auf der Lyra 15cm,10cm, 7.5cm, 6cm,...) und ermittelt so Saitenteilungspunkte. Berührt man nun mit einem Finger die Saite sanft an solch einem Punkt (z.B. in der Mitte), kann sich dort kein Bauch mehr ausbilden, es werden alle Teilschwingungen unterdrückt, die da einen Bauch haben

(z.B. die Grundschwingung). Alle Schwingungskomponenten hingegen die an dieser Stelle einen Schwingungsknoten haben, werden begünstigt (in der Mitte z.B. der zweite Teilton - die Oktave - und all Ihre Vielfachen).

Diese harmonische Obertonreihe gibt es bei Blasinstrumenten - auch der Stimme - und bei schwingenden Saiten. Es gibt aber auch Instrumente mit anderen Teiltönen, z.B. Glocken, Metallophone oder Xylophone (klingenden Platten), Lamellophone usw. Wir beschäftigen uns aber zunächst mit der harmonischen Obertonreihe.

Die Obertöne von Saiteninstrumenten - auf der Lyra ebenso wie am Klavier- stimmen (z.B. wegen der Steifheit der Metallsaiten) nicht genau. Auch bei Blasinstrumenten gibt es Abweichungen: Die Obertöne und -mehr noch- die Überblastöne entsprechen nicht genau den Vielfachen des Grundtones, aber doch genau genug um von uns als zusammengehörig wahrgenommen zu werden.¹

¹ vgl.: Fricke, Jobst: "Die Innenstimmung der Naturtonreihe und der Klänge", in: Festschrift K. G. Fellerer zum 60. Geburtstag, ed. Hüschen, Regensburg, 1962.

Teiltöne (Obertöne) des Tones C und ihre Ordnungszahlen:

C									
C				G					C 2.Oktave
C		E		G			B-		C 3.Oktave
C	D	E	F#-	G	A-	B-	H		C 4.Oktave
c	...								
c	...								
c	...								

1									
2				3					4 2.Oktave
4		5		6		7			8 3.Oktave
8	9	10	11	12	13	14	15		16 4.Oktave
16	...								
32	...								
64	...								

Wir haben uns die 2.,3. und 4. Oktave der Obertonreihe einzeln am Beispiel der Teiltöne angehört, die wir aus dem Fagottklang isoliert haben.

In jeder Oktave kommen Töne dazu, und zwar immer je ein neuer Ton, zwischen 2 Tönen die es schon in der vorherigen Oktave gab. Der neue Ton liegt -als Frequenz betrachtet- "in der Mitte" (Bsp.: Der 5. Teilton von 100Hz befindet sich exakt zwischen den Teiltönen 4 und 6: 400Hz 500Hz 600Hz), als Intervall (logarithmisch) betrachtet ist das Untere der beiden neu entstehenden Intervalle größer (Bsp.: 4,5,6 = C,E,G: Die Quinte zwischen dem 2 und dem 3. Teilton wird in der nächsten Oktave geteilt in eine große und eine kleine Terz.)

Bitte prägen Sie sich diese Struktur der harmonischen Obertonreihe ein, und üben sie diese an einfachen Beispielen:
 Was ist der 2., 4., 8.,16. Teilton von C, was der 3., 6., 12., der 5., 7., 9.,11. von C?
 Was ist die Frequenz des 2.,3., zu 100Hz ? Des 7. wenn der 5. Teilton 1000Hz beträgt,....
 Der Wievielte Teilton ist die Quinte, die kleine Sekunde,.... was sind das also für Frequenzverhältnisse.

Unsere musikalische Tonhöhenwahrnehmung funktioniert also -in etwa- logarithmisch. Uns Interessieren Intervalle, also Verhältnisse zwischen Frequenzen. Diese Verhältnisse sind aus den beiden obenstehenden Tabellen ersichtlich: So ist z.B. die Naturseptime , 7/4, das Intervall zwischen dem 7. und 4. Teilton, in der oberen Tabelle die Töne B- und C. Das Minus hinter dem B deutet an, dass dieser Ton deutlich tiefer als das temperierte B ist - die Naturseptime ist also eine besonders kleine Septim.

Nicht nur bei Tonhöhen sind Vervielfachungen statt Differenzen für die Wahrnehmung wesentlich: Das Weber Fechnersches Gesetz, welches besagt, dass eine Vervielfachung der Reizstärke nur als lineare Zunahme des

Wahrgenommenen Reizes empfunden wird, gilt auch z.B. für die Hellempfindung des menschlichen Auges oder für Lautstärkewahrnehmung. Das wir Frequenzen logarithmisch wahrnehmen, gilt nur für den zentralen musikalisch als Tonhöhen genutzten Bereich. Oberhalb von etwa 2500Hz werden Frequenzverdopplungen nicht mehr als Oktaven wahrgenommen (2500Hz zu 5000 Hz klingt eher nach einer Sexte). Ähnliches gilt für den Frequenzbereich unterhalb von 100 Hz: Auch die untere Oktave (die von uns extrahierten Teiltöne 1 und 2) unseres Fagottklanges klingt "etwas komisch".

Dass wir Töne im Oktavabstand - Töne die die doppelte Frequenz haben - als "gleichen Ton" empfinden, ist ein es kulturübergreifendes Phänomen, auch wenn es nicht überall gleich genutzt wird (z.B. Oktavspreizungen,...). "das kann unser Gehör" - das ist das Logarithmische an unser akustischen Wahrnehmung.

Auch der Quinte, dem 3. Ton bzw. 2. Intervall der Obertonreihe kommt besondere Bedeutung zu. Aktuelle neuronale Forschungen weisen auf eine spezielle Unterstützung der Quinterkennung im ventralen Nucleus des Lemniscus lateralis (VNLL) hin - bei Menschen ebenso wie bei Mäusen². Das Frequenzverhältnis der Quinte als Verhältnis zwischen 2. und 3. Teilton ist 2:3.

Wir merken uns:

3 ist die Quinte. Der 3., 6., 12., 24., ... Oberton von C ist ein G.

$3 * 3 = 9$. Der 9. Oberton von C ist ein D. Die Quinte zur Quinte ist ein (oktavierter) Ganzton.

$3 * 3 * 3 = 9 * 3 = 27$. Der 27. Teilton von C, die Quinte zum D ist eine Art von A, eine Art von großer Sext, ein anderer Ton als der 13. (und 26.) Teilton, den wir oben als A- notiert haben.

$3*3*3*3 = 9*9 = 81$. 9 War ein Ganzton. $9*9$ ist also ein Ganzton zum Ganzton, eine große Terz. ($3*3*3*3$, das sind 4 Quinten: C G D A E.) Aber ... *ein E hatten wir aber schon!* Das war der 5. Teilton. (und der 10., 20., 40., 80.)

$80 \leftrightarrow 81$. Wir haben also 2 Kandidaten für eine Großterz !! Den 5. Teilton und den 81. Teilton.

Der 5. Teilton ist eigentlich eine Terz zum 4. Teilton (= 2. Oktave des 1 Teiltones)

Und der 81. und 80. Teilton sind Terzvarianten zum 64. Teilton.

Unsere bisherigen Großterzvarianten sind also:

die "Naturterz": $5/4$ (=80/64)

und die "pythagoreische Terz" (nach Pythagoras von Samos , 570-510 v Chr): $81/64$.

Was ist jetzt die große Terz? ist das egal? Ist das wichtig? Hört man das? Wir haben es uns angehört: Der Unterschied zwischen pythagoreischer Terz und harmonischer Terz ist hörbar. Im Zusammenklang hört man ihn deutlicher, als wenn die Intervalle als aufeinanderfolgende Töne vorgeführt werden; bei Sinustönen ist er weniger auffällig als bei Klängen mit harmonischer Obertonstruktur (wir haben nur die Sinustonvariante gehört), wo bei der pythagoreischen Terz eine Schwebung auffällt. Den Unterschied zwischen diesen beiden Großterzvarianten, ein -kleines aber hörbares- Intervall von 80:81, wird als syntonisches Koma bezeichnet. Es gibt mehrere solche kleine Tondifferenzen die Berechnungswidersprüche mit Intervallen oder Unterschiede zwischen Intervallvarianten beschreiben. Das syntonisches Koma hat 21,5 cent .

Cent sind eine logarithmische Einheit, die sich am europäischen Tonsystem orientiert: 100 cent entsprechen einem gleichschwebend temperierten Halbton, eine Oktave sind 1200 cent ($12*100$). Eine temperierte große Terz (wie am Klavier) entspricht 4 Halbtönen, hat also 400 Cent, und liegt damit zwischen den bereits erwähnten Terzvarianten: Die (pythagoreische) Terz von $81/64$ entspricht 408 cent .

Die Naturterz $5/4$ (5te Teilton) entspricht 386 cent.

Der Unterschied zwischen 408 und 400 cent ist gerade noch hörbar, wir haben uns ein Intervall von 10 Cent angehört.

Ob dieser Unterschied wichtig ist kommt auf die Musik (bzw. auf die Zuhörer) an. So haben Simha Arom und sein Team bei den Aka Pygmäen³ oder Peter Cooke in Uganda⁴ eine große Intonationstoleranz festgestellt.

Für europäische Musik hat Charles Shackford⁵ die Intonation von Streichinstrumenten (ohne Verwendung leerer Saiten) in der Praxis untersucht: Die folgende Graphik zeigt, daß die Toleranzbereiche für Quarte und Quinte am kleinsten sind, aber laut Shackford immer noch 43 cent bzw. 50 cent betragen. Für die große Terz beobachtet er einen Toleranzbereich von 61cent mit Tendenz zu höherer Intonation (also eher in Richtung pythagoreische als harmonische Terz). Dies entspricht der Tendenz "die kleine Terz möglichst klein und die große Terz möglichst groß zu gestalten, um Dur und Moll als Polaritäten herauszuarbeiten und die angrenzenden Halbtonstufen möglichst zielstrebig zu empfinden. Die Hörtoleranzen ermöglichen offenbar eine solche Auffassung"⁶.

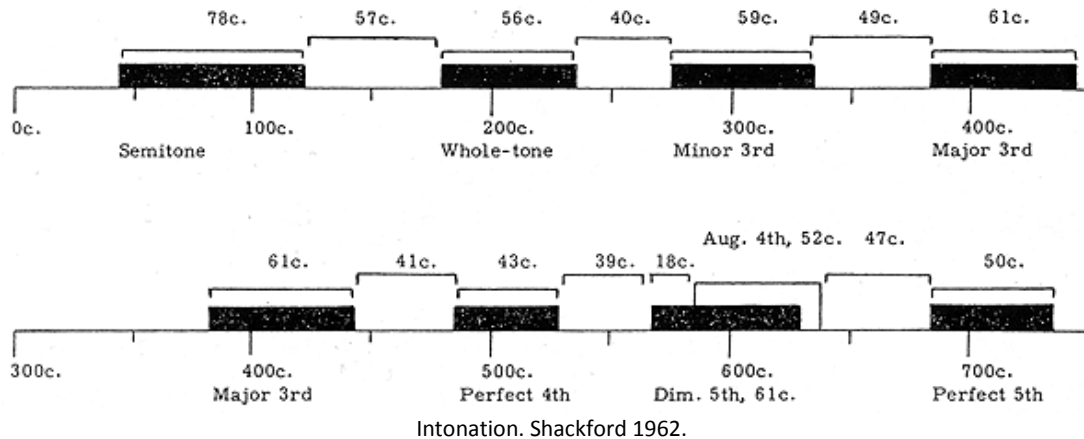
² Langner, Gerald: "Die zeitliche Verarbeitung periodischer Signale im Hörsystem Neuronale Repräsentation von Tonhöhe", in: Zeitschrift für Audiologie Jahrgang 46 Nr. 1, 2007.

³ Arom, Simha / Susanne Fürniss (1992) „The Pentatonic System of Aka Pygmies of the Central African Republic“, in: European Studies in Ethnomusicology: Historical Developments and Recent Trends. Max Peter Baumann, Arthur Simon & Ulrich Wegner, Hrsg. Wilhelmshaven: Florian Noetzel, S 168.

⁴ Peter Cooke: "Report on Pitch perception Experiments carried out in Buganda and Busoga (Uganda)", in: African Music, vii/2, 1992 S119-125.

⁵ Shackford, Charles: "Some Aspects of Perception. III Addenda", in: Journ. of Music Theory 6, 66-90, 295-303. 1962.

⁶ Fricke, Jobst Peter: "Die Bedeutung der Mikrintervalle im Wandel der Zeiten und Kulturen", in: Mikrotöne III, Helbling, Innsbruck. 1990.



Solche relativ großen Intonationszonen bedeuten freilich nicht, dass es sich dabei um Ungenauigkeiten handeln muss. Sie erlauben auch die jeweilige Intonation eines Tones dem harmonischen Kontext⁷, der melodischen Bewegungsrichtung⁸ oder einem gesteigerten Ausdrucksbedürfnis anzupassen. Es gibt offensichtlich viele Varianten um Intervalle zu gewinnen und kombinieren, eine Vielfalt tonräumlicher Gestaltungsmöglichkeiten, das ist ja Thema unserer Lehrveranstaltung.

Tonmaterial zum Musizieren, Skalenbauen

Wir haben bereits einige Möglichkeiten kennengelernt - zunächst mit einfachen mathematischen Methoden - Tonmaterial zur Skalenbildung zu gewinnen:

Skalen aus der Obertonreihe eines einzelnen Grundtones

Wie wir an Beispiel des Fagott Teiltonspektrums gesehen haben gibt es schon innerhalb der Obertonreihe mehrere Bereiche die sich sinnvoll als Tonvorrat nutzen lassen:

Die dritte Oktave der Obertonreihe (Teiltöne 4-8) bietet 4 verschiedene Töne⁹, in der vierten Oktave (Teiltöne 8-16) finden wir 8 Tonstufen. Man muss aber nicht unbedingt mit einer Oktave des Grundtones (also beim 4,8,.. Teilton) beginnen: Auch die Teiltöne 6-13 oder 5-10 ergeben einen sinnvollen Tonvorrat. Ebenso gut kann man eine Auswahl verwenden, z.B. bestimmte Töne auslassen.

Solche Obertonausschnitte sind in der Regel nicht vernünftig in westlicher Notenschrift notierbar. Unsere Notation ist nicht für so ein Tonsystem erfunden worden, man muss z.B. Zusatzzeichen einführen um mikrotonale Details festzuhalten. Eine Möglichkeit dazu werden wir am Beispiel der türkischen Makammusik kennenlernen.

Skalen aus Obertonreihenausschnitten mehrerer Grundtöne

Beispiele dafür finden sich in der Musik der !Kung¹⁰, in der Musik der Shona¹¹, und wahrscheinlich auch in Varianten des Blues Tonsystemes¹².

Baukästen aus vertrauten Elementen

Man beginnt z.B. mit Grundton, Quarte, Quinte und Oktave und nutzt das als Rahmen. Dieses Gerüst enthält 2 Quarten, die man auf verschiedene Weise mit Zwischentönen füllen kann. Seit der griechischen Antike werden solche Quart-Rahmenintervalle als Tetrachorde bezeichnet. Die Kombination verschiedener Tetrachorde ist ein

⁷ Fricke, Jobst Peter: "Die Relativität optimaler Intervallgrößen", in: Bericht über den musikwissenschaftlichen Kongreß Bonn 1970, Kassel, 397-400. 1973.

⁸ Feldman, Walter: "Music of the Ottoman court." Berlin: VWB, Verl. für Wiss. und Bildung. 1996. S.208ff (über die Intonationsvarianten des Tones Segah)

⁹ Hörbeispiel: Bogenlaute mit 7 Saiten (too), gesungen und gespielt von Dina Pikenien ("Buschmann-Name": //Uwa). Aufnahme von Gerhard Kubik in Namibia 1991. Aufnahme aus dem Wiener Phonogrammarchiv 19730926.M003-06-PhArch B19036.

Ein Ausschnitt dieser Aufnahme findet sich auch auf der Begleit-CD zu:

vergleichende Musikwissenschaft Bd. 4 (2005): Gruber, Gernot / Schmidhofer, August / Weber, Michael (Hrsg.), "Mehrstimmigkeit und Heterophonie. Bericht zur Tagung in Wien, 11. bis 12. Dezember 1999."

-> Tonträger mit Inventarnummer SV3769CD, Track 4.

Arbeitsthema: Tonhöhen Analyse (z.B. mit Adobe Audition) dieser Aufnahme. Läßt sich die Obertonhypothese verifizieren?

¹⁰ Kubik, Gerhard: „Das Khosian-Erbe im Süden von Angola“, in: Musikkulturen in Afrika. Hrsg. Erich Stockmann Berlin 1987 Kapitel 2: Musikbögen und die Khoisan Vergangenheit Südangolas

¹¹ Klaus-Peter Brenner: Chipendani und Mbira. Musikinstrumente, nicht-begriffliche Mathematik und die Evolution der harmonischen Progressionen in der Musik der Shona in Zimbabwe. Göttingen: Verlagsbuchhandlung Vandenhoeck & Ruprecht, 1997. [mit 2 Audio-CDs, aus denen wir 2 Ausschnitte gehört haben]

¹² Gerhard Kubik: Africa and the Blues. University Press of Mississippi, Jackson, 1999. S 118-151.

Gestaltungsprinzip vieler orientalischer Musiktraditionen. Darüber werden wir in dieser Lehrveranstaltung noch viel hören!

Zyklen aus gleichen Intervallen, z.B. lauter reine Quinten:

Wie wir bereits gesehen haben sind Oktaven Zweierpotenzen (2, 4, 8, 16,...) Quinten hingegen Dreierpotenzen (3, 9, 27, 81,...). Zweierpotenzen ergeben immer gerade Zahlen, Dreierpotenzen sind hingegen immer ungerade (bei 3-er Potenzen schummelt sich nie eine 2 in die Primfaktorenzerlegung, und umgekehrt), also erhalten wir durch Schichtung von Quinten nie genau eine Oktave, ganz gleich wieviele Quinten wir verwenden. Der Quintenzirkel geht sich nicht genau aus. Ebenso ergeben Schichten aus harmonischen Terzen (5, 25, 125,...) oder Septimen (7, 49,...) weder gerade Zahlen noch 3er Potenzen; Nie!

Alle solchen Systeme haben kleine theoretische Fehler. Was kann man dagegen tun? Eine Möglichkeit ist, den Fehler so aufzuteilen, dass er weniger stört; man baut Kompromisse ein. Das bezeichnet man als Temperierung.

Temperierungen müssen zwar keinesfalls eine Teilung der Oktave in lauter gleiche Intervalle bedeuten (also das gleichmäßige Verteilen des Fehlers im System auf alle Intervalle), betrachten wir aber zunächst diese Variante:

Äquidistanz und Temperierung(en)

Man kann sagen: Ich habe die Oktave, was kümmern mich die anderen Obertöne. Ich höre logarithmisch, also teile ich die Oktave in z.B. 12 gleiche Intervalle, und nutze eben die so entstehenden 12 Töne .

Teilt man die Oktave in lauter gleiche Intervalle (Verhältnisse, also Brüche), so teilt man sie als auf in

$$a/b * a/b * a/b * \dots$$

das Ergebnis soll 2 sein, weil 2 ist die Oktave.

$$a/b * a/b * a/b * \dots = 2$$

a/b - das "immer gleiche Intervall" in das wir die Oktave Teilen ist also

$$\sqrt[n]{2},$$

wobei n angibt, wie oft das a/b multipliziert werden soll, also wie viele (gleiche) Töne man je Oktave haben möchte. Das müssen nicht 12 Sein. Die westliche gleichschwebende, äquidistante Temperierung teilt die Oktave in 12 gleich große Halbtöne. Der Halbton beträgt 100 cent. der Ganzton 200cent, die kleine Terz 300, die große Terz 400, die Quarte 500, die Quinte 700, usw. Es kommt dabei nie ein Intervall von $3/2$, $5/4$ oder $7/6$ zustande! Die temperierten Intervalle passen -außer den Oktaven- nicht zur Obertonreihe: Die Quinten passen fast (2 cent Differenz), die großen Terzen weniger (14 cent Differenz), die Septim passt gar nicht.

12 ergab sich aus dem Quintenzirkel, weil man die zwölfte Quint als nahe genug bei der Oktave betrachtet hat: z.B. His = C. Man hätte auch nach 5 oder 7 Quinten sagen können: "das ist genau genug, C G D A H - H ist nahe genug beim C" - das wäre 5 Töne. Oder man "sagt C G D A H Fis Cis - Cis ist nahe genug beim C" - das ergibt 7 Töne. Teilt man bei solchen Quintenschichtungen den "Fehler" auf indem man die Oktave in 5 bzw. 7 gleiche Teile teilt, so ergibt das äquidistante Pentatonik bzw. Äquiheptatonik. Die Teilung der Oktave in 6 gleiche Intervalle ergibt die Ganztonskala.

Ebenso gut kann man aber sagen: "His=C? (wie im 12tönigen Quintenzirkel) Das ist mir nicht genau genug!". Dieser Fehler um den eine Schichtung von 12 Quinten zu groß sind um eine Oktave zu ergeben, nennt man pythagoreisches Koma (23,46 cent , ein Intervall in Bereich zwischen 8-tel und 9-tel-Ton).

Eine wesentliche Verbesserung (der Abweichung der temperierten Intervalle von natürlichen Quinten und Terzen) gegenüber 12 Halbtönen pro Oktave ergibt sich erst bei Aufteilung der Oktave in 31 oder 53 Töne¹³. Man könnte die Oktave also auch in 53 Teile teilen. (Das sind dann zirka Neunteltöne - ähnlich dem Koma). Die türkische Makamtheorie z.B. verwendet solche Neunteltöne, freilich nicht als melodische Intervalle aber als deskriptive Größe. Damit werden wir uns in einer der nächsten Stunden auseinandersetzen.

¹³ Spitzer, Manfred: "Musik im Kopf,Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk". Schattauer, 2005.S 107 .