

Spektralklänge und harmonikale Ordnung im Klangkosmos des Vogelgesangs

Was Messiaen noch nicht hören konnte von einer Musik, die Vögel seit Millionen Jahren singen

„Durch all die Wälder hörten sie die bezaubernden Töne
Zwitschernder Vögel und versuchten, ihre Stimme nachzubilden
Und zu imitieren. So lehrten die Vögel dem Menschen
Lieder noch bevor er selbst zum Künstler wurde.“
(Lukrez: Über die Natur der Dinge)

Überall auf der Welt - von den Pygmäen und den Hirtenflöten über Vivaldi bis zu Beethoven, Mahler und R. Strauss - gibt es menschliche Musik, die sich von Vogelklängen ableitet. In besonderer Weise hat sich Oliver Messiaen intensiv mit den Vogelgesängen beschäftigt und ihre Gesänge nach dem Gehör notiert, um sich von ihnen inspirieren zu lassen und sie in seine Kompositionen zu transformieren. Er suchte nach seiner eigenen Aussage „das wahre, verlorene Gesicht der Musik irgendwo draußen, in den Wäldern, in den Feldern, in den Bergen oder an der Küste, unter den Vögeln.“ Er war so fasziniert vom Gesang der Vögel, daß er sie für „die wahrscheinlich größten Musiker (hielt), die unseren Planeten bewohnen.“ „Die Vögel“, sagte er, „das ist das Gegenteil der Zeit; das ist unser Wunsch nach Licht, Sternen, Regenbögen und jubilierenden Vokalisieren!“

Messiaen hatte sicher ein außerordentlich feines und genaues Gehör, doch waren auch seinen Ohren die natürlichen Grenzen des menschlichen Hörvermögens gesetzt. Wir Menschen können im Vogelgesang nur bis etwa 3000 Hz Tonhöhen oder Tonfolgen hinreichend unterscheiden. Was im Bereich von 3-6000 Hz liegt, hören wir als Zwitschern, und alles was noch höher liegt (5-10 kHz), nehmen wir, wenn überhaupt, nur als geräuschartig wahr.

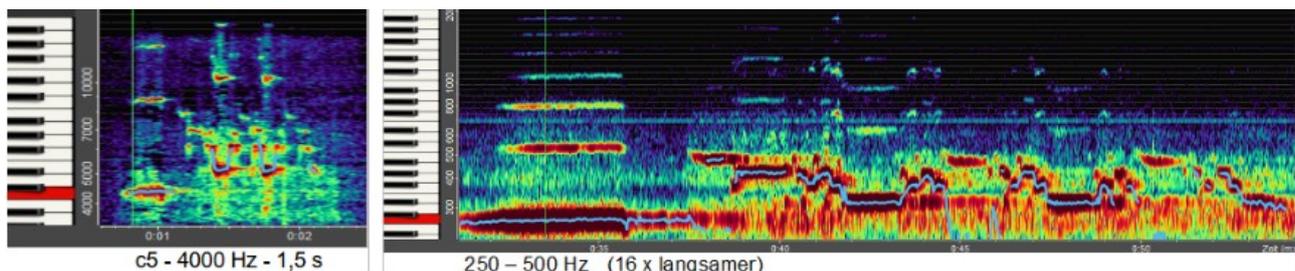
Der ungarische Musikwissenschaftler und Bioakustiker *Peter Szöke* hat in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts eine Möglichkeit entdeckt, durch oktavierendes Transponieren hörbar zu machen, was sich für unser Hörvermögen im Zwitschergesang der Vögel verbirgt. Er nannte es „The true Music of Birds“ oder „Die unbekannte Vogelmusik“. Er hat die Gesänge von den unterschiedlichsten Vögeln mit einem analogen Tonbandgerät aufgenommen und dann den Gesang eines Vogels langsamer abgespielt. Erst doppelt so langsam, dann 4x, 8x und dann 16x so langsam.

Durch das oktavierende Transponieren im Spektrum und in der Zeit verändert sich innerhalb des Klangs und/oder des Klanggeräusches (Zwitschern) nichts in der Struktur, in der vertikalen Schichtung und Verteilung der Frequenzen sowie in den zeitlichen und dynamischen Proportionen. Was sich aber immer mehr verändert, je tiefer und langsamer die Klanggeräusche/Geräuschklänge zu hören sind, ist das, was wir Menschen davon und darin hören und wie wir es hören. Wir hören in jeder tieferen und langsameren Dimension immer mehr - mehr Klang, mehr Klangfarben, mehr Spektrum, mehr Vielfalt, mehr Klarheit. Und das Erstaunlichste ist: Aus dem ursprünglichen Geräusch, Geräuschklang und Zwitschern heraus erklingen 4 Oktaven tiefer bei manchen Vögeln klare Intervallfolgen oder Klangfiguren und es entfalten sich regelrecht klingende Melodien.

*„Wir hören von der Welt nur das, was unsere Ohren uns mitzuteilen vermögen.
Höre, was zu hören ist !“*

Der Gesang der Einsiedlerdrossel (Hermit Thrush) – die Melodie im Zwitschern

Wie sich aus einem zwitschernden Geräusch eine unerhörte Melodie entfalten kann



Das Zwitschern der Einsiedlerdrossel, so wie wir es hören: ein kurzer Ton von 0,3 Sekunden bei etwa 4000 Hz (c5), für das menschliche Ohr gerade noch als einzelne, aber undefinierte Tonhöhe wahrnehmbar, gefolgt von einem schnellen geräuschhaften Zwitschern zwischen 5–8000 Hz. Die ganze Strophe dauert wie die meisten Strophen der Einsiedlerdrossel nur 1,5 s. In der Originallage bei 4-8 kHz ist zunächst nur ein leises, geräuschartiges fiepigiges Zwitschern zu hören, das sich eine Oktave tiefer schon eher wie ein Tirilieren anhört. Noch eine Oktave tiefer meint man, ein schnelles Gezwitscher auf einer kleinen Flöte zu hören, und es sind schon einige einzelne Töne herauszuhören. 3 Oktaven tiefer weiß man nicht genau, ob da von jemand etwas geflütet, gerufen oder gar gesungen wird. Und dann: 4 Oktaven tiefer (250-500 Hz), im langsamen Tempo und im menschlich vertrauten Hörbereich, entfaltet sich eine unerwarteter und unerhörter großer Gesang, von deren Klang und Charakter man sich regelrecht verzaubern lassen kann. Es ist eine pentatonische Melodie, eingeleitet durch einen langen vollen Schwellklang auf c1.

Peter Szöke hat dann folgendes Experiment quasi zur Überprüfung der Transponierung gemacht: Er hat die Melodie auf Tonband nachgesungen und sie dann stufenweise in Oktavierungen 16-fach beschleunigt, und „siehe da“ bzw. „hört, hört“: in der 4. Oktave ist wieder das gleiche geräuschartige Gezwitscher der Einsiedlerdrossel zu hören wie im Original. Am Ende ist die Melodie wieder im Gezwitscher der Einsiedlerdrossel verschwunden.



Wer ließe sich nicht von diesem tiefen Gesang der Einsiedlerdrossel anrühren, einem wahrhaft unerhörten Klang? Allein schon der erste lange Schwellklang: aus welchen Räumen, welchen Tiefen dringt er an unser Ohr, welche Dimensionen durchmisst er oder hat er durchgemessen, wenn er in unseren Hörbereich eindringt, sich regelrecht in meinen Ohren einnistet?

Je weniger ich diesen Klang benennen oder definieren kann, umso mehr berührt er mich auf eine geheimnisvolle Art und Weise. Er kommt mir fremd vor wie aus fernen unerreichbaren Welten und zugleich geht er mir nahe, als würde er etwas Vertrautes in mir anklingen lassen.

Und die Melodie, wie sie so sanft und intensiv den von dem großen Schwellton eröffneten Raum durchklingt, etwas träge und doch geschmeidig bewegt. Rührt sie etwa her aus dem „Lied, das in allen Dingen schläft“? Die vier Töne der Melodie erklingen in der Tonfolge fast wie zufällig aneinandergereiht und scheinen zugleich wie hypnotisch einem „Ariadnefaden“ durch unsere Hörschnecke zu folgen, als wären sie, für unsere Ohren unhörbar, in immerwährender Schwingung und immer schon dagewesen als Elemente eines atmosphärischen Spektrums von Klängen und Geräuschen, aus dem heraus sie nun im Hören der Melodie in Erscheinung treten und auf die Resonanz der Sinneshaarzellen in der Cochlea treffen, die schon in schwingender Bereitschaft vibrieren. Im Hören wird etwas in mir lebendig, es entsteht eine bebende Erregung wie auch die länger erklingenden Töne, das As und das Es, beim ersten Mal leicht zu beben beginnen und beim zweiten und dritten Mal aus sich heraus ins Tremolieren geraten.

Die Einsiedlerdrossel lebt in Nordamerika. Ihr eigenartiger wundersamer Zwitschergesang hat Dichter wie Walt Whitman und T.S. Eliot zu hymnischen Naturgedichten inspiriert. Ein kanadischer Naturforscher schrieb 1888 über ihren Gesang: „Die Musik der Einsiedlerdrossel erschreckt einen nie; sie harmoniert so perfekt mit der Umgebung, oft geht man an ihr vorbei, ohne sie überhaupt zu bemerken. Aber einem aufmerksamen Zuhörer raubt sie die Sinne, wie die stille Schönheit eines Sonnenuntergangs.“

Hörbeispiel 1: "Die Melodie im Zwitschern" <https://youtu.be/KMs5kZwNRHY> (00:06)

Zu meinem Analyseverfahren anhand von Spektrogrammen mit logarithmischer Skalierung:

Peter Szöke konnte den 16-fach verlangsamten Gesang der Einsiedlerdrossel nur nach dem Gehör notieren. Meine Analysen des Vogelgesangs erfolgen mit Hilfe der Software "Overtone-Analyzer" (<https://www.sygyt.com/>), mit dem das Spektrogramm einer Audiodatei im Ablauf angezeigt werden kann. Am Overtone-Analyzer können die Tonhöhe und die Lautstärke jedes Teiltons bzw. jeder Frequenz eines Klangspektrums abgelesen werden, die Frequenz ± 50 Cent und die Lautstärke bis auf Zehntel Dezibel.

Man kann das Spektrum bis zum 128. Teilton (!) ablesen, das sind 7 Oktaven über dem Grundton (bei G = 100 Hz liegt der bei 12,8 kHz). Bei der Amsel habe ich solche außerordentlich hohen Frequenzspektren tatsächlich gefunden.

Bei 6000 Hz beträgt ein Halbton etwa 300 Hz (bei a1 ca. 25 Hz). In diesem weiten Range singen die Vögel Oktaven, Quinten, Naturseptimen mit einer Differenz von teilweise nur 5 Hz, wenn die Proportion nicht sogar frequenzgenau ist, was meist der Fall ist, auch im zweistimmigen Gesang. Zur Analyse ist es da hilfreich, daß man im Overtone-Analyzer in der Vertikale des Spektrums und in der horizontalen Zeitachse in einen Klang hineinzoomen kann wie mit einem Klangmikroskop. Ein Tonhöhenmarker zeigt den lautesten Klang in einem Spektrum an, was nicht immer der Grundton ist. Dieser Marker bildet auch in der tiefen Lage genau die Vibratobewegung ab, die z.B. bei der Amsel 600 Pulse pro Sekunde betragen kann. Das Vibrato kann in einem Klang schneller oder langsamer werden und die Amplitude kann in der Dynamik größer oder kleiner werden (normalerweise ist es ein Halbton). In 2-stimmigen Intervall-Klängen oder in Spektralklängen (s.u.) zeigt der Marker den harmonischen Grundton an, also den nicht klingenden virtuellen Grundton, meist die Oktave unter dem 2. Teilton.

Die oktavierende Transponierung (Tempo/Tonhöhe 50 %) erfolgt mit „Audacity“.

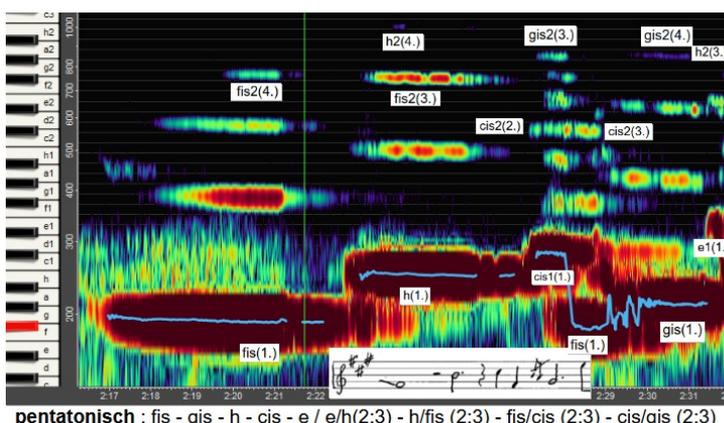
Die Skalierung der Frequenzen ("Tonhöhe") im Spektrogramm erfolgt nicht linear (1-2-3-4 ... kHz), sondern *logarithmisch* (h1-h2 = 500 Hz, h2-h3 = 1 kHz, h3-h4 = 2 kHz ...). (Vergleich linear / logarithmisch im Anhang S. 15)

Das Gehör der Singvögel und das Gehör der Menschen "rechnet" logarithmisch (Basiszahl 2), so wie wir auch Lautstärkeverhältnisse logarithmisch wahrnehmen (plus 10 dB = Verdoppelung). Wenn ein Star ein Glissando von h3 (2000 Hz) nach fis4 (3000 Hz) pfeift, kann ich das spontan nachpfeifen, weil ich im gleichen Frequenzbereich pfeifen kann, aber ohne zu wissen, wie hoch das ist und ob das eine Quinte ist. Mein Gehör "errechnet" die Proportion 2:3 und "analysiert" das Spektrum. Und wenn ich das Glissando in meiner Stimmlage spontan imitiere, singe ich das von H bis fis (125 Hz - 187,5 Hz = 2:3) oder von h (250 Hz) nach fis1 (375 Hz), ohne zu wissen, welche "Tonhöhen" das sind und ob das jeweils eine Quinte ist. Ebenso kann eine Amsel 2-stimmig die Quinte h3/fis4 (2/3 kHz) singen oder eine Quarte von fis4 (3 kHz) nach h4 (4 kHz), ohne zu wissen, daß das eine Quinte und das andere eine doppelt so hohe Quarte ist, es ist einmal das Verhältnis 2:3 und dann das Verhältnis 3:4. Die Proportion macht den energetischen Effekt.

"Musik ist die versteckte arithmetische Tätigkeit der Seele, die sich nicht dessen bewußt ist, daß sie rechnet." (Leibniz)

Pentatonik im Gesang der Einsiedlerdrossel

Pentatonische Tonfolgen habe ich in mehreren Strophen verschiedener Einsiedlerdrosseln entdeckt. Meist sind Folgen von 4 Tönen, die in einer genauen Quintbeziehung (2:3) stehen. Mit sogenannten Naturtönen, wie es in manchen Texten zum Gesang der Einsiedlerdrossel heißt, haben ihre pentatonischen Melodien nichts zu tun, weil es in ihren Tönen keine Beziehung zu einem bestimmten Grundton mit seinen Obertönen gibt wie bei einem Instrument wie dem Alphorn, auf dem mit Tönen aus der Naturtonreihe Melodien gespielt werden können. In einer Naturtonreihe wie C-c-g-c1-e1-g1-b1-c2... (1:2:3:4:5:6:7:8:9 ...) gibt es keine Reihe von Tönen, die alle im Verhältnis einer Quinte (2:3) zueinander stehen, außer 2:3 und 6:9.



Jeder der Hauptklänge in einer pentatonischen Tonfolge der Einsiedlerdrossel hat ein eigenes, mehr oder weniger stark ausgeprägtes Spektrum an Teiltönen bzw. "Naturtönen", die in dem jeweiligen Grundklang mitklingen (links ein Ausschnitt aus einer Strophe mit der pentatonischen Tonfolge fis-gis-h-cis-e). Auf dem Overtone-Analyzer kann man so im Frequenzspektrum erkennen und ablesen, daß z.B. der Oktav-Teilton von 'fis' (4. Teilton fis2) genau auf der

gleichen Frequenz liegt wie der Quint-Teilton von 'h' (3. Teilton fis2). Ebenso entspricht der Quint-Teilton von 'fis' (cis2) dem 2. Teilton von cis1. Der 3. Teilton wiederum von cis1 (gis2) hat die gleiche Frequenz wie der 4. Teilton (gis2) von 'gis'. Und auch das 'h' und das e1 sind über das Spektrum miteinander im Einklang (h2 - 4. Teilton von 'h' = h2 - 3. Teilton von e1).

Es gibt also im Klangspektrum eine Beziehung der einzelnen Töne zueinander über das Quintverhältnis der Grundklänge hinaus. Bei einer Melodie mit nur 4 Tönen wie ganz oben (b-as-ges-es) ist das Frequenzverhältnis zwischen 'as' und 'ges' eine None (9:4), also die exakte Doppelquinte.

Bei allen Gesängen der Einsiedlerdrossel mit pentatonischen Tonfolgen kann der Eindruck entstehen, die 4 Töne würden in einer Folge auf einer Flöte gespielt, die über die entsprechenden Löcher genau für diese 4 Töne verfügt, also als sei die Flöte pentatonisch gestimmt. Oder anders gesagt, für mich klingt es fast so, als würde jeder Ton an seinem Platz im Spektrum quasi kurz einrasten, als gäbe es im Gehör des Vogels ein Raster oder ein Modul für diese in Quint-Beziehungen geordnete Tonfolge. Und zugleich klingt diese einfache, schöne Melodie ganz spielerisch, fast zufällig, wie im Moment entstanden - einfach schön!

(Das älteste Musikinstrument, die Knochenflöte vom Geißenklösterle, ist pentatonisch gestimmt.)

Der sehr lange Initialklang 'c' im obige Beispiel paßt nicht in die pentatonische Tonfolge. Ich konnte mir erst keinen Reim machen auf diesen so reizvollen, voll und wohl klingenden Eingangsklang, bis ich bei der Berechnung der Frequenzverhältnisse probeweise mal den 7. Teilton (b3) von c1 berechnet habe, also die Frequenz von c1 mit 7 multipliziert und das Ergebnis durch 4 dividiert habe, und siehe da, das war genau die Frequenz des b1, mit dem die pentatonische Tonfolge beginnt. Sie beginnt mit der bei vielen Singvögeln sehr beliebten "Naturseptime", die auch im Spektrum vieler Klänge verstärkt in Erscheinung tritt. Was für eine wundersame Ordnung der Klänge im Gesang der Einsiedlerdrossel!

noch eine pentatonische Melodie: fis – gis – h – cis – e (vgl. Beispiel oben)

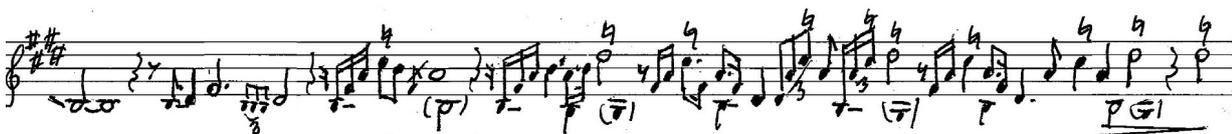


Neben diesen pentatonischen Tonfolgen gibt es auch Melodien, in denen die einzelnen Töne durch reine Quinten, Quartan, Große Terzen im Klangspektrum aufeinander bezogen sind, auch Septime und Tritonus tauchen auf sowie Dur- und Moll-Dreiklänge. Ganz wunderschön klingen Melodien mit einem Arpeggio durch einen reinen und kompletten Dur-Septnonakkord, mit dem Grundton als Initialklang, einem reinen Dur-Dreiklang und der entsprechenden Naturseptime und der None als Doppelquinte zum Grundton: B-Dur-Septnonakkord (b-d-f-as-c) oder A-Dur-Septnon-Akkord (a-cis-e-g-h = 4.-5.-6.-7.-9. Teilton). Einmal gibt es sogar eine Melodie mit einer Ganzton-Folge (a-h-cis-dis-f-g), in der alle Töne in einer Terzbeziehung (4:5) zueinander stehen (a-cis, h-dis, des-f, es-g).

B-Dur-Septnonakkord : d - f - as - b - c



H-Dur-Septakkord mit Kleiner None und Dezime (c und d) und einer Modulation von H7 über einen verminderten Septakkord nach G-Dur



A-Dur-Septnonakkord : a - cis - e - g - h



Erstaunlicherweise habe ich auch noch Melodien der Einsiedlerdrossel gefunden mit dorischen und phrygischen Tonfolgen. Die Einsiedlerdrossel singt und "musiziert" also in Tonfolgen, die im Klangspektrum, im Ablauf und in der Struktur in gleicher Weise organisiert sind wie auch elementare Modelle von Menschen gemachter und praktizierter Musik: pentatonisch, modal, harmonikal und diatonisch.

dorisch



phrygisch



Ganztonfolge in 2 Strophen: a-h-cis-dis-f-g



6. Strophe



8. Strophe

Beim Verhältnis der Töne zueinander macht es meiner Meinung nach wenig Sinn, von Mikrointervallen oder von "Mikromusik" (P. Szöke) zu sprechen, weil es naturgemäß keine Beziehung zu einer definierten oder gar temperierten Skala gibt. Mal ist eine Große Sekunde halt ein bißchen größer, mal ein bißchen kleiner, falls wir das mit unseren Ohren überhaupt differenzieren können. Entscheidend ist die Proportion der Intervalle in ihrem Spektrum. Zugleich ist es umso erstaunlicher, wie frequenzgenau etwa eine Quinte oder auch Tonwiederholungen intoniert sind, ganz zu schweigen von den Übereinstimmungen bei Wiederholungen des gleichen Strophentyps selbst bei großem Abstand, z.B. die Quinte c1 (256 Hz) / g1 (384 Hz), also die exakte Proportion von 2 : 3 in einer pentatonischen Melodie. Diese Quinte erklingt frequenzgenau in der 1. und 13. Strophe eines Gesangs.

Hörbeispiele zur Einsiedlerdrossel: <https://youtu.be/KMs5kZwNRHY> (06:26 ff)

4 Pied Butcherbirds singen im Chor

4-stimmiger Gesang - synchronisiert und koordiniert, korrelierend und korrespondierend in Intonation, Harmonik, Tempo, Rhythmus, Phrasierung, Gestik

Die Pied Butcherbirds ("Gescheckte Metzgervögel") sind eine Elsternart, die endemisch in Australien beheimatet ist. (Die ersten Singvögel gab es evolutionär in Australien.) Ich hatte gelesen, daß diese Vögel mehrstimmig zusammen singen, und wollte das unbedingt mit dem Overtone-Analyzer überprüfen. Zufällig stieß ich auf ein Video, in dem 4 PBB's (Männchen und Weibchen) auf einem Baum sitzen und zusammen singen, nicht nur tatsächlich vierstimmig, sondern - ich kam in meiner Analyse aus dem Staunen und Wundern nicht mehr heraus - synchronisiert und koordiniert, korrelierend und korrespondierend in Intonation, Harmonik, Tempo, Rhythmus, Phrasierung und sogar Gestik !

Hier die Zusammenfassung meiner Analyse:

Im Chor- oder Ensemblegesang singen die PBBs abwechselnd, gleichzeitig und teilweise zwei und mehrstimmig. Es gibt in allen Strophen eine Baßstimme, Mittelstimmen und eine Hauptstimme. Jede Lage wird von unterschiedlichen PBBs gesungen; genau das gleiche Motiv kann in verschiedenen Strophen von anderen PBBs gesungen werden, sie sind dann in den Tonhöhen, dem Rhythmus und der Länge exakt identisch. Zwischen den Strophen sitzen die PBBs meist

ruhig da, dann kommt von einem Vogel ein Initialklang und unmittelbar setzen die anderen ein. In allen Strophen gibt es einen rhythmischen Puls, auch durch die Pausen hindurch, dem alle Vögel folgen, auch beim Einsatz der Stimmen in der Zweistimmigkeit. Bestimmte Tonhöhen innerhalb einer Strophe und in verschiedenen Strophen sind frequenzgenau identisch. Intervalle zwischen den Tönen und Klängen verschiedener PBBs entsprechen sich meist frequenzgenau im harmonikalen Spektrum (Quinte 2:3, Terz 4:5). Es gibt sogar eine 2-stimmige Septime ($d3/c4 = 4:7$), d.h. wenn ein PBB zu dem $c4$ eines anderen PBB mit der Unterseptime $d3$ einsetzt, ist der 7. Teilton von $d3$ identisch mit dem 4. Teilton von $c4$. In einer anderen Strophe singen 2 PBBs gleichzeitig die Septime $c4$ und ein anderer PBB das $d3$.

Im Gesang von PBBs gibt es schöne Klangfiguren, höchstes Können in der Variation, flexible Ornamentik, musikalische Vorstellungskraft, differenzierte Intonation, präzise Koordination sowie harmonische Ordnung und Variabilität in Klang und Rhythmus. Das alles nicht nur bei 1 Vogel wie bei der Amsel, sondern im alternierenden 4-stimmigen Gesang von 4 Vögeln.

Die Verlangsamung in Oktaven offenbart, daß im Klangkosmos des Vogelgesangs dieselbe *harmonikale Ordnung der Natur der Klänge* wirkt, wie sie schon Pythagoras entdeckt hat und wie sie in gleicher Weise den unterschiedlichsten Ausprägungen und Kulturen der Musik zugrunde liegt, die von Menschen in dieser natürlichen harmonikalen Ordnung entdeckt, gefunden, erfunden wurde und gemäß dieser "schönen Ordnung" praktiziert und aufgeführt wurde und wird, im gemeinsamen Singen und Musizieren mit anderen menschlichen Wesen.

Millionen von Jahren vor Beginn der menschlichen Musikkultur entwickelten Singvögel über die biologische Funktionalität hinaus die Fähigkeit, einander zuzuhören und gemeinsam zu singen, im gleichen Puls, in einem vielfältigen und mehrdimensionalen harmonischen Klangspektrum. So können wir noch heute hören, wie jede Gattung und jede Art von Singvögeln ihre spezifische Art gefunden hat, *lebendig und kreativ zu singen, also Klänge und Musik schöpferisch zu gestalten und damit den Kosmos des Klangs zum Leben zu erwecken, ihn lebendig werden zu lassen in schwingendem und vibrierendem Gesang.*

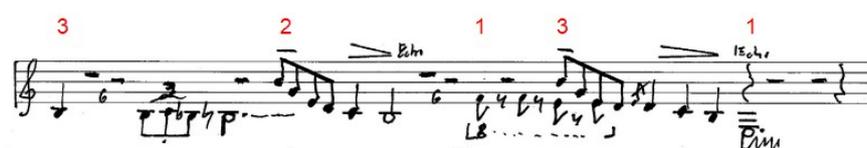
Die 4 Pied Butcherbirds dokumentieren dies mit ihrem Chorgesang.

Ein besonderes musikalisches Phänomen muß ich noch hervorheben: In den 11 Strophen ist 12x tatsächlich eine *phrygische Tonfolge* zu hören, erst in einer Kurzform und dann in der vollen Skala, immer der gleichen Grundphrasierung, d.h. absteigend und abphrasierend in die abschließende phrygische Sekunde hinein, jeweils mit unterschiedlichen Vorschlägen und Verzierungen, immer stimmig intoniert zu einem von einem andern PBB gesungenen Grundklang und in jeder Strophe von einem andern PBB gesungen. Und das Verrückteste ist: Jeder PBB, der gerade dieses Motiv singt, reckt erst den Schnabel zum Himmel und macht dann, passend zur Phrasierung, eine große Verbeugung!

2. Strophe mit 3 phrygischen Motiven



9. Strophe mit 2 vollständigen phrygischen Motiven (Dauer: 0,023 s)



Hörbeispiele zu Pied Butcherbirds: <https://youtu.be/KMs5kZwNRHY> (20:26)

2-stimmiger Gesang bei Singvögeln

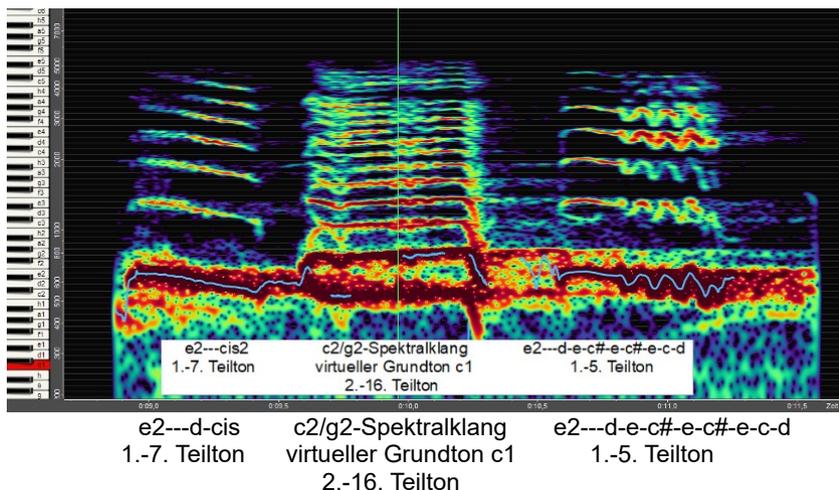
Da die Syrinx der Singvögel aus 2 "Stimmköpfen" besteht, eine "Doppel-Syrinx" am Ende (!) der Lufttröhre mit jeweils unabhängig voneinander innervierbarer Membranen, können sie mit je einem Stimmkopf einen eigenen Klang produzieren mit klingender Tonhöhe (Grundklang mit spezifischem Teiltonspektrum) und ebenso unterschiedliche Klänge alternierend zwischen beiden Stimmköpfen

hervorbringen. Einige Singvögel haben die Fähigkeit erworben, auch real 2-stimmig zu singen, d.h. sie können mit beiden Stimmköpfen unterschiedliche Töne/Klänge bilden, verschiedenartige Klangfiguren beider Membranen in Beziehung setzen, unterschiedliche Arten von Intervall-Triller und auch gegenläufige Klangbewegungen (Triller, Glissandi) vollführen und vieles mehr. Und all diese artistischen Gesangkünste bewegen sich in *einem*, gemeinsamen und korrelierenden Spektrum.

Die 2-stimmigen Motive und Gesänge können quasi mehrstimmige, "wohlgeordnete" und proportional strukturierte Spektralklänge sein, in denen es in jeder Membran ein eigenes Spektrum gibt und beide Spektren auf wundersame Weise miteinander korrespondieren (Wechselwirkungen von stehenden Wellen und Resonanzen im Raum der Luft-Röhre). Koordiniert wird diese komplexe Klangerzeugung über das Gehör durch ein wechselseitiges Zusammenspiel zwischen Ohren und Syrinx, gesteuert über rückkoppelnde Prozesse und synergetische Effizienzregelung im Regelkreis von Vokalisation-Vagusnerv-Hören, integriert über die Formatio Reticularis (Nervengeflecht im Stammhirn mit efferenten und afferenten Nervenverbindungen zur Cochlea) - ein Prozeß der *Selbstorganisation* in einem komplexen System.

Über das gleiche rückkoppelnde sensorische System kann auch in der menschlichen Stimme ein unterschiedliches Klangspektrum auf der gleichen Tonhöhe entstehen - heller-dunkler-farbiger-sonorer-brillanter oder als Chiaro-Scuro mit silbernen hohen Frequenzen und zugleich mit rundem, vollen Grundklang. Und ein Klang bzw. eine gesungene Tonhöhe kann im mehrstimmigen Gesang in Übereinstimmung mit dem Gesamtspektrum als Grundton klingen (grundtönig rund und voll), als Quinte (quintig offen, wie in einer Kuppel) oder als Terz (von der Quinte her gehört und in Beziehung zum Grundton), also nicht als Ton etwa tiefer oder höher intoniert.

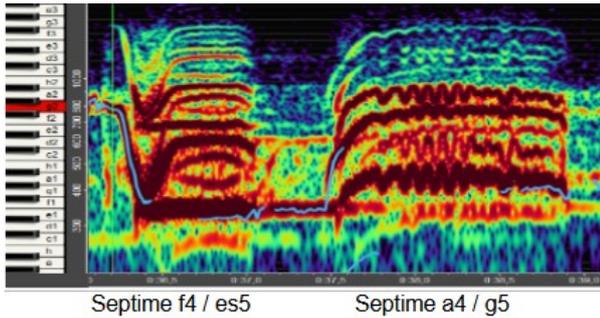
2-stimmiger Gesang einer Amsel



Einen 2-stimmigen Spektralklang erkennt man im Spektrogramm (mit logarithmischer Skalierung) auf den ersten Blick daran, daß im gesamten Teiltonspektrum des Klangs zwischen der tiefsten und der folgenden Frequenz keine Oktave liegt (= 1. und 2. Teilton), sondern z.B. die Quinte c4/g4, der dann im Spektrum folgen: c5(4.)-e5(5.)-g5(6.)-b5(7.)-c6(8.)-d6(.) usw. Die lautesten Klänge in diesem Spektrum sind c4 und g4, der 2. und 3. Teilton. Diese beiden klingenden Stimmen können in ihrem jeweiligen Spektrum und in ihrer spektralen Struktur so übereinstimmen, daß relativ klar ein "C-Dur"-Spektralklang zu hören ist, obwohl es keine Terz zwischen c4 und g4 gibt. Das gemeinsame Spektrum aller Teiltöne aus der Schwingung beider Membranen kann eine ganz eigene Klangfarbe haben. Ein Vogel singt dann zwar eine reine Quinte (exakt 2:3), aber das hört sich nicht nach einem 2-stimmigen Intervall an, ähnlich wie auf dem Klavier, sondern es schwingen alle andern Frequenzen dieser beiden Stimmen mehr oder weniger mit, und das ergibt ein wahres Spektrum an Farben im Klang.

Solche 2-stimmigen Spektralklänge habe ich besonders häufig bei der Amsel gefunden, als Quinte (2:3), Quarte (3:4), Terz (4:5), Sexte (5:8), Septime (4:7) oder None (4:9). Im Morgengesang einer Amsel gab es in einer Strophe ein 2-stimmiges Motiv, das aus einem Triller und einem Glissando in der Sexte g4/es5 endete. In der Verlangsamung klang die Sexte etwas verstimmt, und im Spektrogramm konnte ich sehen, daß nicht alle Teiltöne genau übereinstimmten, so daß eine

Schwebung zu hören war. Als die Amsel etwa 20 Strophen später die Strophe mit dem Sexten-Motiv wiederholte, stimmte das Spektrum exakt überein und die Sexte klang völlig klar, aber natürlich mit der charakteristischen Färbung eines 2-stimmigen Spektralklangs.



Andere 2-stimmige Motive der Amsel haben kein so homogenes Teiltonspektrum, wenn z.B. (links im Bild) eine "Stimme" ein starkes Tenuto auf f4 singt, während die andere vom f4 nach es5 in eine Tenuto-Septime gleitet, und zwar in die frequenzgenaue Proportion 4:7 (2752 : 4816 Hz - 2752 : 4 = 688 / 4816 : 7 = 688). Der virtuelle Grundton dieser Septime ist f2 (688 Hz). Neben dem f4 und dem es5 klingen auch die Oktaven von f4 (8.) und es5(14.) relativ intensiv

und interessanterweise auch noch die Quinte b5 zum es4, und zwar als 11. Teilton. Das ergibt einen Spektralklang mit einer besonderen Färbung: f4-es5-f5-b5-es6 (Dauer: 0,11 s).

Direkt im Anschluß folgt noch ein Septim-Spektralklang (rechts im Bild oben), in dem beide Stimmen vom f4 aus in eine Septime gleiten, die eine zum g4 mit einem Ganzton-Triller, die andere zum a5 mit einem Halbtontriller, beide Triller im gleichen Puls. Neben der Septime klingt nur noch die Oktave von g5 intensiv mit (Dauer 0,2 s).

Hörbeispiel zu "2-stimmiger Amselgesang mit C-Dur-Spektralklang":

<https://youtu.be/KMs5kZwNRHY> (24:12)

Spektralklänge

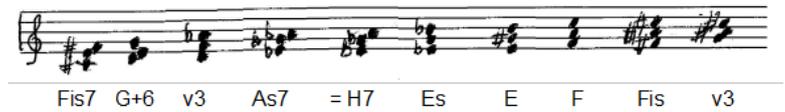
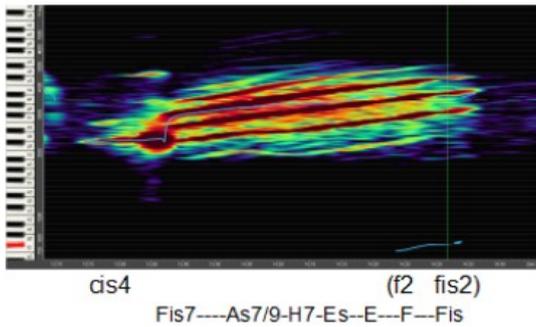
Mit ihrer doppelten Syrinx haben alle Singvögel die Fähigkeit, Spektralklänge zu produzieren, die dann entstehen, wenn die Membranen beider Stimmköpfe gleichzeitig schwingen und dabei mehr oder weniger miteinander koordiniert sind. Schon ganz junge Vögel im Nest erzeugen mit ihren Bettelrufen vielfarbige Spektralklänge ohne Grundton, die für uns auch in der Verlangsamung eher geräuschhaft klingen, die aber vermutlich für die Eltern eine Stimmung oder Erregung zum Ausdruck bringen. Die gleichen Klänge mit einer übereinstimmenden Spektrumsstruktur gibt es auch in den Lauten oder Rufen der Eltern. Selbst im "Krächzen" einer Krähe (ein Singvogel!) finden sich strukturell wohlgeordnete und wohlproportionierte, vielfarbige Spektralklänge, die sich in der Verlangsamung durchaus wie sehr eindrucksvolle farbige Klänge anhören, allerdings ohne eine einfache Information über eine Tonhöhe. Die Rufe einer Gruppe von Krähen stehen im Spektrum und in den Klangfiguren in Korrelation und Korrespondenz zueinander, es ist eine Art von "Konversation" in Spektralklänge.

Bei reinen Spektralklänge ist der Grundklang (1. Teilton) sehr schwach ausgeprägt und auch die ersten Teiltöne sind relativ leise. Die intensivsten Frequenzen liegen dann im Bereich zwischen dem 4. und 10. Teilton (2. Oktave und 2. Terz), manchmal sind es 3 Teiltöne "nebeneinander" bzw. "übereinander", die den größten dynamischen Pegel haben. Es können aber auch 6 und mehr Frequenzen sein, die zusammen ein dichtes Teiltonspektrum bilden. Das kann der Dreiklang Oktave / Terz / Quinte sein (4:5:6), der 5.-6.-7. Teilton (Terz / Quinte / Septime - verminderter Dreiklang), der 6.-7. oder auch der 8.-9. Teilton. Diese Teiltöne sind dann mehr als doppelt so laut wie der "Grundton", teilweise sogar um das Vierfache lauter. Und es gibt Spektralklänge, bei denen gar kein Grundton klingt, sondern nur das höhere, dichte und intensive Spektrum. Im Spektrogramm des Overtone-Analyzers wird aber vom Tonhöhenmarker exakt zum entsprechenden Spektrum der 1. Teilton ("Grundton") angezeigt, obwohl er physikalisch als Tonhöhe bzw. Frequenz gar nicht existiert. Es ist der *virtuelle Grundton* dieses Spektrums. In diesen Spektralklänge ist also nur ein Ausschnitt aus dem Spektrum dieser Klänge zu hören. Und dennoch ist bei allen Klänge der jeweilige "Grundton" so eindeutig wahrzunehmen, daß ich ihn spontan zu diesem Spektrum in meiner Lage singen kann.

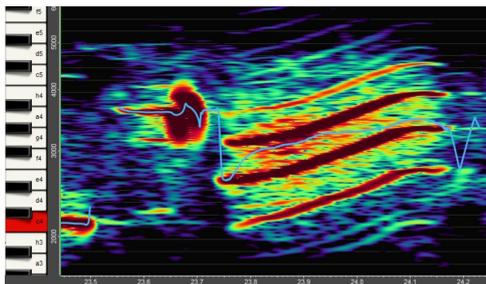
Spektralklänge der Dupont-Lerche

Ein wahrer Meister der Spektralklänge ist die in Nordafrika beheimatete Dupontlerche. In ihren Strophen tauchen immer wieder komplexe Spektralklänge auf, sehr feine, kristalline, irisierende Klänge, die eine zauberhafte Wirkung auf unsere Ohren haben. Das kann z.B. ein modulierendes

Glissando mit 3 Frequenzen sein durch harmonische Spektralklänge von einem Fis-Septnon-Klang in einen Fis-Dur-Dreiklang. (im Bild unten: f2 und fis2 als virtuelle Grundtöne)



Oder ein Spektral-Glissando von C7 nach Cis7 mit 2 Hauptfrequenzen (e/g nach gis/h) - von c/e/g durch verminderte Dreiklänge wie d-f-as nach cis/eis/gis/h.



Ein *Spektral-Glissando* ist schon als Ganzes ein zauberhaftes Klangphänomen, vor allem in der 8-fachen Verlangsamung, wenn unsere Ohren dem Klanggeschehen hinreichend folgen können, wenn *ein* Klang zu hören ist, der sich allmählich und kontinuierlich gleitend leicht in die Höhe bewegt. Zugleich ist es ein Prozeß, *ein* Klangprozeß, der *in sich* in Bewegung ist, changierend in seinen inneren Schattierungen und Färbungen, der aus diesem modulierenden Verwandlungsprozeß von innen heraus zu leuchten beginnt und seine Ausstrahlungskraft entfaltet. Erst recht verzaubert war ich, als ich in kurze Phasen dieses Verwandlungsprozesses hineinören konnte, die Erfahrungszeit sich dehnte für das Erleben und Erhören eines ganz spezifischen Klangspektrums, eines ganz eigenen Klangraums mit einer ganz eigenen Färbung, eine für und in sich schöne Ordnung ("Klangkosmos"). Mir wurde wieder bewußt, daß das, was am Overtone-Analyzer im Spektrogramm zu sehen und zu hören ist, in der Wirklichkeit der Raum-Zeit-Ordnung des Hörens tatsächlich *ein* Klang und ebenso ein *Klang* ist, etwas, das als Ganzes im *Einklang* ist.

Das sind nicht mehrere übereinander geschichtete Frequenzen im gleichen Zeitraum oder einzelne Tonhöhen, die gleichzeitig erklingen und sich zu einem Klang zusammensetzen. Das ist nicht vergleichbar mit einem am Klavier angeschlagen Akkord, in dem selbst bei ausgewogener Anschlagtechnik jede Saite ihre eigene Schwingung hat, und im besten Fall ein harmonischer Gesamtklang zu hören ist mit spezifischer Färbung durch die Mittelstimmen. Ebenso wenig ist es vergleichbar mit einem extrem homogenen 4-stimmigen Chorklang, von dem man vor lauter Angleichung und Abdämpfung der spezifischen Obertöne im Klang der einzelnen Stimme nur noch einen diffusen Gesamtklang hört.

Als ich diese Spektralklänge zum ersten Mal gehört habe, habe ich es erstmal gar nicht begriffen, daß ich im Spektrogramm 4 Frequenzen sehe, 2 Hauptfrequenzen in der Mitte, die eine Terz bilden, dazu eine nicht ganz so starke Unterstimme und eine feinere Oberstimme, daß ich aber tatsächlich keine Terz, keinen Akkord, nichts mehrstimmiges, keine Melodiestimme, keinen Grundton heraushören oder unterscheiden konnte. Und auch als ich schon wußte, daß es verminderte Dreiklänge sind, Septimklänge oder gar verminderte Septakkorde, kam ich immer wieder aus dem Staunen nicht heraus und war tief beeindruckt, daß ich wirklich nur puren Klang höre. Es kommt mir immer wieder beinahe so vor, als würde ich nur einen Ton hören, nicht im Sinne von dieser oder jener Tonhöhe, sondern mehr wie mit einer Stimme gesungen, eben ein "*Unisono*", ein *Einklang*. In diesem *einen* Klang reibt sich nichts und konsoniert auch nichts, da strebt nichts nach Auflösung wie in einem Dominantseptakkord, da verdichtet sich nichts in einem verminderten Septakkord und strebt in andere Harmonieräume hinein.

Meine Ohren sind erfüllt von diesem *einen* Klang und können zugleich nicht genug bekommen von dessen eigenartigem Charakter und seinen erregenden Qualitäten.

Ein besonderes musikalisches Phänomen, das mir zum ersten Mal bei der Dupont-Lerche begegnet ist, das aber auch in anderen Vogelgesängen auftaucht, ist die Terzverwandtschaft (*Mediante*). Da setzt die Lerche in einer Strophe mit einem Stimmkopf etwas früher ein und erzeugt einen vollen Grundklang auf 'c' mit Oktav- und Quint-Teilton, und dann kommt im anderen Stimmkopf die Quinte as/es hinzu, so daß im Ganzen ein As-Dur-Spektralklang zu hören ist, die Dur-Untermidiante. In einem Ruf erklingt erst 2-stimmig die Quinte e/h, dann der Grundklang 'e' mit 2. und 3. Teilton, zu dem dann die Quinte c/g im andern Stimmkopf mitschwingt, also ein E-Dur-Klang moduliert in die Mediante C-Dur - eine echte klangsinnliche Sensation für die Hörempfindung (ein beabsichtigter Pleonasmus in der Formulierung - vgl. ital. *sentire* : hören/spüren).

Wie ich aus der Analyse des Klangspektrums abgelesen und berechnet habe, kann die Dupont-Lerche mit jeweils einem Stimmkopf einen *verminderten Dreiklang* bilden, also einen jeweils eigenen Spektralklang mit virtuellem Grundklang und 5.-6.-7. Teilton, die in 2 Teilfrequenzen so übereinstimmen, daß beide Stimmköpfe zusammen einen einheitlich und zugleich komplex klingenden Gesamtklang erzeugen, ein Klang, den wir als *verminderten Septakkord* definieren können, oder schlicht und einfach : ein unbegreifliches *Wunderwerk an Koordination*, an Klang- und Gesangkunst aus dem Klangkosmos des Vogelgesangs!

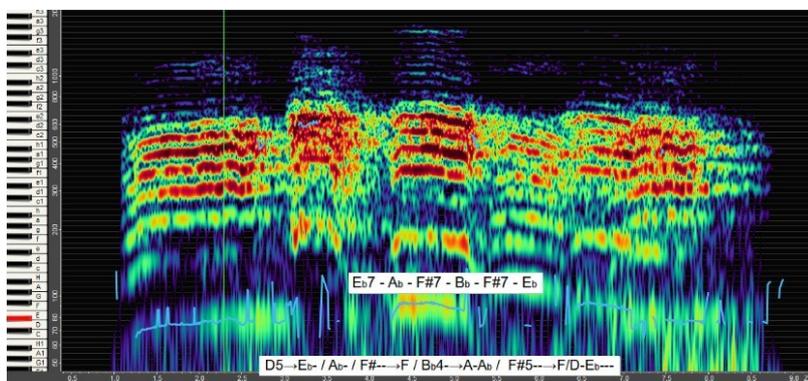
Hörbeispiel zu Spektralklängen der Dupont-Lerche: <https://youtu.be/KMs5kZwNRHY> (27:05)

Eine "Konversation" unter Zebrafinken in Spektralklängen

Der Zebrafink ist ein Schwarmvogel aus Australien. Es ist der "Lieblingsvogel" der Vogelgesangsforschung, dessen Verhalten sie isoliert im Labor untersucht. Sie ist der Ansicht, der Zebrafink würde so einfache "Silben" singen, daß man an ihm im Labor das vokale Lernen studieren könnte, weshalb man ihn genetisch manipuliert, sezirt und Gehirnteile verödet, um die neurobiologischen Grundlagen der menschlichen Sprache (!) zu ergründen. Und gleichzeitig, ich kann das aufgrund meiner Analysen so klar sagen, haben all diese Forscher schlicht keine Ahnung, was und wie die Vögel wirklich singen und hören, also sie kennen den tatsächlichen Gesang nicht und verstehen die Physiologie, Funktion und Akustik der Vokalisation von Singvögeln nicht.

Als ich mir den Gruppengesang von 12 Zebrafinken (Männchen und Weibchen) zum ersten Mal im Spektrogramm in der Originallage angeschaut habe, fiel mir gleich auf, daß es bei ihren Lauten keine einfachen Töne mit einer klaren Tonhöhe gibt und auch keine Klänge mit einem markanten Grundton, sondern daß alle Klänge ihre größte Intensität in einem höheren Frequenzbereich haben zwischen 2500 und 5000 Hz oder bei 3-6000 Hz. Wie ich dann zu meinem Erstaunen in der genaueren Analyse erkannte, produzieren die Zebrafinken in ihren Rufen durchweg komplexe Spektralklänge, die miteinander im Spektrum korrespondieren.

Hier als besonders exquisites Beispiel 4 Zebrafinken mit einer Folge von 6 Spektralklänge mit virtuellem Grundton in der Modulation: Es7(a)-As(b)-Ges7(c)-B(d)-Ges7(c)-Es(a) - und dazu auch noch die Baßlinie der virtuellen Grundtöne: es-as-ges-B-ges-es !



Das Erstaunliche ist, daß die Wendung von 'ges' zum tiefen B und wieder zurück tatsächlich zu hören ist, obwohl alle Klänge durchgängig nur im Spektrum der zweiten Oktave (4.-8. Teilton) konzentriert sind. Bei Ges7 sind es der 4.-7. Teilton und bei 'B' der 6.-9. Teilton. In dieser unterschiedlichen Spektrumsstruktur erkennt unser Ohr den Tonhöhenwechsel der Sexte!

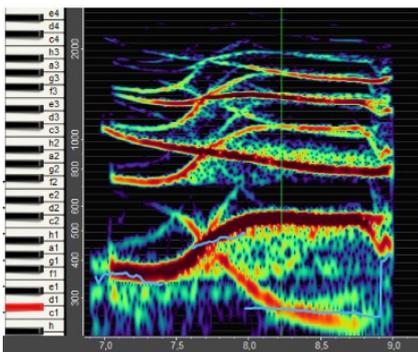
Als ich diese Klangfolge mit der Modulation von As-Dur in die doppelte Subdominante Ges7 und dann in die Obermediante B-Dur zum ersten Mal auf dem Klavier gespielt habe, ging mir das so in die Ohren, daß sich mein Puls vor vegetativer Erregung unmittelbar spürbar beschleunigte.

Die Zebrafinken brauchen wie alle Singvögel keine Bezeichnung von Tönen, keine Vorstellung von Tonhöhen und keine Harmonietheorie. Gleich ob im Rufen oder im Gesang und unabhängig vom Entwicklungsniveau ihres Gesangs, sie orientieren sich alle an der Spektrumsstruktur ihrer Klänge. Sie wiederholen in unterschiedlichen Phasen ihrer Kommunikation exakt den gleichen Spektralklang; sie singen gleichzeitig mit einem anderen denselben Klang; sie nehmen ein Spektrum auf und führen es in einen anderen Klang hinein, der wiederum mit dem vorhergehenden Klang über bestimmte Teilfrequenzen in Beziehung steht; lassen auf einen "D-Dur-Septklang" des einen Finken einen "G-Dur-Klang" eines andern Finken folgen; bilden zu viert oder zu sechst zusammenhängende Sequenzen aus Spektralklängen, die so zusammengefügt und verwoben sind, daß alle Spektren aufeinander bezogen sind; reagieren modulierend während (!) des Singens auf den Klang eines anderen Finken (B→Es); oder korrigieren sich sogar im Singen selbst, wenn die Koordination der beiden Membranen nicht funktioniert (Korrektur in 0,02 s).

Hörbeispiel zu Zebrafinken: <https://youtu.be/KMs5kZwNRHY> (31:47)

Amselgesang - ein 2-stimmiges Glissando-Motiv mit 2 Kombinationsklängen

Nach all meinen Analysen des Gesangs der 20 bekanntesten Singvögel ist für mich die Amsel stimmlich und musikalisch eindeutig der größte Gesangkünstler. An einem ganz besonderen Motiv, das ich in einem Morgengesang in einer von über 400 unterschiedlichen Strophen entdeckt habe, möchte ich das aufzeigen.



Es ist ein 2-stimmiges Motiv mit 2 gegenläufigen Glissandi, Dauer 0,33 s - ein Zwitscherlaut. Die Unterstimme singt erst ein fis4 (3000 Hz) und gleitet dann schnell in die länger dauernde Quinte cis4. Die Oberstimme gleitet kontinuierlich vom cis6 (9000 Hz) zum gis5, so daß am Ende die Quinte cis5/gis5 erklingt ($\text{fis4}:\text{cis6} = 1:3$ / $\text{cis5}:\text{gis5} = 2:3$).

Die Abweichung cis6/cis5 beträgt 5 Hz bei einem Halbtonabstand von 300 Hz. Beide Stimmen haben im Spektrogramm ihr eigenes Teiltonspektrum.

Seltamerweise zeigte das Spektrogramm aber darüber hinaus noch zwei eigenständige Glissandi an, die ich mir

zunächst nicht erklären konnte. Das eine macht eine kleine Wellenbewegung von fis6 nach f6 und das andere gleitet abwärts von fis5 nach cis4. Nach vielen Überlegungen und Berechnungen der Frequenzverhältnisse wurde mir klar, daß das f6 ein eis6 ist, also die Terz zu cis, die zum cis5 im Verhältnis 5:2 steht und zur Quinte gis5 im Verhältnis 5:3. Das tiefe cis4 ist demnach der 1. Teilton im Gesamtspektrum. Die Sensation war für mich, daß ich zwei *Kombinationsklänge* entdeckt hatte, die Terz als Summationston ($2+3=5$) und das cis4 als Differenzton ($3-2=1$).

In den Akustiklehrbüchern wird erklärt, daß Kombinationstöne ins Reich der Psychoakustik fallen und kein Mikrofon der Welt sie aufnehmen könne. Die Amsel offenbart in ihrem Gesang die wahre physikalische und spektrale Natur der Klänge, denn diese Kombinationsklänge sind reale Klänge, sogar mit eigenem Spektrum, die ich mit einem Filter als klingende Frequenz hörbar machen kann, so wie sie das Spektrogramm "errechnet" und angezeigt hat (Fourier-Transformation).

(Die Psychoakustik macht ihre Untersuchungen mit Sinustönen, die bekanntlich in der Natur nicht vorkommen und auf die weder die Ohren der Singvögel noch die der Menschen evolutionär geeicht sind.)

Wie kein Klang in sich linear aufgebaut und geordnet ist, so verläuft auch der Klangprozeß in und zwischen diesen beiden Stimmen nicht linear. In solch komplexen Strukturen und Prozessen gibt es offenbar Synergieeffekte, die zu einer Potenzierung der Klangenergie führen, wie hier in der Terzfrequenz. Und in der Verbindung oder Verkoppelung von langsamen und starken gleitenden

Veränderungen mit kontinuierlichen Elementen (Tenuto/Glissandi) können Schwingungsmuster in eine andere und auch höhere Ordnung *kippen*.

In dem System „Klang“ dieses 2-stimmigen Motivs bilden sich infolge des Zusammenspiels und Zusammenwirkens seiner Klangelemente (2 Stimmen und ihre Spektren) neue Eigenschaften und Strukturen heraus (Kombinationsklänge, Modulationen, virtuelle Grundtöne). Die „3. Stimme“ (Tartinis "*terzo suono*") mit ihrer eigenen Klangenergie kann man also als ein Emergenzphänomen bezeichnen und den Klangprozeß insgesamt als eine emergente Selbstorganisation.

Im gleichen Morgengesang gibt es noch in verschiedenen Strophen 12 weitere Motive mit Kombinationsklängen. Und im Jahr darauf sang dieselbe Amsel nach dem gleichen Modell wieder ein 2-stimmiges Motiv mit 2 Kombinationsklängen:

Unterstimme Glissando $fis_4 \rightarrow a_4$, Oberstimme Glissando $ais_5 \rightarrow a_5$

Kombinationsklang 1: $e_6 \rightarrow e_6 (2+5=7) - fis_4 = 2$. Teilton von fis_3 , virtueller Grundton - $ais_5 = 5$. Teilton - $e_6 = 7$. Teilton / $(1+2=3) - a_4 (1.) + a_5(2.) = e_6(3.)$

Kombinationsklang 2: $cis_5 \rightarrow a_4 (5-2=3) - ais_5(5.)$ minus $fis_4(2.) = cis_5(3.) / a_5(2.)$ minus $a_4(1.) = 1$.

Hörbeispiel zu Kombinationsklängen im Amselgesang: <https://youtu.be/KMs5kZwNRHY> (40:13)

Was der Vogelgesang uns lehrt : Die spektrale und harmonikale Natur des Klangs

Unser Gehör wie auch das der Singvögel ist kein "Tonhöhenrekorder", unser Ohr ist ein *aktiv-rezeptiver Spektrumswandler* !

Der Overtone-Analyzer zeigt das Gesamtspektrum eines Klangs an mit allen Teilfrequenzen, die in diesem *einen* Klang enthalten sind bzw. in ihm mitschwingen und klingen. Ein Klang setzt sich aber nicht einfach zusammen aus der Summe seiner tieferen und höheren Teiltöne und er besteht auch nicht nur aus einer klingenden Tonhöhe als Grundton mit der ganzzahlig angeordneten Reihe der "Obertöne" darüber. Jeweils nach Anzahl und unterschiedlich ausgeprägter Dynamik der einzelnen Teilfrequenzen und je nach der Dominanz einer Frequenz, die nicht immer der Grundton eines Spektrums sein muß, sowie je nachdem, ob überhaupt ein Grundton (1. Teilton) im Gesamtspektrum mitschwingt, ergibt das *einen* Gesamtklang, einheitlich und komplex zugleich. Die Proportion der Teilfrequenzen untereinander und ihre Relation zueinander bestimmen Farbe, Charakter und Ausprägung eines Klangs in seinem Gesamtspektrum.

Wenn ich z.B. ein sehr grundtönig gesungenes f_4 (2700 Hz) der Amsel nehme, so zeigt der Overtone-Analyzer das Spektrum bis zum 7. Teilton an ($es_7 - 18,9$ kHz). Die Wave-Datei reicht bis 22 kHz. Da die geraden Teiltöne im Spektrum des Amselklangs schwächer sind, wird der 8. Teilton bei 21,6 kHz nicht mehr angezeigt. Verlangsame ich den Klang aber 16-fach bis zum Kleinen F und nehme ihn dann neu auf, zeigt das Spektrogramm ein Gesamtspektrum bis 22 kHz an, dem in der Originallage ein Spektrum bis 352 kHz (!) entspricht. Das abzählbare Spektrum reicht bis zum 48. Teilton bei c_6 (8400 Hz = 124,4 kHz im Original). Dieses unvorstellbare Spektrum ist in dem *einen* Gesamtklang enthalten. Zu Recht wird also von der unendlichen Reihe der "Obertöne" gesprochen (und gesungen).

Auch ein 2-stimmiger Gesang setzt sich nicht einfach zusammen aus der Summe zweier Klänge mit ihrer klingenden Tonhöhe und ihrem jeweiligen Frequenzspektrum. Je nach Beziehung und Verhältnis der beiden Stimmen zueinander bildet sich *ein* einheitlicher, ganzer Klang mit einem ganz eigenen komplexen Spektrum und einer ganz bestimmten Klangfarbe und Klangstruktur. Das komplette Spektrum der beiden klingenden Stimmen kommt im Zusammenklang in wechselseitig rückkoppelnde Beziehung zueinander. So kann es zu einer Verstärkung oder auch zu einer Abschwächung einzelner Frequenzen im jeweiligen Spektrum kommen, was dem Gesamtklang eine andere, eigene Färbung und Ausprägung gibt; es kann sich ein eigener virtueller Grundton aus dem Zusammenklang der beiden Stimmen bilden, eine nicht-klingende Frequenz, die aber im Spektrogramm vom Tonhöhenmarker als Grundton dieses einen Gesamtspektrums angezeigt wird; und es können übereinstimmende Frequenzproportionen so kumulieren, daß eine bestimmte Frequenz wie eine eigene Stimme wirkt und klingt.

Eine rückkoppelnde Wechselwirkung zeigt sich umso mehr bei einem 2-stimmigen Gesang wie in dem Motiv mit den 2 gegenläufigen Glissandi, das keinen stehenden Klang mit einem gleichbleibenden Intervallverhältnis der beiden Stimmen bildet, sondern das in ständiger

Veränderung begriffen ist, in dem sich durch die gegenläufigen Glissandi der Klang in seinem Spektrum kontinuierlich moduliert und verwandelt.

Da das Vokalisationsorgan der Singvögel, die Syrinx, im Unterschied zur menschlichen Larynx am Ende der Luftröhre liegt, können die Schwingungen in den Membranen der zwei Stimmköpfe unmittelbar im Resonanzraum der stabilen Röhre miteinander wechselwirken. Und da die Vögel, anders als viele singende Menschen, ohne Atemdruck ("Stütze") und ohne Schließdruck in den Stimmlippen singen, also in effizienter Atem- und Klangbalance, können sich in ihren inneren Resonanzräumen *stehende Wellen* bilden mit einer effizienten rückkoppelnden Wirkung auf den Schwingungsvorgang. So werden Intensitäten im Klang verstärkt und Emergenzen wie die Kombinationsklänge können in Erscheinung treten.

Für einen komplexen Klang gilt offenkundig : *Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.*
Und: In jeder Frequenzschicht, in jedem Teilelement resoniert das Ganze.

Während wir Menschen uns im Gesang um Kunst- und Schöngesang mit sauberster Intonation und perfekter Klanggestaltung bemühen – wirkt im Gesang der Amsel einzig *die Natur der Klänge*, die *spektrale und harmonikale Ordnung* in allem, was schwingt und klingt, wie sie im *Klangkosmos des Vogelgesangs* und gerade bei Meistersängern wie der Amsel in einem Reichtum und einer Vielfalt in Erscheinung tritt, an die unser Menschengesang kaum heranreicht.

Vogelgesang und menschliches Hören

Hören was zu hören ist im Spektrum von Tonhöhe, Klang, Geräuschklang, Geräusch - Singen die Vögel oder tirilieren, flöten, pfeifen, zwitschern sie?

Hören wir mit unseren Ohren bei Singvögeln melodiose Elemente, in denen mehr oder weniger gewisse Tonhöhenbewegungen oder bestimmte Intervalle herauszuhören sind, ertönen sie im Bereich zwischen 1500 und 3000 Hz. Einzelne Töne dieser „Melodien“ können je nach Dauer und Intensität ein komplettes Teiltonspektrum bis in die 3. Oktave hinein haben, also bei 3000 Hz als klingendem Ton bis über 12 kHz, teilweise bis 20 kHz. Die unterschiedlich starke dynamische Ausprägung der Teiltöne prägt wie bei Instrumenten und wie bei der menschlichen Stimme die Klangfarbe der klingenden Töne. Es macht z.B. einen Unterschied, welchen Pegel der 3. Teilton (Quinte) oder der 5. Teilton (Terz) haben. Bei diesen hohen Schwingungen, also sehr schnellen Schwingungen, nämlich 3000 und mehr Schwingungen pro Sekunde und bei dieser Schnelligkeit der Tonfolgen (bei der Amsel eine Tonleiter von f4 nach f5 mit 9 Töne in 0,24 s) hat die Ausprägung der Klangfarbe für unsere Ohren keine besondere Bedeutung. Die hörbaren Töne im Vogelgesang klingen für uns alle in etwa gleich, eben nach Vogelgesang oder ein bißchen wie gepfiffen. (Menschliche Pfeiftöne haben nur einen schwachen Oktav-Teilton als Oberton, was die genaue Intonation erschwert.)

Für die Wahrnehmungsfähigkeit dieses hohen Teiltonspektrums ist eben zu beachten, daß der 3. bis 6. Teilton die stärkste Wirkung für die Tonhöhenwahrnehmung und die Farbigkeit eines Klangs hat (die Quinte und dann der „Dur-Dreiklang“ mit 2. Oktave, Terz und Quinte). Singt, flötet oder pfeift die Amsel in ihrem melodiosen Motiv z.B. ein es4 bei 2500 Hz, dann liegt der 3. Teilton schon bei 7500 Hz und der 5. Teilton bei 12,5 kHz. In diesem hohen Frequenzbereich gibt es für unsere Ohren nicht mehr viel Unterscheidungsfähiges zu hören.

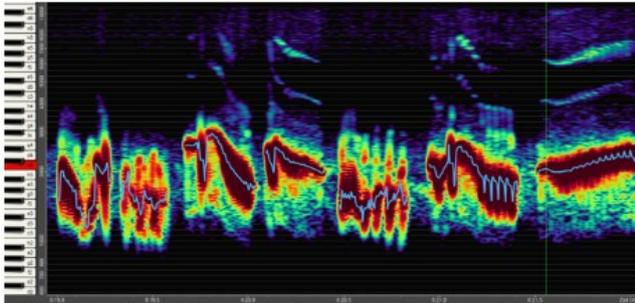
Wir kommen also mit unserem Hör- und Unterscheidungsvermögen schon in diesem Frequenzbereich des Vogelgesangs sowohl in der Horizontale des zeitlichen Ablaufs als auch in der Vertikale der Schwingungsfrequenzen an gewisse Grenzen. Wird der Gesang dann noch schneller und noch höher wie beim Tirilieren der Lerche (3 - 5000 Hz), nehmen wir im Klang der Vogelstimme etwas wahr, was unsere Hörmuster und definierten Codes von Tonhöhe und Klang übersteigt und überfordert. Es erscheinen mehr geräuschhafte Elemente im Gesang, etwas wie ein Schwirren, mit spürbaren Intensitäten im Klang und hohen Erregungen in den Ohren durch die schnelle Abfolge der Klangereignisse. Auf der einen Seite übersteigt die Komplexität und die Geschwindigkeit des Lerchengesangs unser definierendes und unterscheidendes Hörvermögen in Bezug auf Tonhöhen und „reine“ Klänge, also periodisch gleichmäßige Schwingungen im Unterschied zu geräuschhaften ungleichmäßigen Schwingungen. Auf der anderen Seite können gerade die geräuschhaften Elemente im Klang aus Überlagerungen und Verdichtungen von Schwingungen eine Erweiterung und Intensivierung unser auditiven

Wahrnehmungsmöglichkeiten bewirken. Der Gesang der Feldlerche lockt unsere Ohren gleichsam in weite offene Wahrnehmungsfelder.

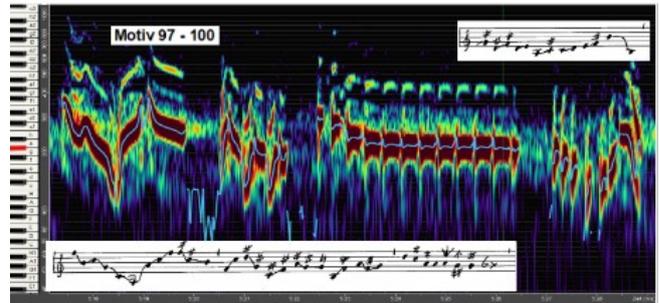
Wird der Vogelgesang zu „reinem“ Zwitschern, öffnet sich unserer Hörfahrung und unserm Erleben eine Welt jenseits der sauberen Intonation und des gepflegten Wohlklangs im Gesang. Wir tauchen ein in ein Reich der Klänge, das keine wohl definierten Grenzen kennt zwischen Klang und Geräusch und zugleich unbegrenzt zu sein scheint in der vertikalen und horizontalen Frequenzierung der Schwingungsenergie. Wir kommen in Kontakt mit Klangphänomenen, die uns im mehrfachen Sinne des Wortes unmittelbar berühren, uns mental, seelisch und vegetativ erregen und uns in seltsamer Art und Weise zugleich beleben (Erregung) und beruhigen (keine Gefahr) – obwohl *oder* weil wir sie nicht einordnen können in unsere gewohnten Bewertungskriterien von richtig, verständlich und schön - das parasymphatische Nervensystem läßt grüßen. (Ein Vogel der Angst hat, weil Gefahr droht, singt nicht!)

Bei Zwitscher-Klanggeräuschen oberhalb von 5000 Hz verlassen wir den Bereich unserer Hörfähigkeit für gleichmäßige Schwingungen. Da werden alle akustischen Reize für unsere Ohren, eher mehr als weniger, zum reinen Geräusch. In der Vielfalt des Zwitschergesangs werden sie auch manchmal schlicht überhört, gar nicht aktiv wahrgenommen oder nicht mal als Empfindungsreiz registriert. Sind solche rein geräuschhaften Schwingungen zu hören ohne den Zusammenhang von Klängen und Klanggeräuschen, wie das Zirpen von Blaumeisen oder das Fiepen des Sommergoldhähnchens, kann es sein, daß Menschen mit weniger sensiblem Hörvermögen, Menschen, die unter Streß stehen, oder ältere Menschen überhaupt nichts von diesen hohen und schnellen Sphärengeräuschen mitbekommen. Und auch bei sensiblen Ohren bleibt weiterhin die Frage offen, wie weit aktive und rezeptive Wahrnehmung ineinander gehen, wie schnell und reflexiv unsere Ohren unterhalb oder hier besser gesagt oberhalb der bewußten Wahrnehmungsschwelle reagieren und wie tief diese hellen, glitzernden („girlitzenden“), sirrenden, flirrenden, schwirrenden, fiependen, pfeifenden, klingelnden, zischelnden Geräuschelemente in unser Empfindungsvermögen eindringen, vielleicht unhörbar und doch spürbar als berührend, belebend und erregend.

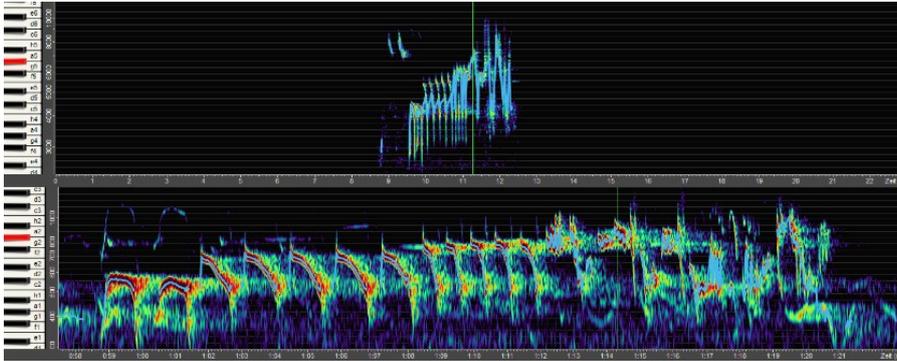
"Musik der Natur" - so nannte der Komponist Heinz Tiessen seine Schrift über den Gesang der Vögel, die er 1953 veröffentlichte und in der er sich insbesondere mit der "Tonsprache und Form des Amselgesangs" beschäftigte. In dieser Schrift hat er viele Motive aus dem Gesang der Amsel, die er nach dem Gehör notiert hatte, dokumentiert und nach musikalischen Kriterien untersucht. Tiessen konnte aber vom Amselgesang auch nur das hören und notieren, was für das menschliche Hörvermögen im Bereich von 1500-3000 Hz an Tonfolgen oder Klangfiguren erkennbar ist. Wie ich in meinen Forschungen dokumentieren konnte, liegen aber bis zu 80 Prozent einer Strophe der Amsel im Bereich des geräuschhaften Zwitschergesangs (3-9 kHz), was nun wahrlich kein "unverbindliches Rezitieren" ist, wie Tiessen meinte, sondern es ist im höchsten Maße eine Virtuosität, eine Gesangkunst, eine Mannigfaltigkeit an Klangfiguren, ein Einfallsreichtum an Motiven, eine Fertigkeit im "Kom-Ponieren" - all das in harmonikaler und spektraler Klangordnung, wie es sich auch Messiaen noch nicht vorstellen konnte. Und selbst das, was die Amsel in der melodiemäßigen Phase ihrer Strophen zum Besten gibt, ist viel mehr als das, was wir zu hören meinen. In der Verlangsamung entpuppen sich Tonfolgen als 2-stimmiger Gesang, als Spektralklänge, Triller, Glissandi und auch als viel reichhaltigere Tonfolgen, als wir im Original hörend unterscheiden können. Bei der Amsel mit ihrem hochkomplexen Gesang kann man erst in der 32-fachen Verlangsamung erkennen und hinreichend verstehen, was und wie sie tatsächlich singt. Ihre Strophe mit 10-20 unterschiedlichen Motiven dauert dann nicht 3 s, sondern 96 s und ihr 40-minütiger Morgengesang mit 500 Strophen gäbe dann ein Musikprogramm von 13 Stunden. Die gleichen Zeitdimensionen gelten u.a. auch für die vielfältigen Gesänge der Lerche und des Rotkehlchens.



3 s aus dem Gesang einer Lerche (2x verlangsamt)



0,7 s - 16 x verlangsamt



oben die Strophe eines *Pracht-Feen-Zaunkönigs* im Original mit über 30 Motiven (2,7 s, 6-8 kHz)
 unten 8x verlangsamt (22 s, 375-1000 Hz)

Bei diesem Zaunkönig sind selbst in der 8-fachen Verlangsamung die vielfältigen Klangfiguren am Ende noch so schnell, daß wir sie mit den Ohren nicht verfolgen können.

In einer 8-fachen Verlangsamung wäre kein hochqualifizierter menschlicher Sänger in der Lage, in diesem für menschliches Vermögen immer noch schnellem Tempo, in dieser Flexibilität, in dieser Virtuosität und in dieser Präzision solche Musik zu singen, ganz abgesehen von der Gedächtnisleistung und der Improvisationskunst.

Auf meiner Webseite "Entfaltung der Stimme" gibt es auf der Seite "Klangkosmos Vogelgesang" (<https://www.entfaltungderstimme.de/Klangkosmos.html>) Einführungen, Analysen und Beschreibungen zum Vogelgesang sowie auf meinem YouTube-Kanal über 150 Videos mit Spektrogrammen, auch mit Notation, von 20 verschiedenen Vogelstimmen und ihren Gesängen.

Solche Aufnahmen und die Analysen dazu mit Spektrogramm und Notation in der oktavierenden Verlangsamung hat es bisher in der Vogelgesangsforschung nicht gegeben.

 nächste Seite: Vergleich Spektrogramm oder Sonagramm

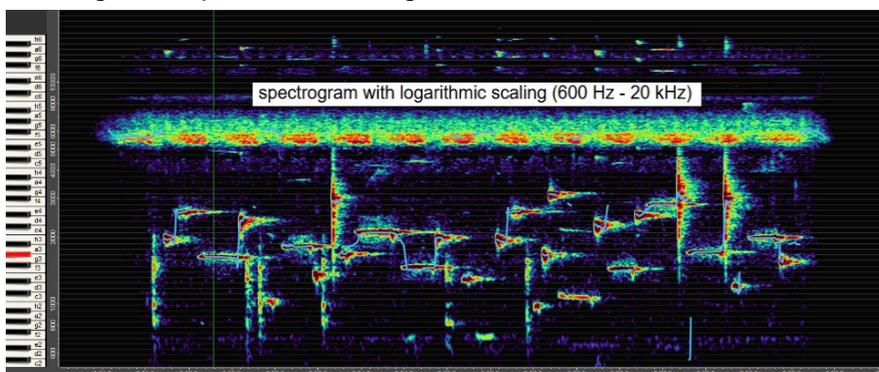
Spektrogramm oder Sonagramm

In der Vogelgesangsforschung wird überwiegend mit *Sonagrammen* gearbeitet, die im Vergleich zum Overtone-Analyzer nur sehr diffus und ungenau das Klangspektrum wiedergeben und mit denen man vor allem nicht *in* den Klang und *in* das komplette Frequenzspektrum mit seinen "Obertönen" hineinschauen und hineinhören kann. Man sieht nur graue Streifen ohne frequenzgenaue Tonhöhenangaben und vom genauen Frequenzspektrums der hohen Schwingungen in einem Klang ist kaum etwas zu erkennen, obwohl diese hohen Frequenzen von entscheidender Bedeutung für die Analyse und Bestimmung der Klänge sind. Dazu ist in den Sonagrammen die Höhenskala linear angelegt, was nicht den tatsächlichen, nämlich ganzzahlig logarithmischen Verhältnissen im Frequenzspektrum entspricht (1:2:3:4:5...), wodurch ein falsches Klangbild ("Sonogramm") angezeigt wird. Das Geräuschhafte im Zwitscherklang der Vögel entsteht ja gerade durch die Verdichtung des Frequenzspektrums in diesen hohen Lagen, wodurch unsere Ohren keine Tonhöhen unterscheiden können. Hinzu kommt dann noch die Geschwindigkeit in der Abfolge der Töne, die wir in diesem Tempo nicht über das Gehör realisieren können, die natürlich linear auf der Zeitskala angezeigt wird.

Da diese Sonagramme den dynamischen Pegel nur für den Gesamtklang angeben und keine genaue Angabe über die Lautstärke jedes Teiltons machen, kann man auch keine Aussage über die Eigenart und die Struktur eines Klanges machen (2-stimmig ? - Spektralklang ? - Klangfarbe ? - Triller ? - Vibrato ? - Amplitude ? - Pulsation ?).

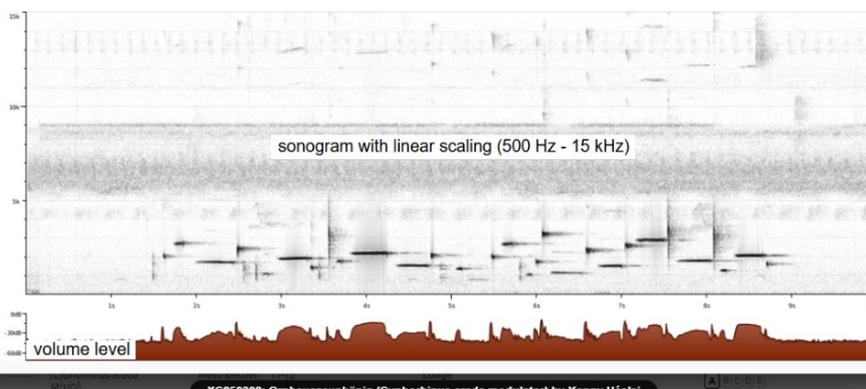
Vor allem die oktavierende Verlangsamung und ihre Darstellung auf dem Overtone-Analyzer bietet ein bisher nicht gekanntes und praktiziertes Verfahren, um den Vogelgesang in all seinen Elementen ganz genau zu analysieren und umfassend zu erforschen. Das gilt dann nicht nur für die Bestandteile des Gesangs, die als Tonfolgen einigermaßen zu erkennen sind, sondern auch für den überwiegenden großen Anteil, der im Original nur als diffuses Geräusch wahrgenommen wird und im Sonogramm überhaupt nicht konkret und differenziert dargestellt werden kann. Dieser Anteil kann mit den herkömmlichen Verfahren nur von der Klang/Geräusch-Oberfläche beschrieben werden bzw. von den Strukturelementen im Ablauf des Gesangs, die dann in wissenschaftlichen Studien statistisch untersucht werden ohne Kenntnis der tatsächlichen Klänge (!). D.h. nur über wirkliche Spektrogramme, wie sie der Overtone-Analyzer liefert, kann man hinreichende Aussagen darüber machen, *was* und *wie* die Vögel *singen* und *hören*.

Gesang des Orpheus-Zaunkönigs



Grillen

Spektrogramm mit logarithmischer Skalierung (600 Hz - 20 kHz)



Sonogramm mit linearer Skalierung (500 Hz - 15 kHz)

Im *logarithmischen* Spektrogramm (Bild nächste Seite) erkennt man im Bereich von 700 bis 3000 Hz auf einen Blick die relativen Intervallverhältnisse von Oktaven, Quinten und Terzen, dazu das verdichtete geräuschhafte Spektrum des Grillengesangs bei 5-6000 Hz und das hohe Teiltonspektrum des Zaunkönigs zwischen 11 und 16 kHz (3.-8. Teilton), bei dem alle Teiltöne exakt bestimmt werden können.

Über den Cursor kann ich für jede Tonhöhe, gleich ob Grundton oder irgendein Teilton, die exakte Frequenz und die relative Lautstärke bestimmen. Noch genauer gelingt das allerdings in der 8- oder 16-fachen Verlangsamung.

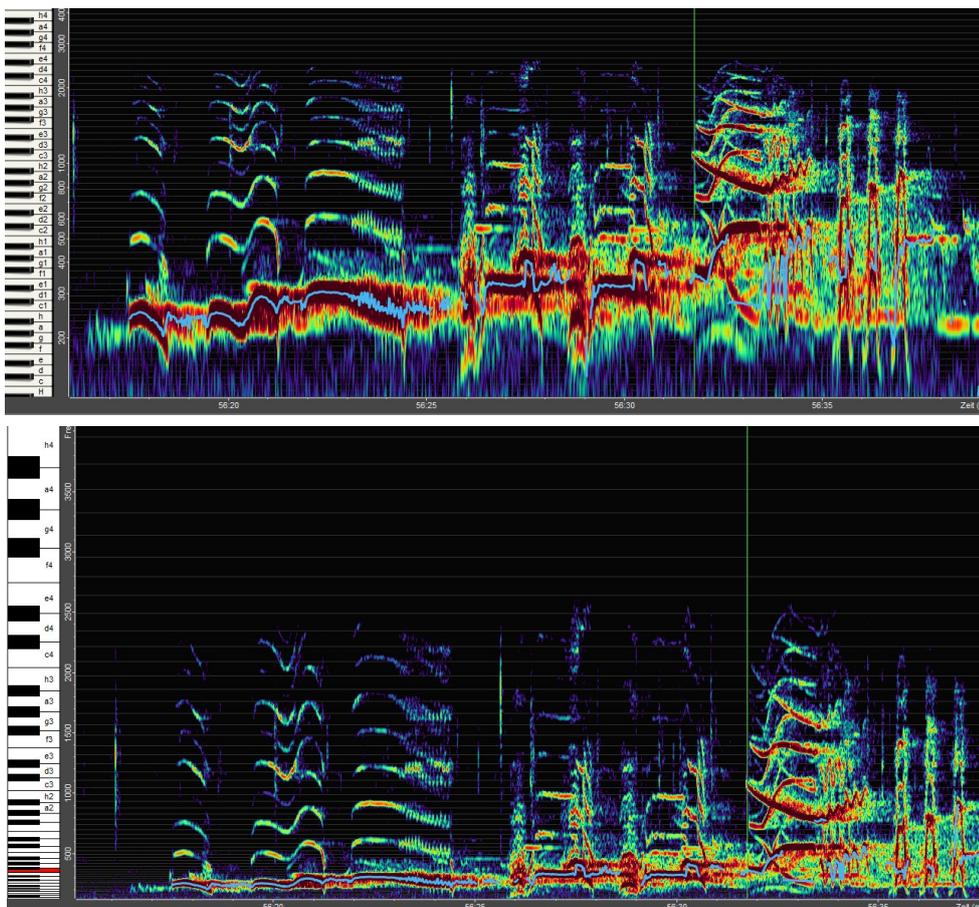
Im *linearen* Sonagramm (5-10-15 kHz) liegen die Intervalle des Gesangs in diffusen grauen Streifen gleichmäßig dicht übereinander im Bereich von 500-5000 Hz.

Der Grillengesang nimmt den gleichen Spektrumsbereich ein wie der Gesang des Zaunkönigs und im Bereich von 12-15 kHz kann man kaum etwas vom Teiltonspektrum erkennen.

In einer *linearen Skalierung* (1000 Hz - 2000 Hz - 3000 Hz ...) kann die elementare Struktur der ganzzahligen Frequenzverhältnisse nicht erfaßt werden. Alle Teiltöne eines Klangs haben dann den gleichen linearen Abstand zueinander. Das Verhältnis 1:2 gilt für die Oktave 1/2 kHz (B5/B6) genauso wie für die Oktave 2/4 kHz (B6/B7). Die Oktave B5/B6 (1:2 - 1/2 kHz) ist dann mit 1000 Hz genauso groß wie die Quinte B6/F#7 (2:3 - 2/3 kHz) oder die Quarte F#7/B7 (3:4 - 3/4 kHz) oder die Große Terz B7/D#8 (4:5 - 4/5 kHz) oder die Kleine Terz D#8/F#8 (5:6 - 5/6 kHz) oder die "Terz" F#8/A8 (6:7 - 6/7 kHz) oder die "Sekunde" A8/B9 (7:8 - 7/8 kHz).

Das alles entspricht nicht den faktischen physikalischen Proportionen innerhalb eines Klangs. Eine Quinte bleibt eine Quinte, gleich ob sie zwischen 2. und 3. Teilton (B6/F#7) 1000 Hz umfaßt oder zwischen 4. und 6. Teilton (B7/F#8) 2000 Hz. Das Ohr bei Vögeln und bei Menschen hört beides logarithmisch als ein Quintverhältnis. Es transformiert das Verhältnis 2:3 kHz und das Verhältnis 4:6 kHz in die Klang-Gestalt einer Quinte, ein spezifisches Spektrumsmuster.

Die Strophe der Amsel mit dem 2-Glissandi-Motiv mit 2 Kombinationsklängen



Frequenzbereich: H - h4 (125-4000 Hz) - oben logarithmische und unten lineare Skalierung