

Vergleich von logarithmischem Spektrogramm und linearem Sonagramm -

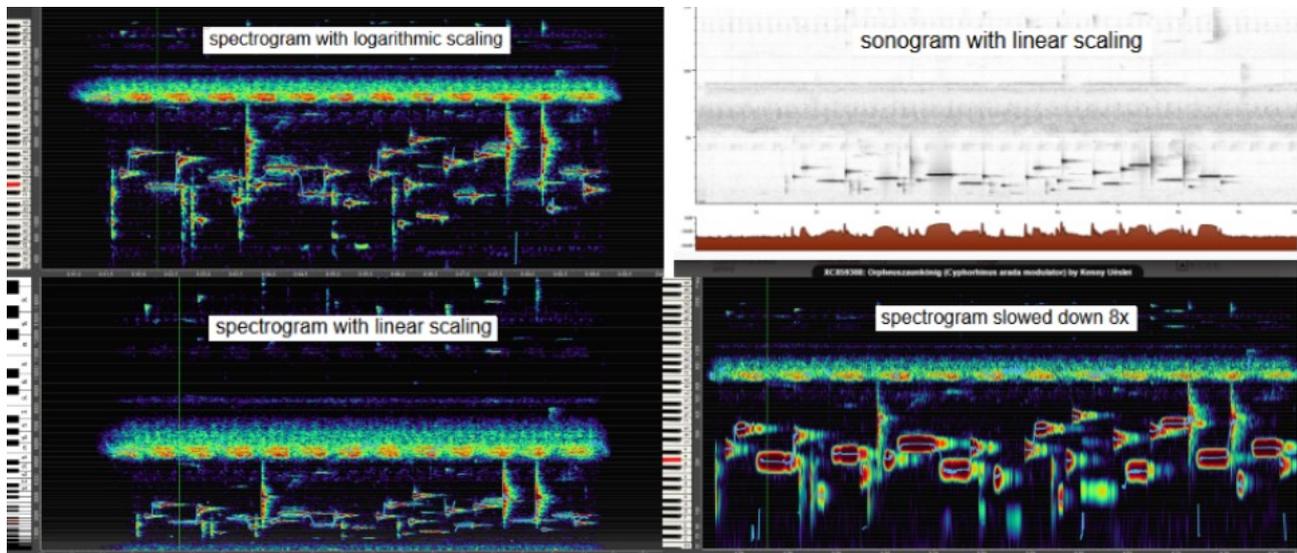
Das logarithmische Ohr

Auszug aus dem Text:

"Orpheus-Zaunkönig (Musician Wren) - Gesang von 3 verschiedenen Vögeln"

https://www.entfaltungderstimme.de/pdfs/Klangkosmos/Orpheus-Zaunkoenig_Gesang-Analyse.pdf

Verschiedene Arten von Spektrogrammen im Vergleich

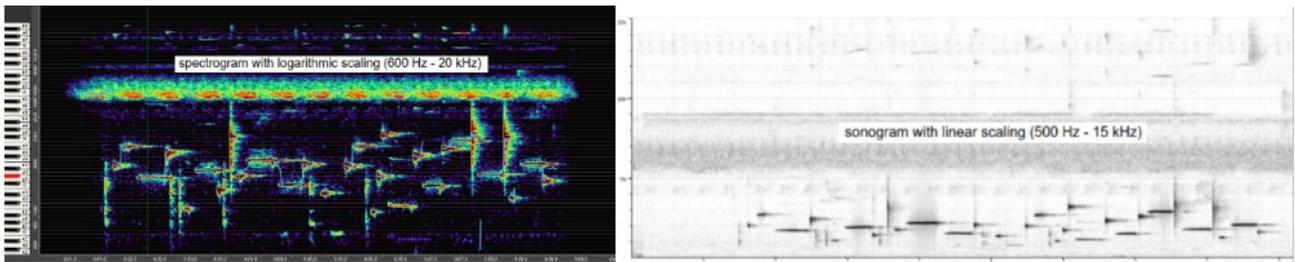


Meine Analysen erfolgen mithilfe des "Overtone-Analyzers", mit dem das Spektrogramm einer Audiodatei im Ablauf angezeigt werden kann. Am Overtone-Analyzer können die Tonhöhe und die Lautstärke jedes Teiltons bzw. jeder Frequenz eines Klangspektrums abgelesen werden, die Frequenz ± 50 Cent und die Lautstärke bis auf Zehntel Dezibel. In der Originallage kann das komplette Spektrum bis 22 kHz abgelesen werden. Die relative Intensität jeder Frequenz im Spektrum wird durch die Farbe angezeigt, die dunkelroten Teiltöne sind die lautesten. An der Breite der jeweiligen Frequenzen erkennt man die Amplitude der Schwingung. Wie man in der 8-fachen Verlangsamung ablesen kann, kann sie z.B. bei gis3 (1640 Hz) eine Quarte umfassen (f3-b3 - 1376-1896 Hz).

Bei 2000 Hz (beim Orpheuszaunkönig das h3) beträgt ein Halbton etwa 260 Hz (bei a1 ca. 25 Hz). Im Range zwischen 1500 und 8000 Hz singen alle von mir untersuchten Singvögel Oktaven (1:2), Quinten (2:3), Quartan (3:4), Terzen (4:5 oder 5:6) und auch Septimen (4:7) mit einer Differenz von teilweise nur 5 Hz, wenn die Proportion nicht sogar frequenzgenau ist, was meist der Fall ist. Zur genauen Analyse ist es bei komplexen Gesängen mit vielfältigen Klangfiguren 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, der nicht immer der Grundton ist.

Im Vergleich zum Gesang der Amsel oder des Rotkehlchens ist der Gesang des Orpheus-Zaunkönigs sehr, sehr simpel und kann ganz leicht frequenzgenau analysiert werden.

Vergleich von logarithmischem Spektrogramm und linearem Sonogramm



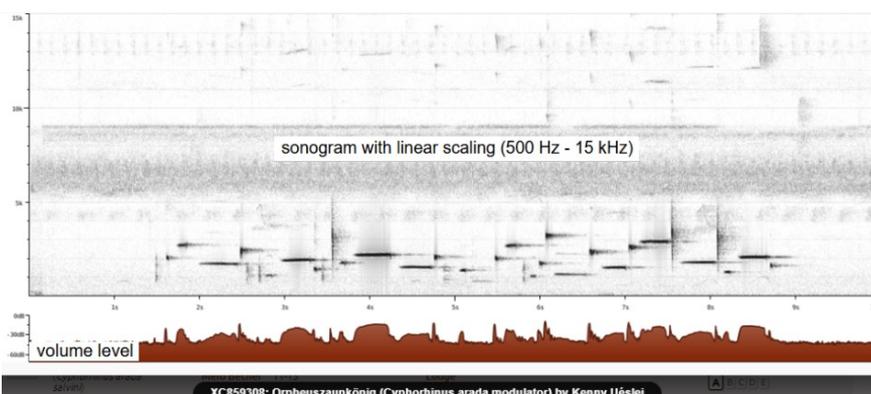
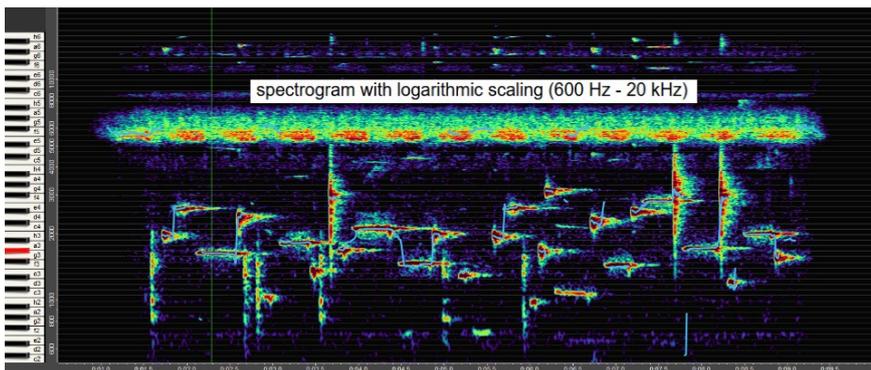
Im *logarithmischen* Spektrogramm erkennt man im Bereich von 700 bis 3000 Hz auf einen Blick die relativen Intervallverhältnisse von Oktaven, Quinten und Terzen, dazu das verdichtete geräuschhafte Spektrum des Grillengesangs bei 5-6000 Hz und das hohe Teiltenspektrum des Zaunkönigs zwischen 11 und 16 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 Frequenz und die relative Lautstärke bestimmen. Noch genauer gelingt das allerdings in der 8-fachen Verlangsamung.

Im *linearen* Sonogramm (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 Teiltenspektrum erkennen.

Spektrogramm mit logarithmischer Skalierung (600 Hz - 20 kHz)



Sonogramm mit linearer Skalierung (500 Hz - 15 kHz)

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" oder Teiltönen hineinschauen und hineinhören kann. Man sieht nur graue Streifen ohne frequenzgenaue Tonhöhenangaben und vom genauen Frequenzspektrum 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 Höenskala linear angelegt, was nicht den tatsächlichen, nämlich ganzzahlig logarithmischen Verhältnissen im Frequenzspektrum entspricht (1:2:3:4:5...), wodurch ein falsches Klangbild ("Sonagramm") angezeigt wird.

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 1000/2000 Hz (h_2/h_3) genauso wie für die Oktave 2000/4000 Hz (h_3/h_4). Die Oktave h_2/h_3 (1:2 - 1000/2000 Hz) ist dann mit 1000 Hz genauso groß wie die Quinte h_3/fis_4 (2:3 - 2000/3000 Hz) oder die Quarte fis_4/h_4 (3:4 - 3/4 kHz) oder die Große Terz h_4/dis_5 (4:5 - 4/5 kHz) oder die Kleine Terz dis_5/fis_5 (5:6 - 5/6 kHz) oder die "Terz" fis_5/a_5 (6:7 - 6/7 kHz) oder die "Sekunde" a_5/h_5 (7:8 - 7000/8000 Hz). Das alles entspricht nicht den faktischen physikalischen Proportionen innerhalb eines Klangs. Eine Quinte bleibt eine Quinte, gleich ob sie zwischen 2. und 3. Teilton (h_3/fis_4) 1000 Hz umfaßt oder zwischen 4. und 6. Teilton (h_4/fis_5) 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 Spektrums muster.

Das Geräuschhafte im Zwitscherklang der Vögel entsteht 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 auf der Zeitskala natürlich linear angezeigt wird.

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

Vor allem die **oktavierende Verlangsamung** und ihre Darstellung auf dem Overtone-Analyzer bietet ein bisher in der Vogelgesangsforschung 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 Sonagramm 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 (!). Beim Amselgesang macht dieser geräuschhafte Zwitscheranteil (3-9000 Hz) bis zu 80 % einer Strophe aus.

Das heißt: Nur über echte Spektrogramme mit logarithmischer Skalierung, wie sie der Overtone-Analyzer liefert, kann man hinreichende Aussagen darüber machen, *was* und *wie* die Vögel *singen* und *hören*.

Das logarithmische Ohr

Menschen und Singvögel wie die Amsel oder der Orpheuszaunkönig können eine Quinte hören und singen, weil es in ihrem System Gehör/Vokalisation einen entsprechenden Schaltkreis gibt, eine angeborene Gestaltauffassung für Klangstrukturen wie z.B. die Gestalt einer Quinte. Dieser angeborene Schaltkreis liegt in der Physiologie und Funktion des Gehörs begründet, die sich in der Evolution entwickelt hat zur Perzeption und Umwandlung von Schallereignissen gemäß der physikalischen Ordnung der Naturgesetze von Klang und Schwingung. Es ist der "nicht bewußte ratiomorphe Apparat" (Konrad Lorenz), der aus dem Klang das Schwingungsverhältnis 2:3 errechnet - das Muster oder die Gestalt "Quinte". Diese "Quinte" kann das gleichzeitige und das aufeinander folgende Erklängen von 2 Tönen (C und G) mit ihrem eigenen Spektrum repräsentieren und das Verhältnis zweier Teiltöne zueinander in einem Spektrum (2:3, 4:6:, 6:9, 8:12, 12:18 usw.).

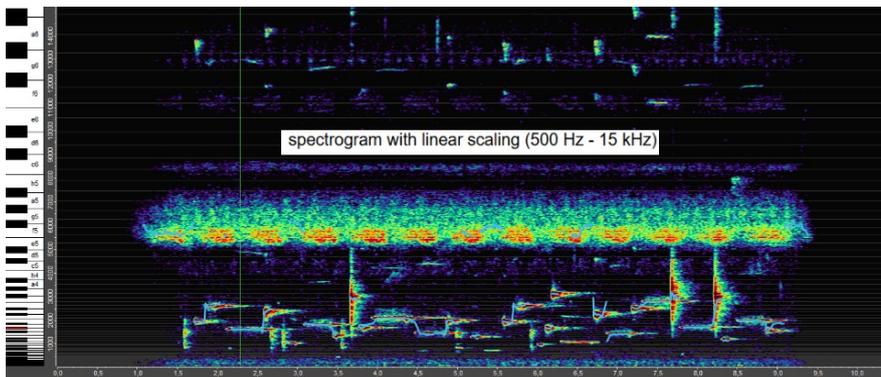
Und das gilt für eine Quinte des Zaunkönigs bei f3 und c4 ($1376 : 2064 \text{ Hz} = 2:3$) in gleicher Weise wie für eine Quinte, die ich von 'f' nach c1 singe ($172:258 \text{ Hz} = 2:3$), und für den Dreiklang c3-a3-f3 ($3:5:4 - 688:1720:1376 \text{ Hz}$), den ich nach Gehör exakt mit diesen Frequenzen pfeifen kann. Das Gehör der Singvögel und das Gehör der Menschen rechnet **logarithmisch** (Basiszahl 2). Deshalb erfolgt die Skalierung der Frequenzen ("Tonhöhen") im Spektrogramm nicht linear, sondern logarithmisch.

Menschen und Singvögel hören und intonieren "Tonhöhen" oder Intervalle logarithmisch, wie auch das Spektrum jedes Tons/Klangs logarithmisch aufgebaut und strukturiert ist, vom Grundton oder 1. Teilton an bis in die höchsten Teiltöne hinein ($1:2:3:4:5:6:7 \dots 14:15:16: 17:18 \dots 22:23:24:25 \dots$). Spektrumsstrukturen, in denen es Reibungen und keine klaren Proportionen gibt, haben weniger Klangenergie und können nicht so eindeutig rezipiert werden.

Spektrogramm mit *linearer* Skalierung und mit logarithmischer Skalierung.

Hier noch zum Vergleich ein Spektrogramm mit linearer Skalierung in Originallage und in der 8-fachen Verlangsamung mit logarithmischer Skalierung. An der Klaviatur ist zu sehen, wie eng die Tonhöhen des Gesangs beieinander liegen. Über den Tonhöhenmarker könnte ich zwar die Tonhöhe definieren, aber da in diesem Bereich ein Halbton 260 Hz beträgt, wäre die Bestimmung äußerst ungenau. Das Gleiten von G#6 nach G6 könnte ich unmöglich erkennen. In der 8-fachen Verlangsamung und im logarithmischen Spektrogramm kann ich die Halbtonveränderung allein schon an der Klaviatur ablesen.

Spektrogramm mit linearer Skalierung (500 Hz - 15 kHz)



Spektrogramm 8-fach verlangsamt (60 - 2700 Hz)

