

### 3 Orpheuszaunkönige (Musician Wren) singen je 1 Strophe

aus Wikipedia:

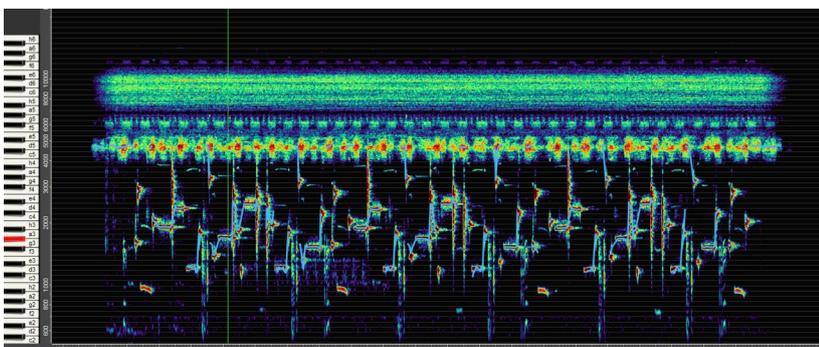
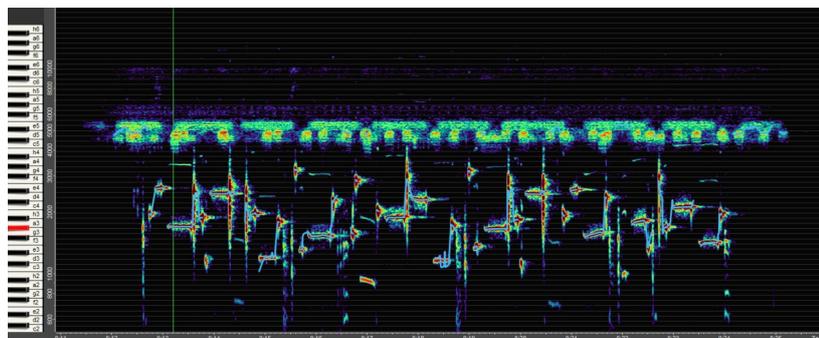
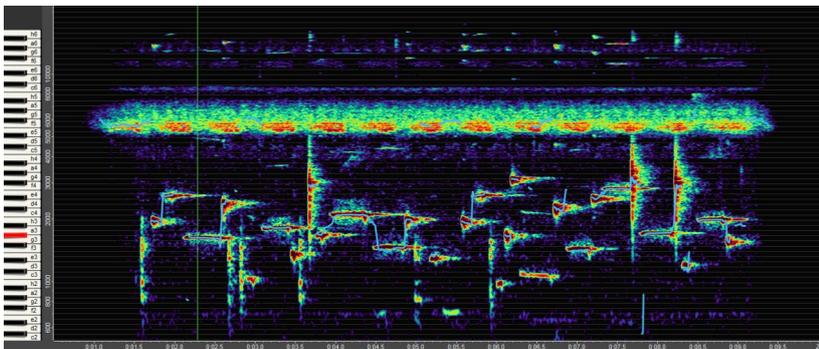
"Der Orpheuszaunkönig lebt in Südamerika. Sein Gesang besteht aus antiphonischen Tönen beider Geschlechter. Er ist eine Serie klarer, eindringlich Pfiffe, die stark in der Tonhöhe variieren. Eine Phrase wird viele Male mit nur wenig Variation wiederholt, bevor er zu einem anderen Lied wechselt. Sein Ruf beinhaltet einen harten *tschuk*-Laut."

Video: Musician Wren / Orpheuszaunkönig (*Cyphorhinus arada*) - slowed down 0-2-4-8-16x - with notation <https://youtu.be/130WudUnjj0>

Der Tonumfang des Gesangs beträgt etwas mehr als 2 Oktaven, E5 (660 Hz) bis G#7 (3250 Hz). Das gesamte Teiltonspektrum reicht bis 96 kHz. Bei G#6 kann man die Teiltöne bis zum 28. Teilton ablesen, der Septime F#11 bei 48 kHz.

Im Spektrogramm von Zaunkönig 1 ist oberhalb des Grillenklangs bei 11-16 kHz das Frequenzspektrum zwischen dem 4. und dem 8. Teilton klar und berechenbar zu erkennen. Die tieferen Töne klingen nur schwach, doch die sehr klaren und intensiven Pfeif- oder Flötentöne zwischen 1500 und 3000 Hz liegen in dem Frequenzbereich, in dem unsere Ohren Tonhöhen noch relativ gut unterscheiden können und in dem unser Gehör besonders sensibel ist.

(In allen 3 Aufnahmen sind verschiedene Grillen zu hören, in der ersten bei 5500 Hz, in der zweiten bei 4500 Hz und bei 5300 Hz und in der dritten bei 4500 Hz, 6000 Hz sowie 7,5-10,5 kHz.)



Alle 3 Vögel wiederholen ihr Strophen mit geringen Abweichungen. Die lange Strophe von Zaunkönig 3 enthält drei Wiederholungen mit ein paar kleinen Veränderungen.

Dauer: 1) 7,5 s - 2) 11,5 s - 3) 20 s

Beim ersten Eindruck fällt auf, daß der Zaunkönig in schnellem Wechsel zwischen weiter auseinander liegenden Tonhöhen hin und her springt. Es ist eine rhythmisch variable Folge von sehr kurzen und einigen etwas längeren und deutlicher wahrnehmbaren Tönen. Bei Zaunkönig 1 sind es insgesamt 28 Töne mit 6 stärker klingenden (Reihenfolge: G#6-A#6-C7-F#6-B6-F6) und bei Zaunkönig 2 sind es 38 Töne mit 12 stärkeren (G#6-D#7-D6-F#6-A#6-D7-G#6-D#7-F#6-A6-C7-F6).

Der spezifische Rhythmus entsteht nicht nur durch die variable Abfolge von mehreren kurzen und einzelnen längeren Tönen sowie hohen und tiefen Tönen, sondern auch dadurch, daß immer wieder zwischen Gruppen von 2-6 Tönen sehr kurze heftige Stoßlaute zu hören sind. In der Verlangsamung ist zu erkennen, daß durch diese kurzen Laute eine Gliederung von einzelnen zusammenhängenden Intervallfolgen entsteht, z.B. B3-E4-G#3-D4 oder C3-A3-F3 oder D4-D3-A3 oder G3-F4-A#2-B3-A#3 oder D3-B3-G3.

Obwohl aber einzelne Klänge als Tonhöhe relativ deutlich für unsere Ohren zu unterscheiden sind, können wir zwischen den teilweise sehr großen Intervallen und in der schnellen Abfolge im Hören keinen unmittelbaren Zusammenhang zwischen den Tönen herstellen. Es klingt eher wie "neue Musik", die manchmal wenig sangbar und ohne verfolgbare Melodie in den Intervallen hin und her springt.

Wenn ich aber das erste Motiv (B3-E4-G#3-D4) als Loop abspiele, kann ich ohne Probleme (und ohne zu wissen, was für Töne es sind) spontan den "E-Dur-Dreiklang" (B3-E4-G#3) mitpfeifen. Das hohe D4 ist allerdings so kurz, daß ich es nicht wahrnehme. Die menschlichen Pfeiftöne liegen im gleichen Frequenzbereich wie die "Pfeiftöne" des Zaunkönigs (1945 Hz / 2589 Hz / 1631 Hz = 6:8:5 = Quinte:Oktave:Terz). D.h. ich kann genau die gleichen Töne wie der Zaunkönig pfeifen.

Und wenn ich mir die ganze Tonfolge in der Verlangsamung genauer anschauere, sehe ich, daß der Vogel auf dem dritten Ton von G#3 nach G3 gleitet, und dann steht das D4 zum G3 im exakten Verhältnis einer Quinte (3:2).

Auch an den anderen Motiven der Strophe ist im Spektrogramm zu erkennen, daß es keine beliebige Folge von Intervallen ist, sondern daß die meisten Töne in einer spektralen Beziehung zueinander stehen. Wie alle etwas intensiveren Klänge klingt auch das erste B3 noch weiter, wenn das E4 ertönt, und der Nachklang des E4 schwingt weiter bis fast ans Ende von G#3.

Und sogar das kurze D4 klingt weiter, obwohl der Vogel direkt nach dem D4 zu Stoßlaute macht. Wenn er dann mit C3 zum zweiten Motiv einsetzt, ist das die exakte None (D4/C3 = 9:4) zu dem immer noch klingenden D4. Und so geht es weiter mit der Folge C3-A3-F3 (3:5:4), einem reinen "F-Dur"-Dreiklang, in dem die Terz A/F am Ende quasi 2-stimmig klingt. Einen ähnlichen Dreiklang als Quartsext-Klang gibt es nochmal am Ende der Strophe D3-B3-G3 ("G-Dur" - 151:249:199 Hz = 3:5:4).

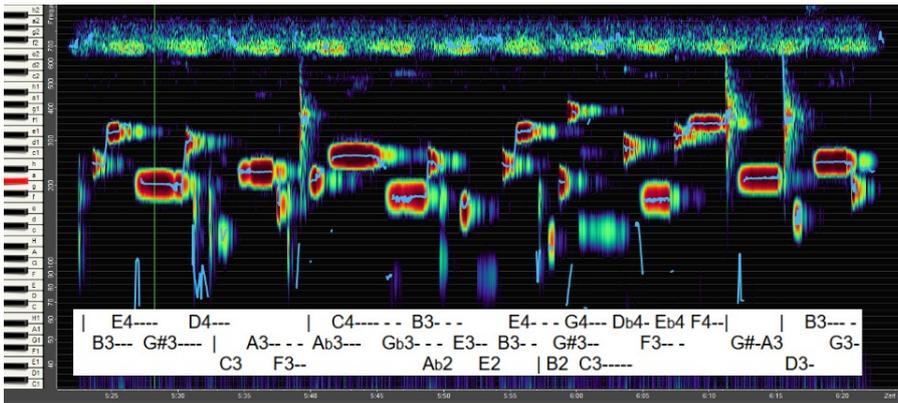
Dieses Zusammenklingen ("consonare") gilt für alle Tonhöhen und ihre Beziehungen in einem Motiv. Es ist nicht zu verwechseln mit unserem Begriff von "Konsonanz". Auch das Intervall G#3-D3 (ein "Tritonus") klingen exakt zusammen im Verhältnis 7:5, d.h. es ist keine "Dissonanz", sondern ist wohlklingend auch für unsere musikalisch-kulturell geprägten Ohren.

Ich habe mir insgesamt 20 Aufnahmen vom Gesang des Musician Wren angehört und bei allen die gleichen Strophenmodelle mit ähnlichen springenden Intervallfolgen und variablem Rhythmus gefunden.

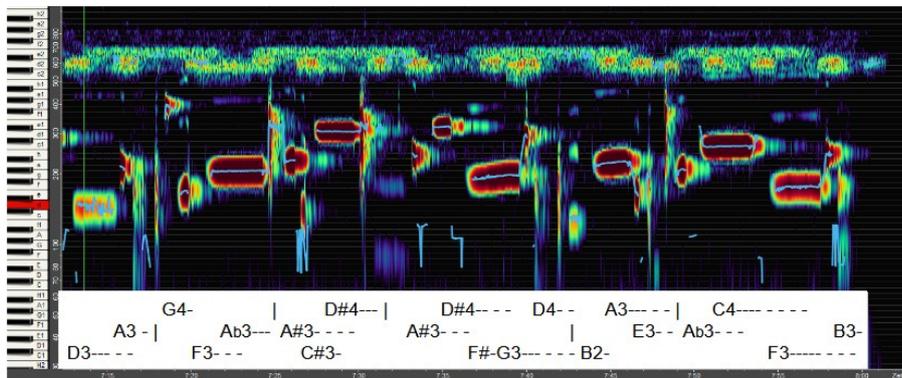
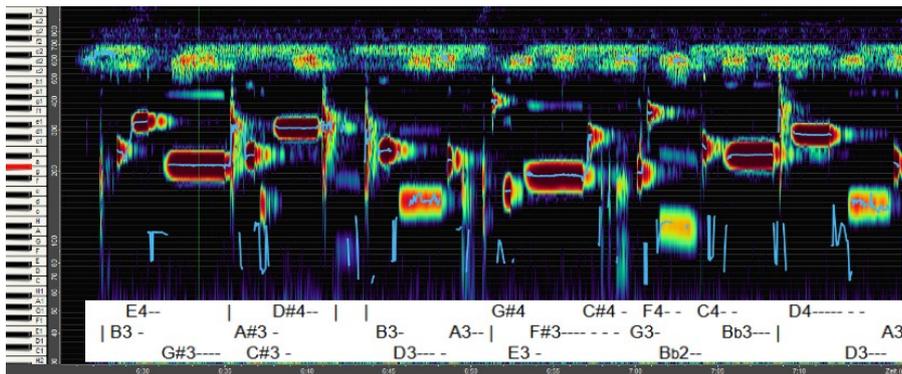
nächste Seite:

**alle 3 Strophen im Spektrogramm in 8-facher Verlangsamung mit Notation**

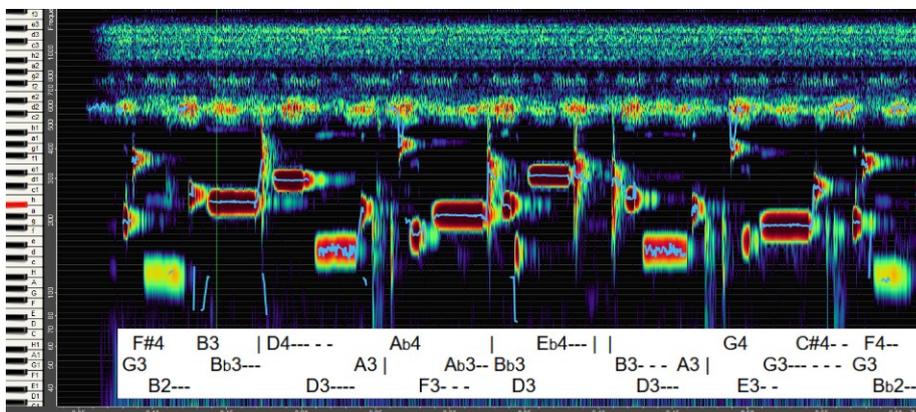
## Zaunkönig 1

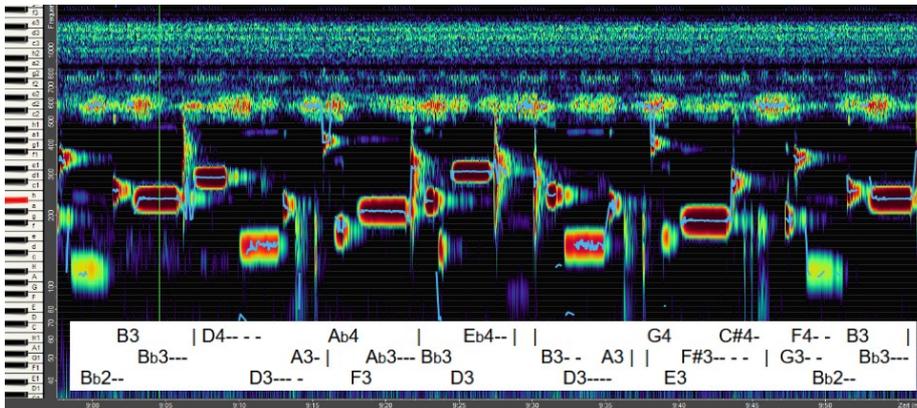


## Zaunkönig 2

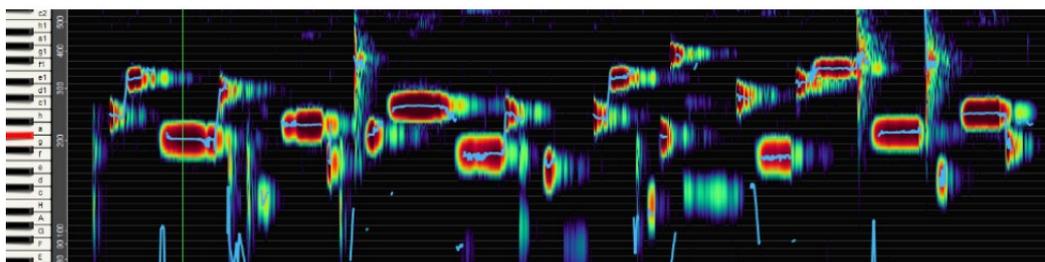
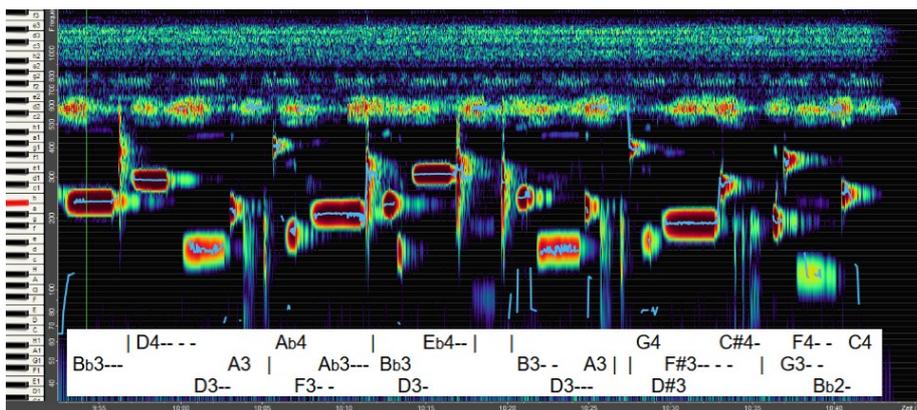


## Zaunkönig 3



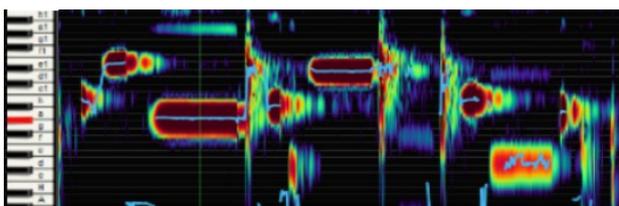


**Zaunkönig 1: alle Intervalle in ihrer harmonikaln Proportion**  
 (berechnet nach den genauen Frequenzverhältnissen im Spektrogramm)



B:E : G#:G:D : C : A : F Gb:Ab:C : Gb/F#:B : E: E: B:E:B:G#:G:C Db:F : Eb:F : Ab-A : G:D: B : G  
 6:8 : 5 2:3 9:4 3:5 : 4 7:4 : 5 10:7 6:8 3: 2 : 1 : 3:4/8:3:5/7:13/3:1 8:5 4:7:8 10:6 4:7/8:3 : 5 :4

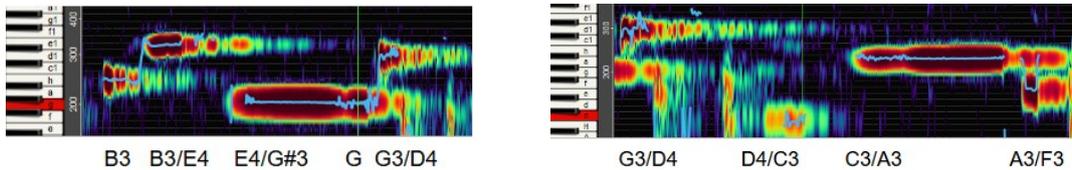
B3-E4 (6:8 Quarte) - E4-G#3 (8:5 Sexte) - G3-D4 (2:3 Quinte) - D4-C3 (9:4 None) - C3-A3 (3:5 Sexte) -  
 A3-F3 (5:4 Terz) - Gb4-Ab3 (7:4 Septime) - Ab3-4 (4:5 Terz) - C4- Gb3 (10:7 "Tritonus") - Gb3/F#3-B3  
 (6:8 Quarte) - B3-E3 (3:2 Quinte) - E3-E2 (2:1 Oktave) - E2-B3 (1:3 Quinte) - B3-E4 (3:4 Quarte) - E4-B2  
 (8:3 Quarte) - B2-G#3 (3:5 Sexte) - G#3-G4 (7:13 Große Septime) - G4-C3 (3:1 Quinte) - Db4-F3 (8:5 Sexte)  
 - F3-Eb4 (4:7 Septime) - Eb4-F4 (8:9 Sekunde) - F4- Ab3 (10:6 Sexte) - Ab3/A3-G4 (4:7 Septime) - G4-D3  
 (8:3 Quarte) - D3-B3 (3:5 Sexte) - B3-G3 (5:4 Terz)



B : E : G# : D#:A#:C#:D# : B : D : G  
 6:8 8:5 2:3 4:3 5:3 4:9 5:4 5:3 2:3

Zaunkönig 2 fängt seine Strophe genauso wie Zaunkönig 1 an, aber er bleibt konstant auf G#3 und geht dann in die Quinte D#4. Während das kurze D#4 weiter klingt bis zum nächsten langen D#4, wechselt er eine Quarte tiefer zum A#3 (4:3), das auch weiterklingt, und von dort eine Sexte (5:3) tiefer zum C#3 und kehrt dann in einer None (4:9) zurück zum D#4.

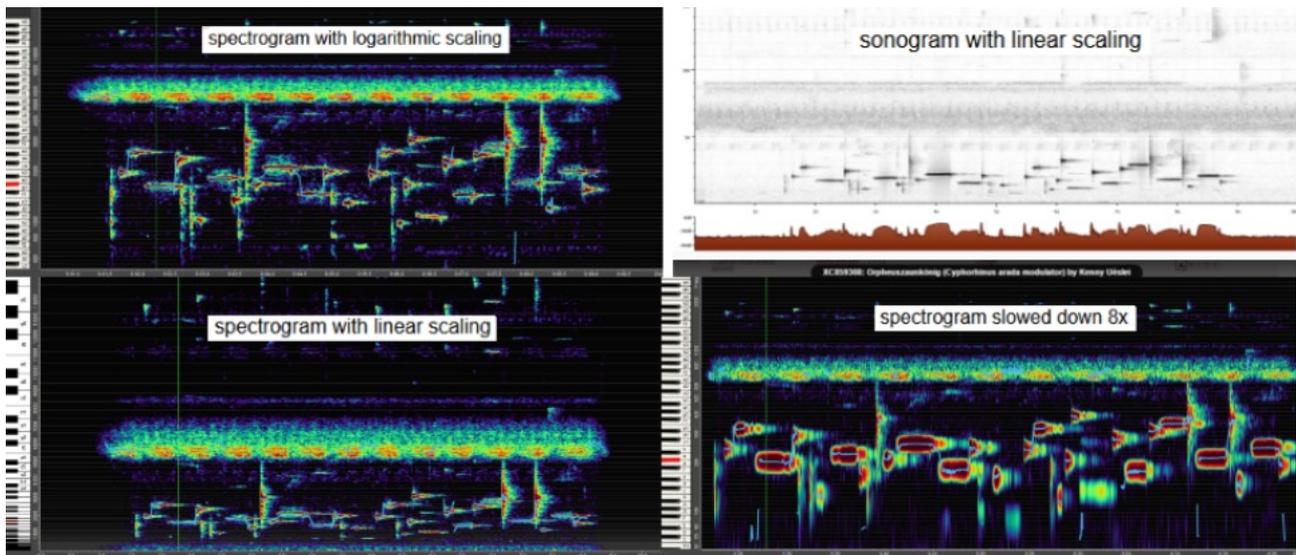
Die nächste Phrase beginnt eine Terz tiefer mit B3, zu dem die Sexte (5:3) D3 erklingt mit folgender Quarte (2:3) G3. Es ist ein klingender G-Dur-Dreiklang.



Zaunkönig 1: In dieser Vergrößerung der ersten beiden Phrasen ist deutlich zu erkennen, daß alle Töne nicht nur hintereinander erklingen, sondern die sich folgenden Intervalle einen Zusammenklang bilden. Zu Beginn erklingt ein E-Dur-Dreiklang (B-E-G#), dann eine Quinte, zur zweiten Phrase hin eine None und dann ein F-Dur-Dreiklang (C-A-F). Die Terz A/F klingt am Ende noch weiter.

-----

Aus dem Anhang des Videos:  
**verschiedene Arten von Spektrogrammen im Vergleich**

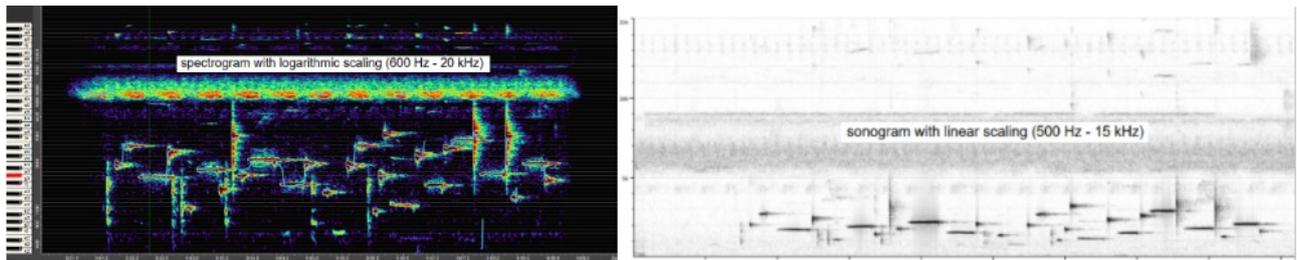


Meine Analysen erfolgen mithilfe des "Overtone-Analyzers", mit dem das Spektrogramm einer Audiodatei im Ablauf angezeigt werden kann. Am Overtone-Analyser können die Tonhöhe und die Lautstärke jedes Teiltons bzw. jeder Frequenz eines Klangspektrums abgelesen werden, die Frequenz  $\pm 50$  Cent und die 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 G#6 (1640 Hz) eine Quarte umfassen (F6-Bb6 - 1376-1896 Hz).

Bei 2000 Hz (beim Orpheuszaunkönig das B6) beträgt ein Halbton etwa 260 Hz (bei A3 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-Analyser 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 Orpheuszaunkönigs sehr, sehr simpel und kann ganz leicht frequenzgenau analysiert werden.

## Vergleich von logarithmischem Spektrogramm und linearem Sonogramm



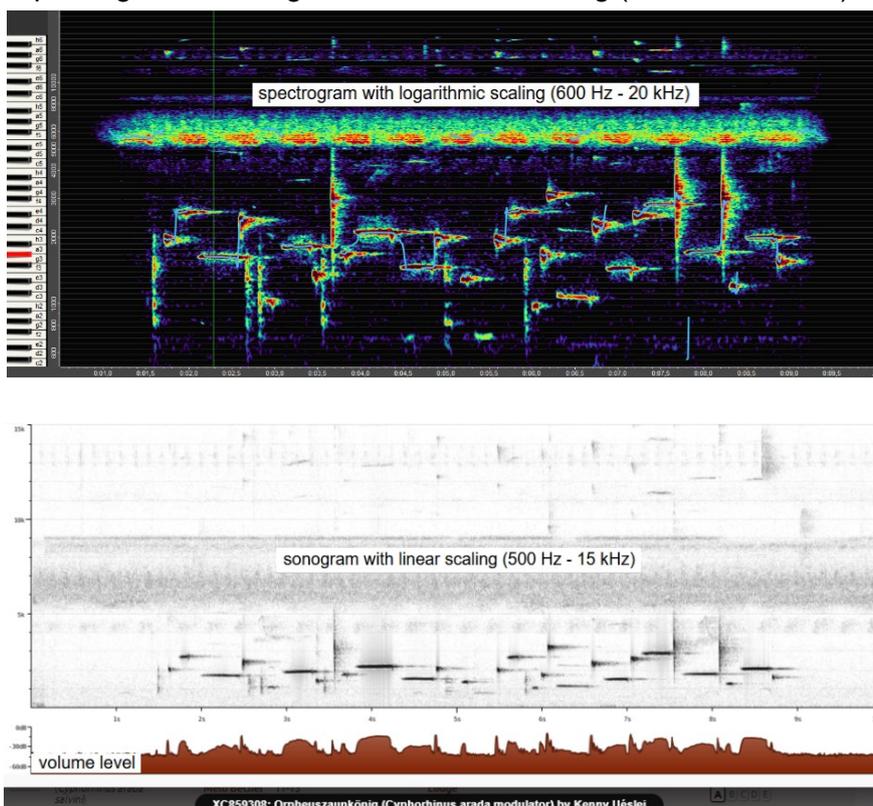
Im *logarithmischen* Spektrogramm erkennt man im Bereich von 700 bis 3000 Hz auf einen Blick die relativen Intervallverhältnisse von Oktaven, Quinten und Terzen, dazu das verdichtete geräuschhafte Spektrum des Grillengesangs bei 5-6000 Hz und das hohe Teiltenspektrum des Zaunkönigs zwischen 11 und 16 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 (B5/B6) genauso wie für die Oktave 2000/4000 Hz (B6/B7). Die Oktave B5/B6 (1:2 - 1000/2000 Hz) ist dann mit 1000 Hz genauso groß wie die Quinte B6/F#7 (2:3 - 2000/3000 Hz) 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 - 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 (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 Spektrummuster.

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 Erklingen 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 F6 und C7 (1376 : 2064 Hz = 2:3) in gleicher Weise wie für eine Quinte, die ich von F3 nach C4 singe (172:258 Hz = 2:3), und für den Dreiklang C6-A6-F6 (3:5:4 - 688:1720:1376 Hz), den ich nach Gehör exakt mit diesen Frequenzen pfeifen kann.

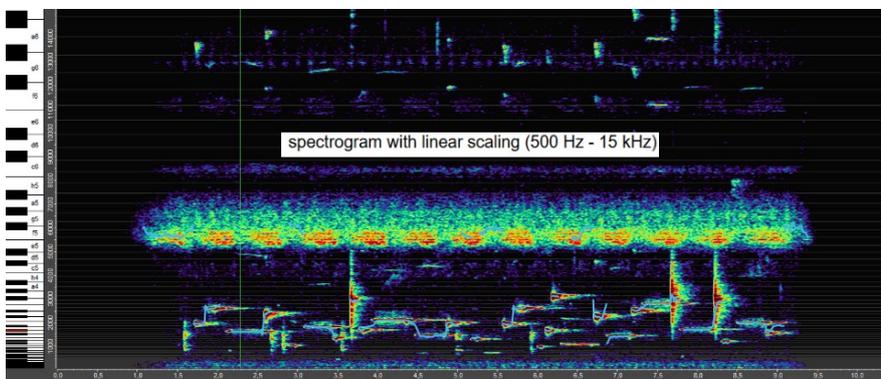
Das Gehör der Singvögel und das Gehör der Menschen rechnet **logarithmisch** (Basiszahl 2). Deshalb erfolgt die Skalierung der Frequenzen ("Tonhöhen") im Spektrogramm nicht linear, sondern logarithmisch.

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 ... 14:15:16: 17:18 ... 22:23:24:25 ....). 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)

