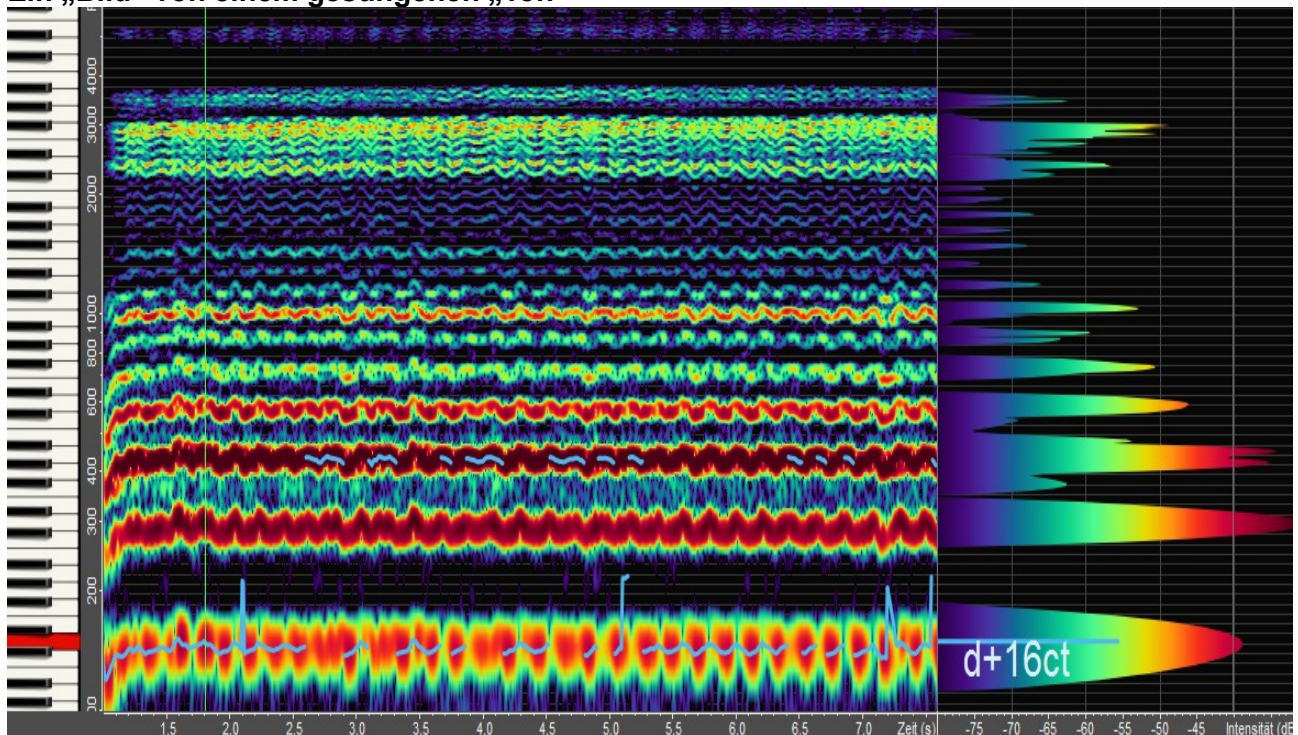


## Klangspektrum – Spektralbilder

### Ein „Bild“ von einem gesungenen „Ton“



Das Bild ist das Sonagramm eines gesungenen Tons – Tonhöhe d, Vokal a – aufgenommen mit einem „Overtone-Analyzer“.

Links sieht man eine **Klavatur** mit Angabe des aufgenommenen Tons. Direkt daneben stehen die **Frequenzangaben** in Hertz – 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 2000, 3000, 4000 Hz. Zum Beispiel schwingt das „Kleine g“ über dem gesungenen „d“ mit etwa 300 Hz, eine Oktave höher, auf g1, mit 400 Hz, also doppelt so schnell im Verhältnis 1:2, g2 dann mit 800 Hz, g3 mit 1600 Hz, g4 mit 3200 Hz usw.usf. In der 1. Oktave (g1-g2) haben die acht Töne einer Tonleiter also einen proportional größeren Abstand als in der „Kleinen Oktave“, wie auch von Ton zu Ton der Frequenzunterschied größer wird.

In der untersten Zeile wird die abgelaufene **Zeit** in Sekunden angegeben. Der Ausschnitt des gesungenen Tons dauert etwa 7 Sekunden.

Im Hauptbild ist das **Klangspektrum** des gesungenen Tons abgebildet mit all seinen **Teiltönen**. Offensichtlich ist ein gesungener Ton wie jeder Ton eines Instrumentes nicht einfach nur ein bestimmter Ton oder eine Tonhöhe (quasi ein Sinuston), sondern es ist ein Klang, der sich bildet aus einem **Spektrum** von unterschiedlichen Frequenzen. Man kann auch sagen, es ist ein „Ton“ mit mehr oder weniger vielen sogenannten Obertönen. Die **Skala der Teilfrequenzen** und ihre Proportionen sind ein Naturgesetz, wie schon Pythagoras herausgefunden hat, und bestehen aus ganzzahligen Schwingungsverhältnissen.

Die tiefste Frequenz im Spektrum, der **1. Teilton** entspricht der klingenden Tonhöhe. Der 2. Teilton schwingt doppelt so schnell, eine **Oktave** ist also ein **Proportion von 1:2**. Die nächste Schwingung, eine **Quinte** höher, steht im Verhältnis **2:3**, dann folgt auf die zweite Oktave hin eine **Quarte**, das Verhältnis **3:4**, dann eine große Terz mit **4:5**, die kleine Terz zur zweiten Quinte hin mit **5:6**, dann die kleine Septime mit 6:7 usw.usf. Wie bei allen ganzzahligen Verhältnissen schwingt jeder Teilton auch in der doppelten Frequenz, also in der Oktave, was man im Bild mit Hilfe der Klaviatur gut ablesen kann. Dem 1. Teilton, dem „d“ mit etwa 150 Hz, folgt als 2. Teilton das d2 mit 300 Hz, dann der 4. Teilton mit 600 Hz, der 8. mit 1200 und gerade noch erkennbar der 16. mit 2400 Hz. Gleiches gilt für die Quinte „a“, den 3. Teilton (auf 440 Hz, 880 Hz usw.), die Terz „fis“, den 5. Teilton (auf 750 Hz, 1500 Hz und 3000 Hz = fis4 im Sängermanen).

Wie man im Bild sehr anschaulich sehen kann, verdichten sich durch die ganzzahligen Verhältnisse die Teiltöne im Spektrum nach oben immer mehr, so daß sie immer weniger zu unterscheiden sind.

Gleichzeitig nimmt tendenziell die Lautstärke bzw. die **Intensität** der Teiltöne nach oben hin ab. Das erkennt man in dem Bild an den unterschiedlichen Farbwerten, je röter desto höher der Pegel. Auf der rechten Seite des Bildes ist in einem extra Fenster der Pegel für jeden Teilton in Dezibel angegeben. Hier zeigt sich, daß es durchaus sein kann, daß der 1. Teilton gar nicht den höchsten Intensitätspegel haben muß. Wie in diesem Beispiel kann die Oktave oder sogar die Quinte auch einen höheren Pegel haben, ohne daß das die Tonhöhenwahrnehmung des Gesamtklangs beeinträchtigt, eher wird sie durch diese Klangstruktur begünstigt.

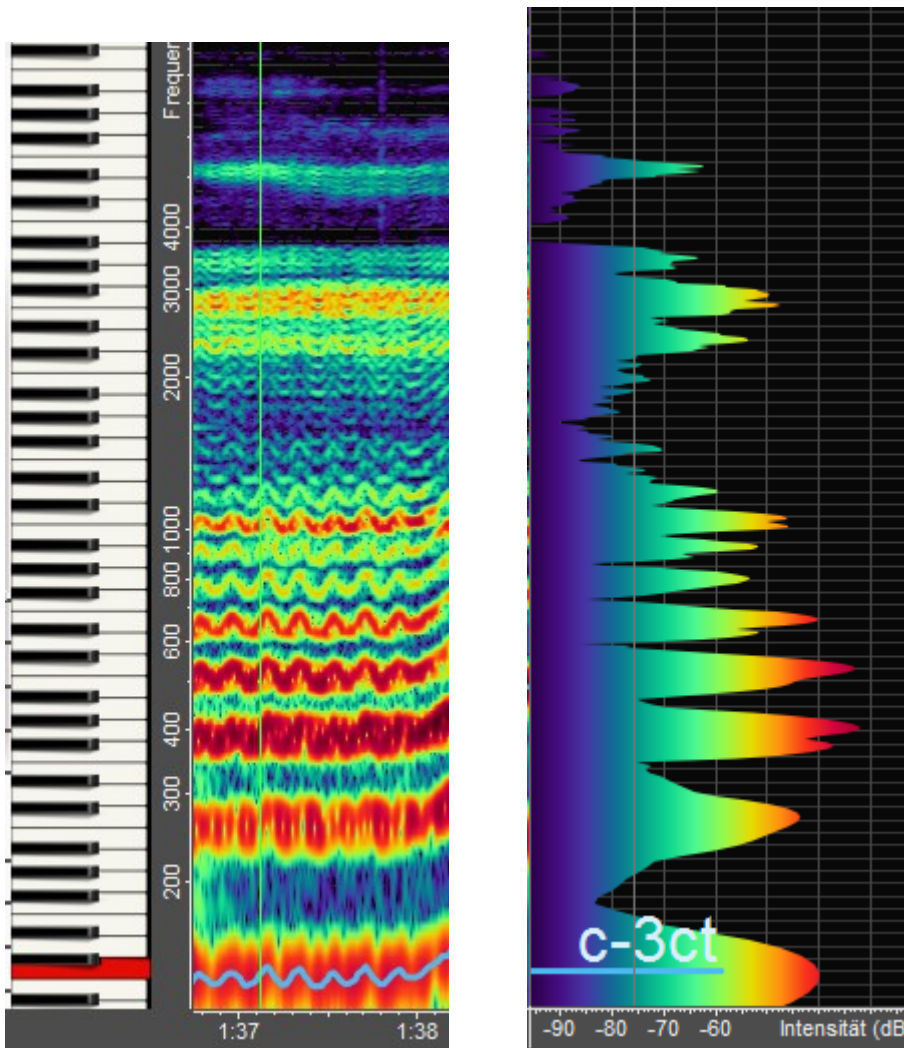
Die graue Linie ist im Overton-Analyzer der **Tonhöhenmarker**. Es kann sein, daß er sich durch den 1. Teilton gleichmäßig durchzieht, auch mit Anzeige des Vibratos. In diesem Klang ist es so, daß sich das Analyseprogramm quasi nicht entscheiden kann, ob es den 1. oder den 3. Teilton als Tonhöhe markieren soll, deshalb auch die Ausschläge auf dem 1. Teilton. Vom Charakter ist dieser Klang offensichtlich und sicher auch offenkundig nicht besonders „grundtönig“ oder grundtonlastig, sondern wird mehr dominiert von einer **starken Quinte** und klingt eher heller. Und gerade durch die markante Quinte im Klang definiert das Ohr den 1. Teilton als Grundton einer Harmonie, hier von D-Dur mit dem Dreiklang d-fis-a. Dieser Dreiklang taucht auch deutlich sichtbar im Spektrum auf mit den Teiltönen 4, 5 und 6. Die starke Quinte, die diesem Klang seinen prägnanten Charakter gibt, zeigt sich auch im hohen Schwingungsbereich, wo sie nochmal im Bereich der 4. Oktave um a4 herum, deutlicher auftaucht, wohl angeregt durch sich selbst verstärkende Resonanzen im Bereich des **Sängerformanten**. Wahrscheinlich erscheint durch diese Resonanzverhältnisse auch die 4. Oktave d4, der 16. Teilton wieder mit einem höheren Pegel.

**Vokal:** Während die Intensität der Teiltöne über dem 4. Teilton tendenziell abnimmt, taucht in diesem Klang, ausgerechnet auf dem für die Klangstruktur nicht so wichtigen 7. Teilton eine stärkere Intensität auf. Das liegt daran, daß bei etwa 1000 Hz der zweite hellere **Vokalformant** des Vokals „a“ liegt (Formant = Ausschnitt aus dem Teiltonepektrum bzw. Verdichtung von Frequenzen mit höherem Pegel). D.h. wenn in diesem Bereich eine stärkere Intensität auftaucht, analysiert unser Ohr und definiert unser Gehirn diesen Aspekt des Klangs als den Vokal „a“.

**Vibrato:** An der Wellenlinie in allen Teiltönen ist das Vibrato zu erkennen, in den ersten beiden Teiltönen mit einer größeren Amplitude, und selbst in den höchsten sichtbaren Teiltönen ist der Vibratopuls noch zu sehen. An der Zeitskala unten ist abzulesen, daß das Vibrato eine Frequenz von 5 Hz hat. In der zweiten Hälfte des sichtbaren Klangs ist es ganz regelmäßig. Die Bezeichnung „d+16ct“ in der Pegelanzeige besagt, daß an der Stelle, wo der Pegel in diesem Fall abgenommen wurde (gelber senkrechter Marker), auf dem Scheitelpunkt der **Vibratowelle** die Tonhöhe 16 Cent (1/100 Hertz) über der **Tonhöhe** von „Klein d“ liegt. Am Wellentiefpunkt gäbe es dann wahrscheinlich „d-16ct“. Die Vibratowelle schwingt also um eine Tonhöhe herum, was den Klang insgesamt für das Ohr lebendiger erscheinen läßt und die Schwingung flexibler macht. (Die genaue Tonhöhe von „d“ ist 146,83 Hz. Der Halbton darüber, das „es“, hat eine Frequenz von 155,56. Also beträgt der Abstand zwischen den beiden Tonhöhen/Frequenzen 9 Hertz.) Die Tonhöhenwahrnehmung hängt eh nicht nur von der Tonhöhe der tiefsten Frequenz im Klangspektrum ab, sondern mehr noch von den höheren Frequenzen und der ganzen Struktur des Klangspektrums und seinen inneren Proportionen.

**Brillanz:** Im hohen Frequenzspektrum zwischen d4 und fis4, 2300-3000Hz, zeichnet sich ein breiteres Band von intensiven Schwingungen ab, mit Klangspitzen bis in den roten Bereich hinein, wie man rechts an der Pegelanzeige ablesen kann. Wenn bei einem Klang in diesem Bereich verdichtete Intensitäten erscheinen, bezeichnet man dieses Phänomen als Brillanz. Bündelt sich die hohe Klangenergie in diesem Bereich und liegt die Intensitätsspitze bei 3000 Hz spricht man bei diesem Formanten (= Ausschnitt aus dem Teiltonepektrum) vom **Sängerformanten**, der den Klang der Stimme tragfähiger macht (auch über ein Orchester hinaus), ihn auch für den Zuhörer intensiver und leuchtender erscheinen läßt. (Für einen eher tiefen Ton wie das „d“ hat dieser Klang ziemlich viel Brillanz.)

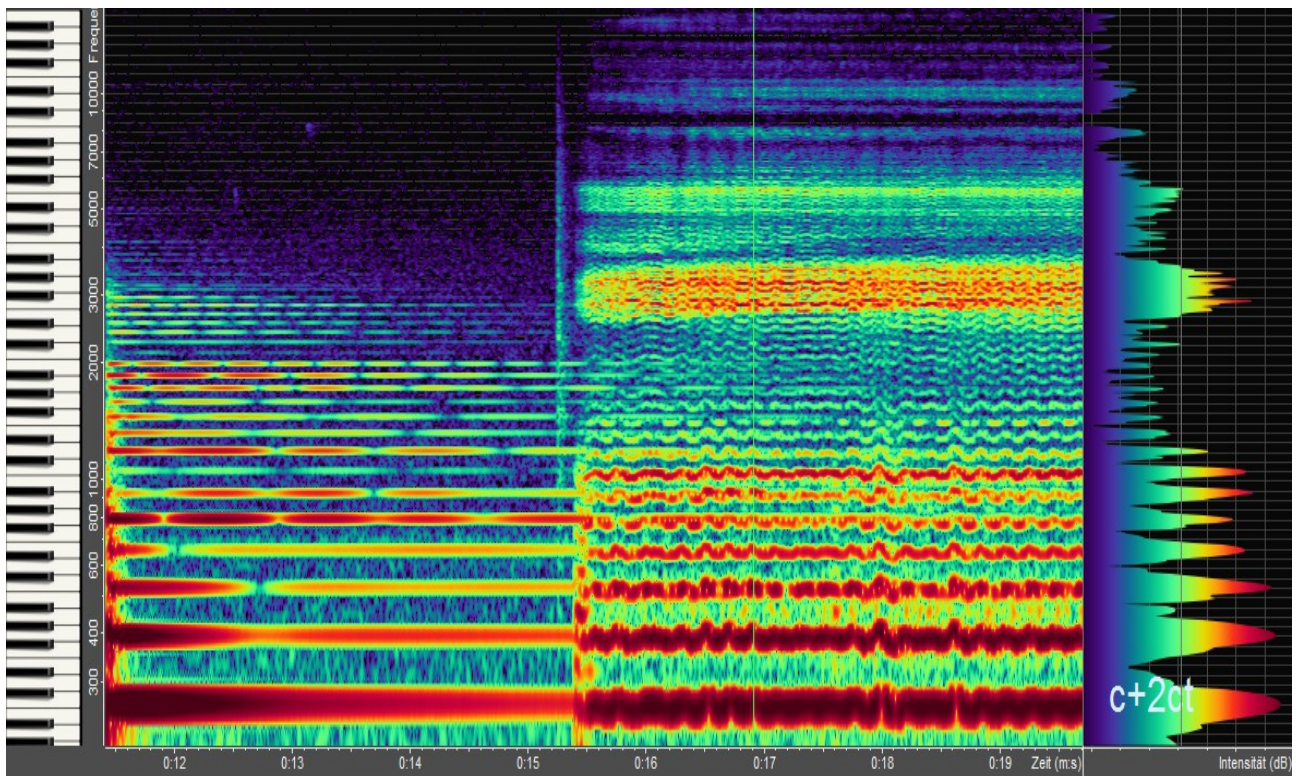
Weitere Beispiele für Klangspektren mit dem Overtone-Analyser:



Das linke Bild zeigt den ersten Ton einer gesungenen C-Dur-Tonleiter (TI-1 1.37) und das rechte den Intensitätspegel bei der Cursor-Markierung. Es gibt eine deutliche Tonhöhenmarkierung auf dem 1. Teilton, der in diesem Fall auch der Grundton ist. Das Vibrato hat eine Frequenz von 7 Hz. Die Tonhöhenbewegung zum nächsten Ton der Tonleiter setzt günstigerweise genau in der Nullphase des Vibratos ein.

Der 3. und der 4. Teilton (die Quinte und die 2. Oktave) haben einen stärkeren Pegel als der 1. Teilton bzw. der Grundton. Auch die Terz (5. Teilton) hat eine relativ hohe Intensität. Der Vokalformant von „a“ bei 1000 Hz ist deutlich zu erkennen. Eine schöne Klangspitze zeigt sich beim Sängerkformanten (3000 Hz). Und darüber taucht auch der 2. Sängerkformant bei 5000 Hz auf.

Auf der nächsten Seite noch ein Klangspektrum von einem Klavierton und einem gesungenen Ton:



Der Ton „c“ auf dem Klavier und dann in den Klavierton hinein gesungen. Für die Bildwiedergabe wurde der Pegel stark erhöht, um ein möglichst großes Frequenzspektrum sichtbar zu machen.

Weitere Bilder vom „Klangspektrum im Klavier und in der Stimme“ finden sich in der entsprechenden PDF-Datei.