

Frequenzbestimmung mittels Audacity – Chömii (Obertongesang)

Im Folgenden wird nicht nur eine Einzelfrequenz bestimmt, sondern auch die Struktur von Obertongesang. Das Beispiel ist also komplizierter als der Fall der bloßen „Frequenzbestimmung“.

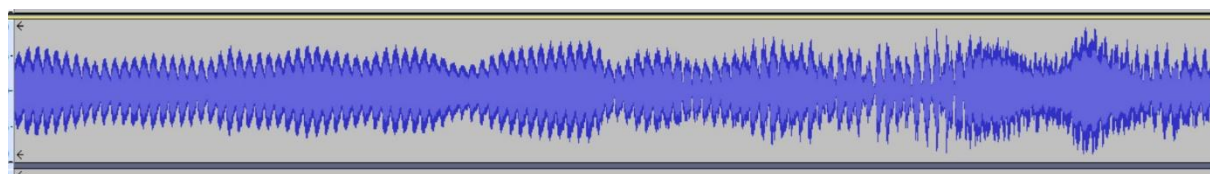
Ausgangssample ist ein „Chömii-Obertongesang“ („choemii.mp3“).

1. Vorbereitung und Orientierung

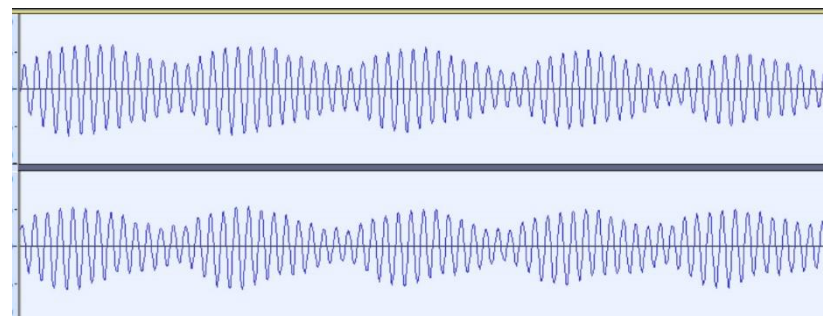
Die Passage wird zunächst nach Gehör transkribiert und - im vorliegenden Fall - die der Musik zu Grunde liegende Obertonreihe notiert:

The image shows a musical score for Obertongesang analysis. It consists of three systems of staves. The first system has two staves: the top staff is labeled 'Oberton' and the bottom staff is labeled 'Grundton'. The 'Oberton' staff shows a sequence of notes numbered 1 through 16, with a key signature of one flat and a 4/4 time signature. The 'Grundton' staff shows a single note on the first staff, followed by rests on the subsequent staves. The second system has two staves: the top staff is labeled '5' and the bottom staff is labeled '1 2 3'. The third system has two staves: the top staff is labeled '9' and the bottom staff is labeled '1 2 3'. The notes in the 'Oberton' staff are mostly quarter notes, while the notes in the 'Grundton' staff are mostly half notes.

Ein Ausschnitt mit konstanter Tonhöhe wird isoliert. Im Beispiel „Audacity-Choemii-Analyse.aup“ ist das komplette Stück auf Spur 1, der Spitzenton D5 auf Spur 2,



auf Spur 3 noch vergrößert:



2. Frequenzanalyse: einfachster Ansatz

Bei einer etwas größeren Passage kann die Grundfrequenz über die Funktion „Tonhöhe verändern“ in Audacity bestimmt werden: Menue „Effekte“ → Tonhöhe ändern.

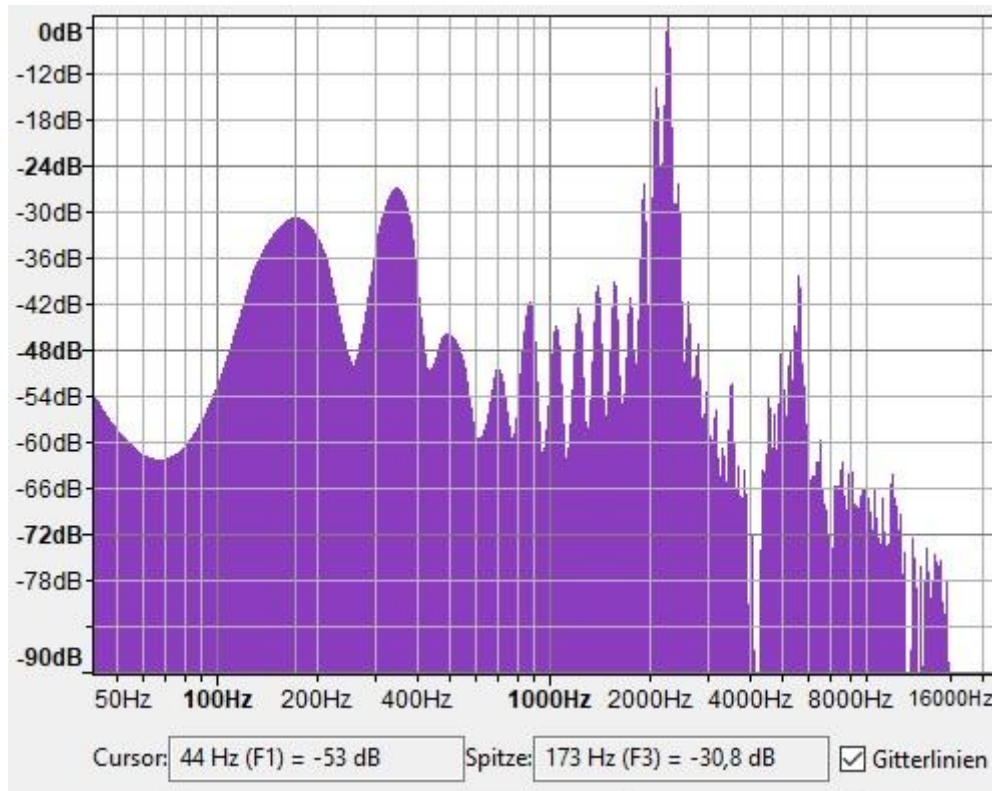
Hier wird die Frequenz in der Mitte grob angegeben. Im vorliegenden Fall erhält man 174,308 Hz

Im vorliegenden Fall von zwei Tönen (Grundton und 1. Oberton) ist diese Analyse natürlich problematisch: faktisch zeigt sie den Grundton und man kann nicht den Oberton herausfiltern... Auch sonst gibt es viele „einstimmige“ Fälle, in denen man hier falsche Ergebnisse erhält; immer dann, wenn der Grundton schwächer als ein berton oder die Schwingung aus anderen Gründen komplex ist.

3. Frequenzbestimmung durch FFT (Spektralanalyse)

Ausgangspunkt einer Spektralanalyse ist ein „homogenes“ Sample, d.h. konstante Frequenz, periodisches Schwingungsbild etc. Es genügen je nach Komplexität des Samples 4 Schwingungen.

Audacity führt dann eine Spektralanalyse (Fast Fourier Transformation FFT) durch: Menue „Analyse“ → Spektrum zeichnen.



Fährt man mit dem Cursor über den violetten Bereich, so rastet die Angabe bei „Spitze“ immer bei relativen Spitzenwerten ein. Man erhält im vorliegenden Fall folgende Spitzenwerte:

Messwerte (in Excel „Berechnung-Chömi.xls“):

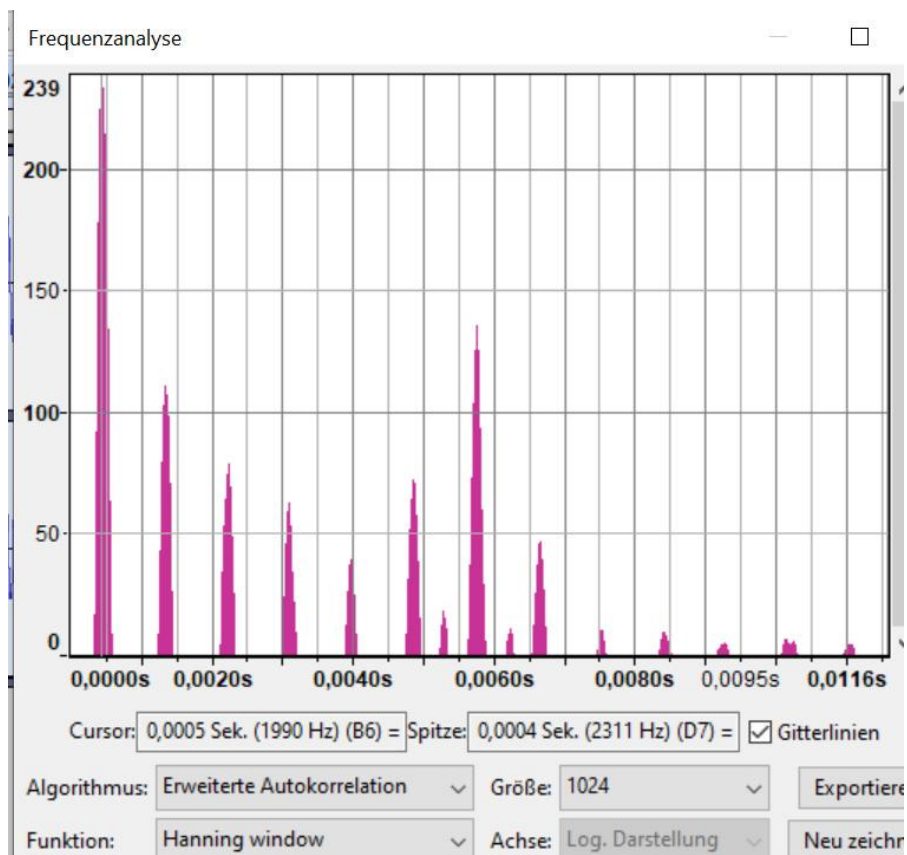
	Nr	Bem	genau:
174	1	hoch	174,3514
349	2	hoch	348,7028
494	3	niedrig	523,0542
697	4	niedrig	697,4056
871	5	niedrig	871,757

1044	6	niedrig	1046,1084
1220	7	niedrig	1220,4598
1394	8	niedrig	1394,8112
1568	9	niedrig	1569,1626
1742	10	niedrig	1743,514
1915	11	wir höher	1917,8654
2087	12	noch höher	2092,2168
2261	13	höchster	2266,5682
....		fällt wieder ab	
5573	32	kleine Spitze	5573,000

Nach Augenmaß kann man natürlich auch gleich den Grundton (174 Hz) und den 13. Oberton als höchste Spitze (2261 Hz) erkennen.

Die Angabe ist leider grob, d.h. es fehlen Werte hinter dem Komma. Dass man im vorliegenden zweistimmigen Beispiel überhaupt ein interpretierbares Spektrum erhält, liegt daran, dass die beiden Stimmen Teile des Spektrums sind. Ist dies nicht der Fall, so ist die Spektralanalyse ungeeignet. Geeignet jedoch ist sie dann, wenn man per Auge im Schwingungsbild keine Periodizität erkennen kann, aber dennoch subjektiv eine Tonhöhe hört. Hier kann das Spektrum meist den Höreindruck bestätigen, auch wenn das Auge versagt hat. (Beispiele wird es Kurs noch zur Genüge geben.)

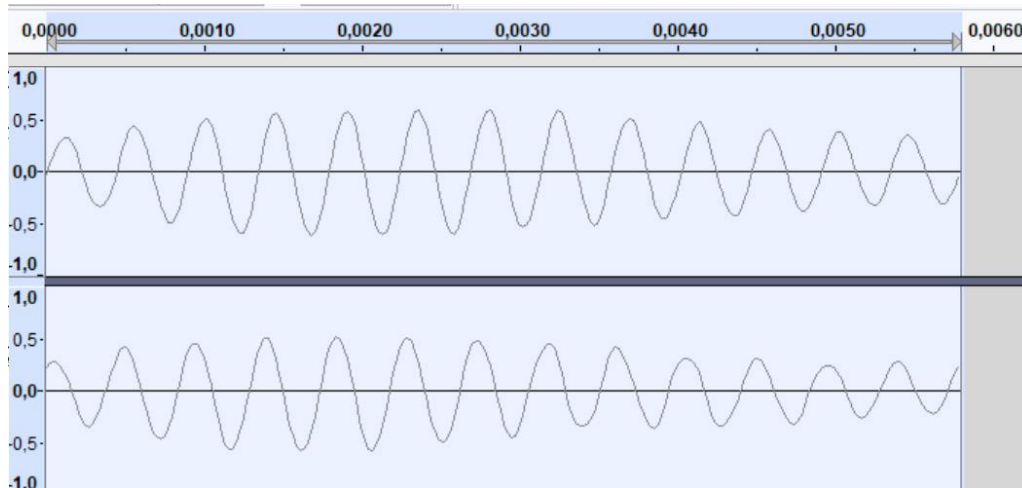
Ergänzung durch **Analyse** → **Spektrum zeichnen** → **Erweiterte Korrelation** mit 1024 Auflösung. Hier sind die „Spitzen“ nicht unmittelbar interpretierbar.



4. Genaueste Analyse durch die „Sample-Zählmethode“

Die genaueste Art der Analyse eines digital aufgezeichneten Audiosignals besteht darin, die Anzahl von Samples zu zählen. (VORSICHT: das Wort „Sample“ hat eine doppelte Bedeutung!) In Audacity ist dies relativ einfach möglich.

Dazu muss möglichst der kleinste periodische Vorgang - nach Augenmaß! - ermitteln. Hier ist das eine „Schwebung“, die in 13 sinusförmige Schwingungen unterteilt ist.



Es ist klar, dass die Schwebungsfrequenz die Frequenz des Grundtons und die Frequenz der kleinen Sinusschwingung die des Obertons ist - der erwartungsgemäß 13 Mal in die Schwebungspériode passt.

Ganz unten in Audacity können die Länge eines Audioausschnitts der die Position des Cursors in „Anzahl der Samples“ abgelesen werden. (Die Angaben der Länge in h_min:sec_ms sind ungenauer.) Man muss aufpassen, dass die Angaben im kleinen Display die Zahlen abschneiden, so dass beispielsweise von 44047 nur 047 angezeigt wird. Im großen Display in der Mitte wird die ganze Anzahl gezeigt, falls diese nicht allzu lange sind. (In der Regel ist eine Periode ja nie länger als $1/16 = 0,0625$ sec.)

Geht man mit dem Cursor auf den Schluss des Samples, dann kann man im großen Display die komplette Zahl ablesen. Bei den Sekundenangaben gibt es das Problem nicht.

Umrechnung: 1 Sample = $1/44100$ sec entsprechend 44100 Hz. **Formel:** bei Samplingfrequenz von 44100 Hz sind **N Samples = $44100/N$ Hz.**

1. Messung in Spur 3 (16 Schwebungsbaüche): 4047 Samples.

4047 Samples entsprechen $4047/44100$ sec = 0,09176871 sec. Pro Schwebungsbauch also: $4047/(16*44100)$ sec. In Frequenz ausgedrückt: $16*44100/4047 = \mathbf{174,351371}$ Hz (= Grundtonfrequenz des Obertongesanges.)

Da man genau 13 Schwingungen innerhalb eines Bauches zählt, beträgt die Obertonfrequenz das 13-fache = **2266,56783 Hz.**

2. Messung in Spur 4 (an einem Schwebungsbauch): 256 Samples ergeben einen Grundton von $44100/256 = \mathbf{172,265625}$ Hz.

→→ Es ist also besser, mehr als eine Schwingung für die Frequenzbestimmung aus dem Audiofile heraus zu präparieren.

Anwendung: Keyboardstimmung für den Chömi-Gesang

Nr.	Frequ	Taste	T-Frequ	Centabw.
1	174,35	F2	174,61	-2,61
6	1046,11	C5	1046,50	-0,65
7	1220,46	Eb5	1244,51	-33,78
8	1394,81	F5	1396,91	-2,61
9	1569,16	G5	1567,98	1,30
10	1743,51	A5	1760,00	-16,29
11	1917,87	B5	1864,66	48,71
12	2092,22	C6	2093,00	-0,65
13	2266,57	C#6	2217,46	37,92
14	2440,92	Eb6	2489,02	-33,78
15	2615,27	E6	2637,02	-14,34
16	2789,62	F6	2793,83	-2,61

Der im Notenbeispiel mit D6 bezeichnete Ton liegt rechnerisch dem C#6 näher. Im Maqamplayer kann man aber auch das D6 mit -62,8 Cent belegen, für den Fall, dass das Midifile ein D6 enthält.

(In die Rechnung sind 6 Stellen hinter dem Komma berücksichtigt worden.)

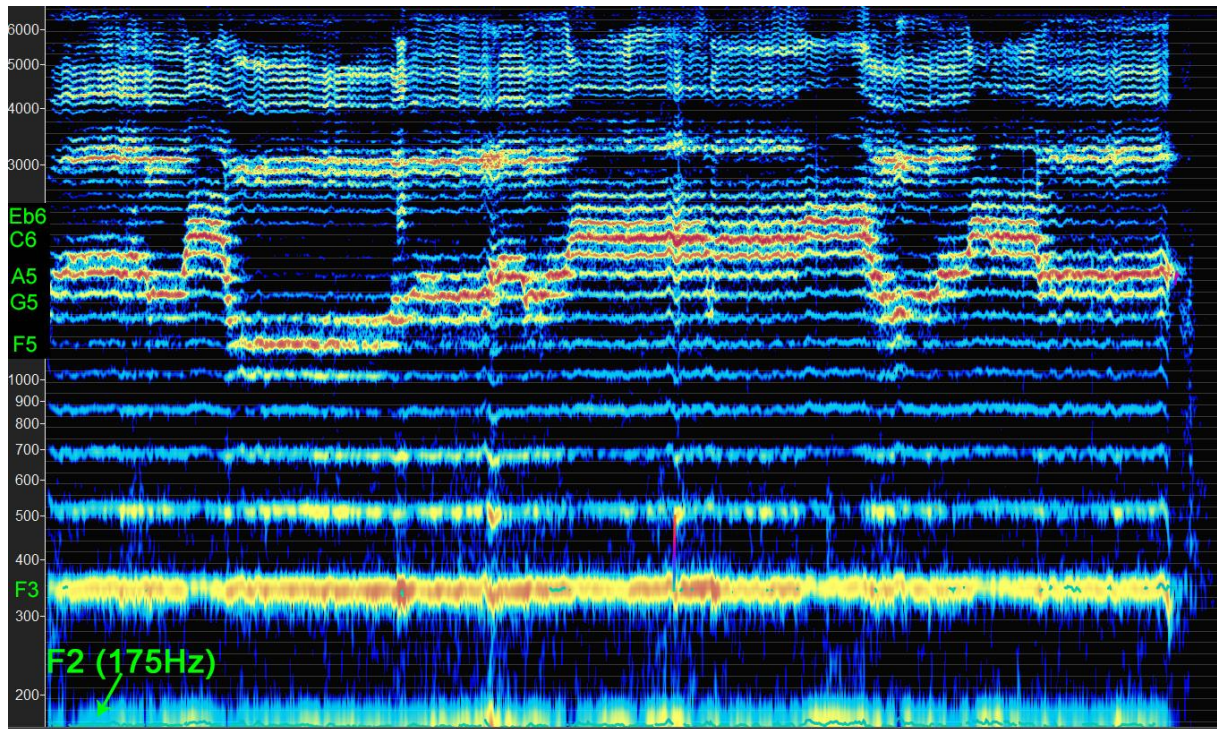
Tastatur-Umstimmung im Maqam-Player

C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	B	H
-1	38	-62	-34	-14	-3	-	1	-	-16	49	-

„Overtone-Analyser“ und andere Spektrogramm-Programme

Es gibt verschiedene Programme, die auf Spektralanalyse spezialisiert sind. Ich verwende den „Overtone-Analyser“, von dem es eine Trial-Version gibt, die fürs Erste genügt. Download über: <http://www.sygyt.com>. Kollegen an der FU verwenden für Analysen von Techno etc. das französische Programm Acousmographie: <https://inagrm.com/accueil/outils/acousmographie>. Man kann es mit vollem Umfang relativ lange als „trial“ benutzen.

Das folgende Bild von „Chömii“ ist vom Overtone-Analyser:



Man sieht, dass zu jedem Oberton mehrere Spektrallinien gehören, d.h. der Oberton ist nicht (wie die Theorie sagt!) sinusförmig! Grobe Spektrogramme wie die von Audacity nehmen hier offensichtlich einen Mittelwert...

Unsere Melodie vom Anfang aus dem Notenbeispiel ist sehr klar zu erkennen.