

Versuch einer Erklärung des Phänomens „Formaten“

2. Fassung (2020)

1. Vorwort zur 2. Fassung:

Im März 2013 habe ich im Journal der EVTA.CH einen Artikel publiziert, der den Zweck hatte, die Grundlage der Verwendung von Oberton-Visualisierung wie Sygyt, Sing&See auf sehr einfacher Weise zu erläutern. Dabei ist der Begriff „Formanten“ allzu vereinfacht gewesen, da ich ihn mit „Obertönen“ gleichgesetzt habe. Hier also eine korrigierte Fassung des Artikels.

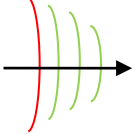
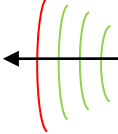
2. Der Ton¹

Jeder Ton besteht aus einer periodischen Luftdruckveränderung. Hörbar ist der Ton, wenn die Veränderung zwischen ca. 40 und 20'000 Mal in der Sekunde vorkommt (abhängig vom Alter und von der Gesundheit des Hörers).

Ein Ton ist hörbar, wenn zwischen Tonquelle (vibrierender Gegenstand) und dem Ohr ein übertragendes Medium ist, wie die Luft oder das Wasser.²

Die Tonquelle muss ein vibrierender Gegenstand sein, der einen Druck und einen Sog (alternierend) auf das übertragende Medium ausübt.

Beispiel Gitarren- oder Geigensaite:

Zeit 1: Die Saite übt einen Druck auf die Luft rechts von ihr aus: 	Zeit 2: Die Saite übt einen Sog auf die Luft rechts von ihr aus: 
---	---

Die Luftdruckveränderung überträgt sich auf das Ohr, das unserem Hirn synchrone Impulse überträgt, welche es seinerseits als Ton interpretiert.

3. Resonanz

Gegenstände, die fähig sind, in der gleichen Geschwindigkeit wie die Tonquelle zu schwingen, und der Luftdruckveränderung ausgesetzt sind, fangen ebenfalls an zu schwingen. Dies nennt man „Resonanz“.

Demonstration 1:

Drückt man stumm auf eine Klaviertaste und hält sie weiterhin gedrückt während man kurz und laut auf die Taste eine Oktav tiefer schlägt, dann hört man den Ton der höheren Taste klingen. Der Ton der unteren Taste hat sich auf die Saiten der oberen Taste übertragen. Das Gegenteil (anschlagen der Oktav höher als die gedrückt gehaltene Taste) klappt auch, wobei immer der höhere Ton (ob gedrückt oder stumm gehalten) hörbar bleibt.

Die Schwingung der einen Saite hat sich auf die andere übertragen.

¹ Für weitere Informationen:

https://de.wikibooks.org/wiki/Grundlagen_der_Akustik:_Physikalische_Grundlagen

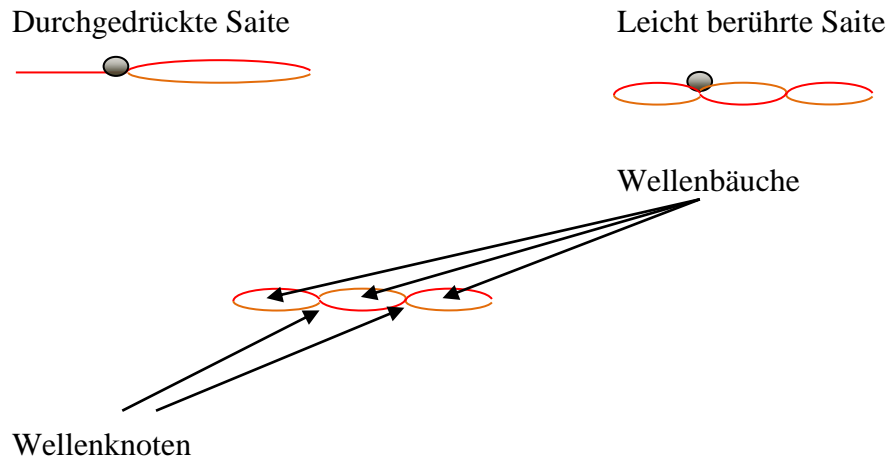
² Es können auch mehrere Medien zwischen Ton und Ohr vorkommen: von den Stimmbändern eines Sängers wird der Ton zuerst im Vokaltrakt verstärkt, wobei sowohl Resonanzräume wie auch Knochen die Verstärkung verursachen, dann wird der Ton durch die Luft bis zum Ohr des Hörers geleitet. Beim kindlichen „Telefonspiel“ wird der Ton von einer Büchse durch eine Schnur zur anderen Büchse übertragen. Die Stimmgabel wird oft an irgendeine hölzerne oder metallene Fläche gebracht, um ihre Vibration hörbar zu machen. Da wird Holz oder Metall als übertragendes Medium verwendet.

4. Teilung einer Schwingung

Jede Tonquelle kann auch in der Hälfte, im Drittel, Viertel, Fünftel usw. ihrer Länge schwingen. Das kann dementsprechend auch jeder Gegenstand, der als Resonator (durch Übertragung mitschwingender Gegenstand) funktioniert.

Demonstration 2:

Drückt man eine Gitarrensaiten auf dem Drittel der Gesamtlänge, klingt die Quinte des ursprünglichen Tones. Dabei schwingt $\frac{2}{3}$ der gesamten Saitenlänge. Berührt man aber nur leicht die Saite am Drittel der Länge, dann klingt die Quinte, eine Oktav höher als im ersten Fall. Dabei schwingt nicht nur $\frac{2}{3}$ der Saite, sondern die ganze Saite, wobei am $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ der Saite keine Schwingung existiert (Wellenknoten – siehe Zeichnung).



Die Töne, die auf der Geige oder auf der Gitarre auf dieser Art entstehen, nennt man „Flageolet-Töne“.

5. Obertonreihe: Alle Möglichkeiten eines Gegenstandes, seine Schwingung zu teilen

An einer Gitarrensaiten kann man gut zeigen, welche Töne entstehen, wenn man Flageolet-Töne durch Teilung der Saite produziert:

- Ganze Saite (z. B. A-Saite): Grundton ($A = 110 \text{ Hz}^3$)
- Halbe Saite: Oktave ($a = 220 \text{ Hz}$)
- Drittel Saite: Oktave + Quinte ($e' = 330 \text{ Hz}$)
- Viertel Saite: Doppelte Oktave ($a' = 440 \text{ Hz}$)
- Fünftel Saite: Doppelte Oktave + grosse Terz ($cis'' = 550 \text{ Hz}$)
- Sechstel Saite: Doppelte Oktave + Quinte ($e'' = 660 \text{ Hz}$)
- Siebtel Saite: Doppelte Oktave + Septime (unreines $g'' = 770 \text{ Hz}$)
- Achtel Saite: Dreifache Oktave ($a'' = 880 \text{ Hz}$)
- Neuntel Saite: Dreifache Oktave + grosse Sekunde ($h'' = 990 \text{ Hz}$)
- Zehntel Saite: Dreifache Oktave + grosse Terz ($cis''' = 1100 \text{ Hz}$)

Grundton	Oktave	8 + Quint	2 x Oktave	16 + Terz	16 + Quint	16 + Sept	3 x Oktave	24 + Ganzton	24 + Terz
A	a	e'	a'	cis''	e''	g''	a''	h''	cis'''
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

³ Hz: Hertz oder Anzahl Schwingungen pro Sekunde

Das Prinzip der Tonproduktion bei einem Alphorn ist folgendes: Mit den Lippen werden Luftschwingungen erzeugt, die sich in der Luftröhre (Alphorn) verstärken. Die ganze Luftröhre schwingt durch Resonanz, jedoch meistens analog den „Flageolettönen“ der Saite in ganzheitlicher Teilung der Gesamtlänge.

Die Naturtonreihe

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Die eingeklammerten Töne werden üblicherweise nicht geblasen

Der Grundton ertönt, wenn nur ein „Wellenbauch“ (keine Wellenkoten) in der Luftröhre entsteht. Der 2. Ton ertönt, wenn 2 Bäuche (ein Knoten) entstehen usw.

Die Reihe der Töne, die auf solche Art produziert werden, nennt man „Oberton-Reihe“

6. Resonanzfähigkeit in Teil-Tönen

Die Schwingung einer Tonquelle kann Resonanzen bei einem anderen Körper anregen, die einem Oberton der Tonquelle entspricht.

Entspricht die Schwingung einer Klaviersaite dem a' (440 Hz), kann diese Saite zum Schwingen gebracht werden durch die Schwingung einer anderen Saite, die mehrmals langsamer oder mehrmals schneller vibriert, also durch die Saiten a (220 Hz), A (110 Hz), a'' (880 Hz), e''' (1200 Hz), a''' (1760 Hz) usw. Siehe Demonstration 1.

7. Phänomen Resonanz bei der menschlichen Stimme

Die Einzigartigkeit jeder Stimme beruht auf der individuellen Benützung der körpereigenen Resonanzfähigkeit. Die Stimmbänder erzeugen den Grundton, der der gewollten Tonhöhe entspricht. Die Stimmbänder allein machen einen klangarmen Ton, der sich im Vokaltrakt sich nicht nur verstärkt, sondern färbt. Die Resonanzräume und Resonanzkörper (Knochen u.a.) haben meistens vielfältige Resonanzfähigkeit, d.h. dass sie Obertöne übernehmen und verstärken.

Diese Obertöne werden allerdings nicht gleichmäßig verstärkt. Unter anderem werden die verschiedenen Vokale durch verschiedene Verteilung der Obertöne gebildet.

8. Formanten

Die Gebiete der Obertöne, die durch verstärkte Resonanzen stärker ausgeprägt sind, werden Formanten genannt. Die verschiedene Vokale (a , e , i , o , u) werden durch verschiedene Formanten gebildet:

Bild 1: Sonogramm von einem gesungenen F bei wechselnden Vokalen (a, e, i, o, u) realisiert mit dem „Overtone Analyzer“ von Sygyt

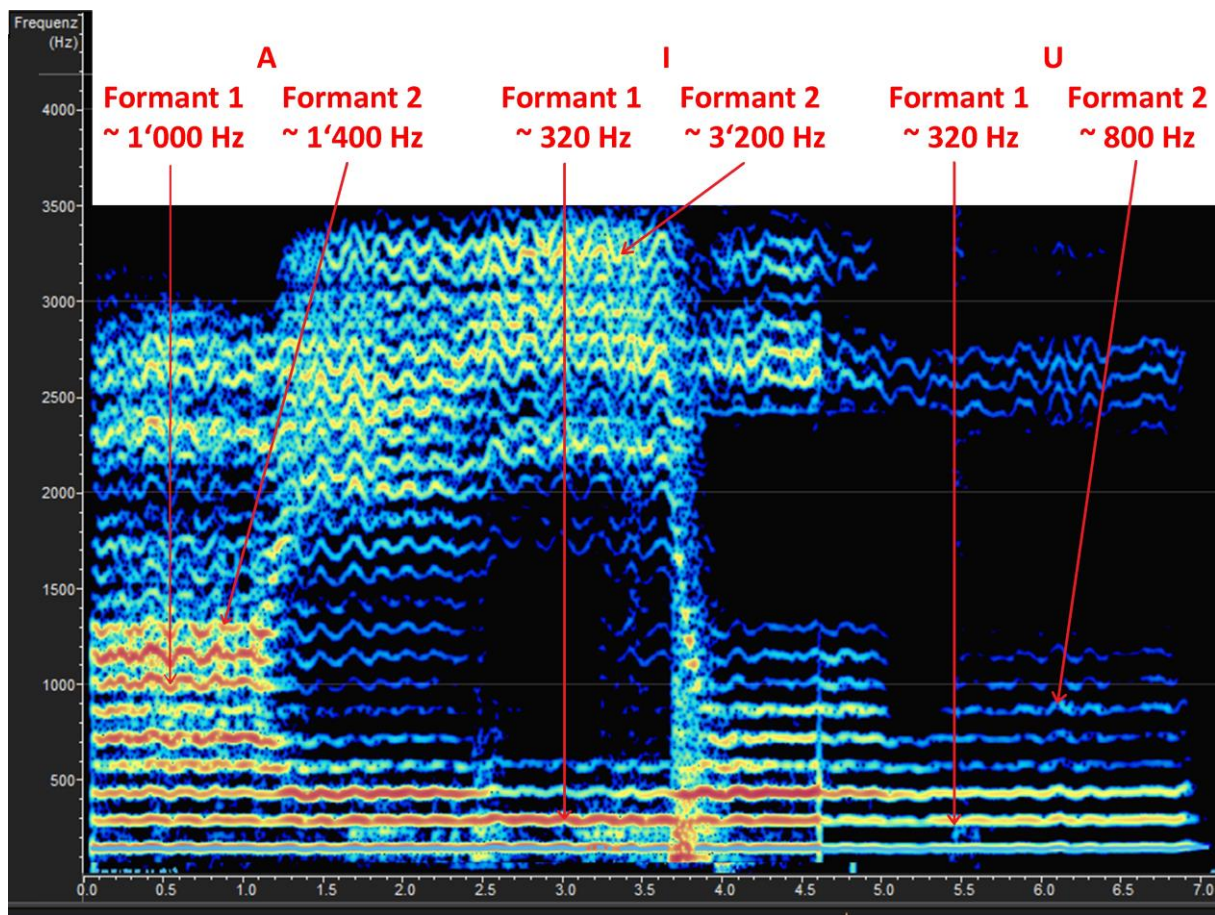


Tabelle 1: Gemittelte Formantlagen

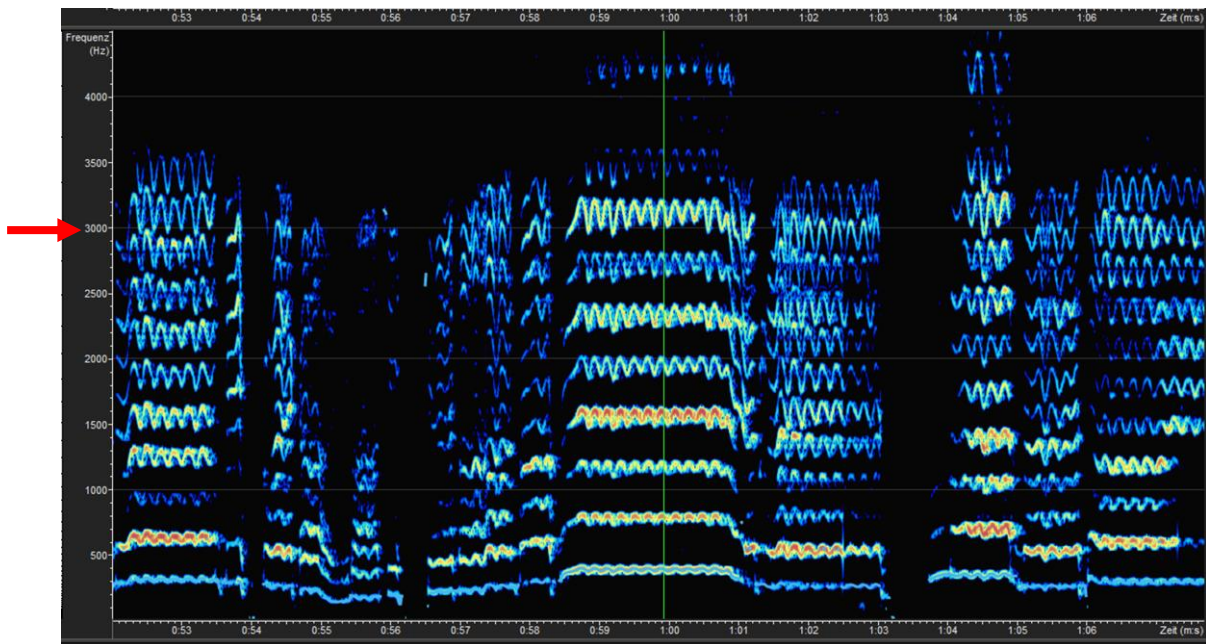
Vokalformant-Zentren			
deutscher Vokal	IPA	Formant F1	Formant F2
U	<u>u</u>	320 Hz	800 Hz
O	<u>o</u>	500 Hz	1000 Hz
Ä	<u>a</u>	700 Hz	1150 Hz
A	<u>a</u>	1000 Hz	1400 Hz
Ö	<u>ø</u>	500 Hz	1500 Hz
Ü	<u>y</u>	320 Hz	1650 Hz
Ä	<u>ε</u>	700 Hz	1800 Hz
E	<u>e</u>	500 Hz	2300 Hz
I	<u>i</u>	320 Hz	3200 Hz

9. Visualisierung der Obertöne und der Formanten

Computerprogramme wie VoceVista, Sing&See, Sygyt usw. zeigen auf, wie ausgeprägt die einzelnen Obertöne sind. Das Farbschema kann angepasst werden. In den hier gezeigten Beispielen („Overtone Analyzer“ von Sygyt) werden sehr schwach ausgeprägte Obertöne dunkelblau gezeichnet, sehr stark ausgeprägte Obertöne werden dunkelrot gezeichnet (Graduation: dunkelblau, hellblau, blassgrün, gelb, orange, hellrot, dunkelrot).

Berufssänger*innen müssen über das Orchester hörbar sein. Dazu benutzen sie den sogenannten „Sängerformant“. Das sind Obertöne im Bereich von 3'000 Hz.

Bild 2: Sonogramm eines Teils der Arie von Silvio aus „Pagliacci“ mit dem Sängerformant etwa um 3'000 Hz



Olten, Juni 2020