

Grundlagen der Akustik: Obertöne und Fourier-Analyse

Inhaltsverzeichnis

Schallereignisse

Klangfarbe

Fourier-Analyse

Intervall

Obertonreihe (Partialtonreihe)

Konsonanz und Dissonanz

Schallereignisse

In der Akustik unterscheidet man zwischen folgenden vier Schallereignissen (Fig. 8):

- Ein **Ton** ist eine harmonische (sinusförmige) Schallschwingung. Dabei entspricht die empfundene Tonhöhe der Frequenz der Sinusschwingung; die Tonstärke hängt von der Amplitude ab. Solche Töne kommen in der Natur nicht vor und können nur elektronisch mit einem Töngenerator hergestellt werden.
- Ein **Klang** ist zwar keine harmonische, jedoch immer noch eine periodische Schallschwingung. Er besteht aus einer Summe von Sinustönen, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfachen der Frequenz des tiefsten Sinustons sind. Den tiefsten vorkommenden Sinuston bezeichnet man als **Grundton**, die anderen Sinustöne sind die **Obertöne**. Grundton und Obertöne nennt man **Partialtöne (Teiltöne)**. Es ist zu beachten, dass der Klang nicht mehr dieselbe Frequenz wie der Grundton aufweist. (siehe Anhang 6.3). Der Grundton eines Klangs ist in den meisten Fällen verantwortlich für die empfundene Tonhöhe, die Obertöne ergeben die Klangfarbe.
- **Geräusche** sind nichtperiodische Schwingungen. Sie machen die meisten Schallereignisse aus, die wir wahrnehmen. Ein spezielles Geräusch ist das sog. *weiße Rauschen* (Fig. 9): Es setzt sich aus dicht nebeneinanderliegenden Teiltönen aller hörbaren Frequenzen zusammen, deren Amplituden in unregelmäßiger Weise schnell wechseln.
- Unter einem **Knall** versteht man eine kurz andauernde, stark gedämpfte Schwingung mit großer Amplitude.^[1]

Es ist zu beachten, dass die Begriffe «Ton» und «Klang» in der Musik nicht genau dasselbe bedeuten. Den physikalischen Klang nennt man Ton – da ein physikalischer Ton in der Musik praktisch nie vorkommt – und unter einem Klang versteht man ein physikalisches Klanggemisch.

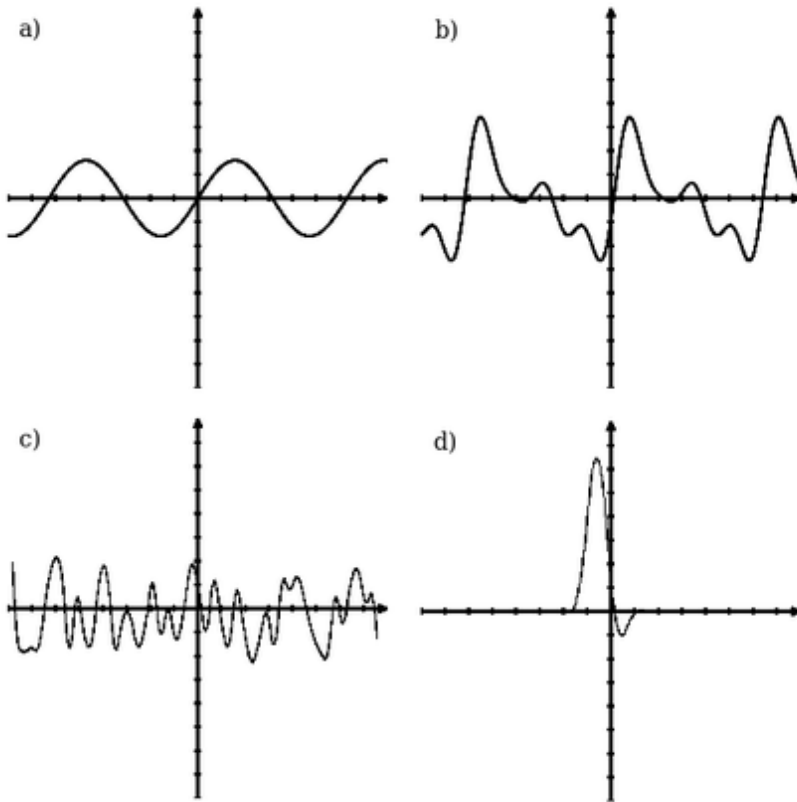


Fig. 8: Schwingungen: a) Ton; b) Klang; c) Geräusch; d) Knall



Fig. 9: Oszillogramm eines weißen Rauschens

Klangfarbe

Das Amplituden-Verhältnis der Partialtöne ergibt die charakteristische Klangfarbe eines bestimmten Musikinstrumentes.

Fourier-Analyse

Schwingungsdiagramme, wie sie in Fig. 8 und Fig. 9 dargestellt sind, werden auch **Oszillogramme** genannt. Die Zerlegung eines Klangs in die einzelnen Partialtöne nennt man **Fourier-Analyse** (harmonische Analyse; benannt nach Jean Fourier (1768–1830)). Das Resultat einer Fourier-Analyse – das Fourier-Spektrum – kann in einem sog. **Spektrogramm** (Fig. 10 und Fig. 11) dargestellt werden. Dabei werden auf der x-Achse die einzelnen Frequenzen und auf der y-Achse die Amplituden aufgetragen. Von einem Linienspektrum spricht man, wenn der analysierte Vorgang periodisch ist. Dies trifft in der Akustik nur bei Tönen und Klängen zu.

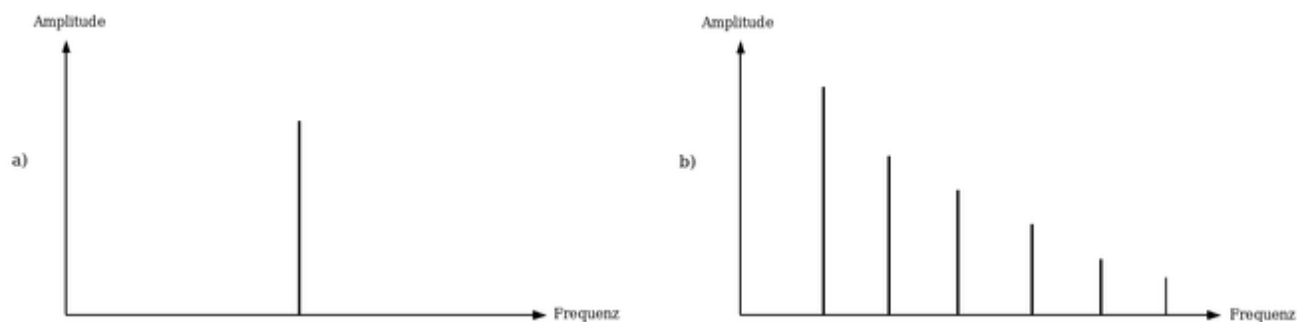


Fig. 10: a) Spektrum eines Tons; b) Spektrum eines Klangs

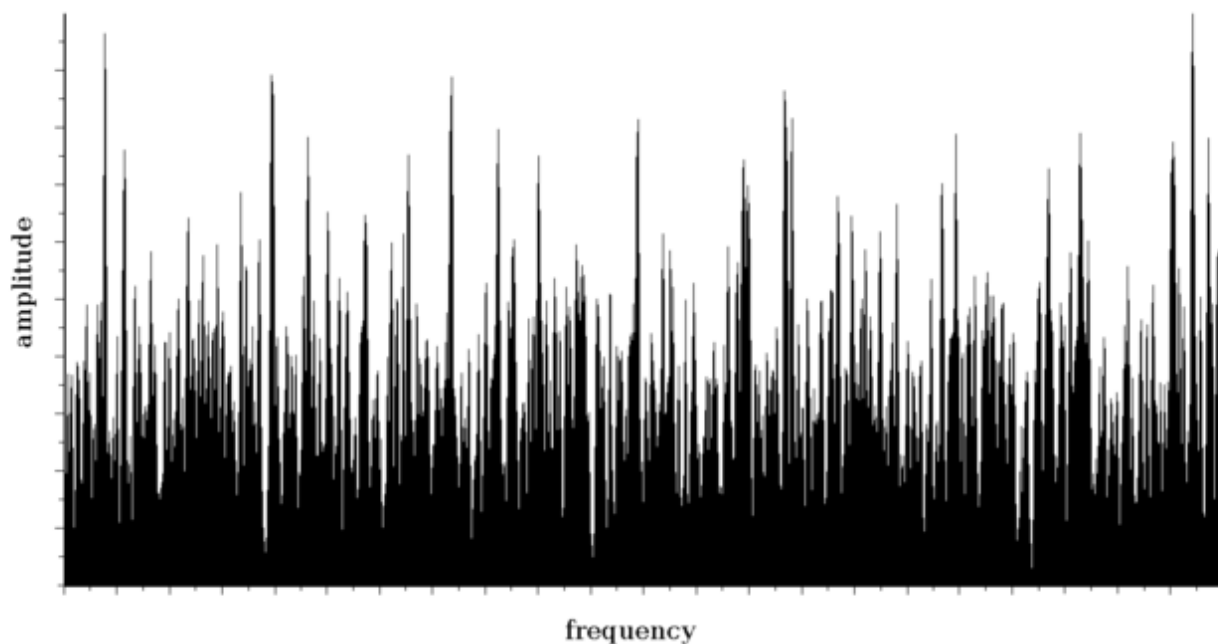


Fig. 11: Spektrogramm eines weißen Rauschens

Das Spektrogramm hat den Nachteil, dass die zeitliche Entwicklung nicht ersichtlich ist. Das dreidimensionale Spektrogramm wurde deswegen um eine Zeitachse erweitert (Fig. 12 und Fig. 13).

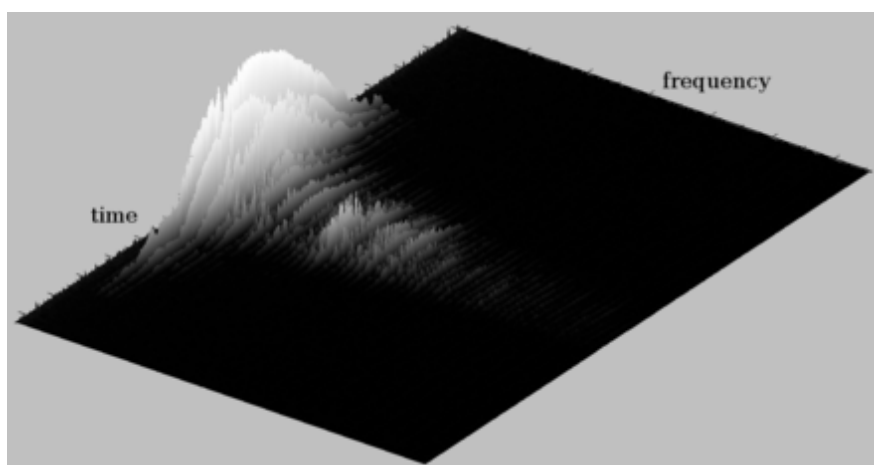


Fig. 12: Dreidimensionales Spektrogramm eines auf einem Mdhorn gespielten Tons, dessen Lautstärke zuerst zu und dann abnimmt. Die Höhe der Graphik zu einem Zeitpunkt gibt die momentane Amplitude an.

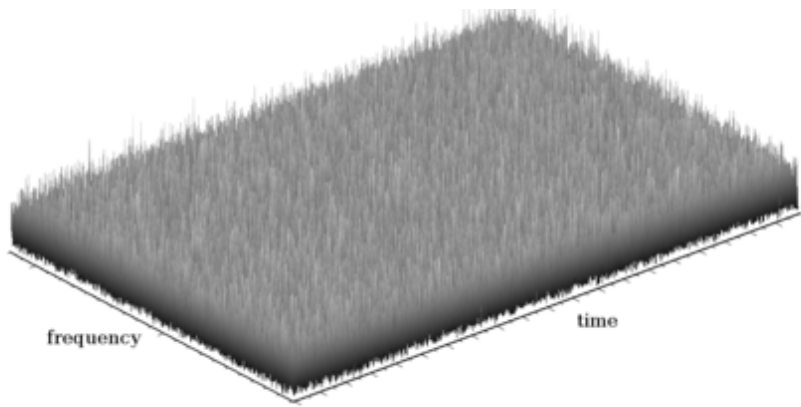


Fig. 13: Dreidimensionales Spektrogramm eines weißen Rauschens

Eine weitere Möglichkeit, um Frequenz, Amplitude und Zeit in ein Diagramm zu bringen, ist das **Sonogramm** (Fig. 14 und Fig. 15). Dabei ist waagrecht der zeitliche Verlauf und senkrecht die Frequenz aufgetragen. Der Schwärzungsgrad – oder bei farbigen Sonogrammen die Farbe – gibt die Stärke der Amplitude an.

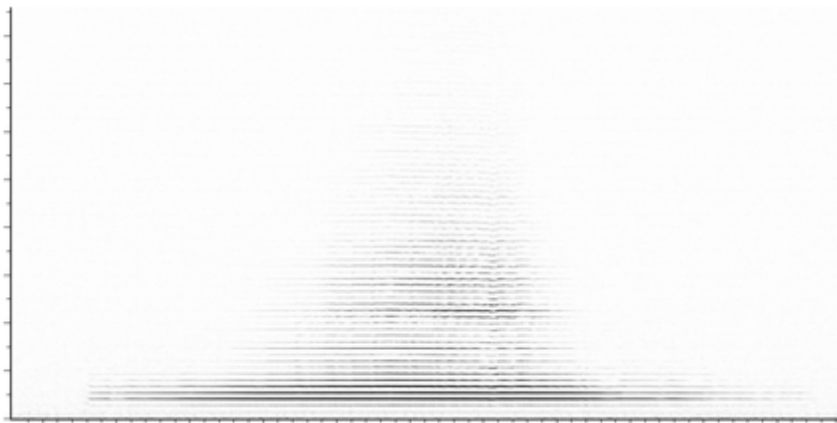


Fig. 14: Sonogramm desselben auf einem Waldhorn gespielten an- und abklingenden Tons wie in Fig. 12. Die horizontale Achse stellt die Zeit, die vertikale Achse die Frequenz dar



Fig. 15: Sonogramm eines weißen Rauschens. Die horizontale Achse stellt die Zeit, die vertikale Achse die Frequenz dar

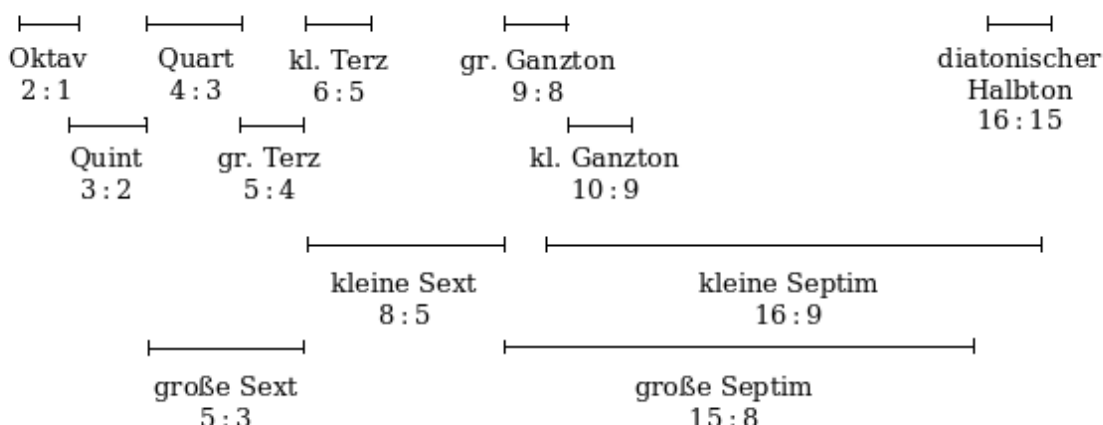
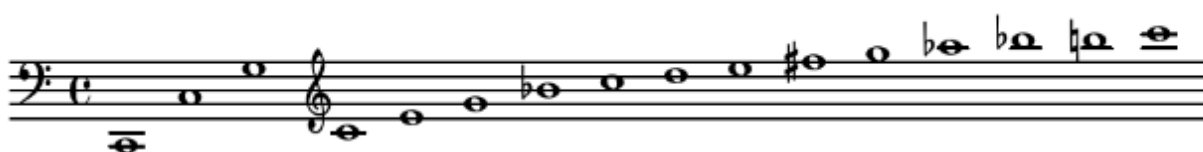
Intervall

Als Intervall bezeichnet man in der Musik das Frequenzverhältnis zweier Töne zueinander. So ist beispielsweise ein Intervall des Frequenzverhältnisses 2 : 1 eine Oktav(e)^[2]. Das Frequenzverhältnis einer Quint(e) beträgt 3 : 2 (siehe Fig. 16).

Obertonreihe (Partialtonreihe)

In Fig. 16 sind die Obertöne eines bestimmten Grundtons angegeben. Eine solche Aneinanderreihung der Partialtöne nennt man **Obertonreihe (Partialtonreihe)**. Die Partialtöne entsprechen den Naturtönen (z. B. eines Alphorns oder eines Naturhorns), deswegen wird die Partialtonreihe (Obertonreihe) oft auch **Naturtonreihe** genannt.

Notennamen	C	c	g	c ¹	e ¹	g ¹	[b ¹]	c ²	d ²	e ²	[fis ²]	g ²	[as ²]	[b ²]	h ²	c ²
Partialton	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Oberton		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



Anmerkungen: Bei den in eckigen Klammern gedruckten Notennamen gibt es keine genaue Übereinstimmung mit der reinen Skala.

große Terz (5 : 4) = großer Ganzton (9 : 8) + kleiner Ganzton (10 : 9)
 $(5/4 = 9/8 \cdot 10/9)$

Fig. 16:Obertonreihe

Konsonanz und Dissonanz

Nicht alle Obertöne eines musikalischen Tons (physikalischer Klang, siehe Abschnitt <Schallereignisse>) klingen gleich laut: Normalerweise ist der Grundton am lautesten. Je höher der Oberton, desto leiser ist er. Es ist leicht nachvollziehbar, dass die tieferen Obertöne dem Ohr vertrauter und die höheren, die fürs Ohr kaum noch wahrnehmbar sind, fremder sind. Die tieferen Obertöne tragen folglich mehr zum wahrgenommenen Ton (Klang) zu als die höheren. Werden die höheren auch nicht bewusst erkannt, so werden sie dennoch als Klangfarbe wahrgenommen. Der Unterschied zwischen den tieferen und höheren Obertönen ist graduell, nicht wesentlich. Es hat sich nun ergeben, dass man eine Trennung zwischen den vertrauteren, tieferen und den fremden, höheren Obertönen einführt. In der Musiktheorie (Harmonielehre) gilt: Sind die beiden Zahlen, durch die man ein (ganzzahliges) Frequenzverhältnis zweier Töne


angibt, kleiner als acht, so bezeichnet man das Intervall als **konsonant** (zusammenklingend). Ansonsten ist das Intervall **dissonant** (auseinanderklingend). Verständlicher ausgedrückt: je einfacher das Frequenzverhältnis zweier Töne, desto konsonanter das Intervall, da umso mehr Obertöne der beiden Grundtöne übereinstimmen (je komplizierter das Frequenzverhältnis, desto dissonanter das Intervall). Für die in Fig. 16 angegebenen Intervallen gilt demnach:

Intervallbezeichnung	Frequenzverhältnis	konsonant / dissonant
Oktav	2 : 1	konsonant
Quint	3 : 2	konsonant
Quart	4 : 3	konsonant
Große Terz	5 : 4	konsonant
Kleine Terz	6 : 5	konsonant
Große Sext	5 : 3	konsonant
Kleine Sext	8 : 5	konsonant
Großer Ganzton	9 : 8	dissonant
Kleiner Ganzton	10 : 9	dissonant
Große Septim	15 : 8	dissonant
Kleine Septim	16 : 9	dissonant
Diatonischer Halbton	16 : 15	dissonant

Oft wird noch zwischen vollkommenen (perfekten) konsonanten ((reine) Oktave, (reine) Quinte und (reine) Prim) und unvollkommenen (imperfekten) konsonanten Intervalle (große und kleine Sexten und Terzen) unterschieden. Die Quart nimmt dabei einen Sonderstatus ein. Sie kann – abhängig vom harmonischen Zusammenhang – auch dissonant sein; in der Regel ist sie jedoch konsonant.

Gewöhnt man sich immer mehr an die höheren, ferner liegenden Obertöne, so kann es sein, dass diese Trennung zwischen konsonanten und dissonanten Intervalle für einen nicht mehr stimmen mag. Arnold Schönberg (1874–1951) schrieb in seinem Buch «Harmonielehre»^[3]: «Die Ausdrücke Konsonanz und Dissonanz, die ein Gegensatz bezeichnen, sind falsch. Es hängt nur von der wachsenden Fähigkeit des analysierenden Ohrs ab, sich auch mit den fernliegenden Obertönen vertraut zu machen und damit den Begriff des kunstfähigen Wohlklanges so zu erweitern, dass die gesamte naturgegebene Erscheinung darin Platz hat. Was heute fern liegt, kann morgen nahe liegen; es kommt nur darauf an, dass man imstande ist, sich zu nähern. Und die Entwicklung der Musik ist den Weg gegangen, dass sie immer mehr von den im Ton gelegenen Zusammenklangsmöglichkeiten in den Bereich der Kunstmittel einbezogen hat.»

1. Das Spektrum eines Knalles ist kontinuierlich, das heißt, es weist in einem bestimmten Frequenzbereich keine fehlenden Frequenzen auf. Die Spektren der anderen Schallereignissen sind diskontinuierlich.
2. Intervallbezeichnungen können mit oder ohne das letzte e geschrieben werden. Im Folgenden wurde das «e» ausgelassen.
3. Erschienen beim Universal-Verlag, nähere Quellangaben unbekannt.

 [Zurück zum Kapitel
«Physikalische Grundlagen»](#)

 [Hoch zur Inhaltsübersicht](#)

 [Weiter zum Kapitel
«Tonsysteme»](#)

Abgerufen von https://de.wikibooks.org/w/index.php?title=Grundlagen_der_Akustik:_Obertöne_und_Fourier-Analyse&oldid=796246

Der Text ist unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen verfügbar.
Zusätzliche Bedingungen können gelten. Einzelheiten sind in den Nutzungsbedingungen beschrieben.