

Akustik

Eine wesentliche Grundlage der Musik ist der Schall. Seine Eigenschaften erforscht die Akustik (griechisch: ακουειν = hören). Physikalisch ist Schall definiert als „mechanische Schwingungen und Wellen eines elastischen Mediums im Frequenzbereich des menschlichen Hörens (16 Hz bis 20.000 Hz)“. Unter diesem Bereich liegt der Infraschall, darüber der Ultraschall. Ausgehend von einer Schallquelle pflanzt sich der Schall in einem Medium nach allen Seiten mit spezifischer gleichbleibender Geschwindigkeit aus. So beträgt zum Beispiel die Schallgeschwindigkeit in der Luft 340 m/s, im Wasser dagegen 1480 m/s.

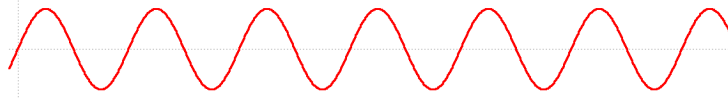
Anfänge in der Antike

Nachdem sich schon die alte chinesische Kultur des 3. Jahrtausends v. Chr. mit Fragen nach musikalischen Systemen beschäftigt hatte, schuf der griechische Philosoph Pythagoras von Samos (~ 570 - 510 v. Chr.) die Grundlage der modernen wissenschaftlichen Akustik. Er erforschte u. a. die Gesetzmäßigkeiten schwingender Saiten. Dazu verwendete er das Monochord, ein Instrument zum Messen und Berechnen von Tonbeziehungen.



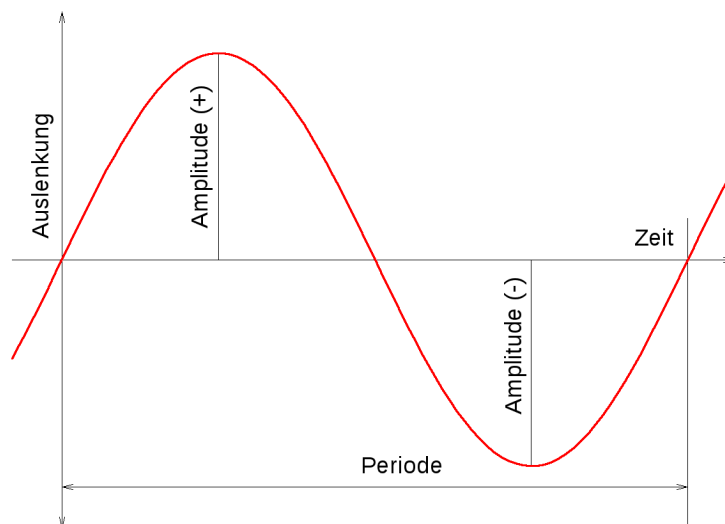
Schwingungen und Wellen

Eine schwingende Saite ist eine Schallquelle. Wie sie schwingt und welche Art von Schall sie damit erzeugt, hängt ab von ihrer Länge, ihrer Spannung und Materialbeschaffenheit. Im umgebenden Medium setzen sich ihre Schwingungen fort als Hin- und Herbewegung von Teilchen der Luft, des Wassers o. ä. (Molekülschwingungen im Gegensatz zu elektromagnetischen Schwingungen). Geschieht diese Bewegung gleichmäßig, spricht man von einer harmonischen Schwingung. Die Aufzeichnung einer periodischen Schwingung in einem Raum-Zeit-Diagramm (x-Achse: Zeit; y-Achse: Raum) ergibt das Bild einer Sinuskurve.

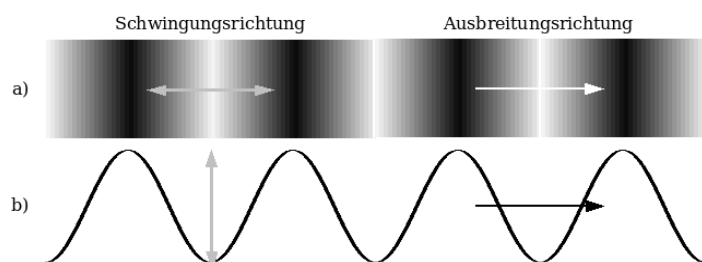


Dabei bedeutet

- Amplitude die größte Auslenkung der Teilchen aus der Ruhelage
bestimmt die Lautstärke eines Tons
Maßeinheit Dezibel (abgekürzt dB)
benannt nach Alexander Graham Bell (1847 - 1922 „Vater des Telefons“)
- Frequenz die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
bestimmt die Höhe eines Tons
Maßeinheit Hertz (abgekürzt Hz)
1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde
Weitere Größen: 1 Kilohertz (abgekürzt kHz) = 1000 Hz
benannt nach dem Physiker Heinrich Hertz (1857 - 1894)
- Periode eine vollständige Schwingung (ein Hin- und Herweg) der Teilchen



Je nach Schwingbewegung und Ausbreitungsrichtung unterscheidet man Longitudinalwellen (a – Teilchen schwingen in Ausbreitungsrichtung) und Transversalwellen (b – Teilchen schwingen quer zur Ausbreitungsrichtung). Schallwellen sind Longitudinalwellen.

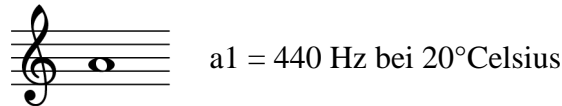


Reflexion

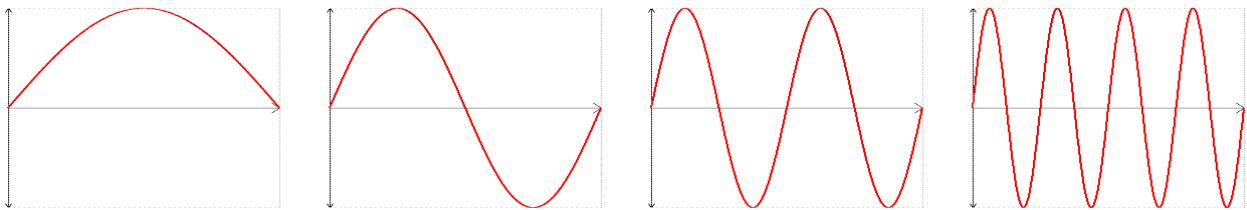
Treffen Schallwellen auf ein Hindernis, werden sie wie Licht an einer spiegelnden Fläche zurückgeworfen. Bei einer solchen Reflexion gilt: Einfallswinkel = Ausfallswinkel. Im gegenteiligen Fall spricht man von Absorption. Bekannte Naturerscheinungen wie Hall und Echo hängen damit zusammen. Manche Tiere nutzen die Reflexion des Schalls zur räumlichen Orientierung, viele technische Geräte arbeiten mit diesem Prinzip. Die Akustik eines Raumes ist wesentlich von seinen Reflexionseigenschaften abhängig.

Tonhöhe

Auf der 2. internationalen Stimmtongkonferenz in London 1939 wurde der Kammerton festgelegt:



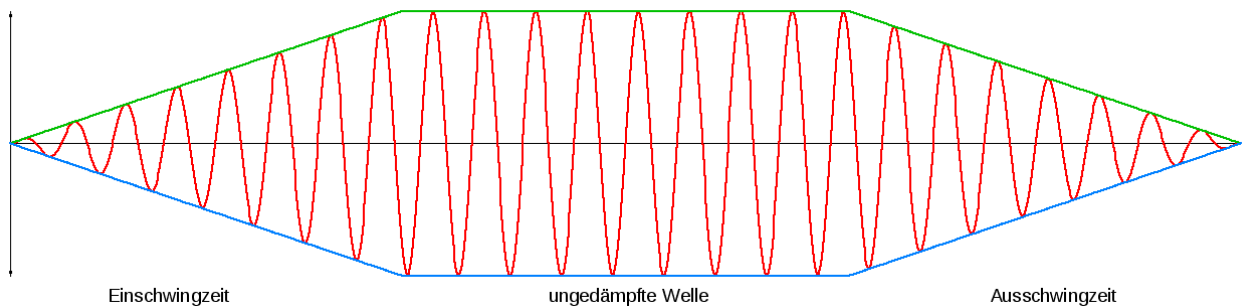
Zwei Töne, deren Frequenzen im Verhältnis 1 : 2 stehen (ein gegebener Ton zusammen mit einem Ton der doppelten oder der halben Frequenz) erzeugen miteinander das Intervall der Oktave.



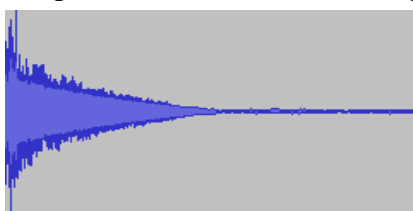
Auf Grund des hohen Verschmelzungsgrads entsteht hörpsychologisch die Wahrnehmung eines „Gleichen“ (Oktavphänomen). Das menschliche Ohr kann Schallschwingungen in einem Bereich von 16 Hz bis 20 kHz (= 20.000 Hz) wahrnehmen, was einem Tonumfang von ca. 10 Oktaven entspricht.

Hüllkurven

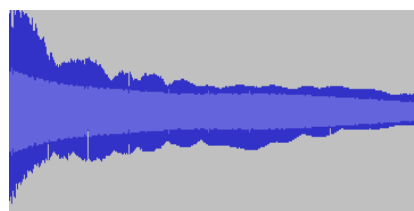
Schallereignisse haben in der Regel eine bestimmte zeitliche Dauer. Die Zeit bis zum Erreichen der vollen Amplitude heißt Einschwingzeit. Ohne ständige Zuführung von Energie wird eine Schwingung durch Reibungsverluste mit der Zeit gedämpft. Die Zeit bis zum Stillstand ist die Ausschwingzeit. Wellen mit gleichbleibender Amplitude dagegen sind ungedämpfte Schwingungen. Den jeweiligen Verlauf der Ein- und Ausschwingvorgänge bestimmt die Hüllkurve. Sie ist wesentlich mitverantwortlich für die Klangfarbe.



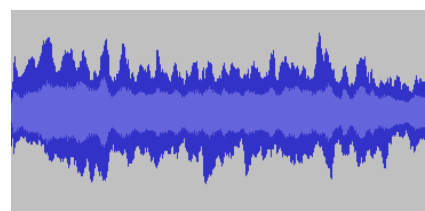
Beispiele für verschiedene Klangverläufe:



Klavier



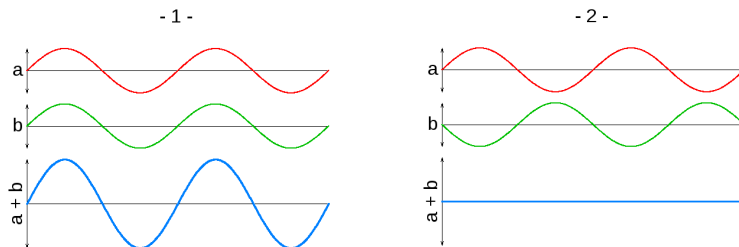
E-Gitarre



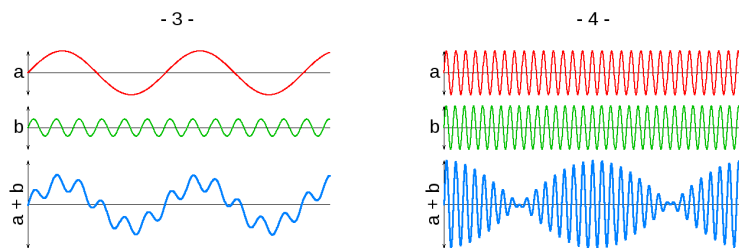
Violine

Interferenz

Reine Sinustöne lassen sich nur elektronisch annäherungsweise erzeugen. In der Natur überlagern sich Schwingungen auf vielfältigste Art. Diesen Vorgang bezeichnet man als Interferenz. Dabei addieren sich die einzelnen Amplituden. Überlagern sich Wellen gleicher Frequenz, so verstärken sie sich bei gleicher Phase (1) oder löschen sich gegenseitig aus bei entgegengesetzter Phase (2).

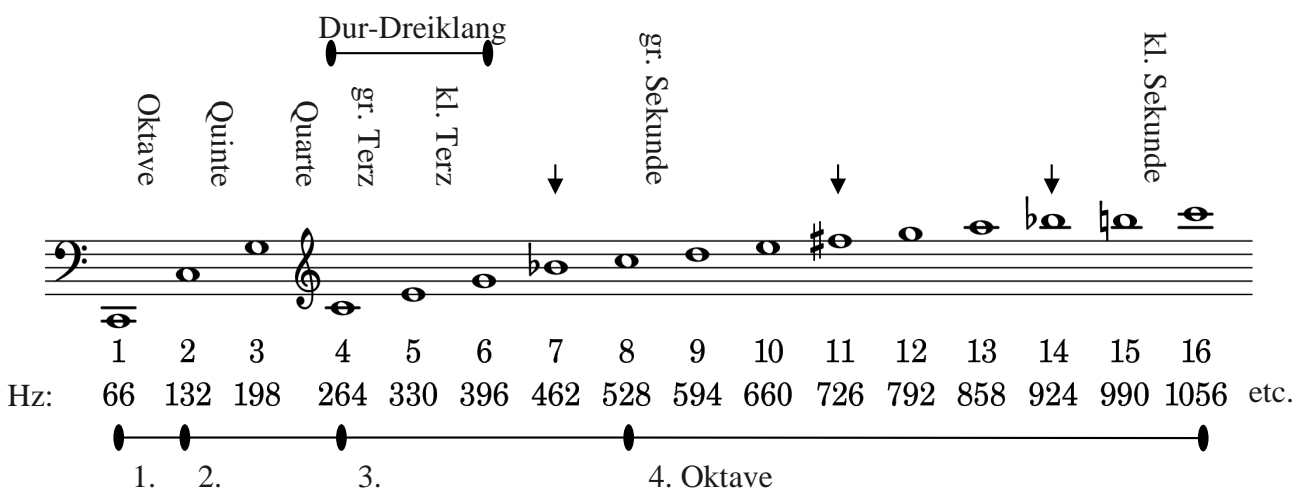


Die Überlagerung von Wellen mit verschiedener Frequenz und Amplitude führt zu komplexen Schwingungsformen (3). Schwebungen entstehen bei der Überlagerung von Wellen mit geringem Frequenzunterschied (4).



Die Obertonreihe

In jedem natürlich erzeugten Ton mit bestimmbarer Tonhöhe schwingt außer dem Grundton (der als „Note“ erscheint) eine unendliche Zahl von Obertönen mit. Deren Frequenzen sind ganzzahlige Vielfache der Frequenz des Grundtons, sie stehen in einem „harmonischen“ Verhältnis. Dabei bilden die einzelnen Obertöne zueinander zunehmend kleiner werdende Intervalle. Die Abbildung zeigt die ersten 16 Teiltöne der Obertonreihe:

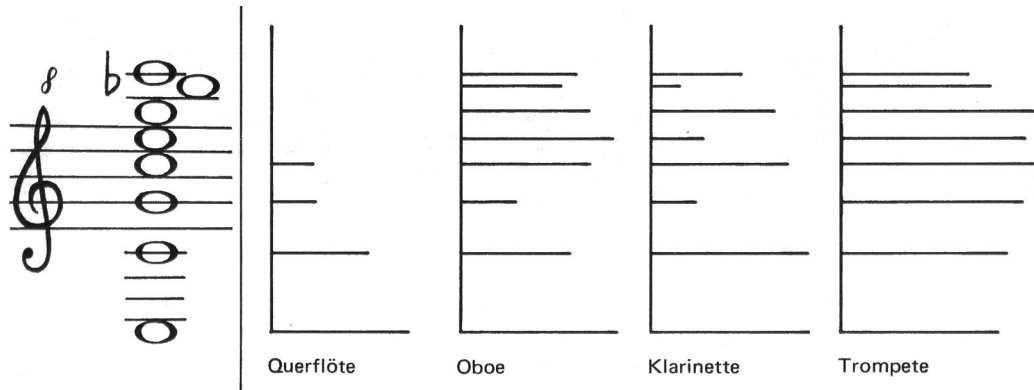


Aus der Obertonreihe leiten sich die Schwingungsverhältnisse der einzelnen Intervalle ab. Damit lassen sich aus einem gegebenen Frequenzwert andere Frequenzen berechnen. Die wichtigsten sind:

Oktave 2 : 1 – Quinte 3 : 2 – Quarte 4 : 3 –
große Terz 5 : 4 – kleine Terz 6 : 5 – große Sekunde 9 : 8 – kleine Sekunde 15 : 16

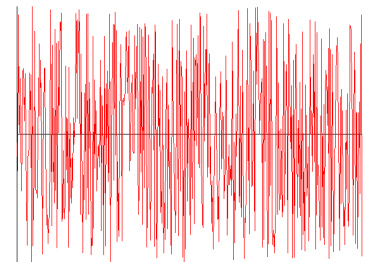
Klangfarbe

Singt eine Stimme oder spielt ein Instrument einen bestimmten Ton, wird in Wirklichkeit bereits ein Klang aus mehreren unterschiedlich lauten Obertönen erzeugt. Diese charakteristische Mischung bezeichnet man als Klangspektrum. Zusammen mit einer spezifischen Hüllkurve ergibt sich daraus die typische Klangfarbe eines Instruments.



Geräusch

Die bei einem Geräusch entstehenden Schwingungen sind unregelmäßig, unperiodisch. Die einzelnen Teiltöne stehen nicht wie bei der Obertonreihe in einem harmonischen, sondern in einem unharmonischen Verhältnis und haben sehr nahe beieinander liegende Frequenzen. Das Geräusch beim Ansatz eines Tons (beim Anstreichen, Anreißern, Anblasen, Anschlagen etc.) bestimmt maßgeblich den Einschwingvorgang und ist damit für die Klangfarbe bedeutsam.



Resonanz

Jeder Gegenstand hat bestimmte Eigenfrequenzen. Stimmen diese mit den Frequenzen einer anregenden Schallquelle überein, beginnt der Gegenstand selbst mitzuschwingen. Das Ergebnis kann eine Verstärkung des ursprünglichen Schalls sein. Viele Instrumente haben entsprechende Resonatoren: der Korpus der Streich- und Zupfinstrumente, der Resonanzboden des Flügels u. a.

Lautstärke

Schallwellen treffen mit einem bestimmten Druck auf das Ohr. Der Schalldruck wird in Dezibel (dB – s. o.) gemessen. Von ihm hängt die empfundene Lautstärke ab, die in Phon angegeben wird. Sie ändert sich aber bei unterschiedlichen Frequenzen nicht im gleichen Maße wie der Schalldruck.

Atemgeräusch	5 Phon
Unterhaltung	50 Phon
Schreien, Hupen	80 Phon
Radio laut	85 Phon
Preßlufthammer	110 Phon
Rockkonzert	bis 120 Phon
Düsenflugzeug	130 Phon