

14. Schallwellen und die Gesetze der Harmonie

Rainer Hauser

Juli 2011

1 Einleitung

1.1 Schallerreger

Schall entsteht, weil er von einem Körper erzeugt wird. Schlägt etwa ein Gegenstand regelmässig an ein Metallstück wie bei einer Klingel, entsteht ein Klingelton. Bedeckt man diese Klingel mit einer Glasglocke, so tönt sie immer noch. Pumpt man jedoch die Luft aus der Glasglocke, sodass ein Vakuum entsteht, hört man die Klingel nicht mehr.

1.2 Schalleiter

Damit wir den Schall hören, braucht es also die Luft oder ein anderes Medium als *Schalleiter*. Feste Körper, Flüssigkeiten und Gase leiten den Schall.

Ein Schallerreger produziert Druckschwankungen im Schalleiter, die sich als Longitudinalwellen kugelförmig ausbreiten und *Schallwellen* genannt werden. Die Luftdruckschwankungen beim Sprechen bewegen sich im Bereich zwischen 10^{-4} mbar bis 10^{-2} mbar, und Druckunterschiede von 1 mbar werden bereits als schmerzhaft empfunden.

2 Charakteristische Eigenschaften von Schallwellen

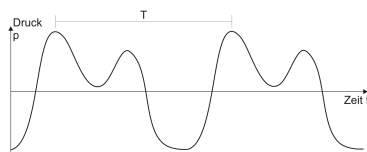
2.1 Schallgeschwindigkeit

Die *Schallgeschwindigkeit* c hängt vom Schalleiter und dessen Temperatur ab. Bei 15°C breitet sich Schall in der Luft mit $c = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ aus. Deshalb kann man die Entfernung eines Gewitters abschätzen, indem man die Sekunden zwischen Blitz und Donner zählt. Die Anzahl Sekunden geteilt durch 3 ergibt die Entfernung in Kilometern.

In Helium bewegt sich der Schall fast dreimal so schnell wie in der Luft, im Wasser über viermal so schnell und in Eisen gar siebzehnmals so schnell. Die Abhängigkeit von der Temperatur ist im Bereich der Temperaturen, die im Alltag vorkommen, relativ gering und kann meist vernachlässigt werden.

2.2 Periodische Schallwellen

Gesprochene Vokale sowie Töne von Musikinstrumenten produzieren im Gegensatz zu einem Knall eine periodische Schallwelle wie nebenstehend gezeigt.



Charakteristische Grössen einer periodischen Schallwelle sind neben der Geschwindigkeit c die Wellenlänge λ , die Periode T und die Frequenz f .

Weil die Schallgeschwindigkeit c in der Luft bei Raumtemperatur bekannt ist, kann man mit den Beziehungen $c = \lambda \cdot f$ und $f = \frac{1}{T}$ aus einer der drei Grössen Wellenlänge λ , Periode T und Frequenz f

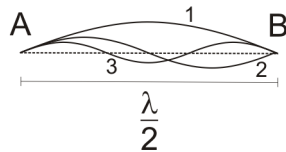
die beiden anderen bestimmen. Die Frequenz f misst man in der Einheit Hertz, für die $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ gilt. Menschen hören Töne zwischen 20 Hz und 20 000 Hz, wobei dieser Bereich jedoch im Alter deutlich abnimmt. Je grösser die Frequenz, desto höher empfindet man den zugehörigen Ton. Der Kammerton a , mit dem ein Orchester die Instrumente stimmt, ist auf 440 Hz festgelegt worden.

3 Akustische Phänomene

3.1 Stehende Wellen und Harmoniegesetze

Bei Saiten- und Blasinstrumenten spielen stehende Schallwellen eine wichtige Rolle.

Die in der nebenstehenden Abbildung gezeigte Saite kann nur zwischen den beiden festgehaltenen Punkten A und B mit dem Abstand $\frac{\lambda}{2}$ schwingen.



Die drei einfachsten der unter diesen Randbedingungen möglichen Schwingungen sind eingetragen und mit den Nummern 1, 2 und 3 versehen.

Die mit 1 angeschriebene Schwingung ist die so genannte *Grundschiwingung*, und die übrigen möglichen Schwingungen heissen *Oberschwingungen*. Sie entsprechen dem, was man bei Saiteninstrumenten Flageoletton nennt. Die mit 2 nummerierte Schwingung entspricht einem Ton, der um eine Oktave höher ist als der Ton der Grundschiwingung.

Einfache Verhältnisse der Saitenlängen entsprechen harmonischen Tonschritten. Das Verhältnis 1 : 2 gibt eine Oktave, das Verhältnis 2 : 3 eine Quinte und das Verhältnis 3 : 4 eine Quarte. Diese Erkenntnis war eine wichtige Entdeckung der Pythagoreer.

3.2 Dopplereffekt

Bewegt sich eine Schallquelle mit konstanter Geschwindigkeit entlang der Geraden g auf den ruhenden Beobachter B_1 zu oder vom ruhenden Beobachter B_2 weg, so breitet sich zwar zu jedem Zeitpunkt der Schall kugelförmig um den Punkt aus, an dem sich die Schallquelle befindet, aber die Schallwellen kommen zusammengedrängt bei B_1 und auseinandergezogen bei B_2 an. In der nebenstehenden Abbildung sind die Schallwellen eingezeichnet, die zu den Zeiten t_0, t_1, t_2, t_3 und t_4 entstanden sind. Bei B_1 kommen der von der Schallquelle emittierte Ton somit mit einer höheren Frequenz und bei B_2 mit einer tieferen Frequenz an. Das Phänomen hört man, wenn ein Ambulanzfahrzeug mit Sirene an einem vorüber fährt.

