

Physik für Biologen und Zahnmediziner

Kapitel 11: Schwingungen und Wellen

Dr. Daniel Bick



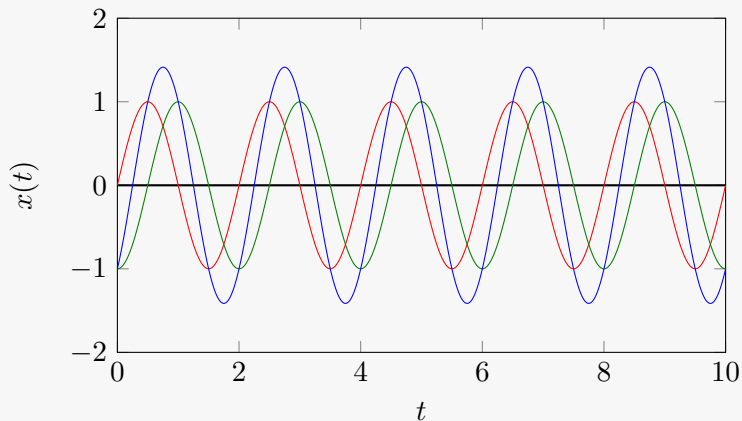
Universität Hamburg

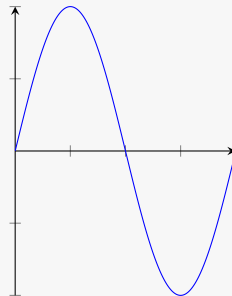
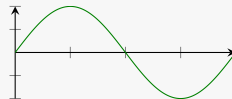
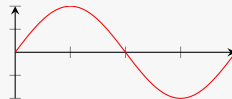
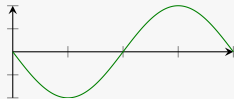
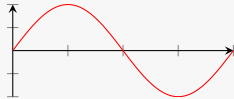
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

08. Dezember 2017

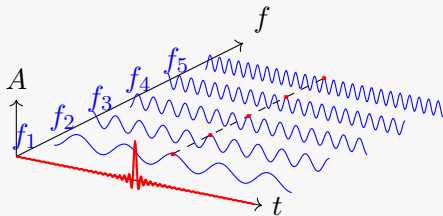
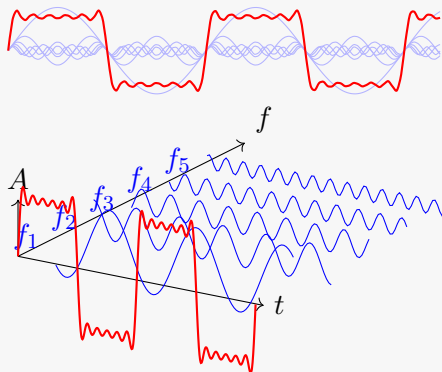
1 Schwingungen

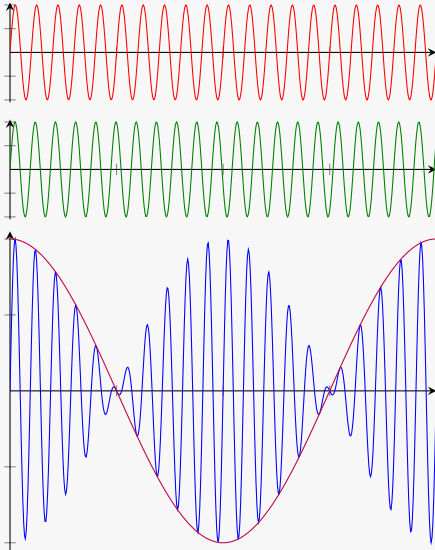
2 Wellen





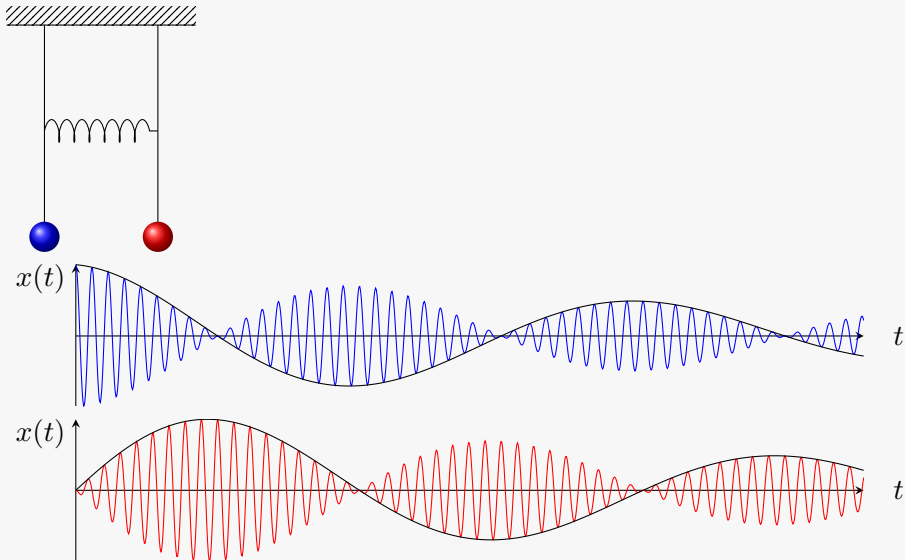
Jedes Funktion läßt sich mit einer Summe aus harmonischen Schwingungen darstellen.





Überlagerung von Schwingungen leicht unterschiedlicher Frequenz

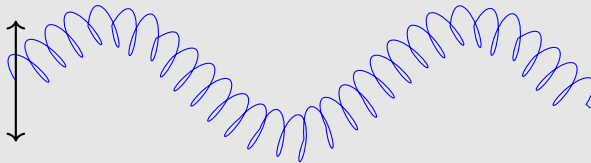
$$y(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$$



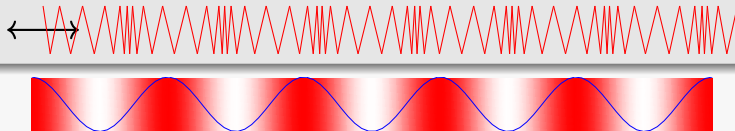
1 Schwingungen

2 Wellen

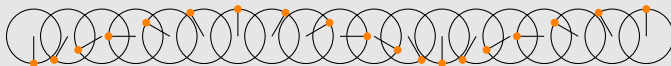
Transversalwellen

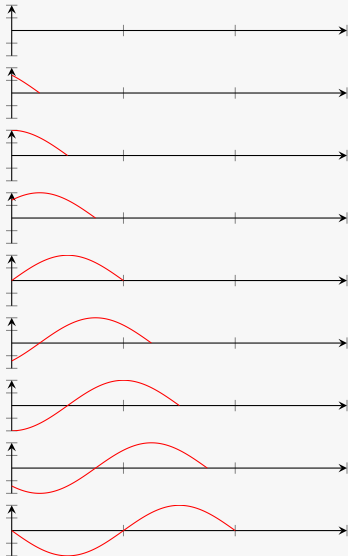


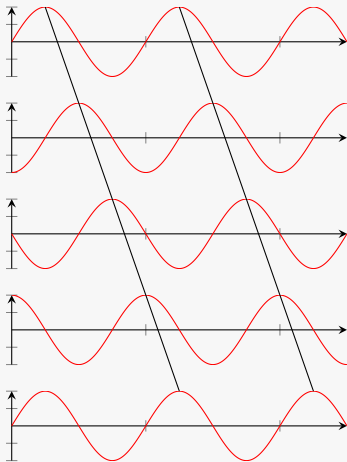
Longitudinalwellen

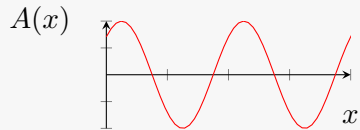


Wassermoleküle in einer Welle



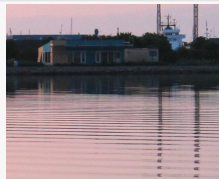






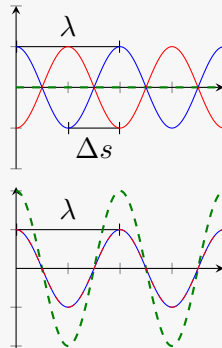
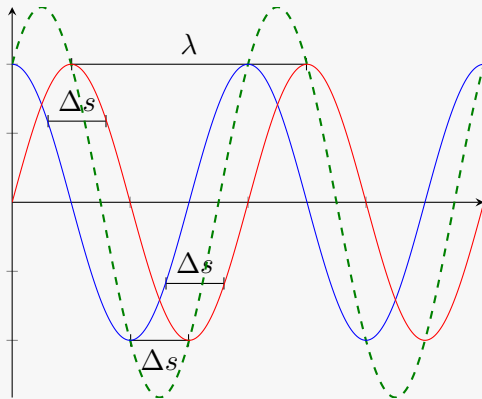
Ausbreitung meistens in mehrere Richtungen

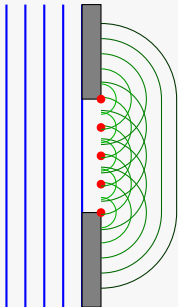
- Wellen am Ufer: lineare (ebene) Welle
- Stein fällt ins Wasser: Kreiswellen
- Schall: Kugelwelle



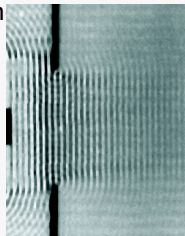
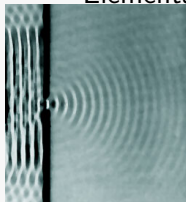
Folge: Amplitude bei Kreis- und Kugelwellen nimmt mit Abstand ab

- Kreiswelle:
- Kugelwelle:

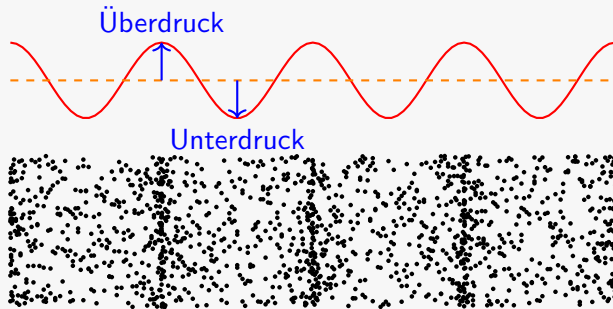




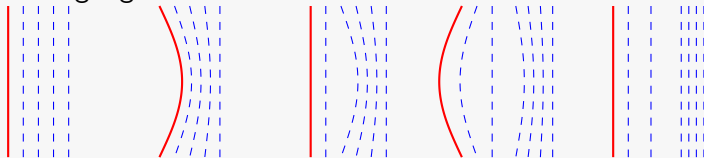
- Jeder Punkt einer Wellenfront kann wieder als Ausgangspunkt einer Kugelwelle, der sogenannten Elementarwellen, betrachtet werden.
- Das Wellenbild hinter einem Hindernis (Beugungsbild), setzt sich dann aus der Überlagerung der Elementarwellen zusammen

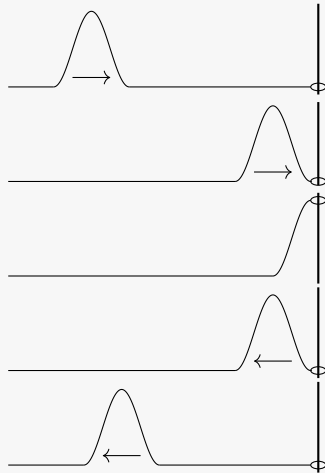
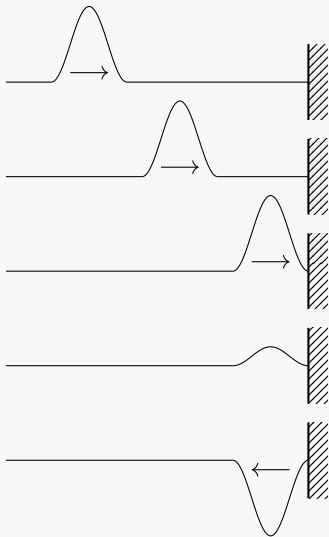


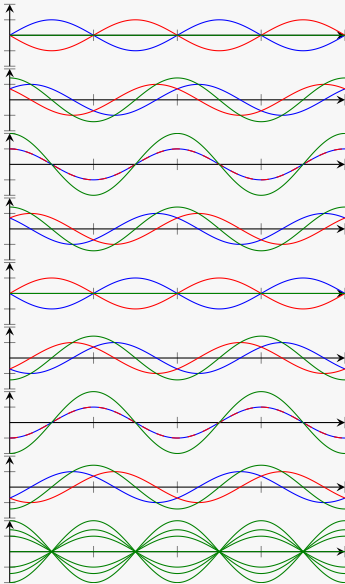
Quelle: <http://www.elsenbruch.info/ph12-huygens.htm>

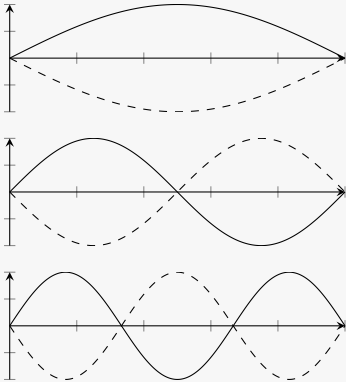


Erzeugung einer Schallwelle





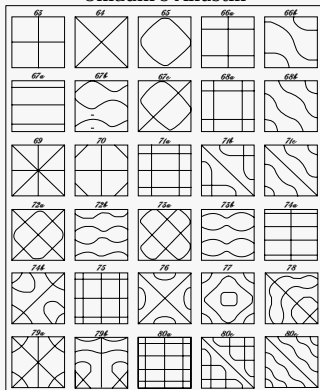




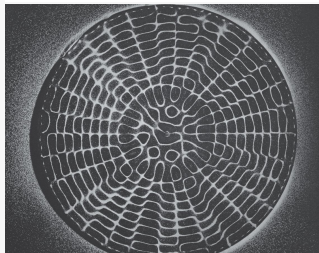
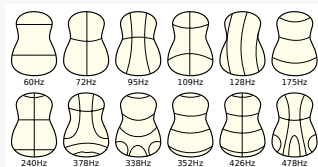
Anschaulich im Experiment:

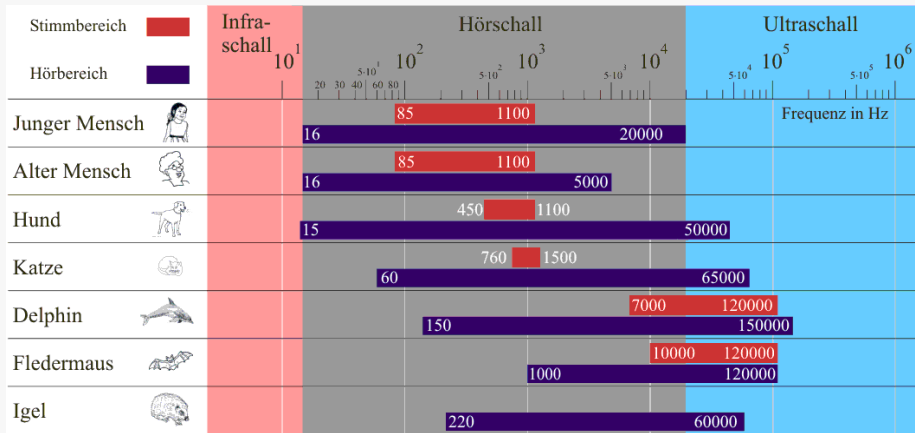
- Kundtsches Rohr
- Rubenssches Flammenrohr

Chladni's Akustik



Quelle: Wikipedia





Quelle: <http://www.leifiphysik.de/akustik/akustische-phaenomene/versuche/hoerbereich>

- Abhängig von Dichte und Elastizität des Mediums

Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und Medium

- Adiabatenexponent κ ist gasspezifisch (z.B. O_2 : $\kappa = 1,4$)

Beispiele

- $c_{\text{Luft}} \approx 333 \text{ m/s}$ ((ϑ, p) $c_{\text{Luft}} = 330 \text{ m/s}$ bei 0° , $c_{\text{Luft}} = 343 \text{ m/s}$ bei 20°)
- $c_{\text{H}_2\text{O}} \approx 1500 \text{ m/s}$
- $c_{\text{Eis}} \approx 3250 \text{ m/s}$
- $c_{\text{Stahl}} = 5850 \text{ m/s}$ (longitudinal)
- $c_{\text{stahl}} = 3230 \text{ m/s}$ (transversal)

- Ein einzelnes Teilchen schwingt mit Amplitude A_0

Schallamplitude

Amplitude A_0 der Schwingung eines Teilchens

Schallschnelle

Maximale Geschwindigkeit der Moleküle

Schalldruck bzw. Schallwechseldruck

Durch Schwingung erzeugte maximale Druckschwankung ($\mathcal{O} 10^{-2} \text{ Pa}$)

Schallstärke bzw. Intensität I

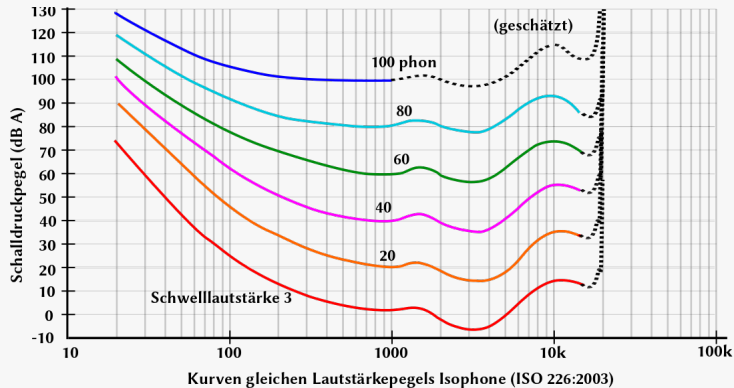
Schallempfindlichkeit des menschlichen Ohrs

- Bei 1000 Hz
- Hörgrenze 10^{-12} W/m^2
- Schmerzgrenze 1 W/m^2

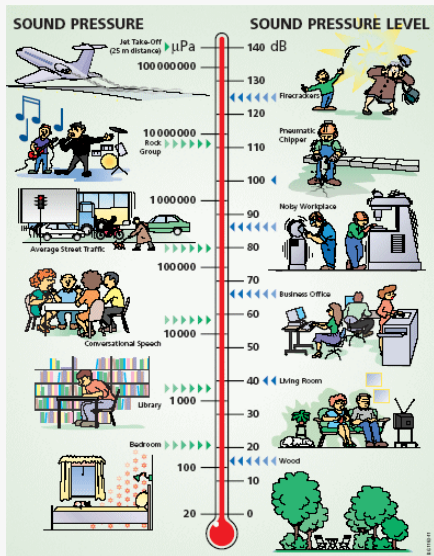
Weber-Fechner-Gesetz

Subjektive Lautstärke wächst nicht linear sondern logarithmisch mit Intensität

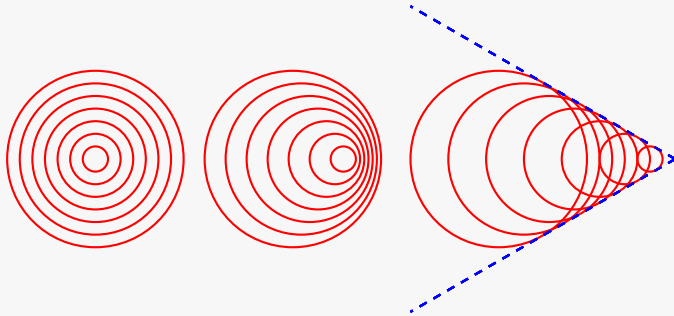
- Definiere Hörgrenze 10^{-12} W/m^2 als Bezugsintensität I_0
- **Schallstärkenpegel** L (Lautstärke)

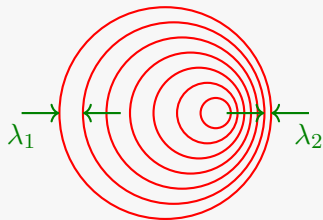


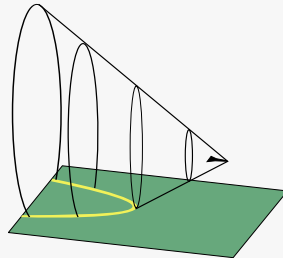
Quelle: Wikipedia



Quelle: Brüel & Kjær -- The range of Sound Pressure Levels







Quelle: Wikipedia (2x)

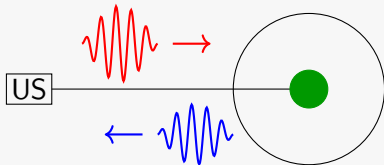
Wellenwiderstand (Impedanz)

- Eigenschaft eines Mediums, in dem sich eine Welle ausbreitet.
- Das Verhältnis von reflektierter und transmittierter Amplitude der Welle an einer Grenzfläche wird durch die **Impedanz** der beiden Medien bestimmt.
- An der Grenzfläche zweier Stoffe mit großem Impedanzunterschied wird Schall stark reflektiert.

Impedanz

Schallreflexionsfaktor

- Anwendung: **Sonographie**



- Laufzeit

→ Abstand

- Amplitude des reflektierten Pulses

→ Dichteverteilung

- Frequenz

→ Bewegung der Schichten
(Dopplereffekt)

