

Physik für Biologen und Zahnmediziner

Kapitel 11: Schwingungen und Wellen

Dr. Daniel Bick

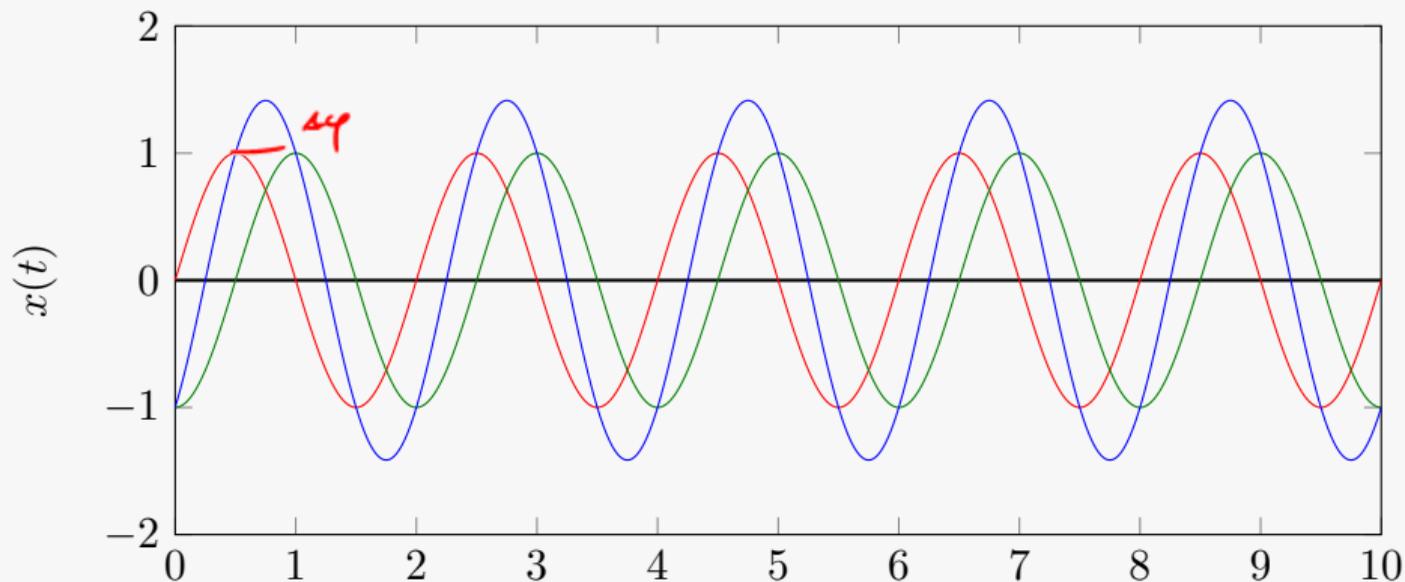


Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

08. Dezember 2017

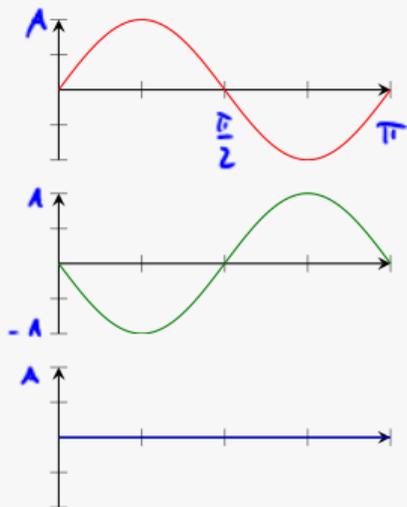
1 Schwingungen

2 Wellen



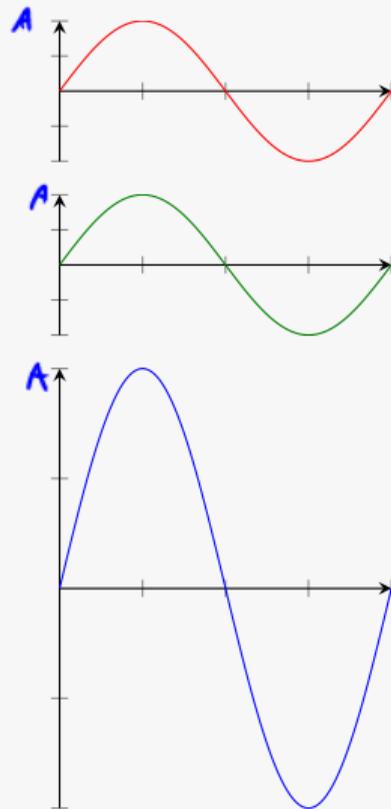
Amplitude addieren sich in jedem Punkt t
Hier einfach, \uparrow beliebig kompliziert
meistens

$$\varphi = \pi$$



Destruktive
Interferenz

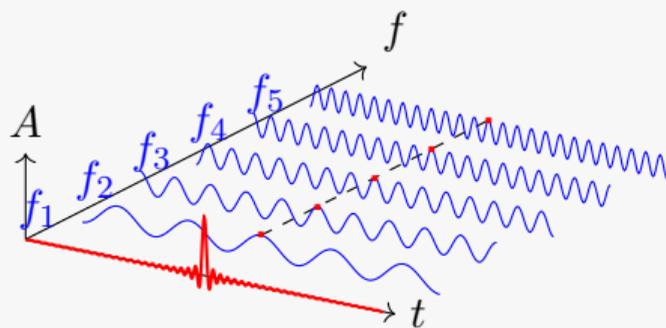
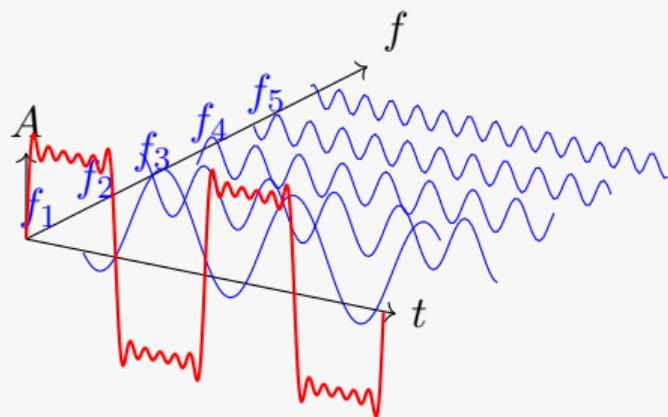
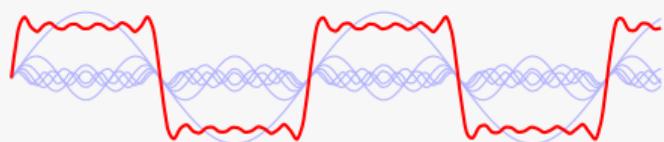
$$\varphi = 0$$

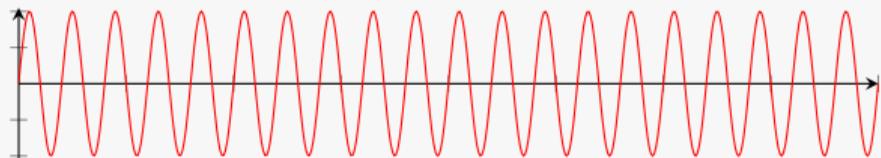


Konstruktive
Interferenz

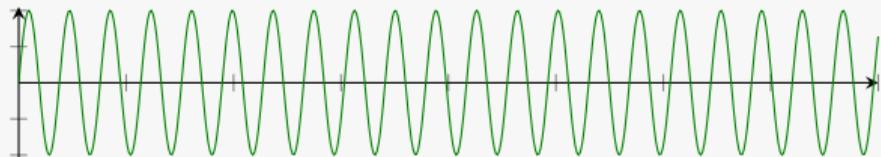
Fourierzerlegung (nur zum Angucken)

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

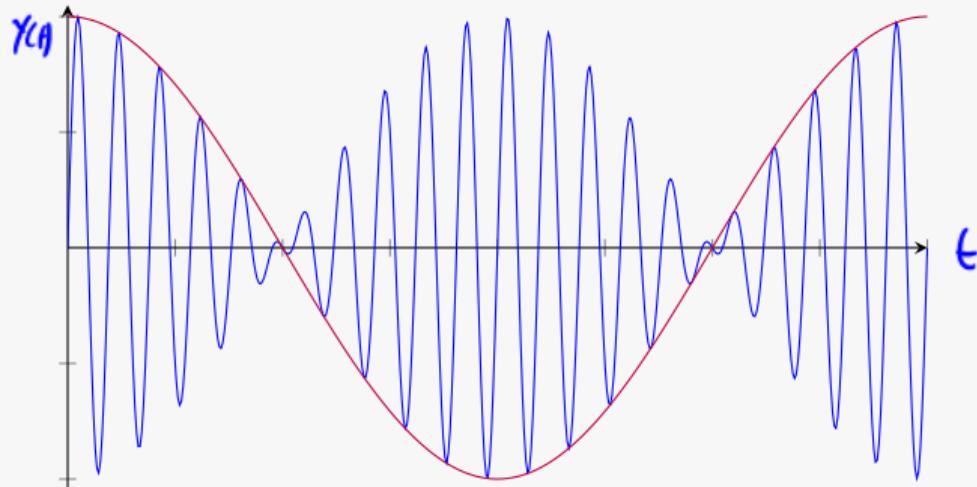




Schwingt mit ω_1



Schwingt mit $\omega_2 > \omega_1$



Überlagerung von Schwingungen leicht unterschiedlicher Frequenz

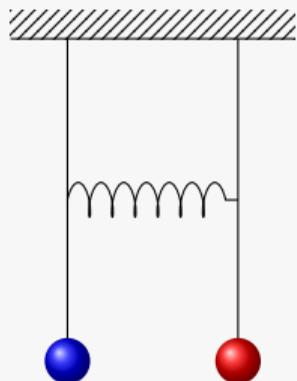
$$y(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$$

Einfacher Fall $A_1 = A_2 \equiv A$ $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$

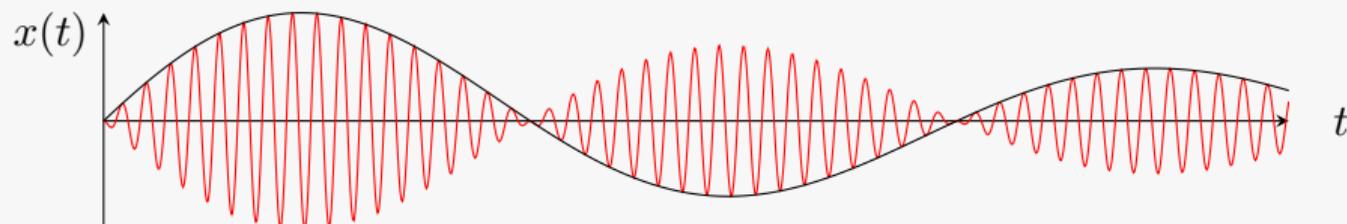
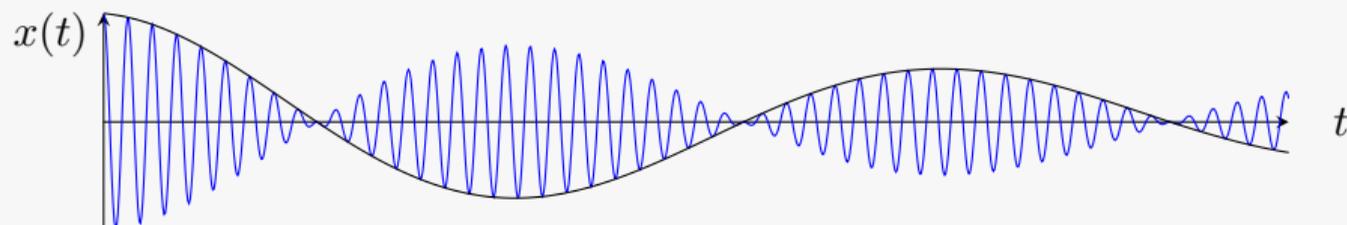
$$y(t) = A \sin(\omega_1 t) + A \cdot \sin(\omega_2 t) = A [\sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t)]$$

$$y(t) = A \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right)$$

2 Modulationsfrequenzen $\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} = \frac{\Delta \omega}{2}$ $\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$



- gleichstrahige Schwingung
- gegenstrahige Schwingung
- Schwebungsfall

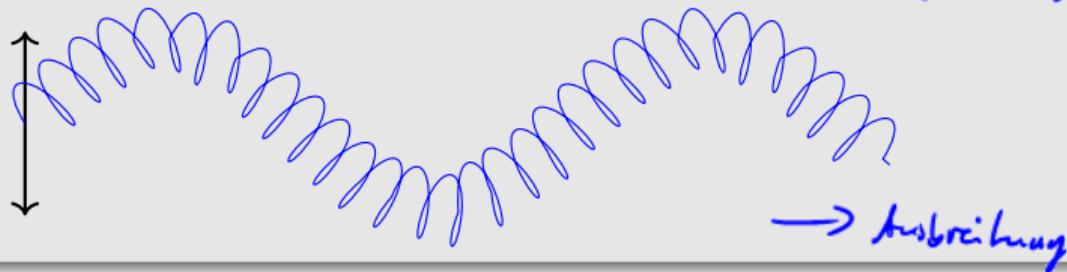


① Schwingungen

② Wellen

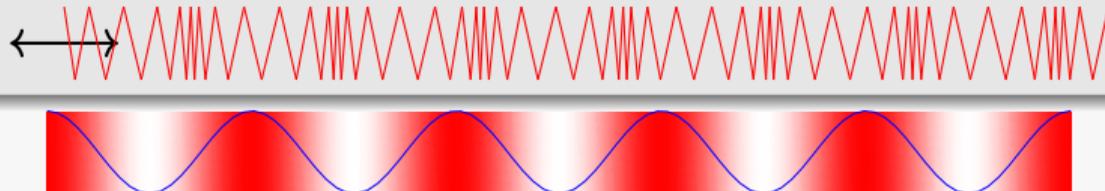
Transversalwellen

Amplitude senkrecht zur Ausbreitungsrichtung

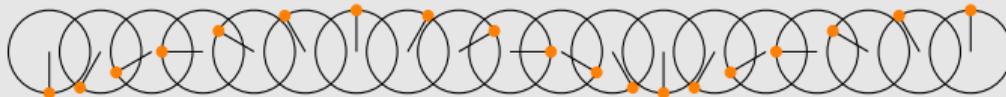


Longitudinalwellen

Auslenkung parallel zur Ausbreitungsrichtung

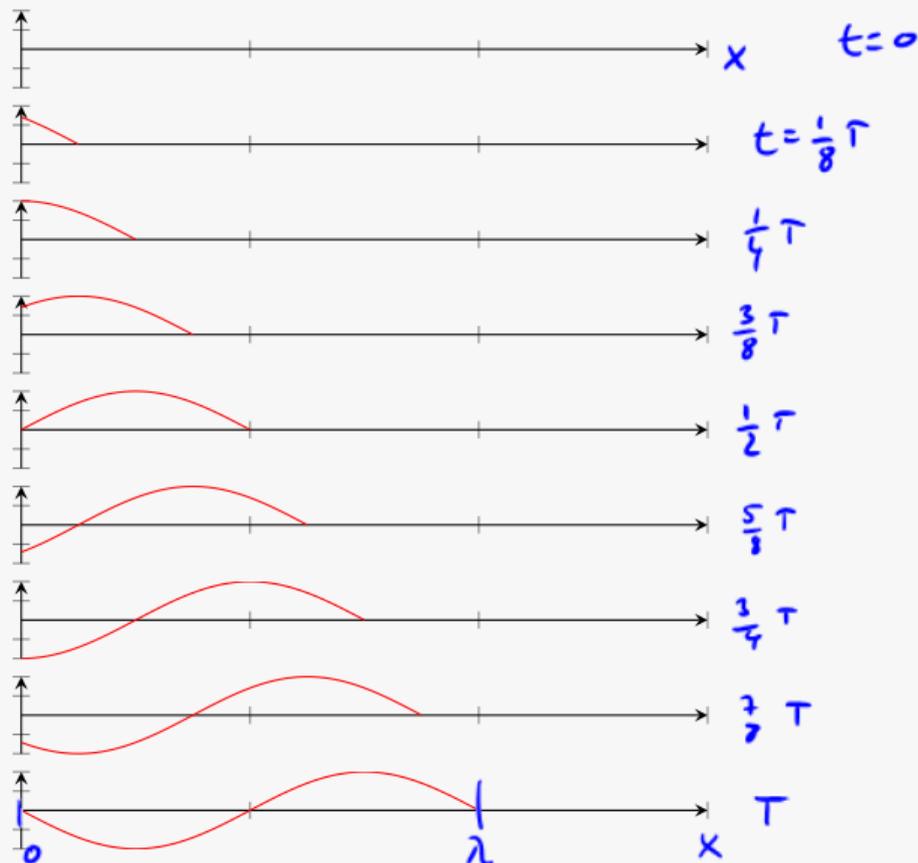


Wassermoleküle in einer Welle



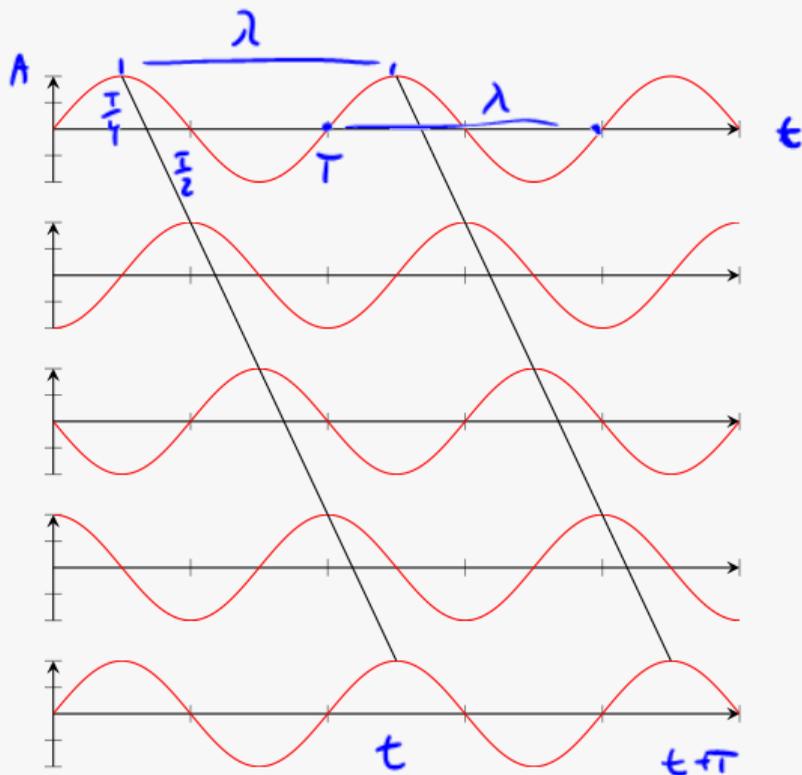
z.B. Seil

Momentaufnahmen



Distanz, die die Welle in
einer Periode zurückgelegt hat:

Wellenlänge λ



λ : Abstand zwischen zwei benachbarten Punkten gleicher Phase

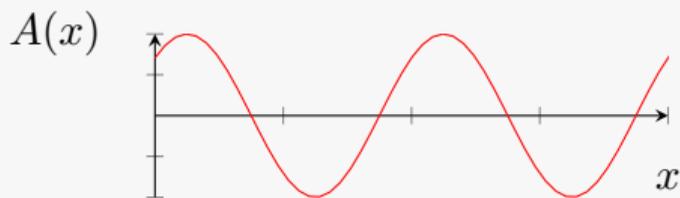
Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

c hängt von Medium ab
und von der Wellenart



Fester Ort: Schwingung



Feste Zeit: Momentaufnahme

Zusätzliche Parameter gegenüber Schwingung
Wellenzahl k

$$\begin{aligned} A(t, x) &= A_0 \sin(\omega t + kx) \\ &= A_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \frac{2\pi}{\lambda} x\right) \end{aligned}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Wellen in mehreren Dimensionen

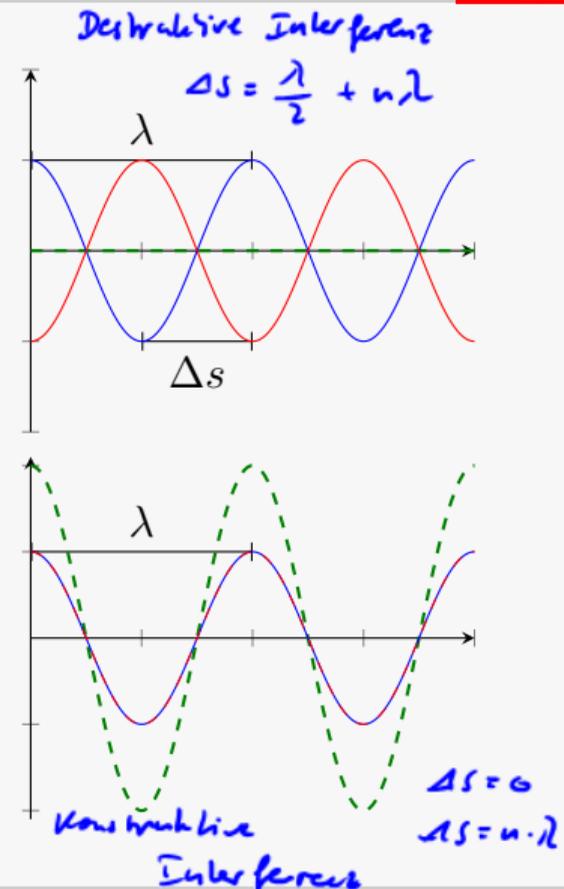
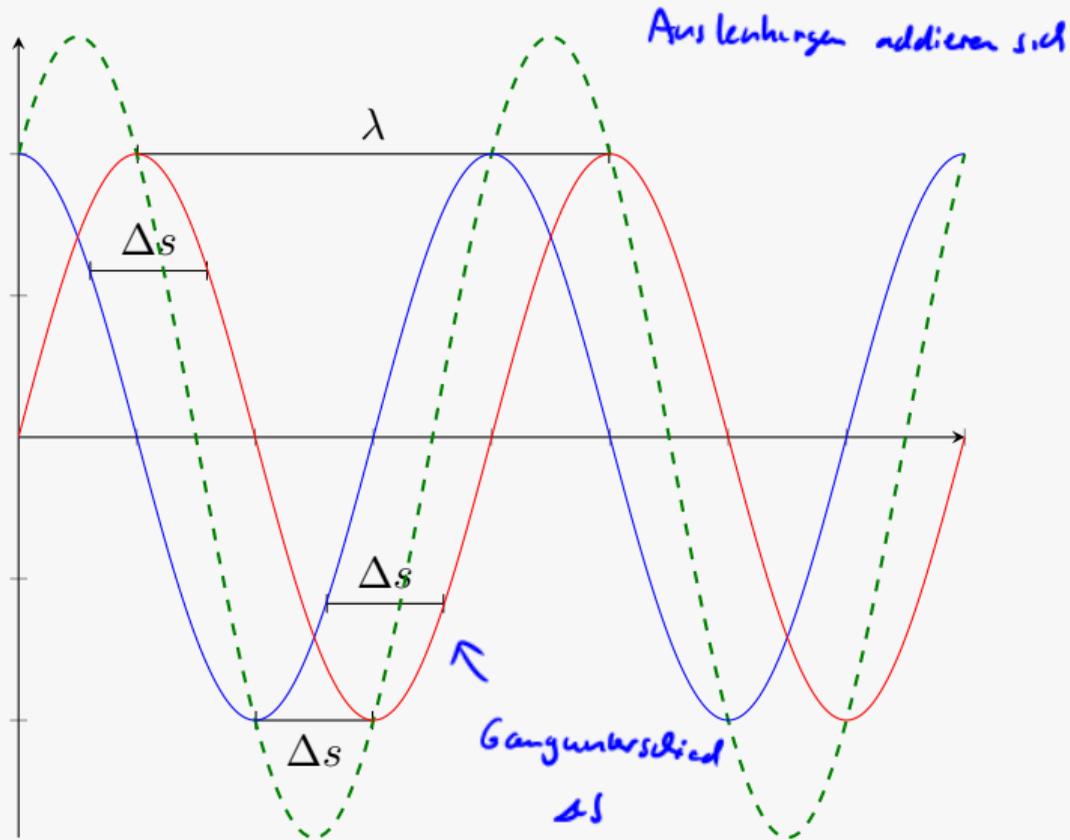
Ausbreitung meistens in mehrere Richtungen

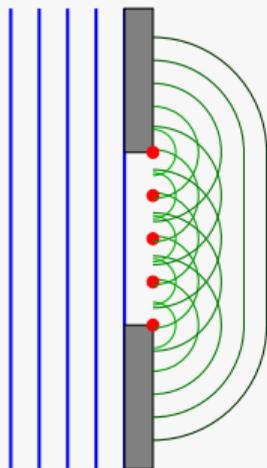
- Wellen am Ufer: lineare (ebene) Welle
- Stein fällt ins Wasser: Kreiswellen
- Schall: Kugelwelle



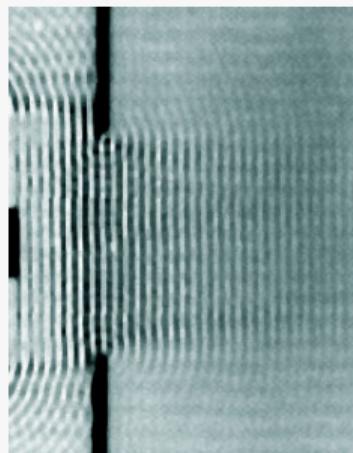
Folge: Amplitude bei Kreis- und Kugelwellen nimmt mit Abstand ab

- Kreiswelle: $A_0 \propto \frac{1}{r}$
- Kugelwelle: $A_0 \propto \frac{1}{r^2}$

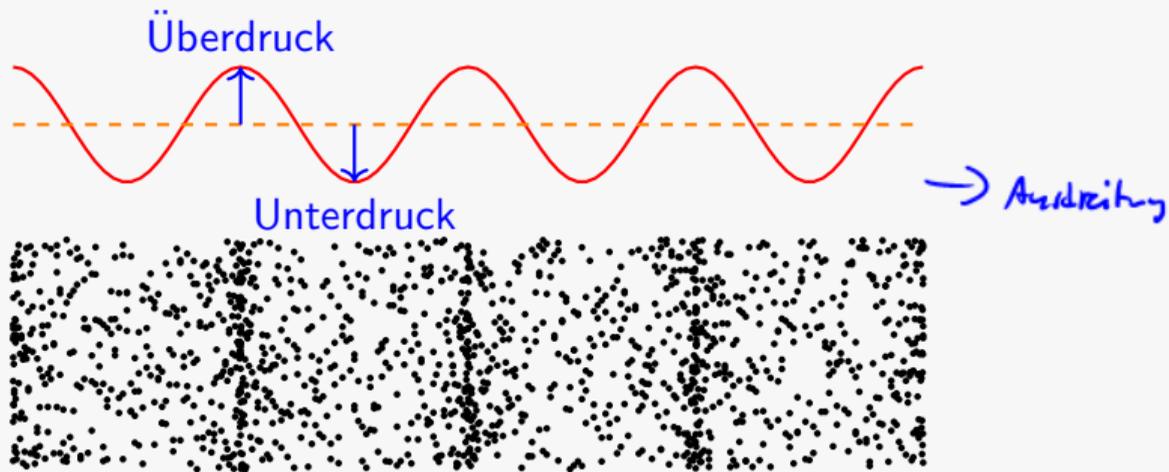




- Jeder Punkt einer Wellenfront kann wieder als Ausgangspunkt einer Kugelwelle, der sogenannten Elementarwellen, betrachtet werden.
- Das Wellenbild hinter einem Hindernis (Beugungsbild), setzt sich dann aus der Überlagerung der Elementarwellen zusammen.



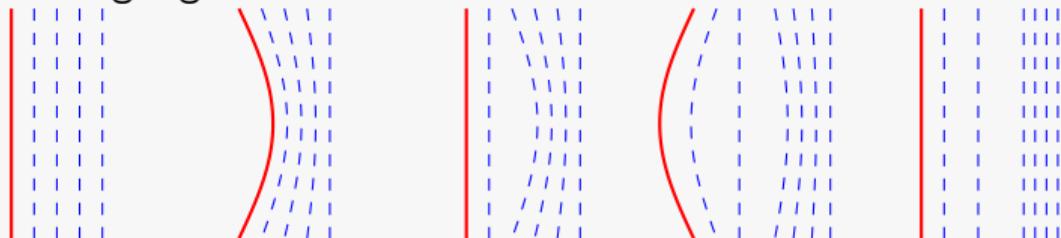
Quelle: http://www.elsenbruch.info/ph12_huygens.htm



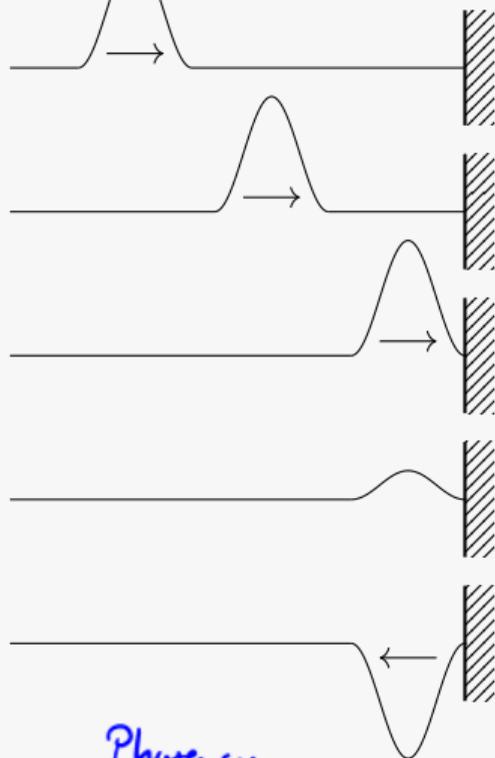
In Luft

Longitudinalwelle

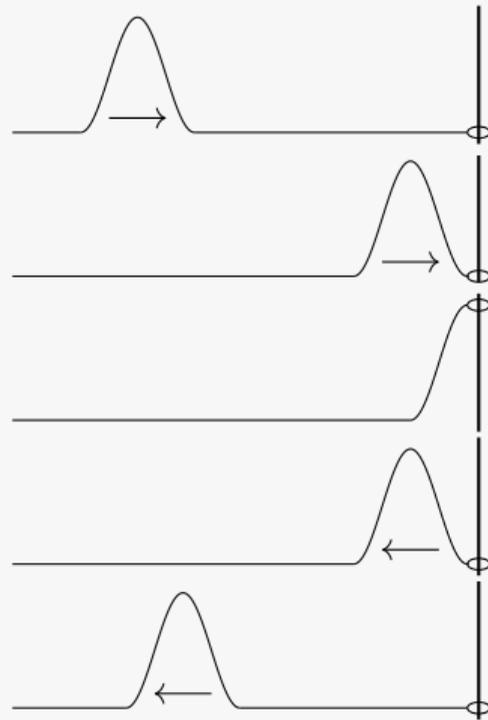
Erzeugung einer Schallwelle



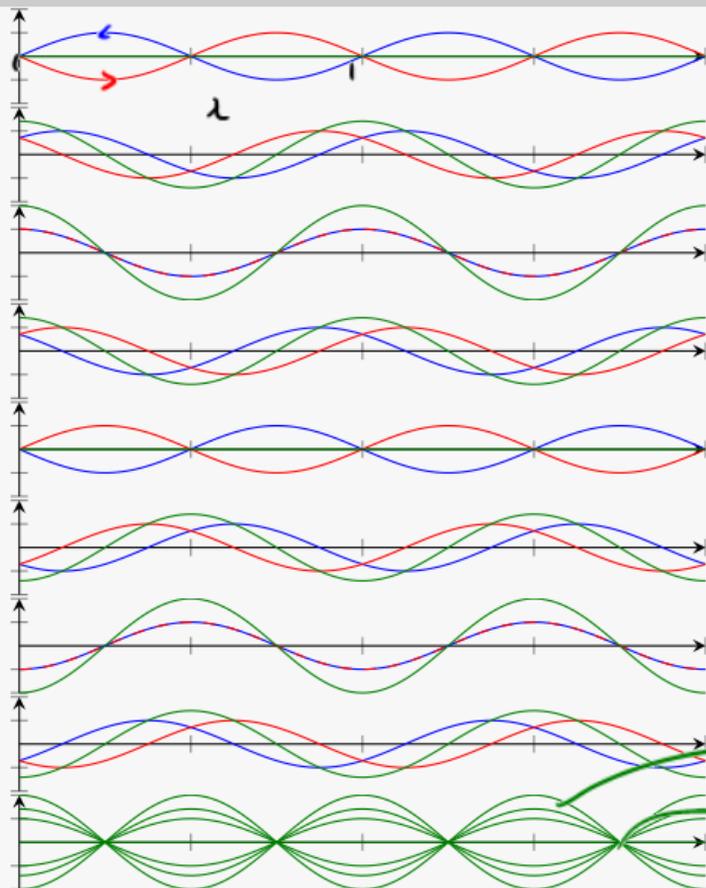
Festes Ende



Loses Ende



Kein Phasenprung



versch. Momentaufnahmen

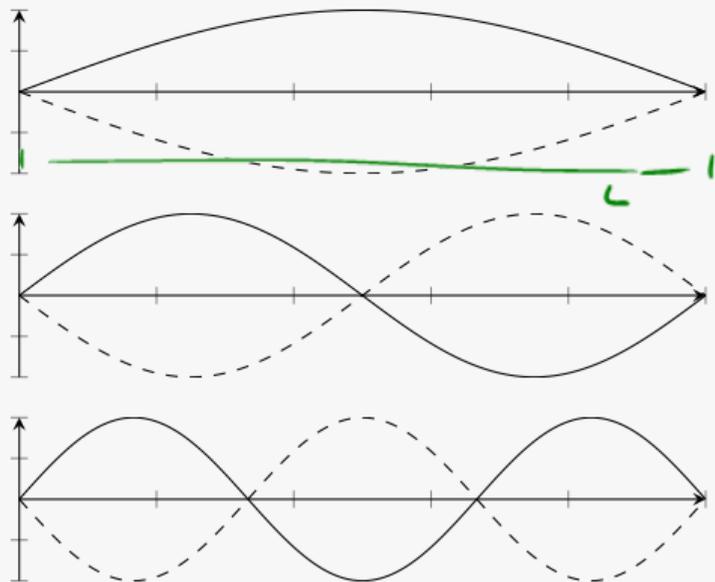
Zwei gegenläufige Wellen

- gleiche Frequenz

- gleiche Amplitude

Bauch

Knoten



Grundschwingung

$$L = \frac{\lambda}{2}$$

$$\Rightarrow \lambda = 2L \quad f = \frac{c}{2L}$$

$$L = 2 \cdot \frac{\lambda}{2} = \lambda$$

$$f = \frac{c}{L}$$

Overtöne

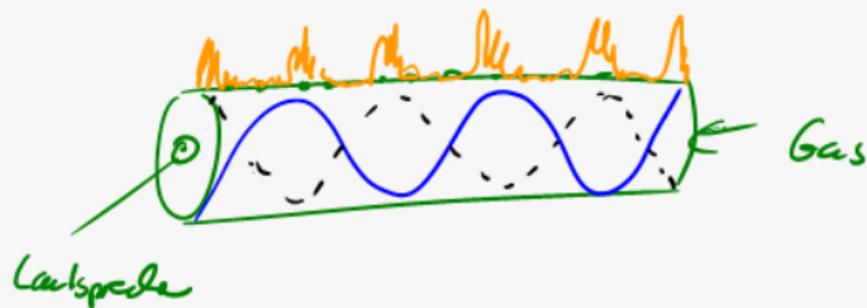
$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{2}{3}L$$

$$f = \frac{c}{\frac{2}{3}L}$$

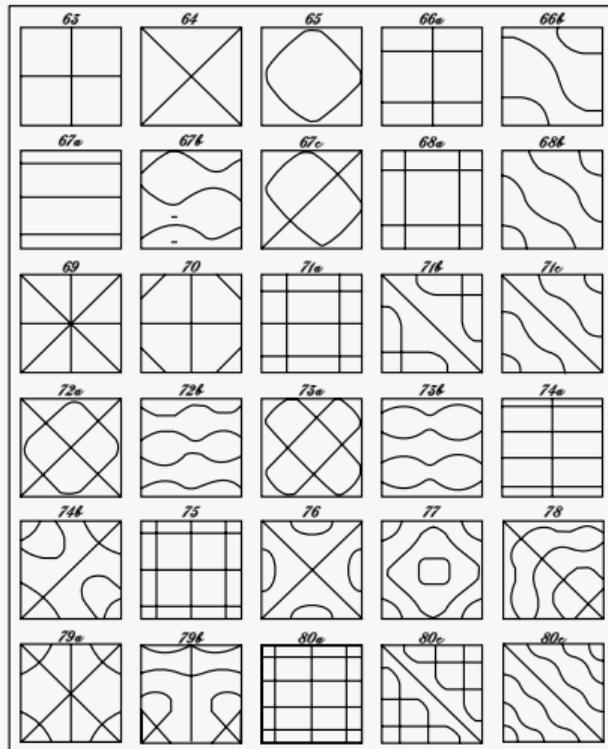
$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Anschaulich im Experiment:

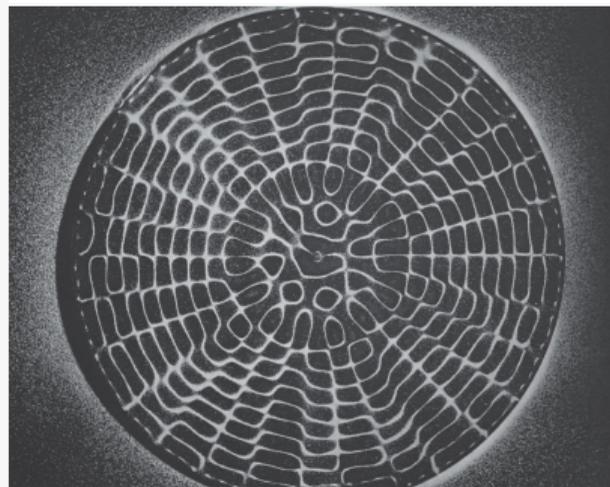
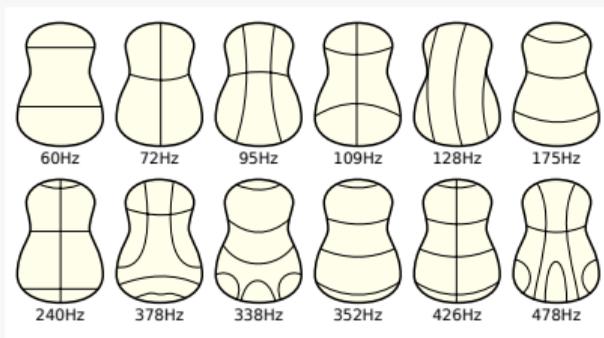
- ~~Kundtsches Rohr~~
- Rubenssches Flammenrohr



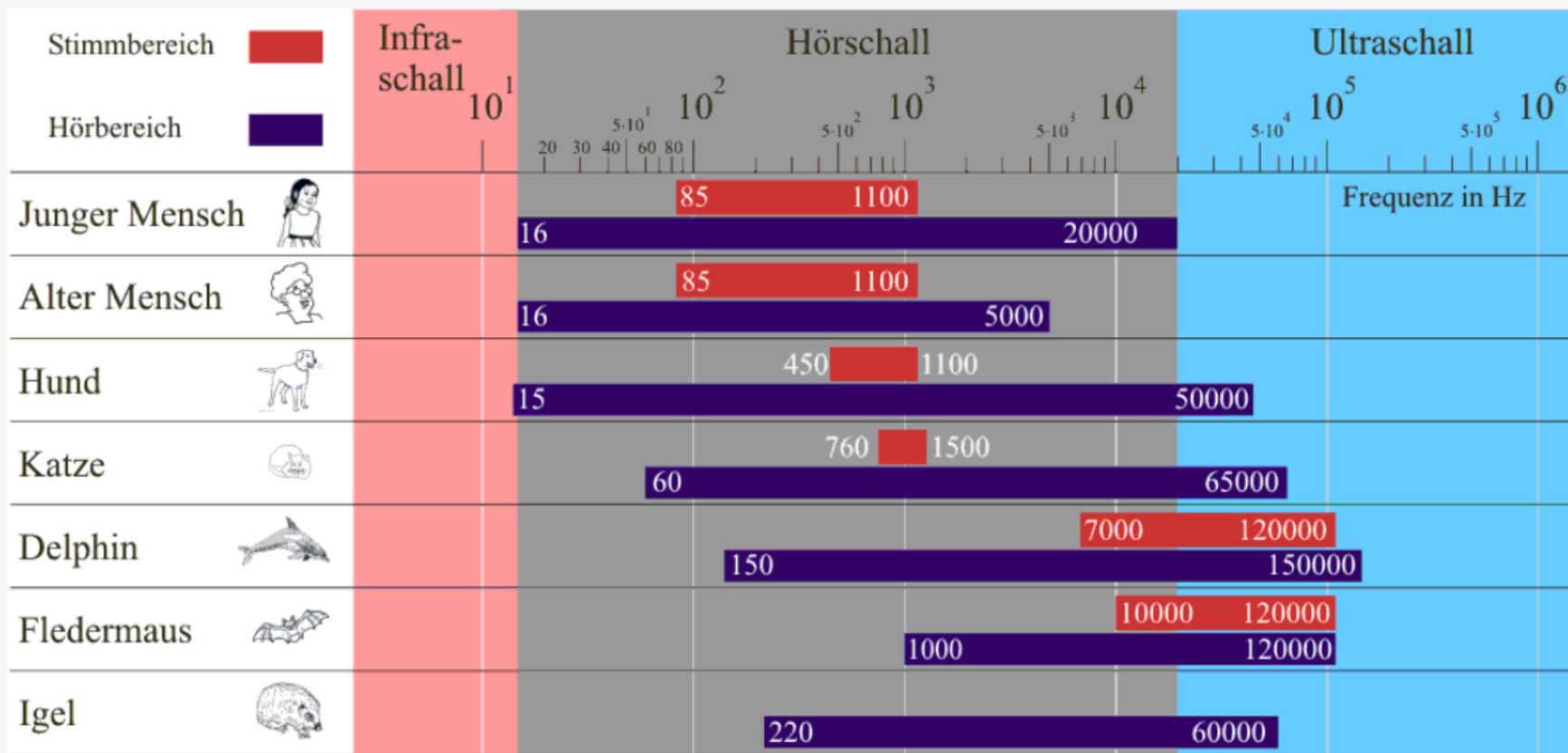
Chladni's Akustik



Quelle: Wikipedia



Akustisches Frequenzspektrum



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

- Abhängig von Dichte und Elastizität des Mediums

Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und Medium

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}$$

Gas

$$c = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$$

Flüssigkeit

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

(longitudinal)

$$c = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

(transversal)

Elastizitätsmodul E

- 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)

Schallfeldgrößen – Amplitude, Schnelle, Druck

- Ein einzelnes Teilchen schwingt mit Amplitude A_0

Schallamplitude

Amplitude A_0 der Schwingung eines Teilchens

$$x(t) = A_0 \sin(\omega t)$$

Schallschnelle

Maximale Geschwindigkeit der Moleküle

$$v_0 = \max \frac{dx}{dt} = \max [A_0 \omega \cos(\omega t)] = A_0 \omega$$

$$a_0 = \max \frac{dv}{dt} = \max [A_0 \omega^2 \sin(\omega t)] = A_0 \omega^2$$

Schalldruck bzw. Schallwechseldruck

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