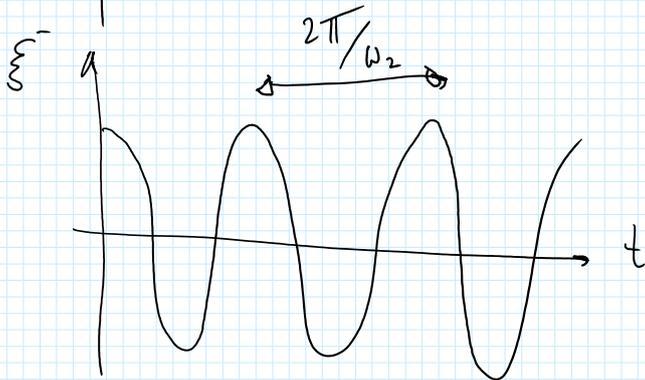
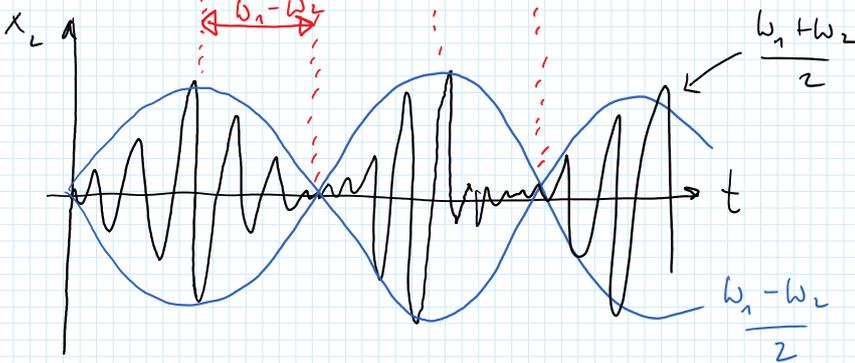
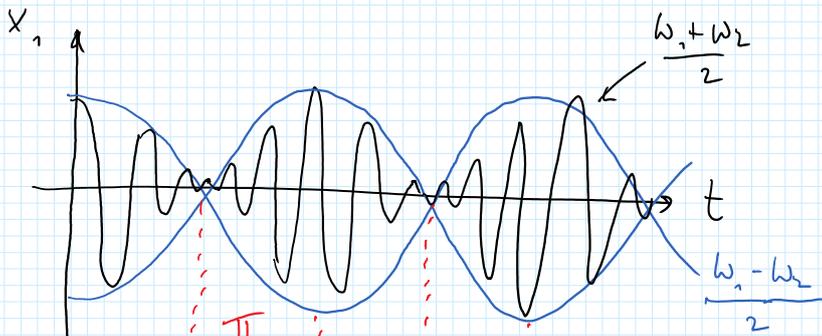


$$\omega_1 = \sqrt{\frac{D}{m}}$$



$$\omega_2 = \sqrt{\frac{3D}{m}}$$

$$\omega_2 = \sqrt{3} \omega_1$$



$$T = \frac{2\pi}{\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}\right)} = \frac{4\pi}{\omega_1 - \omega_2}$$

Nahschwingungen

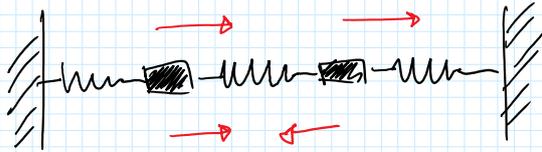
(1... Schwingung... der alten Frequenz)

(norm. Schwingungen der selben Frequenz)

m_1 und m_2 in Phase:

$$x_1(t) = x_2(t) \Rightarrow \xi^- = \frac{1}{2}(x_1 - x_2) = 0$$

$$\xi^+ = x_1 = x_2 = A_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$



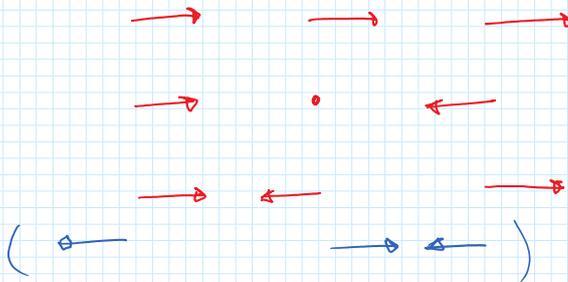
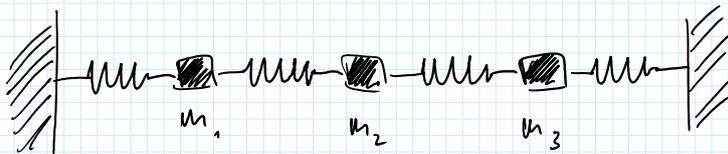
m_1 und m_2 schwingen gegenphasig:

$$x_1(t) = -x_2(t) \quad \xi^+(t) = \frac{1}{2}(x_1 + x_2) = 0$$

$$x_1(t) = -x_2(t) = \xi^-(t) = A_2 \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$

2 gekoppelte Oszillatoren (m_1 und m_2)

\Rightarrow 2 Normalschwingungen



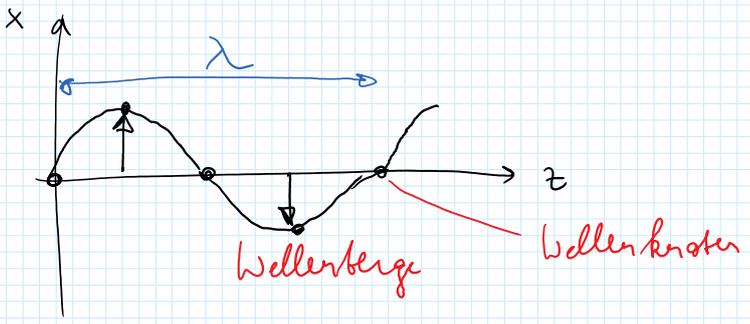
3 Normalschwingungen

\Rightarrow N Massen haben N Normalschwingungen

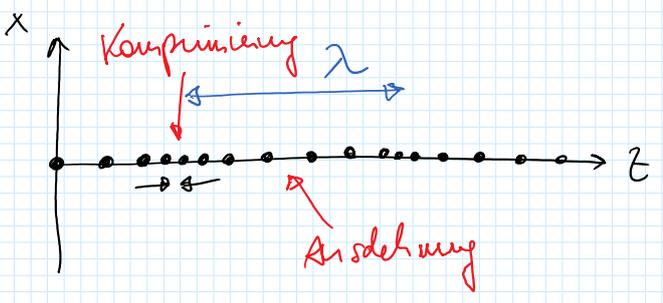
\Rightarrow N kann nicht in Normierung

III. 6 Wellen

① Transversale Wellen
(Störung \perp Ausbreitungsrichtung)



② Longitudinale Wellen
(Störung \parallel Ausbreitungsrichtung)



Wellenlänge: Abstand zweier äquivalenter Punkte

$$x(z_1, t) = x(z_2, t)$$
$$\lambda = z_2 - z_1$$

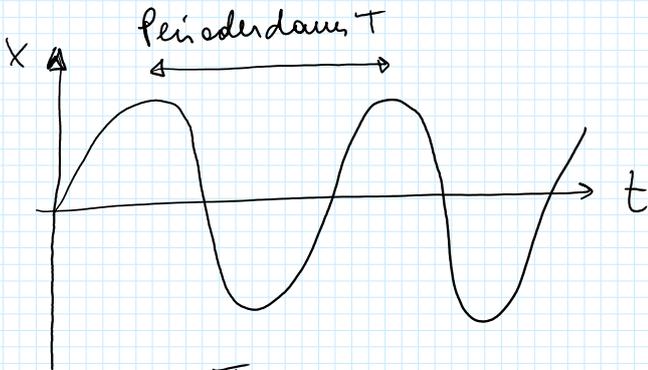
Zeitlich periodische Abwägung am festen Ort $z = z_0$

$$x(z, t) = A \cdot \sin(\omega t - k z)$$

↑

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

$$X(t) = A \cdot \sin(\omega t - kz_0)$$



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

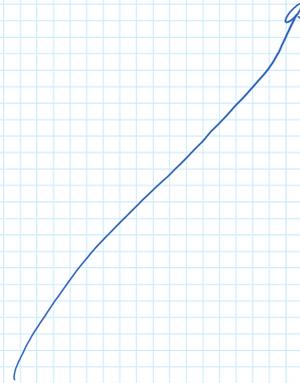
Anfangsphase $\varphi = kz_0$

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot z_0$$

Bsp.: $z_0 = \frac{\lambda}{2}$

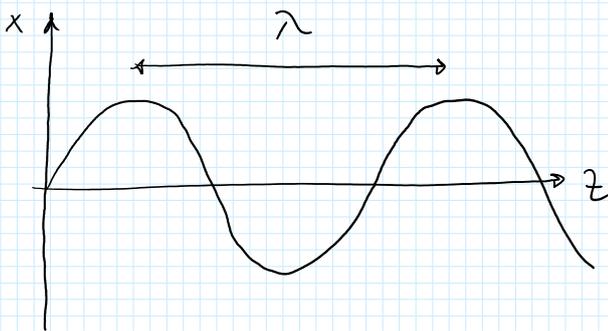
$$\Rightarrow \varphi = \pi$$

$$\sin(\omega t - \varphi)$$



Räumlich periodische Funktionen zu festem Zeitpunkt $t = t_0$.

$$X(z) = A \cdot \sin(\omega t_0 - kz)$$



$\varphi = \omega t_0$ (Anfangsphase bei $z=0$)

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

$$\varphi = \frac{2\pi}{T} \cdot t_0$$

$$t_0 = \frac{T}{2} \Rightarrow \varphi = \pi$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$X(z, t) = A \cdot \sin(\omega t - kz)$$

Phase

1 1 . 0 1 -

$$\frac{d}{dt} (\omega t - k z) = 0$$

$$\omega - k \frac{dz}{dt} = 0$$

$$v_{\text{Phas}} = \frac{dz}{dt} = \frac{\omega}{k} = \frac{2\pi \nu}{\frac{2\pi}{\lambda}} = \nu \cdot \lambda$$

$$v_{\text{Phas}} = \nu \cdot \lambda$$

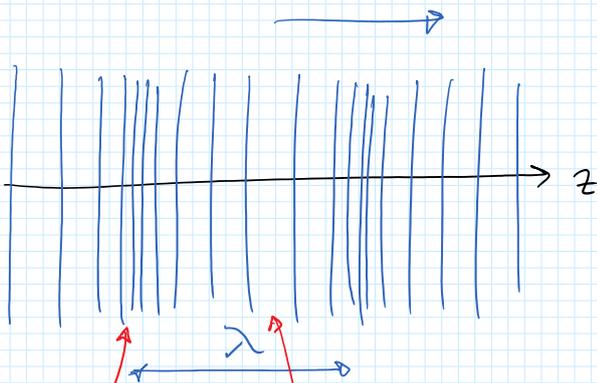
$$v_{\text{Phas}} = f(\nu) \rightarrow \text{"Dispersion"}$$

akustik

Schallwellen: $16 \text{ Hz} \lesssim \nu \lesssim 16 \text{ kHz}$

Ultraschall: $\nu > 16 \text{ kHz}$

Longitudinalwellen



dicke Luft
(hoher Druck)

dünne Luft
(geringer Druck)

(Gas und Flüssigkeiten)

Schall braucht ein Medium !!

$$v_{\text{Schall}} = \nu \cdot \lambda$$

Luft: $20^\circ \text{C} : v_{\text{Schall}} = 343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$v_{\text{Schall}} = \gamma \cdot \lambda \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{Luft: } 20^\circ \text{C: } v_{\text{Schall}} = 343 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \text{ } - 25^\circ \text{C: } v_{\text{Schall}} = 316 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{array} \right.$$

$$\text{Wasser: } v_{\text{Schall}} = 1484 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Fe (s): } v_{\text{Schall}} = 5170 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dezibel

$$\text{Schalldruckpegel } L_p = 10 \log \left(\frac{\Delta p^2}{\Delta p_s^2} \right) = 20 \log \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_s} \right)$$

Δp = Schalldruck des Tons

Δp_s = Schalldruck an der Hörschwelle
($2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$)

Bsp: Schalldruck $\Delta p = 1000 \Delta p_s$

$\Leftrightarrow 60 \text{ dB}$

$$\Delta p = 100.000 \Delta p_s$$

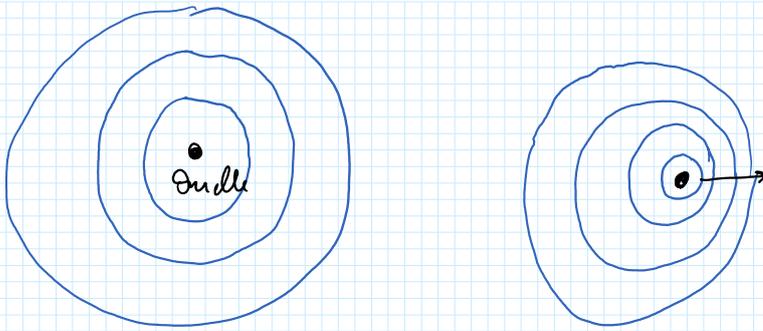
$\Rightarrow 100 \text{ dB}$

Gespäch $\approx 50 \text{ dB}$

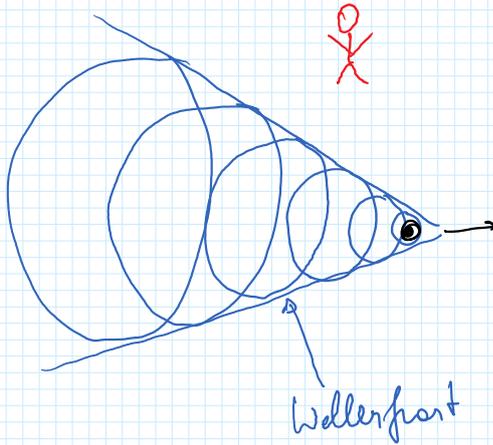
Strahl $\approx 80 \text{ dB}$

Heisluftkanne $\approx 100 \text{ dB}$

Flöschäden ab 120 dB

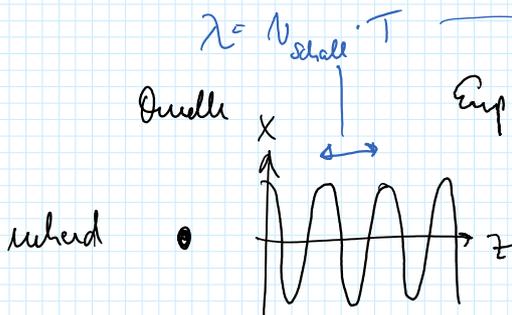
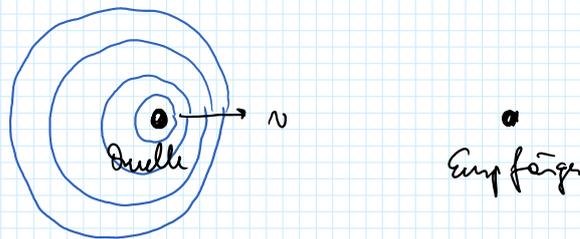


Über Schallgeschwindigkeit



Doppler-Effekt

Bewegte Quelle
über den Empfänger

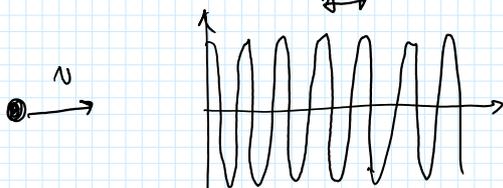


$$v_{\text{schall}} = v \cdot \lambda$$

$$\lambda = \frac{v_{\text{schall}}}{\nu}$$

$$\frac{1}{\nu} = T \Rightarrow \lambda = v_{\text{schall}} T$$

$$\lambda' = (v_{\text{schall}} - v) \cdot T$$



$$\lambda' = (v_{\text{schall}} - v) T$$

$$\lambda' = (v_{\text{schall}} - v) T$$

$$\gamma' = \frac{v_{\text{schall}}}{\lambda'} = \frac{v_{\text{schall}}}{(v_{\text{schall}} - v) T} = \frac{1}{1 - \frac{v}{v_{\text{schall}}}} \cdot \nu$$

$$\gamma' = \frac{1}{1 \pm \frac{v}{v_{\text{schall}}}} \cdot \nu$$

- Quelle → Empfänger
 + Quelle ← Empfänger