Bewegung einer elektromagnetischen Welle

„Wellenbeschreibung" des Lichts

Feldamplitude $\psi(\vec{r},t) = \psi_0 \; \underbrace{e^{i(\vec{k}\vec{r}-\omega t)}}_{\text{Phasenpropagation}}$

$\uparrow$ Amplitude

elektrisches Feld $\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0 \; e^{i(\vec{k}\vec{r}-\omega t)}$

$\vec{E}_0$: Intensität $I = |\vec{S}| \sim |\vec{E}_0|^2$

Richtung = Polarisation

$\vec{k}$: Wellenvektor $|\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$

$\Rightarrow$ Propagation der Welle

ω: Kreisfrequenz $\omega = 2\pi\nu$

$$\left.\begin{aligned} \vec{E}(\vec{r},t) &= \vec{E}_0 \; e^{i(\vec{k}\vec{r}-\omega t)} \\ \vec{B}(\vec{r},t) &= \vec{B}_0 \; e^{i(\vec{k}\vec{r}-\omega t)} \end{aligned}\right\}$$

Poynting-Vektor

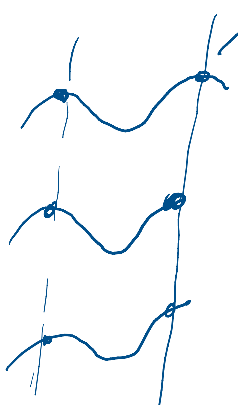
$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$ $\quad [|\vec{S}|] = \frac{V \cdot A}{m^2}$

$\Rightarrow \vec{E} \perp \vec{B}$ und $\vec{E}, \vec{B} \perp \vec{S}$ Transversalwelle

Wellenfront:

Ebene Wellen:

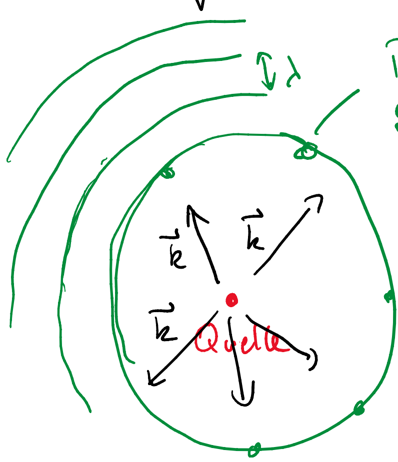
Punkte gleicher Phase bilden Ebenen



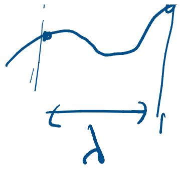
$\longrightarrow \vec{k}$ = konstant im Raum

(„ … "Licht laser)

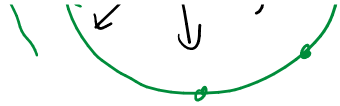
Kugelwelle:



Punkte gleicher Phase bilden Flächen



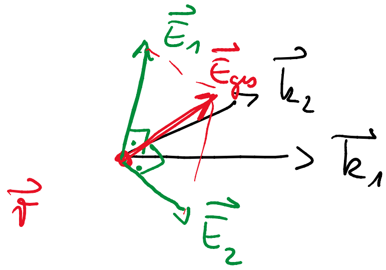
("paralleles" Licht, Laser)



Superpositionsprinzip

Mehrere Wellen an einem Ort überlagern sich:

$$\vec{E}_{ges}(\vec{r},t) = \vec{E}_1(\vec{r},t) + \vec{E}_2(\vec{r},t)$$



Amplituden summieren sich vektoriell und linear.

Interferenz kann zu Auslöschung und Verstärkung führen

$\vec{E}_1 = \vec{E}_2(\vec{r},t) \Rightarrow$ $\vec{E}_{ges} = 2\,\vec{E}_1(\vec{r},t)$

$I(\vec{r}) \sim |\vec{E}_{ges}|^2 = 4\,I_1 = 2\,(I_1+I_2)$

konstruktive Interferenz

$\vec{E}_1 = -\vec{E}_2 \Rightarrow$ $\vec{E}_{ges} = 0$ $\quad I(\vec{r}) = 0$

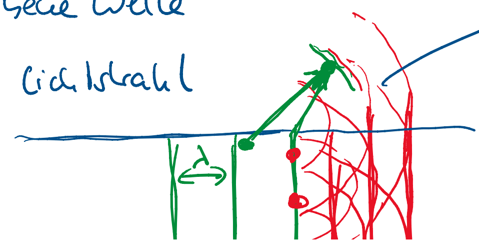
destruktive Interferenz

Interferenz "verschiebt" Energiefluss aus Bereichen destruktiver hin zu Bereichen konstruktiver Interferenz.

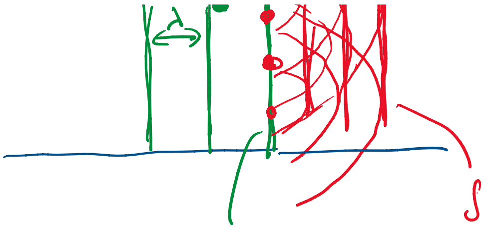
Huygenssches Prinzip (auch Huygens-Fresnel)

Ebene Welle

Lichtstrahl

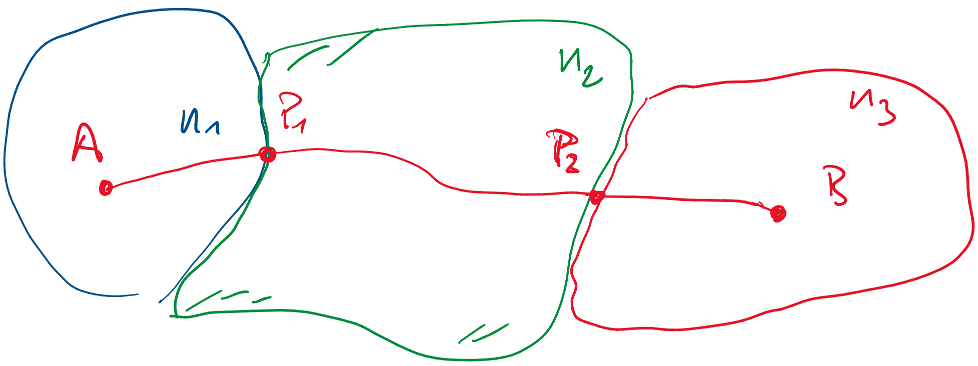


hier immer destruktive Interferenz



Qualitative Beschreibung der Wellenbewegung
=) Reflexionsgesetz, Brechung, Beugung.

Fermat'sches Prinzip



Def: Brechungsindex n: Lichtgeschwindigkeit im Medium

$$c_n = \frac{c_0}{n} \qquad c_0 = \text{Vakuumlichtgeschwindigkeit}$$

Mit $\nu \cdot \lambda = c$ =) ν Frequenz konstant

$$\lambda_n = \frac{\lambda_0}{n} \qquad \text{Vakuumwellenlänge}$$

$$k_n = \frac{2\pi}{\lambda_n} = n \cdot k_0 \qquad \text{Wellenvektor}$$

Zeit für Weg $A \to B$:

$$t = \frac{|\overline{AP_1}|}{c_0/n_1} + \frac{|\overline{P_1P_2}|}{c_0/n_2} + \frac{|\overline{P_2B}|}{c_0/n_3}$$

$$\frac{1}{}\Big(n_1 \, |\overline{AP_1}| + n_2 \, |\overline{P_1P_2}| + n_3 \, |\overline{P_2B}|\Big)$$

$$= \frac{1}{c_0} \cdot \Big(\underbrace{n_1 |\overline{AP_1}| + n_2 |\overline{P_1P_2}| + n_3 |\overline{P_2B}|} \Big)$$

$$= \frac{1}{c_0} \quad S \qquad S = \text{optische Weglänge OWL}$$

Def: Die OWL ist definiert:

$$\text{OWL} \quad \boxed{S = \int_A^B n(s)\, ds}$$

Zeit für $A \to B$: $\quad t = \frac{S}{c_0}$

Fermatsches Prinzip:

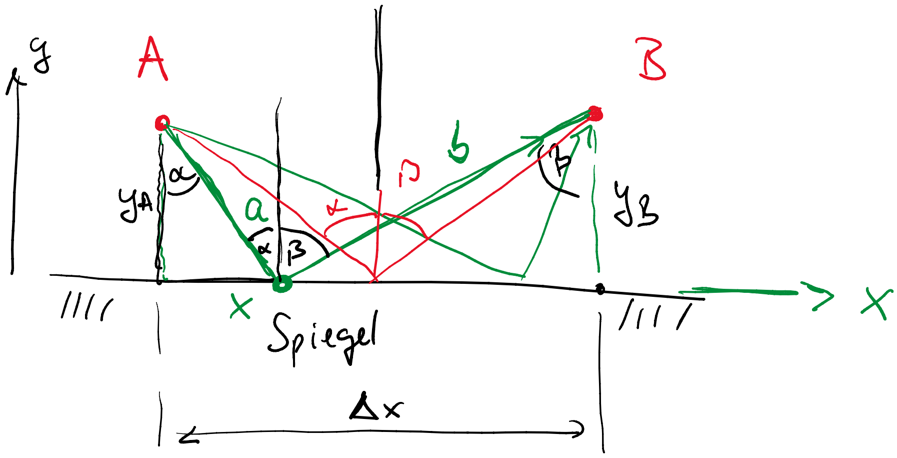
Der physikalische Weg des Lichts ist stabil bei kleinen Veränderungen der Positionen der Punkt.

$\Rightarrow$ OWL muss minimal (eigentlich extremal sein), d.h.

$$\frac{\partial S}{\partial \vec{r}_{P_1}} = 0 \quad \Rightarrow \text{ macht Bedingung für } P_1$$

formal Variationsprinzip $\quad \boxed{\delta \int n(s)\, ds = 0}$

Reflektionsgesetz:



OWL $\quad s = a + b = \sqrt{y_A^2 + x^2} + \sqrt{y_B^2 + (\Delta x - x)^2}$

Fermat: $\quad \frac{ds}{dx} \overset{!}{=} 0 = \frac{2x}{\underbrace{2\sqrt{y_A^2+x^2}}_{a}} + \frac{(-1)\ 2(\Delta x - x)}{\underbrace{2\sqrt{y_B^2+(\Delta x-x)^2}}_{b}} = 0$

$$= \frac{x}{a} - \frac{(\Delta x - x)}{b}$$

$$= \sin\alpha - \sin\beta = 0$$

$$\Rightarrow \quad \sin\alpha = \sin\beta \quad \Rightarrow \quad \boxed{\alpha = \beta}$$

Reflektionsgesetz