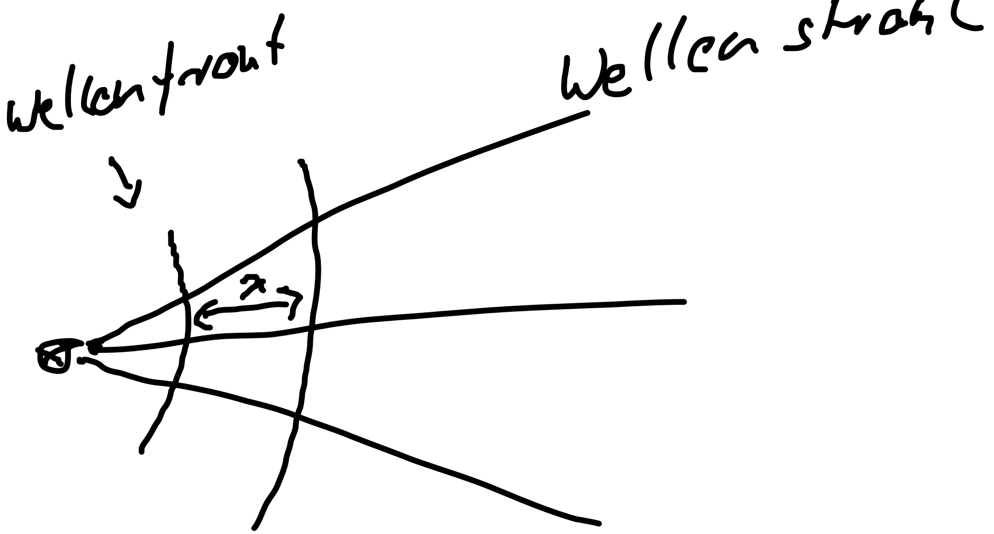
$(\vec{k}, \vec{E}, \vec{B}) \;\hat{=}\;$ orth. Rechtssystem

Ebene Wellen:

$$\vec{A}, \vec{E}, \vec{B} \sim e^{i(\vec{k}\vec{x} - \omega t)}$$

Wellenfront: Wellenpunkte mit gleicher Phase

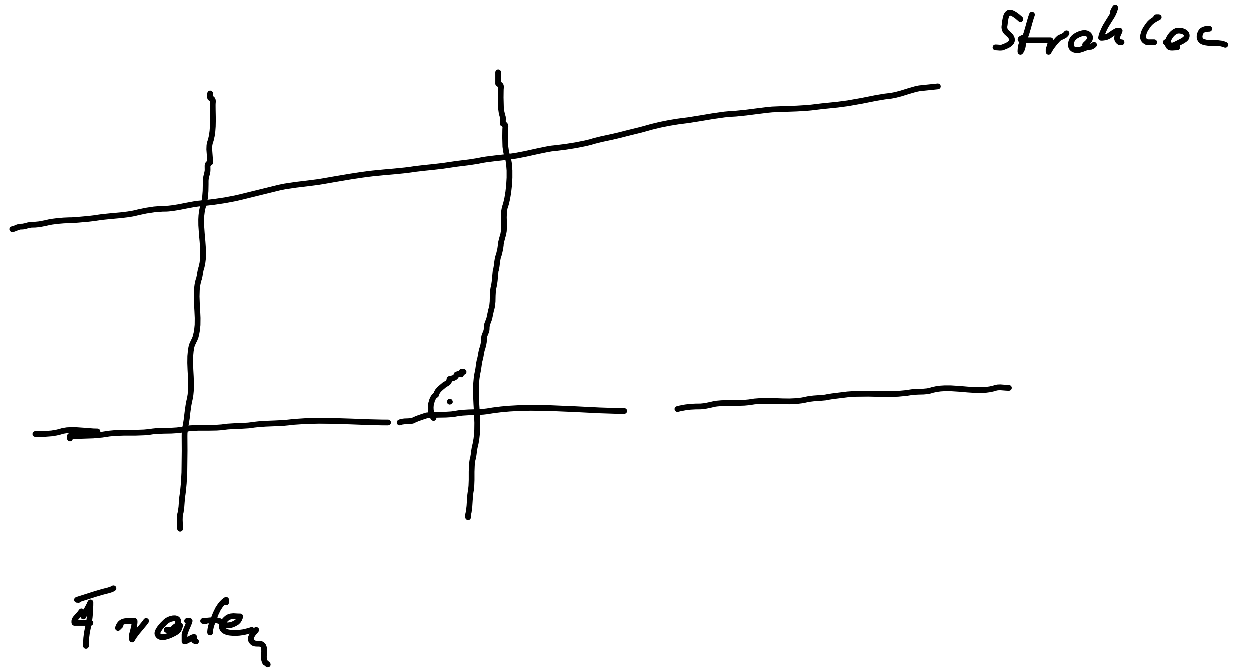


ebene Welle: Wellenfronten parallel, sind Ebenen

In großer Entfernung:

Wellenfronten ~ parallele Ebenen

Wellenstrahlen ~ parallele Linien $\perp$ Fronten



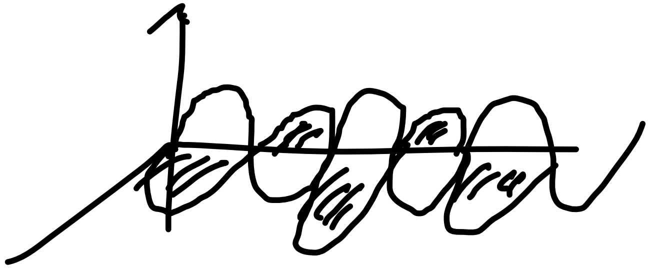
In unserem Fall: Wellenfronten $\vec{k}\vec{x} - \omega t = \text{const.}$

$\hat{=}$ entspricht der Gleichung einer Ebene: (4.28)

„ebene Welle" !

⇒ Feldvektoren des el. und magn. Feldes pflanzen sich ohne Phasenunterschied fort!

(siehe auch Otto 1.4.2)

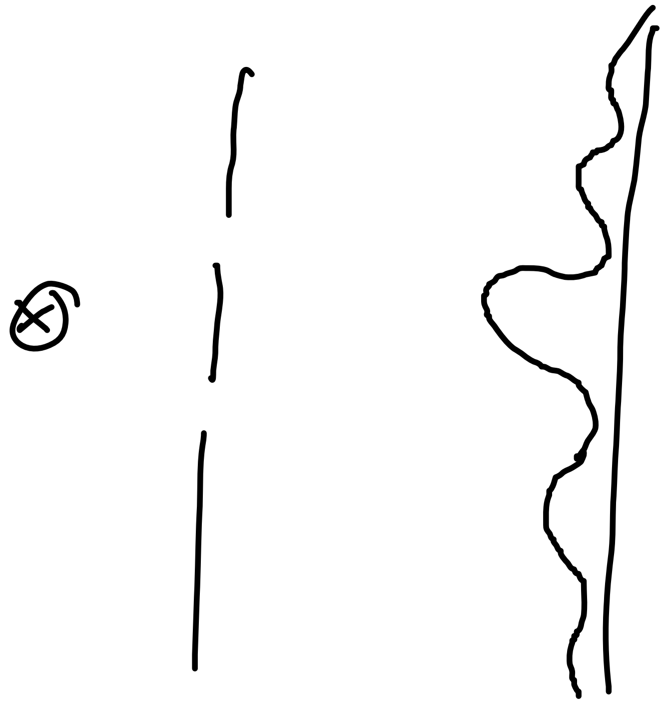


4,2 Lichtwellen

Tipler 30,31

Licht hat Wellencharakter!

Doppelspaltexperimente von Th. Young



Interferenzbild

→ eindeutig "Wellencharakter"

Doppelspalt   Photoplatte

"Licht" $f \in [10^{12}, 10^{17}]$ Hz

Infrarot   UV

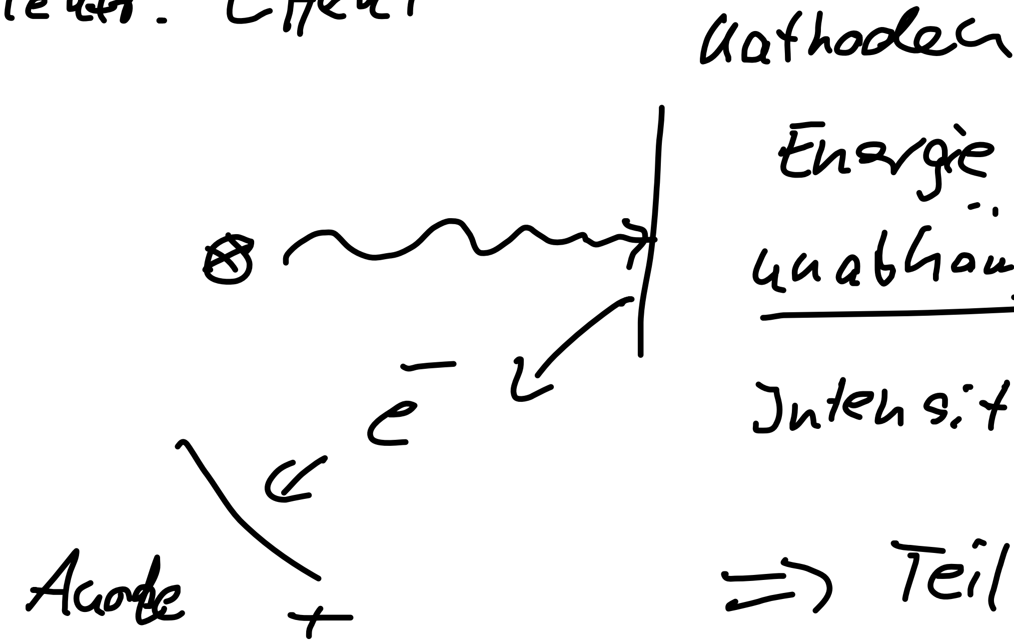
sichtbares Licht: $f \in [4{,}3\,,\ 7{,}5] \cdot 10^{14}$ Hz

$\lambda \mathrel{\hat{=}} [400\,,\ 700]$ nm

Wellencharakter: von Maxwell 1860 "math" fundiert; Lichtwellen ≙ elm. Wellen

<u>Teilchencharakter</u> des Lichtes: Vorschlag Einstein, 1905.

photoelektr. Effekt



Energie der e^- ist <u>unabhängig</u> von der Intensität des Lichtes

$\Rightarrow$ Teilchencharakter

$E = h\nu$ ← Frequenz

Welle - Teilchen Dualität :

Welle $\longleftrightarrow$ Teilchen

Welle $\downarrow$ Ausbreitung

Teilchen $\downarrow$ Energieaustausch, Emission, Absorption

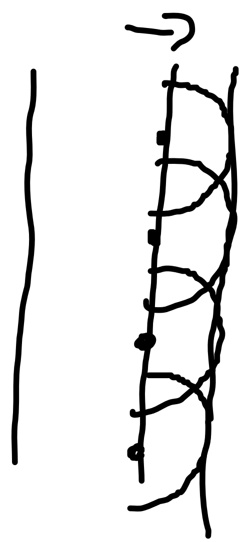
Im ff: konzentrieren uns auf Wellencharakter

- Wellenausbreitung: bestimmt durch Maxwell Gleichungen
- Einfache Methode (17. Jahr.): "Huygens Prinzip"

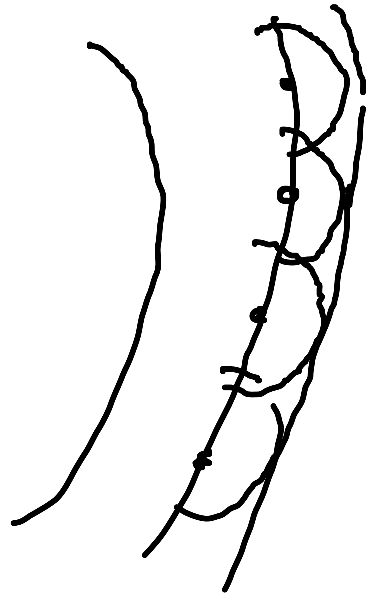
"Geometrische Methode" zur Ausbreitung von Wellenfronten: jeder Punkt auf primären Wellenfront

≙ Quelle einer neuen, sekundären Welle, die sich ebenfalls mit derselben Geschw. v und f wie Ursprungswelle ausbreitet

ebene Wellen



Kreiswelle



Huygens ignoriert Wellen in Rückwärts Richtung!

Anwendung: geometr. Optik etc. (siehe Vorl. Halle)

5. Superposition von Wellen (Tipler 16.1)

5.1 Linearität der Wellengleichung

Prinzip der Superposition: Wenn 2 oder mehr Wellen überlappen, dann ist die resultierende Welle die algebraische Summe der individuellen Wellen

$\Rightarrow$ Falls y_1 und y_2 Lösungen der Wellengleichung sind, dann ist $y_3 = c_1 y_1 + c_2 y_2$ ebenfalls eine Lösung ("Linearität der Wellengleichung")

Konkret:

Wellengleichung $$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \qquad (5.1)$$

geg.: $y_1(x,t)$ und $y_2(x,t)$ erfüllen (5.1)

$y_3 = c_1 y_1 + c_2 y_2$ in (5.1) einsetzen:

Es gilt:

$$\frac{\partial^2 y_1}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} \quad \text{und} \quad \frac{\partial^2 y_2}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2}$$

Falls y_3 Lösung von (5.1) ist, muß gelten:

$$\frac{\partial^2 y_3}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 (c_1 y_1 + c_2 y_2)}{\partial x^2} = c_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial x^2} + c_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial x^2} \qquad (*)$$

setze Wellengleichung für y_1 und y_2 ein:

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 y_3}{\partial x^2} = c_1 \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + c_2 \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2}$$

$$= \frac{1}{v^2} \left[c_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + c_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} \right]$$

$$= \frac{1}{v^2} \left[\frac{\partial^2 c_1 y_1}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 c_2 y_2}{\partial t^2} \right] = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \overbrace{\left[c_1 y_1 + c_2 y_2 \right]}^{y_3}$$

$$= \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y_3}{\partial t^2} \qquad \checkmark \quad \text{(w.z.b.w.)}$$

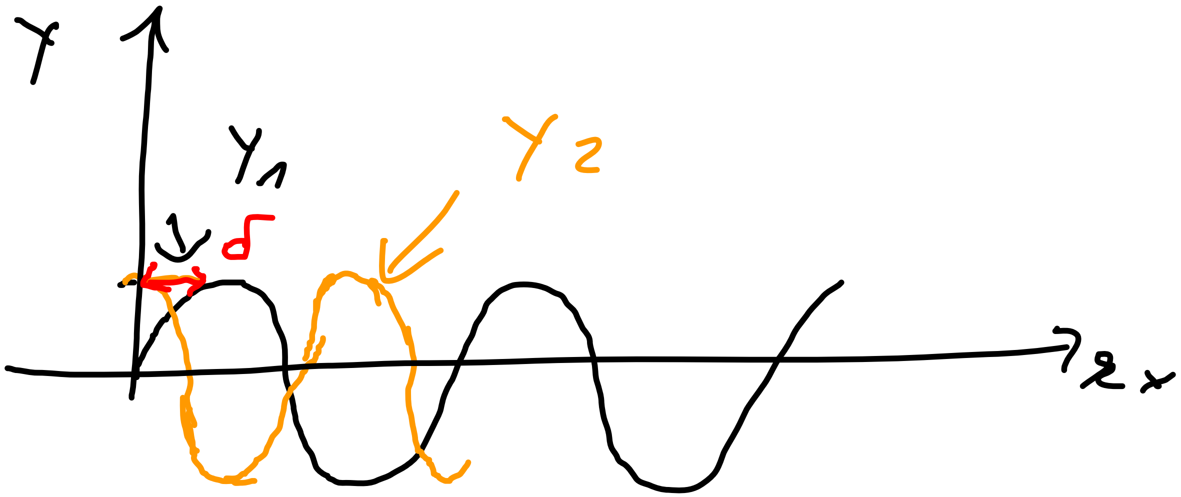
5.2 Interferenz von harmonischen Wellen

(vergl. mit gekoppeltem Pendel, Phys. I)

$y_1 = A \sin(kx - \omega t)$ "Welle 1"

$y_2 = A \sin(kx - \omega t + \delta)$ "Welle 2"

mit jeweils $v^2 = \frac{\omega^2}{k^2}$



$\Rightarrow$ Superposition:

$$y_3 = y_1 + y_2 = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx - \omega t + \delta)$$

Benütze: $\sin\theta_1 + \sin\theta_2 = 2\cos\frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \sin\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$

oder Euler'sche Formel: $\exp(i\alpha) = \cos\alpha + i\sin\alpha$

$$y_1 + y_2 = A\left\{ \mathrm{Im}\, e^{i(kx-\omega t)} + \mathrm{Im}\, e^{i(kx - \omega t + \delta)} \right\}$$

$$= A\, \mathrm{Im}\left\{ e^{i(kx-\omega t)} + e^{i(kx - \omega t + \delta)} \right\}$$

$$= A\, \mathrm{Im}\left\{ e^{i(kx-\omega t + \frac{\delta}{2} - \frac{\delta}{2})} + e^{i(kx - \omega t + \frac{\delta}{2} + \frac{\delta}{2})} \right\}$$

$$= A\, \mathrm{Im}\left\{ e^{i(kx-\omega t + \frac{\delta}{2})} \left[e^{-i\frac{\delta}{2}} + e^{+i\frac{\delta}{2}} \right] \right\}$$

$$= A\, \mathrm{Im}\left\{ e^{i\left(kx - \omega t + \frac{\delta}{2}\right)} \left[\underbrace{\cos\left(-\frac{\delta}{2}\right) + \cos\left(\frac{\delta}{2}\right)}_{2\cos\frac{\delta}{2}} + \cancel{i \sin\left(-\frac{\delta}{2}\right)} + \cancel{i \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)} \right] \right\}$$

$$= 2A \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \mathrm{Im}\left\{ e^{i\left(kx - \omega t + \frac{\delta}{2}\right)} \right\}$$

$$= 2A \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\delta}{2}\right) \qquad (5.2)$$

Interferenz: Superposition von Wellen mit gleicher/ähnlicher Frequenz führt zu charakteristischen Mustern in der Intensitätsverteilung (~ Quadrat der Amplitude)

- Falls $\delta = 0$ in (5,2):

<u>Amplitude</u> der resultierenden $y_3 = (y_1 + y_2) \sim 2A$

"konstruktive Interferenz"

Intensität = maximal

- Falls $\delta = \pi$ in (5,2): $y_3 = y_1 + y_2 = 0$

d.h. Amplitude $= 0$

"destruktive Interferenz"

Intensität = minimal