

Vorlesung 16

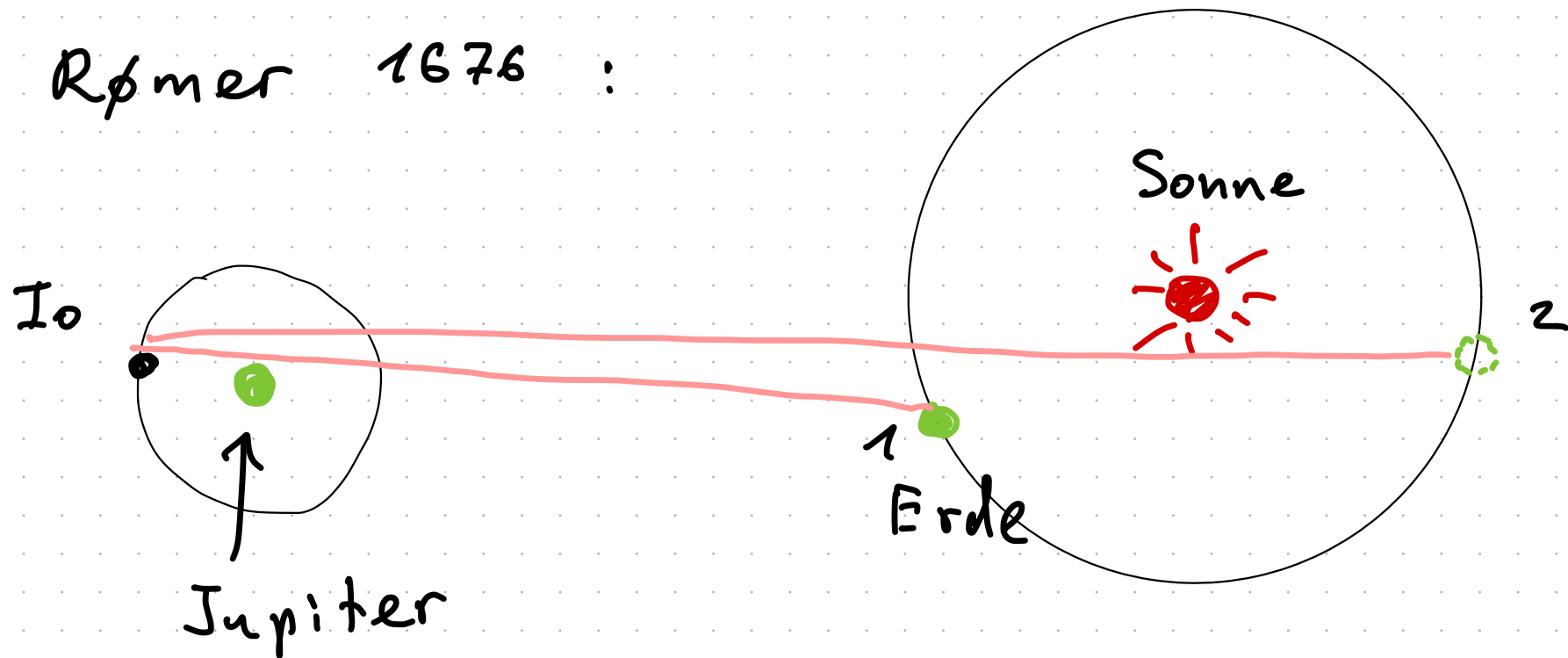
Physik II
A. Ustinov

SS 2020 

Lichtgeschwindigkeit

$$[SI] : c \simeq 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} ;$$

Rømer 1676 :



22 min

Richtig: $\sim 16 \text{ min } 40 \text{ s}$

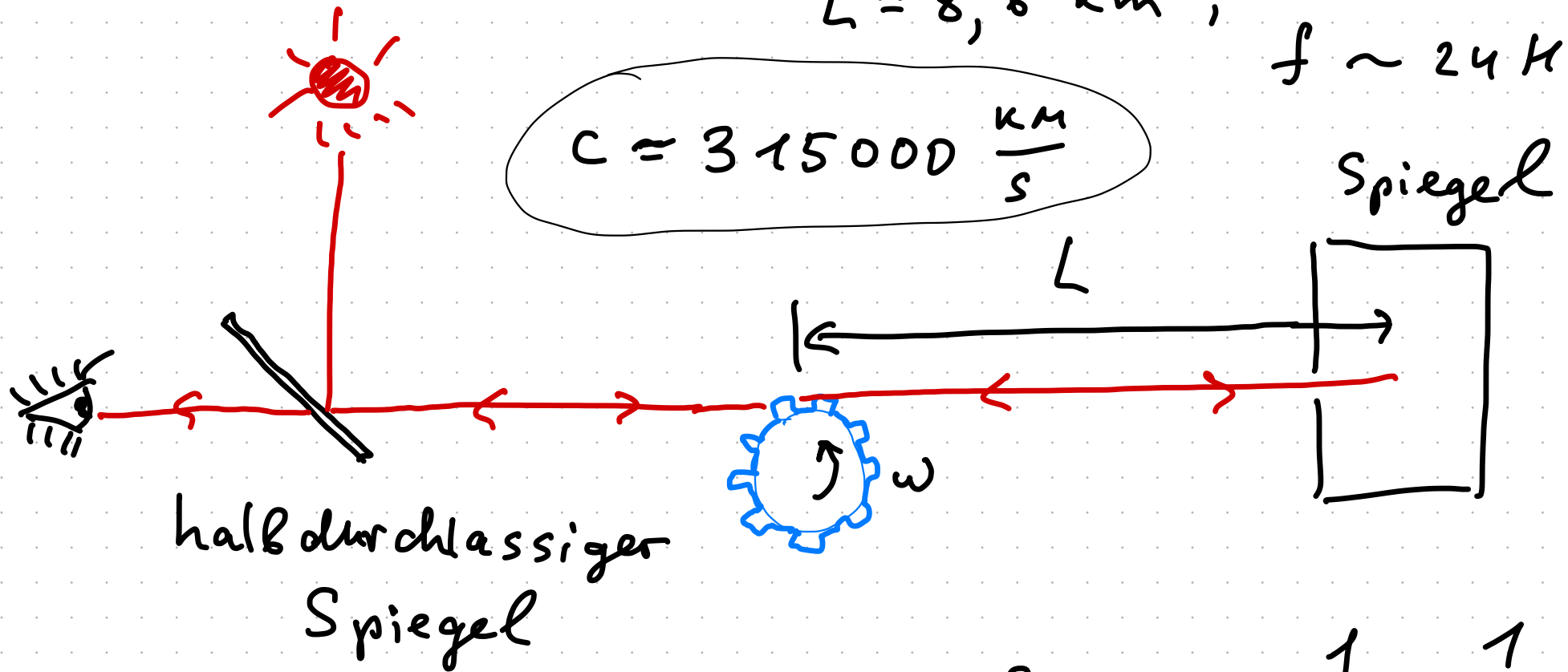
Huygens $\rightarrow c \sim 213000 \frac{km}{s}$

Fizeau 1849

$$L = 8,6 \text{ km} ; N \sim 720$$

$$f \sim 24 \text{ Hz}$$

$$c \approx 315000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

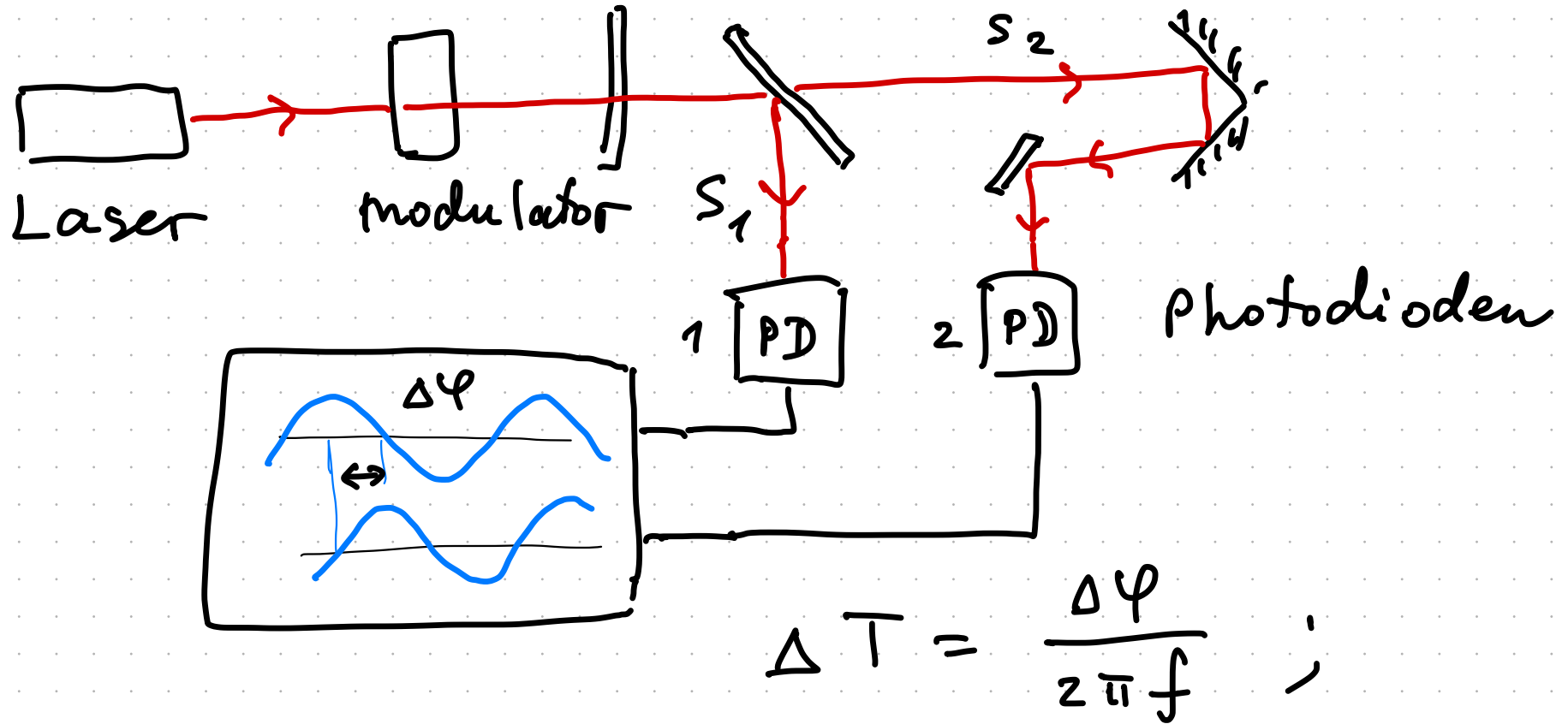


Lichtblitze der T_1 , mit Frequenz $\frac{1}{\Delta T} \sim \frac{1}{2T_1}$;

mit N Zähnen : $\Delta T = \frac{2\pi}{\omega} \cdot \frac{1}{N}$;

$$\Rightarrow c = \frac{2L}{\Delta T} = LN\omega \frac{1}{\pi} = 2LN \cdot f \leftarrow \text{Drehfreq.}$$

Phasenmethode:



$$\Delta S = S_2 - S_1 ; \quad f = 10^7 \text{ Hz} ; \quad \Delta S \sim 3 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta c}{c} < 0,2\%$$

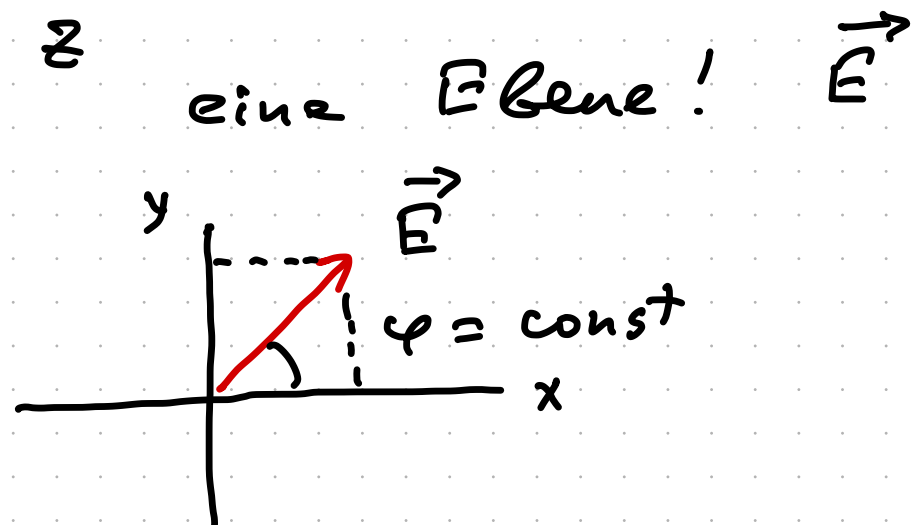
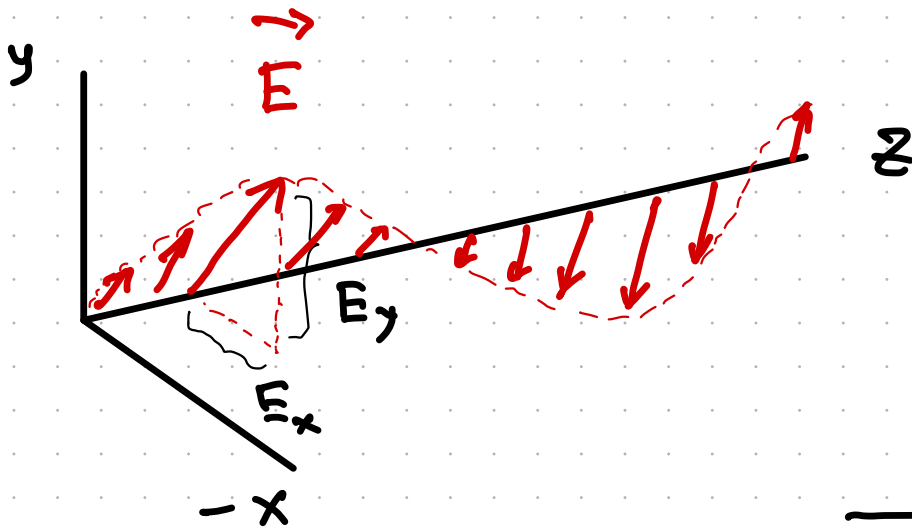
$$c \approx 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Linear polarisierte Wellen

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cdot \cos(\omega t - kz) ;$$

linear polarisiert : $\begin{cases} E_x = E_{0x} \cdot \cos(\omega t - kz) \\ E_y = E_{0y} \cdot \cos(\omega t - kz) \end{cases}$

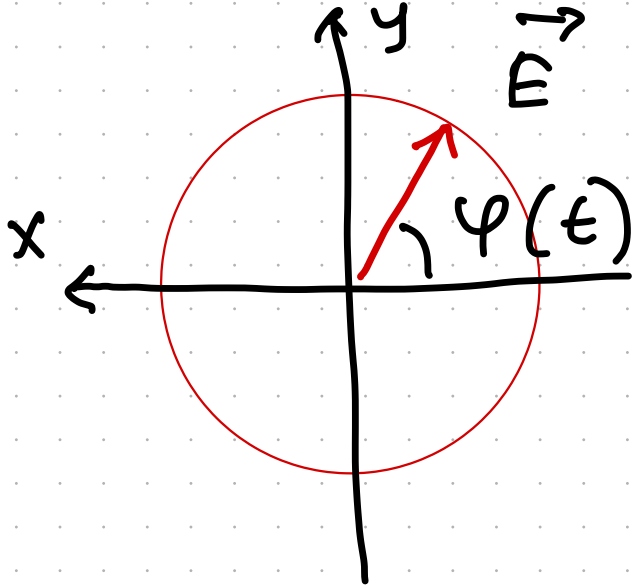
schwingen in Phase!



Zirkular polarisierte Wellen

$$E_x = E_{0x} \cos(\omega t - kz);$$

$$E_y = E_{0y} \cos(\omega t - kz - \underbrace{\frac{\pi}{2}}_{\Delta\varphi}) = E_{0y} \sin(\omega t - kz);$$



$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \frac{1}{2} E_0 \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix} e^{i(\omega t - kz)};$$

$$\varphi(t) = \omega t ;$$

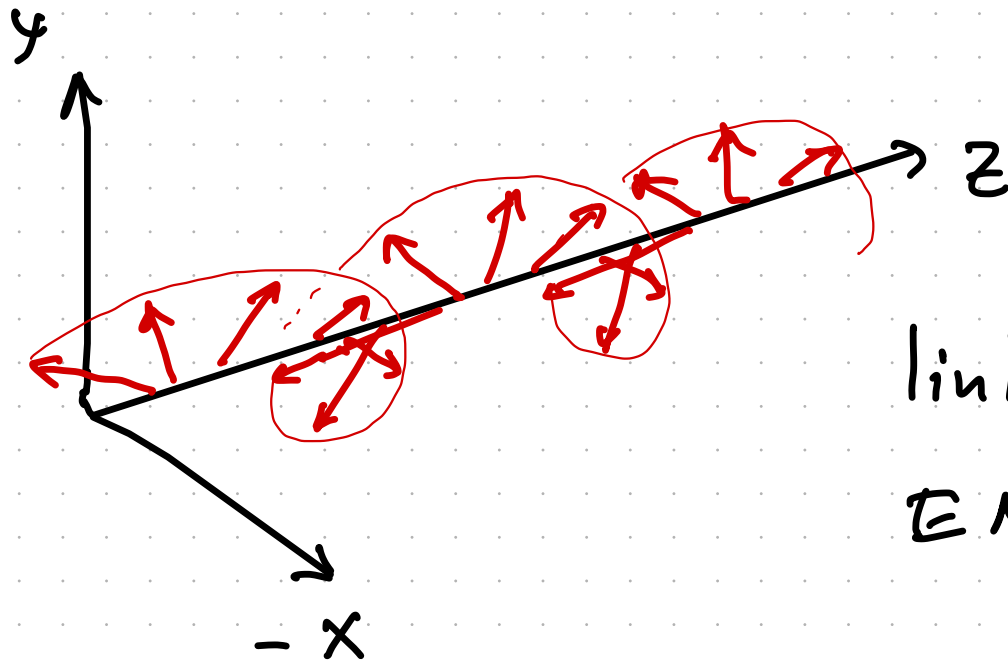
$\omega > 0 \Rightarrow$ rechts zirkular polarisiert

$\omega < 0 \Rightarrow$ links — " —

Elliptisch polarisierte Wellen:

i) $E_{0x} \neq E_{0y}$; ii) Phasenverschiebung $\Delta\varphi \neq \frac{\pi}{2}$

$\vec{E}$ beschreibt eine elliptische Spirale



linkszirkular polarisierte
EM Welle

! Unpolarisierte Wellen
im Allgemeinen

Energie transport durch Elektromagnetischen Wellen

Energiedichte : $w_{em} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \mu_0 H^2$; [SI]

$$w_{em} = \frac{1}{2} \epsilon_0 (E^2 + c^2 B^2); \text{ mit } B^2 = \frac{E^2}{c^2}$$

$$\boxed{w_{em} = \epsilon_0 E^2};$$

in der Ausbreitungsrichtung $\vec{k}$ (Wellen-
vektor)

transportiert : Intensität (Energiedichte)



$$I \hat{=} c \epsilon_0 E^2;$$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) ;$$

$$I(t) = I_0 \underbrace{\cos^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})} ; \quad I_0 = c \epsilon_0 E_0^2 ;$$

$$\frac{1}{2} (1 + \cos 2\omega t) ;$$

Mittelwert : $\langle \cos^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2} ;$

$$\langle I(t) \rangle = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 ;$$

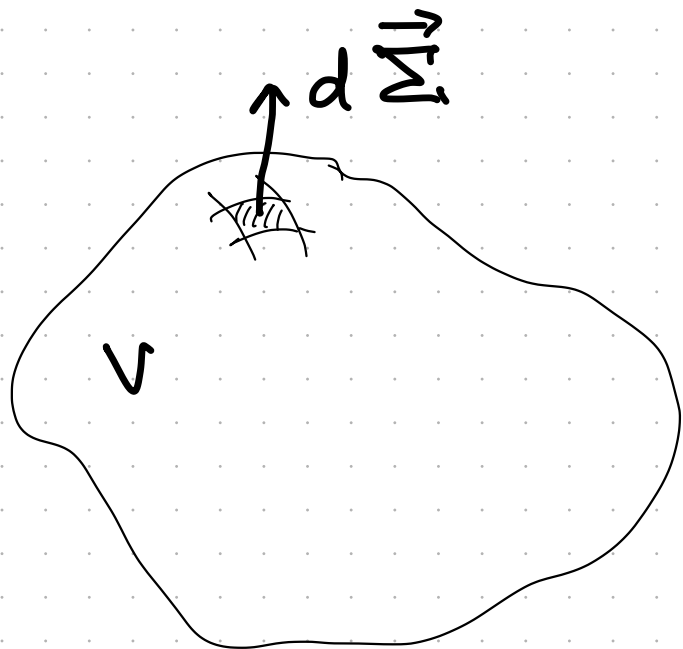
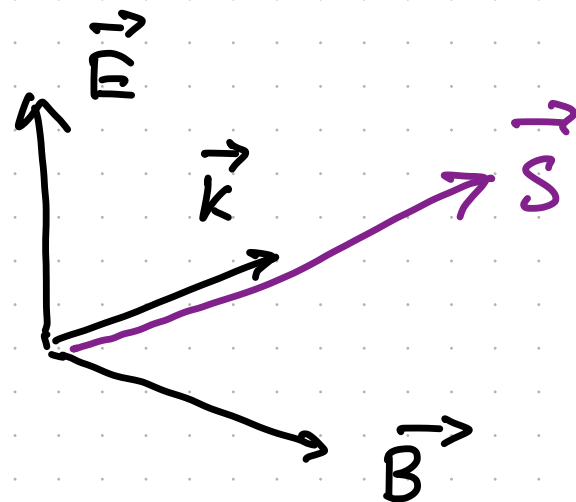
Die Richtung des Energieflusses wird durch den Poynting - Vektor :

$$\vec{S} = [\vec{E} \times \vec{H}] = \left[\vec{E} \times \frac{1}{\mu_0} \vec{B} \right] = \epsilon_0 c^2 [\vec{E} \times \vec{B}] ;$$

$$|\vec{S}| = \epsilon_0 c^2 |\vec{E}| \cdot |\vec{B}| = \epsilon_0 c E^2 = I ;$$

$$[S] = 1 \frac{W}{m^2} ; \quad \vec{E} \perp \vec{B} ; \quad \vec{E} \perp \vec{k} ; \quad \vec{B} \perp \vec{k}$$

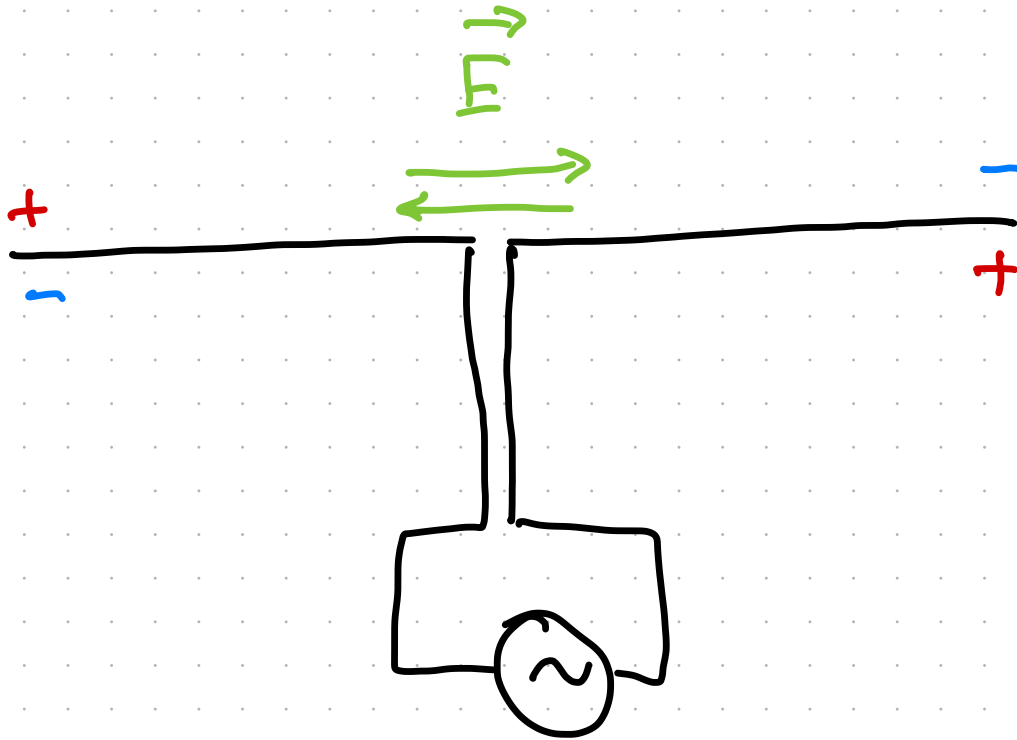
$$\Rightarrow \vec{S} \parallel \vec{k} !$$



$$W_{em} = \int \epsilon_0 E^2 dV ;$$

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int \epsilon_0 E^2 dV = \oint \vec{S} \cdot d\vec{\Sigma} = \int_V \text{div } \vec{S} \cdot dV ;$$

Energie Erhaltung : $-\frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_0 E^2) = \text{div } \vec{S}$.



Antenne

Impuls transport :

$$\vec{p}_{em} = \frac{1}{c^2} \vec{S} = \epsilon_0 [\vec{E} \times \vec{B}] ;$$

Teilchen mit Lichtgeschwindigkeit: Energi

$$E = mc^2 ; \text{ Impuls } p = m \cdot c = E/c$$

Massendichte EM Welle:

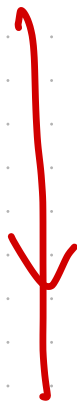
$$\rho_{EM} = \frac{w_{em}}{c^2} = \frac{\epsilon_0}{c^2} E^2 ;$$

$$|\vec{p}_{EM}| = \epsilon_0 E B = \frac{w_{em}}{c} = \frac{I}{c^2} ;$$

Lebedew (1900) $\rightarrow$ Strahlungsdruck

Impulsübertrag pro Sekunde und Flächeneinheit

$$P_{st} = c \cdot \rho_{EM} = \epsilon_0 E^2 = w_{em} ; [w_{em}] = \frac{W_s}{m^2} = \frac{N}{m^2}$$



Erde

$$|\vec{S}| \approx 1,4 \cdot 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$



$$P_{st} \approx \frac{|\vec{S}|}{c} = 4,7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} ;$$