

6.2. Elektromagnetische Wellen und Licht

$$\Delta \vec{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\Delta \vec{B} \quad \text{analog}$$

$$|\vec{E}| = c |\vec{B}|$$
$$\vec{B} \cdot \vec{E} = 0$$
$$\vec{B} = \frac{\vec{k}}{\omega} \times \vec{E}$$

Spezielle Lösung:

Ebene harmon. Welle in x-Richtung

$$\vec{E}(x,t) = \begin{pmatrix} 0 \\ E_0 \sin(kx - \omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{B}(x,t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{c} E_0 \sin(kx - \omega t) \end{pmatrix}$$

6.2.1 Energie und Intensität einer EM Welle

a) Energie

Energiedichte des \vec{E} -Feldes: $w_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$

des \vec{B} -Feldes: $w_b = \frac{1}{2\mu_0} B^2$
 $= \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$

$$= w_e$$

$$\begin{aligned}
 \sum w_i &= w_e + w_b = \epsilon_0 E^2 \\
 &= \frac{1}{\mu_0} B^2 \\
 &= \frac{|\vec{E}| \cdot |\vec{B}|}{\mu_0 c}
 \end{aligned}$$

b) Intensität

$$[I] \equiv \frac{\text{Energie}}{\text{Fläche} \cdot \text{Zeit}}$$

$$I = w \cdot c = \frac{|\vec{E}| \cdot |\vec{B}|}{\mu_0}$$

speziell: $I(t) = \frac{\epsilon_0 D_0 \sin^2(kx - \omega t)}{\mu_0}$

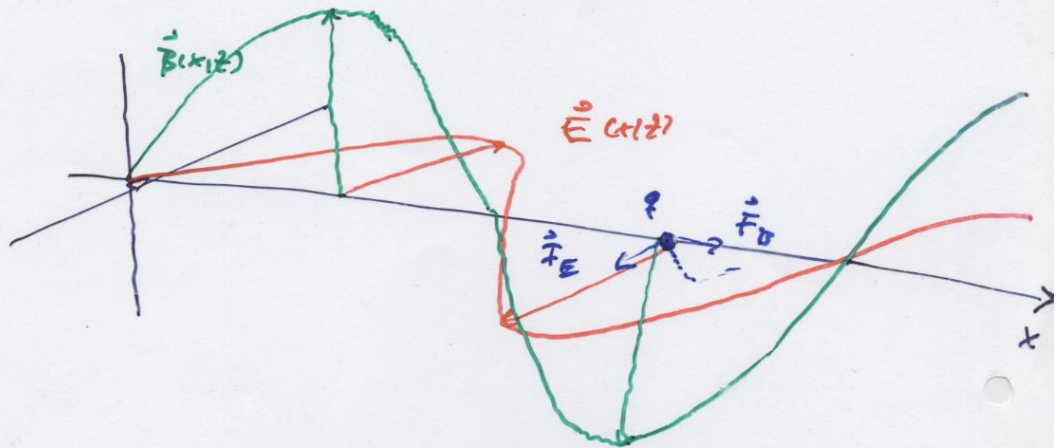
$$\langle I \rangle = \frac{\epsilon_0 D_0}{2\mu_0} = \frac{F_{\text{eff}} \cdot B_{\text{eff}}}{\mu_0}$$

c) Energiefluss

Ausbreitung der EM Welle in Richtung $\vec{k} \propto \vec{E} \times \vec{B}$

$$\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0} \quad \text{Poynting-Vektor}$$

6.2.2. Impuls einer EM Welle



Kraft auf q, m

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$$

$$\vec{F}_B = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

} Teilchen bekommt
Impuls $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$

$$\vec{p} = \frac{1}{c^2} \cdot \vec{S} = \epsilon_0 (\vec{E} \times \vec{B})$$

$$|\vec{p}| = \frac{W}{c}$$

$$= \frac{I}{c^2}$$

Abgeleitet: Strahlungsdruck

$$\begin{aligned} \text{Aus Intensität} &= \frac{\text{Energie}}{\text{Zeit} \cdot \text{Fläche}} \\ &= \frac{\text{Impuls} \cdot c}{\text{Zeit} \cdot \text{Fläche}} \\ &= \frac{\text{Kraft} \cdot c}{\text{Fläche}} \rightarrow \end{aligned}$$

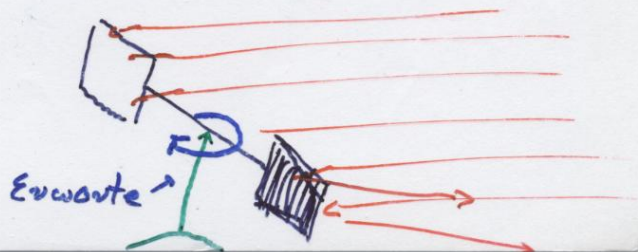
$$\begin{aligned} P_g &= \frac{I}{c} \\ &= \frac{E_0 \cdot H_0}{2 \mu_0 c} \end{aligned}$$

- Absorption: Übertragung von den Impulsen $p = \frac{W}{c}$
 $\rightarrow P_g = \frac{I}{c}$
- Reflexion
 $P = 2 \cdot \frac{W}{c}$
 $\rightarrow P_g = 2 \frac{I}{c}$

Demonstration:

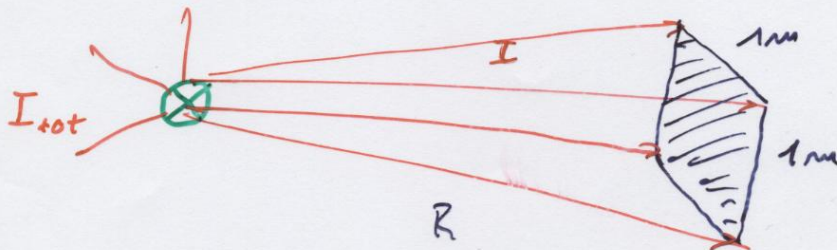
Lichtmühle

Geht nur im
perfekten Vakuum



Zahlenbeispiele

a) Glühlampe



- $P = 150 \text{ W}$ Leistung
- 50 W strahlungsleistung

$$\bullet \quad I = \frac{I_{\text{tot}}}{2\pi R^2} = \frac{50 \text{ W}}{4\pi \cdot (3\text{m})^2} = 0,44 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\bullet \quad P_s = \frac{I}{c} = \frac{0,44 \text{ kgm}^2/\text{s}^3 \text{ m}^2}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

(vgl. $P_{\text{atmosph.}} = 10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$)

- Magnetfeldstärke

$$B_0 = \sqrt{2\mu_0 P_s} = 6 \cdot 10^{-8} \text{ T}$$

- Elektr. Feldstärke

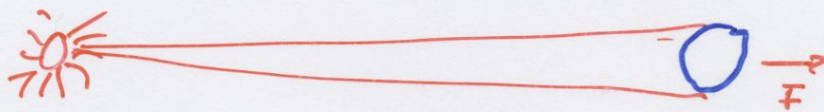
$$E_0 = c \cdot B_0 = 18,2 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

b) Lichtdruck der Sonne auf die Erde

Solarkonstante $\cdot 1,4 \cdot 10^3 \frac{W}{m^2}$

$$\text{Kraft} = F = \frac{1,4 \cdot 10^3 \frac{W}{m^2} \cdot \pi \cdot (6,4 \cdot 10^6 m)^2}{3 \cdot 10^8 m/s}$$

$\approx 6 \cdot 10^8 N$



„Anwendung“

