

Wiederholung vom 20.06.2019

elektromagnetische Schwingkreise – erzwungene Schwingung

Erzeugung elektromagnetischer Wellen:

Hertzscher Dipol als Emitter e.-m. Wellen: $\vec{p}(t) = \vec{p}_0 e^{i\omega t}$

Wellengleichungen

$$\Delta \vec{E} = \frac{1}{c^2} \cdot \ddot{\vec{E}}$$

$$\Delta \vec{B} = \frac{1}{c^2} \cdot \ddot{\vec{B}}$$

Themen heute

ebene elektromagnetische Wellen

Polarisation e.-m. Wellen

Energiedichte und Impuls e.-m. Wellen: **Poynting-Vektor**

Frequenzbereiche e.-m. Welle

Wellengleichung im Vakuum

Maxwellgleichungen im ladungs- und stromfreien Raum: $\rho = 0, \vec{j} = 0$

$$1) \operatorname{div} \vec{E} = 0$$

$$2) \operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$3) \operatorname{rot} \vec{E} = -\dot{\vec{B}}$$

$$4) \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \dot{\vec{E}}$$



Wellengleichungen

$$\Delta \vec{E} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \vec{E}$$

$$\Delta \vec{B} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \vec{B}$$

$$\text{mit } \frac{1}{c^2} = \varepsilon_0 \mu_0$$

Lösungen: propagierende Wellen mit Phasengeschwindigkeit c

6. Elektromagnetische Wellen

Ebene Wellen

ebene periodische Wellen als mögliche Lösungen der Wellengleichung

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cdot \exp\{i(\omega t - k_z z)\}$$

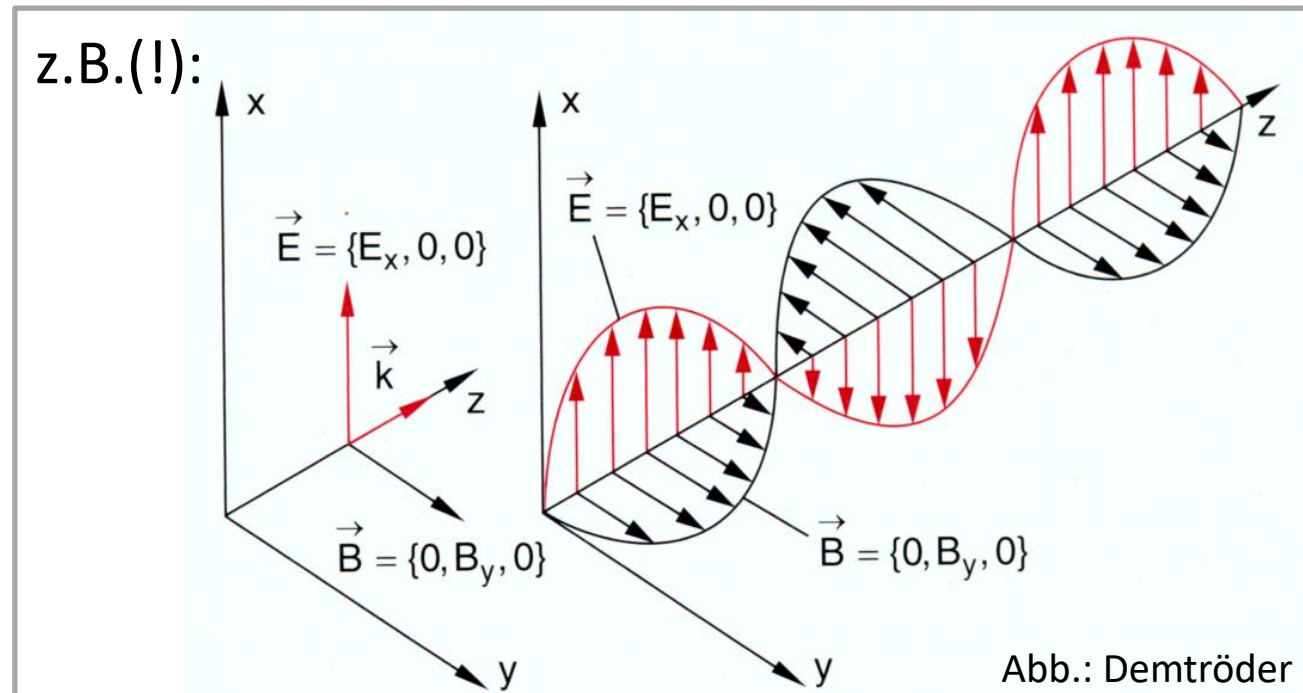
$$\vec{B} = \vec{B}_0 \cdot \exp\{i(\omega t - k_z z)\}$$

i) Lösungen sind Transversalwellen: $\vec{E} \perp \vec{k}, \vec{B} \perp \vec{k}$

ii) $\vec{E} \perp \vec{B}$

iii) $v_{Phase} = \frac{\omega}{k} = c$

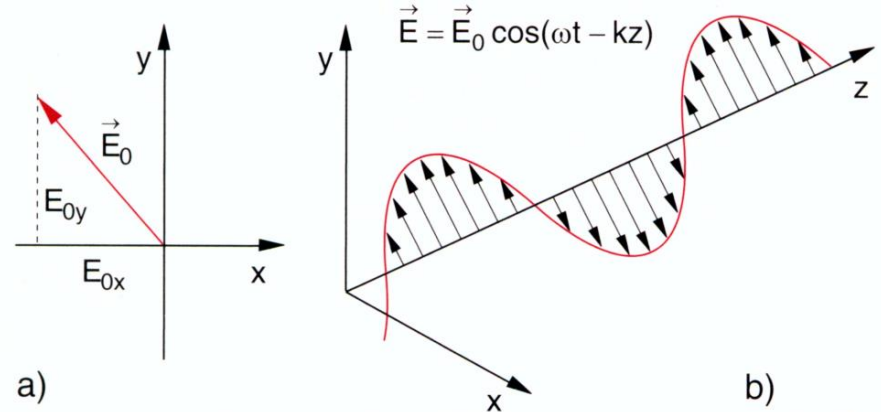
iv) $|\vec{B}| = \frac{1}{c} |\vec{E}|$



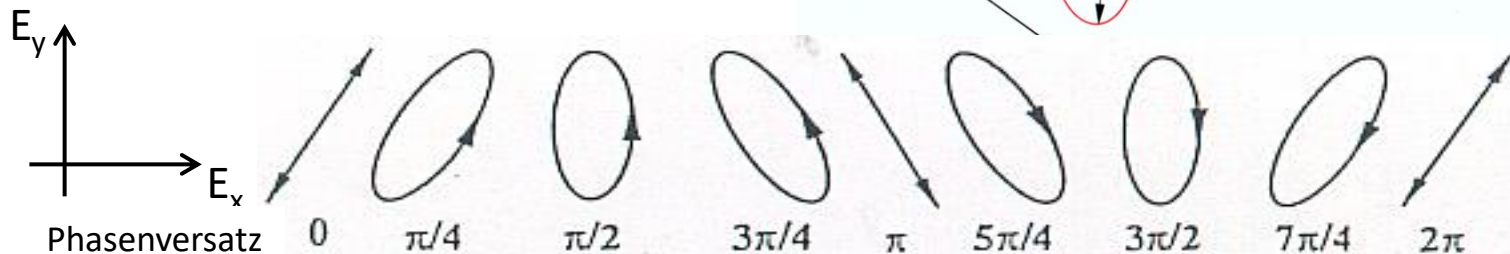
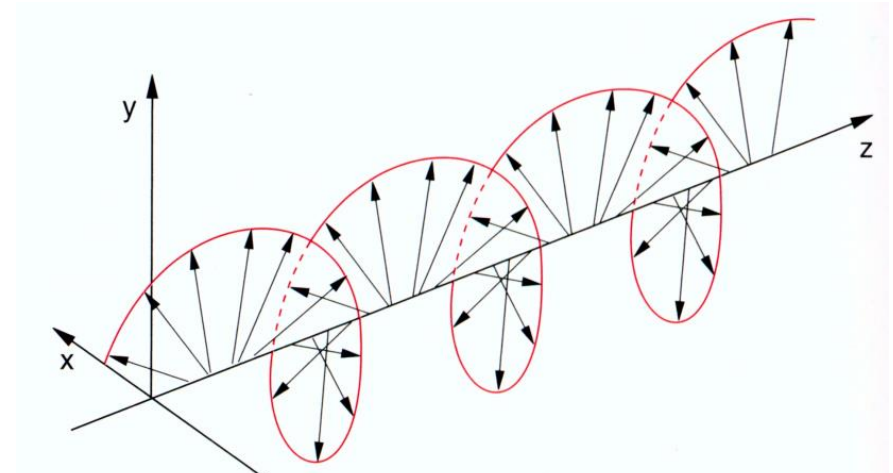
6. Elektromagnetische Wellen

Polarisation elektromagnetischer ebener Wellen

⇒ linear polarisiert:
 E_{0x}, E_{0y} in Phase



⇒ elliptisch polarisiert:
 E_{0x}, E_{0y} phasenversetzt

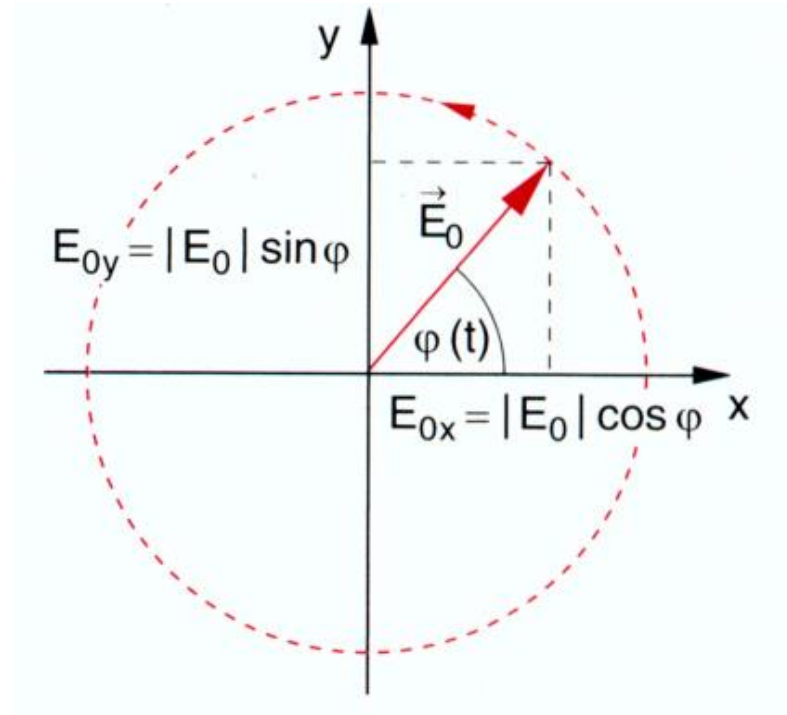


Polarisation elektromagnetischer ebener Wellen

⇒ elliptisch polarisiert – Spezialfall: zirkulare Polarisation

$$|E_{0x}| = |E_{0y}|$$

$$\Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$$



6. Elektromagnetische Wellen

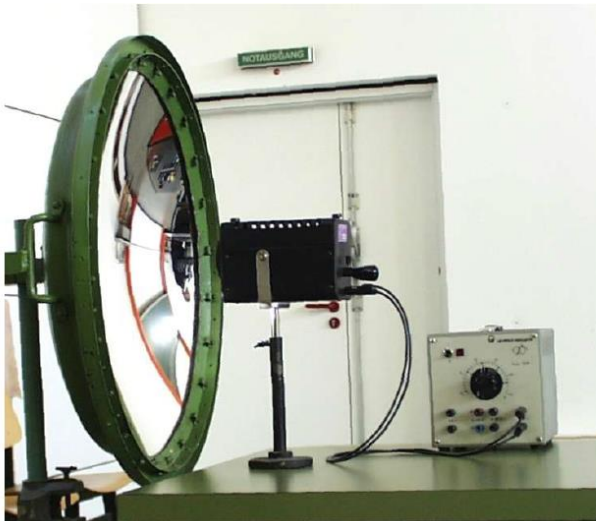
Energiedichte und Impuls elektromagnetischer Wellen

Energiedichte: $w_{em} = \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 \vec{E}^2 + \frac{1}{\mu_0} \vec{B}^2 \right) = \epsilon_0 \vec{E}^2$

Intensität, Energiestromdichte: $I = c \cdot w_{em} = c \epsilon_0 \vec{E}^2$

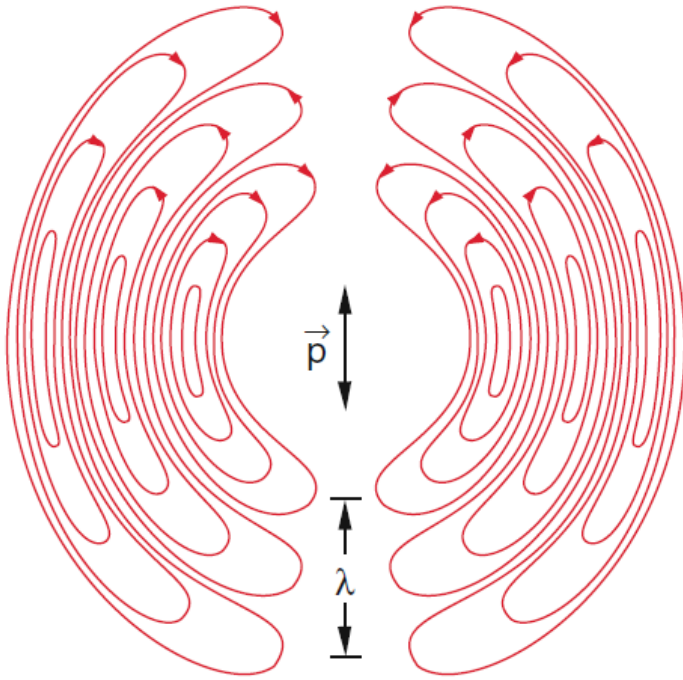
Poyntingvektor: $\vec{S} = \epsilon_0 c^2 (\vec{E} \times \vec{B})$

Impulsdichte: $\vec{\pi} = \frac{1}{c^2} \vec{S}$

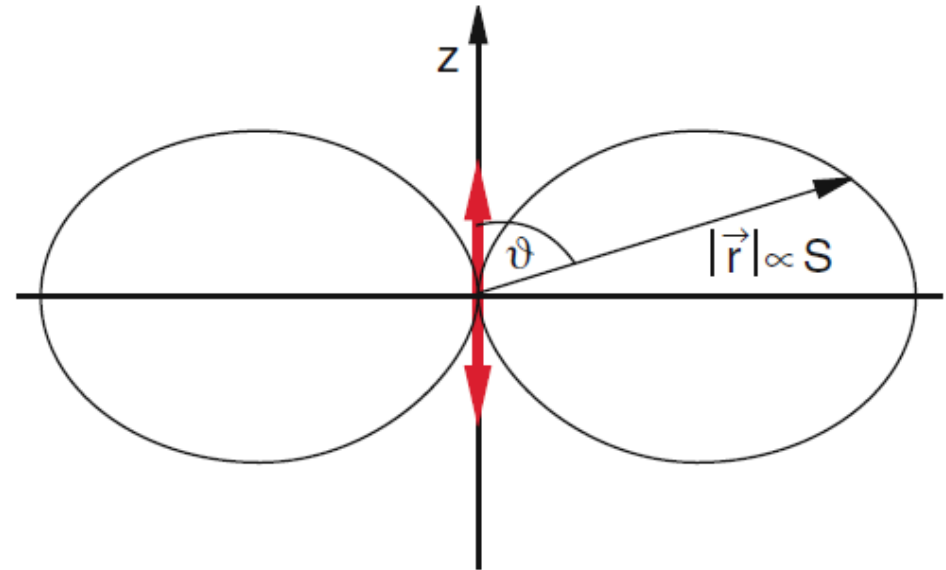


Demonstration: Energietransport durch elektromagnetische Wellen

6. Elektromagnetische Wellen



Elektrische Feldlinien des Hertzschen Dipols

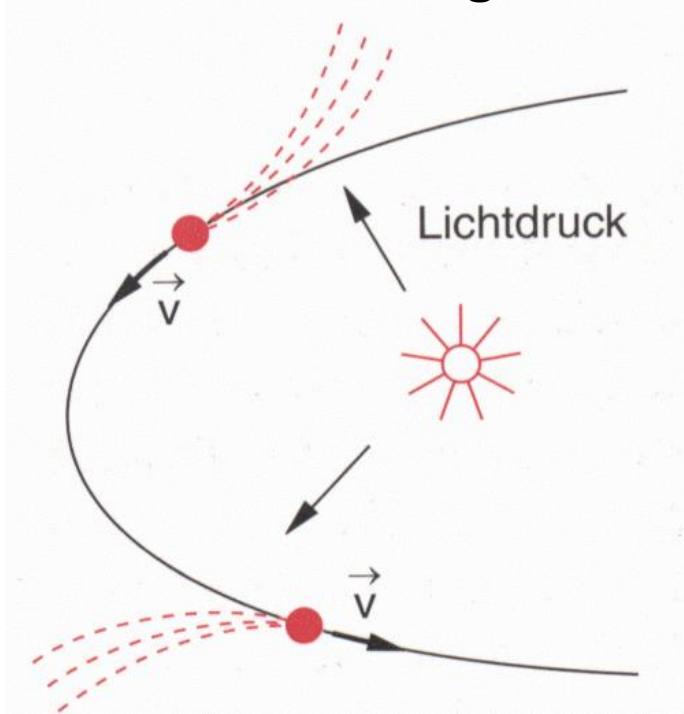


Räumliche Verteilung der abgestrahlten Energiestromdichte S eines schwingenden Dipols

Energiedichte und Impuls elektromagnetischer Wellen

Impulsdichte: $\vec{\pi} = \frac{1}{c^2} \vec{S} = \varepsilon_0 (\vec{E} \times \vec{B})$

⇒ Effekt des Strahlungsdruckes, z.B.:

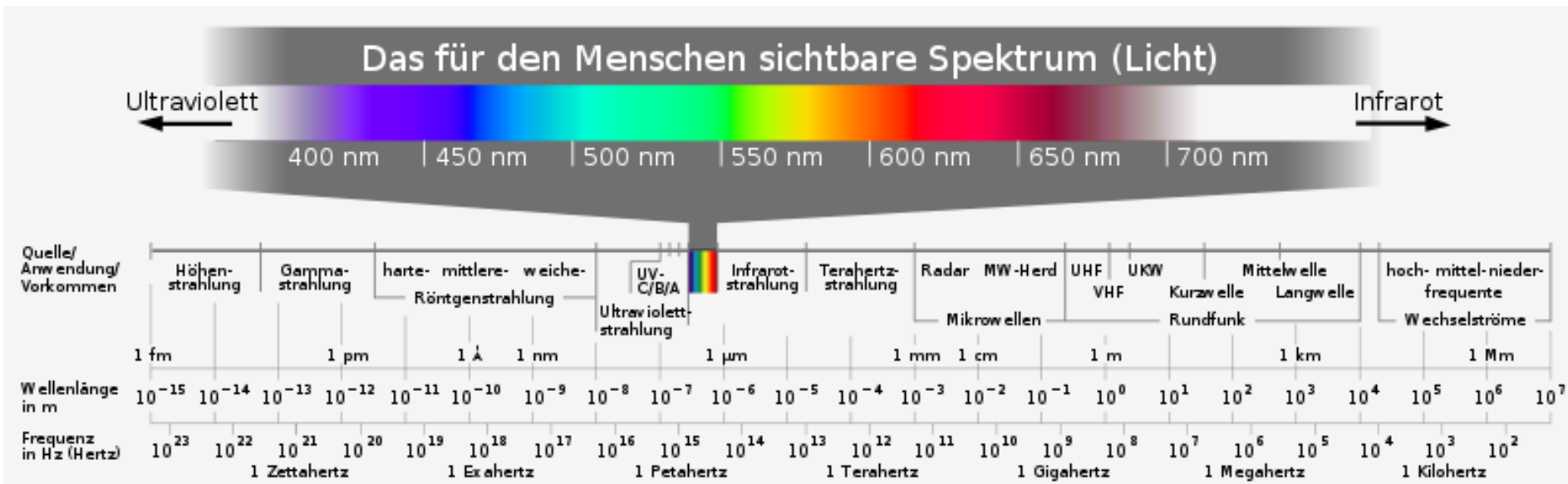


Kometenschweif

6. Elektromagnetische Wellen

Licht als elektromagnetische Welle

Elektromagnetisches Frequenzspektrum



Spektrum elektromagnetischer Wellen; vergrößert dargestellt ist der Bereich des sichtbaren Spektrums;