

- Kontakt: m.beyer@uni-jma.de
- Inhalte:
- Vorlesungsstoff wiederholen
 - Fragen beantworten
 - Weitere, spannende Themen beleuchten

1 Die Wellengleichung

Herleitung mithilfe des Faraday'schen Induktionsgesetzes $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad | \quad \vec{\nabla} \times (\dots)$

allgemeine Wellengleichung:
$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{\nabla} \frac{\rho}{\epsilon_0} + \mu_0 \frac{\partial \vec{j}}{\partial t}$$

- $\mu_0 \frac{\partial \vec{j}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{r}) \approx \rho \vec{r}$ beschleunigte Ladungsträger strahlen EM Wellen ab!
- abgestrahlte Leistung $P = \frac{e^2}{6\pi\epsilon_0 m^2 c^3} \left(\frac{d\vec{p}}{dt} \right)^2$ Larmor-Formel
- Lösungen der Wellengleichung:

a.) Ebene Wellen $\vec{E}(\vec{r}_1, t) = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)} + c.c.$

für Vakuum ergibt sich die Dispersionsrelation $|\vec{k}| = \frac{\omega}{c}$

weiterhin gilt $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$ woraus $\vec{k} \cdot \vec{E} = 0$.

Das E-Feld steht senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

↳ Dies ist in anisotropen Medien nicht mehr der Fall, da hier die Maxwell Gleichungen $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 0$ lauten und l.A. $\vec{D} \nparallel \vec{E}$

↳ Die Konsequenzen dessen sehen wir später (spatial walk off)

b.) Kugelwellen $\vec{E}(\vec{r}_1, t) = \vec{E}_0 \frac{\exp(i\vec{k} \cdot \vec{r})}{r} e^{-i\omega t}$

- Helmholtz-Gleichung: Spezialfall für monochromatische Wellen im Vakuum

$$\left(\Delta + \frac{\omega^2}{c^2} \right) \vec{E}(\vec{r}_1, t) = 0$$

2. Der Poynting-Vektor

- Vektorielle Größe zur Beschreibung des Energieflusses

$$\boxed{\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}}$$

Für die Optik interessieren uns nur nicht-magnetische Materialien: $\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B}$

- Für explizite Rechnungen werden \vec{E} - und \vec{B} -Feld noch miteinander in Beziehung gesetzt
↳ Das geht mithilfe des Vektorpotentials \vec{A}

$$\vec{A}(\vec{r}, t) = \text{Re } \vec{A}_0 e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$$

Eichfreiheit:

$$\begin{aligned} \vec{A} &\rightarrow \vec{A} + \vec{\nabla} \Lambda \\ \Phi &\rightarrow \Phi - \frac{\partial}{\partial t} \Lambda \end{aligned}$$

- zudem gilt $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ und $\vec{E} = -\underbrace{\vec{\nabla} \Phi}_{=0 \text{ nach Coulomb-Eichung}} - \frac{\partial}{\partial t} \vec{A}$
 $\Rightarrow \left. \begin{aligned} \vec{B}_0 &= i \vec{k} \times \vec{A}_0 \\ \vec{E} &= i \omega \vec{A}_0 = i k \vec{A}_0 c \end{aligned} \right\} \boxed{|\vec{E}| = |\vec{B}| c} \text{ da } \vec{k} \perp \vec{A}_0$

- Wir sehen, dass das B-Feld für die Optik uninteressant ist, da die magnetische Feldamplitude viel kleiner ist

Beispiel: Lorentzkraft: $\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = q E \left(\vec{e}_E + \underbrace{\frac{\vec{v}}{c} \times \vec{e}_B}_{\ll 1 \text{ für nicht-relativistische Geschwindigkeiten}} \right)$

- Physikalisch interessant ist für uns jedoch die **Intensität**

$$\begin{aligned} I &:= \langle |\vec{S}| \rangle_T = \frac{1}{\mu_0} \langle |\vec{E} \times \vec{B}| \rangle_T = \frac{1}{\mu_0} \langle |\vec{E}_0| \cdot |\vec{B}_0| \cos^2(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t) \rangle \\ &= \frac{|\vec{E}_0|^2}{\mu_0 c} \underbrace{\frac{1}{T} \int_0^T \cos^2(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t) dt}_{= \frac{1}{2}} \end{aligned} \quad \epsilon_0 = \frac{1}{c^2 \mu_0}$$

$$\Rightarrow \boxed{I = \frac{\epsilon_0 c}{2} |\vec{E}_0|^2}$$

3. Laser-Grundlagen

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Ziel eines Lasers:

Erzeugung von Licht mittels stimulierter Emission

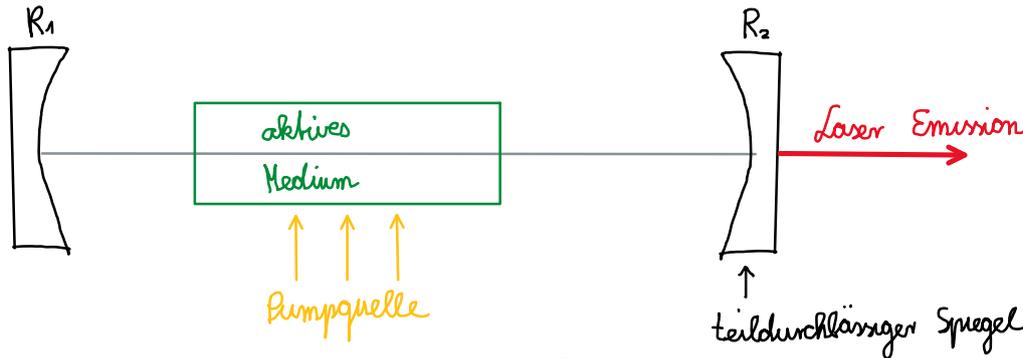
↳ dient zum Erreichen spezieller Eigenschaften von Laserstrahlung:

Charakterisierung von Laserstrahlung:

- hohe Kohärenz (feste Phasenbeziehungen zwischen verschiedenen Orten des Wellenfeldes)
 - ↳ Voraussetzung für Interferenz
- monochromatisch (geringe Linienbreite)
- hohe Spitzenintensitäten
- geringe Divergenz
- (ultrakurze Pulse $\sim f_0$ Länge)



Schematischer Aufbau eines Lasers:



- 1.) **aktives Medium**: Ort der Lichtverstärkung
 - ↳ Abbau einer von der Pumpquelle induzierten Besetzungsinversion
 - Bsp.: He-Ne Gasgemisch, Titan-Saphir $Ti:Sa$, CO_2 , Yb:YAG, Nd:YAG, Farbstoffe
- 2.) **Pumpquelle**: Bereitstellung der Energie
 - Blitzlampe
 - Laserdiode (ähnlich einer LED)
 - Gasentladung durch Anlegen einer Spannung
 - anderer Laser
- 3.) **Resonator**: Rückkopplung der Strahlung
 - ↳ Essenziell zur Beobachtung der typischen Lasereigenschaften
 - ↳ siehe Kapitel 34

Emission und Absorption von Strahlung:

