1.4 Ebene elektromagnetische Welle

Hier: eben und monochromatisch

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

ω: Kreisfrequenz

$\vec{k}$: Wellenvektor $\qquad |\vec{k}| = k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Wellenzahl

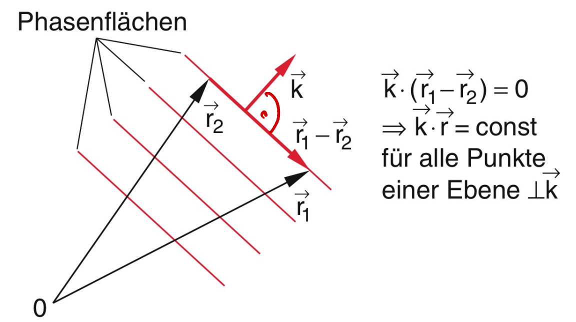

Abbildung 7.3 Ebene Welle in Ausbreitungsrichtung $\boldsymbol{k}$. Die Phasenflächen sind die Ebenen $\boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{r} = \text{const}$, senkrecht zu $\boldsymbol{k}$

$\vec{k}$ zeigt in die Richtung, in das sich die Phasenflächen zeitlich bewegen.

Deutlich

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cdot e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$$

hier spielt nur der Realteil eine Rolle

Transversalität der elektromagnetischen Wellen

$\vec{\nabla}\vec{E} = 0$ im Vakuum

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \vec{\nabla}\cdot\left(\vec{E}_0 e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}\right) = i\vec{k}\vec{E}_0 e^{i(kr - \omega t)} \equiv 0$$

$$\vec{k}\cdot\vec{E}_0 = 0 \qquad \vec{k} \perp \vec{E}_0$$

E ist transversal

$\vec{B} = \vec{B}_0 \, e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$ $\qquad$ $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

$$i \, \vec{k} \times \vec{E}_0 = i \omega \vec{B}_0$$

$$\Rightarrow \quad \vec{B} = \frac{1}{\omega} (\vec{k} \times \vec{E})$$

$$\frac{|\vec{E}_0|}{|\vec{B}_0|} = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}|} = \frac{\omega}{|\vec{k}|} = c$$ Phasengeschwindigkeit

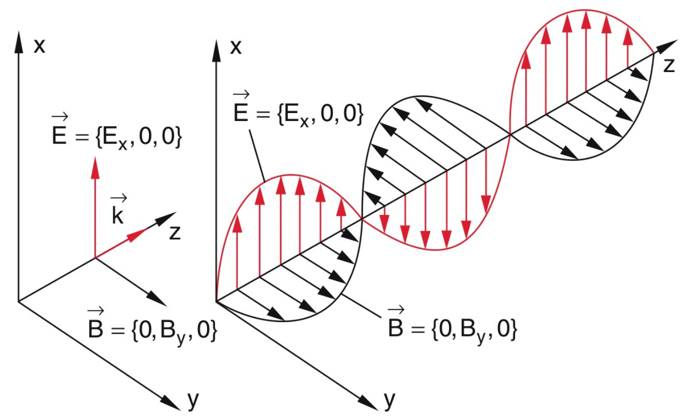

Abbildung 7.6 Elektrischer und magnetischer Feldvektor einer linear polarisierten ebenen elektromagnetischen Welle

Dauerwelle

$\vec{k} \perp \vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{k}$

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e^{i(k_z \cdot z - \omega t)}$$

Sonnenlicht auf der Erde $\qquad \lambda = 500\,\text{nm} \qquad \Delta\lambda = 1\,\text{nm}$

4 W/m² an der Erdoberfläche

$= c \, \varepsilon_0 E^2$

$|\vec{E}| \approx 40\,\text{V/m}$

$|\vec{B}| \approx 1.3 \times 10^{-7}\,\text{T}$

$\ll$ Erdfeld $\approx 10^{-5}\,\text{T}$

→ B-Feld spielt in der Optik kaum eine Rolle.

Ohne Einschränkung der Allgemeinheit wählen wir unsere z-Achse parallel zu $\vec{k}$.

$$\vec{E} = \underbrace{\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ 0 \end{pmatrix}}_{\vec{E}_0} e^{i(k_z z - \omega t)}$$

E_x und E_y komplex

$$\vec{E}_0 = A e^{i\delta_A} \hat{e}_x + B e^{i\delta_B} \hat{e}_y$$

$$\frac{e^{i\delta_A}}{e^{i\delta_B}} \quad \text{reel}$$

$\Rightarrow$ keine Phasenverschiebung zwischen der x und y Komponenten von $\vec{E}$.

Dies ist linear polarisiertes Licht.

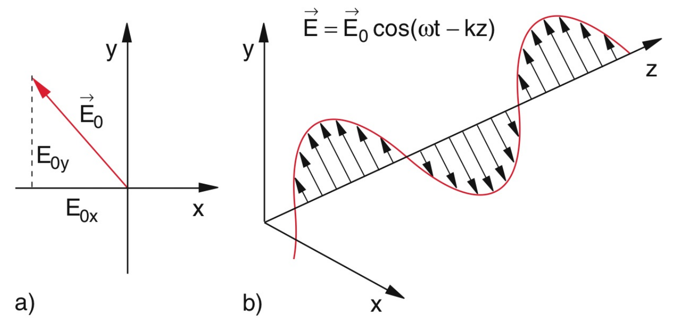

Abbildung 7.4 Momentaufnahme einer linear polarisierten Welle $\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_0 \cdot \cos(\omega t - kz)$. **a** Richtung des Vektors $\boldsymbol{E}$ in der x-y-Ebene. **b** Räumliche Darstellung des elektrischen Vektors $\boldsymbol{E}(z, t = t_1)$

Demtröder

„Normalweise ist Licht unpolarisiert"

d.h. Polarisation variiert schnell.

$$\frac{e^{i\delta_A}}{e^{i\delta_B}} = \pm i$$

d.h. die beiden Komponenten des E-Felds sind in der ebenen Welle um 90° verschoben.

Zusätzlich sei $A = B$.

$\Rightarrow$ zirkular polarisiertes Licht

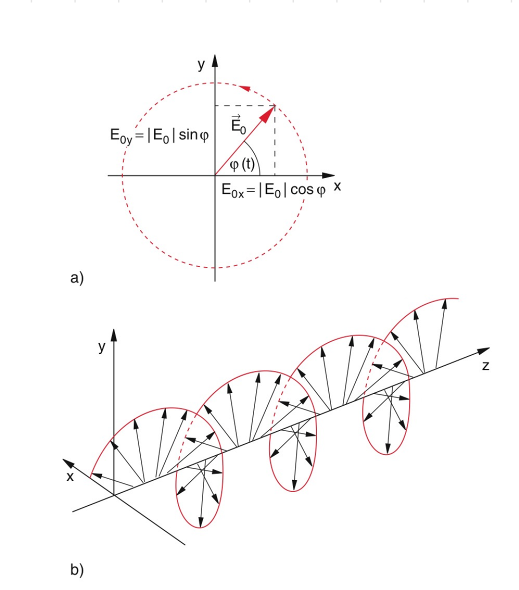

Abbildung 7.5 Linkszirkular polarisierte elektromagnetische Welle. **a** $E_0(x, y)$ mit Blick in $-z$-Richtung; **b** räumliche Darstellung

Rechtsschraube , linkes zirkular σ^+

Linksschraube , rechts zirkular σ^-

Helizität des Photons

Spin des Photons

Demnach

Für alle anderen Fälle ist das Licht elliptisch polarisiert.