

13 Interferenz

13.1 Grundlagen zur Interferenz von Lichtwellen

Erscheinungen, die auf der Wellennatur von Licht beruhen:

- Interferenz
- Beugung

Interferenz:

- Überlagerung von 2 oder mehreren Wellensystemen
- die durch Überlagerung zweier Lichtstrahlen resultierende Wellenfkt. wird an jeder Stelle dadurch erhalten, dass man die primären Felder vektoruell addiert
- jede Abweichung von der Additivität der Intensität bei der Überlagerung wird als Interferenz bezeichnet

Zweistrahlintereferenz

2 Wellen von punktförmigen Quellen L_1 und L_2 , gleiches λ und ν , gleiche Polarisation

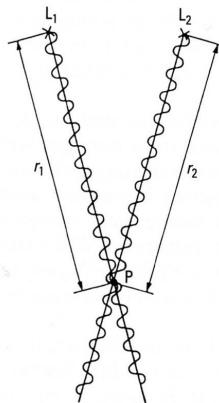


Abbildung 1: Interferenz zweier Wellenzüge.

$$E_1 = A_1 \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1 \right)$$

$$E_2 = A_2 \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2 \right)$$

$$E = E_1 + E_2$$

Man kann nur Intensitäten messen, d. h. die Zeitmittelwerte der auf eine Flächeneinheit treffenden Lichtleistungen

$$\tilde{I} = \frac{1}{Z} (E_1 + E_2)^2$$

$$\begin{array}{ll} Z & \dots \text{ Wellenwiderstand} \\ I \propto E^2 & \dots \text{ Poynting Vektor} \end{array}$$

$$I = \langle \tilde{I} \rangle_t$$

$$\begin{aligned} \tilde{I} = & \frac{1}{2Z} \left[A_1^2 + A_1^2 \cos 4\pi \left(\frac{1}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \delta_1 \right) \right. \\ & + A_2^2 + A_2^2 \cos 4\pi \left(\frac{1}{T} - \frac{r_2}{\lambda} - \delta_2 \right) \\ & + 2A_1 A_2 \cos 2\pi \left(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1 \right) \\ & \left. + 2A_1 A_2 \cos 2\pi \left(\frac{2t}{T} - \frac{r_2 + r_1}{\lambda} - \delta_2 - \delta_1 \right) \right] \end{aligned}$$

zeitliche Mittelung:

$$I = \frac{1}{2Z} \left[A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos 2\pi \left(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1 \right) \right]$$

$$I = I_1 + I_2 + \underbrace{2\sqrt{I_1 I_2} \cos 2\pi \left(\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1 \right)}_{\text{Interferenz}}$$

Maxima:

$$\frac{r_2 - r_1}{\lambda} + \delta_2 - \delta_1 = N2\pi$$

$$\text{für } \delta_1 = \delta_2 \quad \implies \quad r_1 - r_2 = N\lambda$$

13.2 Kohärenz

- kohärent: $\delta_2 - \delta_1 = \text{const}$, feste Phasendifferenz
- inkohärent: Phasendifferenz ändert sich zufällig
- partielle Kohärenz: örtlich und zeitlich beschränkt \implies Kohärenzzeit, Kohärenzlänge
- **örtlich kohärent**: am beliebigen Punkt eine feste Phasenbeziehung
- **zeitlich kohärent**: an einem Punkt zu beliebiger Zeit feste Phasenbeziehung

Konventionelle Lichtquellen (z. B. Sonne, Glüh- und Gaslampen) besitzen geringe Kohärenz. Laser sind sehr kohärente Lichtquellen.

Ohne Kohärenz kann keine Interferenz stattfinden!

Kohärenzzeit τ und Kohärenzlänge l :

Inkohärenz \implies von einem Emissionszentrum ausgestrahlte Wellenzüge haben eine statistische Phasenlänge \implies kohärent sind also nur Teilwellenzüge, die von einem Emissionsakt stammen

Die Kohärenzlänge hat üblicherweise die Länge eines Wellenzuges. Ist die Kohärenzlänge größer als die Wegdifferenz kann es zu Interferenz kommen.

$$\text{Kohärenzzeit: } \tau = \frac{l}{c}$$

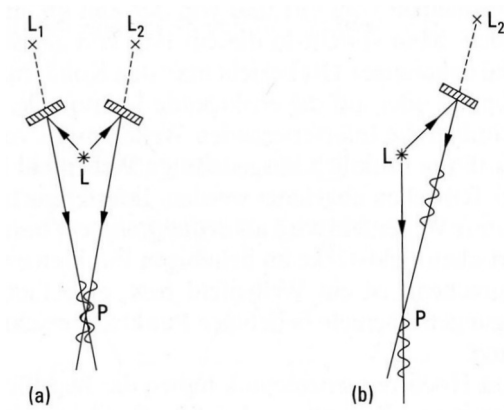


Abbildung 2: Erzeugung zweier interferenzfähiger Lichtwellen aus einer punktförmigen Lichtquelle. Die interferierenden Lichtwellen können als von den virtuellen Spiegelbildern L_1 , L_2 der Lichtquelle L ausgehend aufgefasst werden: (a) Die Wegdifferenz ist null, es tritt Interferenz auf; (b) Die Wegdifferenz ist größer als die Kohärenzlänge (Länge des Wellenzuges), es tritt keine Interferenz auf.

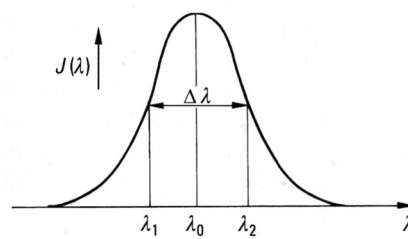


Abbildung 3: Intensitätsverteilung $J(\lambda)$ einer Spektrallinie.

Einfluss der spektralen Breite:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \quad \Delta\nu = \nu_0 \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2}$$

Maximum für λ_0 : $\frac{r_2 - r_1}{\lambda_0} = n$

Minimum für λ_1 : $\frac{r_2 - r_1}{\lambda_1} = \frac{2n+1}{2}$

\implies Interferenz ausgeglichen

Wegunterschied, bei dem dies erstmals für λ_0 und λ_1 stattfindet:

$$l = r_2 - r_1 = \frac{1}{2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_0} \right)} = \frac{\lambda_1 \lambda_0}{2(\lambda_0 - \lambda_1)} \approx \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$$

$$\tau = \frac{1}{\Delta\nu}$$

Einfluss von ausgedehnten Lichtquellen:

Für $l \gg x_1, x_2$:

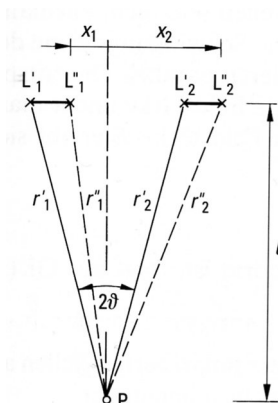


Abbildung 4: Zur Interferenz bei ausgedehnter Lichtquelle.

$$r_2'' - r_1'' \approx 4a \sin \theta \ll \lambda \quad \text{mit} \quad a = \frac{x_2 - x_1}{2}$$

$$\implies a \ll \frac{\lambda}{4 \sin \theta}$$

Interferenz verschieden polarisierter Wellen ist nicht möglich.

13.3 Fresnelscher Spiegerversuch und Variationen

Siehe Abbildung 5.

13.4 Interferenzerscheinungen an dünnen Schichten

Seifenblasen, dünne Ölschichten, dünne Glaslamellen

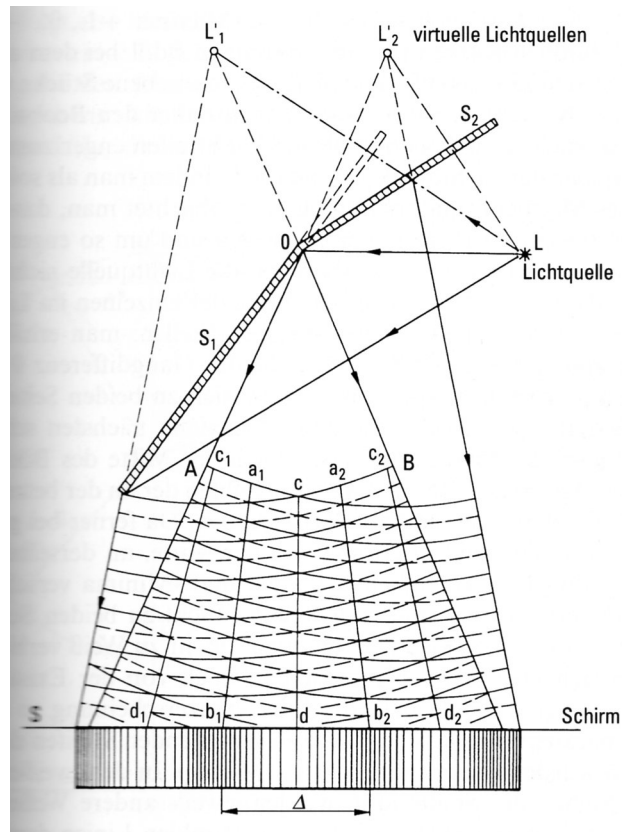


Abbildung 5: Fresnel'scher Spiegelversuch.