

Wellenoptik

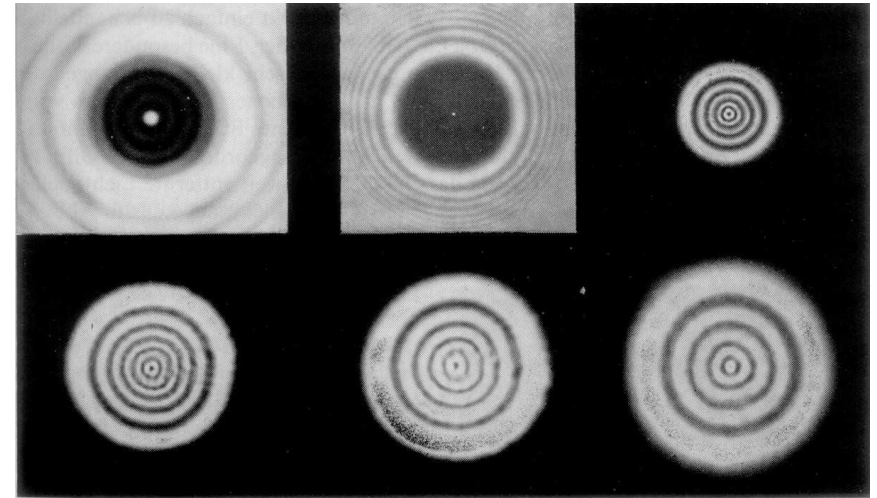
■ „Wellenoptik“

- Typische Abmessungen D der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind klein gegen die Wellenlänge λ des Lichts
- Wellencharakter des Lichts führt zu Erscheinungen wie Beugung und Interferenz



1

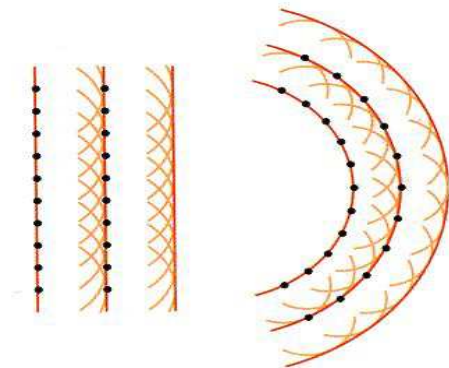
Beugung an Linsenöffnungen



2

Das Huygensche Prinzip

Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt von Elementarwellen angesehen werden, die sich mit gleicher Geschwindigkeit und Wellenlänge wie die ursprüngliche Welle ausbreiten.



3

Kohärenz

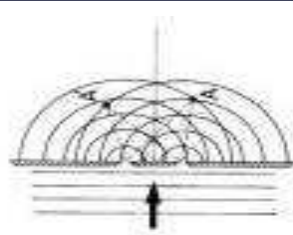
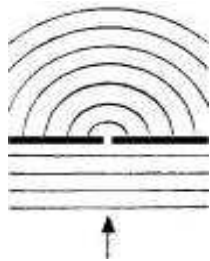
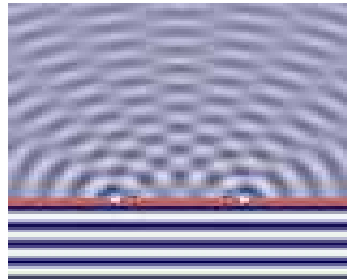
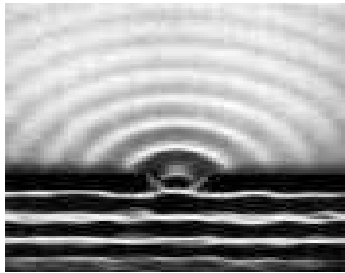
Lichtwellen, die die folgende Kriterien erfüllen, werden als **kohärent** bezeichnet:

- gleiche Wellenlänge
- Wellen schwingen in der gleichen Ebene
- Wellen wirken zum gleichen Zeitpunkt am gleichen räumlichen Ort

Nur Lichtwellen, die das Kriterium der Kohärenz erfüllen, sind in der Lage zu interferieren

4

Beugung am Spalt



5

Interferenz

Def.: Die ungestörte Überlagerung mehrerer gleichfrequenter Wellen am selben Ort mit fester Phasenbeziehung

Bei Interferenz zweier Wellen erhält man:

1. maximale Verstärkung

bei einem Gangunterschied $\Delta s = k\lambda$

und bei einer Phasendifferenz $\Delta\varphi = 2k\pi$

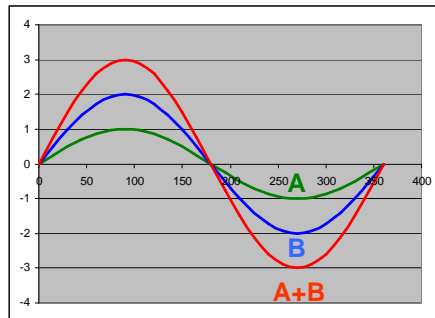
2. maximale Abschwächung

bei einem Gangunterschied $\Delta s = (2k+1)\lambda/2$

und bei einer Phasendifferenz $\Delta\varphi = (2k+1)\pi$

$k=0, 1, 2, \dots$ 6

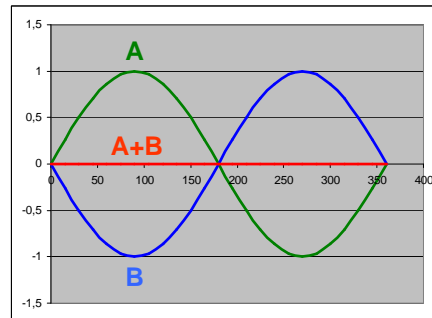
Interferenz



Verstärkung

$$\Delta\varphi = 0$$

$$\Delta s = 0$$



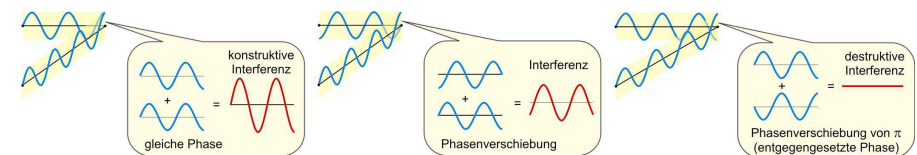
Auslöschung

$$\Delta\varphi = \pi$$

$$\Delta s = 1/2 \lambda$$

7

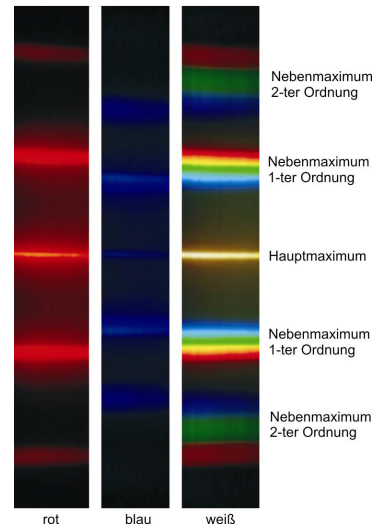
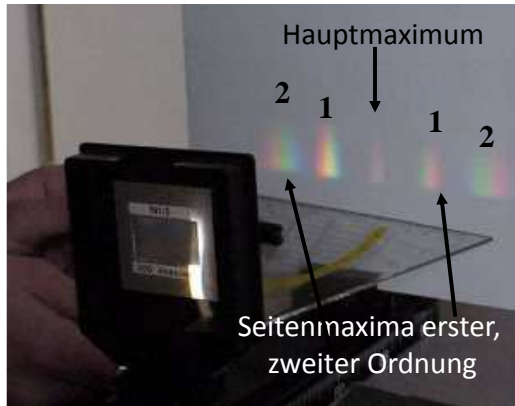
Interferenz



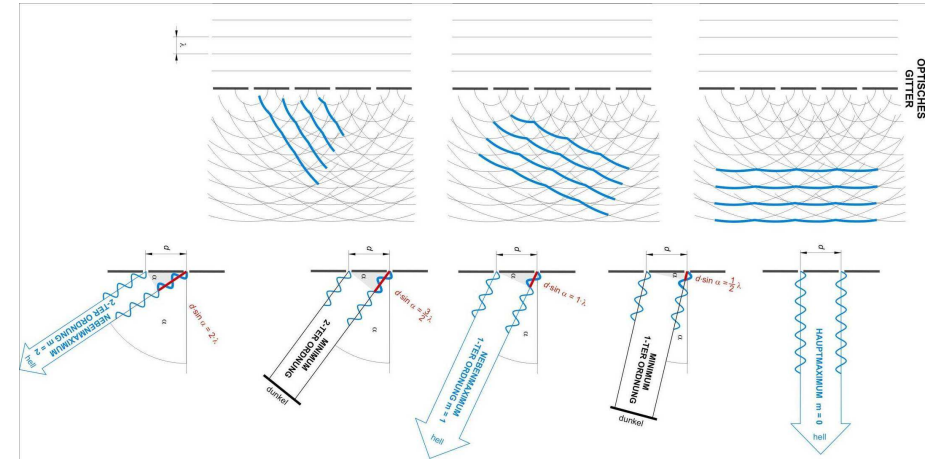
8

Beugung am Gitter

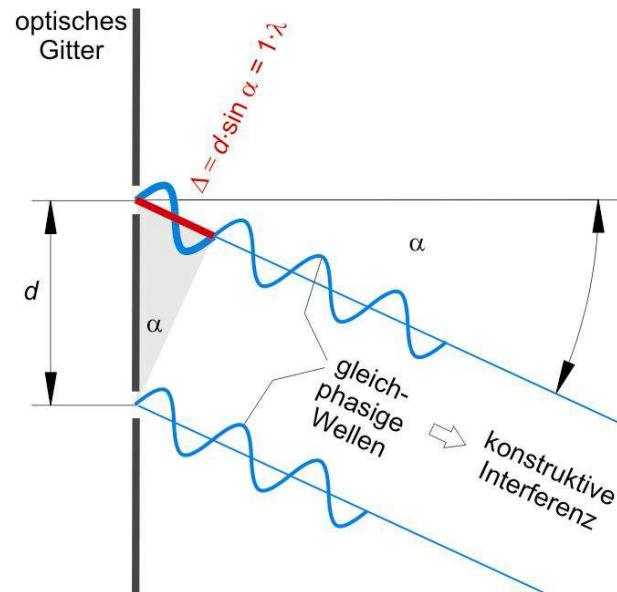
weißes Licht



9

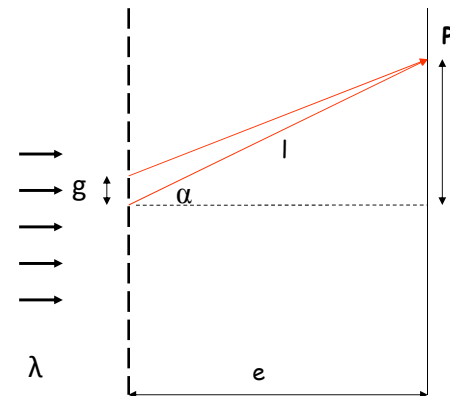


10



11

Beugung am Gitter



Gangunterschied: $\Delta = g \cdot \sin \alpha_k$
 $\Delta = k \cdot \lambda$

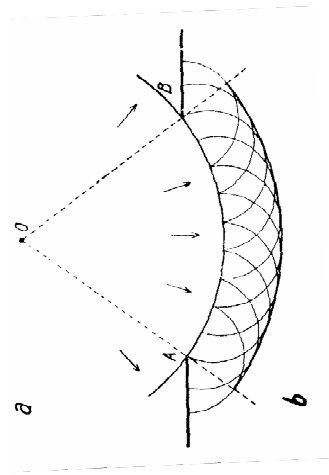
$$\sin \alpha_k = \frac{a_k}{l} = \frac{a_k}{\sqrt{e^2 + a_k^2}}$$

Beispiel: $a=4,1 \text{ cm}$, $e=2,55 \text{ m}$, $g=0,04 \text{ mm}$
 $\lambda=?$

12

Das Auflösungsvermögen optischer Geräte

- **Lichtbeugung:**
ein Teil aus einer
Wellenfront wird
ausgeblendet



13

Das Auflösungsvermögen optischer Geräte

□ Folgerungen der Lichtbeugung:

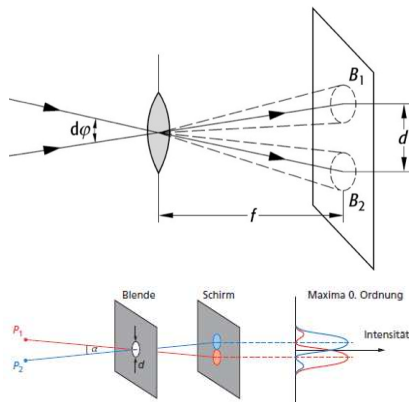
- Das physikalisch-optische Bild eines Punktes ist ein Beugungsscheibchen (Airy-Scheibchen) mit dem Radius:

$$r = 1,22 \frac{\lambda f}{D}$$

- Der endliche Radius des Beugungsscheibchens bestimmt die Grenze der Leistungsfähigkeit optischer Instrumente bezüglich der Struktur-Auflösung.
- Das Auflösungsvermögen ist ein Maß dafür, dass zwei Gegenstandspunkte gerade noch getrennt wahrgenommen werden können.

14

Das Auflösungsvermögen optischer Geräte



Rayleigh-Kriterium: $r \leq d$

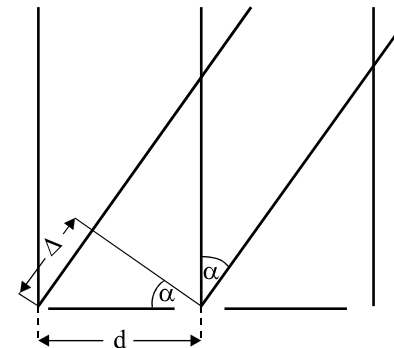
$$d = f d\varphi$$

Auflösungsgrenze:

$$d\varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

15

Das Auflösungsvermögen des Mikroskops

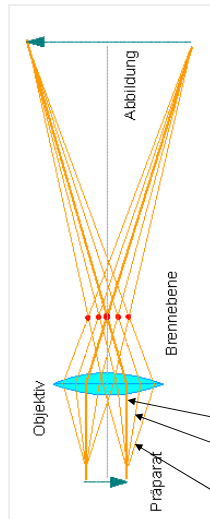


Die Maximumstellen entsprechen solchen ausgezeichneten Richtungen (α_k), für welche die Wegdifferenz (Δ) zwischen Strahlen von benachbarten Gitteröffnungen einer ganzzahligen Vielfachen der Wellenlänge (λ) gleich ist

$$\Delta = d \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda$$

16

Abbesche Theorie



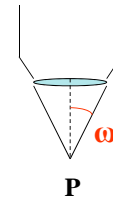
Um ein Objektdetail aufzulösen, müssen in dessen Beugungsbild neben dem Maximum 0. Ordnung mindestens noch die Maxima der 1. Ordnung erscheinen.

Ob diese Bedingung erfüllt werden kann, hängt nicht zuletzt mit der numerischen Apertur des verwendeten Objektivs ab.

Hauptmaximum
Maximum der 1.-ten Ordnung
Maximum der 2.-ten Ordnung

17

Numerische Apertur



α_k Halboffnungswinkel des Objektivs

$$k \frac{\lambda}{d} = \sin \alpha_k \leq \sin \omega$$

$k = 1,$

$d = \delta$: der kleinste auflösbare Abstand

$$\delta = \frac{\lambda}{\sin \omega}$$

λ : Wellenlänge im Vakuum,
 λ/n : Wellenlänge im Medium
A: numerische Apertur

$$\delta = \frac{\lambda}{n \cdot \sin \omega} = \frac{\lambda}{A}$$

Je größer die numerische Apertur ist, desto mehr gebeugtes Licht gelangt durch das Objektiv zur Interferenz in die Objektivbrennebene.

18

$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \cdot \sin \omega}$$

Auflösungsgrenze des Mikroskops
(der kleinste auflösbare Abstand)

Immersionslösung: $n \uparrow \rightarrow \delta \downarrow$

$$R = \frac{1}{\delta}$$

Auflösungsvermögen des Mikroskops

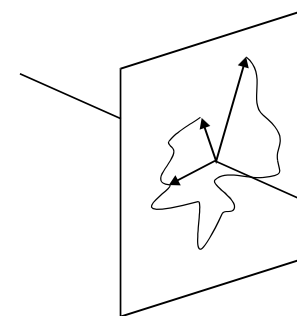
$$\lambda_e \ll \lambda_{\text{Licht}}$$

Elektronenmikroskopie:

kleinere Auflösungsgrenze, größeres Auflösungsvermögen

19

Das natürliche Licht



a.



b.

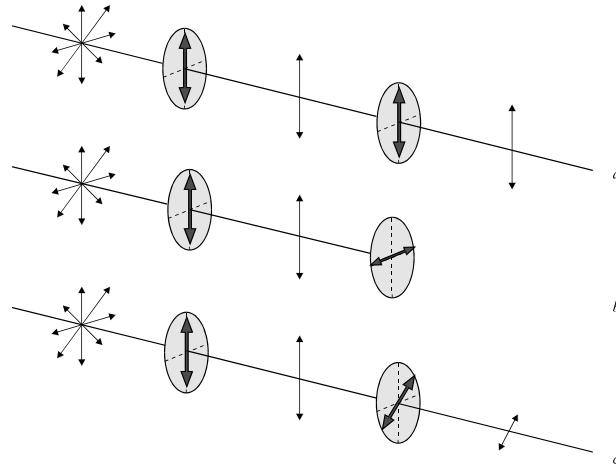
Ausbreitungsrichtung

Ausbreitungsrichtung

Im Licht einer normalen Lichtquelle sind die Schwingungsebenen der verschiedenen Wellen **regellos** über alle Richtungen verteilt.

20

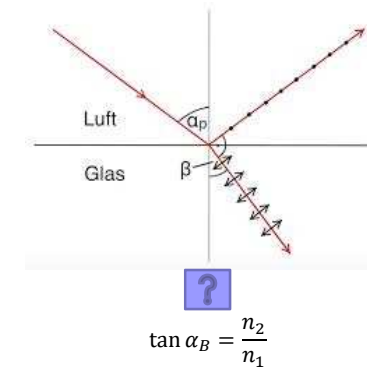
Polarisiertes Licht



Polarisationsfilter lassen nur Licht einer bestimmten Schwingungsrichtung durch.

21

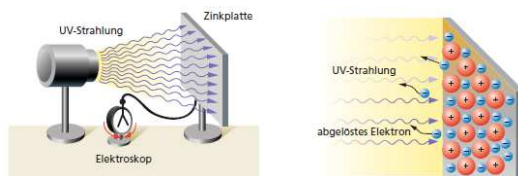
Polarisation durch Reflexion und durch Brechung



Brewstersches Gesetz

22

Teilchencharakter des Lichts



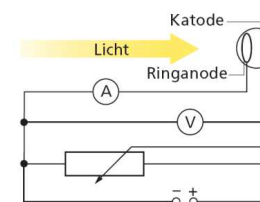
- negativ geladene Zinkplatte + UV-Licht => Entladung
- negativ geladene Zinkplatte + sichtbares Licht => keine Entladung
- positiv geladene Zinkplatte + UV-Licht => kein Effekt

Die Erscheinung, dass bei der Bestrahlung mit geeignetem Licht aus der Oberfläche von Festkörpern Elektronen austreten können, wird als **äußerer Photoeffekt** bezeichnet.

Erklärung: $E = W_A + E_{kin}$

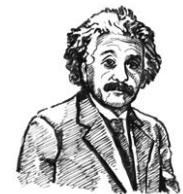
23

Teilchencharakter des Lichts



$$U \uparrow \Rightarrow I \downarrow$$

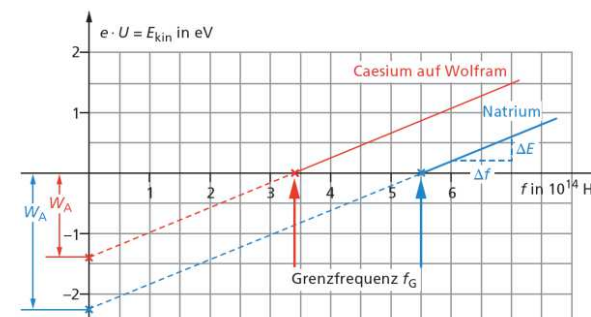
$$I = 0 \Rightarrow eU = E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$



$$E_{kin} = E - W_A$$

$$h = \frac{\Delta E}{\Delta f}$$

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}$$



24