

O5 Mikroskop

Physikalische Grundlagen

Das Mikroskop dient dazu, einen sich in der deutlichen Sehweite $s_0 = 25\text{cm}$ befindlichen, mit bloßem Auge nicht mehr erkennbaren Gegenstand, unter einem größeren Sehwinkel darzustellen.

Der Abbildungsmaßstab ist das Verhältnis der Größe des Bildes B zur wahren Größe des Gegenstandes G . Da das Bild in der Entfernung s_0 entsteht und der Gegenstand sich vereinbarungsgemäß ebenfalls in dieser Entfernung befindet, ist die Vergrößerung (das Verhältnis der Winkel von Bild und Gegenstand unter denen diese dem Auge erscheinen) des Mikroskopes gleich seinem Abbildungsmaßstab.

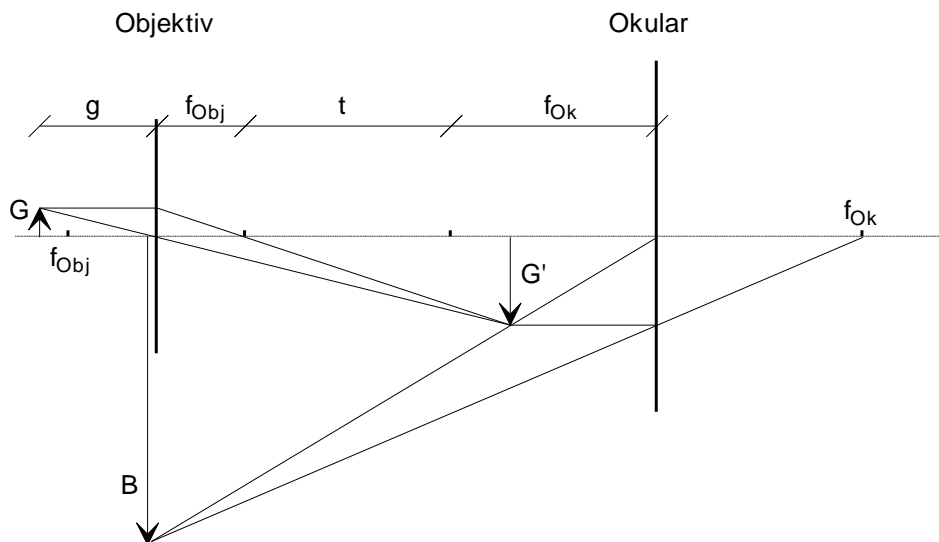


Abb. 1 Strahlengang im Mikroskop

Der zu vergrößernde Gegenstand G befindet sich außerhalb der einfachen, jedoch noch innerhalb der doppelten Brennweite des Objektivs. Dieses bildet den Gegenstand vergrößert ab, wobei sich das reelle Zwischenbild näherungsweise im Brennpunkt des Okulars befindet. Aus der Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{f_{\text{Obj}}} = \frac{1}{g} + \frac{1}{f_{\text{Obj}} + t} \quad (1)$$

und dem Strahlensatz

$$\frac{G}{g} = \frac{G'}{f_{\text{Obj}} + t} \quad (2)$$

folgt für die Größe des Zwischenbildes

$$G' = G \frac{t}{f_{Obj}} \quad (3)$$

Die erzielte Vergrößerung t/f_{Obj} wird als Objektivvergrößerung bezeichnet.

Das Okular wirkt als Lupe und liefert ein nochmals vergrößertes virtuelles Bild B' des Gegenstandes in der deutlichen Sehweite. Geht man wiederum davon aus, dass sich das Zwischenbild im Brennpunkt des Okulars befinden möge, gilt

$$\frac{G'}{B} = \frac{f_{Ok}}{s_0} \quad (4)$$

so dass die Gesamtvergrößerung

$$v = \frac{t \cdot s_0}{f_{Obj} \cdot f_{Ok}} \quad (5)$$

beträgt. s_0/f_{Ok} ist die Okularvergrößerung, so dass sich die Gesamtvergrößerung aus dem Produkt dieser mit der Objektivvergrößerung ergibt.

Auf Grund des beschränkten Auflösungsvermögens jedes Mikroskops können auch bei noch so hoher Vergrößerung nicht beliebig kleine Strukturen sichtbar gemacht werden.

Das Auflösungsvermögen gibt an, welchen Abstand zwei Objekte mindestens haben müssen, damit diese, nach entsprechender Vergrößerung, noch als getrennte Objekte wahrgenommen werden können. Nach ABBE kann es wie folgt abgeschätzt werden. Das Objekt soll aus zwei, sich im Abstand d befindlichen, von hinten beleuchteten Spalten bestehen. Auf Grund des Wellencharakters des zur Abbildung benutzten Lichtes kommt es durch Beugung zu Interferenzen hinter dem Doppelspalt.

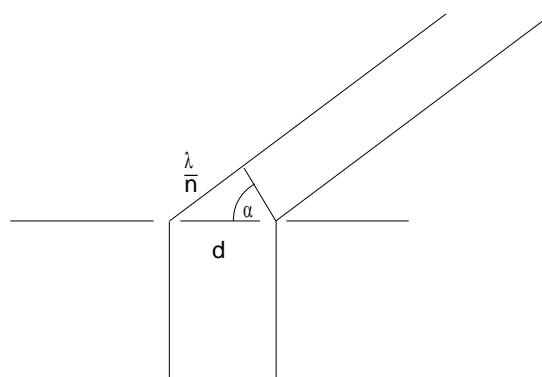


Abb. 2 Beugung am Doppelspalt

Maxima des Beugungsbildes entstehen bei solchen Winkeln α , für welche die Weglängendifferenz zwischen den von den beiden Spalten ausgehenden Strahlen ganzzahlige Vielfache k der Wellenlänge beträgt. Befindet sich hinter den Spalten ein Medium der Brechzahl n (z.B. Immersionsöl),

so ist die Wellenlänge des Lichtes auf den n -ten Teil reduziert. Für das erste Interferenzmaximum gilt dann

$$\sin\alpha = \frac{\lambda}{n d} \quad (6)$$

Damit der Doppelspalt als solcher noch erkannt werden kann, muss mindestens dieses erste Maximum noch ins Objektiv treffen, weswegen dessen Öffnungswinkel mindestens ebenfalls α betragen muss.

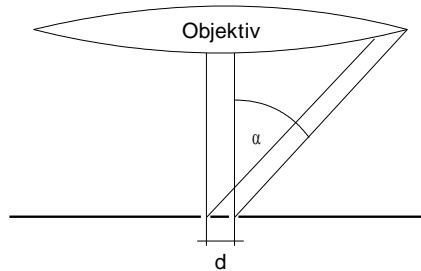


Abb.3 Öffnungswinkel des Objektivs

Aus (6) kann demzufolge sofort auf das Auflösungsvermögen d_{min} eines bestimmten Objektivs geschlossen werden.

Das als Apertur des Objektivs bezeichnete Produkt $n\sin\alpha$ ist stets kleiner n ($n_{Luft} = 1, n_{öl} \approx 1,5$), weswegen d_{min} günstigstenfalls in der Größenordnung der verwendeten Lichtwellenlänge ist.

Versuchsvorbereitung

- Abbildungsgleichung, Strahlengänge an dünnen Linsen, Linsenfehler
- Brechungsgesetz, Beugung am Spalt, Interferenz
- Wie hängen Brechzahl und Wellenlänge von Licht in Medien zusammen?
- Leiten Sie die Gleichung für die Vergrößerung eines Mikroskops (5) her!
- Wie groß müssen die Apertur (Öffnungswinkel) eines Objektivs und die Gesamtvergrößerung eines Mikroskops mindestens sein, damit zwei sich im Abstand $5\mu m$ befindliche Objekte noch erkannt werden können? Das menschliche Auge kann Objekte, die unter dem Winkel von einer Winkelminute ($1'$) erscheinen, noch erkennen.

Aufgaben

- Bestimmen Sie die Vergrößerung eines Mikroskops für verschiedene Okulare und Objektive.

Betrachten Sie dazu mit einem Auge das Bild eines vom Mikroskop vergrößerten Objektmikrometers und gleichzeitig mit dem anderen Auge einen sich in der deutlichen Sehweite neben dem Mikroskop befindlichen Maßstab.

- Kalibrieren Sie einen Okularmaßstab mit Hilfe eines Objektmikrometers, und bestimmen Sie die Größe eines vorgegebenen Objektes. Führen Sie dazu eine Fehlerschätzung durch.

- Bestimmen Sie die Apertur verschiedener Objektive!

Dazu wird als Objekt eine schräg von unten beleuchtete Lochblende verwendet. Der maximale Winkel, bei welchem noch Licht ins Objektiv gelangt, ist gleich dem Öffnungswinkel.

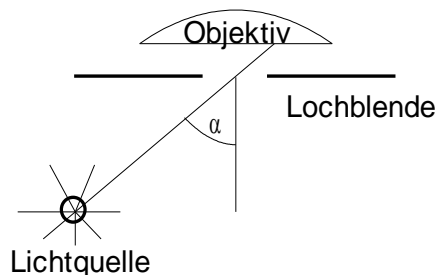


Abb.4 Anordnung zur Ermittlung der Apertur

- Führen Sie eine Fehlerschätzung für die Apertur durch!