

MIK Mikroskop

Stichpunkte zur Vorbereitung:

Das menschliche Auge, die Lupe, das Mikroskop, Auflösungsvermögen und Beugung. Nutzen Sie hierfür die Dokumente **Einführung in die Optik, Einführung - optische Komponenten**.

Unter einem klassischen, optischen Bild versteht man eine in eine Ebene projizierte Darstellung eines Gegenstandes durch ein optisches System, die die geometrische Struktur und das farbliche Aussehen des Gegenstandes wiedergibt. In den modernen Wissenschaften werden die Begriffe Bild und Bildgewinnung darüber hinaus für alle Methoden verwandt, mit denen Naturerscheinungen für das Auge erfassbar gemacht werden. Sei es, dass die zu beobachtenden Strukturen sehr klein und Licht zum „Abtasten“ zu grob ist, so dass die Strukturen im Licht kein klassisches Bild mehr erzeugen und auch kein klassisches „Aussehen“ mehr besitzen („Ultramikroskope“, wie Elektronenmikroskop, Tunnel-Mikroskop), oder dass die Untersuchungsgegenstände optisch unzugänglich sind (Bildgewinnung aus Organismen). Trotz aller modernen Entwicklungen gehört das klassische Licht-Mikroskop weiterhin zu den wichtigen und elementaren Arbeitsgeräten der Naturwissenschaften und besonders der Biowissenschaften zur Herstellung von Bildern „kleiner“ Objekte und „feiner“ Strukturen. Der vorliegende Versuch soll die grundsätzliche Funktionsweise des Mikroskops und die durch Beugungsercheinungen bedingte Begrenzung des Auflösungsvermögens und der Vergrößerungsmöglichkeiten mit Licht vermitteln.

MIK.1 Physikalische Grundlagen

Die numerische Apertur und Auflösungsvermögen eines Objektivs

Das Auflösungsvermögen eines Objektivs ist definiert durch den kleinstmöglichen Abstand d_{\min} zweier Gegenstandspunkte, bei dem sie durch das Objektiv noch getrennt abgebildet werden können. Nach Abbe ist

$$d_{\min} = \frac{0.61\lambda}{n \sin u}. \quad (1)$$

Hier ist λ die Wellenlänge des benutzten Lichts, n das Brechungsindex des Mediums zwischen Gegenstand und Objektiv und u der halbe, objektseitige Öffnungswinkel des Lichtbündels (siehe Abbildung 1).

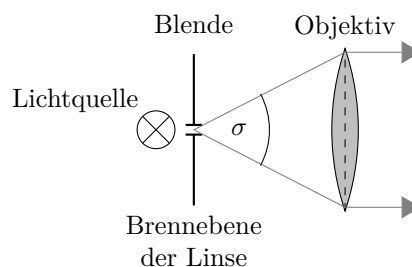


Abbildung 1: Eine Blende befindet sich in der Brennebene des Objektivs und erzeugt ein Objektpunkt auf der optischen Achse. Der Winkel σ , den die zwei Randstrahlen einschließen, ist der Öffnungswinkel des Objektivs. Der halbe Öffnungswinkel $\sigma/2 = u$ des Objektivs wird auch Aperturwinkel des Objektivs genannt.

Die Größe $n \sin u = A$ heißt numerische Apertur des Objektivs und ist ein Maß für sein Auflösungsvermögen. Je größer die numerische Apertur, desto kleiner der Abstand zweier Punkte, die noch getrennt abgebildet werden können und daher umso besser das Auflösungsvermögen.

Aufbau eines Mikroskops, Vergrößerung

Bei einem Mikroskop wird zunächst mittels einer Sammellinse (Objektiv) ein vergrößertes, reelles Zwischenbild B_z entworfen und dieses mittels einer Lupe (Okular) betrachtet (Abbildung 2).

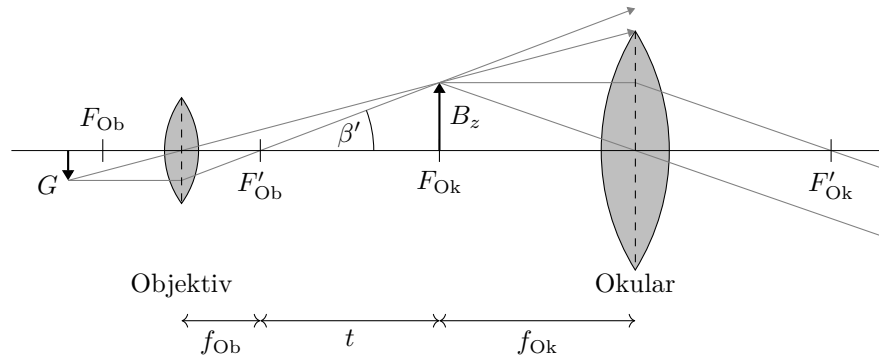


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Mikroskops für den Fall, in der das Zwischenbild B_z in der Brennebene des Okulars liegt.

Die somit erzielten Vergrößerungen Γ_M sind gleich dem Produkt aus dem Abbildungsmaßstab des Objektivs $\gamma_{Ob} = B_z/G$ und der Lupenvergrößerung Γ_L . Für den in Abbildung 2 gezeigten Fall ergibt sich für die Vergrößerung Γ_M des Mikroskops:

$$\Gamma_M = \gamma_{Ob} \cdot \Gamma_L = \frac{B_z}{G} \cdot \Gamma_L = \frac{t \tan \beta'}{f_{Ob} \tan \beta'} \cdot \frac{s_0}{f_{Ok}} = \frac{t}{f_{Ob}} \cdot \frac{s_0}{f_{Ok}} \quad (2)$$

wobei s_0 der Abstand zwischen dem Zwischenbild B_z und dem Auge des Betrachters ist. In Abbildung 2 wäre das:

$$s_0 = (\text{Abstand zwischen Auge und Okular}) + f_{Ok}. \quad (3)$$

Der innere Abstand t zwischen den Brennpunkten von Objektiv und Okular wird optische Tubuslänge des mikroskopischen Strahlengangs genannt.

MIK.2 Versuchsdurchführung

Zur Versuchsdurchführung wird aus sehr einfachen optischen Komponenten (einfache Sammellinsen als Objektiv und Okular) auf einer optischen Bank (Dreikantschiene) ein mikroskopischer Strahlengang selbständig aufgebaut. Das so realisierte "offene" Mikroskop hat im Vergleich zu kommerziellen Geräten zwar sehr schlechte und unkomfortable Abbildungseigenschaften, aber es ermöglicht einen anschaulichen und verständnisfördernden experimentellen Umgang mit der Apparatur. Auf der anderen Seite ergeben sich dadurch zum Teil schwierigere Messbedingungen, und es kann nicht die sonst im Praktikum übliche Messgenauigkeit erreicht werden. Folgende optische Komponenten sind vorhanden:

1. Zwei Linsen ($f = (40 \pm 1)$ mm),
2. Blendenscheibe zum Abblenden des Objektivs,
3. eine mm-Skala auf Glasträger (1/100-mm-Teilung, Okularmikrometer),
4. eine halbdurchlässige Glasplatte zum Einspiegeln einer , Vergleichsskala,
5. ein Kreuzgitter (Drahtnetz) und
6. zwei beleuchtete Skalen (mm-Teilung).

MIK.3 Aufgaben

1. Mikroskopischer Strahlengang:

Aufbau eines einfachen Mikroskops aus einer Objektivlinse und einer Okularlinse auf einer optischen Bank. Experimentelle Bestimmung der Vergrößerung für drei verschiedene Tubuslängen t ($t = 100$ mm, 150 mm und 200 mm) und Vergleich der Ergebnisse mit den theoretisch erwarteten Werten.

Die Tubuslänge t des Mikroskops kann bequem durch den Abstand der beiden Linsen unter Berücksichtigung der Brennweiten eingestellt werden. Direkt hinter die Objektivlinse wird zusätzlich eine Lochblende gestellt, die den Strahlengang auf den achsennahen Bereich einschränkt und dadurch die Abbildungsqualität des Strahlenganges erhöht (Kontrast, Verzeichnung). Zur Bestimmung der Vergrößerung wird vor die Okularlinse eine halbdurchlässige Glasplatte im Winkel von etwa 45° gestellt und damit eine zweite, gleiche Skala im Abstand von $s_0 = 250$ mm vom Auge eingespiegelt. Die Vergrößerung erhält man direkt aus dem Vergleich beider Skalen.

2. Okularmikrometer:

Einsetzen einer Skala in die Zwischenbildebene des Mikroskops als Okularmikrometer (Messokular). Kalibrierung des Messokulars und Bestimmung des Linienabstandes eines Kreuzgitters (Gitterkonstante).

Die Tubuslänge wird auf 300 mm eingestellt, um eine ausreichende Vergrößerung zum Ausmessen des Drahtnetzes zu erhalten. In die Zwischenbildebene des Mikroskops wird eine kleine Glasskala als Okularmikrometer eingesetzt und durch Vergleich mit der mm-Skala als Objekt kalibriert. Anschließend wird sowohl der Abstand der Drähte als auch die Drahtstärke eines Drahtnetzes ausgemessen.

3. Auflösungs Grenze:

Beobachtung der Auflösungs Grenze des Mikroskops an dem Kreuzgitter und Bestimmung der numerischen Apertur des Objektivs für diesen Grenzfall. Berechnung des damit auflösbaren kleinsten Punktabstandes und Vergleich mit der tatsächlichen Gitterkonstanten.

Mit den Lochblenden (verschiedener Durchmesser) kann der wirksame Bereich des Objektivs zur Beobachtung der Auflösungs Grenze verkleinert werden. Die Berechnung des Öffnungswinkels aus dem Blendendurchmesser B wird besonders einfach, wenn die Blende in der Brennebene der Objektivlinse steht. Es gilt:

$$\tan \epsilon = \frac{B/2}{f} \quad (4)$$