

**Ziel:**

Es soll der Abbildungsstab des Objektivs, die Objektivvergrößerung und die Gesamtvergrößerung bestimmt werden. Weiters soll die Auflösung des Mikroskops bei Tageslicht ermittelt werden. Die Längenmessung mit dem Mikroskop und die Ermittlung des Brechungsindex von festen Stoffen zeigt eine praktische Verwendung für das Mikroskop.

**Methoden:**

Die meisten Teilerperimente benützen die einfachen Abbildungsgesetzen der geometrischen Optik. Bei der Bestimmung der numerischen Apertur (Auflösungsvermögen) wird auf die Ergebnisse der Wellenoptik zurückgegriffen.

**Erläuterungen:**

Das Mikroskop ist ein optisches System, bestehend aus Objektiv und Okular, wobei diese Komponenten in der Regel als mehrlinsige Systeme aufgebaut sind. Für Längenmessungen mit dem Mikroskop braucht man die Vergrößerung des gesamten Systems. Das Auflösungsvermögen ist mit der verwendeten Lichtart gekoppelt. Je kürzer die Wellenlänge, umso grösser ist das Auflösungsvermögen. Grösseres Auflösungsvermögen als mit Lichtmikroskopen erzielt man mit dem Elektronenmikroskop.

**Theorie:**

Geometrische Optik, Optische Instrumente, Interferenz, Beugung

**Literatur:**

Lehrbuch: Gerthsen 10.2.7

Physikalisches Praktikum: Westphal S. 128 ff., Walcher S. 144 ff.

**Geräte:**

Mikroskop Olympus

Objektive 1 : 4, 1 : 10, 1 : 40, 1 : 100

1 Okular 10x, mit Skala

1 runde Mattscheibe

1 Objektmassstab (2 mm)

1 Glasplatte als Träger

Proben für Längenmessung

Proben für Brechungsindex

Name: .....

Klasse: TC 3

Datum: .....

**Beurteilung:**

Auswertung .....

Genauigkeit .....

Fehlerrechnung/Fehlerdiskussion .....

Protokollführung .....

Summe .....

**Grundlagen:**

Das Mikroskop ist eine Kombination von zwei Linsensystemen, dem Objektiv und dem Okular. Durch das Objektiv wird ein reelles und verkehrtes Bild erzeugt, welches mit dem Okular als Lupe betrachtet wird. Die Gesamtvergrößerung des Mikroskops  $\Gamma_M$  ist gleich dem Produkt aus dem Abbildungsmaßstab des Objektivs  $\beta_{obj}$  und der Lupenvergrößerung des Okulars  $V_{ok}$ : Es gilt:

(1)  $\Gamma_M = \beta_{obj} V_{ok}$

Die Gesamtvergrößerung kann durch direkten Vergleich des Bildes (z.B. des Objektmassstabs) mit der Strecke auf einem Lineal verglichen werden.

**Abbildungsmaßstab des Objektivs**

Der Abbildungsmaßstab des Objektivs  $\beta$  ist gleich dem Verhältnis von Bildgröße B zu Gegenstandsgröße G:  $\beta = \frac{B}{G}$ . Mit der Beziehung  $B : G = b : g$  ( $b$  = Bildweite,  $g$  = Gegenstandsweite) und  $b = t + x$  ( $t$  = Tubuslänge,  $x$  ist für verschiedene Tubusauszüge immer gleich) ergibt sich:

(2)  $\beta = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \frac{1}{f} b - 1 = \frac{1}{f} (t + x) - 1 = \frac{1}{f} t + \frac{x}{f} - 1$

Der Abbildungsmaßstab  $\beta$  ist eine lineare Funktion von  $t$ , der Graph ist eine Gerade mit der Steigung  $\frac{1}{f}$ . Somit kann aus der Geradensteigung auch die Brennweite  $f$  des Objektivs ermittelt werden. Die genaue Tubuslänge ist für die Bestimmung von  $f$  nicht nötig.

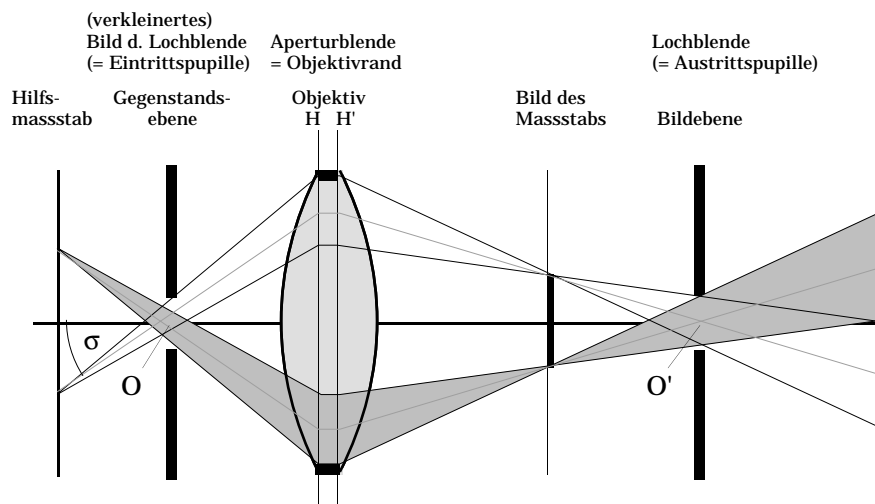
**Numerische Apertur**

Massgebend für die leistungsfähigkeit eines Mikroskops ist nicht allein die Vergrößerung, die nach rein geometrisch-optischen Grundlagen fast beliebig gross gemacht werden könnte. Der Zweck des Mikroskops ist es aber, Strukturen sichtbar zu machen, deren Einzelheiten mit dem blossen Auge nicht mehr aufgelöst werden können. Diesem Auflösungsvermögen ist durch die Wellennatur des Lichts eine Grenze gesetzt. Die Beugung des Lichts bewirkt, dass ein Punkt nicht als Punkt sondern als Kreisscheibchen abgebildet wird, das aus einem zentralen Maximum, umgeben von dunklen und hellen Ringen, besteht. Zwei Gegenstandspunkte werden dann getrennt wahrgenommen, wenn ihre Beugungsscheibchen einen genügend grossen Abstand voneinander haben. Nach Abbe gilt für den kleinsten noch auflösbaren Abstand  $\delta$  zweier Objektpunkte die Bedingung:

(3)  $\delta \approx \frac{\lambda}{n \sin \sigma} = \frac{\lambda}{A}$  ( $\lambda$  = Wellenlänge des Lichts,  $2\sigma$  = Öffnungswinkel des Objektivs,  $n$  = Brechungsindex des Materials zwischen Objekt und Objektiv)

Unter dem Öffnungswinkel  $2\sigma$  eines Objektivs versteht man den Winkel, unter dem der Objektivrand von dem (scharf gesehenen) Objektpunkt O auf der optischen Achse aus erscheint (Abb. 1). Hat das Medium vor dem Objektiv die Brechzahl  $n$ , so heisst die Grösse

(4)  $A = n \sin \sigma$  *numerische Apertur*.



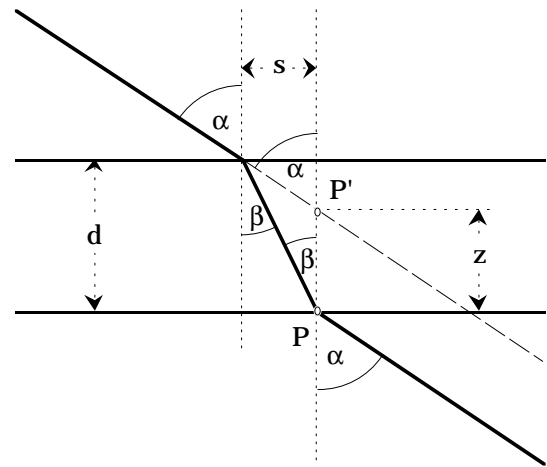
(Abb. 1)

### Brechungsindex und Bildhebung

Durchläuft ein Lichtstrahl eine planparallele Platte, wird er seitlich versetzt. Bei einem Lichtstrahl von einem Punkt P zum Auge führt dies zu einer scheinbaren Anhebung des Bildes (Abb. 2). Das Bild wird um die Länge z angehoben, weil der Lichtstrahl, welcher tatsächlich von P kommt, von P' zu kommen scheint. Für den Brechungsindex gilt:

$$(3) \quad n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{\frac{s}{d-z}}{\frac{s}{d}} = \frac{d}{d-z}$$

Aus der Bildhebung und der Dicke einer Platte kann somit der Brechungsindex bestimmt werden.



(Abb. 2)

### Messmethoden und Messgeräte:

#### Objektmikrometer

Das Objektmikrometer ist eine in eine Glasplatte geritzte  $\frac{1}{100}$  mm-Skala. Es wird zur Messung mit dem Mikroskop mitgeliefert. Das Objektmikrometer wird auf den Objektträger aufgelegt. Genauigkeit:  $\pm 0,01$  mm

#### Okularmassstab

Der Okularmassstab ist eine Glasplatte mit Skala, die in das Okular eingelegt wird (im 10x-Okular ist der Okularmassstab bereits eingebaut). Mit dem Objektmikrometer kann die Okularskala geeicht werden. Dann kann man mit der geeichten Skala Längenmessungen mit dem Mikroskop durchführen. Die Eichung ist vom verwendeten Objektiv abhängig.

#### Mikrometerschraube

Mit der Mikrometerschraube kann auf  $\frac{1}{100}$  mm genau gemessen werden. Achtung: Immer mit der Rändelschraube zudrehen (Gefahr der Überlastung!).

#### Tubuslänge

Für gewöhnliche Beobachtungen mit dem Mikroskop genügt ein fester Tubus. Für die Ermittlung der Vergrößerung des Mikroskops wird die Tubuslänge variiert. Dabei ist nur eine relative Skala nötig, die wahre Tubuslänge braucht man also nicht zu wissen. Auf dem Instrument ist der Bezugspunkt (0) auf Höhe des Okularaufsatzes.

## Durchführung des Experiments:

Es sind zwei der angegebenen Experimente durchzuführen: Nr.  und

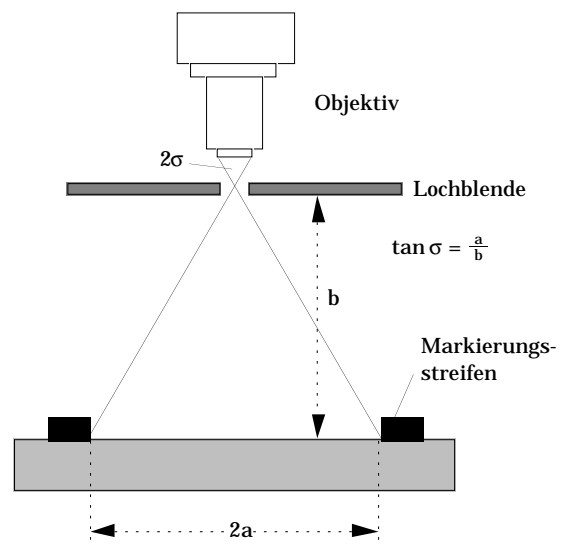
### 1. Abbildungsmaßstab des Objektivs

Auf den Objektträger wird der Objektmaßstab gelegt und das Mikroskop wird scharf eingestellt. Nun wird das Okular aus dem Tubus herausgenommen, auf den Tubusrand wird eine Mattscheibe (matte Fläche nach unten) gelegt und das Mikroskop wird so eingestellt, dass auf der Mattscheibe ein scharfes Bild des Objektmaßstabes entworfen wird. Dieses Bild wird mit einem Millimetermaßstab (z.B. Lineal) ausgemessen. Für eine Folge von verschiedenen Tubuslängen soll der Abbildungsmaßstab  $\beta$  des Objektivs ermittelt werden. Wird  $\beta$  in einem Diagramm gegen die Tubuslänge  $t$  aufgezeichnet, erhält man eine Gerade, deren Steigung den Kehrwert der Objektivbrennweite ist. Bestimmen Sie aus dem Diagramm die Objektivbrennweite.

### 2. Numerische Apertur

Zur Bestimmung der numerischen Apertur benötigt man den halben Öffnungswinkel des Objektivs  $\sigma$ . Dieser kann folgendermassen bestimmt werden:

Das Mikroskop wird auf eine Lochblende (Durchmesser 1 mm) scharf eingestellt. Die Blende befindet sich damit an der Stelle, an der sich auch andere Objekte befinden würden. Um den Öffnungswinkel  $2\sigma$  zu ermitteln, wird zunächst das Okular entfernt und unterhalb der Blende eine Skala mit Millimereinteilung aufgestellt (z.B. auf die Lampe gelegt, Kondensator entfernen). Das verkleinerte Bild des Skalenausschnitts erscheint dann oberhalb des Objektivs. Schwarze Markierungen werden auf der Skala so verschoben, dass sie gerade am Rand des Gesichtsfeldes erscheinen. Anhand der nebenstehenden Abbildung kann der Öffnungswinkel  $2\sigma$  ermittelt werden.



### 3. Längenmessung

Mit dem Objektmikrometer wird der Okularmaßstab geeicht. Dann werden die Längen in den beliebigen Präparaten gemessen (Dicke eines Haares, Dicke von mikroskopischen Strukturen in einem IC).

### 4. Brechungsindex von Glas

Auf einer dünnen Glasplatte wird ein Punkt markiert. Auf diesen Punkt wird das Mikroskop scharf eingestellt. Legt man eine durchsichtige Platte aus dem Material mit zu messendem Brechungsindex auf die dünne Glasplatte, wird der Punkt wegen der Bildhebung unscharf. Es ist der Brechungsindex der Probestplatte zu bestimmen.