

Optisches Praktikum, Aufgabe 15:

Mikroprojektion

1. Ziel der Aufgabe

- Kennenlernen der Grundlagen von Abbildungs- und Beleuchtungsstrahlengängen und deren Verkettung
- Aufbau eines Mikroskops / Mikroprojektors

2. Grundlagen

2.1 Verkettete Strahlengänge

Bei jeder Projektion kommt der Forderung nach optimaler Ausnutzung des Lichtstroms bei möglichst gleichmäßiger Ausleuchtung des Bildschirms eine zentrale Bedeutung zu. Dies verlangt den Aufbau eines sauber "verketteten Strahlenganges", d.h. Abbildungs- und Beleuchtungsstrahlengang müssen sorgfältig ineinander verflochten und einander angepaßt werden. Dies ist auf zwei Wegen möglich, die sich durch die Art der Lichtquellen - Abbildung unterscheiden:

- a) die Lichtquelle wird in die Objektebene abgebildet (kritische Beleuchtung);
- b) die Lichtquelle wird in die Eintrittspupille des abbildenden Systems (Mikroskopobjektiv) abgebildet (nach A. Köhler).

Beide Methoden sind hinsichtlich des transportierten Lichtstroms und damit auch der resultierenden mittleren Beleuchtungsstärke auf der Projektionswand gleichwertig. Mit Rücksicht auf eine möglichst gleichmäßige Ausleuchtung findet praktisch nur die zweite Anordnung Verwendung, weil bei einer Strahlenführung nach a) das Bild der Lichtquelle auf dem Projektionsschirm erscheint, so daß die Lichtquellenstruktur stört.

Nach dem *Lambert'schen Satz* errechnet sich der durch ein optisches System transportierte Lichtstrom zu

$$F = \frac{L \cdot A_L \cdot A_P}{r^2} = L \cdot L \quad L = \text{Lichtleitwert}$$

Dabei bezeichnet A_L die Fläche der Gesichtsfeldblende oder eines ihrer Bilder ("Luken"), A_P die Fläche der zugehörigen Pupille, r deren Abstand und L die Leuchtdichte.

Sieht man von Reflexions- und Absorptionsverlusten ab, so bleibt der durch das System transportierte Lichtstrom bei der Abbildung erhalten. Daher ist die Leuchtdichte, wie auch der Lichtleitwert, eine Invariante der Abbildung. Die Größen A_L und A_P bezeichnen die Fläche der Eintritts- bzw. Austrittsluke und der dazugehörigen Pupille.

2.2 Das Mikroskop

Mikroskop-Objektive arbeiten durchweg mit *objektseitig - telezentrischem Hauptstrahlengang!* Darunter versteht man einen Strahlengang, bei dem die Hauptstrahlen, d.h. diejenigen Strahlen, die die Mitte der Aperturblende des abbildenden Systems durchsetzen, im Objektraum parallel zur optischen Achse verlaufen. Diese Strahlenführung hat den Vorteil, daß Objekte in verschiedener Tiefe zwar nicht gleichzeitig scharf, jedoch gleich stark vergrößert erscheinen (wichtig für mikroskopische Messungen!). Um dies zu erreichen, muß die Aperturblende des Objektivs in dessen bildseitigem Brennpunkt liegen. Die zugehörige Eintrittspupille liegt dann im Unendlichen; ihre Größe kann daher nur durch den Öffnungswinkel $2s$ angegeben werden. Den Sinus des halben Öffnungswinkels multipliziert mit der Brechzahl des Objektraumes (Luft: $n=1$), bezeichnet man als *numerische Apertur* des Mikroskop - Objektivs. Diese Größe bestimmt das Auflösungsvermögen des Objektivs!

Nach der oben stehenden Formel nimmt der Lichtstrom mit A_P und A_L zu. Beide Größen sind jedoch nicht unabhängig voneinander: schwach vergrößernde Objektive erfassen zwar ein relativ großes Objektfeld, besitzen jedoch vergleichsweise kleine Aperturen, während umgekehrt stark vergrößernde Objektive nur kleine Objektfelder aber große Aperturen besitzen. Um optimale Bedingungen zu erhalten, muß also dafür gesorgt werden, daß

- 1) nur das wirklich erfaßte Objektfeld beleuchtet wird (die Beleuchtung der außerhalb liegenden Objektbereiche liefert u.a. unerwünschtes Streulicht),

2) der Raumwinkel, den das Beleuchtungssystem mit Licht erfüllt, ebenso groß ist wie der vom Objektiv erfaßte (Beleuchtungsapertur = Beobachtungsapertur). Eine größere Beleuchtungsapertur ergibt lediglich Streulicht.

Da sich Objektfeld und Beleuchtungsapertur bei einem Wechsel der Vergrößerung ändern, muß die Beleuchtung beim Übergang zu einem anderen Abbildungsmaßstab ebenfalls geändert werden. Besonders einfach ist dies beim sogenannten "Köhlerschen Beleuchtungsstrahlengang" zu erreichen.

2.3 Köhlerscher Beleuchtungsstrahlengang

Bei dieser Beleuchtungsanordnung wird die Lichtquelle zunächst durch eine Beleuchtungslinse (*Kollektor*) in die vordere Brennebene des *Kondensors* (vergrößert) abgebildet, der sie nach Unendlich und damit in die Eintrittspupille des nachfolgenden Mikroskop-Objektivs abbildet. Gleichzeitig entwirft er in der Objektebene ein (verkleinertes) Bild der gleichmäßig beleuchteten Beleuchtungslinse (s. Abb. 1). Durch eine Blende in der vorderen Brennebene des Kondensors (*Kondensoriris*) kann sehr einfach die Apertur der Beleuchtungsstrahlen durch eine zweite Blende in unmittelbarer Nähe der Beleuchtungslinse die Größe des beleuchteten Objektfeldes verändert werden ("Leuchtfeldblende"). Die Anpassung der Beleuchtung durch einfaches Verstellen der beiden Blenden ist jedoch für eine Projektionseinrichtung nicht sehr geeignet, weil an beiden Blenden erhebliche Lichtverluste auftreten. Man ist daher gezwungen, beim Wechsel der Vergrößerung auch die Abbildungsmaßstäbe für Lichtquellen- und Leuchtfeldblenden-Abbildung zu variieren. Dies ist möglich, wenn man

- a) die Abstände zwischen Beleuchtungslinse, Kondensor und Objektebene passend wählt,
- b) die Brennweite des Kondensors ändert, indem man ihn austauscht.

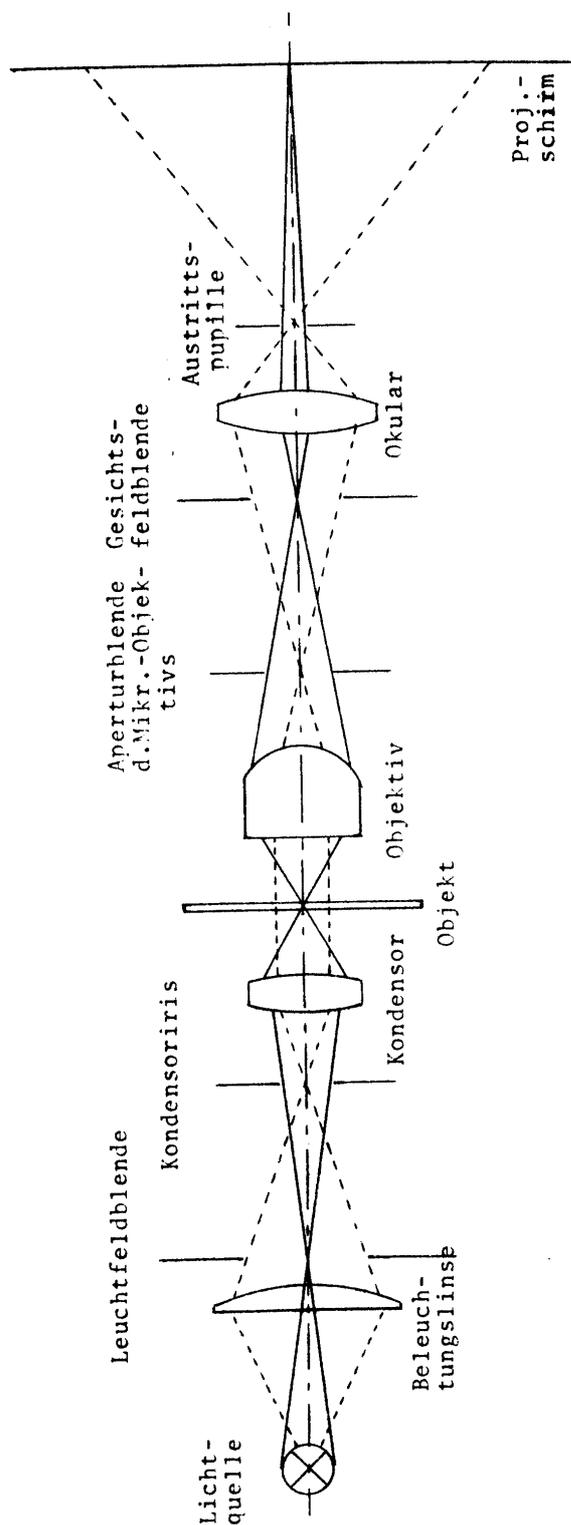


Abb.1: Schematischer Versuchsaufbau (Beleuchtungs- und Abbildungsstrahlengang)

3. Aufgaben

3.1 Bemerkungen zur Durchführung

Es soll für die Kombination von zwei verschiedenen Objektiven und zwei passenden Kondensoren jeweils ein optimal dimensionierter Köhlerscher Beleuchtungsstrahlengang aufgebaut werden. Dabei ist es zweckmäßig, in der nachstehenden Reihenfolge vorzugehen:

- Aufbau eines Mikroskops und Abbildung eines beliebig beleuchteten Objekts (Maßstab). Beobachtung mit dem Auge.
- Einsetzen der Kollektorlinse und Abbildung der Lichtquelle ins Objekt. Projektion des Objekts auf den Bildschirm. (Man erhält ein sehr lichtschwaches Bild auf dem Bildschirm, darum muß der Raum abgedunkelt werden).
- Geeignete Kondensorkombination zusammenstellen und einsetzen. Die Kondensorlinse muß sich im vorderen Brennpunkt des Kondensors befinden.
- Kollektorlinse ins Objekt abbilden.
- Lichtquelle auf Kondensorlinse abbilden.

Die saubere Verkettung des Strahlenganges läßt sich wie folgt kontrollieren:

Die zugezogene Leuchtfeldblende (Kollektorlinse) muß zusammen mit dem mikroskopischen Präparat auf dem Projektionsschirm scharf abgebildet werden. Bei nahezu vollständig geöffneter Blende muß das gesamte, vom Objektiv erfaßte Gesichtsfeld gleichmäßig beleuchtet sein. Die Kondensorlinse muß so weit geöffnet werden, daß ihr Bild in der hinteren Brennebene des Objektivs die dort befindliche Blende - im Allgemeinen durch die Fassung der letzten Linse gegeben - gerade vollständig ausfüllt. Dies läßt sich bei herausgenommenem Okular und zugezogener Kollektorlinse kontrollieren.

Bei sauber justiertem Strahlengang ist durch die Abbildung des beigefügten Maßstabs die jeweilige Vergrößerung (richtiger: Abbildungsmaßstab! - Warum? -) zu ermitteln.

Literatur:

1. J. Flügge: **Einführung in die Messung der opt. Grundgrößen**
G. Braun, Karlsruhe, 1954
2. J. Flügge, G. Hartwig, W. Weiershausen: **Studienbuch zur technischen Optik**
UTB Vandenhoeck, Göttingen, 1985
3. K. Michel: **Theorie des Mikroskops**, Wiss. Verlag Stuttgart, Stuttgart, 1981
4. G. Otto: **Durchlicht - Mikroskopie**, VEB Technik, Berlin, 1959