

Versuchsanleitung V3– Teil 1

Betreuer: P. Fischer, E. Peter, A. Spreen

1 Mikroskopie

1.1 Bauformen von Linsen; Abbildungsfehler

Bereits früh konnten Linsen mit kugelförmiger Oberfläche geschliffen und in Mikroskopen verwendet werden. Nachteilig sind bei so einfachen Linsen formbedingte Abbildungsfehler (Verzerrung & Farbfehler). Moderne Linsen können Abbildungsfehler teilweise kompensieren:

- Asphärische Linsen haben eine Oberflächenform, mit der Verzerrungsfehler korrigiert werden.
- Achromatische Linsen sind untereinander verkittete Linsen und korrigieren Farb- und Abbildungsfehler.

Um möglichst viele Bildfehler zu beseitigen, sind moderne Mikroskop-Objektive teure Mehrlinsensysteme, die zusammen mit Okular und Kondensator optimierte Abbildungen ermöglichen (wichtig: stets nur die aufeinander abgestimmten Bauteile eines Herstellers verwenden). Um Reflexionen an Linsenoberflächen zu minimieren, werden sie mit einer dünnen dielektrischen Schicht vergütet. Diese macht die Linsen mechanisch und chemisch empfindlich.

1.2 Reinigung von Linsen

Linsen sollten möglichst selten gereinigt werden; es ist daher notwendig, Linsen und Objektive staubfrei zu halten und die Flächen nie mit bloßen Fingern zu berühren. Falls sich eine Reinigung nicht vermeiden lässt, dann verwendet man für Linsen warmes Wasser und ein Spülmittel, spült anschließend mit Aqua dest. und trocknet mit fusselfreien Tüchern Flüssigkeitsreste ab.

Objektive können in dieser Weise nicht gereinigt werden; hier hilft fettfreie Druckluft und/oder Wattestäbchen (nur aus langfaseriger Baumwoll-Augenwatte, Apotheke) mit Isopropanol.

1.3 Bildkonstruktion

1.3.1 Bildkonstruktion bei dünnen Linsen

Bei der sogenannten dünnen Linse handelt es sich um eine idealisierte Vereinfachung realer („dicker“) Linsen. Hierbei wird angenommen, dass sich der Lichtstrahl anstatt an beiden Oberflächen der Linse nur noch an einer Ebene bricht. Diese sogenannte Brechebene liegt bei symmetrischen Linsen in der Mitte. Die Näherung funktioniert umso besser je kleiner das Verhältnis von der Dicke einer Linse zu ihrer Brennweite ist.

Meist sollen Linsen einen Gegenstand abbilden; die dazu notwendige Linsenanzahl kann zeichnerisch gefunden werden:

Zur Bildkonstruktion stellt man sich vor, dass jeder Gegenstandspunkt in beliebige Richtungen Strahlen aussendet. Die Linse muss dann dafür sorgen, dass sich alle diese Strahlen im zugeordneten Bildpunkt treffen. Um einen Bildpunkt zu konstruieren, zeichnet man maßstabsgetreu:

1. die Linse mit ihren beiden Brennpunkten: f_1, f_2 . Bei Sammellinsen befindet sich f_1 auf der Gegenstandsseite und f_2 auf der Bildseite. Bei Zerstreuungslinsen (mit negativem Brennpunkt) ist es umgekehrt.

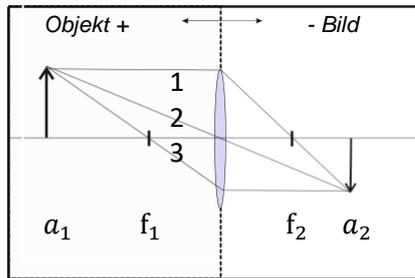


Abb. 1: Bildkonstruktion mittels Konstruktionsstrahlen: Der Schnittpunkt ausgewählter Richtungsstrahlen legt die Lage eines Bildpunktes fest (siehe Text).

2. den Gegenstand im korrekten Linsenabstand a_1 .
3. Nun kann man einen Bildpunkt mit Hilfe geeigneter Richtungsstrahlen finden (vgl. Abb. 1):
 - Richtungsstrahl, Typ 1: verläuft auf Gegenstandsseite parallel zur Achse, hinter der Linse dann durch den Brennpunkt f_2
 - Richtungsstrahl, Typ 2: geht geradlinig durch Linsenmittelpunkt
 - Richtungsstrahl, Typ 3: geht zuerst durch (f_1) und verläuft nach der Linse parallel zur optischen Achse.

Durch das Einzeichnen von mindestens zwei Richtungsstrahlen erhält man den gesuchten Bildpunkt, bei maßstabgerechter Zeichnung erhält man außerdem die korrekte Vergrößerung.

Befindet sich der Gegenstand innerhalb der Linsen-Brennweite, wird die Konstruktion etwas komplizierter, da dann die Strahlen auf der Bildseite divergent sind (d.h. auseinander laufen, Abb.2). Der scheinbare Schnittpunkt der Richtungsstrahlen befindet sich dann auf der Gegenstandsseite und man erhält ein imaginäres Bild. Dieses kann man zwar sehen, nicht aber auf einem Schirm auffangen.

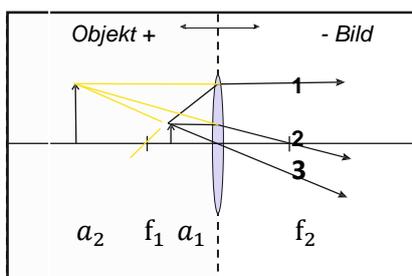


Abb. 2: Bildkonstruktion bei linsennaher Gegenstands-lage: Der Schnittpunkt der Richtungsstrahlen ist virtuell, d.h. nur die gelb gezeichneten, rückwärts verlängerten Richtungsstrahlen schneiden sich. Zusätzliche Komplikation: der Strahl (1) geht nicht durch den Brennpunkt f_1 - nur seine ebenfalls gelb gezeichnete Verlängerung.

In gleicher Weise findet man die Bildlage für Zerstreuungslinsen. Diese Linsen sind in der Mitte dünner als außen und haben negative Brennpunkte - wodurch f_1 und f_2 ihre Seiten vertauschen. Das Konstruktionsprinzip bleibt aber gleich: der Schnittpunkt der drei Richtungsstrahlen (evtl. ebenfalls rückwärts verlängert) ergibt die gesuchte Bildlage. Während man bei dünnen Linsen die im Inneren der Linse verlaufenden Lichtwege vernachlässigen kann, ist dies bei dicken Linsen oder auch bei Linsensystemen nicht mehr möglich (siehe 1.3.3).

1.3.2 Berechnung der Abbildung

Bevor wir die notwendigen Gleichungen angeben, legen wir noch die positive Richtung unseres von Linsenmittelpunkt ausgehenden Koordinatensystems fest: Positiv sind immer Positionen

(Koordinaten), die sich auf der Gegenstandsseite befinden (entsprechend negativ solche, die sich auf der Bildseite befinden).

Die Abbildungsgleichungen einer Linse setzen folgende Größen in Beziehung:

- den Abstand zum Gegenstand a_1 : dieser Abstand ist per Definition positiv zu nehmen und geht von der Linsenmitte aus (oder - bei dicken Linsen - von H_1).
- den Bildabstand a_2 : auch von der Linsenmitte gemessen, je nach Bildlage positiv (Bild liegt ebenfalls auf Gegenstandsseite) oder negativ (Bild nicht auf Gegenstandsseite). Bei dicken Linsen ist H_2 der Bezugspunkt.
- die beiden Linsen-Brennpunkte f_1, f_2 . Bei Sammellinsen liegt f_1 auf der Gegenstandsseite und ist daher positiv; f_2 ist negativ. Befindet sich die Linse in Luft ist außerdem $|f_1| = |f_2|$.
- die Brechungszahlen der Medien vor und hinter der Linse (n_1, n_2).

Die gegenseitige Lage der Brennpunkte hängt vom Einbettungsmedium der Linse ab (meist beidseitig Luft):

$$\frac{f_1}{f_2} = - \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Die Abbildungsgleichung einer Linse lautet:

$$\frac{f_1}{a_1} + \frac{f_2}{a_2} = 1 \quad (2)$$

Befindet sich die Linse beidseitig im gleichen Medium (d.h. $n_1 = n_2$), vereinfachen sich beide Gleichungen zur bekannteren **Newtonschen Abbildungsgleichung**:

$$\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f_1} \quad (3)$$

Dabei ist erneut zu beachten, dass positive Abstände zur Gegenstandsseite weisen und negative zur entgegengesetzten Seite. Die Anwendungen der Newton-Formel (3) sind einfach, man kann jeweils eine Größe aus den beiden anderen berechnen. Darüber hinaus kann man z.B. für eine vorgegebene Vergrößerung $V = \frac{a_2}{a_1}$ die Lage von Bild und Gegenstand erhalten. Dazu substituiert man in (3) mittels $V = \frac{a_2}{a_1}$ entweder a_1 oder a_2 , und erhält:

$$a_1 = f_1 \left(1 - \frac{1}{V}\right), \quad a_2 = f_1(V-1) \quad (4)$$

1.3.3 Bildkonstruktion bei dicken Linsen und Linsensystemen: Hauptebenen

Bisher wurde zur Bildberechnung und -Konstruktion die Idealisierung der dünnen Linse verwendet. Um reale bzw. dicke Linsen oder komplexere optische Systeme aus mehreren Linsen zu beschreiben, wird die sogenannte Hauptebenen-Konstruktion angewandt. Dazu werden statt einer Brechebene in der Linsenmitte, zwei Hauptebenen H_1 und H_2 zur Konstruktion der Abbildung herangezogen. Wie unter 1.3.2 beschrieben ist die Brennweite f nun von den beiden Hauptebenen aus aufzutragen. Des Weiteren bezieht sich die Gegenstandsweite auf die objektseitige Hauptebene (H_1) und Bildweite auf die bildseitigen Hauptebene (H_2), sodass weder f noch a_1 oder a_2 in diesem Fall einfach von der Linsenmitte abgemessen werden können. Optische Systeme können durch die Angabe ihrer Gesamtbrennweite f_1 und die Lage beider Hauptebenen H_1, H_2 vollständig charakterisiert werden. Es

ist z.B. möglich, die Wirkung eines Mikroskops mittels einer Hauptebenen-Konstruktion korrekt zu beschreiben.

Um die für dünne Linsen geltende Konstruktion unverändert zu übernehmen, schneidet man die Zeichnung in der Linsenebene auf und rückt die beiden Hälften um die Distanz zwischen der Hauptebenen H_1 , H_2 auseinander (Abb.3). Die Lage der Hauptpunkte ist daher verständlicherweise für dicke Linsen ein wichtiges Kennzeichen. Man erhält diese Informationen von Hersteller, aus Messungen oder aus Berechnungen:

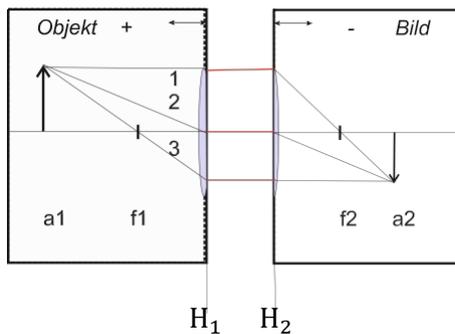


Abb. 3: Bildkonstruktion bei dicken Linsen:
Alle Abmessungen müssen nun auf die Hauptebenen H_1 und H_2 bezogen werden. Zwischen den Hauptebenen ist der Strahlenverlauf scheinbar parallel (rot gezeichnet).

Man muss sich allerdings darüber im Klaren sein, dass es sich bei den Hauptebenen um ein Konstruktionsprinzip handelt, welches der Beschreibung der optischen Eigenschaften dient. Somit weicht der tatsächliche Strahlenverlauf zwischen den Hauptebenen von den parallel verlaufenden Ersatzstrahlen ab. Zudem hat die Lage der Hauptebenen mit den physischen Abmessungen der Linse bzw. des Linsensystems nur indirekt zu tun und darf keinesfalls mit der Dicke einer Linse verwechselt werden.

1.4 Köhlersche Beleuchtung

Um 1900 konnte der Zeiss-Mitarbeiter Köhler folgendes Problem lösen: Mikroskopiert man ein Präparat, werden ohne zusätzliche Blenden nicht nur die gerade beobachteten Bereiche des Präparates ausgeleuchtet. Aus den mitbeleuchteten Nebengebieten gelangt daher Streulicht ins Objektiv, wodurch eine unscharfe und flauere Abbildung entsteht. Eine Problemlösung bestünde darin, mitbeleuchtete Nebengebiete durch eine direkt am Objekt angebrachte Lochblende abzudecken. Köhler verbesserte die Beleuchtung, indem er die Blende nicht direkt am Objekt anbrachte, sondern in einer Zwischenbildebene zwischen Beleuchtung und Objekt. Durch die Kondensorlinse wird ein verkleinertes Bild der Blende in der Präparatsebene erzeugt. Die Blende kann also geometrisch größer sein wodurch mehr Licht zur Ausleuchtung des Präparats zur Verfügung steht, ohne jedoch unerwünschtes Streulicht durchzulassen.

Die Kollektorlinse erfüllt zwei Aufgaben: Zum einen sammelt sie Licht aus einem größeren Raumwinkel und erhöht so die Lichtintensität und zum anderen projiziert sie die Lichtquelle in den Brennpunkt der Kondensorlinse und sorgt so dafür, dass die Lichtquelle nicht im Mikroskop zu sehen ist. Letzteres war zu Köhlers Zeiten von größerer Bedeutung, da als Lichtquelle vor allem Glühdrähte zur Verfügung standen, deren komplexe Struktur das Mikroskopieren sehr erschweren konnte.

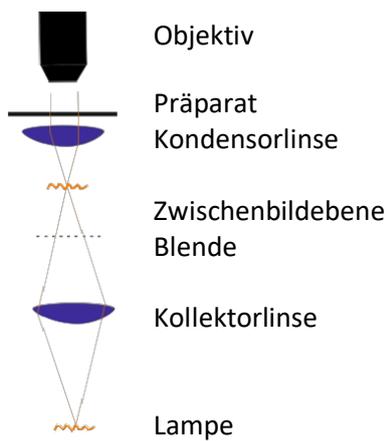


Abb. 4:

Die Beleuchtung erfolgt über einen aus Kondensor- und Kollektorlinse bestehenden Kondensor.

Einfacher Beobachtungsstrahlengang: Die Kondensorlinse bildet die Zwischenbildebene (verkleinert) ins Präparat ab. In der Zwischenbildebene befindet sich die Feldblende. Diese kann daher im Mikroskop direkt gesehen werden.

Links dargestellter Beleuchtungsstrahlengang: Die Kollektorlinse bildet den Glühfaden in die Fokusebene der Kondensorlinse ab. Das zum Objekt gelangende, von der Kondensorlinse ausgehende Licht ist daher paralleles Licht. So wird sichergestellt, dass der Glühfaden nicht im Mikroskopbild erscheint.

Insgesamt erfüllt die Köhlersche Beleuchtung folgende Kriterien:

1. Mittels Leuchtfeldblende wird unerwünschtes Streulicht beseitigt. Dazu bildet die Kondensorlinse die Blende sichtbar in die Präparatebene ab.
2. Der Glühfaden darf nicht in der sichtbaren Bildebene erscheinen. Dies wird durch eine Kombination der Linsen erreicht. Die Kollektorlinse bildet den Glühfaden in der Brennebene der Kondensorlinse ab (Wieso?).
3. Die Beleuchtungsintensität soll groß genug sein, d.h. kein Licht vergeudet werden. Um dies zu erreichen, sollte die Kondensorlinse eine geringe Brennweite und einen möglichst großen Durchmesser aufweisen. Dies ist aber nur dann von Bedeutung, wenn die Intensität der Beleuchtung tatsächlich kritisch ist (z.B. bei Fluoreszenzmikroskopie).

1.5 Aufgaben:

1.5.1 Aufbau des Videomikroskops

Das Mikroskop besteht aus einer Webcam, an die ein 10× Mikroskop-Objektiv montiert ist. Bei 10× Vergrößerung wird ein 1mm×1mm großer Gegenstand vollständig auf den ca. 10mm × 10mm großen CCD-Chip der Webcam abgebildet. Hat der Gegenstand auf dem angeschlossenen Beobachtungsmonitor eine Abmessung von 20cm×20cm, entspricht dies einer Gesamtvergrößerung von 200x. Diese Vergrößerung würde ohne limitierende Beugungseffekte beliebig gesteigert werden können - tatsächlich erreichen wir nach *Abbe*, aber nur eine maximale Auflösung von $\Delta x = \lambda/NA$, d.h. bei einer numerischen Apertur von $NA = 0.15$ (unser Fall) können wir im grünem Licht ($\lambda = 0.5\mu\text{m}$) unter optimalen Bedingungen gerade noch einen Punktabstand von $\Delta x = 0.5/0.15 \sim 3.3\mu\text{m}$ auflösen.

Wir bauen nun das Mikroskop wie folgt auf (Einheiten in mm):

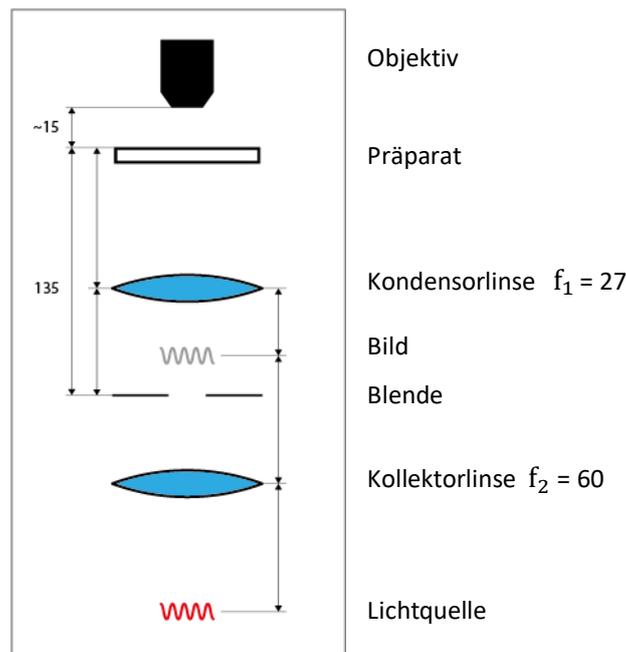


Abb. 5: Schema des Mikroskops

Nach dem Scharfstellen des Präparats befindet sich das Objektiv ca. 15mm über einem positionierbaren Tisch (Beobachtungsebene).

Die Beleuchtung erfolgt zunächst nur mit der Kaltlichtquelle, die in großem Abstand (0,5m) unter der Beobachtungsebene angebracht werden soll.

Schritt 1 (Wird in den Videos „M1 - Theorie zur Köhlerschen Beleuchtung“ erklärt und in „M2 – Experiment zur Köhlerschen Beleuchtung“ durchgeführt):

Webcam und Objektiv sind bereits so am Stativ befestigt, dass der Abstand zur Beobachtungsebene ca. 15mm beträgt. Das Präparat wird auf den Tisch gelegt und mittels Kaltlichtquelle aus großem Abstand (ca. 0.5m, von unten) belichtet. Um etwas zu sehen, wird das Kameraprogramm eingeschaltet und anschließend das Bild mit dem Feintrieb an der Tischhalterung scharf gestellt. Nach Regelung der Beleuchtungsstärke und Wahl des gewünschten Bildausschnitts wird das Bild abgespeichert. Ergebnis: Wir sehen das Objekt - allerdings bei suboptimaler Beleuchtung.

Schritt 2

Wir realisieren nun eine Köhlersche Beleuchtung und müssen dazu Kondensorlinse (f_1), Kollektorlinse (f_2), Leuchtfeldblende und die Leuchtfläche der Kaltlichtquelle korrekt anordnen: Die wesentlichen Elemente der Köhlerschen Beleuchtung sind nach obiger Abbildung die Kondensorlinse ($f_1 = 27\text{mm}$) und die Lochblende (= Feldblende). Wir beginnen mit der Feldblende, die wir in einem Abstand von $5 * f = 135\text{mm}$ unterhalb des Tisches montieren. Anschließend fügen wir die Kondensorlinse ein, die das Bild der Blende in die Präparatsebene projizieren soll. Dazu muss der erforderliche Abstand zwischen Blende und Linse a_1 berechnet werden. Hierbei kann die Newtonschen Abbildungsgleichung verwendet werden (Gl. 3), wobei a_2 mittels $a_1 - a_2 = 135\text{mm}$ substituiert wird. **Die Rechenaufgabe ist Teil der Vorbereitung. Eine Hilfestellung wird auf Moodle zur Verfügung gestellt.** Im Ergebnis

erhalten wir für a_1 zwei Werte. Überlegen Sie, welchen wir verwenden sollten. (Zur Kontrolle: die a_1 Werte liegen bei ca. 100 mm und 40 mm).

Die Blende wird geschlossen, zentriert und bis der Sichtbereich ausgeleuchtet ist aufgezogen.

Die Kollektorlinse f_2 soll ein 1:1 -Bild der Leuchtfläche der Kaltlichtquelle erzeugen (unterer Teil der Abbildung). Dazu berechnen wir die Positionen von Leuchtfläche, Bild und Kollektorlinse folgendermaßen: Aus $V = \frac{a_2}{a_1} = -1$, folgt $a_2 = -a_1$. Dies setzen wir in die Abbildungsgleichung ein und erhalten: $a_1 = 2 * f$. Und weiter: $a_2 = -a_1$ sowie Gesamtabstand = $a_1 - a_2 = 4 * f$. Verwenden Sie diese Werte und positionieren Sie die Kollektorlinse und die Kaltlichtquelle. **Vorbereitungsaufgabe zu Hause: fertigen Sie eine Gesamtskizze (mit Abmessungen) der Beleuchtung an.**

Ein Video, auf dem die Köhlersche Beleuchtung realisiert wird, steht auf Moodle zur Verfügung („**M2 – Experiment zur Köhlerschen Beleuchtung**“). Außerdem wird ein Bild des Präparats mit optimierter Belichtung generiert und steht zusammen mit dem vorherigen Bild mit gewöhnlicher Belichtung zum Download bereit. Die Wirkung der Köhlerschen Beleuchtung soll im Rahmen der Auswertung anhand eines Vergleichs der beiden Bilder erläutert werden. Mögliche Fehlerquellen bei der Versuchsdurchführung sind zu besprechen.

Gesamtergebnis: Wir haben mit einfachen Mitteln ein recht brauchbares Mikroskop aufgebaut und sind künftig in der Lage, das Köhlersche Beleuchtungsprinzip anzuwenden.

1.5.2 Messung der optischen Parameter von Linsen und Objektiven (Wird in den Videos „M3 - Theorie zur Hauptebenen-Konstruktion“ erklärt und in „M4 – Experiment zur Hauptebenen-Konstruktion“ mit Beispiel-Messwerten durchgeführt)

Wir wollen nun mit Hilfe unseres Mikroskops von einem optischen Element (Linse, Kondensator, Objektiv ...) die Brennweite und die Lage seiner Hauptebenen bestimmen.

Wir beginnen damit, uns einen ungefähren Eindruck von der gesuchten Brennweite zu verschaffen und bilden dazu eine möglichst weit entfernte Lichtquelle (zur Not die Deckenleuchte) auf einem Stück Papier ab. Der sich dabei zwischen Papier und Linse (Objektiv, Kondensator) ergebende Abstand entspricht in etwa der gesuchten Brennweite ($\sim f$).

Zur eigentlichen Messung wird der Gegenstand (hier ein Mikrometermaßstab) mit dem zu prüfenden System scharf abgebildet (vgl. Abb.4). Hierbei soll der Gesamtabstand zwischen Bild und Gegenstand zunächst $\sim 5*f$ betragen. Anschließend werden die Abstände x, y relativ zu einer willkürlichen gesetzten Markierung gemessen. Diese Markierung wird in allen folgenden Messungen beibehalten und muss also mit der zu prüfenden Linse stets mitverschoben werden (daher eignet es sich, die Markierung auf dem Linsengehäuse zu setzen). Anschließend wird die Größe des abgebildeten Mikrometer-Maßstabs am Monitor abgemessen (L). Die Positionen von H_1, H_2 können durch folgendes Verfahren (Abbe-Verfahren, siehe Abb. 6) gefunden werden.

Zur Auswertung der gemessenen Daten gehen wir von Gl. (4) aus. Die resultierende Vergrößerung errechnet sich durch $V = -L/O$. Da wir a_1 und a_2 nicht direkt bestimmen können, substituieren wir entsprechend der Abbildung a_1 durch $x - H_1$ sowie a_2 durch $y - H_2$ und erhalten:

$$x = H_1 + f_1 (1 - 1/V), y = H_2 + f_1 (V - 1) \quad (5)$$

Entsprechend der ersten Gleichung tragen wir die fünf gemessenen x -Werte gegen die zugehörigen $(1 - 1/V)$ - Werte auf. Aus der Geradenanpassung erhalten wir dann f_1 und H_1 . In analoger Weise bestimmen wir durch Auftragung von y gegen $(V - 1)$ die Parameter f_1 und H_2 .

Hinweis: Bei der Auswertung ist es wichtig, sich an die Vorzeichenkonvention zu halten. Zudem gilt es die Anzahl der Skalenteile zu beachten.

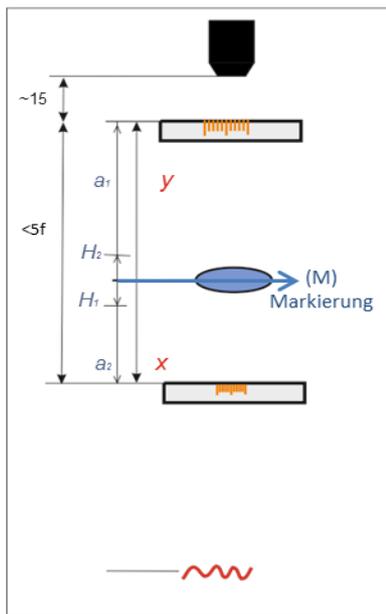


Abb. 6: Bestimmung von Brennweite und Hauptebenenlage

Zunächst wird ein Mikrometer-Maßstab auf **die ursprüngliche Objektträger - Position** gelegt, scharf gestellt und betrachtet. Der Abstand zwischen zwei großen Maßstabs-Markierungen wird auf dem Monitor ausgemessen und als **O (Originalgröße) [cm]** notiert.

Anschließend befestigen wir den Prüfling (Objektiv, Linse) und darunter eine Maßstabhalterung so am Stativ, dass der Gesamtabstand ca. $5 \cdot f$ beträgt. Der Mikrometermaßstab wird nun auf die Halterung gelegt und durch Verschieben des Prüflings scharf abgebildet. Dann werden **x, y** (mit dem Lineal) und **L**- Maßstab auf dem Bildschirm [cm] (wieder auf dem Monitor) gemessen und in eine Tabelle eingetragen.

Diese Messungen werden bei insgesamt 5 unterschiedlichen Gesamtabständen ausgeführt, wobei der Gesamtabstand schrittweise zwischen $(4-6) \cdot f$ verkleinert und vergrößert wird.

1.6.1 Protokoll, Teil 1

Diskutieren Sie im Zusammenhang mit den oben gegebenen Aufgaben an den passenden Stellen des Protokolls folgende Punkte (aber nicht einfach nur als Verweise auf das Skript!):

- das Prinzip der Köhlerschen Beleuchtung und die Wirkungsweise der einzelnen Elemente (mit einer Skizze Ihres Aufbaus, inkl. Abstände).
- die durch das Mikroskop erzielte Vergrößerung und den Begriff der "förderlichen Vergrößerung" (hier u.U. im Netz nachschauen).
- das Verfahren zur Bildkonstruktion für "dicke" Linsen
- das Verfahren zur Bestimmung der optischen Parameter (inkl. graphische Bestimmung von H_1 , H_2 und f)

Wichtig: bitte kennzeichnen Sie die Verwendung von Quellen (auch aus dem Internet, sowohl im Text als auch bei Abbildungen!). Reine Copy und Paste-Passagen werden nicht anerkannt.

1.6.2 Vorbereitungsaufgaben/-fragen

- **Wichtig: die im Text (z.B. Abschnitt 1.5) genannten Rechnungen und Skizzen müssen zuhause durchgeführt werden:**
 1. Abstand zwischen Kondensorlinse und Feldblende
 2. Abstand zwischen Kollektorlinse, Lichtquelle und Bild
 3. Skizze des Aufbaus mit den relevanten Abständen der Komponenten
- Nennen Sie die Newtonsche Abbildungsgleichung.
- Führen Sie eine Bildkonstruktion aus (Beispiel: Linse ($f=20\text{mm}$), Gegenstandslage= 50mm ; wo ist das Bild, was die Vergrößerung V ?).
- Was ist das Prinzip der Köhlerschen Beleuchtung?
- Wovon hängt die förderliche Verstärkung eines Mikroskops ab (nach Abbe)?