

Versuchsanleitung 0 4 : Auflichtmikroskop

1 Einleitung

Schon mit einem einfachen Auflichtmikroskop kann man Kleinteile und Oberflächenstrukturen nicht nur beobachten, sondern unter Zuhilfenahme von Objektmikrometer und Messschraubenokular auch ausmessen. Für bestimmte Messaufgaben werden darüber hinaus besondere Auflichtmikroskope, wie z. B. Lichtschnittmikroskope, Messmikroskope u. a. eingesetzt.

Primär erfassen diese Messungen Längen, darauf aufbauend lassen sich aber auch Flächen, Winkel und andere Kenngrößen der Messobjekte bestimmen.

Das mikroskopische Messen erfolgt berührungslos und kann Objekte bis in den Submikrometerbereich mit guter Messgenauigkeit erfassen.

Auflichtmikroskope sind i. Allg. mit Hell- und Dunkelfeldeinrichtungen ausgestattet. So ist fast immer die Ausleuchtung eines Objektes mit gutem visuellem Kontrast möglich.

2 Grundlagen

Die Abbildung im Mikroskop erfolgt in zwei Stufen: durch das Objektiv und das Okular.

Zunächst bildet das Objektiv der Brennweite f_{ob} (vgl. Bild 1) den Gegenstand y in das reelle Zwischenbild y' ab.

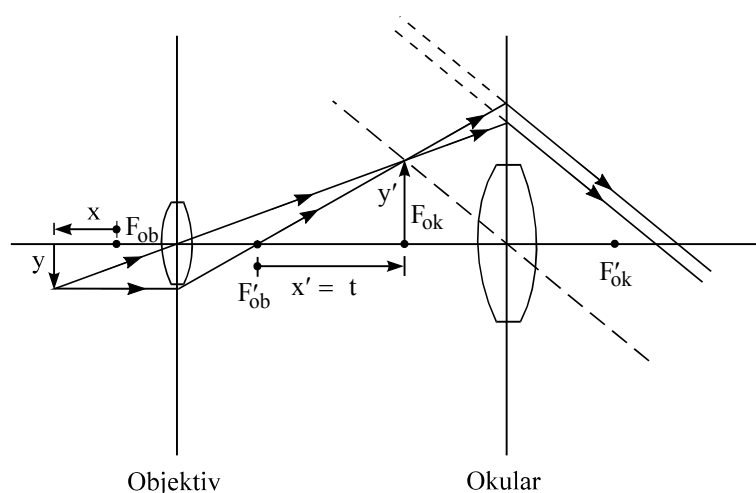


Bild 1 Strahlengang im Mikroskop

Soll die Bildweite x' des Zwischenbildes der durch die Konstruktion festgelegten "optischen Tubuslänge" t (meist gleich 160 mm) entsprechen, muss eine Gegenstandsweite

$$x = \frac{f_{ob}^2}{t} \quad (2-1)$$

eingestellt werden. Das geschieht beim "Scharfstellen" durch Verschieben des Objektisches (oder des Tubus). Das Zwischenbild erscheint im Abbildungsmaßstab

$$\beta' = -\frac{t}{f_{ob}} \quad (2-2)$$

vergrößert, steht auf dem Kopf und ist seitenverkehrt. In Bild 1 wurden zur Konstruktion des Zwischenbildes ein Parallelstrahl und ein Mittelstrahl benutzt. Das Zwischenbild wird dann durch das Okular wie durch eine Lupe betrachtet und dabei seitenrichtig und aufrecht vergrößert.

In Bezug auf das Objekt bleibt das im Okular sichtbare Bild natürlich kopfstehend und seitenverkehrt.

In Bild 1 wird angenommen, dass das hinter dem Okular befindliche (nicht dargestellte) Auge "entspannt" ist.

In einem entspanntem Auge ist das abbildende System so akkomodiert (eingestellt), dass es (z. B. von unendlich fernen Punkten herrührende) Parallelbündel auf die Netzhaut fokussiert.

Will man mit so entspanntem Auge das virtuelle Okularbild des Zwischenbildes sehen, müssen die Strahlen das Okular parallel verlassen. Das ist der Fall, wenn das Zwischenbild in der Brennebene des Okulars steht.

In Bild 1 wird zur Bildkonstruktion am Okular ein durch Okularmitte und "Spitze" des Zwischenbildes verlaufender Hilfsstrahl verwendet. Er gibt die Richtung des aus dem Okular austretenden Parallelbündels an.

Die Okularvergrößerung (Normalvergrößerung der Lupe) ist

$$\Gamma' = \frac{S}{f_{\text{ok}}} \quad . \quad (2-3)$$

(Dabei ist die deutliche Sehweite $S = 250 \text{ mm}$ die Entfernung, die ein normalsichtiger Mensch zur Nahbetrachtung, z. B. zum Lesen, verwendet).

Aus (2-2) und (2-3) folgt für die sogenannte Normalvergrößerung des Mikroskops (dem Betrage nach)

$$\Gamma = \frac{t \cdot S}{f_{\text{ob}} \cdot f_{\text{ok}}} \quad . \quad (2-4)$$

Der Wert der Normalvergrößerung entspricht dem Produkt der auf Objektiv und Okular angegebenen Vergrößerungen.

Die Normalvergrößerung sollte allerdings nur als Anhaltswert dienen, denn im konkreten Fall ist nicht überprüfbar, ob mit entspanntem Auge beobachtet wird.

Bei mikroskopischen Messungen wird daher das Okular mit Hilfe eines Objektmikrometers kalibriert.

Beim Mikroskopieren muss nicht unbedingt visuell beobachtet werden. Man kann das Zwischenbild auch auf ein Papierblatt zum Abzeichnen, an die Wand, auf einen Transparenschirm, in eine Photokamera oder in eine Videokamera projizieren. In diesen Fällen tritt an die Stelle des Objektivs ein sogenanntes Projektiv, das Zwischenbild steht dann außerhalb der Brennweite dieses Projektivs.

Vereinfachend wurden bisher Objektiv und Okular als einfache (dünne) Linsen behandelt. Das dient dem leichteren Verständnis der Bildentstehung, entspricht aber nicht den Tatsachen.

Objektiv und Okular sind stets hinsichtlich verschiedener Abbildungsfehler korrigierte Systeme aus mehreren Einzellinsen.

3 Versuchsanordnung

Das im Versuch eingesetzte Mikroskop besitzt einen drehbaren Koordinatentisch zur Aufnahme des Objektträgers. Das Objekt kann so geeignet positioniert werden.

Das Scharfstellen erfolgt durch die Tischbewegung mit Hilfe des Haupttriebes (grob und fein). Sie ist mit der gebotenen Vorsicht durchzuführen, um Objektiv und Objekt nicht durch "Auffahren" zu beschädigen.

Die Vergrößerung wird durch Einschieben eines anderen Objektivschlittens gewechselt. Dieser trägt außer dem Objektiv auch den jeweils angepassten Dunkelfeldkondensor.

Der Wechsel der Beleuchtung erfolgt an einem dafür vorgesehenen Umschaltknopf.

Bei Hellfeldbeleuchtung fällt das Licht seitlich auf einen halbdurchlässigen Spiegel und von da durch das Objektiv hindurch auf das Objekt. Das vom Objekt senkrecht nach oben reflektierte Licht tritt wieder durch den Spiegel und gelangt dann in das Okular.

Der visuelle Kontrast im Hellfeld hängt davon ab, wie unterschiedlich die verschiedenen Stellen des Objektes in Normalenrichtung reflektieren.

Bei Dunkelfeldbeleuchtung wird mittels geeignet geformter Spiegel ein ringförmiges Lichtbündel erzeugt. Dieses tritt in den Dunkelfeldkondensor ein. An seinem unteren Ende befindet sich ein Innenkegelspiegel. Er lenkt das Licht von allen Seiten unter (zur Flächennormalen) großem Einfallswinkel auf das Objekt. Nur diffus reflektiertes Licht vermag jetzt noch vom Objekt in das Objektiv und von da in das Okular zu gelangen. Der visuelle Kontrast im Dunkelfeld hängt deshalb vor allem davon ab, ob die verschiedenen Stellen des Objektes gerichtet oder diffus reflektieren.

Das zum Messen verwendete Messschraubenokular erlaubt das Abtasten des Zwischenbildes mit einem feinfühlig verstellbaren Fadenkreuz (Bild 2). Die Fadenkreuzposition kann an einer Skale im Okular und an der Verstelltrommelteilung abgelesen werden.

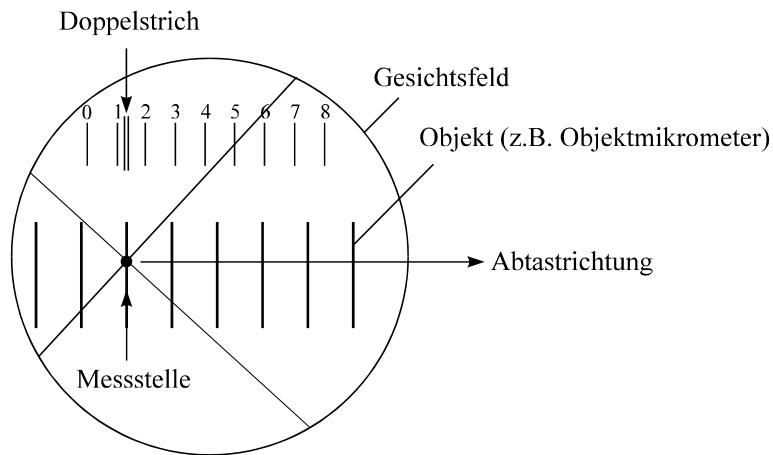


Bild 2 Fadencross des Messschraubenokulars

Zunächst kalibriert man das Messschraubenokular für die gewählte Vergrößerung mit Hilfe eines Objektmikrometers. Das ist eine auf Glas aufgedampfte Teilung mit bekanntem Teilstrichabstand b (z. B. 0,1 mm oder 0,01 mm). Tastet man z Teilstrichabstände mit dem Fadencrossschnittpunkt ab und verschiebt sich dieser dabei von Position A_1 nach A_2 , so folgt für den Skalenwert des Messschraubenokulars

$$k = \frac{z \cdot b}{(A_2 - A_1)} \quad (3 - 1)$$

Die Messobjekte werden entweder mit dem Fadencrossschnittpunkt oder dem Fadencrossbalken abgetastet. Die festgestellte Verschiebung in Skalenteilen wird mit dem Skalenwert multipliziert und liefert die gesuchte Messgröße. Wurde mit dem Fadencrossbalken abgetastet, ist das Messergebnis zusätzlich durch $\sqrt{2}$ zu teilen. Alle Messungen sind mehrfach auszuführen und statistisch auszuwerten.

4 Aufgaben

Für die Objekte (Objektmikrometer und Messobjekte) ist die jeweils günstigere der beiden Beleuchtungsarten auszuwählen.

Sodann sind zu bestimmen:

- 4.1 Der Skalenwert der Okularmessschraube bei der eingesetzten Vergrößerung. Dabei verwende man das jeweils besser geeignete der beiden Objektmikrometer.
- 4.2 Eine charakteristische Länge an einem Messobjekt der Gruppe I (ohne Fehlerbetrachtung).
- 4.3 Eine auf Längenmessungen beruhende charakteristische Größe eines Messobjektes der Gruppe II (mit Fehlerbetrachtung).

5 Fragen

- 5.1 Was versteht man unter der sogenannten deutlichen Sehweite oder Bezugssehweite S ?
- 5.2 Auf einer Objektskala (Skalenwert 0,01 mm) tastet man $z = 60$ Teilstrichabstände ab, wodurch die Anzeige des Messokulars (MO) von 273 Skalenteilen auf 561 Skalenteile wandert. Welchen Skalenwert k hat das MO?
- 5.3 Was beinhaltet der Begriff "entspanntes Auge"?
- 5.4 Skizzieren Sie den Strahlengang im Mikroskop bei visueller Beobachtung mit entspanntem Auge.
- 5.5 Geben Sie die Formel für die sogenannte Normalvergrößerung eines Mikroskopes an.
- 5.6 An welcher Stelle im Strahlengang des Mikroskopes muss sich das Fadenkreuz des Messokulars befinden?
- 5.7 Was versteht man unter der optischen Tubuslänge t eines Mikroskopes?
- 5.8 Ein Mikroskopobjektiv hat 16 mm Brennweite, die optische Tubuslänge ist $t = 160$ mm. Wievielfach ist das Zwischenbild vergrößert, wenn es in der Okularbrennebene entsteht?
- 5.9 Rasterelemente (Punkte) haben einen Abstand $R = 166,7 \mu\text{m}$. Welcher Rasterzahl (Anzahl der Punkte pro cm) entspricht das?
- 5.10 Fertigen Sie je eine Prinzipskizze der a) Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung und b) Auflicht-Dunkelfeld-Beleuchtung.

Literatur

- | | | |
|-------|-----------------------|---|
| [1] | Recknagel, A. : | Physik/Optik
Verlag Technik, Berlin, 1990
ISBN 3-341-00844-6 |
| [2] | Geschke, D. (Hrsg.) : | Physikalisches Praktikum
Teubner-Verlag, Leipzig, 2001
ISBN 3-519-10206-4 |
| [3] | Hering, E. u.a. : | Physik für Ingenieure
Springer-Verlag, Berlin, 2004
ISBN 3-540-21036-9 |