

Wolf's ball-lens microscope

Ein "Mikroskop der besonderen Art": Hommage á Antoni van Leeuwenhoek
© Rainer Wolf, Biozentrum der Universität Würzburg (dorle@dorle-wolf.de)

- Ein Mikroskop - nicht größer als ein Norm-Objektträger
- passt in handelsübliche Präparate-Behälter
- einfachste Bedienung: Mikroskop auf das Präparat auflegen
- Grobfokussierung durch Verkippen des Objektträgers, Feinfokussierung durch elastisches Verbiegen
- einstufige Lupenvergrößerung durch geschliffene Glas-Kugellinse
- Vergrößerung wahlweise 85 oder 170fach, Apertur 0,5
- kleinster aufgelöster Abstand $1 \mu\text{m}$ (= 1/5 des maximalen Auflösungsvermögens von Hochleistungs-Lichtmikroskopen)
- Weitwinkelblickfeld (ca. 45°)
- sichtbares Feld im Präparat je nach Vergrößerung ca. 4 oder 1 mm^2 für Mikroaufnahmen geeignet
- Erzeugen von Stereobildpaaren durch schiefe Beleuchtung
- geeignet zum Betrachten der Sehzell-Kerne der eigenen Netzhaut
- Lieferung in Norm-Präparatebox mit Musterpräparat (gefärbtes histologisches Schnittpräparat von Robin Wacker, Physiol. Chemie, Biozentrum der Univ. Würzburg), Halteklammer, ansteckbare Aperturblende, Bedienungsanleitung und Infoblatt "Sehzellen"

Technische Daten

Einstufige Lupenvergrößerung: Sehweite 250 mm/Brennweite (mm)
Brennweite f und Vergrößerung von Kugellinsen vom Durchmesser D :

$$f = n \cdot D / (n - 1)$$

Für Glaslinsen (Brechungsindex $n_{\text{Glas}} = 1,517$) beträgt die Brennweite f

$$\text{mit } D = 2 \text{ mm} \Rightarrow f = 1,48 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vgr. } 170\times$$

$$\text{mit } D = 2,5 \text{ mm} \Rightarrow f = 1,84 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vgr. } 136\times$$

$$\text{mit } D = 4 \text{ mm} \Rightarrow f = 2,92 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vgr. } 85\times$$

Numerische Apertur NA von Kugellinsen mit Brechungsindex n und dem (durch die Fassung begrenzten) wirksamen Durchmesser d :

$$NA = 2d(n-1)/n \cdot D$$

Mit $d = D/5$ beträgt die numerische Apertur generell **NA = 0,55**

Auflösungsvermögen von Kugellinsen (kleinster aufgelöster Abstand):

$$a = 500 \cdot 1,3 / (NA + \text{Beleuchtungsapertur } 0,1) \Rightarrow \mathbf{a = 1 \mu\text{m}}$$

Anleitung:

- Mikroskop mit der ungeriffelten Fläche passgenau auf das Präparat legen (das Deckglas der Kugellinse zugewendet) und beide Teile auf der abgeschrägten Seite des Mikroskops mit der beiliegenden Metallklammer, und zusätzlich mit Zeigefinger und Daumen einer Hand, zusammendrücken (Abb. 1)
- Kugellinse mit der gemusterten Edelstahlfassung ganz dicht vor ein Auge halten und dabei die andere Seite des Objektträgers mit Zeigefinger und Daumen der anderen Hand zart gegen das Mikroskop drücken, bis das Bild scharf ist ("*Grobfokussierung*")
- Stets ohne Brille mikroskopieren, sonst ist das überschaubare Sehfeld klein!
- Als Lichtquelle eignet sich eine *mattierte, homogen strahlende* kugelförmige 220V-Birne. Beste Abbildungsqualität erhält man, wenn man die optische Achse des Mikroskops *exakt* auf diese Lichtquelle ausrichtet und genau senkrecht hineinblickt. In diesem Fall benötigt man keine Aperturblende
- Einfache Kugellinsen haben erstaunlich gute Abbildungseigenschaften (1). Um restliche Abbildungsfehler zu minimieren, sollte die Beleuchtungsapertur maximal 1/3 der Linsenapertur betragen, also keinesfalls höher sein als 0,17

Beispiele:

Beleuchtungsapertur bei Lampendurchmesser 6 cm:

0,29 bei 10 cm Abstand zur Lampe (Apertur zu hoch)

0,15 bei 20 cm Abstand zur Lampe

0,10 bei 30 cm Abstand zur Lampe (optimal)

Beleuchtungsapertur bei Lampendurchmesser 10 cm:

0,16 bei 30 cm Abstand zur Lampe

0,12 bei 40 cm Abstand zur Lampe (optimal)

0,10 bei 50 cm Abstand zur Lampe

Ist keine geeignete Lichtquelle vorhanden, hält man das Mikroskop gegen eine helle Fläche, z.B. gegen den Himmel, und begrenzt die Beleuchtungsapertur: Man steckt das beiliegende Aperturblenden-Federblech seitlich in den Spalt zwischen den Linsenhaltern und zentriert die Blendenöffnung zur Kugellinse. Hierzu wird der Blendenhalter verschoben, bis die Bildmitte maximal hell ist

- Zum Feinfokussieren befestigt man eine oder mehrere Schichten Klebeband (z.B. 15 mm breiten Tesafilm, in Abb. 1 schraffiert) seitlich auf der ungeriffelten Fläche. Nun klemmt man das Präparat dort mit der Metallklammer am Mikroskop fest und drückt Präparat und Mikroskop mit Zeigefinger und Daumen zusammen. Die Feinfokussierung erfolgt dann auf der anderen Seite durch zartes Zusammendrücken von Präparat und Mikroskop mit Daumen und Zeigefinger der anderen Hand, wobei sich der Ob-

jektträger elastisch verbiegt. Die richtige Dicke des Klebebandes hängt von der Deckglasdicke des Präparats ab. Man wählt sie so, dass das betrachtete Objekt im "Überfokus" ist (also etwas zu weit entfernt von der Kugellinse), wenn man die andere Objektträgerseite *nicht* andrückt, aber im "Unterfokus" (der Linse zu nah), wenn das Präparat das Mikroskop berührt

- Bei der Ausführung mit 4 mm dicker Kugellinse kann man *durch den Objektträger hindurch* mikroskopieren, so dass das Deckglas frei liegt und nicht berührt wird (für Frischpräparate geeignet)
- Die Linse muss ganz sauber sein! Dreht man das Mikroskop um die optische Achse und blickt ohne Präparat hinein, darf sich *nichts im Bild mitdrehen*. Besonders der augenseitige Teil der Kugellinse ist vor jedem Gebrauch zu säubern - er wird durch die Wimpern verschmutzt! Falls nötig, mit einer starken Lupe überprüfen
- Säubern der Kugellinse: trocken mit frisch gebrochenem Styropor, das man auf die Linse drückt und konzentrisch zu ihr dreht. Alternativ mit weichem Stoff oder mit Wattestäbchen, das man - falls nötig - unmittelbar davor *ganz kurz* in Aceton taucht, auf die Linse drückt und dabei dreht. Rasch arbeiten, sonst wird der aus Kunststoff bestehende Watterträger angelöst und verschmiert die Linse!
- Strukturen, die sich beim Wechseln der Blickrichtung träge mitbewegen, sind "*mouches volantes*": Schatten von Glaskörper-Einschlüssen im Auge, die in jedem Mikroskop bei ähnlich kleiner bildseitiger Strahlapertur, also bei hoher Vergrößerung, störend sichtbar werden. Auf Mikrographien treten sie nicht auf!
- Richtet man das Mikroskop ohne Präparat gegen eine helle Lichtquelle, erzeugt die Kugellinse eine homogen helle Fläche und dient zugleich als *Pinhole*-Blende. Bewegt man nun das Mikroskop sehr rasch - senkrecht zur Blickrichtung - kreisförmig mit einem Bahndurchmesser von 2-3 mm, so werden die *mouches volantes*, deren Schatten entsprechend schnell über die Retina huschen, unsichtbar. Stattdessen sieht man nun scharfe Schatten von Strukturen, die *dicht über* der lichtempfindlichen Schicht liegen: die Netzhautkapillaren, die die Foveola aussparen, und dazwischen eine Struktur aus feinen Pünktchen. Auf der Netzhaut haben diese Pünktchen einen Abstand von ca. $15 \mu\text{m}$ - die Größe einer Zelle. Da die Sehzellen völlig transparent sind, muss das sichtbare Punktmuster durch Zellstrukturen mit *abweichendem Brechungsindex* erzeugt werden: durch die *Kerne der Sehzellen*, die wegen ihres höheren Brechungsindex wie Kugellinsen wirken und das Licht bündeln
- Mikrofotografie mit Digitalkameras (z.B. mit der Nikon Coolpix 4500) nach dem Prinzip "an Stelle des Auges die Kamera" (Abb. 2, 3): Kameraobjektiv nach oben richten, Mikroskop *waagrecht* so auf das Objektiv legen, dass die Kugellinse genau in der optischen Achse ist, und von oben beleuchten, am besten mit einer kugelförmigen Netzlampe. Brennweite anpassen bis das ganze Bildfeld ausgefüllt ist, Kameraobjektiv auf Unendlich, Scharfeinstellung (Feinfokussierung!) am Kamerabildschirm überprüfen.
- Endvergrößerung:
 $\text{Vgr}_{\text{ges}} = \text{Vgr}_{\text{Mikroskop}} \cdot 0,56 \cdot \text{Kamerabrennweite [mm]} \cdot \text{Endbildbreite [m]}$
- Mit manipulatorischem Geschick lassen sich auch *mikroskopische Stereobildpaare* herstellen, indem man *nacheinander* die beiden Halbbilder - bei *schiefer Beleuchtung*, einmal schräg von links und einmal schräg von rechts beleuchtet! - photographiert (2, 3). Hierzu wird die Aperturblende, ausgehend von der optimalen Mitte-Position, einmal etwas nach links und danach etwas nach rechts verschoben

Literatur:

- (1) Ford B.J.: Single Lens. The Story of the Simple Microscopy. Heinemann, London (1985)
- (2) Wolf R, Fischbach KF: Räumliches Sehen im Lichtmikroskop. Mikroskopos 74:257-266 und 74:292-298 (1985)
- (3) Wolf R: A beam-splitting microscope tube for simultaneously taking stereo pairs with high resolution Nomarski optics, phase contrast, or epifluorescence. J. Microscopy (London) 153:181-186 (1989)
- (4) Wolf R, Schuchardt M, Rosenzweig R: Was wir nicht wahrnehmen, obwohl es die Augen "sehen": Ein Blick auf die eigenen Sehzellen. 5.Tübinger Wahrnehmungskonferenz (Bülhoff H, Ed). Knirsch, Kirchentellinsfurt, 73 (2002)

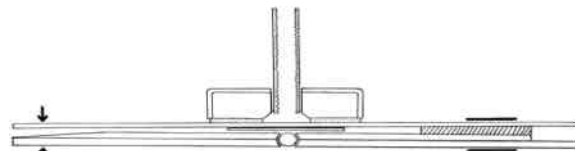


Abb. 1 Längsschnitt durch das betriebsbereite Mikroskop. Zur Feinfokussierung: links drücken (Pfeile)!

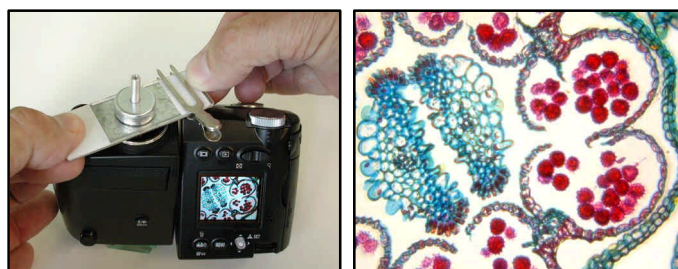


Abb. 2 Mikrofotografie des Testpräparats mit der Digitalkamera Coolpix 4500 (opt. Tele: $f = 32 \text{ mm}$)

Abb. 3 *Bellis perennis* (Gänseblümchen), Blüte quer. Spezialfärbung von R. Wacker, Endvergr. 150:1