

Objektivabgleichlänge, Ausgleichsringe, Parfokalität

Florian Dufey

30. August 2022

Wie wirkt sich eine Abweichung der Geometrie auf die Abbildung aus? Zwei Beispiele:

1. Ein Objektiv mit 37 mm Abgleichlänge wird mit einem leeren Zwischenring der Länge 8 mm auf eine Abgleichlänge von 45 mm adaptiert. Wie verändert sich dadurch der Abstand von der Frontlinse zum Objekt?
2. Die Mikroskope und Objektive der Firma Leitz waren zunächst für eine nominale Tubuslänge von 170 mm ausgelegt, ab den Siebziger Jahren jedoch auf 160 mm. Was ist zu beachten, wenn ein neueres Objektiv an einem älteren Stativ verwendet wird?

Wichtiger als die nominale Tubuslänge ist die Bildweite des Objektivs. Bei Tuben der 170 mm Ära der Firma Leitz betrug diese 152 mm, in der 160 mm Tubuslängenära hingegen 150 mm. Der Unterschied beträgt also nur 2 mm. In gleicher Weise wirkt sich auch ein Zwischenring ohne Zerstreuungslinse auf die Bildweite aus. Die Bildweite wird um die Länge des Ringes verlängert.

Interessant ist nun insbesondere, wie sich die Veränderung der Bildweite auf die Gegenstandsweite und damit auf den Abstand Objekt – Objektivlinse auswirkt. Dies kann man einfach aus der Linsengleichung berechnen,

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Hierbei ist g die Gegenstandsweite, b die Bildweite und f die Brennweite der Linse. Bekannt ist zunächst nur der Nominalwert der Bildweite b und das Vergrößerungsverhältnis x des Objektivs, vergleiche Abb. 1. Nun gilt aber,

$$x = \frac{b}{g},$$

woraus sich für die Gegenstandsweite

$$g = \frac{b}{x}$$

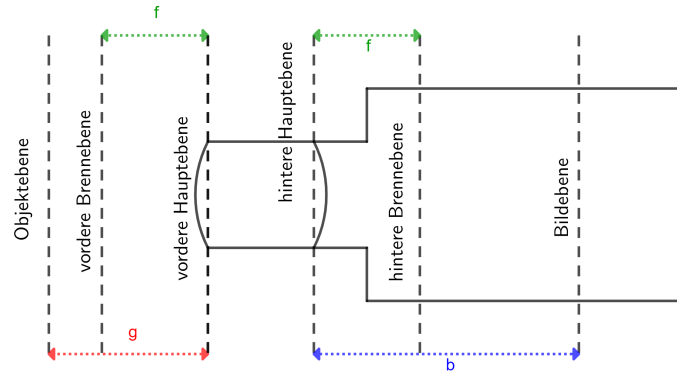


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Mikroskops (ohne Okular). Das Objektiv hat 2 Hauptebenen und 2 Brennebenen, jeweils im Abstand f von den Hauptebenen. Die Objektebene und Bildebene haben von den Hauptebenen jeweils den Abstand g und b .

und für die Brennweite

$$f = \frac{b}{x+1}$$

ergibt. Sei nun b' die tatsächliche Bildweite und wir suchen die neue Bildweite b' . Die Brennweite ist eine Konstante des Objektivs, so dass $f' = f = b/(x+1)$. Damit erhält man wiederum nach Auflösung der Linsengleichung

$$\frac{1}{g'} + \frac{1}{b'} = \frac{1}{f'} = \frac{x+1}{b}$$

zunächst

$$\frac{1}{g'} = \frac{x+1}{b} - \frac{1}{b'} = \frac{b'(x+1) - b}{bb'}$$

und nach Inversion für die neue Gegenstandsweite

$$g' = \frac{bb'}{b'(x+1) - b} = \frac{b}{x} \frac{b'x}{b'(x+1) - b}.$$

Interessant ist insbesondere die Änderung der Gegenstandsweite.

$$g' - g = \frac{b}{x} \left(\frac{b'x}{b'(x+1) - b} - 1 \right) = \frac{b}{x} \frac{b - b'}{b'(x+1) - b}.$$

Ist der Unterschied zwischen b' und b klein gegen b , so gilt in guter Näherung

$$g' - g \sim \frac{b - b'}{x^2}$$

für die absolute Änderung der Gegenstandsweite und

$$\frac{g' - g}{g} = \frac{b - b'}{bx}$$

für die der relativen Gegenstandsweite.

Betrachten wir nun das erste Beispiel für ein niedrig vergrößerndes Objektiv mit $x = 3.5$. Durch den Zwischenring verändert sich die Bildweite um 8 mm und die Gegenstandsweite mithin um 0.66 mm. Die relative Änderung beträgt allerdings nur 0.12 %. Eine Änderung der Gegenstandsweite um 0.66 mm wird Anlass zu Kollisionen beim Vergrößerungswechsel liefern. Allerdings wird ein relativer Fehler von 0.12 % die Abbildungsqualität (Farbfehler etc.) kaum beeinflussen.

Mit einem Objektiv mit $x = 20$ beträgt die Änderung der Gegenstandsweite nur noch $20 \mu\text{m}$ und Kollisionen sind nicht mehr zu befürchten.

Will man für niedrige Vergrößerungen einen angepassten Ring drehen, so dass für ein Objektiv mit Abgleichlänge d (z. B. 37 mm) die Abgleichlänge mit Ring d' (z. B. 45 mm) beträgt, so löst man

$$b' + g' - d' = b + g - d$$

zu

$$b' - b + g' - g = d' - d$$

oder

$$(b' - b) \left(1 - \frac{1}{x^2}\right) = d' - d,$$

woraus man die Dicke des Ringes zu

$$b' - b = \frac{d' - d}{1 - \frac{1}{x^2}}$$

erhält. Für höhere Vergrößerungen kann man, wie oben gezeigt, $b' - b \approx d' - d$ setzen. Für die das Beispiel mit $x = 3.5$ ergibt sich für die optimale Breite des Ringes $b' - b = 8.7 \text{ mm}$.

Noch günstiger sind die Verhältnisse bei der Verwendung von Objektiven die für 170 mm Tubuslänge gerechnet sind an einem Mikroskop der Tubuslänge 160 mm oder andersherum. Leitz sieht hier ab einer Vergrößerung von 16 keine Probleme. Tatsächlich ergibt sich für ein Objektiv der Vergrößerung 16 mit 2 mm Bildlängendifferenz eine Gegenstandsweitenänderung von $8 \mu\text{m}$. Für höhervergrößernde Objektive nimmt diese schnell weiter ab.

Petrologische Dünnschliffe haben eine Dicke von $25 - 30 \mu\text{m}$ und auch biologische Präparate bewegen sich in dieser Größenordnung. Für höhervergrößernde

Objektive wird also weder die Mischung von Objektiven für verschiedene nominale Tubuslänge noch die Verwendung eines Zwischenringes ohne Zerstreuungslinse zu Problemen mit der Parfokalität führen.

Im Anschluss hieran kann man auch die Änderung des Fokus diskutieren, der sich ergibt, wenn man als Fehlsichtiger statt mit Fernbrille ohne Brille (und ohne fokussierbare Okulare) mikroskopiert. Sei V die Vergrößerung des Okulars, so ergibt sich mit der optimalen Sehdistanz $s_0 = 250$ mm für die Brennweite F des Okulars

$$F = \frac{s_0}{V}.$$

Für Normalsichtige ist das Okular so angebracht, dass sich das Zwischenbild des Objektivs im Brennpunkt des Okulars befindet. Das Bild des Okulars wird dabei ins Unendliche projiziert.

Bei einem Fehlsichtigen mit Dioptriezahl D wird das Bild optimalerweise in die Entfernung $1/D$ projiziert. Dann ergibt sich für die Änderung der Lage der Gegenstandsdistanz G (= Zwischenbild des Mikroskops) des Okulars

$$\frac{1}{G} = \frac{1}{F} - D.$$

Näherungsweise ergibt sich

$$G - F \approx DF^2 = D \frac{s_0^2}{V^2}.$$

Mithin verschiebt sich die Lage des Zwischenbilds pro Dioptrie um 0.625 mm. Dies wird sich wiederum am ehesten bei kleinen Vergrößerungen des Objektivs auswirken.