

Methode:

Umrüstung von Mikroskopen mit fremden Bauteilen

Literatur: GÖKE, G.: Moderne Methoden der Lichtmikroskopie.

Anwendungsbereich:

Alle Mikroskope mit Endlich-Optik

Bastelfreudige Hobby-Mikroskopiker finden auf Foto-Börsen und Flohmärkten manchmal preiswerte Objektive, Okulare, Kondensoren und Tuben, die sie an ihr Mikroskop anpassen möchten. Dabei wird häufig übersehen, daß die Mikroskophersteller zum Teil sehr unterschiedliche Anpassungsmaße bevorzugen und daß zwischen der mechanischen Tubuslänge und den Objektiv- und Okularabgleichlängen gesetzmäßige Beziehungen bestehen, deren Nichtbeachtung zur Bildverschlechterung führen kann. Die Leistung hochwertiger Objektive wird durch eine falsche Anpassung vermindert. In diesem Beitrag werden die Zusammenhänge zwischen mechanischer und optischer Tubuslänge einerseits und der Objektiv- und Okularabgleichlänge andererseits allgemeinverständlich erklärt. Die Tabelle soll den Mikroskopiker über die möglichen Anpassungsmaße informieren. Mit Hilfe der Formeln kann er im Bedarfsfalle die Abweichungen von den Sollwerten selbst berechnen und deren eventuellen negativen Auswirkungen beurteilen.

Als **mechanische Tubuslänge** t_{mech} des Mikroskops bezeichnet man die Entfernung zwischen der Auflagefläche AF des Objektivs am unteren Tubusrand bzw. am Objektivrevolver und dem oberen Tubusrand TR (=Auflagefläche der Okulare). Sie kann den technischen Daten in den Prospekten oder Bedienungsanleitungen entnommen werden. Bei den meisten Mikroskopen mit endlichem Strahlengang beträgt sie heute 160 mm. Ältere Mikroskope aus Wetzlar, z.B. von LEITZ und die heute nicht mehr hergestellten MEOPTA-Mikroskope aus Prag, haben eine mechanische Tubuslänge von 170 mm. Bei Mikroskopen mit Unendlich-Strahlengang, die wir hier unberücksichtigt lassen, ist eine Angabe der mechanischen Tubuslänge wegen der hier erforderlichen Tubuslinse wenig sinnvoll.

Die **Objektivabgleichlänge** AL_{ob} ist die Entfernung zwischen der Objektebene O_e und der Auflagefläche AF des Objektivs am unteren Tubusrand bzw. am Objektivrevolver. Sie beträgt heute bei den meisten Mikroskopen 45 mm und kann an Objektiven, besser Immersionsobjektiven, mit der Schieblehre gemessen werden. Die früher in Wetzlar hergestellten Mikroskope mit einer mechanischen Tubuslänge von 170 mm haben Objektive mit einer Abgleichlänge von 37 mm, während die MEOPTA-Mikroskope bei ebenfalls 170 mm Tubuslänge eine Abgleichlänge von 36 mm haben. Bei älteren japanischen Mikroskopen kann die Objektivabgleichlänge auch bei einer mechanischen Tubuslänge von 160 mm nur 36 mm betragen. Heute werden aber auch in Japan 45 mm-Objektive hergestellt.

Vor dem zweiten Weltkrieg hatten die Mikroskope von ZEISS-JENA bei 160 mm mechanischer Tubuslänge eine Objektivabgleichlänge von 33,65 mm. Die Maße der alten ZEISS-Mikroskope findet man z.T. noch bei russischen Mikroskopen von LOMO, deren übliche Objektivabgleichlänge etwa 33,5 mm beträgt, manchmal aber auch geringfügig davon abweichen kann.

Mechanische Tubuslänge und Objektivabgleichlänge müssen stets im Zusammenhang gesehen werden, weil die Lage des reellen Zwischenbildes Z_e und die Entfernung zwischen Objektebene O_e und Zwischenbildebene Z_e von beiden Maßen abhängig ist (s. hierzu Bild 1).

Der Abstand zwischen der Ebene des reellen Zwischenbildes Z_e und der Okular-Auflagefläche (=oberer Tubusrand Tr) wird als **Okularabgleichlänge** bezeichnet. Diese liegt je nach Hersteller zwischen 10 und 18 mm. Hierdurch ergeben sich Unterschiede in der Entfernung zwischen Objektebene O_e und Zwischenbildebene Z_e . Zum Beispiel kann sie bei gleicher Objektivabgleichlänge von 45 mm und einer mechanischen Tubuslänge von 160 mm zwischen $45 + 160 - 10 = 195$ und $45 + 160 - 18 = 187$ mm liegen. Haben die Objektive und Okulare andere Abgleichlängen, so hat auch die Objekt-Bildentfernung andere Werte, z.B. $36 + 160 - 10 = 186$ oder, wie bei MEOPTA $36 + 170 - 11 = 195$ mm (Bild 1).

Tabelle 1 enthält die mechanischen Tubuslängen, Objektivabgleichlängen, Okularabgleichlängen und die daraus resultierende Objekt-Bildentfernung (Objektebene - Zwischenbildebene) der bekanntesten Fabrikate.

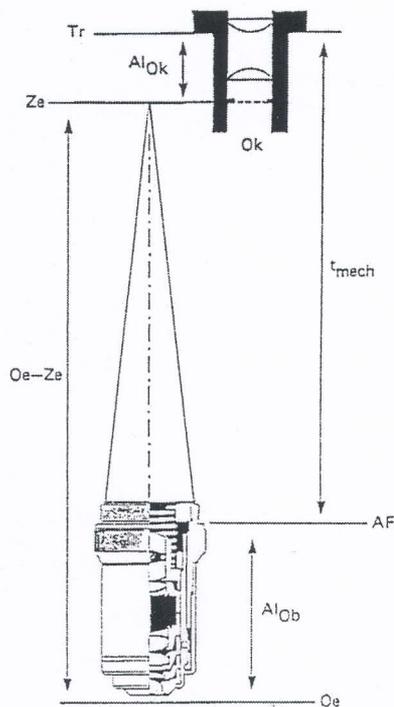


Bild 1 : Zur Definition von Objektiv-Abgleichlänge, mechanischer Tubuslänge und Okular-Abgleichlänge bei Mikroskopen mit Endlich-Optik. O_e Objektebene, Al_{Ob} Abgleichlänge des Objektivs mit endlicher Bildweite, AF Auflagefläche des Objektivs am unteren Tubusrand (Revolver), l_{mech} mechanische Tubuslänge, Ok Okular, Z_e Zwischenbildebene. Tr oberer Tubusrand, Al_{Ok} Abgleichlänge des Okulars.

Aus G. GÖKE "Moderne Methoden der Lichtmikroskopie"
Stuttgart 1988.

Tabelle 1

Hersteller	Mechanische Tubuslänge	Objektiv-abgleichlänge	Okular-abgleichlänge	Objekt-Bildentfernung
CARL ZEISS JENA (VEB) ASKANIA-Werke (ausgelaufen)	160	45	13	192
ERNST LEITZ WETZLAR (ältere Mikro- skope)	170 170	37 45	18 18	189 197
CARL ZEISS Oberkochen	160	45	10	195
C. REICHERT Wien (ältere Mikroskope)	160	37	9	188
Polnische Optische Werke (PZO)	160	45	10	195
LOMO St. Petersburg	160	32,3 (33,5)	12,5	179,5
MEOPTA, Prag (ausgelaufen)	170	36	11	195
WILD Heerbrugg Schweiz (ausgelaufen)	160	37	9	188
NACHET (Sopelem) Paris	160			
American Optical Corp. (Spencer)	160		11,3	
OLYMPUS, Japan	160 160	37 45	16 10	181 195
NIKON, Japan	160	45		

Alle Angaben in mm (soweit bekannt).

Bei Mikroskopen mit Endlich-Optik erzeugt das Objektiv in einer endlichen Entfernung hinter seinem bildseitigen Brennpunkt, der rechnerisch festgelegten **optischen Tubuslänge** t_{opt} ein reelles Bild des Objekts. t_{opt} ist also die Entfernung zwischen dem bildseitigen Brennpunkt F_1 des Objektivs mit der Brennweite f_1 und dem objektseitigen Brennpunkt F_2 des Okulars mit der Brennweite f_2 bzw. zwischen der Fourierebene des Objektivs und der Ebene des reellen Zwischenbildes Z_e (Bilder 1 und 2).

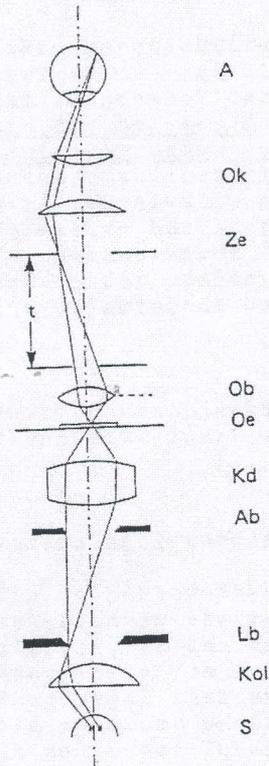


Bild 2:

- S = Lichtquelle
- Kol = Kollektor
- Lb = Leuchtfeldblende
- Ab = Aperturblende
- Kd = Kondensator
- Oe = Objektebene
- Ob = Objektiv
- t = Optische Tubuslänge
- Ze = Zwischenbildebene
- Ok = Okular
- A = Auge

Der Abbildungsmaßstab des reellen Zwischenbildes ist

$$M_{ob} = \frac{-t}{f'_{ob}} \quad (1)$$

Die objektseitige Brennweite des Mikroskops, f'_{Mikr} wird nach der Formel

$$f'_{Mikr} = \frac{f'_{ob} f'_{ok}}{t} = f_{ob} \frac{f_{ok}}{t} \quad (2)$$

berechnet. Die Vergrößerung des Mikroskops ergibt sich aus der Formel

$$V_{Mikr} = M_{ob} \cdot V_{ok} = \frac{250 t}{f'_{ob} f'_{ok}} \quad (3)$$

Aus diesen drei Formeln geht zweifelsfrei hervor, daß jede Änderung der mechanischen Tubuslänge ohne Korrektion und damit der optischen Tubuslänge t_{opt} die Brennweite des Mikroskops und damit den Arbeitsabstand der Objektive und ebenso den Vergrößerungsmaßstab beeinflusst. Die Objektive arbeiten nicht mehr in dem nor-

malen Arbeitsabstand zum Präparat, für den sie berechnet wurden. Diese Abweichungen treten immer dann auf, wenn fremde, evtl. mit Abgleichringen (= Gewinderinge) angepaßte Objektive oder fremde Tuben verwendet werden oder wenn das Mikroskop bei der Mikrofotografie wegen falscher optischer Kameralänge umfokussiert werden muß. Die sphärischen Fehler der optischen Systeme werden hierdurch verstärkt. In gewissen Grenzen sind die Fehler so gering, daß sie vernachlässigt werden können. Je größer die Abweichungen von der rechnerisch festgelegten optischen Tubuslänge durch die Veränderung der mechanischen Tubuslänge werden, um so stärker treten die sphärischen Fehler in Erscheinung.

Mikroskopobjektive sind normalerweise so korrigiert, daß ihre Aberration -und hier speziell die sphärische Aberration- in der Zwischenbildebene Ze auf ein Minimum reduziert wird, wenn sie mit der bei der Korrektion zugrunde gelegten mechanischen Tubuslänge verwendet werden. Manche Objektive, besonders die hochaperturigen Planachromate, Apochromate und Planapochromate, sind bei Abweichungen von der Tubuslänge sensibler als andere. Objektive höchster Leistung sind meistens auf eine Genauigkeit der mechanischen Tubuslänge von ± 1 mm festgelegt. Eine Veränderung der mechanischen Tubuslänge t_m um den Betrag Δt_m versetzt die Objektebene O_e um den Wert

$$\Delta O_e = \frac{f_{ob} \Delta t_m}{f'_{ob} M^2_{ob}}$$

Für Trockenobjektive, bei denen bildseitige und objektseitige Brennweite identisch sind ($f = f'$) kann die Formel auf

$$\Delta O_e = \frac{\Delta t_m}{M^2_{ob}}$$

vereinfacht werden.

Ein zu kurzer Mikroskoptubus führt zu einer unterkorrigierten sphärischen Aberration, ein zu langer Tubus zu einer überkorrigierten. In den meisten Fällen wird die defokussierte sphärische Aberration vom Auge des Mikroskopikers nicht wahrgenommen. Als Faustregel kann hier gelten, daß bei achromatischen Objektiven bis zu einer numerischen Apertur von 0,85 eine Differenz der mechanischen Tubuslänge von 7 mm toleriert werden kann.

Die Differenz der Maßstabszahl des Objektivs M_{ob} bei Änderung der mechanischen bzw. optischen Tubuslänge kann nach der Formel

$$\Delta M_{ob} = \frac{\Delta t_{opt}}{f'_{ob}} = \frac{\Delta t_{mech}}{f'_{ob}}$$

berechnet werden.

LITERATUR:

Göke, G.: Moderne Methoden der Lichtmikroskopie.
Franckh-Stuttgart 1988

PLUTA, M.: Advanced Light Microscopy.
Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo 1988.

Praktische Beispiele

Beispiel 1:

An ein älteres LEITZ-Mikroskop mit der mechanischen Tubuslänge 170 mm soll zusammen mit den vorhandenen Objektiven der Abgleichlänge 37 mm ein MEOPTA-Objektiv mit der Abgleichlänge 36 mm adaptiert werden. Da die erforderliche mechanische Tubuslänge (170 mm) auch für das MEOPTA-Objektiv gilt, ist nur ein Distanzring von 1,0 mm erforderlich. Das Ergebnis ist gut.

Beispiel 2:

Ein älteres LEITZ-Mikroskop mit der mechanischen Tubuslänge 170 mm soll zusammen mit den vorhandenen Objektiven der Abgleichlänge 37 mm mit fremden Objektiven ausgerüstet werden, die eine Abgleichlänge von 45 mm haben und für eine mechanische Tubuslänge von 160 mm bestimmt sind. Davon ist abzuraten. Man müßte die Originalobjektive mit Anpassungsringen von 8 mm versehen. Die mechanische Tubuslänge würde jetzt 178 mm betragen. Das 45 mm-Objektiv würde eine Tubuslängendifferenz von 10 mm bewirken. Die evtl. noch tolerierbaren 7 mm würden in beiden Fällen überschritten.

Beispiel 3:

An ein Mikroskop mit der mechanischen Tubuslänge 160 mm soll zusammen mit den vorhandenen 45 mm-Objektiven ein Objektiv adaptiert werden, das bei einer Abgleichlänge von 36 mm ebenfalls für eine mechanische Tubuslänge von 160 mm bestimmt ist. Man benötigt hierfür einen 9 mm Anpassungsring ($36 + 9 = 45$ mm). Die Tubuslängendifferenz für dieses Objektiv beträgt 9 mm. Mit sphärischen Bildfehlern muß evtl. gerechnet werden.

Beispiel 4:

An ein Mikroskop mit der mechanischen Tubuslänge 160 mm soll zusammen mit den vorhandenen 45 mm-Objektiven ein russisches Objektiv adaptiert werden, das eine Abgleichlänge von 33,5 mm hat und ebenfalls für eine mechanische Tubuslänge von 160 mm bestimmt ist. Man benötigt einen 11,5 mm Anpassungsring. Für dieses Objektiv wird die mechanische Tubuslänge um 11,5 mm verlängert. Mit sphärischen Fehlern muß gerechnet werden.

Beispiel 5:

An ein Mikroskop mit der mechanischen Tubuslänge 160 mm soll zusammen mit den vorhandenen 45 mm-Objektiven ein fremdes Objektiv adaptiert werden, das eine Abgleichlänge von 37 mm hat und für eine mechanische Tubuslänge von 170 mm bestimmt ist. Man benötigt einen 8 mm-Anpassungsring ($37 + 8 = 45$ mm). Die mechanische Tubuslänge für dieses Objektiv beträgt jetzt $160 + 8 = 168$ mm. Die Tubuslängendifferenz t_m beträgt nur 2 mm und ist zu vernachlässigen.

Beispiel 6:

Ein altes LEITZ-Mikroskop mit der mechanischen Tubuslänge 170 mm soll mit 45 mm-Objektiven ausgerüstet werden, die für 160 mm mechanische Tubuslänge bestimmt sind. Die Tubuslänge nimmt um 8 mm zu und würde jetzt 178 mm betragen. Das sind 18 mm mehr, als der Berechnung der 45 mm-Objektive zugrunde liegen. Die Umrüstung sollte besser nicht durchgeführt werden. Das gilt auch für den gleichen Fall bei einem MEOPTA-Mikroskop. Die Tubuslängendifferenz würde hier 19 mm betragen.