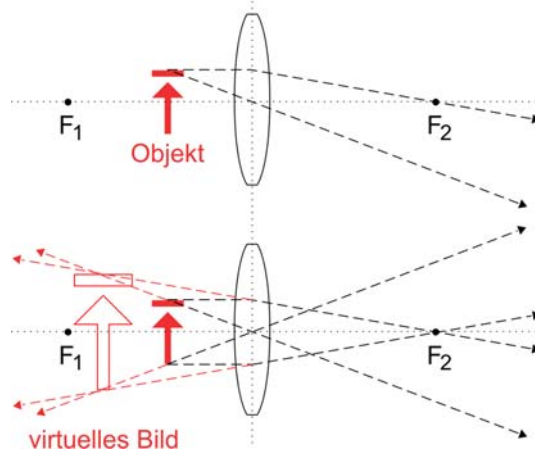


• **Bau- und Funktionsteile eines Mikroskopes**

Die **Bezugssehweite** s , ist die Entfernung zu einem Gegenstand, aus der er vom menschlichen Auge bequem und über längere Zeit hinweg betrachtet werden kann und beträgt ca. 25 cm ($s = 250$ mm). Dieser Wert spielt in der Optik eine wichtige Rolle und wird uns noch häufiger begegnen.

Einfache **Lupen** bestehen aus nur einer Sammellinse. Sie liefern mit dem optischen System des menschlichen Auge ein seitenrichtiges Bild. Allerdings muss sich das Objekt innerhalb der Brennweite F_1 der Linse befinden (↗ Abb. 1.). Wenn wir durch eine Lupe hindurch ein Objekt betrachten und die Lupe vom Objekt weggeführt wird, so dreht sich das Objektabbild, wenn es sich außerhalb der Brennweite befindet, um.



Da sich die Strahlen im objektabgewandten Brennpunkt F_2 nicht schneiden, kommt es zu keinem Zwischenbild. Bei Rückverlängerung auf der gegenüberliegenden Seite kommt es allerdings zu einem virtuellen Abbild, dass sich aber nur in Verbindung mit dem optischen System des Auges darstellen lässt. Im Unterschied zu einer Lupe wird beim Mikroskop die optische Vergrößerung durch zwei getrennte Linsensysteme realisiert, durch **Objektiv** und **Okular**. Diese befinden sich an den Enden eines sogenannten **Tubus**.

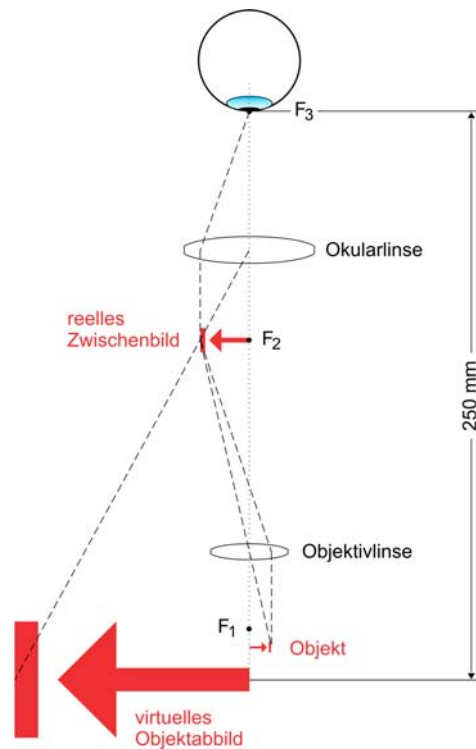


Abb. 1. Konstruktion des Lupenbildes. (nach: S. WÜLFERT)

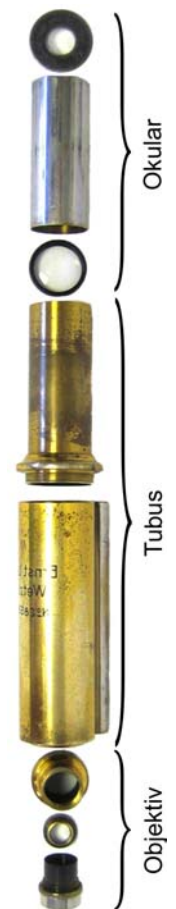


Abb. 2. Objektiv, Tubus und Okular eines Durchlichtmikroskopes um 1920.

Abb. 3. Strahlengang eines Mikroskops. Das Objekt befindet sich unterhalb des unteren Brennpunktes (F_1) der Objektivlinse. Dadurch entsteht ein umgekehrtes reelles Zwischenbild im unteren Brennpunkt (F_2) der Okularlinse. Die Pupille liegt im oberen Brennpunkt (F_3) der Okularlinse. Das umgekehrte virtuelle Objektabbild scheint in der Nähe des originalen Objektes zu liegen. (nach: S. WÜLFERT)

Befindet sich nun ein Objekt etwas unterhalb des Brennpunktes der abbildenden Objektivlinse, so entsteht ein umgekehrtes reelles Bild. Dieses Zwischenbild wird durch das zweite Linsensystem (Okular) betrachtet. Die vergrößernde Okularlinse wirkt als Lupe und es kommt zu keiner weiteren Bildumkehr, da das betrachtete Zwischenbild genau im unteren Brennpunkt der Okularlinse liegt. Somit wird die Tubuslänge eines Mikroskops durch dessen Strahlengang (Objektiv und Okular) bestimmt. Das vom Objektiv erzeugte reelle Zwischenbild wird vom Okular lediglich vergrößert, so dass sich die Vergrößerung als Produkt aus dem Abbildungsmaßstab des Objektivs und der Vergrößerung des Okulars ergibt.

Wie wir an diesem Beispiel sehen ist der grundlegende optische Aufbau eines Mikroskopes immer gleich. Zu Objektiv, Okular und Tubus kommen aber verschiedene weitere Komponenten, wie verschiedene Blendensysteme, Beleuchtungssysteme, sowie Stativ- und Objekttschauaufbauten. Die folgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau eines Durchlicht-Mikroskopes, dabei sind die zuvor besprochenen optischen Bestandteile rot hervorgehoben.

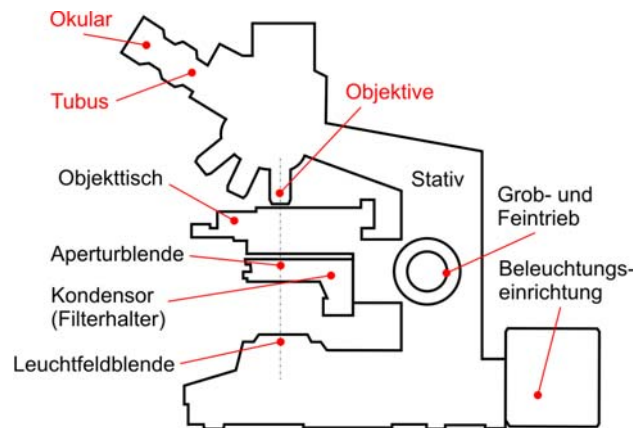


Abb. 4.
Schematische Zeichnung vom Aufbau eines Durchlicht-Mikroskopes.

Tubus

Der Tubus fixiert am unteren Ende das Objektiv und am oberen Ende das Okular. Die Tubuslänge beträgt bei alten Mikroskopen 160 mm. Durch die Unendlich-Optik bei modernen Mikroskopen ist dies allerdings nicht mehr notwendig, da das reelle Zwischenbild unendlich weit abgebildet wird und somit ein fast paralleler Strahlengang resultiert.

Neben den Monokulartuben werden heute hauptsächlich Binokulartuben eingesetzt, die durch Umlenkprismen einen anderen Strahlengang zulassen. Für die Aufnahme zusätzlicher optischer Elemente, wie Linsen, Filter (Polarisatoren) u.a. werden sogenannte Zwischentuben eingebaut.

Okular

Das Linsensystem eines Okulars ist so konstruiert, das der Brennpunkt aus **Augen- und Kollektivlinse** in der Ebene der **Feldblende** liegt. Hier wird das reelle Zwischenbild projiziert (\nearrow Okularmikrometer). In dieser Ebene liegt auch die **Okularblende**, die den Durchmesser des Zwischenbildes bestimmt. Über die **Sehfeldzahl** wird der in Millimetern gemessene Innendurchmesser der Okularblende für verschiedene Okulartypen angegeben. Übliche Sehfeldzahlen sind 16 für ein 10x Okular, 10 für ein 16x Okular usw. Deutlich wird dabei, je größer die Vergrößerung des Okulars, desto kleiner der Bereich des Zwischenbildes. Beim sogenannten HUYGENSSchen Okulartyp sind die planen Seiten der Linsen dem Betrachter zugewandt.

Auf den Okularen ist neben der Lupenvergrößerung, die in der Regel mit 4x, 5x, 8x, 10x u.a. angegeben ist, z.T. auch die Okular-Abgleichlänge (Entfernung des reellen Zwischenbildes), die Sehfeldzahl und weitere Beschriftungen zur Kompensation von chromatischen Abbildungsfehlern (K = kompensierend,



Abb. 5.
Okular mit der Lupenvergrößerung 16x, der Sehfeldzahl von 12,5 mm und die Bezeichnung A für ein nicht-kompensierendes Okular.

A = nichtkompensierend) angegeben. Unendlich-Optik-Okulare tragen meist ein ∞ -Zeichen.

Objektive

Da das reelle Zwischenbild ausschließlich vom Objektiv erzeugt wird ist dies auch wichtigster Bestandteil eines Mikroskopes.

Das Auflösungsvermögen eines Objektivs wird durch seine **numerische Apertur A** und der Wellenlänge des Beleuchtungslichtes bestimmt.

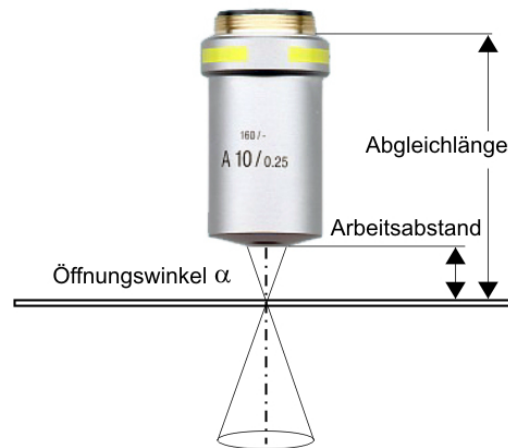


Abb. 6.
Zusammenhang der numerischen Apertur mit dem optischen Öffnungswinkel.

Aus der Abb. 6. lässt sich der Öffnungswinkel mit der Gleichung:

$$A_{\text{Objektiv}} = n_{\text{Medium}} \cdot \sin \alpha_{\text{Öffnung}}$$

wie folgt berechnen:

$$\sin \alpha_{\text{Öffnung}} = \frac{A_{\text{Objektiv}}}{n_{\text{Medium}}} = \frac{0,25}{1 (\text{Luft})}$$

$$\sin \alpha_{\text{Öffnung}} = 0,25$$

$$\alpha = \underline{14,5^\circ}$$

Somit beträgt der Öffnungswinkel α im Beispiel (↗ Abb. 6.) $14,5^\circ$. Das heißt, das nur der innerhalb des Öffnungswinkel liegende Teil der vom Objekt ausgehenden Strahlen zur Abbildung des reellen Zwischenbildes beitragen kann. Die Qualität des Objektbildes ist somit von vielen Faktoren abhängig. Die Praxis zeigt, dass bei hohen Abbildungsmaßstäben der Arbeitsabstand sehr gering wird, zudem verringern sich Kontrast und Schärfentiefe. Da der **Brechungsindex** n ebenfalls einen Einfluss auf den Öffnungswinkel hat, bedient man sich in der Praxis sogenannter Immersionsobjektive. Diese werden mit Immersionsflüssigkeiten ($n = \text{um } 1,5$) zwischen Deckglas und Objektiv eingesetzt. Der maximal mögliche Wert der numerischen Apertur beträgt bei diesen Objektiven $1,4$ ($\alpha = 68^\circ$). Bei der Verwendung von Immersionsflüssigkeiten ist unbedingt darauf zu achten, dass die Immersionsflüssigkeit nicht auf die Frontlinse von Trockenobjektiven gelangt! Bei der Reinigung von Immersionsobjektiven wird vorsichtig die Frontlinse mit einem leicht mit Xylol befeuchteten Wegwerftüchlein abgewischt. Die Deckglasoberfläche kann mit Methanol gereinigt werden.

Voraussetzung für gute Bildqualität des Objektbildes ist somit nicht nur eine hohe Apertur, sondern vielmehr das Zusammenspiel zwischen den Linsensystemen von Objektiv und Okular, sowie eine optimal eingestellte Beleuchtung (↗ KÖHLERSche Beleuchtung).



Abb. 7.
Folgende Bedeutungen tragen die Kürzel auf der Fassung:
• Tubuslänge (160 mm)
• Deckglasdicke (-)
• Objektiv ohne chromatische Abbildungsdifferenz (A)
• Maßstabszahl (10)
• numerische Apertur (0,25)

In Abb. 7. ist neben der Angabe der Maßstabszahl und der numerischen Apertur (10/0,25) auch die erforderliche Tubuslänge, sowie die geforderte Deckglasdicke angegeben. Im Beispiel ist das Objektiv auf eine Tubuslänge von 160 mm und eine Deckglasdicke zwischen 0-2 mm (entspricht einem kleinen Strich) abgestimmt. Eine andere mögliche Angabe wäre beispielsweise $\infty/0,17$ für Unendlich-Optik Okulare und einer Deckglasdicke von 0,17 mm. Besonders bei Objektiven mit großer Maßstabszahl ist die Einhaltung oder die Verwendung von richtigen Deckglasdicken sehr wichtig.

Die **Abgleichlänge**, der Abstand zwischen Objektebene und der Ebene bei der das eingeschraubte Objektiv am Tubus anliegt (\nearrow Abb. 5.), von modernen Objektiven beträgt 45 mm. Wichtig ist, dass alle Objektive eines Objektivrevolvers gleiche Tubuslängenangaben und über identische Abgleichlängen verfügen. Bei älteren Mikroskopen kann eine falsche Abgleichlänge durch Auszieh-tuben kompensiert werden.

Die verbreitesten Objektive sind sogenannte **Achromate**, die für zwei Wellenlängenbereiche bei chromatischen Abbildungsfehlern korrigiert sind. **Planachromate** sind in ihrem Linsensystem noch besser geebnet (Beseitigung sphärischer Aberration). **Apochromate**, sind Objektive, in denen die chromatische Differenz der sphärischen Aberration für drei Farben korrigiert ist und werden meist mit dem Kürzel ‚Apo‘ auf der Fassung bezeichnet. Sehr teure Objektive sind die **Planapochromate**, in denen die wichtigsten Abbildungsfehler beseitigt sind. Unbedingt beachtet werden muss, dass diese Objektive nur mit den passenden Okularen entsprechende Leistungsverbesserungen zeigen.

Die folgende Tabelle fasst die Kürzel mit ihren Bedeutungen, die auf den Objektivfassungen zu finden sind zusammen.

| Kürzel | Bedeutung |
|----------|---|
| HI / Oil | Homogene Immersion (Ölimmersion) |
| WI | Wasserimmersion |
| 40/0,65 | Maßstabszahl 40/Apertur 0,65 |
| 160 | Tubuslänge |
| ∞ | Unendlich-Optik |
| 0,17 | vorgeschriebene Deckglasdicke: 0,17 mm |
| 0 | Objektiv nur ohne Deckglas verwenden |
| - | Objektiv mit (0-2 mm) oder ohne Deckglas verwenden |
| Apo | Apochromatisch korrigiertes Objektiv |
| Pol | Objektiv für PLM |
| Ph | Phasenkontrastobjektiv |
| LD | Objektiv mit langen Arbeitsabstand |
| A | Objektiv ohne chromatische Abbildungsdifferenz |
| C | Objektiv mit chromatischer Abbildungsdifferenz |
| A-Plan | Objektiv aus der A-Plan Serie von Carl Zeiss (Objektive für die Routine mit erweiterter Bildfeldebnung) |

Tab. 1.
Beschriftungen auf Objektivfassungen.
(aus: S. WÜLFERT)

Kondensator

Wichtigster Teil des Beleuchtungsapparates ist der **Kondensator** (mehrлинsiges, lichtsammelndes optisches System). Der Kondensator mit **Aperturblende** (Irisblende) bewirken, dass die Beleuchtungsstrahlen das Objekt mit einem definierten Öffnungswinkel durchsetzen.

Aplanatische Kondensoren sind zwei- bis dreilinsige Systeme mit korrigiertem Öffnungsfehler. Dies ermöglicht die Einstellung der KÖHLERSchen Beleuchtung. Bei der sogenannten **kritischen Beleuchtung** handelt es sich bei der externen Lichtquelle entweder um künstliches Licht oder um auf einen Spiegel einfallende Sonnenstrahlen. Ist ein Kondensator vorhanden, so wird die plane Spiegelseite verwendet, die Hohlspiegelseite, wenn dieser nicht zur Verfügung steht.



Abb. 8.
Zweilinsiger aplanatischer Kondensator.