



SCHOOL-SCOUT.DE

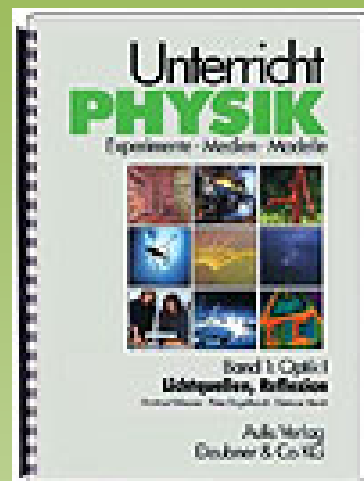
Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

*Unterricht Physik: Optische Geräte - Experimente, Medien,
Modelle*

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de



1 Einleitung

In den Bänden Optik I und Optik II wurden die grundlegenden Konzepte der elementaren Strahlenoptik entwickelt: die Sender-Strahlungs-Empfänger-Vorstellung des Sehens und die Fleck-zu-Fleck-Abbildung durch Lichtbündel beim ebenen Spiegel und bei Linsen.

In dem vorliegenden Band werden diese Ergebnisse auf zusammengesetzte Geräte angewendet: Fernrohr, Mikroskop, Fotoapparat und Diaprojektor. Diese optischen Geräte sind den Schülerinnen und Schülern aus ihrem Alltag bekannt, ihre optische Funktion allerdings noch nicht.

Fernrohr, Mikroskop, Diaprojektor und Tageslichtprojektor haben primär die Funktion, den Sehwinkel zu vergrößern. Diese Funktion wird beim Fernrohr und beim Mikroskop deutlich hervorgehoben, Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden besprochen.

Der Diaprojektor stellt wegen seiner prinzipiell komplexen Funktionsweise erhebliche Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler. Neben Teilerklärungen auf relativ niedrigem Niveau für alle kann der Diaprojektor in seinen weiterführenden Aspekten für besonders leistungsstarke und interessierte Schüler genutzt werden. Die Funktionsweise des Tageslichtprojektors entspricht weitgehend derjenigen des Diaprojektors.

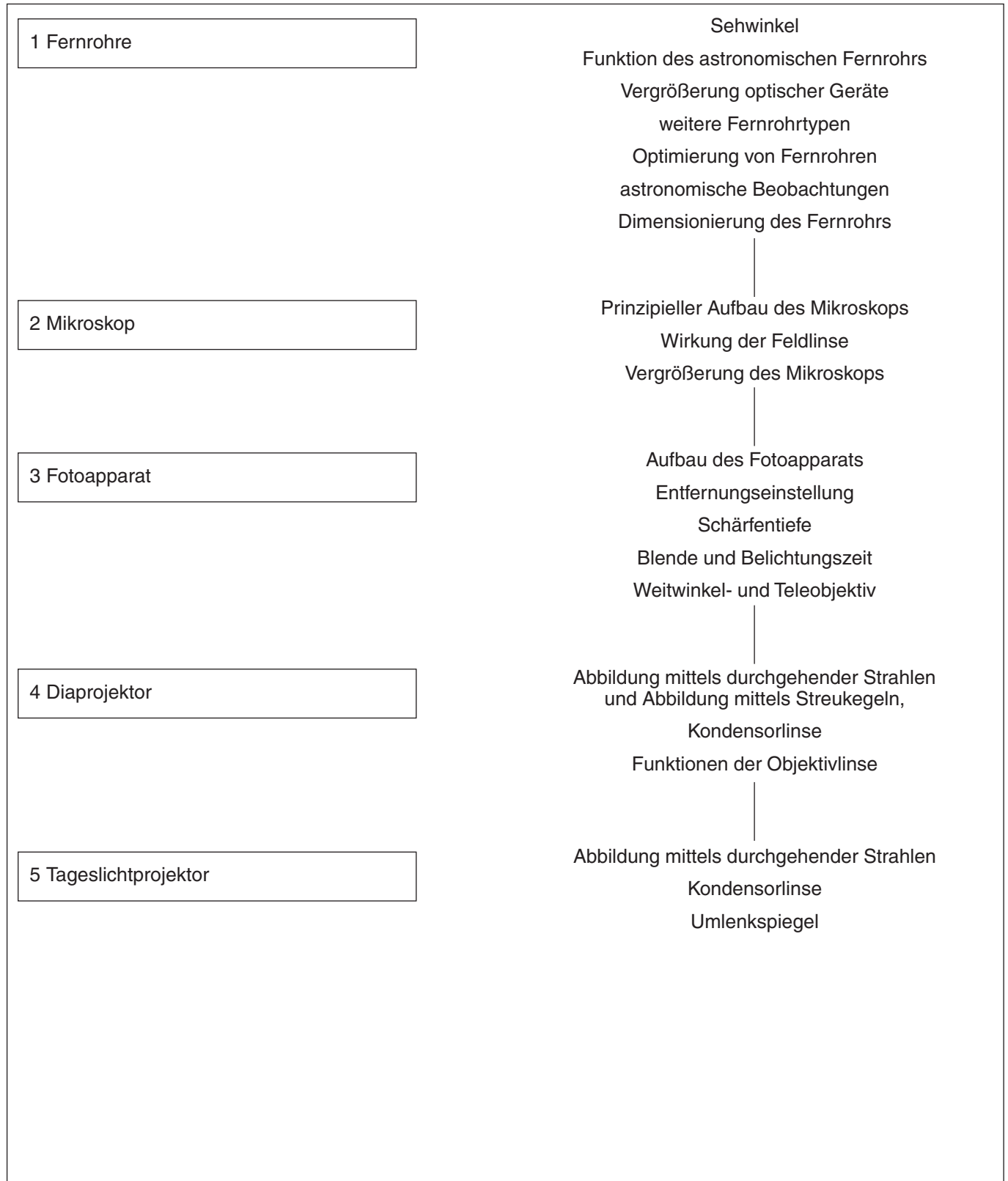
Eine Geräteliste mit den für diesen Band benötigten Experimentiermaterialien kann angefordert werden bei:

- Leybold Didactic GmbH
Leyboldstraße 1
50330 Hürth
- Maphy
58730 Fröndenberg-Strickherdicke
- Opitec
Postfach 20, Hohlweg 1
97232 Giebelstadt-Sulzdorf
Online-Bestellung: www.opitec.de
- Phywe Systeme GmbH
Robert-Bosch-Breite 10
37070 Göttingen
- Elwe-Lehrgerätebau
Steinfeldstraße 5
08248 Klingenthal
- Astro-Media
Pilziggrund 67
97076 Würzburg

2 Struktur des Inhaltsbereiches und Basiswissen

2.1 Übersicht über die Unterrichtseinheiten

Das folgende Flussdiagramm gibt eine Übersicht über die Inhalte und die Abfolge der Unterrichtseinheiten



2.2 Basiswissen

Der Sehwinkel

Die Größe des Bildes auf der Netzhaut hängt davon ab, unter welchem Winkel Lichtstrahlen von den äußeren Begrenzungen des Gegenstandes P_1 und P_2 in das Auge fallen.

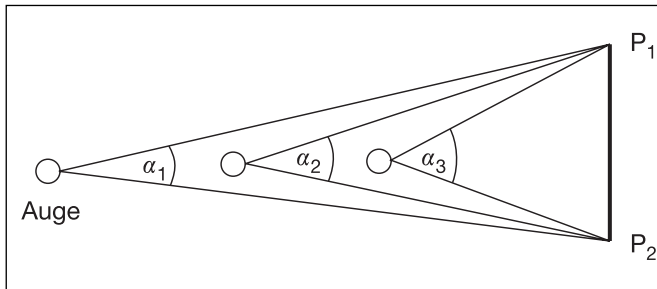


Abb. 1

Damit vom menschlichen Auge zwei Gegenstandspunkte noch als getrennt wahrgenommen werden können, darf dieser Sehwinkel nicht kleiner als etwa ein Sechzigstel Grad (eine Bogenminute) sein. Dann ist das Bild auf der Netzhaut ca. $5 \mu\text{m}$ groß und dies entspricht dem durchschnittlichen Abstand zweier Zapfen. Ein kleinerer Abstand der Sinneszellen zur Verbesserung des Auflösungsvermögens wäre wegen der Beugungseffekte aufgrund der Begrenzung durch die Pupillenöffnung sinnlos. Ein Gegenstandspunkt wird in ein Beugungsscheibchen mit einem Durchmesser von etwa $5 \mu\text{m}$ abgebildet.

Der Sehwinkel kann offensichtlich vergrößert werden, wenn der Gegenstand näher an das Auge gebracht wird. Oft ist dies nicht oder nur begrenzt möglich. Den Mond kann man nicht näher heran holen und selbst Jugendliche können auf Gegenstände nicht mehr akkommodieren, die näher als 10 cm zum Auge sind; bei älteren Menschen liegt der Nahpunkt sehr viel weiter weg vom Auge. Durch Einfügen von Linsensystemen in den Strahlengang kann der Sehwinkel vergrößert werden und das genau ist die Funktion von Fernrohr und Mikroskop.

Der prinzipielle Aufbau des *astronomischen Fernrohrs* und des *Mikroskops* ist weitgehend identisch: Eine Sammellinse erzeugt ein reelles Zwischenbild, das mit einer zweiten Sammellinse als Lupe betrachtet wird. Detaillierte Beschreibungen des Aufbaus und der Funktion der verschiedenen Typen von Fernrohren sind ausführlich in den Texten zu den Unterrichtseinheiten enthalten und sollen hier nicht noch einmal dargestellt werden.

Zur Helligkeit und Größe von Fernrohrbildern

Die folgende Abbildung macht deutlich, dass das Objektiv des Fernrohrs – durch Verdichtung des eintretenden Lichtbündels auf eine geringere Querschnittsfläche – viel mehr Licht einfängt als das unbewaffnete Auge.

Die Lichtkonzentration erfolgt nicht nur für das eingezeichnete achsenparallele Bündel, sondern auch für andere schiefparallele Lichtbündel, die von einem Gegenstandspunkt „im Unendlichen“ ankommen. Wird das Netzhautbild durch die Lichtkonzentration heller?

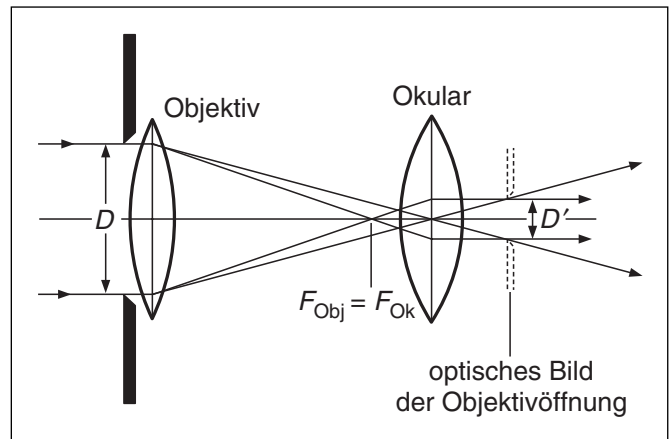


Abb. 2

Die Beantwortung dieser Frage erfordert eine Fallunterscheidung für verschiedene Beobachtungssituationen bzw. Einsatzzwecke des Fernrohrs.

(i) terrestrische Anwendungen

Der Durchmesser des vom Objektiv aufgefangenen und vom Auge maximal verwertbaren Lichtbündels wird im Vergleich zum unbewaffneten Auge zwar von D' auf D vergrößert (Faktor $V = D/D'$). Im selben Verhältnis vergrößert sich aber auch die Höhe des Bildes auf der Netzhaut. Die Lichtdichte ändert sich also nicht.

Bei Verwendung eines Fernrohrs entfällt auf die einzelne Sehzelle genau so viel Energie wie bei Beobachtung mit bloßem Auge. Bei terrestrischen Beobachtungen sieht man z. B. einen Landschaftsausschnitt größer, aber nicht heller!

(ii) astronomische Anwendungen

Bei der Beobachtung des Sternenhimmels ist zu beachten, dass auch das stärkste Fernrohr lediglich punktförmige Bilder von Fixsternen erzeugen kann. Der Sehwinkel bleibt hier immer unterhalb einer Bogenminute. Das Netzhautbild eines Fixstern ist dabei so klein, dass es nicht einmal die Fläche einer einzigen Sehzelle vollständig abdeckt.

Bei Verwendung eines Fernrohrs erhält die getroffene Sehzelle mehr Licht, der Fixstern wird grundsätzlich heller gesehen. Die verwertbare Lichtmenge erhöht sich um den Faktor V^2 .

Bei astronomischen Sternbeobachtungen sind die Bilder heller, aber nicht größer.

Bemerkung: Für die Beobachtung größerer Objekte wie Sonne und Planeten und Galaxien gelten die Überlegungen unter (i).

Die Vergrößerung des Fernrohrs

Das Netzhautbild ist dem Tangens des Sehwinkels proportional. Als Vergrößerung definiert man deshalb

$$V = \frac{\tan \alpha_F}{\tan \alpha_0},$$

wobei α_F der Sehwinkel mit dem Fernrohr und α_0 der Sehwinkel des unbewaffneten Auges ist. Für kleine Winkel gilt

$$V = \frac{\alpha_F}{\alpha_0}$$

Aus der Folie 6.4.3 liest man ab:

$$\tan \alpha_F = \frac{B_Z}{f_{Ok}}$$

und

$$\tan \alpha_0 = \frac{B_Z}{f_{Obj}}$$

Damit wird

$$V = \frac{f_{Obj}}{f_{Ok}}$$

Auflösungsvermögen

Fernrohre, Mikroskope und Fotoapparate enthalten Linsefassungen, die zu Beugungseffekten und diese wiederum zu einer Einschränkung des Auflösungsvermögens der optischen Geräte führen. Eine vereinfachte Theorie der Beugung an einer Lochblende mit dem Durchmesser D führt (bei *Fraunhofer'scher* Beugung) zu einer rotationssymmetrischen Beugungsfigur, wobei für das erste Beugungsminimum die Bedingung

$$\sin \alpha_{\min} = 1,22 \lambda / D$$

gilt. λ ist die Wellenlänge des verwendeten Lichtes.

Meist benutzt man das *Rayleigh-Kriterium* für die Auflösungsgrenze. Danach darf des Beugungsscheibchens des einen Gegenstandspunktes höchstens im ersten Minimum des Beugungsscheibchens des zweiten Gegenstandspunktes liegen und der zugehörige minimale Winkelabstand ist dann durch obige Beziehung gegeben.

Für das Auflösungsvermögen des Mikroskops benutzt man eine andere Beziehung. Der minimale Abstand der beiden Gegenstandspunkte sei a_{\min} . Die Gegenstandsweite ist näherungsweise gleich der Brennweite f der Objektivlinse. Für den maximalen Winkelabstand gilt dann mit der Näherung für kleine Winkel ($\sin \alpha \approx \alpha$, Winkel im Bogenmaß), mit $\alpha \approx a_{\min}/f$ und der obigen Beziehung

$$1,22 \frac{\lambda}{D} = \sin \alpha_{\min} \approx \frac{a_{\min}}{f},$$

oder umgestellt

$$a_{\min} = f \cdot 1,22 \lambda / D.$$

Oft findet man in der Literatur eine Formulierung, in der die numerische Apertur $A_N = n \sin(u)$ verwendet wird ($2u$ ist der Öffnungswinkel zur Objektivlinse, s. Abb. 3, und n die Brechzahl). Ersetzt man wie oben für kleine Winkel den Sinus durch den Tangens, dann ist $A_N \approx nD/2f$.

$$a_{\min} = 0,61 n \lambda / A_N$$

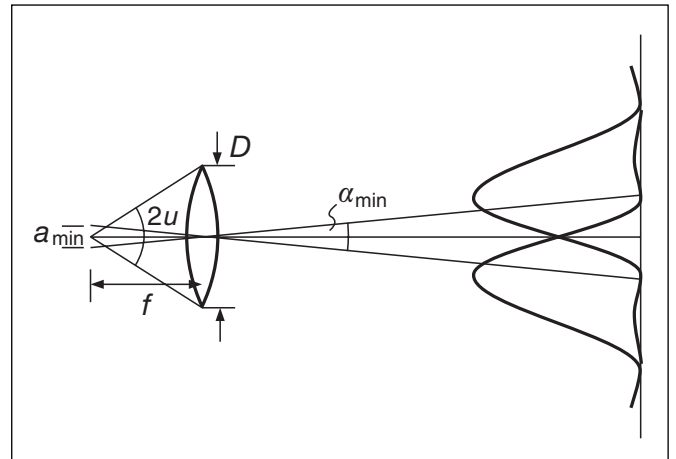


Abb. 3: Minimal auflösbare Abstand

Befindet sich vor dem Objektiv ein Immersionsöl mit der Brechzahl n , dann ist dort λ durch λ/n zu ersetzen:

$$a_{\min} = 0,61 \lambda / A_N$$

Aus dieser Beziehung folgt, dass der minimale, noch auflösbare Abstand kleiner wird, wenn Licht mit kürzerer Wellenlänge verwendet wird (was bei sichtbarem Licht sehr begrenzt ist) oder die numerische Apertur größer wird.

Immersionsobjektiv

Fügt man zwischen Objekt und Objektivlinse eine Flüssigkeit (so genanntes Immersionsöl) mit hohem Brechungsindex ($n \approx 1,52$) ein, dann erhöht sich die numerische Apertur und damit das Auflösungsvermögen. Wichtig ist weiterhin, dass dadurch der Öffnungswinkel, unter dem Licht in die Objektivlinse eintreten kann, sehr viel größer wird (die Totalreflexion ist weitgehend ausgeschaltet) und damit die Lichtstärke erheblich größer wird.

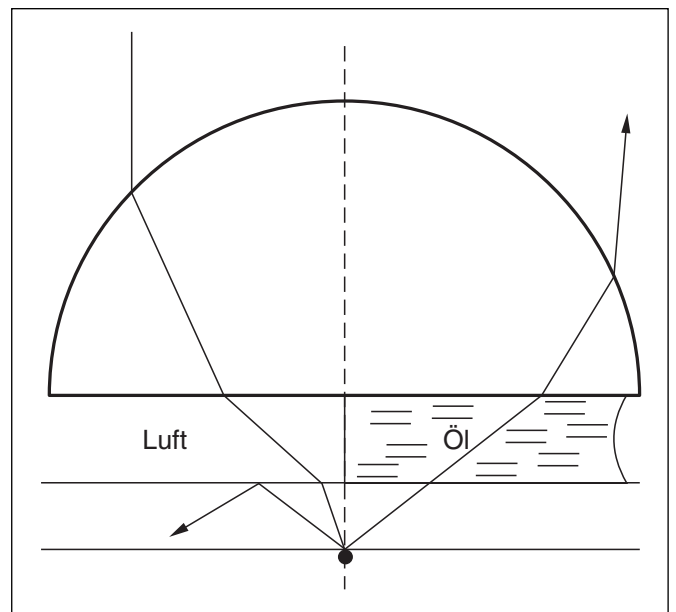


Abb. 4: Vergrößerung der Apertur durch ein Immersionsöl: Vergleich des Öffnungswinkels bei einem Trockenobjektiv (Luft vor der Objektivlinse) und einem Immersionsobjektiv

Die Funktion der Feldlinse – das Huygens'sche Okular

Die elementarisierte Darstellung des Aufbaus eines Mikroskops muss eine Okularlinse mit relativ großem Durchmesser verwenden, damit das Lichtbündel überhaupt durch die Linse gehen und ins Auge fallen kann. Tatsächlich ist die sichtbare Okularlinse sehr klein, was schon darauf hindeutet, dass die Konstruktion etwas komplizierter sein muss. Der Trick besteht in der Einführung einer Feldlinse, die i. d. R. in das Okular eingebaut wird. Diese Linse wird kurz bevor sich die Lichtbündel zum reellen Bild vereinigen eingefügt (s. Abb. 5). Damit wird wieder ein reelles Zwischenbild erzeugt, von dem aber das gesamte weiterströmende Licht durch die Augenlinse geht. Dadurch wird die Lichtstärke und auch das Sehfeld deutlich größer.

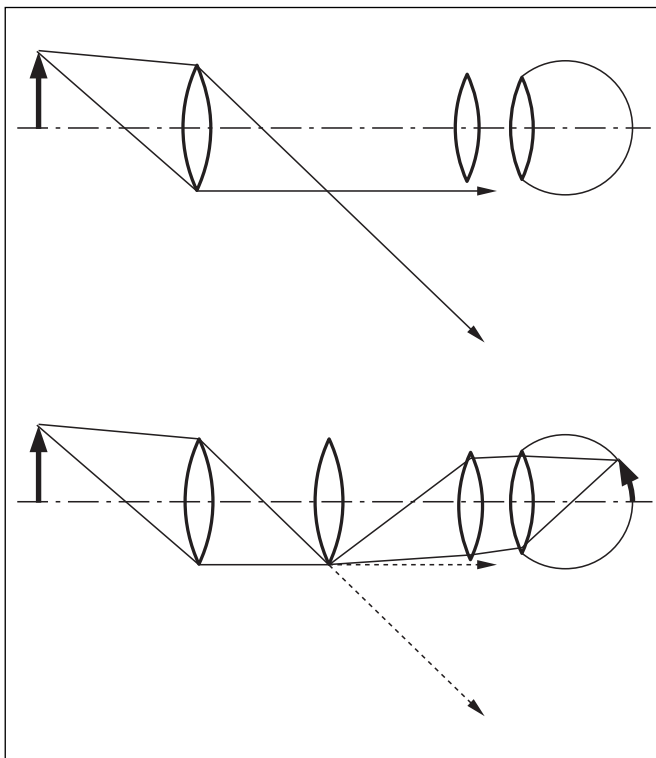


Abb. 5: Funktion der Feldlinse beim Mikroskop

Diese Anordnung aus Feld- und Augenlinse hat zwei weitere Vorteile: die sphärische und die chromatische Aberration können erheblich reduziert werden.

Ein Strahl weißen Lichtes wird in der Feldlinse aufgrund der Dispersion zerlegt, wobei der blaue Anteil stärker abgelenkt wird als der rote. Damit trifft der rote Anteil die Augenlinse weiter außen und wird wegen der sphärischen Aberration stärker zur optischen Achse hin abgelenkt als der blaue, sodass bei passendem Abstand der Linsen zueinander die verschiedenfarbigen Anteile parallel ins Beobachteraue fallen und in einem Bildpunkt auf der Netzhaut vereinigt werden.

Betrachten wir ein vom Objektiv herkommendes Lichtbündel mit den Randstrahlen a und b. In der Feldlinse wird der achsenferne Strahl b stärker gebrochen als Strahl a, in der Augenlinse ist es gerade umgekehrt, sodass sich die sphärische Aberration in den beiden Linsen weitgehend kompensieren kann.

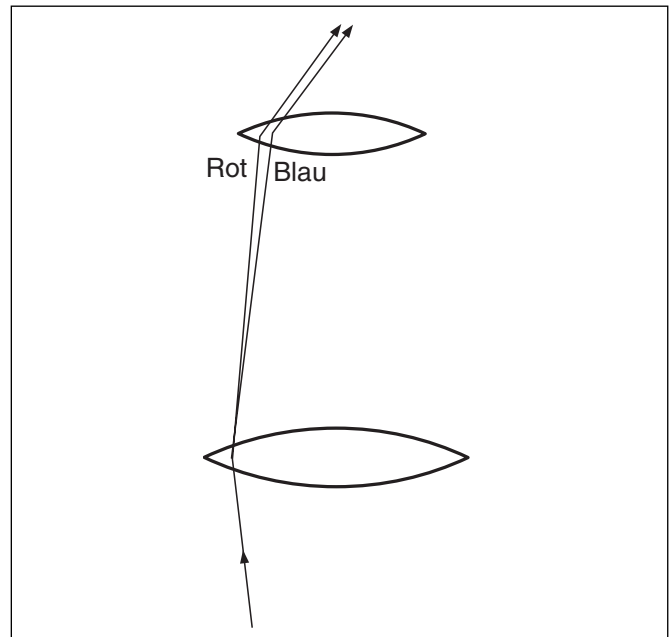


Abb. 6: Reduzieren der chromatischen Aberration

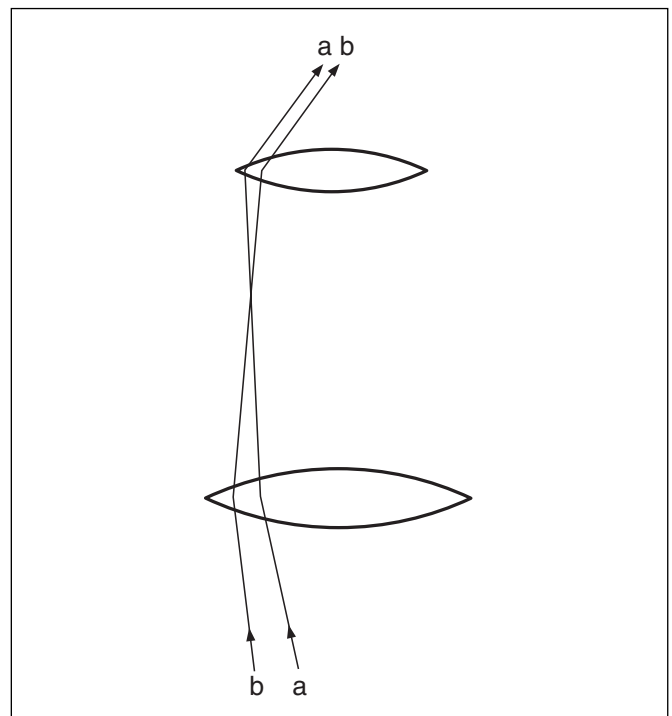


Abb. 7: Reduzieren der sphärischen Aberration

Die Gesamtvergrößerung des Mikroskops

Die Gesamtvergrößerung ergibt sich als Produkt von Abbildungsmaßstab des Objektivs und der Okularvergrößerung. Beide sind in der Regel auf dem Objektiv bzw. Okular eingraviert.

a) Abbildungsmaßstab des Objektivs

Der Abbildungsmaßstab ist definiert als $V_{Obj} = B/G$ und dies ist gleich b/g . Dass er von der Brennweite und der Gegenstandsweite abhängt, lässt sich mit Hilfe des $b-g$ -Diagramms aus dem Band Optik II, Unterrichtseinheit 6, leicht zeigen (siehe Abb. 8).

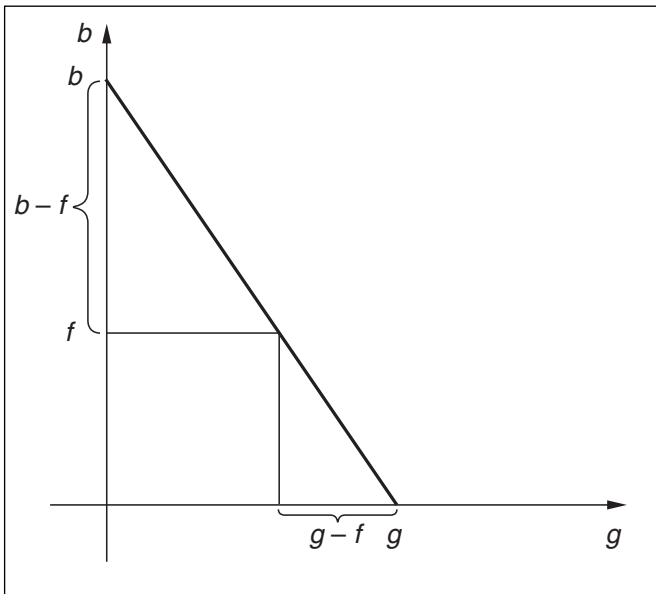


Abb. 8: b - g -Diagramm

Mit den auf die Brennpunkte bezogenen Abständen $g' = g - f$ und $b' = b - f$ folgt

$$g'/f = g/b \text{ oder } b'/f = b/g.$$

Damit ist der Abbildungsmaßstab für die Objektivlinse

$$V_{\text{obj}} = G/B = g'/f_{\text{obj}} = f_{\text{obj}}/b'.$$

b) Vergrößerung durch das Okular

Das Okular (Augenlinse) wird als Lupe eingesetzt. Allgemein wird die (Angular-)Vergrößerung Γ definiert durch $\Gamma = \tan \alpha' / \tan \alpha$, wobei α' der Sehwinkel mit optischem Instrument und α der Sehwinkel ohne Instrument ist. Bei Beobachtung mit entspanntem Auge befindet sich der Gegenstand in der Brennweite der Linse. Dann verlaufen alle von einem Gegenstandspunkt ausgehende Strahlen hinter der Linse parallel zum Mittelpunktstrahl.

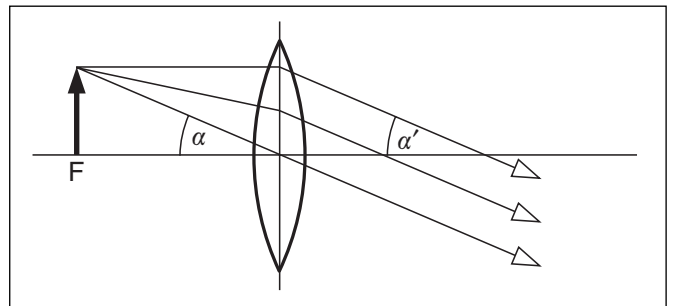


Abb. 9

Dafür gilt $\tan \alpha' = G/f$. Dies wird üblicherweise bei der Lupe verglichen mit der Beobachtung ohne Lupe in der Bezugssehweite 25 cm: $\tan \alpha = G/25 \text{ cm}$.

Die Vergrößerung der Lupe ist dann $V_{\text{Okular}} = 25 \text{ cm} / f_{\text{Okular}}$.
c) Die Gesamtvergrößerung V des Mikroskops ist somit gegeben durch

$$V = V_{\text{Obj}} \cdot V_{\text{Ok}} = \frac{g'}{f_{\text{Obj}}} \cdot \frac{25 \text{ cm}}{f_{\text{Ok}}}.$$

Digitalkamera

In den letzten Jahren hat sich mit großer Geschwindigkeit die Technik der Digitalkamera entwickelt. Der optomechanische Aufbau ist im Prinzip der gleiche wie bei der herkömmlichen Kamera mit chemischem Film. Ein Objektiv erzeugt ein Bild, das nun aber nicht auf dem lichtempfindlichen Film sondern auf einem lichtempfindlichen Halbleiterchip aufgefangen wird. Der Chip besteht aus kleinen Elementen, so genannten charged-coupled-devices (CCD), in denen durch den inneren Fotoeffekt je nach auffälliger Photonenzahl unterschiedlich große Ladungen entstehen. Diese werden elektronisch ausgelesen und weiterverarbeitet.

Der chemische Farbfilm besteht aus drei hintereinander liegenden, transparenten Schichten, von denen jede auf eine der Farben Rot, Grün und Blau empfindlich ist.

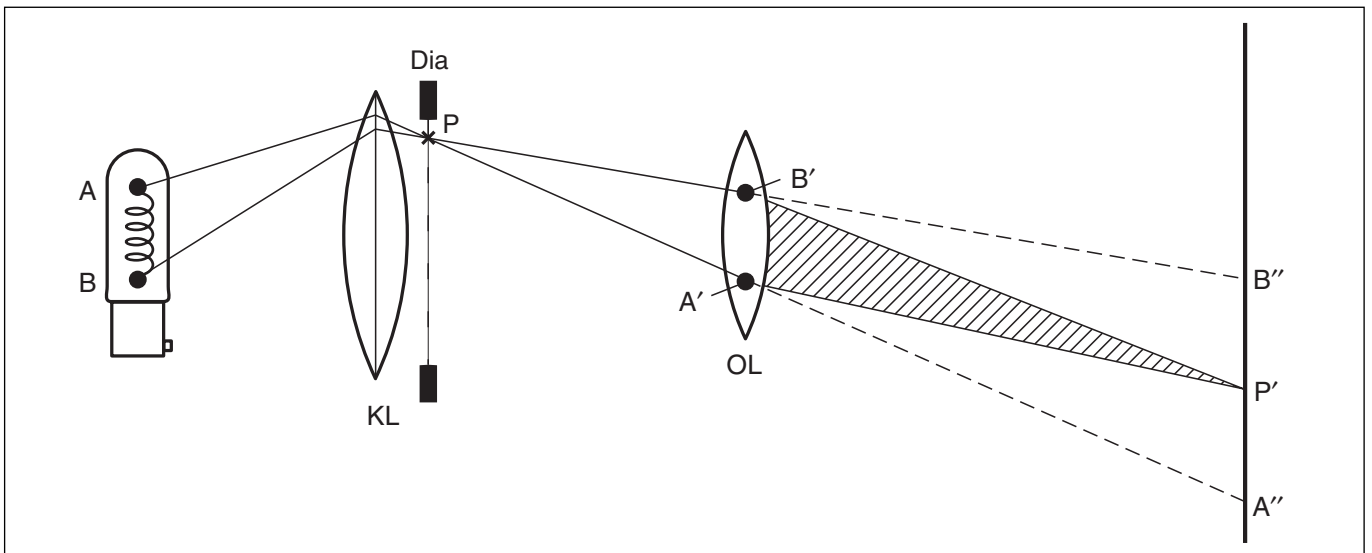


Abb. 10: Diaprojektor, Fokussierung des von P ausgehenden Lichtkegels auf P' durch die Objektivlinse

Bei CCD-Sensoren wird vor drei zusammenliegenden Elementen je ein Filter für diese drei Farben gelegt. Inzwischen gibt es farbspezifisch reagierende Sensorelemente, deren Verwendung die Auflösung erheblich steigert.

Diaprojektor

Um den Diaprojektor vollständig zu verstehen, sind mehrere Mechanismen gleichzeitig zu berücksichtigen:

1. Die Objektivlinse bildet das Dia auf die Projektionsfläche ab. Der Hauptbeitrag für die Entstehung des Wandbildes kommt dabei von den Mittelpunktstrahlen, ein geringer Anteil durch eine Fleck-zu-Fleck-Abbildung mittels Streukegeln, vergl. Abb. 10.
2. Die unmittelbar vor dem Dia befindliche Kondensorlinse sorgt für eine vollständige Ausleuchtung des Dias.
3. Die endliche Ausdehnung der Wendel würde dazu führen, dass die von der Kondensorlinse kommenden Lichtkegel hinter dem Dia auseinander laufen und da-

mit keinen Bildpunkt sondern einen ausgedehnten Fleck an der Wand liefern würden. Die Objektivlinse korrigiert diesen Abbildungsfehler, vergl. Abb. 11.

4. Die Kondensorlinse bildet die Glühwendel in die Objektivlinse ab. Dies sieht man durch folgende Überlegung anhand der nächsten Abbildung ein. Wir betrachten die Randpunkte X und Y des Dias und deren Abbildungskegel: $(AB) \rightarrow X \rightarrow (A'B') \rightarrow X'$ und $(AB) \rightarrow Y \rightarrow (A'B') \rightarrow Y'$. Nun interpretiert man die Linien anders: Die beiden Randstrahlen, die z. B. von A ausgehen und durch X und Y gehen, werden auf A' fokussiert, d. h. A wird auf A' abgebildet. Entsprechendes gilt für B. Mit anderen Worten: Die Wendel wird von der Kondensorlinse zwangsläufig in die Objektivlinse abgebildet, wie man mit einem dicht vor die Objektivlinse gehaltenen Schirm auch bestätigen kann. Dadurch gelangt das gesamte durch das Dia gehende Licht zur Wand, wenn die Objektivlinse geringfügig größer als das vom Kondensor erzeugte Bild der Wendel ist.

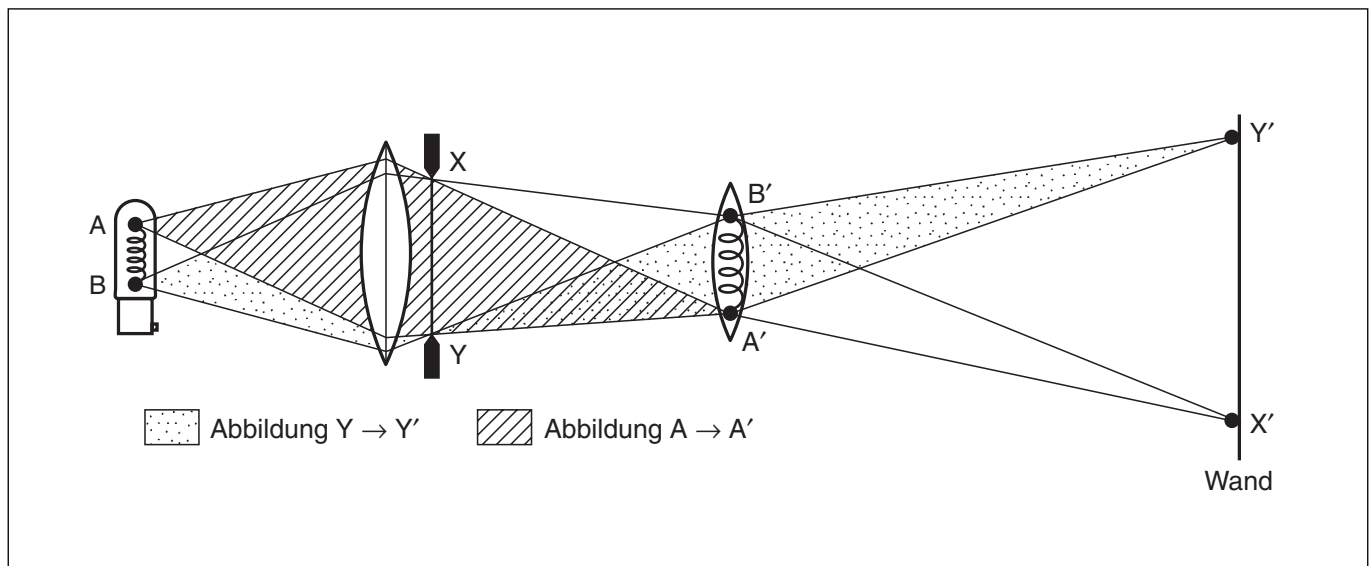


Abb. 11: Diaprojektor; die Korrektur der Abbildungsfehler, die durch die endliche Größe des Lampenwendels entstehen, erfolgt durch die Objektivlinse



SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

*Unterricht Physik: Optische Geräte - Experimente, Medien,
Modelle*

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

