

EINFÜHRUNG IN DIE OPTIK

UND

IN DIE THEORIE DES MIKROSKOPS.

EINFÜHRUNG IN DIE OPTIK

und

IN DIE THEORIE DES MIKROSKOPS.

von

Fritz HERZOG

VORWORT

Das vorliegende Büchlein ist in erster Linie als Leitfaden für die angehenden Verkaufstechniker gedacht. Es möchte in kompendiöser Form die erste Bekanntschaft mit den physikalischen und technischen Gegebenheiten der Optik und des Mikroskopes vermitteln. Es ist auch besonderer Wert darauf gelegt, die Theorie nicht grau und trocken erscheinen zu lassen, sondern von Anfang an jeweils die praktischen Anwendungen der aufgezeigten Probleme zu demonstrieren und diese so zu verlebendigen. Andererseits wurde bewußt auf eine knappe Fassung Wert gelegt.

Wer genauer in einzelne Gebiete der Optik eindringen will, der sei auf die einschlägigen Lehrbücher verwiesen, da naturgemäß manche Dinge nur soweit erwähnt werden, als sie für das Verständnis notwendig sind.

Der Verfasser

INHALTSVERZEICHNIS

١.	DAS LICHT	١
	I.I. Der Gesichtssinn	
	1.2. Lichtquellen	
	1.3. Ausbreitung des Lichtes	
	I.4. Camera obscura	
	1.5. Beugung des Lichtes (Wellennatur)4	
2.	ABWEICHUNGEN VON DER GERADLINIGEN AUSBREITUNG DES LICHTES	5
	2.1. Reflexion des Lichtes	
	2.2. Brechung des Lichtes	
	2.3. Totalreflexion	
3.	LINSEN	4
	3.1. Sammellinsen	
	3.2. Zerstreuungslinsen und chromatische Fehler	
	3.3. Weitere Linsenfehler	
4.	DAS ZUSAMMENGESETZTE MIKROSKOP	8
	4.1. Modell und wichtigste Begriffe	
	4.2. Strahlengang des abbildenden Systems	
5.	AUFBAU DES MIKROSKOPES	2(
	5.1. Aufbau des Mikroskopstativs	
	5.2. Beleuchtungseinrichtungen	
	5.3. Mikroskopische Präparate	
	5.4. Objektive, numerische Apertur	
	5.5. Objektivtypen	
	5.6. Okulare	

EINFÜHRUNG IN DIE OPTIK UND IN DIE THEORIE DES MIKROSKOPS.

I. DAS LICHT. (Grundsätzliches)

I.I. Gesichtssinn.

Licht ist jene Sinnesempfindung, die bestimmte Stellen der Netzhaut des Auges aufzunehmen imstande sind. Lichtstärke (Helligkeit) und Farbe werden dort registriert.

Damit ein Körper wahrgenommen werden kann, muß er entweder selbst Licht aussenden oder von Licht getroffen werden, ein ideal transparenter Körper z.B. Luft ist unsichtbar.

1.2. Lichtquellen.

Körper, die selbst Licht aussenden, nennt man Lichtquellen, Als natürliche Lichtquellen bezeichnet man die Sonne und die Fixsterne, künstliche Lichtquellen sind z.B. Kerzen, Glühlampen usw. In der Mikroskopie werden hauptsächlich folgende künstliche Lichtquellen verwendet:

1.2.1. Glühlampen.

Je nach den gestellten Anforderungen verwendet man Glühlampen für direkten Netzanschluß oder Niedervoltlampen, wobei die Lampenleistungen zwischen 15 W und 100 W liegen. Die Lampen sind in geeigneten Gehäusen untergebracht.

Beispiele: Netzanschlußleuchte.

6 V, 15 W-Lampe, 6 V, 30 W-Lampe, 12 V, 100 W Jodquarzlampe. Die drei letztgenannten Lampen müssen unter Zuhilfenahme eines Transformators betrieben werden. Es finden sowohl Transformatoren mit stufenloser Regelung als auch Stufentransformatoren, bei denen nur bestimmte Spannungen eingeschaltet werden können, Verwendung.

1.2.2. Gasentladungslampen.

Zu diesen zählen der Mikroblitz, die Natriumdampflampe, die Xenonlampe und alle Quecksilberdampfhöchstdruckbrenner. Alle diese werden mit geeigneten Anschlußgeräten betrieben. Eine genauere Besprechung ist bei den speziellen Mikroskopen vorgesehen.

1.3. Ausbreitung des Lichtes.

Licht breitet sich in einem homogenen und isotropen *Medium (z.B. Luft, Glas, Plexiglas, Wasser . . .) nach allen Richtungen geradlinig aus.

Einige Beispiele und Versuche sollen dies zeigen.

Die bekannteste Folge der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes ist die Entstehung von Schatten. Fig. I zeigt dies schematisch an einer Stange, die im Sonnenlicht Schatten wirft.

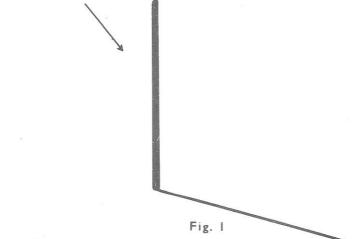


Fig. I. Schattenwurf.

Der Pfeil deutet die Lichtrichtungen an.

In den folgenden beiden Figuren sind Versuche zur Sichtbarmachung von Schatten dargestellt.

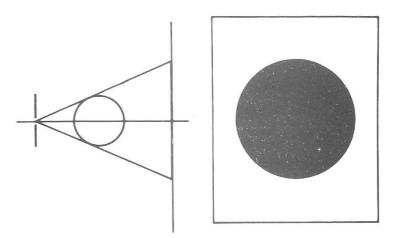


Fig. 2

- Fig. 2. Schatten einer Kugel, die mit einer sehr kleinflächigen theoretisch punktförmigen Lichtquelle beleuchtet wird. Der Schatten ist scharf begrenzt.
- * Homogen und isotrop heißt, daß dieses Medium in allen Richtungen des Raumes gleiche Eigenschaften besitzt.

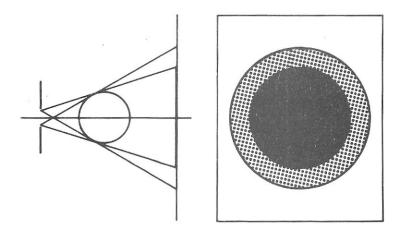


Fig. 3

Fig. 3. Die vier angedeuteten begrenzenden Linien zeigen den Lichtweg. Bei Öffnen der Blende erscheinen zwei verschiedene dunkle Flächen, ein zentraler sog. Kernschatten und ein kreisringförmiger Halbschatten.

1.4. Camera obscura.

Eine praktische Anwendung der Eigenschaft des Lichtes sich geradlinig auszubreiten, stellt die sog. Camera obscura oder Lochkamera dar, die als Urbild einer jeden photographischen Kamera anzusehen ist. Als abbildendes Element wird eine kleine Lochblende verwendet. Die folgende Figur 4 zeigt den Strahlengang und die Wirkungsweise.

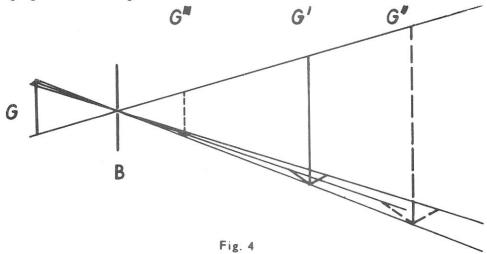


Fig. 4. Lochkamera. (B = Lochblende, G = Gegenstand, G' G'' = Bilder)

Man erhält verkehrte Bilder des Gegenstandes G, der im Versuch durch
einen Lichtpfeil markiert wird. Bei Vergrößerung der Blende wird die
Schärfe des Bildes immer geringer, bis schließlich nur mehr ein heller
Fleck am Schirm zu sehen ist.

Der folgende Versuch ist in Fig. 4 durch die strichlierten Bilder G'' und G''' angedeutet. Ändert man den Abstand Bildschirm Lochblende, so ändern sich sowohl Bildgröße als auch die Helligkeit. Bei Verdoppelung des Abstandes des Schirmes von der Lochblende sinkt die Helligkeit auf ein Viertel des Wertes, es besteht eine quadrat. Abhängigkeit.

1.5. Beugung des Lichtes. Wellennatur (Einführung)

Dieses wichtige Kapitel der Optik wird vorerst nur soweit behandelt, als es zum Verständnis des weiteren Stoffes notwendig ist.

Die Beugung des Lichtes ist eine Eigenschaft, die auf dessen Wellennatur hinweist.

Der erste Versuch dient dazu Grundsätzliches klarzumachen. Wird nämlich die Blende der Lochkamera (vgl. Fig. 4) sehr klein gemacht, so tritt plötzlich Bildunschärfe auf. Bei genauerer Betrachtung kann man erkennen, daß die Bildränder wie von feinen, färbigen Säumen umgeben erscheinen. Die Wirkung einer Blende auf die Bildschärfe ist in der Mikroskopie sehr wichtig.

Ein weiteres gutes Beispiel für das Auftreten von Beugungserscheinungen ist das Betrachten einer Lampenwendel durch ein Stückchen Schirmseide. Das Bild sieht so aus:

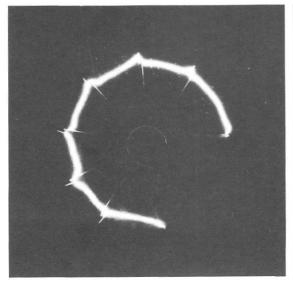


Fig. 5a
a) Bild einer Lampenwendel



Fig. 5b
b) Beugungsbild
durch einen Regenschirm
photographiert

Wirft man in ein ruhendes Gewässer einen Stein, so breiten sich um diesen in konzentrischen Kreisen Wasserwellen aus.

Auch Licht ist eine Wellenbewegung, nur ist die Wellenlänge sehr klein. Die

Wellenlänge wird meist mit dem griechischen Buchstaben Λ bezeichnet und in Nanometern gemessen.

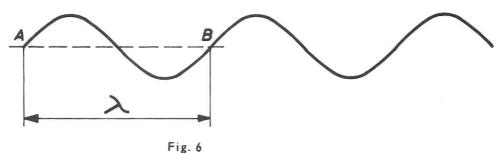
Ein Nanometer, abgekürzt n m ist der tausendste Teil eines Mikrometers μm, früher kurz μ (mü) genannt.*

Die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes liegt etwa zwischen 400 n m und 700 n m. Diese Grenzen entsprechen den Farben violett und dunkelrot und sind individuell sehr verschieden.

Licht der Wellenlänge 400 - 435 nm erscheint dem Auge violett

,,	,,	**	435 - 490 nm	9.5	,,	,,	blau
,,	,,	**	490 - 560 nm	,,	9 9	,,	grün
,,	,,	,,	560 - 585 nm	**	**	**	gelb
,,	,,	**	585 - 600 nm	**	,,,	,,	orange
,,	* *	**	600 - 700 nm	**	,,	* *	rot

Die größte Empfindlichkeit des Auges liegt im Bereich um 560 n m. Das folgende Bild Fig. 6 zeigt die zeichnerische Darstellung einer ebenen Welle; Die Strecke AB markiert die Wellenlänge λ .



Wellenzug, Wellenlänge ≥.

Praktische Beispiele aus der Mikroskopie: Grünfilter und Rotfilter, Interferenzbreitbandfilter, Tageslichtfilter. Es werden jeweils nur gewisse Spektralbereiche durchgelassen.

2. ABWEICHUNGEN VON DER GERADLINIGEN AUSBREITUNG DES LICHTES.

2.1. Reflexion des Lichtes.

Wie schon zu Anfang betont, muß ein Körper entweder selbstleuchtend sein oder von Licht getroffen werden, damit man ihn sehen kann. Ein von Licht getroffener Körper läßt entweder das Licht durch, z.B. Glas, Wasser, Luft oder er reflektiert es, z.B. Stahl, Holz usw. Die Reflexion kann hoch sein, etwa bei einem polierten Metall oder sehr gering, etwa bei einem schwarzen

^{*} I mm = 1000 µm = 1 000 000 n m

Samtstoff. Von den Metallen hat besonders Silber eine hohe Reflexion. Je nach dem Grade der Reflexion erscheinen die Körper mehr oder weniger hell.

2.1.1. Ebener Spiegel.

Um das grundlegende Gesetz zu studieren, betrachten wir die Reflexion an einer ebenen Spiegelfläche. Fig. 7 zeigt die schematische Darstellung des zugehörigen Versuchs.

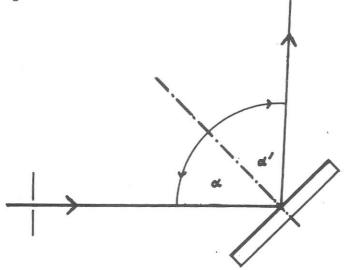


Fig. 7
Reflexion an einem ebenen Spiegel.

Den Winkel & nennt man Einfallswinkel, den Winkel & Reflexionswinkel. Beide Winkel werden immer vom Einfallslot aus (der Normalen auf die reflektierende Fläche) gemessen. Der experimentelle Befund lautet &=& d.h. Einfallswinkel und Reflexionswinkel sind gleich groß, außerdem liegen einfallender, reflektierter Strahl und das Einfallslot in einer Ebene; in Fig. 7 ist es die Ebene des Zeichenblattes; nach Reflexion erscheinen Bilder seitenverkehrt.

Anwendung in der Mikroskopie:

Ebene Spiegel zur Umlenkung des Lichtes.

Es gibt Oberflächenspiegel, bei denen die Oberfläche mit einem entsprechenden Belag versehen ist und sog. hinterlegte Spiegel, bei denen die reflektierende Schichte hinter der Glasplatte liegt; meist verwendet man Aluminium als reflektierende Schicht. Fig. 8 erklärt diesen Sachverhalt.

Oberflächenspiegel sind wegen ihrer Empfindlichkeit mit einer hauchdünnen Schutzschicht bedampft; sie müssen aber trotzdem vorsichtig gereinigt werden.

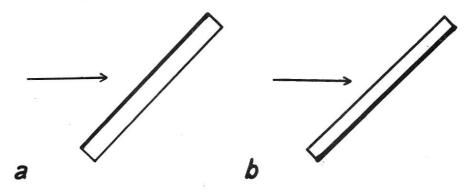


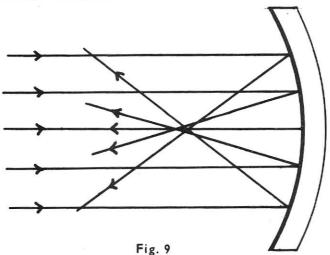
Fig. 8a Oberflächenspiegel

Fig. 8b hinterlegter Spiegel

Die stärker gezeichnete Seite bezeichnet die reflektierende Schicht.

2.1.2. Hohlspiegel.

Versuch. Paralleleinfallendes Licht wird in einen Punkt reflektiert, dieser heißt Brennpunkt. Weit von der Achse entfernte Strahlen geben Anlaß zur sog. spärischen Aberration.



Reflexion am Hohlspiegel

(spär. Fehler). Man versteht darunter die Tatsache, daß nur achsnahe Strahlenbündel durch den Brennpunkt reflektiert werden, während Strahlen, die weiter von der Achse entfernt sind in näher zum Spiegel gelegene Achspunkte reflektiert werden. Bei sehr stark gekrümmten Flächen ist diese Abweichung beträchtlich. Fig. 9 zeigt den Strahlenverlauf. Jenen Punkt in den achsnahe Strahlen reflektiert werden, bezeichnet man als Brennpunkt.

Je nach der Entfernung eines Gegenstandes vom Spiegel ändert sich die Bildgröße. Für die Verwendung in der Mikroskopie ist besonders jener Fall wichtig, bei dem Bild und Spiegelbild gleich groß sind. Dies ist dann und nur dann der Fall, wenn sich ein Gegenstand in doppelter Brennweite vom Scheitel entfernt befindet. Fig. 10. Dann gilt die Bezeichnung g (Gegenstandsentfernung) ist gleich b (Bildweite) g = b.

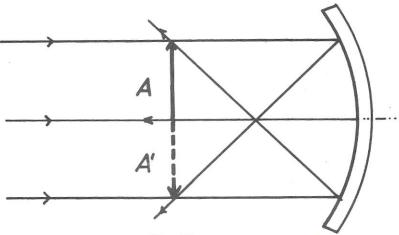


Fig. 10 Hohlspiegel als Reflektor

Diese Tatsache nützt man bei Lampen dazu aus, eine gleichmäßigere Ausleuchtung von Feldern zu erzielen, indem man das Lampenwendel in den Krümmungsmittelpunkt eines Hohlspiegels bringt.

Erscheinen also bei einer Mikroskoplampe die beiden Bilder der Lampenwendel ungleich groß, so ist der Spiegel nicht richtig justiert.

2.1.3. Wölbspiegel.

Dieser liefert nur verkleinerte aufrechte Bilder und wird z.B. als Autorückspiegel verwendet. In der Mikroskopie findet er bei speziellen Optiken Verwendung.

2.1.4. Diffuse Reflexion.

Ist die Oberfläche eines Gegenstandes nicht eben, sondern rauh, so tritt sog. diffuse Reflexion auf. Beispiel in der Mikroskopie::Mattglasscheibe; mit dieser lassen sich Wendelstrukturen verwischen. Hierbei wirkt die Oberfläche wie eine Unzahl sehr sehr kleiner verschieden orientierter Spiegel, die das Licht in alle Richtungen streuen. Die meisten Gegenstände, die uns umgeben, weisen diffuse Reflexion auf.

2.2. Brechung des Lichtes.

Trifft Licht schräg auf eine ebene Glasfläche auf, so tritt außer Reflexion noch eine Richtungsänderung auf, die man als Brechung bezeichnet. Das Lichtbündel erleidet eine Knickung. Die Brechung erfolgt zum Lot beim Übergang von Luft in Glas und vom Lot beim Übergang von Glas in Luft. Die folgende Fig. II zeigt diese Tatsachen schematisch. Ebenso wie bei der Reflexion ist das Einfallslot angedeutet. Die Winkel & und \(\beta\) bezeichnet man als Einfallswinkel, bzw. Brechungswinkel. Der folgende Versuch diene zur Illustration des eben Gesagten. Durch genaue Messung kommt man zu folgenden Schlüssen:

a) Einfallendes Licht, gebrochenes Licht und Einfallslot liegen in einer Ebene.

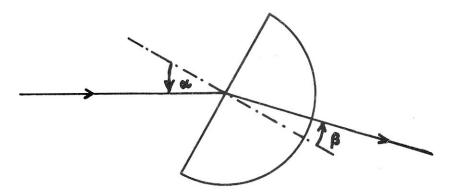


Fig. 11
Brechung des Lichtes an einer Glasfläche (reflektierter Strahl weggelassen)

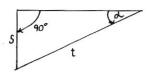
b) Der Sinus* des Einfallwinkels und der Sinus des Brechungswinkels stehen in einem konstanten Verhältnis. Dieses Verhältnis ist eine Stoffkonstante und heißt Brechungsverhältnis oder Brechungsquotient. Von größter Wichtigkeit ist das Brechungsverhältnis bei Übergang von Luft in Medium; man bezeichnet es mit dem Buchstaben n. (Andere Bezeichnungen sind: Brechungsindex, Brechungsvermögen, Brechungszahl).

Wichtige Werte von n.

I) Wasser	4/3	1,33
2) Kronglas	3	1,52
5) Kanadabalsam	-	1,53
6) Flintglas		1,65
2) Glyzerin		1,46
8) Paraffinöl		1,47

Der Berechnungsindex ist 1.00...0 für Vakuum definiert.

Ein weiterer Versuch zeigt die Wirkung einer planparallelen Glasplatte im Strahlengang eines Lichtbündels. Fig. 12 gibt die Anordnung wieder. Das Lichtbündel erleidet Parallelverschiebung.



Da der Sinus eines Winkels eine reine Verhältniszahl ist, so ist er dimensionslos. Die Sinuswerte der Winkel von $0^{\circ}-90^{\circ}$ liegen zwischen 0.0...0 und 1.0...0 und sind in Tabellenform zusammengestellt.

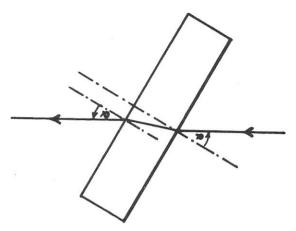


Fig. 12
Brechung bei Durchgang des Lichtes
durch eine Planglasplatte.

Blickt man z.B. durch eine Wasserschicht auf einen Gegenstand G, so erscheint sein Bild G'näher der Wasseroberfläche. Fig. 13 erklärt dies.

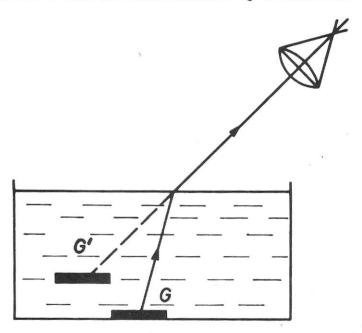


Fig. 13 Scheinbare Lageveränderung eines Gegenstandes durch Brechung.

In der Mikroskopie macht man davon Anwendung, wenn es gilt, Bilder um kleine Strecken zu versetzen. Legt man einen Quader aus Glas mit hohem Brechungsindex auf ein beschriebenes Blatt, so erscheint die Schrift stark gehoben.

2.2.1. Prismen.

Um Licht abzulenken, bedient man sich der Prismen. Diese sind Glaskörper

mit mindestens zwei brechenden Flächen, die miteinander einen Winkel einschließen. Die Brechung des eintretenden Lichtes erfolgt zum Lot, weil Glas optisch dichter als Luft ist, beim Verlassen des Prismas tritt Brechung vom Lot ein Der Winkel & heißt brechender Winkel des Prismas.

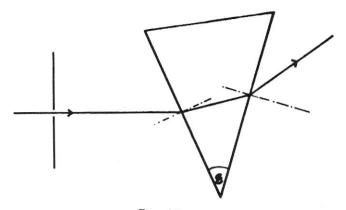


Fig. 14
Durchtritt einfärbigen Lichtes durch ein Prisma.

Man arbeitet bei diesem Versuch zunächst mit einfärbigen Licht. Bei geringfügigem Drehen des Prismas senkrecht zum einfallenden Lichtbündel ändert sich auch die Richtung der Ablenkung.

Wiederholen wir den Versuch über die Prismenwirkung mit weißem Licht, so erscheint eine Fläche in Farben des Regenbogens am Schirm. Je kürzer die Wellenlänge des Lichtes umso stärker ist die Brechung. Die Brechung des Lichtes ist wellenlängenabhängig, diese Eigenschaft nennt man Dispersion. Die Dispersion ist eine Materialkonstante.

Krongläser haben geringe Dispersion Flintgläser haben große Dispersion

Experimentell läßt sich zeigen, daß die Länge der Spektren von Prismen gleicher brechender Winkel aus verschiedenem Material unterschiedlich ist und zwar bei Krongläsern kürzer als bei Flintgläsern.

In der folgenden Fig. 15 ist durch die Buchstaben r und v angedeutet, wo das rote bzw. violette Ende des Spektrums liegt.

Fig. 15 (siehe Seite 12)

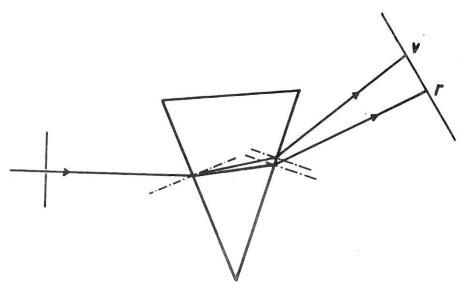


Fig. 15
Zerlegung des weißen Lichtes
v violett

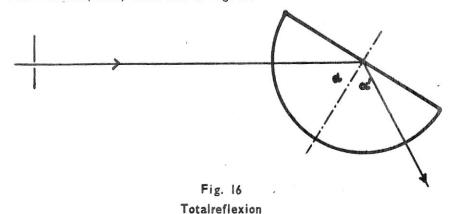
r rot

Es wird daher auch die Brechungszahl für einzelne bestimmte Wellenlängen in Katalogen der Glashersteller angegeben. Wenn vom Brechungsindex die Rede ist, versteht man darunter meist jenen Wert, der sich auf die Wellenlänge $n_{\rm d}=589$ nm bezieht. In jüngster Zeit verwendet man die Wellenlänge $n_{\rm e}=546$ nm (grün).

2.3. Totalreflexion.

Wird unter verschiedenen Winkeln einfallendes Licht auf jeden Fall gebrochen? Das Experiment lehrt, daß dies nicht immer der Fall ist. Beim Übergang vom optisch dichteren ins optisch dünnere Medium tritt bei bestimmten Einfallswinkeln keine Brechung sondern nur mehr eine Reflexion auf, diese heißt Totalreflexion. Mit dem Modell Glaskörper auf der sogenannten optischen Scheibe beweist man leicht diesen Sachverhalt. Das Licht ist gewissermaßen im optisch dichterem Medium gefangen.

Das Versuchsprinzip sieht man in Fig. 16.



Die Grenzwinkel, ab denen Totalreflexion eintritt, hängen von der Göße des Brechungsindex n ab.

Die mathematische Bezeichnung lautet $\sin \alpha = \frac{1}{g}$ für die Grenzwinkel gegen Luft.

Eine wichtige praktische Anwendung in der Mikroskopie findet das sogenannte total reflektierende Prisma. Was Fig. 17 zeigt, läßt sich leicht an der optischen Scheibe nachweisen, einfallendes Licht wird um 90° umgelenkt.

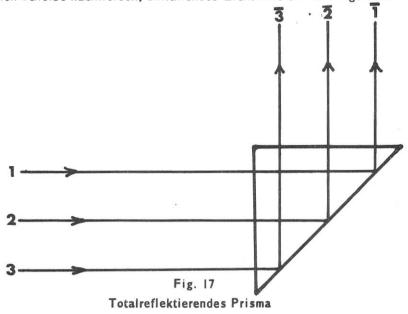


Fig. 18 zeigt ein Prisma, bei dem durch zweifache Totalreflexion das Licht wieder in die Einfallsrichtung umgelenkt wird; man nennt dies auch ein Umkehrprisma. Kombinationen von totalreflektierenden Prismen und Umkehrprismen finden im Mikroskopbau vielfache Verwendung.

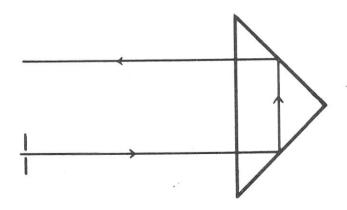


Fig. 18 Umkehrprisma

3. LINSEN.

Lichtbrechende transparente Körper, die von mindestens einer gekrümmten Fläche begrenzt werden, bezeichnet man als Linsen.



a) binokonvex



b) plankonvex

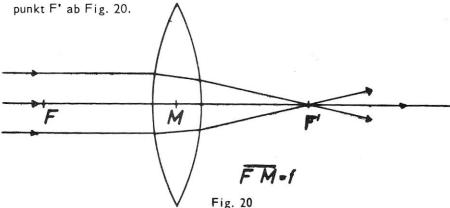
Fig. 19 Sammellinsen



 c) konkav konvex
 (Diese Form nennt man auch positiver Meniskus).

3.1. Sammellinsen.

Sammellinsen können drei verschiedene Formen aufweisen, siehe Fig. 19.
Alle diese Linsen bilden parallel einfallende achsnahe Strahlen im Brenn-



Parallele Strahlen werden im Brennpunkt einer Sammellinse abgebildet.

Die Strecke von der Linsenmitte M bis F bezeichnet man als Brennweite f, sie wird in mm angegeben. Als Brechkraft bezeichnet man die Größe D*. Sie wird in Dioptrien gemessen.

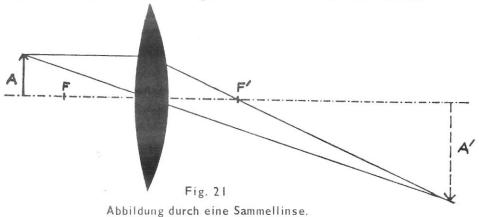
Beispiel: f = 200mm, D = 5 Dioptrien.

3.1.1. Abbildung durch Sammellinsen.

Sammellinsen ermöglichen eine Abbildung von Gegenständen, wie der folgende Versuch zeigt. In der Fig. 21 wird der mit A bezeichnete Gegenstand durch eine Linse nach A' abgebildet. F und F' sind der objektseitige bzw. bildseitige Brennpunkt. Die Verbindung der beiden Pfeilspitzen durch die Linsenmitte wird durch den sog. Hauptstrahl vermittelt. Der durch die Pfeil-

$$*D = \frac{1000}{f \text{ (mm)}}$$

spitze bei A parallel zur Achse gezeichnete Strahl heißt Parallelstrahl.



Man kann sowohl vergrößerte, als auch verkleinerte Bilder erhalten, die in beiden Fällen verkehrt sind, dabei sind Bild und Gegenstand auf verschiedener Seite der Linse, wenn der Gegenstand außerhalb von f steht.

Befindet sich aber der Gegenstand innerhalb der einfachen Brennweite f, so tritt Lupenwirkung ein. Das Bild G* ist aufrecht und vergrößert Fig. 22. Im Gegensatz zu Fig. 21 sind Gegenstand und Bild auf derselben Seite der Linse zu finden.

Ein sehr wichtiges Prinzip der Optik sei hier angeführt:

Es ist immer möglich einen Lichtweg in umgekehrter Richtung zu durchlaufen.

Auf die Abbildung durch Linsen bezogen heißt dies, daß man sich Bild und Gegenstand vertauscht denken kann.

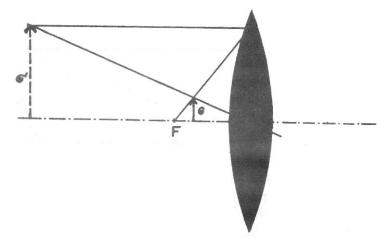


Fig. 22 Sammellinse als Lupe.

Alle diese Linsen weisen ebenso wie es beim Hohlspiegel der Fall ist, sphärische Fehler auf. Man erhält fehlerfreie Bilder nur von achsnahen Strahlen.

3.1.2. Vergrößern.

Vergrößern bedeutet allgemein den Sehwinkel vergrößern. Ein Stecknadelkopf, den man ohne weiteres sehen kann, wenn man diesen Gegenstand in deutlicher Sehweite vor dem Auge hält, ist nicht mehr zu erkennen, wenn die Stecknadel 10 m vom Auge entfernt ist; der Sehwinkel ist zu klein. Von deutlicher Sehweite spricht man, wenn die Entfernung Auge Objekt 250 mm beträgt.

Alle vergrößernden optischen Instrumente ermöglichen eine Vergrößerung des Sehwinkels.

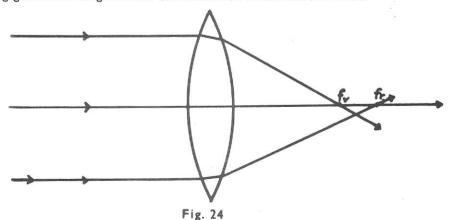
3.2. Zerstreuungslinsen und chromatische Fehler.

Linsen die man auch als Negativlinsen bezeichnet, werden in der Optik oft verwendet. Bei diesen Linsen findet sich das Bild immer auf derselben Seite wie der Gegenstand. Die wichtigsten Formen Fig. 23 sind:



Fig. 23
Zerstreuungslinsen.

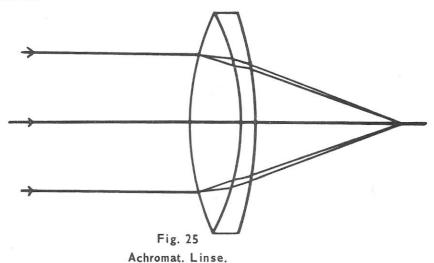
Wie schon beim Prisma erwähnt, ist die Brechung wellenlängenabhängig. Da man jede Linse als ein kontinuierlich sich änderndes Prisma auffassen kann; muß auch die Brennweite einer Linse \(\lambda\)-abhängig sein. Im folgenden Versuch (Fig. 24) wird gezeigt, wie rotes und blaues Licht durch eine Linse gebündelt wird. Wie schon beim Prisma erwähnt, ist die Brechkraft für Violett höher, als für Rot, d.h. die Brennweite ist für Violett kleiner als für Rot. Diese Erscheinung gibt zu den sogenannten chromatischen Linsenfehlern Anlaß.



Chromatische Linsenfehler.

f_v Brennweite für violettes Licht, f_r Brennweite für rotes Licht

Da diese oft recht unangenehm sind, hilft man sich, indem man Linsen durch Verkitten von Sammel- und Zerstreuungslinsen achromatisiert. Wieso ist dies möglich? Die folgende Abbildung Fig. 25 stellt diesen Sachverhalt dar. Die Gläser, aus denen die Linsen gefertigt sind, müssen verschiedene Dispersionen aufweisen. Die Sammellinse wird aus Kronglas, die Zerstreuungslinse aus Flintglas gefertigt. Je nachdem, welche Linsenwirkung gewünscht wird, kann ein Achromat wie eine Sammellinse oder wie eine Zerstreuungslinse wirken. Die Fehler der einen Linse werden durch die Fehler der anderen kompensiert.



Die inneren beiden Strahlen entsprechen dem violetten, die äußeren beiden dem roten Anteil des weißen Lichtes

3.3. Weitere Linsenfehler.

3.3.1. Astigmatismus.

Der Astigmatismus tritt vor allem bei Strahlengängen in Erscheinung, bei denen Licht Linsen in schiefen Bündeln durchsetzt. Die Strahlen eines solchen schiefen Bündels werden durch die Linse so gebrochen, daß eine Vereinigung im allgemeinen nicht mehr möglich ist.

3.3.2. Der Komafehler.

Dieser Fehler, oft auch kurz die Koma genannt, entsteht dann, wenn Licht durch ungenau gefertigte Linsen oder unzentrierte Linsensysteme tritt. Bei einer Linse tritt diese Erscheinung dann auf, wenn die Krümmungsmittelpunkte der beiden Flächen nicht in der optischen Achse liegen. Bei Linsensystemen tritt dieser Fehler aber auch dann auf, wenn genau gefertigte Linsen, die ein System bilden, nicht in einer Achse zentriert sind.

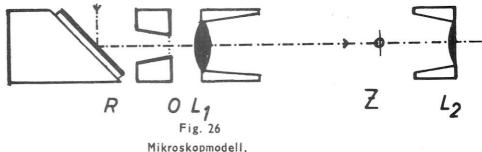
4. DAS ZUSAMMENGESETZTE MIKROSKOP.

4.1. Modell und wichtigste Begriffe.

Die bisher erläuterten physikalischen Tatsachen ermöglichen es bereits, die Wirkungsweise eines zusammengesetzten Mikroskopes zu verstehen. Ein einfaches Modell für den Abbildungs-Strahlengang läßt sich leicht herstellen: (In Fig. 26 skizziert). Eine Linse LI von ca. 30 mm Brennweite dient als Objektiv. Es ist jene Linse, die dem Objekt O zugewandt ist und ein vergrößertes, verkehrtes Bild des Gegenstandes bei Z entwirft. (Vgl. Fig. 21).

Dieses Bild heißt Zwischenbild, es läßt sich durch eine in den Strahlengang gehaltene Mattscheibe sichtbar machen. Zum Betrachten dieses Bildes bedient man sich einer Linse L2 (Vgl. Fig. 21), die man Okular nennt. Ihre Brennweite ist so bemessen, daß das Zwischenbild innerhalb dieser liegt. Es tritt dann also noch eine Vergrößerung des Bildes ein, da ja diese Linse L2 wie eine Lupe wirkt.

R ist ein Spiegel, um Licht auf das Objekt zu lenken.

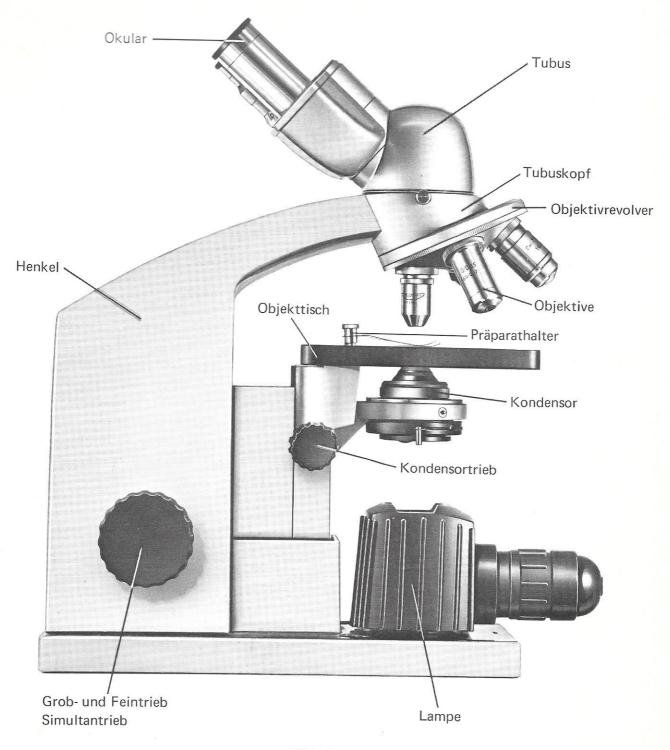


Mikroskopmodell

LI = Objektiv Z = Zwischenbild O = ObjektL2 = Okular R = Reflektor

Wie bereits bei den Eigenschaften der Sammellinse erwähnt, ist es möglich, die Bildgröße durch Veränderung der Gegenstandsweite innerhalb gewisser Grenzen zu ändern. Wenn man eine stärkere Vergrößerung wünscht, muß man am Mikroskopmodell das Objekt näher zur Objektivlinse bringen. Da sich dann der Ort des Zwischenbildes weiter zum Beobachter hin verschiebt, muß auch die Okularlinse entsprechend verstellt werden. Der Abstand von rückwärtiger Austrittsöffnung des Objektives zum Ort des Zwischenbildes wird als (optische) Tubuslänge bezeichnet; sie beträgt bei Reichert Durchlichtmikroskopen im Mittel 160 mm. Durch Änderung der Tubuslänge läßt sich die Bildgröße beeinflussen.

Man sieht aber ein, daß dies in der Praxis eine sehr unangenehme Sache ist. Daher werden die Objektive für ein Mikroskop so berechnet, daß alle Zwischenbilder an der selben Stelle liegen und außerdem die Entfernung vom Objekt zur Objektivansitzfläche bei allen Objektiven gleich ist. Dies ermöglicht dann die Anbringung von 4-oder 6-Objektiven auf einem drehbaren Revolver. Die Gesamtvergrößerung ist gleich Maßstabzahl des Objektivs x Vergrößerung des Okulars. Ersetzt man bei dem Modell LI durch ein Objektiv vierfacher Vergrößerung und L2 durch ein Okular achtfach, so erhält man Bilder, die wesentlich besser und fehlerfrei sind; die Gesamtvergrößerung ist 32-fach, bei 160 mm Tubuslänge.



Bildtafel

Mikroskopstativ Neopan mit Optik

Die Eigenschaften und Typen von Objektiven und Okularen werden später ausführlich besprochen.

4.2. Strahlengang des abbildenden Systems.

Die folgende Fig. 27*zeigt den Strahlengang des abbildenden Systems. Man erkennt, daß sich von jedem Objektpunkt ein Parallelstrahlenbündel durch das Okular ergibt, Dies läßt sich leicht beweisen, wenn man auf ein Mikroskopokular einen färbigen fluoreszierenden Glaswürfel aufsetzt, und als Objekt eine kleine Lochblende verwendet. Es erscheint dann eine fadenförmige Aufhellung im Glas. Die Teile des Mikroskopes sind wie bei Fig. 26 bezeichnet.

5. AUFBAU DES MIKROSKOPES.

5.1. Aufbau des Mikroskopstativs. (vgl. Bildtafel Seite 21 Je nach der Preisklasse besteht das Stativ aus mehr oder weniger schweren

Metallgußteilen, die sehr fest miteinander verbunden sind.

Der sogenannte Fuß des Mikroskopes ist meist in Form einer niederen Platte (z.B. Monopan) oder eines höheren Sockels (z.B. Diapan oder Zetopan) ausgeführt. Gelegentlich wurden auch gabelförmige Fußteile verwendet (RC). Unterhalb des Kondensortriebes finden sich meist im Fuß geeignete Befestigungsmöglichkeiten für Spiegel oder Lampen. Bei teureren Geräten ist die Beleuchtungseinrichtung fix eingebaut (z.B. Diapan).

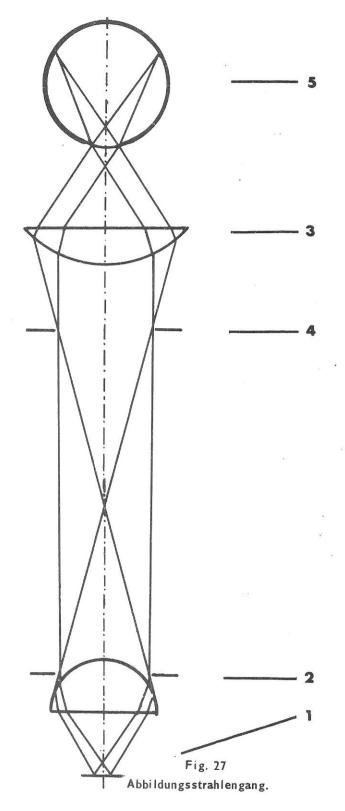
Der Henkel erfullt eine dreifache Funktion:
erstens dient er als Träger für den Tubus,
zweitens sind in ihm Bewegungsmechanismen für den Kondensortrieb und für
die grobe und feine Fokussierung der Objektive angebracht,
außerdem ist der Objekttisch daran befestigt.
Grob- und Feintrieb wirken meist auf den Tisch, sodaß also beim Mikroskopieren das Präparat zum starr befestigten Objektivrevolver hinbewegt werden
kann.

Je nach Arbeitskomfort des Instrumentes sind Tuben für monokulare oder binokulare Betrachtungsweise verfügbar.

Der Abstand von der Objektivansitzfläche bis zum Ende des Tubus wird als **mechanische** Tubuslänge bezeichnet. Diese Tubuslänge beträgt bei Reichert-Durchlichtmikroskopen 160 mm.

Der Grobtrieb ermöglicht eine rasche Veränderung der Entfernung Objektiv-

*Fig. 27 (siehe Seite 21)



l = Objekt

3 = Okular

5 = Auge

2 = Objektiv

4 = Zwischen-

bildebene

Präparat, während der Feinbetrieb (Mikrometertrieb) zur richtigen Scharfstellung des Bildes sowie auch bei vielen Geräten zum Messen von Tiefen dient. Der Objekttisch kann eckig oder rund sein, außerdem gibt es verschiedene Möglichkeiten der Praparathalterung und der Objektfuhrung

5.2. Beleuchtungseinrichtungen.

5.2.1. Einfache Mikroskope.

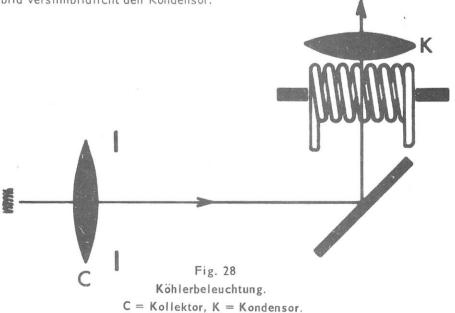
Bei einfachen Mikroskopen wird das Tageslicht oder Licht einer Tischlampe über einen Umlenkspiegel in Richtung auf das Objekt gelenkt. Zur besseren Ausleuchtung ist eine Sammellinse zwischen Spiegel und Präparat angebracht. Diese Sammellinse bezeichnet man als (einlinsigen) Kondensor. Zur richtigen Beobachtung bzw. Sichtbarmachung von Präparatdetails ist unterhalb dieser Linse (theoretisch in der spiegelseitigen Brennebene) eine Irisblende montiert.

Beispiel: Monopan in einfachster Ausstattung.

5.2.2. Mikroskope höherer Preisklasse. Köhler'sche Beleuchtung.

Mikroskope, die besser ausgestaltet sind, haben einen verstellbaren Kollektor vor der Lampe. Dieser kann ein- oder mehrlinsig sein, hiebei können auch Linsen mit nichtsphärischen Flächen verwendet werden.

Das Lampenwendel einer Mikroskopniedervoltlampe wird mittels des Kollektors in die Aperturblende des Kondensors abgebildet; siehe Fig. 28. Der Kollektor ist im Bild links durch eine Linse C angedeutet. Die Linse K ober dem Wendelbild versinnbildlicht den Kondensor.



Unmittelbar davor findet sich eine Irisblende, die man als Feldblende bezeichnet. Bei korrekter Beleuchtung, die nach dem deutschen Forscher Prof. Köhler benannt ist, wird die Feldblende mit Hilfe des Kondensors scharf in die Präparatebene abgebildet. Durch Verstellen des Lampenkollektors erziehlt man dann gleichmäßige Ausleuchtung des Bildfeldes.

5.2.3. Kondensortypen.

Die folgenden Abbildungen Fig. 29 a, b, c zeigen Typen von Kondensoren. Die Fig. 29 a und 29 b stellen Kondensoren vom sog. Abbetyp dar. Es sind dies 2- oder manchmal auch 3-linsige Systeme, die sehr weite Verwendung finden. Der Kondensor in Fig. 29 b bietet die Möglichkeit, die Frontlinse auszuklappen; dadurch vergrößert man seine Brennweite und ist imstande, große Gesichtsfelder auszuleuchten. Fig. 29 c hingegen stellt einen Kondensor hoher optischer Korrektur dar, es ist ein sogenannter achromatisch aplanatischer Kondensor. Er wird für Arbeiten verwendet, bei denen es auf Beobachtung feinster Objektdetails ankommt, z.B. in der Chromoromenforschung.

Die Brennweiten von Kondensoren liegen etwa zwischen 6 und 20 mm. Jeder Kondensor ist mit einer Aperturirisblende versehen, die sich in den Zeichnungen unterhalb der Optik angedeutet findet.

Die Wahl des Kondensors hängt u.a. auch vom sog. Auflösungsvermögen und der numerischen Apertur der verwendeten Objektive ab; dies wird im folgenden ausführlich erörtert.

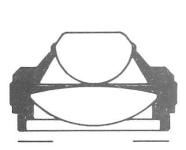


Fig. 29 a 2-linsiger Abbekondensor (Schnitt)

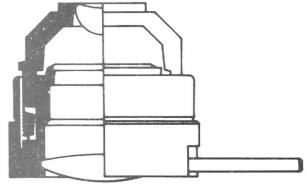
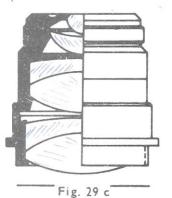


Fig. 29 b
2-linsiger Abbekondensor mit ausklappbarer Frontlinse (Schnitt).



Achromatisch aplanat. Kondensor (Schnitt)

5.3. Mikroskopische Präparate.

Es seien hier einige kurze Bemerkungen über mikroskopische Präparate eingeschoben.

Die Objekte werden meist auf Objektträger aufgebracht; diese sind Glasstreifen der Größe 25,4 x 76 mm (1" x 3") und werden in Dicken von 0.7-1.5 mm hergestellt. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle verwendet man solche der Dicke 1.0-1.3 mm. Für spezielle Zwecke werden auch kleinere oder größere Formate verwendet.

Durch aufgekittete oder lackumrandete Deckgläser werden die Objekte objektivseitig vor Staub und atmosphärischen Einflüssen geschützt. Im Gegensatz zu den Objektträgern, bei denen die Dicke nicht besonders kritisch ist — ausgenommen Spezialkondensoren — muß die vorgeschriebene Deckglasdicke genau eingehalten werden. Dies ist deshalb notwendig, weil besonders bei stärkeren Objektiven die Bildqualität davon abhängig ist. Um an diese wichtige Tatsache zu erinnern, werden bei allen Objektiven mit Maßstabszahlen über 16: I die Deckglasdicken aufgraviert. C.Reichert-Objektive sind für Deckglasdicken von 0.17 mm gerechnet und man sollte daher immer nur solche verwenden.

Die Herstellung von Präparaten wie dünnen Schnitten, Ausstrichen usw. ist in entsprechenden Fachbüchern beschrieben.

5.4. Objektive, numerische Apertur.

5.4.1. Trockenobjektive.

Wenngleich es auch möglich ist, mit einem Objektiv bei größerer Tubuslänge eine höhere Vergrößerung zu erzielen (Vergleiche 4.1.), so wird das Bild wohl größer, aber nicht mehr detailreicher. Der Grund hierfür liegt in einer Eigenschaft, die man als Auflösungsvermögen eines Objektives bezeichnet. Man versteht darunter die kleinste Entfernung zweier Punkte des Präparates, die ein Objektiv noch zu trennen vermag. Das wesentlichste Maß für das Auflösungsvermögen ist die sogenannte numerische Apertur. Diese ist so wichtig, daß sie auf jedem Objektiv und auch an Kondensoren aufgraviert wird. Man versteht darunter das Produkt n-sin ω , wobei n der Brechungsindex des Mediums (vor der Frontlinse) und ω der halbe Öffnungswinkel des Strahlenkegels bedeutet. Je höher die numerische Apertur ist, umso größer ist das Auflösungsvermögen. Da für Luft n = 1.00 ist, so folgt, daß die höchste numerische Apertur in Luft kleiner als 1.00 ist. Die Werte von sin ω sind 0, wenn ω =0° ist und 1,00 wenn ω =90° ist, daher müssen die Aperturen von Objektiven, deren Frontlinse an Luft grenzen, kleiner als 1.00 sein.

Als Berspiel sei hier das Auflösungsvermögen zweier Objektive angeführt:

Achromat 10/0.25

Auflösungsvermögen I, I µm

Fluorit 63/0,85

Auflösungsvermögen 0,32 µm

Die Gravur eines Objektives lautet:

40 / 0.65

160 / 0.17

Maßstabszahl / num. Apertur Tubuslänge / Deckglasdicke

Es wird nicht wundernehmen, wenn man aus der Größe der Objektiv-Apertur Angaben über die sinnvoll mögliche Gesamtvergrößerung herleiten kann. Diese soll das 500-1000-fache der n.A. sein und heißt förderliche Vergrößerung.

Beispiel:

Das Durchlichtobjektiv 4: I hat eine n.A., von 0.08. Es ist also unzweckmäßig, stärkere Okulare als 12,5X zu verwenden (0.08 x 500 = 40). Macht man dies doch, so spricht man von Leervergrößerung. Die stärksten verwendeten Gesamtvergrößerungen liegen bei 2000X. Die Grenze des Auflösungsvermögens ist außer durch die Apertur auch durch die Lichtwellenlänge bestimmt.

Die Entfernung von der oberen Deckglasfläche bis zum Fassungsrand der Objektivfrontlinse wird freier Arbeitsabstand genannt. Dieser ist im allgemeinen bei Objektiven niederer Maßstabszahl größer als bei solchen hoher Maßstabszahl.

Beispiele:

Freier Arbeitsabstand

Objektiv 10/0.25 6.6 mm Objektiv 63/0.75 0.17 mm

Um die starken Objektive vor Beschädigung zu schützen, werden diese in gefederten Fassungen montiert.

Man verwendet also, um verschiedene Vergrößerungen zu erzielen, Linsensysteme mit verschiedenen Brennweiten und Verschiedenen Aperturen. Je stärker ein Linsensystem vergrößert, umso kleiner ist seine Brennweite.

Für verschiedene Vergrößerungsstufen gibt es Objektive entsprechender Maßstabszahlen. Die Maßstabszahlen Durchlichtobjektive sind wie folgt abgestuft:

2,5	:	1	4,0	:	1	6,3:1
10	:	1	16	:	1	25 : 1
40		1	63	•	1	(100 : 1 Immersion)

Die Brennweiten dieser Objektive liegen zwischen 42 mm und 1.8 mm.

5.4.2. Immersionsobjektive.

Um noch höhere Aperturen als I.00 zu erzielen, bedient man sich eines Kunstgriffes: man ersetzt die Luft zwischen Deckglas und Frontlinse des Objektivs
durch eine Flüssigkeit, die auf jeden Fall einen höheren Brechungsindex als
I,00 aufweist. Die Immersionsobjektive sind durch Farbringe gekennzeichnet.
Da die numerische Apertur gleich ist n-sin ω, so folgt daraus, daß man sie
durch Wahl von geeigneten Flüssigkeiten weiter steigern kann. Die gebräuch-

lichsten Immersionsmittel sind:

a) Immersionsöl	n = 1.52
b) Glyzerin	n = 1,47
c) Paraffin	n = 1,46

a) Das von C.R. verwendete immersionsöl ist eine synthetische farblose, transparente Flüssigkeit von niederiger Zähigkeit. Dieses Öl ist sehr beständig und trocknet kaum. (Früher wurde häufig echtes Zedernöl verwendet, das leicht verharzt). Kennzeichen des Ölimmersionsobjektivs: schwarzer Lackring.

Zum Reinigen der Objektive eignen sich Xylol, Wundbenzin und Äther. Schädlich sind Alkohol und Spiritus!

- b) Glyzerin: Dieses auch in der Kosmetik viel verwendete Chemikalie eignet sich vorzüglich für Arbeiten in der sog. Fluoreszenzmikroskopie. (Reinigungsmittel: gewöhnliches Leitungswasser, kein fettlösendes Mittel!). Kennzeichen des Objektivs: blauer Lackring.
- c) Paraffin ist ein Bestandteil des Erdöls und wird in einer Qualität verwendet, wie sie auch in der Pharmazie üblich ist. (Reinigungsmittel: Benzin, Äther). Paraffin kann statt Glyzerin verwendet werden.

Die folgenden Bilder Fig. 30 a, b, c zeigen die Abhängigkeit der Apertur vom Brechungsindex des Mediums. In einer Küvette befindet sich eine Dose mit Schlitzen, aus denen Licht unter verschiedenen Winkeln austreten kann. Je nach dem Brechungsindex des umgebenden Mediums tritt Licht bei Fig. 30 a aus Glas in Luft, bei Fig. 30b in Wasser und bei Fig. 30c in Immersionsöl.

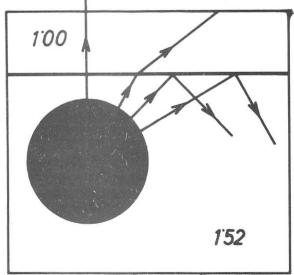


Fig. 30 a
Licht tritt aus Glas in Luft
(Trockensystem)

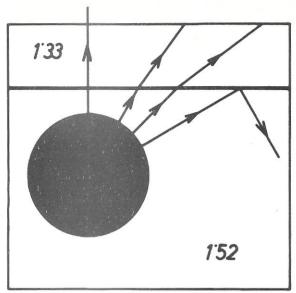


Fig. 30 b Licht tritt aus Glas in Wasser

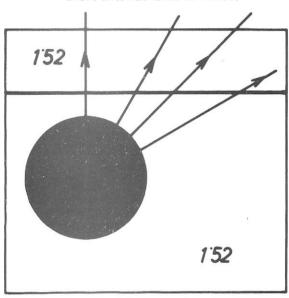


Fig. 30 c Licht tritt aus Glas in Immersionsöl (Ölimmersion).

5.5. Objektivtypen.

Die gebräuchlichen Objektivtypen werden hier aufgezählt:

5.5.1. Achromatobjektive.

Eigenschaften: Diese Objektive sind so gerechnet, daß für zwei Farben eine möglichst vollkommene Korrektur erreicht wird. Die Bilder erscheinen am Rande etwas unscharf. Dies nennt man Bildfeldwölbung. Fig. 31 zeigt ein Achromatobjektiv im Schnitt.

Fig. 31 (siehe Seite 28)

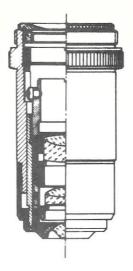


Fig. 31
Schnitt durch ein Achromatobjektiv
40 / 0.65
100 / 0.17

5.5.2. Planachromatobjektive.

Eigenschaften: Durch geeignete Korrekturen an den brechenden Flächen läßt sich die Bildfeldwölbung weitestgehend beseitigen. Wie die folgende Abbildung Fig. 32 zeigt, enthalten diese Objektive wesentlich mehr Linsen als die Achromate. Die Farbkorrektur ist ebenso gut wie bei Achromaten.

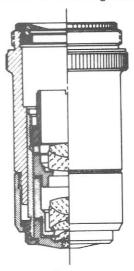


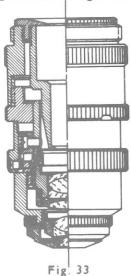
Fig. 32 Schnitt durch ein Planachromatobjektiv. 40 / 0.65

160 / 0.17

5.5.4. Apochromatobjektive.

Eigenschaften: Apochromatobjektive besitzen zusätzlich zum Korrektionszu-

stand der Achromate eine Korrektur für eine dritte Farbe. Außerdem haben sie ein viel höhere num. Apertur, als Achromate gleicher Maßstabzahl und daher ein größeres Auflösungsvermögen. Da die Korrektur mit den Linsen des Systems allein nicht möglich ist, benötigt man spezielle Okulare, um den Restfehler zu beseitigen. Fig. 33 zeigt diesen Objektivtyp im Schnitt. "corr" anstelle der Angabe der Deckglasdicke bedeutet, daß durch Drehen an der Fassung die jeweilige Anpassung an die Deckglasdicke erfolgen kann.



Schnitt durch das Apochromatobjektiv 40/0.90 160/corr.

5.6. Okulare.

5.6.1. Allgemeines

Allen Okularen gemeinsam ist eine eingebaute Blende, die die Größe der Sehfelder bestimmt. Diese Blende befindet sich an jener Stelle, an der das Zwischenbild entsteht. Bei Okularen vom Huyghenstyp (siehe 5.6.2.) ist diese Blende zwischen den Linsen der Optik, während sie bei den orthoskopischen Okularen (siehe 5.6.3.) objektivseitig vor der Optik liegt. Bei speziellen Okularen findet sich in der Zwischenbildebene eine Skala oder ein Fadenkreuz, die gleichzeitig mit dem Bild des Objektes scharf erscheinen. Die durch die Okularblende begrenzte Größe des Sehfeldes in mm ausgedrückt heißt Sehfeldzahl. Die Lupenvergrößerung z.B. 8x findet sich zusammen mit Kennbuchstaben, die den Okulartyp anzeigen auf jedem Okular aufgraviert.

5.6.2. Huyghens Okulare.

Es sind dies die einfachsten Okulare, sie bestehen aus 2 einfachen Linsen, deren objektivseitige Kollektlinse heißt, während die zum Auge gewandte Augenlinse genannt wird. Fig. 34 zeigt ein Huyghens Okular im Schnitt. Die neuen Huyghen Okulare sind durch den Buchstaben K vor Angabe der Lupenvergrößerung gekennzeichnet.

Fig.34 (siehe Seite 39)

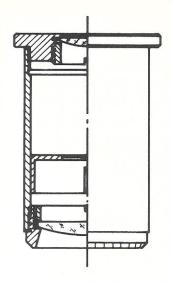


Fig. 34 Schnitt durch ein Huyghens-Okular

5.6.3. Andere Okulare.

Planokulare sind ähnlich wie die Huyghens-Okulare aufgebaut, nur ist wegen der erforderlichen Korrektur die Augenlinse als Achromat ausgebildet. Diese Okulare werden in Verbindung mit Planachromaten und Achromaten verwendet. Gravur''Plan''.

Wie schon bei den Apochromaten erwähnt, erfordern diese Objektive eigene Okulare, sogenannte Kompensokulare, um die Restfehler der Objektive zu beseitigen. Gravur: "Komp".

Diese beiden Okulartypen werden heute durch die Plankompensokulare ersetzt, die die eben genannten Eigenschaften von Planokularen und Kompensokularen vereinen und daher universeller verwendbar sind.

Die Plankompensokulare tragen die Gravur ''PK'', die Okulare B PK 10x, PK 12.5x, PK 16x und PK 25x sind orthoskopische Okulare. Der vorgesetzte Buchstabe ''B'' bedeutet Brillenträgerokular.

Die Kataloge geben Aufschluß über die zweckmäßigsten Optikzusammenstellungen. Der weniger Erfahrene sollte sich immer daran halten; dies gilt aber auch besonders für Anweisungen bezüglich der Kombinationsmöglichkeiten von PK Okularen mit Achromaten älterer Type.