

W. Scheffer

# Das Mikroskop.

Seine Optik, Geschichte und Anwendung

Mit 66 Abbildungen im Text und 1 Tafel

Aus Natur und  
Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich gemein-  
verständlicher Darstellungen  
aus allen Gebieten  
des Wissens

# Aus Natur und Geisteswelt.

## Sammlung

wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.

### 12 monatlich erscheinende Bändchen

von 130—160 Seiten in farbigem Umschlag zu je 1 Mark,  
geschmackvoll gebunden zu je 1 Mark 25 Pf.

Geschmackvolle Einbanddecken werden zum Preise von 20 Pf. geliefert.

Jedes Bändchen ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

Die Verlagsbuchhandlung sah sich infolge der erhöhten Herstellungskosten leider genötigt, den Preis für das Bändchen um den geringfügigen Betrag von 10 Pfennig zu erhöhen. Sie wird dafür, wie es bei den letzten Bändchen bereits geschehen ist, die Ausstattung durch Abbildungen reicher gestalten und so den Wert der Bändchen, der schon in ihrer inhaltlichen Vortrefflichkeit begründet ist, womöglich noch weiter zu erhöhen suchen.

Die Sammlung will dem immer größer werdenden Bedürfnis nach bildender, zugleich belehrender und unterhaltender Lektüre entgegenkommen. Sie bietet daher in einzelnen in sich abgeschlossenen Bändchen in sorgsamer Auswahl Darstellungen kleinerer wichtiger Gebiete aus allen Zweigen des Wissens und damit eine Lektüre, die auf wirklich allgemeines Interesse rechnen kann.

Eine erschöpfende allgemeinverständliche Behandlung des Stoffes soll auf wissenschaftlicher Grundlage ruhen, die die Mitwirkung angesehener und bewährter Fachmänner gewährleistet. So wird eine Lektüre geboten, die wirkliche Bestriedigung und dauernden Nutzen verspricht.

Wie der Inhalt, so soll auch in jeder Weise den Zweck der Sammlung erreichen helfen die trotz des billigen Preises sorgfältigste Ausstattung: die in bester Ausführung beigegebenen Abbildungen, der mit trefflicher Zeichnung versehene Umschlag, der geschmackvoller Einband.

Es erschienen bereits:

**Der Bau des Weltalls.** Von Prof. Dr. J. Scheiner. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1.25.

Will in das Hauptproblem der Astronomie, die Erkenntnis des Weltalls, einführen.

**Mensch und Erde.** Skizzen von Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Prof. Dr. A. Kirchhoff. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1.25.

Zeigt, wie die Ländernatur auf den Menschen und seine Kultur einwirkt.

**Meeresforschung und Meeresleben.** Von Dr. Janson. Mit vielen Abbildungen. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1.25.  
Schildert kurz und lebendig die Fortschritte der modernen Meeresforschung.

**Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen.** Von Prof. Dr. S. Günther. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1.25.

Behandelt die Entdeckungen insbesondere seit Heinrich dem Seefahrer bis zur neueren Zeit.

**Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Acht Vorträge aus der Experimental-Chemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. Mit 103 Abbildungen im Text. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1.25.

Führt unter besonderer Berücksichtigung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein.

**Das Licht und die Farben.** Von Prof. Dr. L. Graetz. Mit 113 Abbildungen. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1.25.

Führt von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben.

**Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit.** Von Bauinspektor Curt Merckel. Mit zahlr. Abbild. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1.25.

Führt eine Reihe hervorragender und interessanter Ingenieurbauten nach ihrer technischen und wirtschaftlichen Bedeutung vor.

**Einführung in die Theorie und den Bau der neuern Wärmekraftmaschinen.** Von Ingenieur Richard Vater. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1.25.

Will durch eine allgemein bildende Darstellung Interesse und Verständnis für die immer wichtiger werdenden Gas-, Petroleum- und Benzinkräfte erwecken.

**Bau und Thätigkeit des menschlichen Körpers.** Von Dr. H. Sachs. Mit 37 Abbildungen. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1.25.

Lehrt die Einrichtung und Thätigkeit der einzelnen Organe des Körpers kennen und sie als Glieder eines einheitlichen Ganzen verstehen.

**Die moderne Heilwissenschaft.** Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernacki. Deutsch von Dr. S. Ebel, Badearzt in Gräfenberg. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1.25.

Gewährt dem Laien in den Inhalt des ärztlichen Wissens und Könnens von einem allgemeineren Standpunkte aus Einsicht.

**Bau und Leben des Tieres.** Von Dr. W. Haacke. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1.25.

Indem uns der Verfasser die Tiere als Glieder der Gesamt-natur zeigt, lehrt er uns zugleich Verständnis und Bewunderung für deren wunderbare Harmonie, die, wie im Großen, in dem Zusammenwirken der viele Tausende von Lebewesen, so auch im Kleinsten, in der Zweckmäßigkeit auch der unscheinbarsten Organe, sich erkennen lässt.

**Die fünf Sinne des Menschen.** Von Dr. Jos. Clem. Kreibig  
in Wien. Mit 30 Abbild. im Text. Geh. M. 1.—, geschmackvoll  
geb. M. 1. 25.

Beantwortet die Fragen über die Bedeutung, Anzahl, Benennung und  
Leistungen der Sinne in gemeinfässlicher Weise.

**Grundzüge der Verfassung des deutschen Reiches.** Sechs Vorträge  
von Prof. Dr. E. Loening. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb.  
M. 1. 25.

Beabsichtigt in gemeinverständlicher Sprache in das Verfassungsrecht  
des deutschen Reiches einzuführen, soweit dies für jeden Deutschen erforderlich ist.

**Palästina und seine Geschichte.** Sechs vollständliche Vorträge von  
Prof. Dr. von Soden. Mit zwei Karten und einem Plan von  
Jerusalem. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

Auf Grund einer Reise durch Palästina hat der Verfasser uns hier ein  
Bild gezeichnet nicht nur von dem Lande selbst, sondern auch von all dem,  
was aus demselben hervor- oder über es hingegangen ist im Laufe der Jahr-  
tausende — ein wechselvolles, farbenreiches Bild — die Patriarchen Israels  
und die Kreuzfahrer, David und Christus, die alten Äscher und die Scharen  
Mohammeds lösen einander ab.

**Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbe-  
wegung.** Von G. Maier. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1. 25.

Will auf historischem Wege in die Wirtschaftslehre einführen, den Sinn  
für soziale Fragen wecken und klären.

**Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900.** Sechs volks-  
tümliche Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnen-  
wasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung, sowie ihre  
Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft von Prof. Dr. Walther  
Loß. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

Erörtert nach einer Geschichte des Eisenbahntwesens insbesondere Tarif-  
wesen, Binnenwasserstraßen und Wirkungen der modernen Verkehrsmittel.

**Das deutsche Handwerk in seiner kulturgechichtlichen Entwicklung.**  
Von Dr. Ed. Otto. Mit 27 Abbildungen auf 8 Tafeln. Geh.  
M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

Eine Darstellung der historischen Entwicklung und der kulturgechichtlichen  
Bedeutung des deutschen Handwerks von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart.

**Allgemeine Pädagogik.** Von Prof. Dr. Theobald Ziegler. Geh.  
M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

Behandelt die großen Fragen der Volkserziehung in praktischer, allge-  
mein verständlicher Weise und in sittlich-sozialem Geiste.

**Die ständischen und sozialen Kämpfe in der römischen Republik.**  
Von Leo Bloch. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1. 25.

Behandelt die Sozialgeschichte Roms, soweit sie mit Rücksicht auf die  
die Gegenwart bewegenden Fragen von allgemeinem Interesse ist.

25

## Aus Natur und Geisteswelt.

Sammlung  
wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.  
35. Bändchen.

# Das Mikroskop,

## seine Optik, Geschichte und Anwendung

gemeinverständlich dargestellt. \*

Von  
**Dr. W. Scheffer,**  
Dresden.

Mit 66 Abbildungen im Text und einer Tafel.



Leipzig,  
Druck und Verlag von B. G. Teubner.

1902.

\* na bitte!  
Fest Weihnachten '93

## Vorwort.

Seit etwa einem Menschenalter hat sich ein steigendes Bedürfnis nach sogenannter „populär-wissenschaftlicher“ Lektüre bemerkbar gemacht, und es ist ebenso interessant als erfreulich, daß Nachfrage und Angebot sich fast nur auf die exakten Wissenschaften, speziell die Naturwissenschaften beschränken. Dem Kenner populärer Schriften aus dem letzteren Gebiete werden zwei Richtungen aufgefallen sein: die eine namentlich im Anfange dieser Bestrebungen durch eine Reihe glänzender, teilweise weltbekannter Bücher gekennzeichnet, hatte zum Ziel an Stelle der bestehenden Dogmen neue zu setzen, die Folgerungen waren aus den großen Entdeckungen der modernen Forschung. Wenn auch diese meist genialen Werke, manches ist geradezu eine Poesie edelster Art, dem Naturforscher traute Freunde werden konnten, da ihm die Grundlagen — das Fundament, gefügt aus den festen Quadern naturwissenschaftlichen Wissens, selbstverständlicher Besitz waren, blieben diese Werke für die großen Massen Lüftschlösser, und verführten manchen unreisen Leser zu Träumereien, zu den absurdesten und unvernünftigsten Meinungen — es fehlte das tiefe naturwissenschaftliche Verständnis, das nötig ist, um solche Werke kritisch zu lesen.

Eine andere Richtung, wir möchten sie die belehrende nennen, hatte zum Ziel, das positive Wissen der Menge zu erhöhen, nur die Kenntnisse zu erweitern und nur Thatsachen in allgemein verständlicher Form zu bringen — jede weitere Folgerung aber zu vermeiden. Diese letztere Richtung ist, besonders in der allerletzten Zeit, mächtig hervorgetreten. Volks-hochschulen, Verleger und die Vertreter der Wissenschaften sind mit feinem Taktgefühl dem Wissensdurst des Volkes entgegengekommen.

Wir leben in einer Zeit tiefgreifender, rasch vor sich gehender Veränderungen, aber sie scheint nicht eine Zeit zu sein des Entstehens großer Systeme. Unsere Arbeit ist bescheidener, mühsam tragen wir Stein für Stein ab vom alten Bau, graben neue tiefe Fundamente und schleppen Bausteine herbei, oft mit blutenden Händen.

Im vorliegenden Büchlein ist ein bescheidener Versuch gemacht worden, einem größeren Kreise Interesse für das Mikroskop zu erwecken. Soweit irgend möglich, wurden keine speziellen Vorkenntnisse vorausgesetzt, und nur Thatsachen von allgemeiner Bedeutung gebracht. Es ist das Mikroskop nicht nur ein Instrument zum Suchen von Mikroben, sondern ein Hilfsmittel unsere Erkenntnis aller Dinge zu vertiefen. Wenn nun aber einer nach dem eigentlichen Zweck des Mikroskopierens fragen sollte, dann wollen wir ihm nicht antworten, wie viel es uns genützt hat, und um wie viel mehr es uns noch nützen wird, sondern wir möchten ihm auf seine Frage die Antwort geben, die das Recht der Forschung bedeutet solange denkende Menschen sind: Wissen ist Selbstzweck.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, den Firmen R. Fueß in Steglitz bei Berlin, G. Leitz in Wetzlar, Carl Zeiß in Jena, R. Jung in Heidelberg für die freundliche Unterstützung bei Abfassung dieser Arbeit bestens zu danken.

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Kapitel.	
Optische Vorbemerkungen . . . . .	1
II. Kapitel.	
Die Lupe oder das einfache Mikroskop . . . . .	19
III. Kapitel.	
Strahlengang. . . . .	35
IV. Kapitel.	
Das moderne Mikroskop . . . . .	50
Der Objektiv . . . . .	67
V. Kapitel.	
Abbildung mikroskopischer Objekte . . . . .	70
Vergrößerung und Messung . . . . .	86
VI. Kapitel.	
Die mikroskopische Untersuchung. . . . .	93
Verzeichnis der Figuren . . . . .	110
Register . . . . .	113

## I. Kapitel.

### Optische Vorbemerkungen.

Das Mikroskop ist in seinen wesentlichen Teilen ein optisches Instrument. Um die Einrichtung und Wirkungsweise desselben zu verstehen ist es nötig, die hier in Frage kommenden Grundbegriffe der Optik zu erläutern. Bekanntlich pflanzt sich das Licht in einem gleichmäßigen durchsichtigen Medium geradlinig fort. Geht ein Lichtstrahl aus einem Medium in ein solches mit anderen optischen Eigenschaften über, so erfährt er eine Veränderung seiner Richtung; er wird gebrochen. Fig. 1 ist eine schematische Darstellung dieses Vorganges.  $AB$  ist eine Wasseroberfläche (Grenzschicht zwischen Wasser und Luft). Der Lichtstrahl  $SP$  trifft diese Schicht in  $P$ . Das Experiment lehrt, daß der Strahl dann nicht in seiner früheren Richtung (punktiert) weiter geht in dem neuen Medium, sondern eine Ablenkung erfährt, und zwar in dem Punkt ( $P$ ). Nach dieser einmaligen Ablenkung geht er in der neuen Richtung  $PS_1$  geradlinig weiter. Der Bequemlichkeit halber hat man nun noch eine Hilfslinie eingeführt, die die Erklärung des Vorganges, die hier eventuell nötigen geometrischen Konstruktionen und auch die Messungen erleichtert, nämlich die Gerade  $EL$  (gestrichelt), das Einfallslot, eine auf der Berührungs-

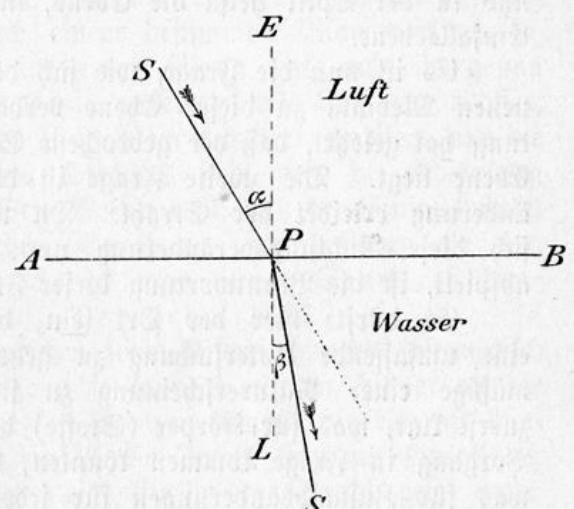


Fig. 1.

schicht beider Medien senkrecht stehende Linie, die diese Schicht in demselben Punkt trifft wie der Strahl und durch beide Medien geht. Diese Linie ist das Einfallslot dieses Strahles, und auch aller anderen möglichen Strahlen, die die Grenzschicht (*AB*) im Punkte *P* treffen. Weiter hat man in den Sprachschatz der Physik Namen für die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  aufgenommen;  $\alpha$  heißt der Einfallsinkel, d. h. der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslot bildet,  $\beta$  heißt der Brechungswinkel, d. h. der Winkel, den der gebrochene, (d. h. abgelenkte) Strahl mit dem Einfallslot bildet.

Eine weitere feststehende Bezeichnung ist das Wort Einfallsebene.

Es ist ohne weiteres klar, daß, wenn eine gerade Linie eine andere gerade Linie in einem Punkt trifft, diese beiden Geraden in einer Ebene liegen müssen. Dies ist nun immer der Fall mit dem einfallenden Strahl und dem Einfallslot, und in der Optik heißt die Ebene, in der sich beide befinden, Einfallsebene.

Es ist nun die Frage, wie sich der gebrochene Strahl im neuen Medium zu dieser Ebene verhält. Die Naturbeobachtung hat gelehrt, daß der gebrochene Strahl ebenfalls in dieser Ebene liegt. Die zweite Frage ist die, welche Richtungsveränderung erleidet der Strahl. Da wir bereits wissen, daß sich diese Richtungsveränderung nur innerhalb einer Ebene abspielt, ist die Beantwortung dieser Frage sehr vereinfacht.

Es dürfte hier der Ort sein, den Weg zu zeigen, den eine umfassende Untersuchung zu gehen hat, um das gesetzmäßige einer Naturscheinung zu finden: Man macht sich zuerst klar, was für Körper (Stoffe) bei dem zu ergründenden Vorgang in Frage kommen könnten, dann überlegt man sich, was für Zustandsänderungen für jeden dieser Körper möglich sind. Weiter wird man den Vorgang selbst innerhalb der durch seine Natur gegebenen Grenzen variieren.

Auf unsere Frage angewandt:

1. Für die Brechung des Lichtes kommen alle festen, flüssigen und luftförmigen bekannten Stoffe in Betracht, die durchsichtig sind.

2. Für alle diese Stoffe sind eine Reihe von Zustandsveränderungen physikalischer Natur möglich, Änderungen der Temperatur, des Aggregatzustandes, des Druckes, unter dem

sie sich befinden, ob sie unter elektrischen oder magnetischen Einflüssen stehen, bei Kristallen die Richtung der Achsen, und vieles anderes.

3. Für den Vorgang selbst ist nun in unserem Falle die Variationsmöglichkeit keine so sehr große. Zunächst ist es möglich den Einfallsinkel (die Richtung des einfallenden Strahles zu der Trennungsschicht) zu verändern, dann kann man die Helligkeit des Lichtes, drittens seine Farbe, d. h. seine Wellenlänge und viertens seine Schwingungsrichtung (polarisieren!) ändern. Wenn man sich nun alle heraus möglichen Fragestellungen und Versuchsmöglichkeiten kombinieren wollte, würde mancher vor der dabei sich ergebenden Unzahl den Mut verlieren.

Hier zeigt sich der Wert der Beschränkung. Der Forscher sucht sich aus all diesen Möglichkeiten eine einzige heraus, im Grunde ist es einerlei welche, z. B. Wasser und Luft, und stellt seinen Versuch so an, daß er nur eine Versuchsbedingung variiert, und zwar nach einem bestimmten Plan variiert, so, daß er die Variation in seiner Macht hat und sie genau messen kann. Er läßt also in unserem Falle Luft und Wasser, Helligkeit und Farbe des Lichtes unverändert, variiert nur die Richtung des einfallenden Strahles und mißt die Ablenkung desselben im Wasser. Sein Resultat ist, daß die Einfallsinkel in einer unveränderlichen Beziehung sich befinden zu den Brechungswinkeln, das Verhältnis ihrer Sinus ist konstant. (Snellius 1626, Descartes 1637.)

Da unser Naturforscher seine Untersuchungen systematisch macht, wird er den Vorgang so lange variieren, bis er an die ihm von der Natur gesetzten Grenzen kommt; die eine ist Einfallsinkel  $0^\circ$ , d. h. der einfallende Strahl liegt im Einfallslot, dann ist die Ablenkung gleich Null, der Strahl geht ungebrochen im zweiten Medium weiter: Ein senkrecht auf die Trennungsschicht auffallender Strahl geht ungebrochen weiter. Dies ist die eine Grenze des Vorgangs, da der Einfallsinkel nicht kleiner als  $0^\circ$  werden kann. Wird nun im Fortgang der Versuche der Einfallsinkel immer größer, so geht bei einem gewissen Werte dieses Winkels der Strahl überhaupt nicht mehr ins Wasser über, sondern wird von demselben gespiegelt. Dieser Winkel bedeutet die andere Grenze des Vorganges. Ist  $0^\circ$  das Minimum des Einfallswinkels, so ist

dieser das Maximum. Man nennt derartige Werte Grenzwerte. Die Spiegelung eines Strahles wird später den Gegenstand einer neuen Untersuchungsreihe bilden.

Zunächst wird der Forscher eine Anzahl verschiedener Körper derselben Untersuchung unterwerfen und wird des weiteren finden, daß es Fälle giebt, in denen der Brechungswinkel größer und solche, in denen er kleiner ist als der Einfallswinkel. Beim Übergang aus der Luft in das Wasser wird der Brechungswinkel kleiner sein, als der Einfallswinkel, umgekehrt beim Übergang aus dem Wasser in die Luft wird der Brechungswinkel größer sein als der Einfallswinkel. In letzteren Falle wird (Fig. 1) der einfallende Strahl vom Einfallslot weg, im ersten Falle dem Einfallslot zu gebrochen.

Man nennt ein Medium optisch dichter als ein anderes, wenn in ihm der aus dem anderen kommende Strahl dem Einfallslot zu gebrochen wird, im gegenteiligen Falle optisch dünner.

Wenn unser Physiker nun die gefundenen Werte zu einander in Beziehung bringt, wird er erkennen, daß in allen seinen Versuchen die Thatache wiederkehrt: daß der Sinus des Einfallwinkels zum Sinus des Brechungswinkels in einem unveränderlichen Verhältnis steht für alle einfallenden und gebrochenen Strahlen. Der Wert dieser Verhältnisgröße hängt von den optischen Eigenschaften der Körper ab, aber nur von diesen, nicht etwa daß chemisch verschiedene Körper auch verschieden das Licht brechen müßten; so hat z. B. eingedicktes Cedernholzöl dieselben brechenden Eigenschaften wie bestimmte Glassorten, so daß ein wie auch immer aus diesem Öl in das betreffende Glas (oder umgekehrt) einfallender Strahl niemals gebrochen wird, sondern die Trennungsschicht ebenso passiert, als ob er sich in einem gleichmäßigen Medium befände.

Man sagt zwei solche Körper haben denselben Brechungsindex.

Nachdem nun unser Physiker das Gesetz gefunden hat, wird er für alle von ihm gemessenen Körper eine Tabelle anlegen, in denen er ihre brechende Kraft zahlenmäßig ausdrückt. Für diese Angaben braucht er aber eine Größe, auf die er sich jederzeit beziehen kann, die das Maß ist, mit dem er die brechende Kraft mißt. Er kann dazu die brechende

Kraft irgend eines beliebigen Körpers nehmen, mit dem er alle andern vergleicht, z. B. Luft; er würde also für alle Körper dann angeben, was mit einem aus Luft in sie einfallenden Strahl geschieht. Dann bekommt er vergleichbare Zahlen, die sich alle auf Luft beziehen (relativer Brechungsindex). Bezieht er sich aber nicht auf die Luft, sondern auf das Vacuum, so bekommt er die absoluten Brechungsindices. Wie oben erwähnt, hat unser Beobachter bemerkt, daß von einer gewissen Größe des Einfallwinkels an das Licht an der Oberfläche gespiegelt wird. Hat er für die Brechung alle Winkelgrößen des Einfallwinkels in Betracht gezogen, in bestimmten Intervallen bis zum größtmöglichen, dem maximalen Grenzwert, angefangen vom kleinstmöglichen, dem minimalen Grenzwert, so wird er dasselbe auch für die Spiegelung thun. Hier findet er, daß die Verhältnisse viel einfacher liegen. Der reflektierte (gespiegelte) Strahl bildet mit dem Einfallslot denselben Winkel, wie der einfallende Strahl. Fig. 2. SP ist der einfallende,  $PS_1$  der reflektierte Strahl.  $\angle \alpha = \angle \beta$ .

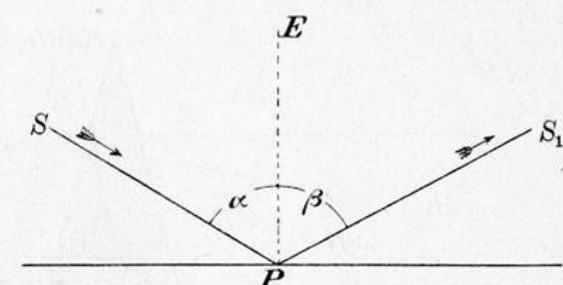


Fig. 2.

Diese Untersuchungen bezogen sich auf durchsichtige Medien. Man hat den Vorgang der Spiegelung solcher schräg einfallender Strahlen an der Oberfläche durchsichtiger Körper totale Reflexion genannt, und der Winkel, bei dem die Brechung aufhört, aber die totale Reflexion anfängt, heißt: der Grenzwinkel der totalen Reflexion. Es ist nur ein Schritt von der Spiegelung an der Oberfläche durchsichtiger Medien zu der Spiegelung an der Oberfläche undurchsichtiger Medien (Metallspiegel u. s.). Für diese gilt genau dasselbe Gesetz, wie für die oben betrachtete Spiegelung, nur fängt diese Spiegelung bei einem Einfallwinkel von  $0^\circ$  (senkrecht einfallender Strahl, Fig. 1 und 2 EP) an, da der Strahl nicht in die undurchsichtigen Körper eintritt, und geht bis  $90^\circ$ .

Die Untersuchungen betreffend die Änderung des Brechungsindex einer Substanz, wenn ihr physikalischer Zustand geändert

wird (Erwärmen, Druck usw.), gehören nicht hierher, da wir nur darauf auszugehen, die Optik des Mikroskopes zu verstehen, und die Mikroskoplinsen als physikalisch unveränderliche Körper aufzufassen sind.

Untersuchungen dieser Art beziehen sich meist auf mineralogische Objekte. Wer sich hierfür interessiert, dem möchten wir das Studium des vorzüglichen Werkes des Herrn C. Leiß „Die optischen Instrumente der Firma R. Tueß“ empfehlen. Die Firma hat den Bau optischer Instrumente für die Mineralogie zu einer ihrer Spezialitäten gemacht und leistet ganz Hervorragendes auf diesem Gebiete.

Nachdem wir nun das Gesetz der Brechung kennen, ist es ein leichtes dasselbe auf einen besonderen Fall anzuwenden: Fig. 3. Der Strahl  $SA$  falle aus Luft auf ein Glasprisma; er

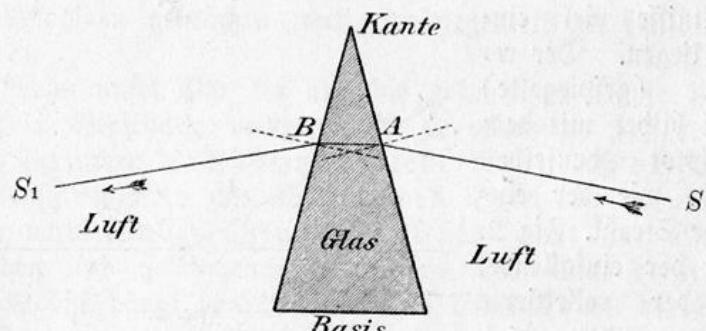


Fig. 3.

wird im Glas (dem optisch dichteren Medium) dem Einfallslot (punktirte Linie durch  $A$ ) zugebrochen, geht dann in der neuen Richtung zur gegenüberliegenden Fläche des Prismas, wo er bei seinem Übertritt in Luft wiederum gebrochen wird, aber diesmal vom Einfallslot (punktirte Linie bei  $B$ ) ab, da Luft optisch dünner ist als Glas; der Strahl hat also, nachdem er wieder in Luft übergetreten ist, eine neue Richtung ( $BS_1$ ) angenommen gegen die erste ( $SA$ ), er ist nach der Basis des Prismas zu abgelenkt worden. Was geschieht nun, wenn wir einen Gegenstand durch ein Prisma betrachten? In Fig. 4 wird das Licht  $L$  von dem auf der anderen Seite des Prismas befindlichen Auge betrachtet; der Gang des Strahles in das Auge ist ohne weiteres aus der Zeichnung

ersichtlich; nun ist es eine Erfahrungsthatsache, daß wir den Ort eines Gegenstandes in einer Richtung annehmen, wohin die Verlängerung des unser Auge treffenden Strahles zielt. Wir nehmen also das Licht nicht an seinem Orte, sondern in  $L_1$  wahr. Man nennt einen derartigen Vorgang eine optische Täuschung. (Er ist dadurch erklärbar, daß während der langen Zeit der Entwicklung der Mensch fast nur Lichteindrücke bekam von Gegenständen, die ihre Strahlen geradlinig ins Auge sandten, und so durch unendlich viele Erfahrungen dieser Art das Menschengeschlecht jeden gesehenen Gegenstand in der Richtung des Sehstrahles annimmt. Die Tiere sind selbstverständlich genau denselben optischen Täuschungen ausgesetzt.)

Haben wir gesehen, daß wir uns täuschen können über die Richtung, in der sich ein Körper (leuchtender Punkt) im

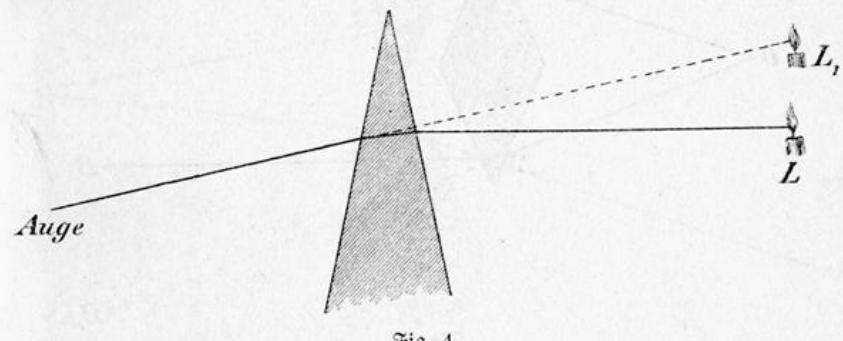


Fig. 4.

Raume befindet, so ist es sehr einfach, die menschlichen Sinne auch zu täuschen über die Entfernung zweier Körper voneinander. Fig. 5 macht das klar: die beiden Prismen stehen mit der Basis aufeinander, der Vorgang ist genau derselbe wie in Fig. 4.  $A$  wird also in  $A'$ ,  $B$  in  $B'$  zu sein scheinen. Die Entfernung der beiden Punkte scheint vergrößert. Man nennt solche in der Verlängerung eines abgelenkten Sehstrahles liegende nur in der Vorstellung bestehende Bilder virtuelle, im Gegensatz zu den reellen, die objektiv darstellbar sind durch Auffangen mit einem Schirm.

Weiter geht aus Fig. 5 hervor, daß parallele Strahlen ( $A$  und  $B$  senden zwei parallele Strahlen zum Prisma) jenseits der Prismen sich schneiden; da alle optischen Vorgänge umkehrbar sind, geht ohne weiteres daraus ebenfalls hervor, daß

die Strahlen  $OM$  und  $ON$  nach ihrem Durchgang durchs Prismen parallel werden.

Stellen wir nun die beiden Prismen anstatt mit der Basis, mit den Kanten aufeinander (Fig. 6), und sehen, was mit den beiden von den Punkten  $A$  und  $B$  ausgehenden Strahlen geschieht. Sie sind stark konvergent, werden beim Durchgang durch die Prismen nach der betreffenden Basis zu abgelenkt, bleiben aber noch etwas konvergent, so daß sie sich in  $O$  schneiden, wo sich das Auge befindet. Genau wie bei

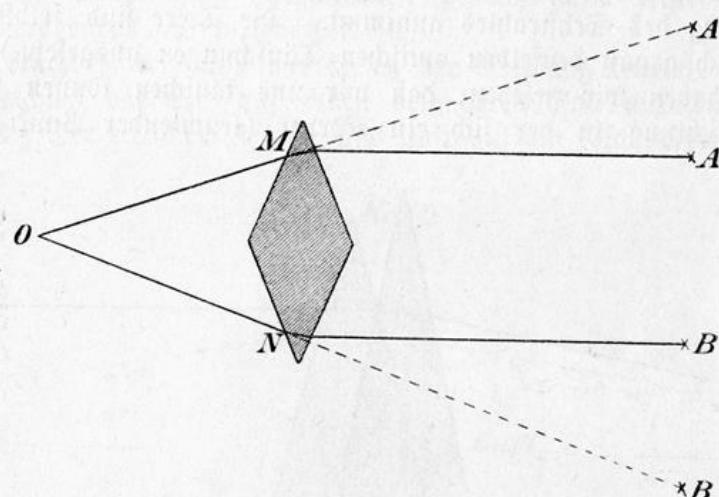


Fig. 5.

Fig. 5 verlängern wir in der Vorstellung die Sehstrahlen und nehmen an, daß die leuchtenden Punkte  $A$  und  $B$  in der Verlängerung von  $A_1$  und  $B_1$  liegen; der Abstand von  $A$  und  $B$  scheint uns verkleinert. Hier sehen wir zum erstenmal, daß durch passende Anordnung brechender Medien optische Täuschungen hervorgerufen werden können über Größenverhältnisse (in unseren zwei Fällen Längen, d. h. Größen erster Ordnung).

Es ist nun sehr einfach durch Rotation der Prismenpaare in Fig. 5 und 6 ringsförmige Gebilde zu bekommen. 5 wird um eine Achse rotiert, die in der Berührungsfläche der Basen der beiden Prismen liegt, 6 um eine Achse, die die Berührungsfläche der Kanten kreuzt; jedesmal steht die Rotationsachse senkrecht auf der Halbierungsebene der Kantenwinkel (die der

Basis gegenüberliegenden Winkel oder den Winkel, den die beiden brechenden Flächen des Prismas bilden). Man bekommt dann statt der Prismen ringsförmige Gebilde, die von Regelmänteln begrenzt sind,  $A$  und  $B$  beschreiben einen Kreis (sie sind selbstverständlich symmetrisch liegend gedacht).

Und nun ist aus Fig. 5 und 6 ohne Mühe zu ersehen, daß der Kreis, den  $A$  und  $B$  beschrieben haben (er ist als leuchtender Ring gedacht), dem betrachtenden Auge in  $O$  in Fig. 5 vergrößert, in Fig. 6 verkleinert erscheint; wir sind nun fortgeschritten zur Täuschung über eine von einem

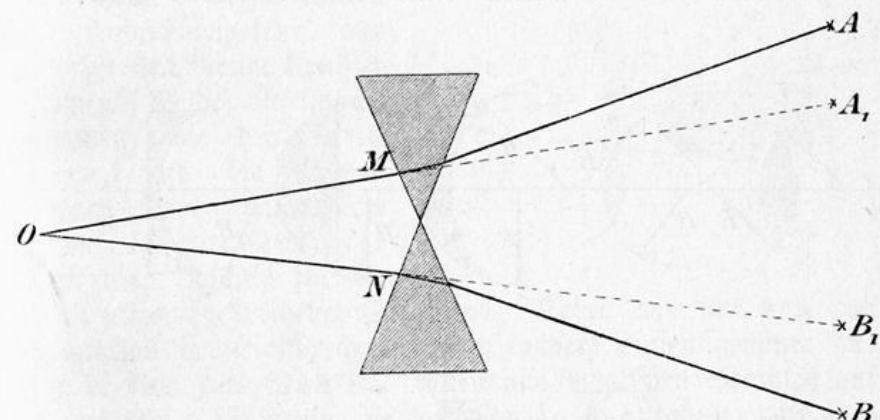


Fig. 6.

Kreis begrenzte Größe, eine Fläche (wenn auch nur eine gedachte), also eine Größe zweiter Ordnung.

Wie hier dargeboten, würde also zur Vergrößerung eines linearen Kreisringes der Rotationskörper aus Fig. 5 genügen, vorausgesetzt, daß der leuchtende Kreisring nur Strahlen aussendet zum Rotationskörper, die einen Cylindermantel bilden, der aus der Rotation der Figur hervorgeht, mit anderen Worten, ein jeder Punkt dieses leuchtenden Ringes dürfte nur einen Strahl (ein engstes Strahlenbüschel) zum Rotationskörper senden. Das thut nun bekanntlich ein leuchtender Punkt nie; ein Prisma, oder überhaupt ein von ebenen Flächen begrenzter Körper vermag aber andererseits nicht, verschiedene Strahlen aus einem leuchtenden Punkte wieder auf der anderen Seite zum Punkt zu vereinigen. Es ist aber selbstverständlich, daß eine Abbildung irgend eines Gegenstandes nur denkbar ist,

wenn die aus jedem Punkte desselben das abbildende optische Instrument treffenden Strahlen wieder irgendwo punktförmig vereinigt werden, und zwar die Punkte alle zueinander in derselben oder ähnlichen relativen Lage im Bilde sich befinden wie im Original.

Es giebt nun in der That eine Form der brechenden Körper, die diese Bedingung erfüllt, alle von einem Punkt ausgehende Strahlen (die den betreffenden Körper treffen) in einem Punkt wieder zu vereinigen und die Ähnlichkeit der Lage aller Punkte des Objektes im Bilde wiederzugeben, das ist die Kugelform. Von Teilen einer Kugeloberfläche begrenzte

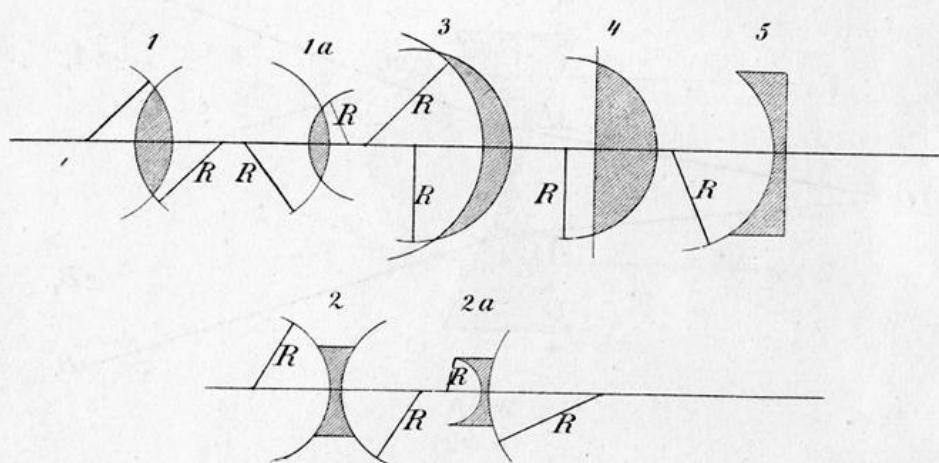


Fig. 7.

Glaskörper (und mit solchen haben wir es beim Mikroskop zu thun) heißen Linsen.

Fig. 7 zeigt die möglichen Grundformen von Linsen:

1 Die biconvexe, mit gleicher Krümmung beider Flächen (1a die mit verschiedener).

Die Linien  $R$  sind die Krümmungsradien.

2 Die biconkavé Linse mit gleichen, 2a die mit verschiedenen Krümmungen.

3 Die konkav-konvexe Linse, oder der Meniskus, hat selbstverständlich immer verschiedene Krümmungsradien.

4 Die plan-konvexe,

5 die plan-konkavé Linse.

Wenn wir namentlich Fig. 7 1 und 2 ansehen, fällt uns eine gewisse Ähnlichkeit mit unserer Prismenanordnung auf.

Wie allgemein bekannt, kann man sich einen Kreis denken als zusammengesetzt aus einer großen Anzahl kürzester Linien. In außerordentlicher Vergrößerung stellt das Fig. 8 dar, man sieht zugleich, daß diese Prismen einen kontinuierlich wachsenden Kantenwinkel haben, von der Mitte nach dem Rande zu.

Gehen wir von der Linie (Größe erster Ordnung) zur Fläche (Größe zweiter Ordnung), so können wir sagen, eine Kugelfläche ist zu denken als zusammengesetzt aus einer großen Menge kleinsten Ebenen. Beide, die kleinen Geraden, die den Kreis bilden, und die kleinen Ebenen der Kugelfläche liegen in tangentialer Richtung (wichtig für die Konstruktion gebrochener Strahlen).

Sehen wir uns nun den Spezialfall der Lichtbrechung durch konvexe Linsen genauer an: Fig. 9. Von dem Punkt  $P$  fallen alle möglichen Strahlen auf die bikonvexe Linse ein, sie werden so gebrochen, daß nach ihrem Durchgang durch die Linse jenseits derselben alle diese Strahlen wieder in einem einzigen Punkte  $P'$  sich schneiden.

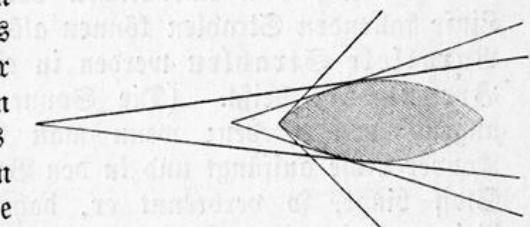


Fig. 8.

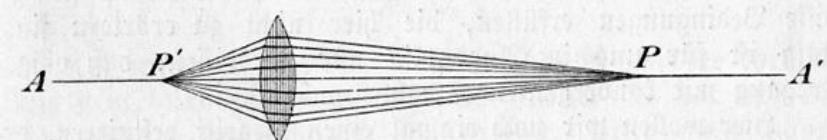


Fig. 9.

Die Linie  $AA'$  ist die optische Achse der Linse. Sie ist die Verbindungsline der Mittelpunkte der beiden Kugeln, deren Hauben die Linsenflächen bilden. In unserem ersten Falle also lag  $P$  auf dieser optischen Achse. Um nun die Linse weiter zu studieren, variieren wir wieder eine Versuchsbedingung, nämlich die Lage des Objektes (der körperliche Gegenstand, der das Licht zur Linse sendet, heißt Objekt).

Lassen wir  $P$  sich von der Linse entfernen: alle nun

von  $P$  auf die Linse einfallenden Strahlen werden sich wieder auf der anderen Seite der Linse in einem Punkte treffen, der wieder auf der optischen Achse liegt, aber diesmal näher an der Linse. Entfernen wir nun das Objekt immer mehr von der Linse, lassen es aber auf der optischen Achse, so rückt sein Bild immer näher an die Linse heran, bleibt aber auf der optischen Achse. Entfernen wir zuletzt das Objekt so weit, daß es unendlich weit entfernt ist von der Linse, aber immer auf der optischen Achse, so vereinigen sich die Strahlen wiederum in einem Punkte auf der optischen Achse jenseits der Linse.

Die aus dem Unendlichen von dem Objekt aus auf die Linse fallenden Strahlen können als parallel angesehen werden. Parallelle Strahlen werden in einem Punkte vereinigt, der Brennpunkt heißt. (Die Sonne kann als unendlich weit angenommen werden; wenn man Sonnenstrahlen mit einer Konvex-Linse auffängt und in den Brennpunkt einen brennbaren Stoff bringt, so verbrennt er, daher der Name Brennpunkt.) Bringen wir einen leuchtenden Punkt in den Brennpunkt, so werden wie oben gesagt alle von ihm ausgehenden Strahlen jenseits parallel aus der Linse wieder austreten (Umkehrbarkeit optischer Erscheinungen). Bringen wir nun diesen leuchtenden Punkt noch näher an die Linse heran, so werden alle in Betracht kommenden Strahlen jenseits divergierend aus der Linse herauskommen. Umgekehrt werden konvergente Strahlen nach ihrem Durchgang durch die Linse sich in einem Punkt kreuzen, der der Linse näher liegt als der Brennpunkt (wenn sie gewisse Bedingungen erfüllen, die hier nicht zu erörtern sind; nötig ist für uns im Augenblick nur zu wissen, daß obiger Vorgang mit konvergenten Strahlen möglich ist).

Hier wollen wir noch einmal einen Begriff definieren, der uns häufig begegnen wird: Abbilden. Eine Linse bildet einen leuchtenden Punkt ab, wenn sie alle von ihm auf sie einfallenden Strahlen auf der anderen Seite wieder zum Punkt vereinigt. Sie bildet, wie oben gesagt, ein Objekt ab, wenn die Abbildungen aller Punkte desselben in ähnlicher relativer Lage liegen, wie beim Objekt die betreffenden Punkte selbst.

In den obigen Fällen haben wir gesehen, daß Punkt und Bild auf der optischen Achse lagen; es ist ein Gesetz, daß wenn ein Objekt auf der optischen Achse liegt, sein Bild auch auf derselben liegen muß.

Untersuchen wir nun, wie ein Punkt abgebildet wird, der außerhalb der optischen Achse liegt. Fig. 10: Seine Entfernung von der Linse hat denselben Einfluß auf die Entfernung des Bildes von derselben, wie im obigen Fall (Objekt und Bild auf der optischen Achse), nur werden die Strahlen vereinigt in einem Punkte, der auch außerhalb der optischen Achse liegt, und zwar auf der anderen Seite derselben wie das Bild. Wandert nun der Objektpunkt auf der Geraden  $EE'$ , die senkrecht auf der optischen Achse steht, so wandert sein Bild

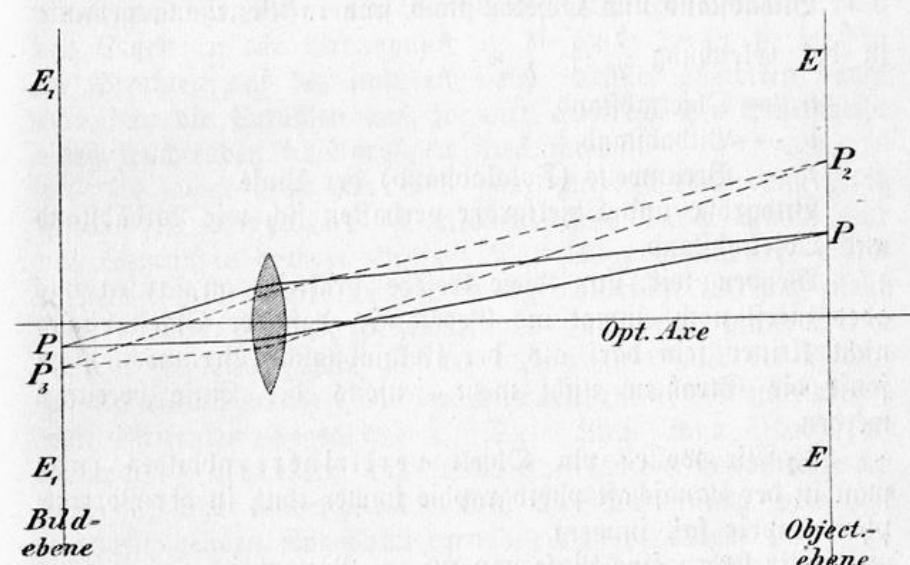


Fig. 10.

auf der Geraden  $E_1E_1'$ , die ebenfalls senkrecht auf der optischen Achse steht, und zwar, je mehr das Objekt sich der optischen Achse nähert oder sich von ihr entfernt, desto mehr nähert oder entfernt sich auch das Bild. Mag jedoch das Objekt auf der Geraden  $EE'$  wandern wohin es will, sein Bild wird immer auf  $E_1E_1'$  wandern. Rotiert man die Figur um die optische Achse als Drehachsaxe, so werden die Geraden, auf denen das Objekt und das Bild wanderten, Ebenen und wir kommen zu dem Satz: Alle auf einer Ebene (Objektebene) liegenden Punkte werden wieder auf einer Ebene (Bildebene) jenseits der Linse abgebildet.

Wir haben hier nur den Fall zu betrachten, daß Objektebene und Bildebene senkrecht auf der optischen Achse stehen.

Durch die Rotation der Figur haben wir wiederum zwei Dimensionen des Raumes in Betracht gezogen.

Weiter sieht man aus der Figur, daß die Entfernung von  $P_2$  bis  $P$  größer ist als die von  $P_1$  bis  $P_3$ ; ein Stück des Objektes (natürlich auch das ganze in der Ebene  $EE'$  liegende Objekt) wird in diesem Fall verkleinert.

Es tritt hier die Frage nach dem Gesetz auf, welches beherrscht: 1. Bildabstand und Objektabstand von der Linse und 2. das Verhältnis der Größe des Bildes zu der des Objektes.

Bildabstand und Objektabstand sind in Beziehung gebracht in der Gleichung  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ .

$a$  — Objektabstand,

$b$  — Bildabstand,

$f$  — Brennweite (Fokalabstand) der Linse.

Bildgröße und Objektgröße verhalten sich wie Bildabstand und Objektabstand.

Wenden wir nun diese Gesetze praktisch an, rufen uns aber zuerst noch einmal ins Gedächtnis, daß der Objektabstand nicht kleiner sein darf als der Fokalabstand (Brennweite), da sonst die Strahlen nicht mehr jenseits der Linse vereinigt werden.

1. Wir wollen ein Objekt verkleinert abbilden (was man in der Landschaftsphotographie immer thut, in der Porträtmphotographie fast immer).

Wir haben eine Linse von 20 cm Brennweite und wollen irgend ein Objekt zehnfach (linear) verkleinern. Wie groß muß der Objektabstand sein? Da das Objekt zu seinem Bild sich verhält wie 1:10, verhält sich (nach dem oben Gesagten) auch der Objektabstand zum Bildabstand wie 1:10.

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

$$f = 20 \quad \frac{a}{b} = \frac{10}{1} \quad a = 10 b$$

$$\frac{1}{a} + \frac{10}{a} = \frac{1}{20}$$

$$a = 220 \text{ cm.}$$

Das heißt, wenn eine Linse von 20 cm Brennweite ein Objekt zehnmal verkleinert darstellen soll, so muß der Abstand des

Objekts 220 cm sein. Der Bildabstand ist dann 22 cm. Will man mit derselben Linse eine zehnfache Vergrößerung machen, so ist der Objektstand 22 cm, der Bildabstand 220 cm. Die Berechnung von Vergrößerungen ist wichtig für das Bildmikroskop (Projektionsapparat) und die Mikrophotographie; derartige auffangbare vergrößerte oder verkleinerte Bilder können jederzeit direkt gemessen werden, und man kann aus ihnen auf die wahren Maße des Objektes schließen, wenn man nur die Eigenschaften der projizierenden Linsen kennt. Man kann sie objektiv demonstrieren, indem man sie auf einer Mattscheibe auffängt. Bringt man das Objekt in den Brennpunkt an die Linse heran, so werden die Strahlen auf der anderen Seite parallel austreten, fängt man nun die Strahlen auf, so wird man auf der Mattscheibe einen leuchtenden kreisförmigen Fleck finden.

Es möge hier nur eine ganz kurze Erläuterung Platz finden des Vergrößert-, Verkleinertsehens durch Linsen und des Sehens in wahrer Größe. Das Auge besteht aus einem System lichtbrechender Medien, deren dioptrische Wirkung gleich ist der einer sehr kurzbrechenden Glasslinse; hinter dieser befindet sich eine Fläche, auf die diese Linse Bilder der Objekte der Außenwelt entwirft, und zwar scharfe Bilder von unendlich<sup>1)</sup> weit entfernten Gegenständen. Diese Linse kann jedoch ihre Krümmung vermehren und somit eine kürzere Brennweite bekommen, und wahrscheinlich auch ihre Entfernung von dem bildauffangenden Augenhintergrund etwas verändern.

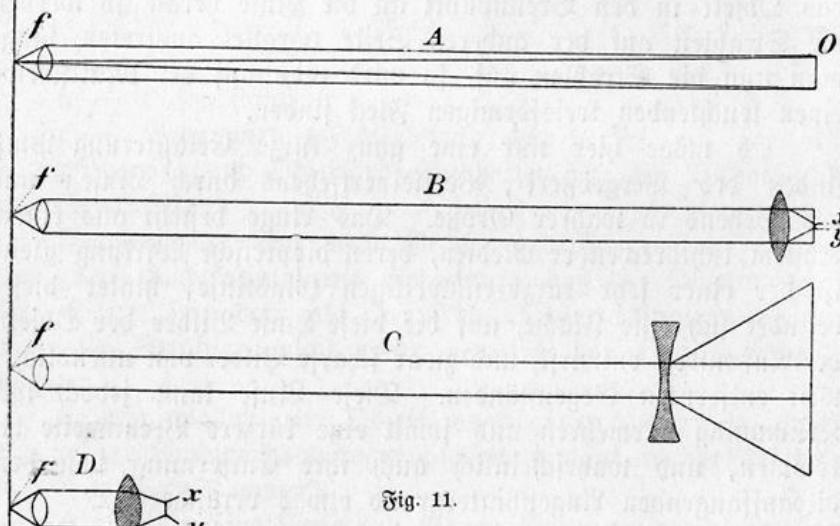
Um zu verstehen, wie wir durch Konvexlinsen die Objekte vergrößert sehen, durch Konkavlinsen verkleinert, ist in Fig. 11 schematisch der Vorgang dargestellt.

A stellt das gewöhnliche Sehen dar. O ist ein Objekt das parallele Strahlen zum Auge sendet, die auf dem Augenhintergrund (der bildauffangenden Fläche) zum scharfen Bild vereinigt werden. Beim Sehen erregt nun das auf dem Hintergrund von der Linse entworfene Bild des Objektes die dort befindlichen Nervenendigungen, die die Erregung zum Gehirn fort pflanzen. In unserer Vorstellung entsteht dann das Bild des Gegenstandes, dessen Art wir in der geraden Fortsetzung der das Auge treffenden Sehstrahlen annehmen, in seiner wahren Entfernung vom Auge und in seiner wahren Größe.

1) Da die Äquivalentbrennweite des Auges sehr klein ist, fängt „unendlich weit“ für dasselbe schon in ziemlich kurzer Entfernung an.

Daß wir Ort und Größe richtig beurteilen ist lediglich, wie oben dargethan, die Folge einer unendlichen Reihe von Erfahrungen, die das Menschengeschlecht gemacht hat.

Sehen wir uns nun dasselbe Objekt durch ein Vergrößerungsglas an, Fig. 11 B, so werden die von dem kleinen Teil des Objektes  $X Y$  ausgehenden Strahlen von der Linse so gebrochen, daß sie als ein Strahlenbündel von derselben Querschnittsausdehnung die Linse des Auges treffen, wie der Querschnitt des vom ganzen Objekt ohne dazwischen geschaltetes Vergrößerungsglas ausgehenden Strahlen-



bündels; der kleine Teil des Objektes wird auf der Netzhaut ein ebenso großes Bild erzeugen mit Hilfe des Vergrößerungsglases, als das bedeutend größere Objekt direkt gesehen.

Daß in der That ein derart zwischen Objekt und Auge gebrachtes Vergrößerungsglas das Netzhautbild vergrößert, beweist ohne lange Deduktionen folgendes Experiment. Man nehme eine photographische Kamera, stelle dieselbe in einiger Entfernung von einem kleinen Objekt auf, am besten stellt man vor eine hellleuchtende Lampe einen schwarzen Schirm, der einen kleinen Schlitz hat. Stellt man nun scharf auf den Schlitz ein, so erscheint dessen Bildchen auf der Mattscheibe. Bringt man nun vor den Schlitz eine Vergrößerungslinse, dem Schlitz näher als ihre Brennweite, so erscheint das Bild auf

der Mattscheibe vergrößert. Entfernt man nun die Linse von dem Schlitz, so wird derselbe immer mehr vergrößert auf der Mattscheibe erscheinen, bis er auf einmal von farbigen Säumen umgeben undeutlich wird, ein von seiner wahren Gestalt verschiedenes Bild in bunten Farben zeigt; entfernt man die Linse noch weiter vom Spalt, so erscheint der Spalt wiederum vergrößert, aber umgekehrt gegen vorher, was man leicht erkennen kann, wenn man an seinem einen Ende eine kleine Kerbe oder sonst ein Zeichen gemacht hat<sup>1)</sup>. Entfernt man nun die Linse noch weiter vom Spalt, so wird derselbe immer kleiner. In dem Moment, in dem das Bild auf der Mattscheibe undeutlich wurde und sich dann umkehrte, passierte die Linse ihre Brennweite vom Schlitz aus gemessen. Daselbe Experiment können wir mit der photographischen Kamera und einer Konkavlinse machen. Fig. 11 C zeigt hierbei den schematischen Strahlengang. Wir werden hier unter allen Umständen eine Verkleinerung des Mattscheibenbildes erhalten. Diese kleinen und einfachen Versuche mögen hier die Stelle mathematischer Deduktionen einnehmen; letztere werden nur von wenigen gelesen, von noch viel wenigeren so verstanden, daß sie jederzeit in optischen Fragen nutzbringend verwendet werden können; die auf der Mattscheibe beobachteten Thatsachen jedoch sind so klar, so einfach und leicht zu sehen, daß jeder sich ohne Mühe mit geringen und überall erhältlichen Mitteln auf empirischem Wege dieses Wissen aneignen kann.

Wir haben in Fig. 11 die Objekte in einer Entfernung vom Auge angebracht, die etwa 25 cm in Wirklichkeit betragen soll<sup>2)</sup>, eine Entfernung, über die hinaus man im allgemeinen Gegenstände dem Auge nicht nähert; eine bedeutend größere Annäherung an das Auge würde die Deutlichkeit des Sehens wesentlich vermindern. Mit dem Vergrößerungsglas dagegen sind wir in der Lage, kleine Gegenstände die dem Auge bedeutend näher liegen, deutlich zu sehen, aus dem Grunde, weil

1) Ein feiner Beobachter wird sofort bemerken, daß beim aufrechten vergrößerten Bilde das Verhältnis der Vergrößerung in den Randpartien zu der in den Mittelpartien ein anderes ist, als im umgekehrten vergrößerten Bilde, im ersten Falle sind die Randpartien stärker vergrößert, im zweiten die Mitte.

2) Der Einfachheit halber wurde hier die Accommodation außer acht gelassen.

das Vergrößerungsglas die von dem kleinen, unserem Auge sehr nahe liegenden Objekte ausgehenden Strahlen so ordnet, als ob dieselben von einem größeren viel weiter entfernten Objekte kämen; für das prinzipielle Verständnis dieser Vorgänge genügt es anzunehmen, es mache das Vergrößerungsglas die betreffenden Strahlen parallel. In der That kommt dies der Wahrheit ziemlich nahe. Fig. 11 D zeigt diesen Vorgang. Wo nehmen wir nun den Ort an in unserer Vorstellung, an dem sich das dem Auge in Wahrheit so nahe Objekt befindet?

Wiederum täuscht uns hier das Glas — wir bekommen nicht nur den Eindruck, als ob der Gegenstand, den wir durch das Vergrößerungsglas betrachten, größer sei, sondern auch, als ob er viel weiter vom Auge entfernt sei als er es ist, ungefähr in einer Entfernung von 25 cm, aus der man kleine Gegenstände zu betrachten pflegt.

Wie die Erfahrung des täglichen Lebens lehrt, erscheint uns der selbe Gegenstand größer, je näher er dem Auge ist, kleiner, je weiter er sich von demselben entfernt. (Perspektive!)

Da wir nun in der Vorstellung das vergrößerte Objekt weiter entfernt vom Auge annehmen, muß es uns auch deshalb vergrößert erscheinen.

Die Vergößerung hängt nun von zwei veränderlichen Größen ab, 1. der brechenden Kraft der Linse (die durch ihre Krümmungsradien und den Index des Glases bestimmt wird), 2. der möglichen Annäherung des Objektes an das Auge.

## II. Kapitel.

### Die Lupe oder das einfache Mikroskop.

Dies war in den Anfängen der mikroskopischen Wissenschaft das souveräne Untersuchungsinstrument. Mit ihm wurden die stärkeren Vergrößerungen erzeugt und die ersten fundamentalen Entdeckungen gemacht.

Die Kunst, aus durchsichtigen Körpern Linsen zu schleifen war schon bekannt in den allerältesten Perioden der Geschichte der Menschheit. So hat Layard in den Ruinen von Niniveh eine plankonvexe Linse aus Bergkristall gefunden, — die älteste geschliffene Linse.

In der Litteratur des klassischen Altertumes finden sich einige Stellen, die auf Linsen und deren Benutzung Bezug haben: Nero hat nach Plinius die Kämpfe der Gladiatoren durch einen geschliffenen Smaragd betrachtet; an anderen Stellen wird gesagt, daß Nero kurzichtig gewesen sei; daraus ist mit großer Wahrscheinlichkeit zu entnehmen, daß dieser Smaragd zu einer konkaven Linse geschliffen worden war, die zur Korrektur eines kurzichtigen Auges diente; sie wäre das erste historische Brillenglas.

Seneca erwähnt die vergrößernde Kraft mit Wasser gefüllter Glaskugeln. Als Brenngläser wurden nach Plinius gläserne Linsen (oder mit Wasser gefüllte Glaskugeln) von den damaligen Ärzten zum Kauterisieren (Verbrennen erkrankter Gewebe) benutzt.

In den „Wolken“ des Aristophanes findet sich eine Stelle, in der gesagt wird, daß die Pharmaceuten mit Brenngläsern Feuer anzündeten, und daß man mit einem solchen Glas Wachs schmelzen könne. Die erste sichere Angabe über die vergrößernde Kraft konvexer (in diesem Fall plankonvexer) Linsen findet sich in dem Buch des Arabers Alhazen, der um

1100 lebte. Etwa 150 Jahre später erwähnt Roger Bacon die Vergrößerung durch Konvexlinsen, und behandelt die Lichtbrechung durch sphärisch begrenzte Medien. Anfangs des 13. Jahrhunderts kamen Brillen allgemein in Gebrauch.

Im Jahre 1691 veröffentlichte Bonanni ein Verzeichnis von Forschern, die mikroskopische Beobachtungen gemacht haben. Er nennt an erster Stelle den Frankfurter Hufnagel, der im Jahre 1592 ein Werk über Insekten mit 50 Illustrationen (Kupferstichen) herausgab. Bald nachher erschienen eine Reihe von Abhandlungen über mikroskopische Untersuchungen und zur Zeit des dreißigjährigen Krieges waren die einfachen Mikroskope allgemein bekannt.

Descartes beschreibt derartige Mikroskope in „Doptrice et Meteora“; er nennt sie „perspicilia pulicaria ex uno vitro“ Flohgläser mit einer Linse, und giebt die Abbildung eines

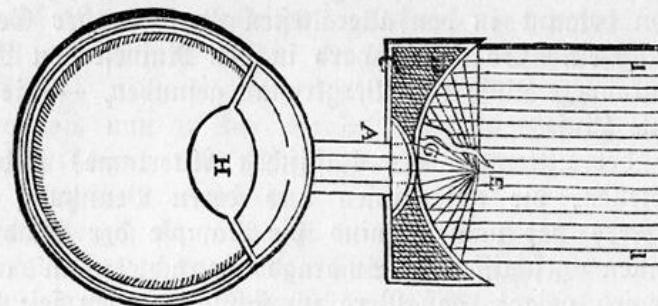


Fig. 12.

solchen Instrumentes. Fig. 12 ist die Reproduktion einer Abbildung des Descartes. Die plankonvexe Linse *A* ist in eine Kapsel *CD* eingeschlossen, die auf der dem Objekt zugekehrten Seite einen konkaven Spiegel trägt zur Beleuchtung des Objektes; dasselbe wird auf die Spitze des Stiftes *G* gesteckt, welche sich im Brennpunkte des Spiegels befindet. Die plane Seite der Linse war dem Auge *H* des Beobachters zugekehrt. Das Ganze wurde dann gegen das Licht gehalten. Mit solchen Instrumenten wurde eine Reihe interessanter Beobachtungen gemacht und veröffentlicht. Das allgemeine Interesse scheint sich zumeist der mikroskopischen Untersuchung der häufigst vorkommenden Insekten zugewandt zu haben, nannte man doch eine Art optischen Spielzeuges, das damals in allen

Händen gewesen sein mag, Flohglas, weil der Linse gegenüber ein Floh befestigt war; auch Flügel von Fliegen oder ähnliche Objekte mögen in solchen Mikroskopchen gewesen sein. Fig. 13 zeigt ein solches Instrument und seine Anwendung. Wegen eines solchen Flohglases wurde einmal der berühmte Pater Scheiner für einen Zauberer gehalten. Er starb in einem Dorfe auf der Reise, und man hielt den Floh im Glase für den Teufel.

Bei weitem der größte Mikroskopiker dieser Zeit war Anton van Leeuwenhoek, geboren am 24. Oktober 1632 in Delft, gestorben dasselb am 26. August 1723. Er war kein Mikroskopiker von Beruf, sondern er trieb seine Studien aus Liebe zu den Naturwissenschaften. Er schliff sich seine Linsen selbst und fertigte auch den mechanischen Apparat seiner Mikroskope. Sowohl nach dem Urteil seiner Zeitgenossen, als auch aus seinen Beobachtungen geht hervor, daß seine Linsen vorzüglich waren und daß er ein Meister in der Kunst des mikroskopischen Präparierens war. Fig. 14 ist die Abbildung eines derartigen Mikroskops. *A* ist die dem Beobachter zugeführte, *B* die Objektseite desselben; *d* ist die zwischen zwei Metallplatten gesetzte Linse; das Objekt wird aufgestellt auf den Stachel *i*, derselbe sitzt auf einem kleinen Metallstück gegenüber der Linse, kann durch Schraubenbewegung gehoben und gesenkt und der Linse genähert oder von derselben entfernt werden. Weiter ist der Stachel *i* an der kleinen Handhabe *k* um seine Längsaxe drehbar. Die Beleuchtung seiner



Fig. 13.

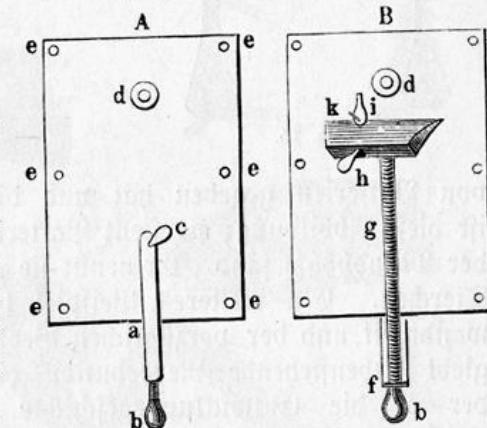
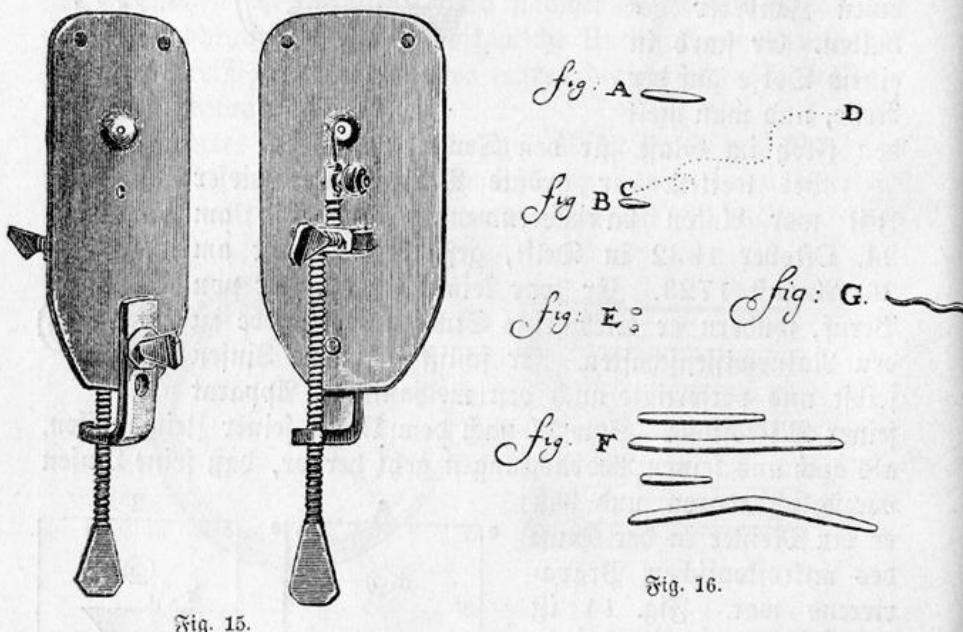


Fig. 14.

Objekte bewirkte Leeuwenhoek teils genau nach demselben Prinzip wie Descartes durch einen dem Objekt zugekehrten Hohlspiegel, in dessen Mitte die Linse gefaßt ist, teils untersuchte er einfach in durchfallendem Licht. Nachstehende beiden Fig. 15 (nach van Heurck) geben ein sehr klares Bild über die Beschaffenheit der Leeuwenhoekschen Mikroskope. Von all den vielen Entdeckungen, die er gemacht hat, dürfte wohl weitere Kreise am meisten interessieren, daß er die ersten Abbildungen

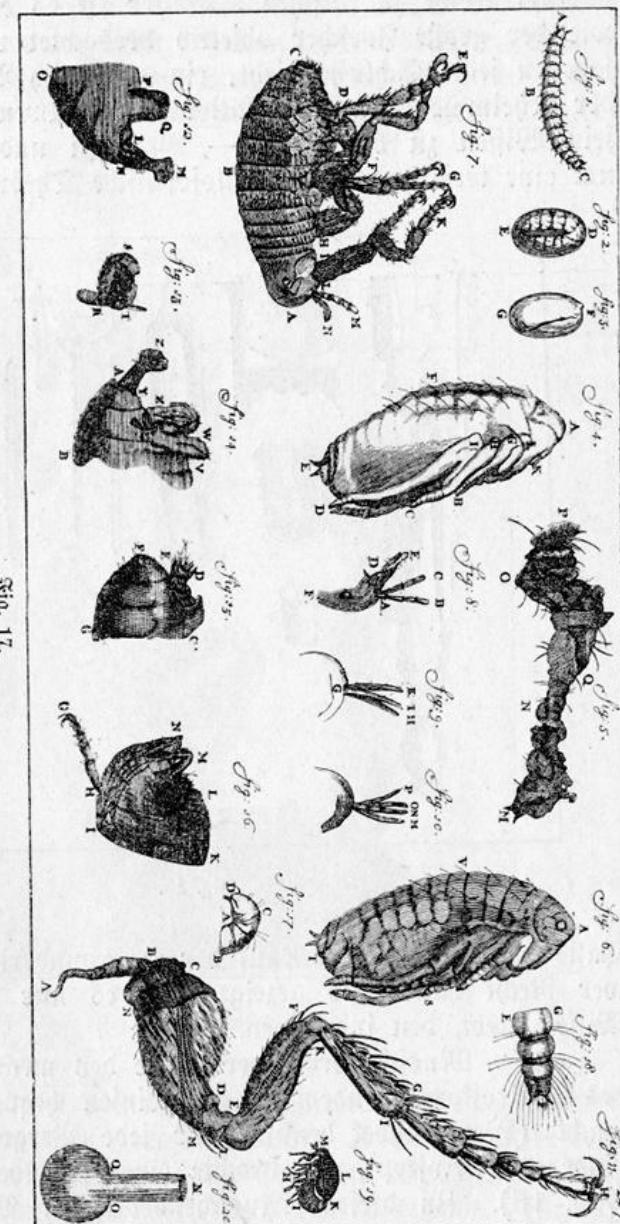


von Bakterien gegeben hat und dieselben beschrieb. Fig. 16 ist diese Abbildung; sie stellt Bakterien dar, die Leeuwenhoek in der Mundhöhle fand. Er nennt sie „lebende dierkens“, lebendige Tierchen. Ein weiteres Beispiel von der mikroskopischen Gewandtheit und der vorzüglichen Beobachtungsgabe Leeuwenhoeks giebt nebenstehende Reproduction einer Tafel (Fig. 17), auf der er die Entwicklungsgeschichte des Flohes darstellt; die Zeichnung ist nicht von Leeuwenhoek selbst, sondern von seinem Zeichner.

Seine Mitteilungen machte Leeuwenhoek an die Royal society in London, die ihn 1679 zu ihrem Mitgliede machte. Während die optische Ausstattung der Leeuwenhoekschen Instrumente auf lange Zeit hinaus nicht verbessert, ja von vielen

späteren Mikroskopverfertigern nicht entfernt erreicht wurde, fing man bald an, die mechanische Ausstattung wesentlich zu verbessern. Es ist übrigens ein fast allgemein gültiges Gesetz, das wir im besonderen bei mikroskopischen Entdeckungen oft und deutlich bestätigt finden: Die großen Entdeckungen werden meist mit verhältnismäßig einfachen Mitteln gemacht; den großen Entdeckungen folgen Verbesserungen an den Beobachtungsinstrumenten, die auch den groben Sinnen der Menge zugänglich machen, was der feinsinnige Forscher fand.

Weiter ist Leeuwenhoek ein glänzendes Beispiel dafür, was Liebe zur Sache zu leisten vermag — er war Liebhaber — kein Berufsmikroskopiker. Es ist eine oft wiederkehrende Thatsache in der Geschichte der großen Entdeckungen,



dass sie nicht von zünftigen Arbeitern herrühren, die das Muß des Dienstes zwingt, sondern von denen, die ein inneres Bedürfnis treibt zu forschen. Weiter ist es erfreulich zu sehen, wie der große Forscher objektiv beobachtet und aus dem Gesesehenen seine Schlüsse zieht, ein erfreulich Bild in jener Zeit der geheimnisvollen Spekulationen. Leeuwenhoek forschte, um sein Wissen zu bereichern — Bonanni und ähnliche Geister, um eine weit hergeholt philosophische Theorie auf eine solide

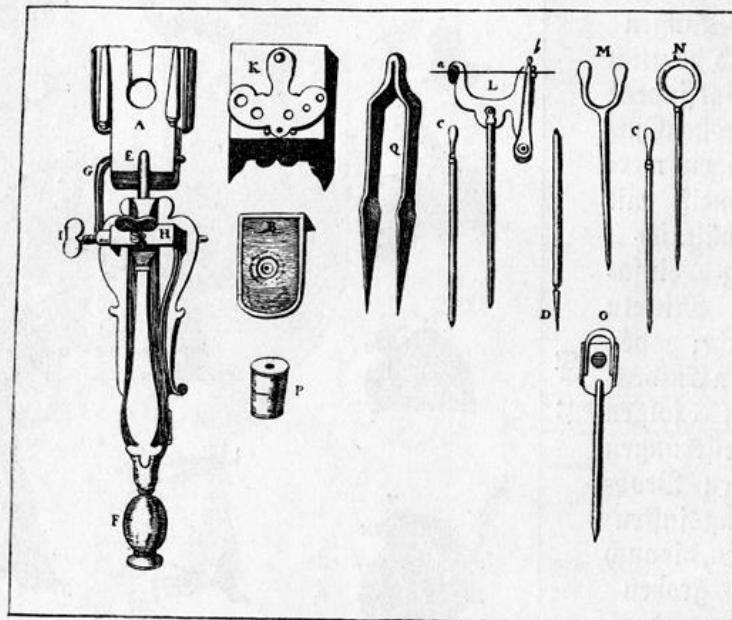


Fig. 18.

Basis zu setzen — der Lauf der Jahrhunderte hat entschieden, wer Recht hatte und gezeigt, daß es nur einen Weg zum Wissen giebt, den induktiven.

J. v. Musschenbroek verbesserte den mechanischen Apparat des Mikroskopos, indem er die Linsen bequem austauschbar machte (Leeuwenhoek benutzte für jede Vergrößerung ein besonderes Mikroskop), und brachte einen Blendenapparat (K) an (Fig. 18). Zu diesem Musschenbroekschen Mikroskop gehörte ein Satz von sechs Linsen verschiedener Vergrößerung. Auch finden sich zuerst an Musschenbroeks Mikroskopen Angelgelenke, die man Musschenbroeksche Nüsse nannte.

Weiter gab Musschenbroek seinen Mikroskopen einen Fuß, so daß man während der Beobachtung beide Hände frei hatte und das Instrument ruhig stand. (Leeuwenhoeks Mikroskope wurden mit der Hand gegen das Licht gehalten.) Eines solchen Mikroskopes bediente sich der berühmte Swammerdam „zu seinen unvergleichlich feinen und kunstvollen Insektenpräparationen“ (Petri).

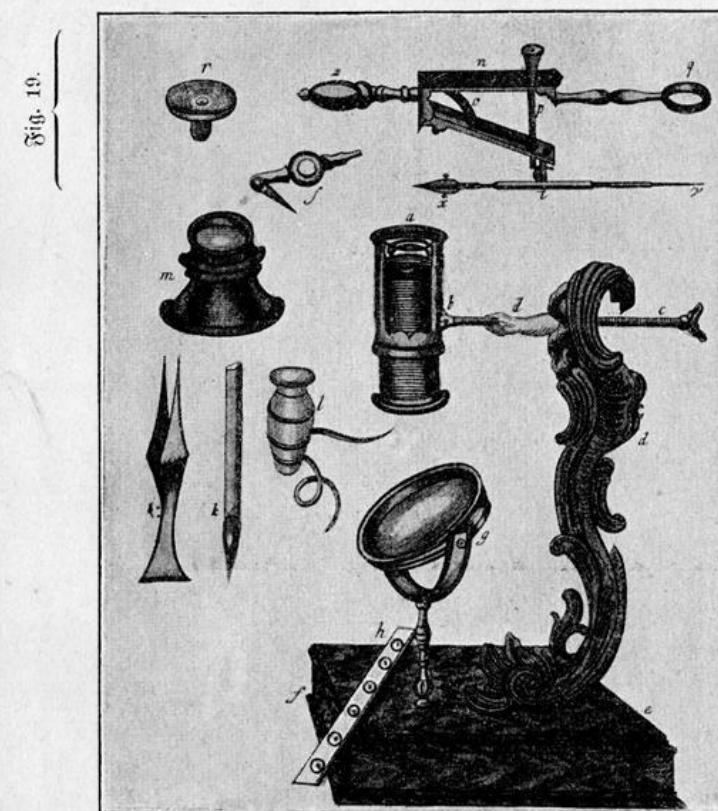


Fig. 19 (siehe S. 27).

Eine weitere Art damals gebräuchlicher Mikroskope waren die Zirkelmikroskope; auf dem Ende des einen Schenkels war die Linse, auf dem anderen das Präparat befestigt, die Entfernung beider wurde verändert durch eine Schraube. Fig. 19 zeigt ein solches. Es hatte ein Beleuchtungsspiegelchen r ganz in der Art dessen von Leeuwenhoek und Descartes, in dessen Mitte die Linse befestigt war.

Einen weiteren Fortschritt zeigt die Fig. 20, sie stellt ein röhrenförmiges Handmikroskop dar, Ledermüller nennt es „das

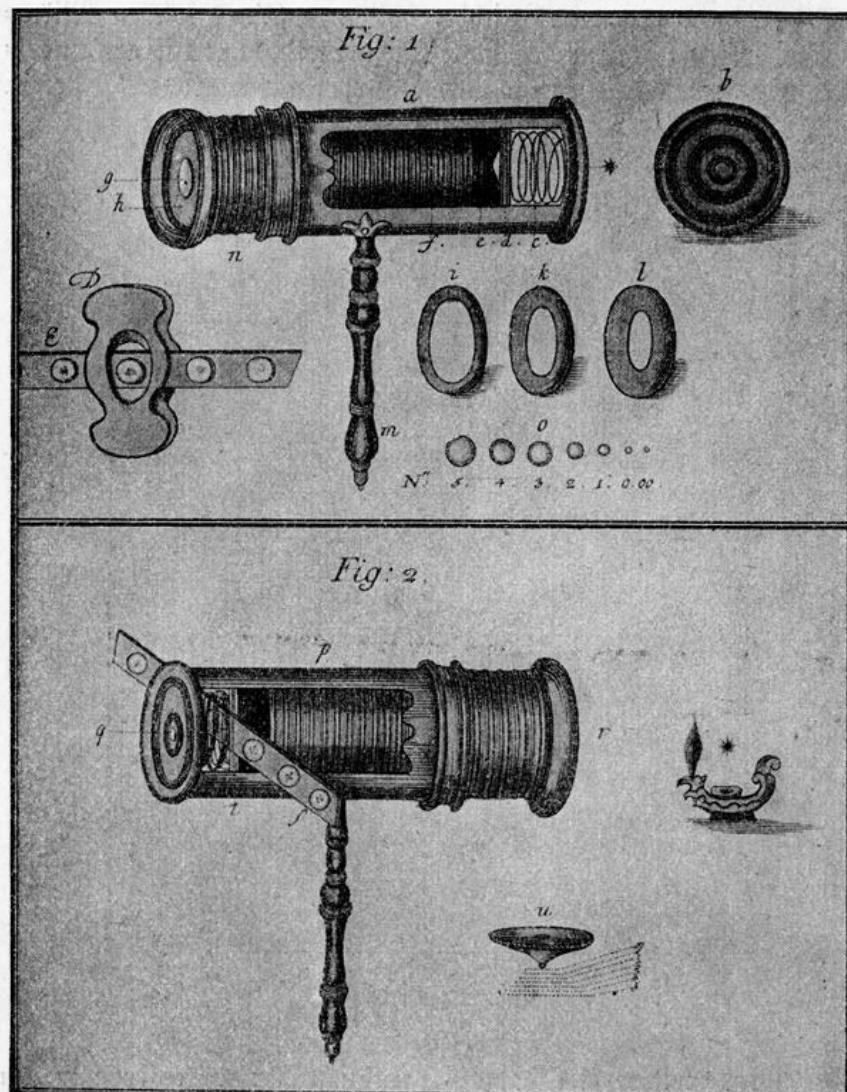


Fig. 20.

Wilsonische Hand- oder Cuffische Sackmikroskop“. Das zwischen zwei Schieber gebrachte Objekt wird durch eine Spiralfeder festgehalten und die Einstellung durch ein Rohr mit Schrauben-

gewinde bewirkt, gegen das der Schieber durch die Feder gepreßt wurde. Weiter hatte dies Instrument eine Linse zur Beleuchtung des Objektes (Kondensor) und Blenden *i k l* Fig. 1, die aus grünem Bergament oder dünnem Blech waren. Fig. 2 zeigt das Mikroskop fertig zur Beobachtung. Interessant ist die Abbildung der Linsen Nr. 5 bis 100 Fig. 1, und deren Objektabstände, Fig. 2 u. (Unsere Reproduktion ist ein halb natürliche Größe der Originalabbildung bei Ledermüller.) Bei Fig. 1 bedeutet der Stern am rechten Ende des Tubus den Ort, wo das Vergrößerungsglas eingeschraubt wurde. Fig. 21 (siehe S. 25)

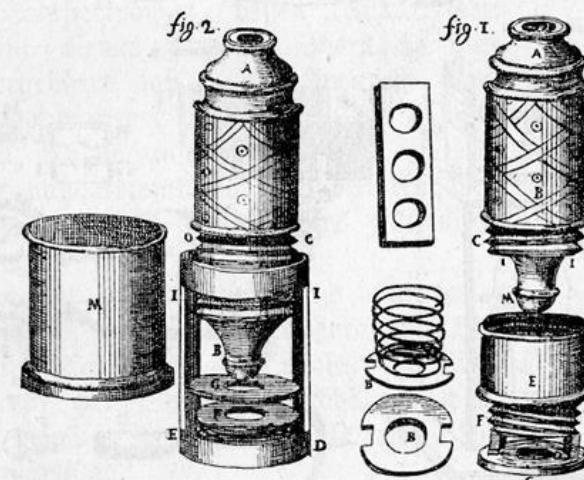


Fig. 22.

zeigt eine wesentliche Verbesserung mechanischer und optischer Natur dieses Instrumentes: Es hat einen Beleuchtungsspiegel und ein Stativ bekommen. *m* ist ein „Suchglas“, eine schwach vergrößernde Lupe für Übersichtsbilder, *l* ein Elsenbeinstäbchen, auf dem der Messingdrat zu Ringlein gebogen wurde.

Als Vorläufer dieser recht eleganten und brauchbaren Instrumente sind wohl die beifstehend abgebildeten Handmikroskope (Fig. 22) Bonannis aufzufassen. Die Abbildung bedarf wohl keiner Erklärung, nur möchten wir darauf aufmerksam machen, daß *m* eine Hülse bedeutet, die als Blende über den Objektteil geschoben wird.

Wie die Schleifmaschinen der damaligen Zeit beschaffen waren, zeigt Fig. 23. Sie gibt die Abbildung einer

solchen Maschine im „Oculus artificialis“ des Johann Zahn wieder.

Da die Gläslinsen mit kurzem Krümmungsradius (kleine Linsen mit stark gewölbter Oberfläche) sehr schwer zu schleifen sind, versuchte man bald, sie auf anderem Wege herzustellen. Dies gelang, indem man durch Schmelzen kleine Glaskugeln bildete. Es geben solche kleinen Kugelchen manchmal recht nette Bilder, Hartsoeker konnte (nach Harting) mit einer solchen ge-

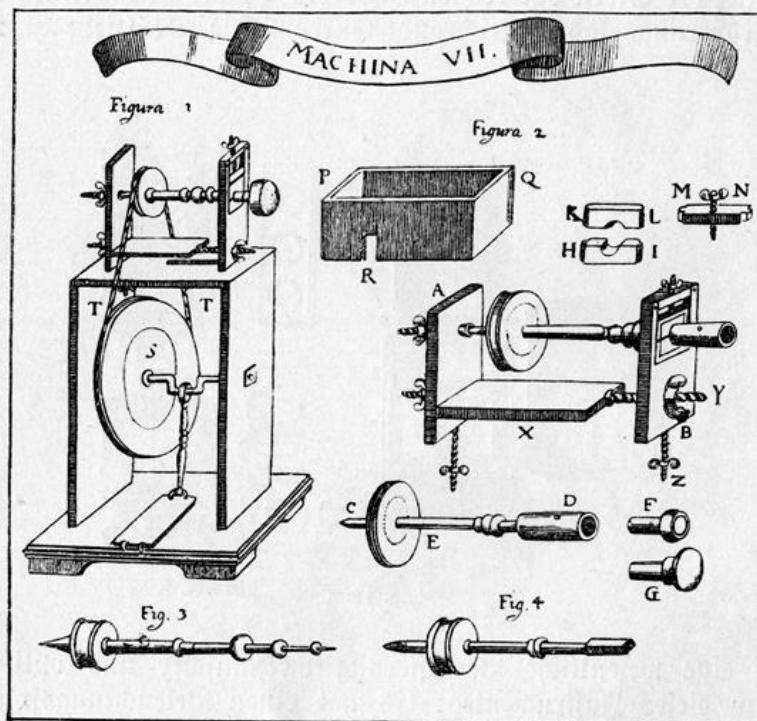


Fig. 23.

schmolzenen Kugellinse die Spermatozoen wahrnehmen; eine Beobachtung, zu der immerhin eine ziemlich beträchtliche Vergrößerung gehört.

In der That sind diese kleinen Kugelchen manchmal ganz brauchbar. Allerdings hängt das Gelingen eines solchen vom Zufall ab. Genaue Angaben, wie man sich ein solches Glaskugelchen-Mikroskop selbst anfertigen kann, finden sich in der Zeitschrift „Prometheus“ 1895 in der Abhandlung von Brunk.

R. Hooke gilt für den Erfinder der Methode, kleine Glaskugelchen zu schmelzen für mikroskopische Zwecke. Diese Methode wurde bald sehr beliebt; besonders berühmt in dieser Kunst war der Pater Giovanni Maria de la Torre. Auch auf anderem Wege versuchte man, kleine starke Linsen herzustellen. Als Kuriosum möge hier das Wasserlinsenmikroskop von Gray erwähnt werden. In das feine Löchelchen des Teiles A wurde ein Wassertröpfchen gebracht; die Objekte kamen auf die Spitze des Vogelschnabels bei F, oder wenn sie sich in Flüssigkeiten befanden, in das Löchelchen bei C, welches das Vogelauge bildet. In das Loch B kam ein (etwa infusorienhaltiger) Wassertropfen, dessen Inhalt man durch seine eigene konvexe Oberfläche hindurch vergrößert sah, ohne weitere Vergrößerungsapparate (Fig. 24).

Dem Typus unserer modernen Mikroskope sehr nahe kommt ein nach den Angaben von Ellis von Cuff angefertigtes Mikroskop (Fig. 25).

Ellis hat damit eine Reihe ganz vorzüglicher Studien gemacht über Korallen. Wie die Figur zeigt, sind die Linse, der Objektiv und der Spiegel unabhängig voneinander befestigt, der Spiegel ist nach allen Seiten verstellbar.

Wenn man bedenkt, daß die Beleuchtung des Objekts durch eine Sammellinse damals wohl bekannt war und daß Cuff bald nachher eine mechanische Einstellsvorrichtung an diesem Modell anbrachte, so haben wir in den prinzipiellen Stücken ein unseren modernen sehr ähnliches Mikroskop. In der That hat Darwin 100 Jahre später ein fast genau gleiches Instrument benutzt, dessen Abbildung sich in Petris Werk S. 78 findet.

Einen doppelten Mechanismus für grobe und feine Einstellung, erstere durch Zahn und Trieb, letztere durch eine Mikrometerschraube führten zuerst die englischen Firmen Ross und Britchard ein (das Wesentliche dieser Einrichtung wird in der Beschreibung des modernen Statives erläutert werden). Heutzutage werden derartige Stativen meist zum Präparieren benutzt; sie sind gewöhnlich noch mit Platten zum Auflegen

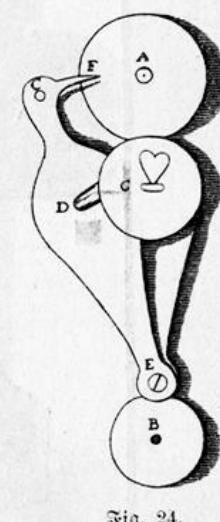


Fig. 24.

der Hände versehen, damit man ruhiger arbeiten kann. Den Typus eines solchen modernen Präparermikroskopes zeigt Fig. 26.

Das einfache Vergrößerungsglas ist mit einer Reihe von Mängeln behaftet, die seine Anwendung erschweren und ihr gewisse Grenzen setzen.

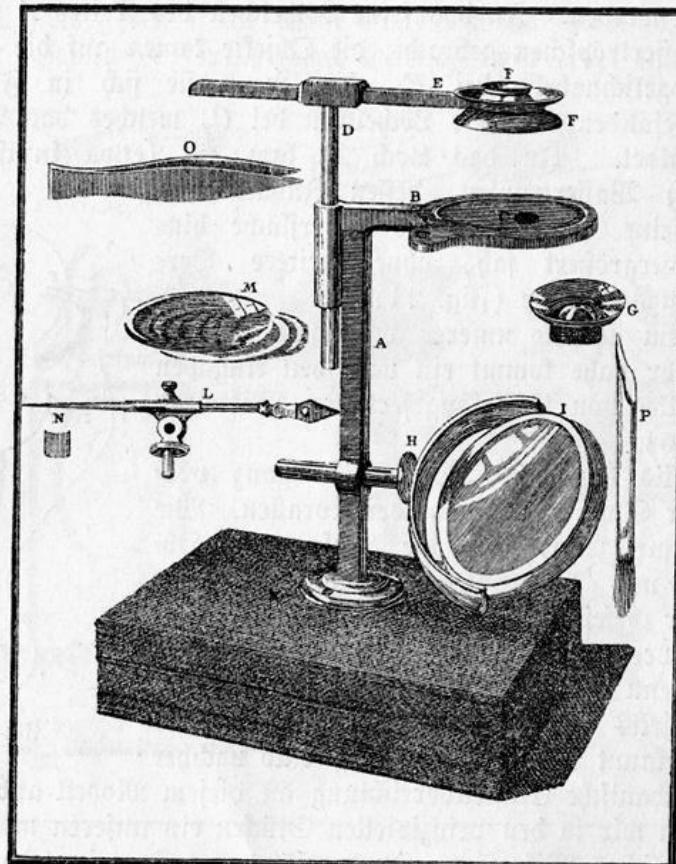


Fig. 25.

Wir haben oben bei der Betrachtung des Prismas nur einen einzigen Lichtstrahl vorausgesetzt und die Farbenzerstreuung außer acht gelassen. Wie bekannt, wird verschiedenfarbiges gemischtes Licht in seine Komponenten zerlegt, wenn es durch ein Prisma geht, z. B. das gewöhnliche Sonnenlicht in die Spektral-(Regenbogen-)Farben. Die Ursache hiervon ist, daß Lichter

von verschiedener Farbe auch verschieden stark gebrochen werden. Fig. 27 zeigt, wie Sonnenlicht (S) in sein Spektrum zerlegt wird, das rote Licht wird am wenigsten, das violette am meisten abgelenkt. Es ist ohne weiteres verständlich,

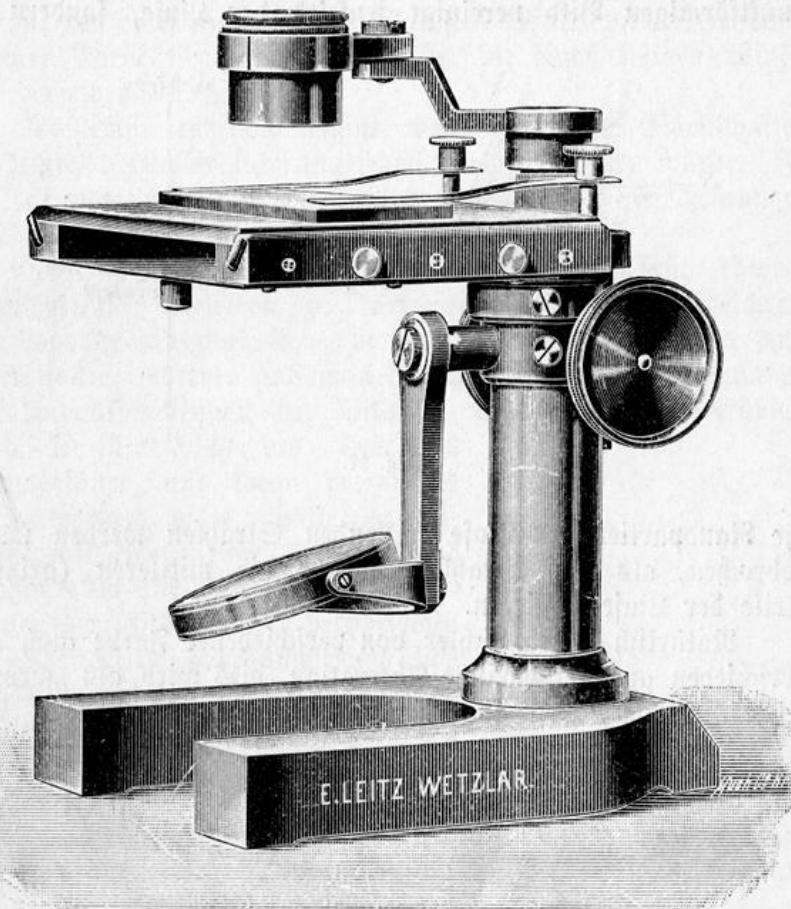


Fig. 26.

dass die Linse, die aufgesetzt werden muß aus unendlich vielen Prismen zusammengesetzt, das zusammengesetzte Sonnenlicht ebenso wie ein Prisma in seine Bestandteile zerlegen wird; dies ist am deutlichsten sichtbar an den Konturen der von einfachen Linsen entworfenen Bilder, und jemehr das Bild außerhalb der optischen Achse der Linse liegt, desto deutlicher ist diese Erscheinung der „Farbensäume“. Weiter wächst diese

Erscheinung mit der brechenden Kraft (vergrößernden Kraft) der Linse.

Eine weitere schlechte Eigenschaft der Linsen ist die sphärische Aberration. Fig. 28: Es werden nicht alle Strahlen, die die Linse von einem Punkt ( $P$ ) aus treffen, wieder genau zum punktförmigen Bild vereinigt jenseits der Linse, sondern die

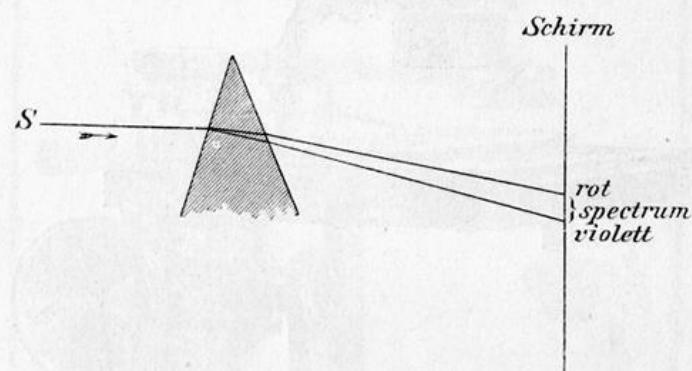


Fig. 27.

die Randpartien der Linse treffenden Strahlen werden stärker gebrochen, als die Strahlen, welche die mittleren (axialen) Teile der Linse passieren.

Natürlich haben Lichter von verschiedener Farbe auch eine verschieden große sphärische Aberration, dies wird als „chromatische Differenz“ der sphärischen Aberration bezeichnet. Aus

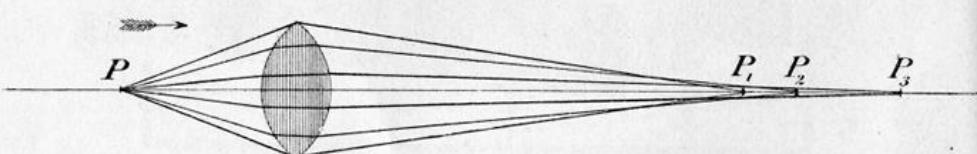


Fig. 28.

diesen Eigenschaften der Linse gehen nun verschiedene Fehler in der Abbildung hervor. 1. Differenz in der Vergrößerung in verschiedenen Zonen des Bildes. Die Versuche mit einer Kamera und einer Konvexlinse (siehe oben) zeigen recht instruktiv wie die Vergrößerung in den verschiedenen Zonen verschieden ist, sie kann stärker und auch schwächer in den Randpartien sein, als in der Mitte.

2. Da verschiedenfarbiges Licht verschieden gebrochen wird, müssen die Bilder, die durch die verschiedenen Lichter erzeugt werden, auch verschieden groß sein und an verschiedenen Orten liegen. Endlich ist die Bildebene keine ebene Fläche, sondern gekrümmt (gewölbt), da die Vereinigungspunkte für Strahlen, die mit der optischen Achse einen großen Winkel bilden, in einer anderen Ebene liegen, als die solcher, die einen kleinen Winkel mit derselben bilden.

Es existieren noch einige weitere schlechte Eigenschaften der Linse, deren Erläuterung jedoch zu weit führen würde. In den grundlegenden Arbeiten Abbés sind diese Erscheinungen aufs genaueste untersucht und erläutert.

Man hat einige Fehler der Linsen schon früh entdeckt und versucht, dieselben zu korrigieren. Descartes beschrieb eine lens cyclohyperbolica, die die sphärische Aberration aufheben sollte; letzterer gab man damals die alleinige Schuld an der Unvollkommenheit der Bilder. Aus technischen Gründen blieb der Vorschlag des Descartes unausgeführt, und wenn er ausgeführt worden wäre, hätte er die Mühe mit einer großen Enttäuschung belohnt. Da alle Fehler in den Randpartien der Bilder stärker hervortreten als in der Mitte, gebrauchte man schon früh Blenden, um die störenden Randpartien der Linse auszuschließen. Die einfachste wesentliche Verbesserung (in optischem Sinne) ersann Wollaston 1812, indem er zwei plankonvexe Linsen mit ihren planen Flächen vereinigte und dazwischen eine Blende befestigte. Brewster vereinigte dieselben durch ein Medium, welches ungefähr denselben Brechungsindex wie Glas hat.

Auf einfacherem Wege erreichte man dasselbe, indem man von Glaskugeln die äquatoriale Zone abschiff, und diese eventuell zur weiteren Abblendung noch einkerzte. Fig. 29 zeigt solche Linsen  $a$  ohne,  $b$  mit Einkerbung. Bald kam man nun auf die Idee, die Fehler einzelner Linsen zu vermeiden durch die Kombination mehrerer zweckmäßig angeordneter Linsen. Euler, der bekannte Mathematiker, berechnete theoretisch derartige Linsenpaare am Ausgang des 18. Jahrhunderts, später berechnete auch Herschel solche Kombinationen. Es ist

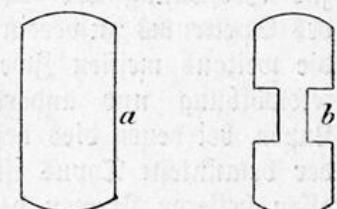


Fig. 29.

interessant, in der Geschichte der Mathematik zu verfolgen, wie fast alle hervorragenden Mathematiker sich mit diesen optischen Fragen beschäftigten, und es hat eine außerordentliche Menge von Genialität, Fleiß und konsequenter Arbeit gekostet, bis die Optik zu der vollkommensten aller Linsenkonstruktionen gekommen ist, die wir haben, zu den Apochromaten, durch deren Herstellung sich Abbé und Schott ein unvergängliches Denkmal gesetzt haben in der Geschichte der Naturwissenschaften.

Während von Wollaston und seinen Nachfolgern nur Linsen aus Gläsern derselben brechenden Kraft kombiniert wurden zu Lupen, die nur die sphärische Aberration teilweise aufhoben, führte man nach dem Vorgang von Chester More Hall nun Gläser von verschiedener brechender Kraft ein, und begann so mit der Achromatisierung der Linsen (Korrektur der chromatischen Aberration). Es würde zu weit führen, alle die Verbesserungen aufzuzählen, die im Laufe der Zeit an Linsen gemacht wurden. Dieselben waren bis zur Herstellung der Apochromate nur imstande zwei Farben des Spektrums zu vereinigen, was übrigens auch jetzt noch für die weitaus meisten Zwecke genügt. Weiter wurden die Bildfeldwölbung und andere Fehler nach Möglichkeit korrigiert. Lupen, bei denen dies besonders beachtet ist, heißen aplanatische; der bekannteste Typus ist der Aplanat nach Steinheil, der von allen besseren Firmen hergestellt wird und heute allgemein im Gebrauch ist. Außer diesen existieren eine Reihe von Konstruktionstypen, von den einfachsten bis zu den höchst vollendeten. Es möge hier auch der außerordentlichen Fortschritte gedacht werden, die in der Konstruktion der photographischen Objektive gemacht worden sind. Man kann diese zu den Lupen (als solche mit meist langer Brennweite) rechnen. — Der optischen Verbesserungen der Lupen speziell der Achromatisierung wird des weiteren gedacht werden bei der Abhandlung der Objektive des zusammengesetzten Mikroskops.

### III. Kapitel.

#### Strahlengang.

Zuerst möge hier der Strahlengang im zusammengesetzten Mikroskop erläutert werden (Fig. 30). Aus  $P$ , einem licht-aussendenden Punkte, geht ein stark divergentes Strahlenbüschel in das Objektiv, dies entwirft (nach den oben erläuterten Abbildungsgesetzen) in  $P_1$  ein reelles Bild des Punktes. ( $P$  ist etwas weiter von dem Objektiv entfernt als sein Brennpunkt.) Die Strahlen gehen jenseits der Kreuzung weiter durch das Okular, das dieselben ungefähr parallel macht. Das Auge vereinigt diese parallelen Strahlen auf der Netzhaut zum Bilde,

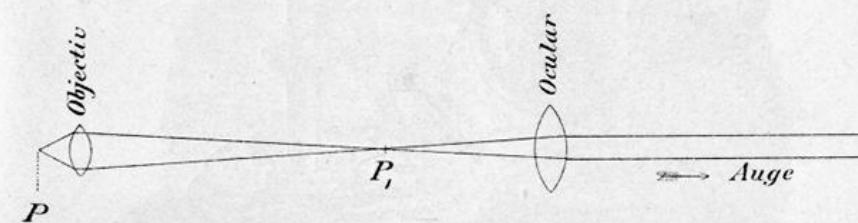


Fig. 30.

und ganz wie bei dem einfachen Mikroskop (der Lupe) entsteht in der Vorstellung ein vergrößertes Bild des Objekts in deutlicher Schärfe.

Nach diesem Grundtypus waren die ersten zusammengesetzten Mikroskope gebaut. Deren Erfindung wird den Brüdern Johann und Zacharias Janssen in Middelburg (um 1590) zugeschrieben. Diese ersten zusammengesetzten Mikroskope waren keineswegs dazu geeignet, mit den einfachen Mikroskopen zu konkurrieren, sie gaben viel geringere Vergrößerungen, und in der That diente, wie oben dargelegt, noch lange das einfache Mikroskop allen ernsthaften wissenschaftlichen Forschungen als hauptsächliches Hilfsmittel.

Fig. 31 zeigt ein zusammengesetztes Mikroskop von Hooke, das mit einem sehr zweckmäßigen Beleuchtungsapparat für auffallendes Licht ausgestattet ist. Es wurde verfertigt um 1667. Hooke war ein großer Naturforscher und äußerst gewandter Experimentator, dessen vornehm geschriebene Werke zu lesen einen hohen Genuss bereitet.

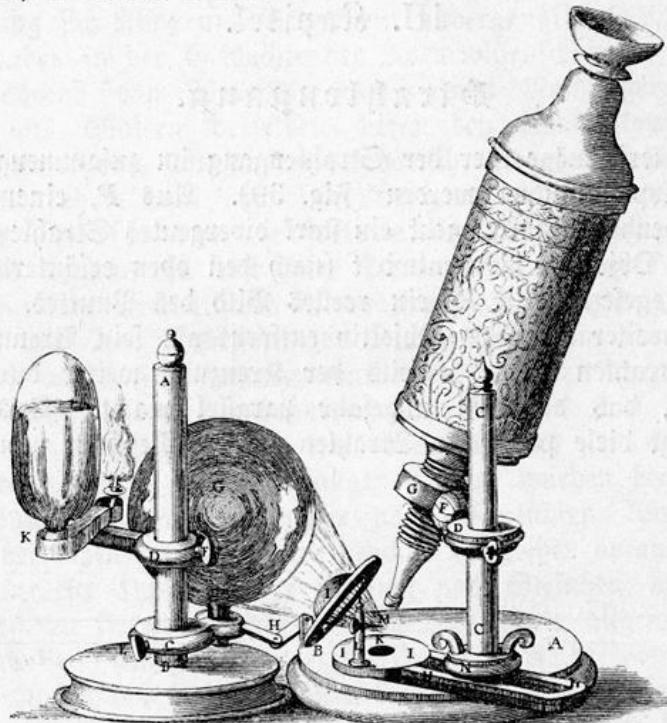
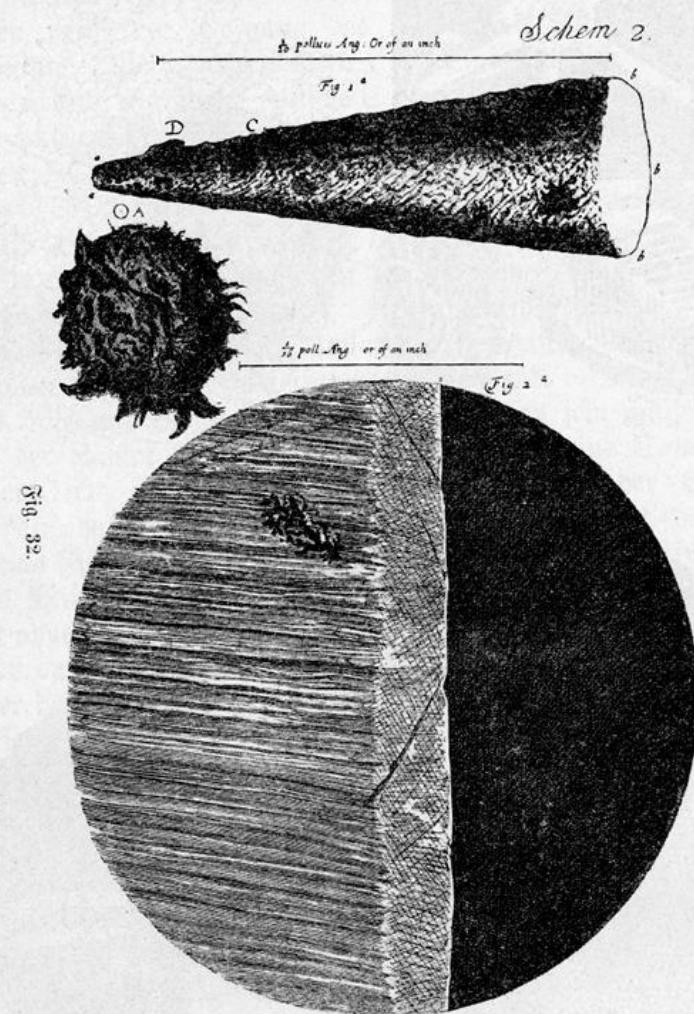


Fig. 31.

Wie fein er beobachtete, und daß die bildliche Darstellung seiner Beobachtungen der Vollendung des Textes gleichsteht, mögen nebenstehende drei Reproduktionen darthun. Fig. 32 zeigt eine Nadelspitze, einen möglichst feinen Punkt, und die Schneide eines sorgfältig abgezogenen Rasiermessers. Speziell letztere Abbildung, verglichen mit den in diesem Büchlein wiedergegebenen Photogrammen der Schneide, geben ein Urteil, wie schön Hookes Illustrationen sind.

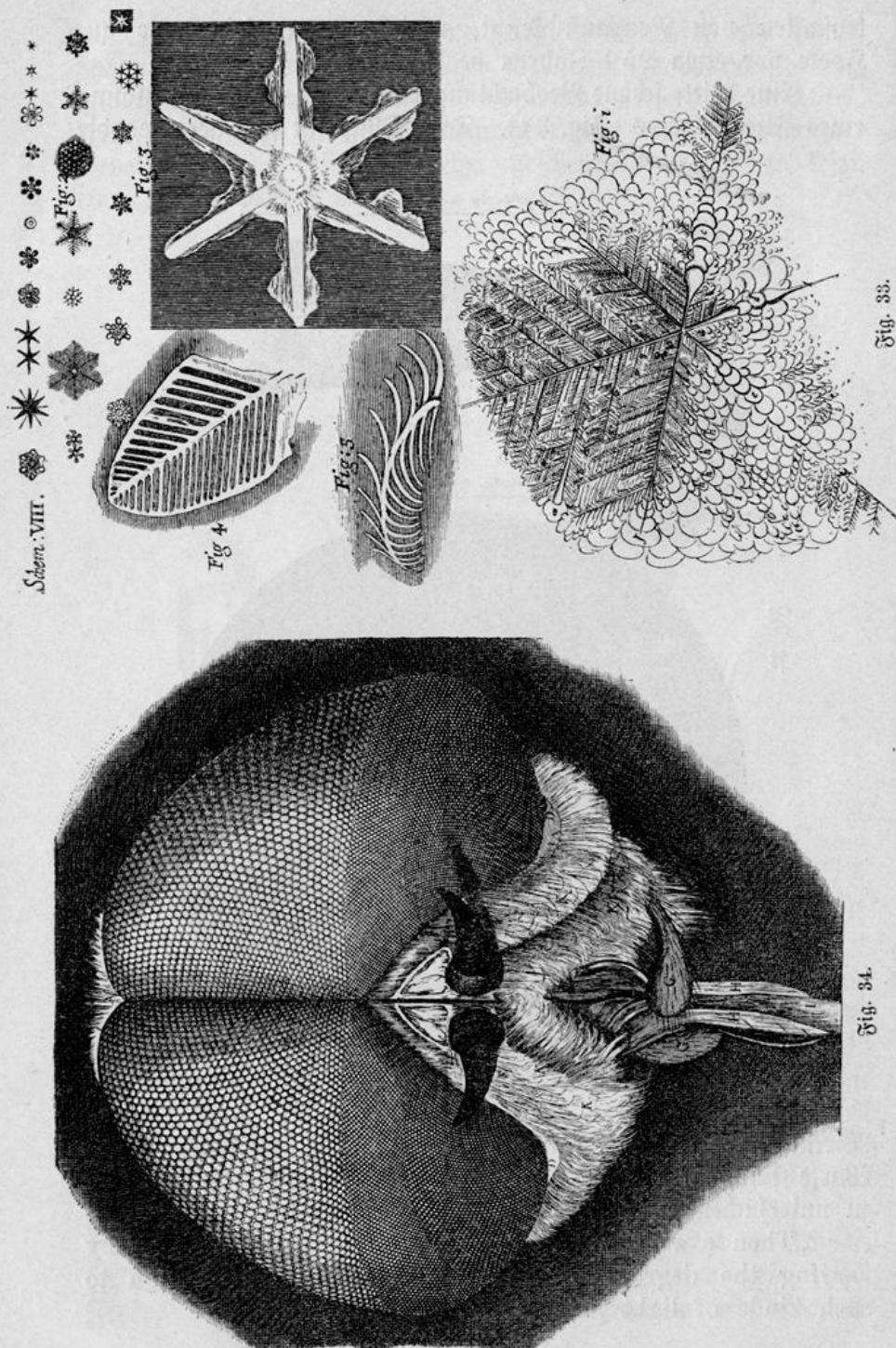
Die folgende Fig. 33 ist eine Abbildung von Schneekristallen und der Oberflächenkristalle auf gefrorenem Urin. Feder, der die berühmten Mikrophotogramme von Schneekristallen von Neuhaus kennt, wird erstaunt sein, wie gut Hooke vor etwa 250 Jahren beobachtete!

Eine dritte schöne Beobachtung von Hooke ist die Abbildung eines Fliegenkopfes (Fig. 34). Dies Objekt ist sehr geeignet, die



Wirkung verschieden auffallenden Lichtes zu zeigen, und Hookes Worte sind bezeichnend für die Gewissenhaftigkeit, mit der er zu untersuchen pflegte:

„Then examining it according to my usual manner by varying the degrees of light and altering its position to each kinde of light . . . . .“



Hooke sah sogar die Spiegelbildchen gegenüberliegender Objekte auf der Cornea des Fliegenauges. Die Abbildungen sind  $\frac{1}{3}$  Größe der Hookeschen Originale.

Hookes Mikroskop hatte drei bikonvexe Linsen. Berühmt wegen seiner guten Mikroskope war Griendl von Ach, der plankonvexe Linsen nach dem Vorgang des Italiener Divini zu Paaren vereinigte. Die konvexen Seiten der Linsen waren einander umgekehrt, und das ganze optische System bestand aus drei Paaren. Eine außerordentlich wichtige und interessante Quelle für die Geschichte des Mikroskops ist der „Oculus artificialis“ des Johannes Zahn (1685). Anfänglich waren die zusammengesetzten Mikroskope nur für auffallendes Licht, z. B. das Hookesche Instrument. Bald aber konstruierte man solche für durchfallendes. Fig. 35 zeigt ein solches nach Bonnani (1691). Nebenstehende Abbildung Fig. 36 ist die Reproduktion einer Illustration Bonnanis, Schmetterlingschuppen mit ihren Streifungen darstellend. Sie möge darthun, wie gut Bonnanis Mikroskope gewesen sein müssen. Das von der Lampe kommende Licht wird durch eine Sammellinse konzentriert. Während das erste Instrument der Gebrüder Janssen tatsächlich den einfachen Strahlengang hat, den unser Schema Fig. 37 A (S. 42) zeigt, wurde derselbe durch Einführung eines Mittelglases (Kollektivglases) etwas verändert. Fig. 37 B zeigt ohne weiteres den Gang der Strahlen. Das Mittelglas ist so angeordnet, daß es dem Objektiv näher liegt als die Bildebene; es vereinigt die Strahlen in der in Fig. 37 B angedeuteten Weise, und das umgekehrte reelle Bild bei U ist erzeugt durch das Zusammenwirken von Objektiv und Kollektivglas, während es bei A allein durch das Objektiv zustande kommt. Alle modernen Mikroskope mit Huyghens oder Campanischen Okularen haben diesen Strahlengang, während die mit Ramsdenschen Okularen versehenen den Strahlengang von A haben. Letztere Okulare werden meist zu Messungszwecken benutzt und werden des weiteren im Kapitel über Mikrometrie erläutert werden.

Die Anordnung ist so getroffen bei den modernen sogen. Huyghensschen Okularen, daß das Kollektivglas mit dem Augenokularglas zusammen in einer Fassung sitzt.

Alle wesentlichen bis zum Anfang des 18. Jahrhunderts gemachten Fortschritte vereinigt das Mikroskop des deutschen Professors Hertel. Wie Fig. 38 (S. 43) zeigt, hat es einen um-

legbaren Tubus; der Objektisch hat eine durchsichtige, eine weiße und eine schwarze Platte, es ist eine Beleuchtungsvorrichtung vorhanden für auffallendes Licht, bestehend aus Spiegel und Linse, und ein Spiegel unter dem Objektisch für durchfallendes

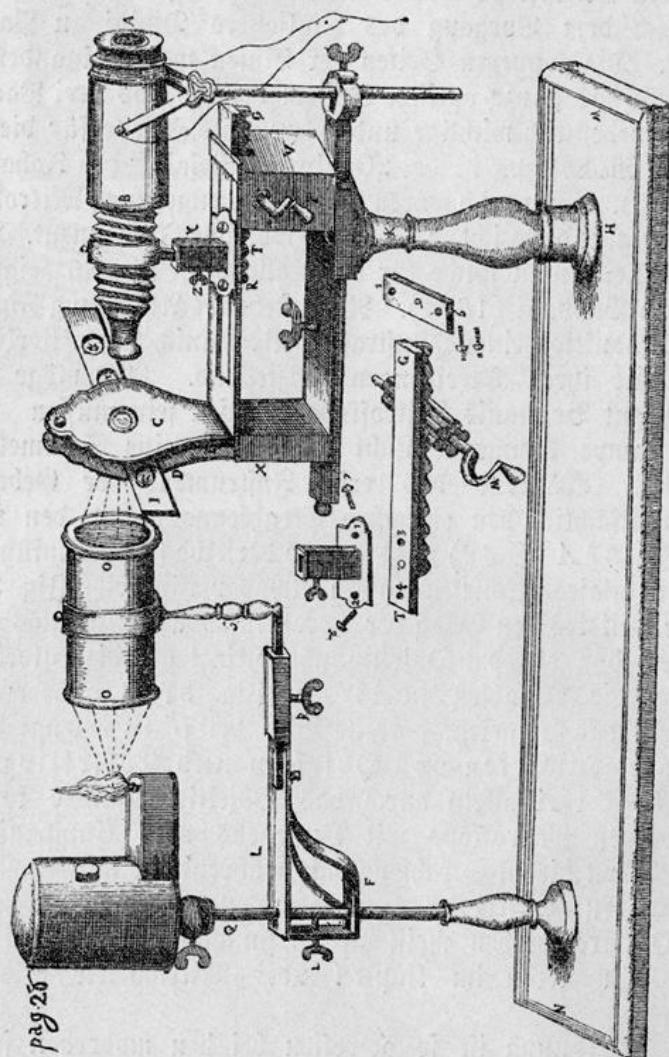


Fig. 35.

Licht. Die Bewegung des Objektisches geschieht durch die drei vorn am Kasten des Mikroskops angebrachten Schrauben, der Objektisch kann durch eine derselben gehoben und gesenkt werden, durch die beiden anderen wird er in zwei aufeinander

senkrechten Richtungen in der Horizontalen verschoben. In England machten sich Marshall, Cuff, Baker, Jones etc. durch ihre Mikroskope bekannt. Marshall besonders konstruierte stark vergrößernde Objektive und gab seinen Instrumenten einen Satz derselben zum Auswechseln mit.

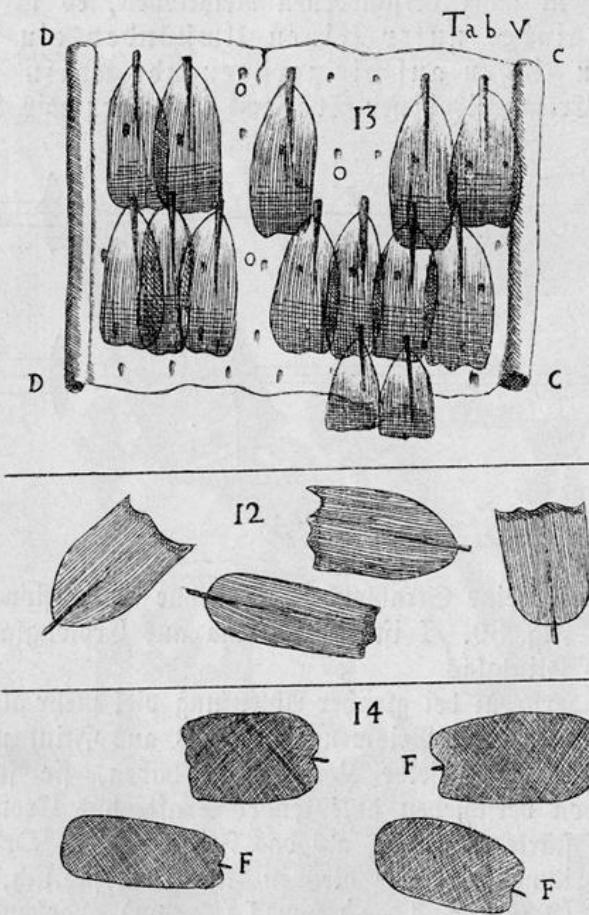


Fig. 36.

Da die wesentlichsten Verbesserungen der nächsten Zeit die Linsen betreffen, besonders die Achromatisierung derselben, soll hier der Begriff der achromatischen Linse erläutert werden. Wie oben gesagt, wird jedes zusammengesetzte Licht durch ein Prisma 1. von seinem Wege abgelenkt (gebrochen), 2. in seine Grundfarben zerlegt (zerstreut). Nun ist die Grundlage jeder

Achromatisierung die Thatſache, daß es Glasarten giebt, die bei gleich starker Ablenkung des Lichtes verschiedene stark dasſelbe zerſtreuen, oder bei verschiedenen starken Ablenkung gleiche zerſtreuende Kraft haben. Mit anderen Worten: Brechende und zerſtreuende Kraft stehen bei verschiedenen Glassorten in ganz verschiedenen Relationen, es ist aus dem Brechungsindex unter keinen Umständen ein direkter Schluß zu ziehen auf die zerſtreuende Kraft.

Die Erkenntnis dieser Thatſache verdanken wir Newton.

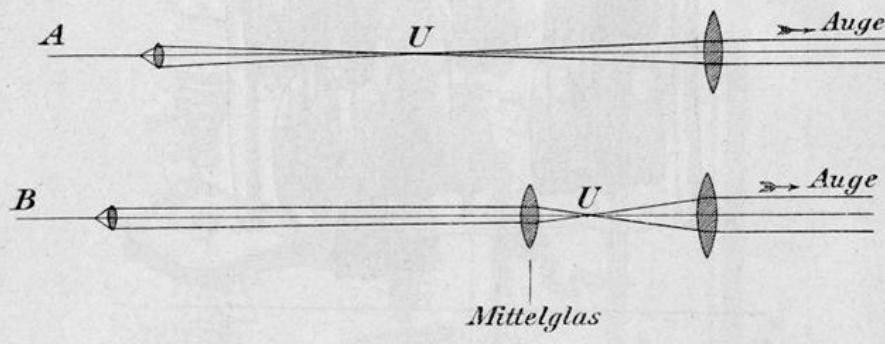


Fig. 37.

Wie man eine Strahlenbrechung ohne Dispersion erreichen kann, zeigt Fig. 39. I ist ein Prisma aus Crownglas, II ein folches aus Flintglas.

Flint zerstreut bei gleicher Ablenkung viel mehr als Crown. Man stellt nun zwei Prismen her, eines aus Flint und eines aus Crown, die dieselbe Zerstreuung haben, sie sind dann natürlich von verschieden ablenkender Kraft, das Crownprisma wird dann stärker ablenken als das Flintprisma. Ordnet man nun die Prismen an, wie dies in Fig. 39 ersichtlich, so wird der Strahl (Richtung  $A \rightarrow$ ) von I (Crown) abgelenkt und in ein Spektrum zerlegt, dieser abgelenkte zerlegte Strahl trifft das entgegengesetzt angeordnete Flintprisma II; da dieses dieselbe zerstreuende Kraft hat, aber umgekehrt angeordnet ist, wird es die Zerstreuung in umgekehrtem Sinne beeinflussen, d. h. aufheben. Ebenso aber wird es auch einen Teil der Ablenkung aufheben, doch ein Rest von Ablenkung bleibt zurück im Sinne der durch I erzeugten, da II schwächer ablenkt als I. Es wird in  $A_1$  das farbige Licht wieder zum weißen vereinigt

sein. Auf ganz ähnliche Weise kann man sich ein Prisma ohne Ablenkung herstellen, wenn man zwei solche von gleicher Ablenkung und ungleicher Zerstreuung zusammensetzt; solche

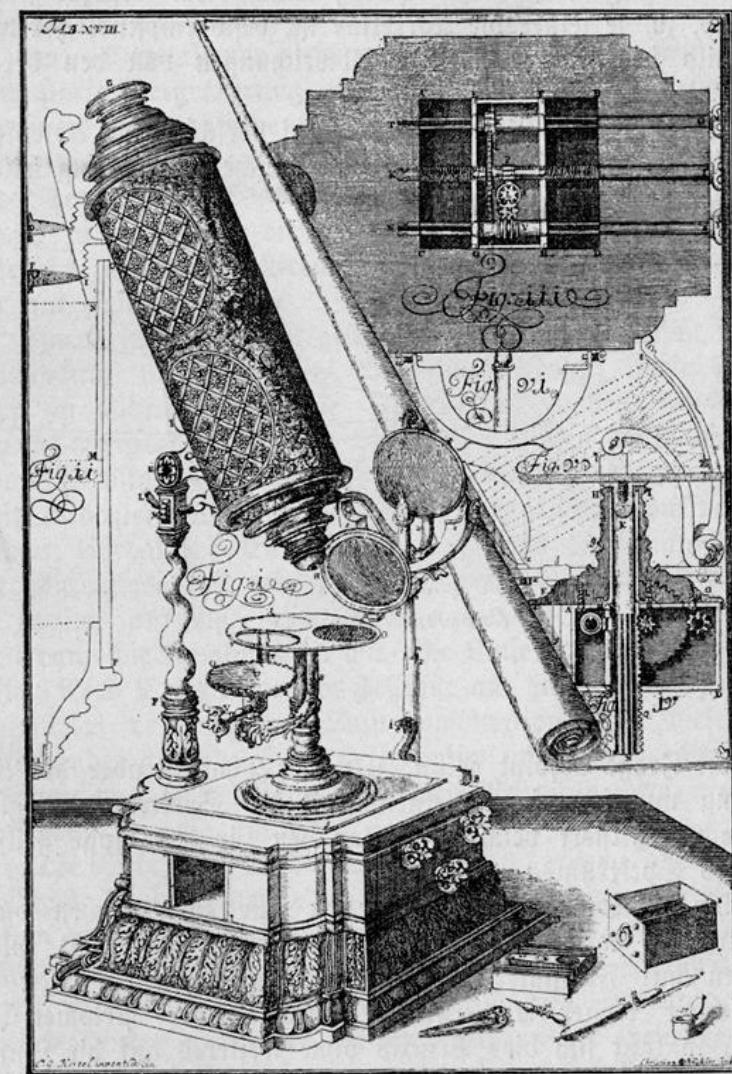


Fig. 39.

Prismen heißen geradſichtige. Es sei hier speziell darauf aufmerksam gemacht, daß die Wiedervereinigung der farbigen Lichter nur für den Punkt  $A_1$  gilt; die Achromasie besteht

bei Linsenkombinationen nur für ganz bestimmten Strahlengang; größere Abweichungen von den Grundlagen der Berechnung, also etwa veränderte Objektweite oder ähnliches, werden das Bild wesentlich verschlechtern, auch beim bestkorrigierten Objektiv, ja, je feiner die Korrektur ist, desto empfindlicher wird das Bild sein auch für kleine Abweichungen von den berechneten Werten, Distanzen *et cetera*.

Wenn es nun Gläser gäbe, die bei verschiedener Ablenkung für alle Teile des Spektrums genau gleiche Verstreuung hätten,

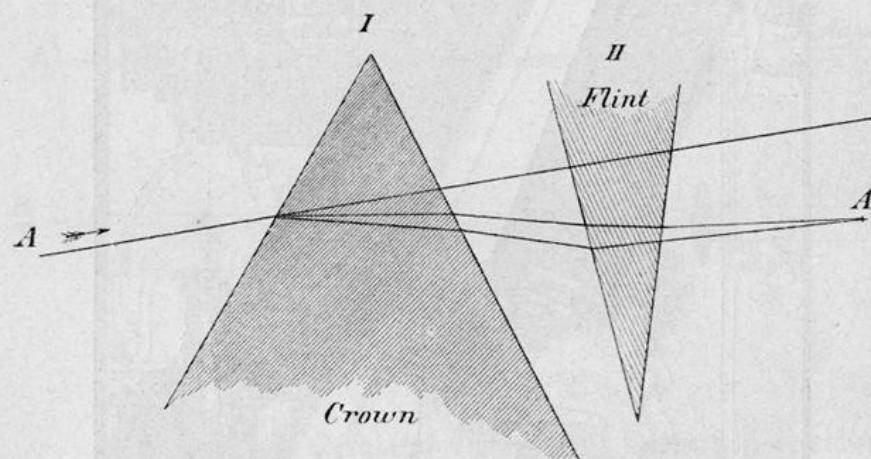


Fig. 39.

wäre die Frage absolut gelöst. In der That ist aber die Vereinigung nur für einen kleinen Teil des Spektrums möglich, man achromatisiert beim Mikroskop den für das Auge hellsten Teil des Spektrums.

Die Achromasie ist nicht etwa nur zu erreichen durch Kombination verschiedener Gläser — man kann z. B. Glasprismen mit Flüssigkeitsprismen kombinieren *et cetera*. — Ist die Möglichkeit obiger Konstruktion achromatischer Prismen erwiesen, so lässt sich dies Prinzip ohne weiteres auf die Linsen, speziell die Vergrößerungsgläser übertragen. Die ersten Verfertiger achromatischer Objektive sind schon genannt worden bei der Erwähnung der Achromasie im Kapitel „einfaches Mikroskop“. Bekanntlich wurde das erste achromatische Objektiv für ein Fernrohr konstruiert von Chester More Hall im Jahre 1722.

Das erste achromatische Mikroskop wurde der Akademie der Wissenschaften zu Petersburg von dem russischen Staatsrat Aepinus im Jahre 1784 geschenkt. Es hatte ein Objektiv von 7 Zoll Brennweite, also eine recht geringe vergrößernde Kraft. Es hatte eine Länge von 3 Fuß, war also in seinen Dimensionen sehr unhandlich, ohne diesen Fehler durch starke Vergrößerung wett zu machen. Das erste wirklich brauchbare achromatische Objektiv, ähnlich den heute gebräuchlichen, röhrt von dem holländischen Reiteroberst Franz Beeldsnyder her, 1791. Es bestand aus zwei biconvexen Linsen aus Crown und zwischen diesen einer bikonkaven aus Flint. Es hatte eine äquivalente Brennweite von 21 mm und war optisch sehr gut gearbeitet.

Zuerst in den Handel gebracht wurden achromatische Mikroskopobjektive von van Deyl Vater und Sohn, sowie Fraunhofer in München. Diese Instrumente gaben jedoch nur schwache Vergrößerungen im Vergleich mit den durch das einfache Mikroskop leicht erreichbaren. Einen bedeutenden Fortschritt bedeutete die Idee Selliges, ausgeführt von den Gebrüdern Chevalier. Es ist klar, daß man die Leistung eines Vergrößerungsglases erhöhen kann, wenn man über demselben ein zweites an bringt, dem ersten näher als die Bildebene; es wirkt dann die Kombination wie eine Linse von fürzerer Brennweite. Dies Prinzip wandte Sellige auf das Mikroskopobjektiv an, indem er mehrere Linsenkombinationen in dieser Art übereinander anordnete, deren jede für sich achromatisiert war. — Nun war das zusammengesetzte Mikroskop dem einfachen überlegen.

Die Gebrüder Chevalier waren die ersten, die die verschiedenen Komponenten einer achromatischen Linse mit Kanadabalsam verkleiteten, eine Technik, die jetzt noch gebräuchlich ist. Amici verbesserte die Objektive, indem er deren Planseite dem Objekt zuführte (dies verringert die sphärische Aberration um ein bedeutendes gegenüber der Konstruktion der Gebrüder Chevalier, die die Konvexitätsseiten dem Objekt zugekehrt hatten).

Ein weiterer großer Fortschritt war es, daß Amici den Wechsel der Objektivvergrößerung nicht durch an- und abschraubbare Teile des Objektivs bewirkte, wie es bei dem Chevalierschen Mikroskop der Fall war, sondern für jede Vergrößerung ein ganzes, in sich sehr vollkommen korrigiertes Objektiv gab.

Weiter verdanken wir Amici die Einführung der Immersion, d. h. die Verbindung der Frontlinse des Objektivs mit dem Deckglas zu einem optisch ununterbrochenen einheitlichen Ganzen durch eine Flüssigkeit von gleichen optischen Eigenschaften wie Glas; es gehen also die Strahlen in die Frontlinse, ohne auf diesem Wege abgelenkt zu werden. Fig. 40 zeigt den Unterschied des Strahlenganges bei einer

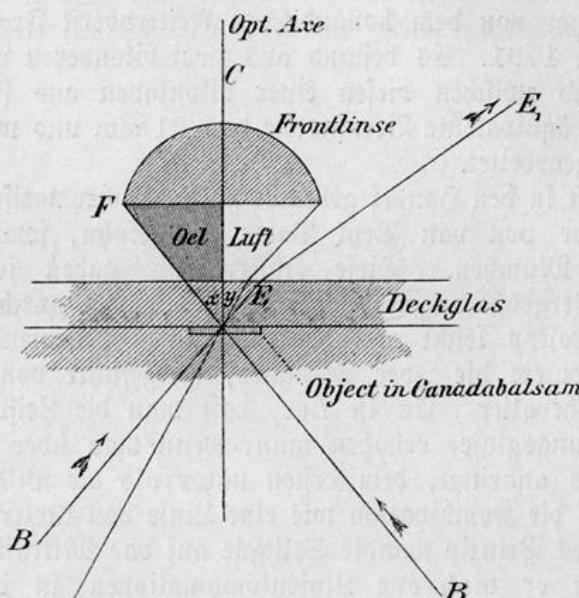


Fig. 40.

Ölimmersion (linke Hälfte) und derselben Linse als Trockensystem (rechte Hälfte). Von  $B$  aus gehen zwei Strahlen genau in gleicher Neigung zu der Ebene der Frontlinse durch die Glasplatte (Deckglas);  $BF$  geht in die Frontlinse, da er bei seinem Übergang aus Glas in Öl und Öl in Glas nicht abgelenkt wird, und wirkt bei der Abbildung mit, während der Strahl  $BE$  nicht in die Frontlinse gelangt, sondern bei seinem Übergang aus der Glasplatte in die Luft nach  $E_1$  zu abgelenkt wird, also bei der Abbildung nicht mehr mitwirkt. Da sich aus der Figur die Begriffe Öffnungswinkel und numerische Apertur bequem erklären lassen, möge deren hier gedacht werden: Nehmen wir an, das Mikroskop, dessen Frontlinse in

der Fig. 40 abgebildet ist, sei eingestellt auf die Objektebene, so wird in die Frontlinse kommen (also auch an der Abbildung sich beteiligen) bei der Ölimmersion ein Strahlenkegel mit dem Winkel  $\alpha$  an der Spitze für die halbe Linse, also für die ganze  $2 \times \alpha$ . Dies ist der Öffnungswinkel des Systems. Das Trockensystem hat den viel kleineren Öffnungswinkel  $2 \times y$ . Da aber die Güte der Abbildung wesentlich beeinflußt wird durch den Öffnungswinkel des Systems, sind die Immersionsysteme den Trockensystemen optisch überlegen.

Man findet nun in den Katalogen der Optiker nicht den Öffnungswinkel als solchen verzeichnet, sondern die numerische Apertur; sie wurde aus mathematischen Gründen von Abbé eingeführt, ist jetzt in allen wissenschaftlichen Werken zu finden und ein allen Optikern geläufiger terminus technicus geworden. Ist  $n$  der Brechungsindex des vor der Frontlinse liegenden Mediums (Öl, Luft usw.) und  $u$  der halbe Öffnungswinkel des die Abbildung bewirkenden Strahlenkegels, so ist die numerische Apertur  $= n \cdot \sin u$ . Im allgemeinenwendet man die Immersion erst bei stärkeren Vergrößerungen an; dieselbe könnte jedoch auch bei schwächeren Vergrößerungen mit Vorteil benutzt werden.

Eine einfache Überlegung lehrt, daß das Deckglas auf die Abbildung einen Einfluß haben kann.

Sind Einbettungsmasse, Deckglas, Immersionsflüssigkeit und Frontlinse optisch genau gleiche Medien, so hat die Deckglasdicke keinen Einfluß auf die Abbildung. Erleidet aber der vom Objekt kommende Strahl durch das Deckglas eine Brechung, so muß dieselbe auch die Abbildung beeinflussen. Dies letztere ist fast immer der Fall, in hohem Grade bei den starken Trockensystemen. Bei den Ölimmersionen ist es in sehr geringem Maße vorhanden, so daß es praktisch kaum bemerkbar ist. Je ähnlichere Medien in optischen Sinne das Licht durchsetzt auf seinem Wege vom Objekt zur Frontlinse, desto weniger Einfluß hat das Deckglas auf die Abbildung; fast gleich sind die Medien bei der Ölimmersion, sehr verschieden bei den Trockensystemen. Die ersten Immersionen waren für Wasser, doch Amici hatte sehr wohl den Wert öriger Substanzen von höherem Index erkannt. Öle wurden im Anfang nur aus technischen Gründen nicht angewandt.

Man kann nun den Einfluß des Deckglases aufheben durch eine geeignete Konstruktion des Objektivs. Auch für

diese Verbesserung haben wir Amici dankbar zu sein. Er korrigierte seine Objektive für eine bestimmte Deckglasdicke, und so war der Mikroskopiker an diese gebunden, ein Verfahren, das heute noch von vielen bedeutenden Firmen ganz oder teilweise befolgt wird. Ross und Wenham machten ihre Objektive korrigierbar für verschiedene Deckglasdicken dadurch, daß vermittelst einer Schraubenbewegung der Abstand der vorderen und hinteren Linsengruppe des Objektivs veränderlich gemacht wurde, eine Anordnung, die unter dem Namen Korrektionsfassung bekannt ist und heute an den stärksten Trockensystemen speziell der Apochromate angebracht wird.

Wie gesagt führte Amici zunächst nur Wasserimmersionen aus. Man scheute sich, die teureren Objektive mit Öl zu benutzen, da die Reinigung denselben gefährlich war, z. B. der zur Reinigung dienende Alkohol oder Äther dringt ins Innere des Objektives und löst die Verkittungen usw.

Die ersten wirklich homogenen Immersionen, bei denen Deckglas, Immersionsflüssigkeit und Frontlinse ein optisch einheitliches Ganzes bilden, sind berechnet worden von Abbé und ausgeführt von Zeiß. Wie fast immer in der Geschichte, so wurde auch hier die bedeutsame Neuerung von vielen unterschätzt und betrachtet, weil sie teils die mathematischen Grundlagen nicht verstanden, teils nicht fein genug beobachteten, um die immerhin subtilen Verbesserungen der Abbildung zu bemerken, oder zu träge waren, das Alte zu verlassen. Thatsächlich hat sich die homogene Immersion in kurzer Zeit die Welt erobert.

Ist die Einführung der homogenen Immersion einer der größten Fortschritte auf dem Gebiete der Mikroskopie der Neuzeit, so steht ihr zur Seite die Berechnung und Ausführung der Apochromate, die ein Ereignis von der allergrößten Bedeutung ist für die Mikroskopie. Wir müssen uns hier leider versagen, die Optik derselben des näheren zu erläutern, — und eine oberflächliche Behandlung wäre unwürdig des Gegenstandes. Es möge hier nur gesagt werden, daß Apochromat eine außerordentlich viel höhere Korrektion, zunächst der chromatischen Aberration bedeutet, eine Korrektion höherer Ordnung, so daß die Worte Achromat und Apochromat grundsätzlich verschiedene Bedeutung haben. Es wird beim Apochromaten ein viel größerer Teil des Spektrums im Bilde zur Vereinigung gebracht, als bei den Achromaten.

Auch diesen Fortschritt verdanken wir den großen Jenaer Optikern Abbé, Schott und Zeiß.

Für die Konstruktion der Apochromate mußten eine Anzahl ganz neuer Glassorten geschaffen werden. Um die Herstellung derselben hat sich Schott ein großes Verdienst erworben. Heute haben die Jenaer optischen Gläser einen Weltruf. Abbé hat dieselben rechnerisch verwertet, und die Firma Zeiß hat die Apochromaten hergestellt. Bald nahmen andere große Firmen die Herstellung derselben ebenfalls auf und lieferten solche, die den Zeißschen nicht nachstehen. So liefert z. B. die Firma Zeiß in Weimar ganz vorzügliche Apochromate.

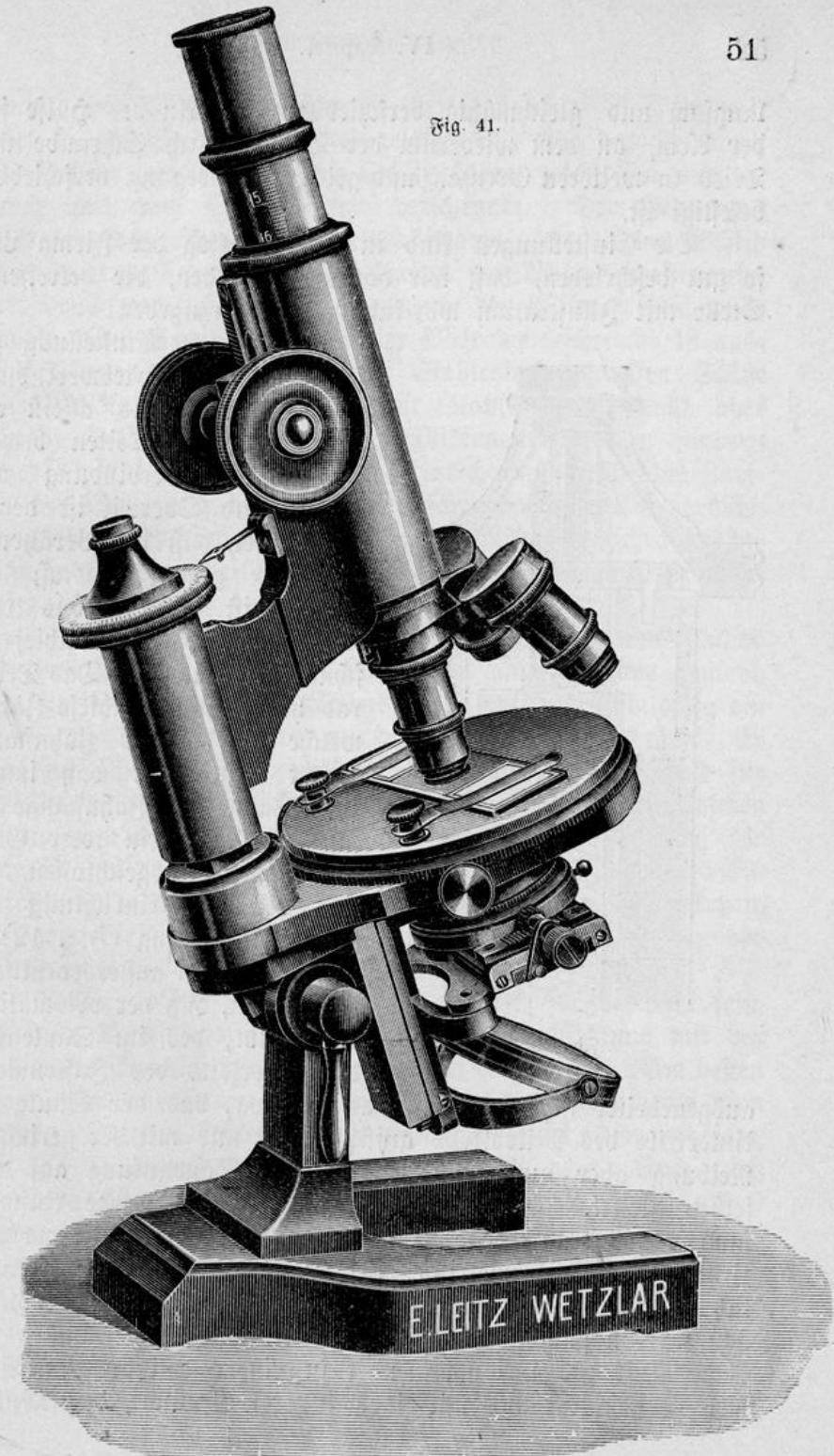
## IV. Kapitel.

### Das moderne Mikroskop.

Fig. 41 zeigt den Typus eines modernen Stativs. Es besteht aus dem Fuß, dem Objekttisch, der Säule (oder Träger) mit Vorrichtungen zum Heben und Senken des optischen Apparats, und dem Tubus, d. h. dem Rohr, an dem Objektiv und Okular befestigt sind. Der Fuß soll dem ganzen Instrument einen festen Stand geben, er muß deshalb 1. die Unterlage nur an drei Punkten berühren, um Wackeln sc. zu vermeiden. 2. müssen die drei Punkte so liegen, daß das Instrument in jeder Lage stabil steht, auch wenn der Oberkörper horizontal umgelegt ist.

Die Verbindung des Fußes mit dem Oberkörper bildet ein Gelenk, welches ermöglicht, den Oberkörper aus der senkrechten in die horizontale Lage zu neigen. Das Gelenk muß in jeder Lage feststellbar sein (oder durch seine Reibung die Lage erhalten); bei den großen Stativen geschieht dies durch einen Stellhebel. Der Objekttisch ist die ebene Unterlage für die Objekte (eigentlich Gläser, auf denen sich dieselben befinden). Seine Ebene muß mit der optischen Achse einen rechten Winkel bilden und in der Mitte, centriert zur optischen Achse, ein Loch haben für die Beleuchtung des Objekts mit durchfallendem Licht; gewöhnlich ist er mit zwei abnehmbaren Klammern zum Festklemmen des Objektträgers versehen. — Unten am Tisch ist der Beleuchtungsapparat befestigt. An der Seite des Tisches erhebt sich eine Säule mit einem Arm, an dem der Tubus befestigt ist. Die Säule besteht aus einem massiven inneren Teil, der einen dreieckigen Querschnitt hat (auf der Fig. 40 ist nur ein kleines Stück desselben zu sehen) und einer darüber gesteckten genau passenden Hülse, die gegen den inneren Teil vermittelt einer feinen Schraube (Mikrometerschraube) sehr

Fig. 41.



langsam und gleichmäßig verschiebbar ist. An der Hülse sitzt der Arm, an dem wiederum der Tubus durch Schraube und Trieb in weiteren Grenzen und größerer Bewegung verschiebbar befestigt ist.

Die Einstellungen sind in dem Katalog der Firma Leitz so gut beschrieben, daß wir vorgezogen haben, die betreffende Stelle mit Illustration wörtlich hier wiederzugeben:

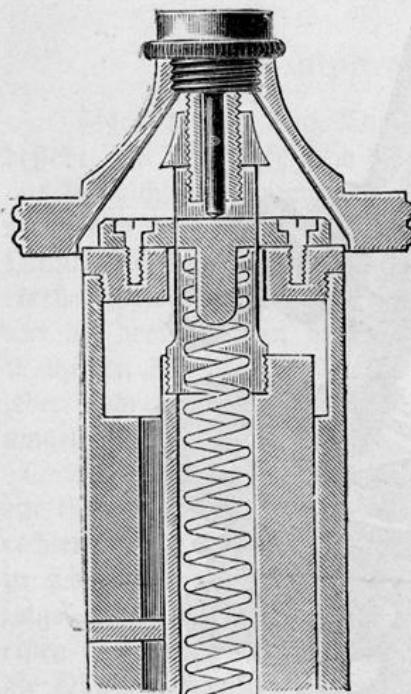


Fig. 42.

ausgearbeitet ist, genau in das Prisma, das der Säule des Unterteils des Mikroskops aufsitzt, paßt und mit der geringsten Reibung aber auch ohne jede seitliche Schwankung auf demselben gleitet. Diese Arbeit beansprucht die ganze Aufmerksamkeit und Kunst des Mechanikers. Auf diesem Prisma vollzieht sich die mikrometrische Bewegung. Das Prisma ist nämlich ausgebohrt und enthält eine Spiralfeder von der Stärke, daß sie den ganzen Oberteil des Mikroskops tragen kann. Der obere Teil des Prismas endet in einem cylindrischen Stück, welches geschlitzt und mit einem inneren Gewinde, dem Mutter-

gewinde der Mikrometerschraube, versehen ist. Nachdem die Feder in das Prismeninnere eingelassen ist, wird dasselbe durch eine Brücke, welche durch den Schlitz führt, geschlossen und die Brücke mit dem Oberteil fest verschraubt. Der Federdruck drückt jetzt den Oberteil so weit aufwärts, als es der Schlitz gestattet, etwa 5 mm, der Spielraum der Mikrometerschraube. Der Druck nach abwärts wird durch die Mikrometerschraube bewirkt. Der Gewindezapfen dieser Mikrometerschraube ist ausgebohrt und enthält einen losen Stahlzylinder, dessen Spitze gegen die Brücke drückt. Der lose Stahlzylinder macht aber nicht die drehende Bewegung der Mikrometerschraube, sondern nur die vertikale Bewegung, eine Einrichtung, welche die Hartheit der Bewegung der Mikrometerschraube wesentlich erhöht. Die Höhe eines Schraubenganges der Mikrometerschraube beträgt 0,5 mm; ein Teilstrich des in 50 Teile geteilten Schraubenkopfes beträgt also  $\frac{1}{100}$  mm.

Der Tubus enthält einen zweiten ausziehbaren Tubus mit einer Teilung, welche die Länge des ganzen Tubus angibt.

Am Objektivende des Tubus ist in unserer Abbildung ein sogenannter Objektivrevolver mit drei Objektiven angebracht. Er dient zur schnellen Auswechselung der Objektive und wird für zwei, drei oder vier Objektive angefertigt. Er ist nur an solchen Tuben anzubringen, die sich nicht drehen, also solchen, die auch die grobe Einstellung durch Zahn und Trieb haben. Ein Objektivrevolver sollte nie angebracht werden an Mikroskopen, bei denen die grobe Einstellung geschieht durch Verschieben des Tubus in einer Hülse mit der Hand.

Weiter sollen die Objektive am Rohr so angepaßt sein, daß beim Wechseln nur noch eine geringe Nachstellung mit der Mikrometerschraube nötig ist, um scharf einzustellen. Am besten ordnet man das so an, daß beim Wechsel vom schwächeren zum stärkeren Objektiv letzteres etwas zu hoch steht, vorausgesetzt, daß das vorhergehende schwächere eingestellt war. Auch muß besonderes Gewicht auf die Centrierung der Objektive gelegt werden, so daß man unter allen Umständen das Unpassen eines Objektivrevolvers dem Fabrikanten überlassen soll. — Es möge hier noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Objektive angepaßt sind für eine bestimmte Tubuslänge (fast allgemein 160 mm). Richtung und Ausdehnung der Nachstellung beim Objektivwechsel ändern sich, wenn der Tubus

verschiedene Längen hat. Das macht sich besonders bei starken Systemen geltend. Sind die Objekte angepaßt für 160 mm Tubuslänge, so stehen bei längerem Tubus die stärkeren zu tief, bei kürzerem zu hoch.

Um die verschiedenen Beleuchtungsarten und deren Wirkungsweise zu verstehen, ist es recht zweckmäßig, ein wenig darüber nachzudenken, wie wir uns die Gegenstände der umgebenden Natur beleuchten oder es die Natur für uns thut. Nehmen wir zunächst einen Tag, an dem die Sonne nicht zu sehen ist, der ganze Himmel sei überzogen mit hellen Wolken. Die Gegenstände werfen keine — oder fast keine Schatten, wir sehen sehr wenige — oder gar keine starken Spiegelungen. Das Bild der Natur ist ein wenig kontrastreiches, aber sehr detailreiches.

Eine solche Beleuchtung heißt diffus; die Objekte werden von allen Seiten gleichmäßig beleuchtet, nirgends ist ein störendes Zuviel, überall ein angenehmes Genug. Das Sonnenlicht wird durch die Wolken in den allerverschiedenartigsten Richtungen abgelenkt, so daß der ganze Himmel eine gleichmäßig mild leuchtende Fläche wird. Von allen Seiten sendet er zu der Erdoberfläche Strahlen in allen Richtungen, und diese reflektieren einen Teil des empfangenen Lichts in unser Auge. Jedes kleinste Teilchen der Gegenstände bekommt von allen Seiten Licht, und zwar ungefähr gleichviel, so daß es alle ihm überhaupt zu kommenden Reflexionsmöglichkeiten ausnutzen kann, und zwar, da das diffuse Licht gleichmäßig von allen Seiten kommt, in sehr feinen Abstufungen.

Wie anders wird das Bild, wenn die Wolken sich teilen und die Sonne eine Flut von Licht über unsere Erde gießt. Das gleichmäßig weiche Bild wird zu einem solchen mit scharfen Kontrasten. Die lichtmüden Augen sehen im Schatten wenig, in dem direkten Sonnenlicht unvermittelte Gegensätze von hell und dunkel, vermischt mit blendenden Reflexen. Kleine Glassplitterchen oder sonstige glänzende (spiegelnde) Körperchen, die wir bei diffusem Licht nicht sehen, senden blendende Strahlen in unser Auge — die Oberflächenteilchen, die eine günstige Reflexionsmöglichkeit haben, treten brüsk hervor. Wenige aber haben diese günstige Möglichkeit, denn dies Licht kommt nicht von allen Seiten, sondern von einem kleinen Punkt am Himmel, der Sonne. In der That besteht neben dem grellen Sonnen-

licht natürlich auch diffuses, dessen Wirkung auf das lichtmüde Auge aber sehr herabgesetzt ist. Sehr hübsch kann man sich über die Wirkungen der diffusen und der direkten Beleuchtung orientieren, wenn man einen mit feinem Sand, Kies etc. bestreuten Boden einmal im Sonnenlicht, einmal im Schatten (der dem diffusen Licht ziemlich gleichkommt) beobachtet, man hat dann nur sich zu hüten, die Stelle im Schatten mit durch das helle Licht ermüdeten Augen zu betrachten. Am besten schließt man vor jeder Beobachtung die Augen auf kurze Zeit. Genau dieselben Prinzipien gelten für die Beobachtung in auffallendem Licht, die leider heutzutage außerordentlich, und sehr mit Unrecht, vernachlässigt wird.

Wir können beides für unsern Fall herstellen, den grellen Sonnenschein und das diffuse Licht.

Stellen wir unser Mikroskop in der Mitte eines hellen Zimmers auf, verhindern durch Vorhänge etc., daß direktes Licht unser Mikroskop trifft, so haben wir schon ziemlich diffuses Licht, vorausgesetzt, daß die Wände, Möbel etc. ungefähr gleich in der Helligkeit sind.

Senden wir durch eine Sammellinse konzentriertes Licht auf das Objekt, und wenn nötig, blenden wir das diffuse Licht des Zimmers ab durch ein Cylinderchen von rauhem schwarzem Papier, oder besser Sammet, das wir lose um das Objektiv stellen und das nur einen Spalt hat für das von der Linse kommende Licht, so haben wir den Fall des direkten Sonnenlichts. Die Indikationen der Anwendung beider, eventuell auch deren Kombination ergeben sich aus dem oben Gesagten. Eine weitere Modifikation der Beleuchtung in auffallendem Licht ist die mit dem Vertikalluminator. Es ist dies ein im Innern des Mikroskops dicht über dem Okular angebrachter Apparat, der Licht von oben in das Objektiv und durch dieses auf das Präparat wirft. Er wurde erfunden von Professor H. L. Smith.

Fig. 43 zeigt ein solches Instrument der Firma Carl Zeiß in Jena.

Fig. 1 dieses Buches zeigt das Prinzip eines Beleuchtungs- spiegels, der später den Namen Lieberkühnscher Spiegel erhielt. — Er ist durch andere bequemere Hilfsmittel ersetzt worden.

Zur Beobachtung in auffallendem Lichte eignen sich zu- nächst nicht gut nasse Objekte, da durch die Spiegelung der

glatten Flüssigkeitsoberfläche die Details zum guten Teil verloren gehen, auch Dünnschnitte sind meist nicht hierfür geeignet, besonders wenn die Objekte von einer Einbettungsmasse durchdrungen sind. Selbstverständlich ist das Präparat nicht mit einem Deckglas zu bedecken, da dessen Spiegelung das Bild sehr beeinträchtigen, ja oft sogar aufheben würde.



Fig. 43.

Unentbehrlich ist die Beobachtung in auffallendem Licht, z. B. für die Erforschung gewisser Details der Diatomeen. So hat z. B. van Heurck mit dem Vertikalilluminator außerordentlich feine Details der Amphibleura (einer der schwierigsten Diatomeen) photographieren können. Aus dem Gesagten geht hervor, daß das auffallende Licht zunächst für das Oberflächenstudium geeignet ist.

Um aber einigermaßen eine Vorstellung über eine Oberfläche zu bekommen, muß möglichst allen Teilchen Licht aller möglicher Richtungen zugeführt werden — dies ist auf einmal nicht möglich. Man muß die Lichtverhältnisse also nach Möglichkeit variieren. Manches feinste Pünktchen oder Strichselchen wird nur erstrahlen, wenn eine Menge Lichts in einer gewissen Richtung es trifft, manche Welle der Oberfläche in diffusem Licht besser sichtbar werden — hier gilt es zu probieren, aber nach einem vorher überlegten und konsequent durchgeföhrten Plan, und das möchte ich besonders denen sagen, die bei jeder Untersuchung sofort mit Wasser, Glycerin oder Balsam und Deckglas bei der Hand sind und sich blenden lassen mit des Kondensors Lichtfülle. Allerdings ist die Beobachtung in auffallendem Licht für starke Vergrößerungen leider nicht möglich, nur der Vertikalilluminator erlaubt höhere Vergrößerungen anzuwenden. Es soll aber besonders darauf aufmerksam gemacht werden, daß bei starken Trockensystemen das Deckglas seine

Rolle spielt, und, wo ohne dasselbe untersucht wird, eigens dafür konstruierte Linsen angewandt werden müssen.

Sehr wichtig ist das auffallende Licht für die Mikroskopie der Eisschliffe geworden, man hat sogar eine Reihe besonderer Apparate hierfür gebaut.

Während wir im täglichen Leben verhältnismäßig selten in durchfallendem Licht beobachten, werden fast alle mikroskopischen Beobachtungen in durchfallendem Licht angestellt. Wenn wir in einer Flüssigkeit Trübungen vermuten, halten wir dieselbe „gegen das Licht“, wir untersuchen sie in durchfallendem Licht. Das von den kleinen Partikeln, die die Trübung verursachen, reflektierte Licht genügt nicht, unser Auge zu erregen, die Veränderungen jedoch, die das Licht erleidet, wenn sie in seiner Bahn liegen (Absorption, Ablenkung *rc.*) genügen, eine Kontrastwirkung in unserem Auge hervorzubringen, die uns die Körperchen sichtbar macht. (Führen wir ihnen Licht genug zu, so daß sie günstig reflektieren können, so sehen wir sie auch in auffallendem Licht, wenn wir z. B. mit einem Brennglas einen Regel von Sonnenlicht in trübes Wasser lenken.) Die einfachste Vorrichtung für durchfallendes Licht ist der unter dem Objektiv angebrachte Spiegel, gewöhnlich auf der einen Seite plan, auf der anderen konvex. Er ist in mehreren Geisenken beweglich. Zu dieser Beleuchtungsvorrichtung gehört ein Satz Blenden oder eine Irisblende, die dicht unter dem Objekt angebracht, das vom Spiegel kommende Licht je nach Bedarf abblenden können. Wie wirkt nun dies durchfallende Licht? Entweder — die kleinen Teilchen sind undurchsichtig, schwarz oder stark gefärbt — dann werden ihre Umriss hervortreten, sie erscheinen als schwarze oder farbige Flecken oder Pünktchen, ohne daß wir über die Struktur des Inneren Aufschluß bekommen; ihre Konturen dagegen treten scharf und deutlich hervor. Beispiele hierfür sind: in Wasser verriebene Tinte, stark gefärbte Bakterien, Zellgranula *rc.* Wenn wir Mittel hätten, ein solches Objekt zu drehen und zu wenden unter dem Mikroskop, könnten wir uns eine Vorstellung über seine körperlichen Umrisse bilden (unter gewissen Einschränkungen). Anders, wenn das Objekt durchsichtig oder durchscheinend ist. Haben wir ein durchsichtiges farbloses homogenes Objekt in einem ebenfalls durchsichtigen farblosen homogenen Medium, so wird das Objekt nur dann für uns sichtbar sein, wenn es

andere optische Eigenschaften (Brechungsindex *rc.*) hat, als seine Umgebung. Ein Kronglasstab in Luft ist sichtbar, in Immersionsöl nicht. Das Objekt wird desto besser sichtbar sein, je mehr sein Brechungsindex sich von dem seiner Umgebung unterscheidet, und das sollte bei der Wahl der Einbettungsmedien vor allem berücksichtigt werden. Wir haben angenommen, unser Glasstab sei homogen — nehmen wir nun einen solchen mit einer feinen Schliere im Innern; wenn er in Luft ist, sehen wir von der Schliere nichts, das Oberflächenbild überwiegt; stecken wir ihn in Immersionsöl, so scheint der Stab verschwunden und wir sehen die Schliere wie einen fremden Körper im Öl. Genau dasselbe thun wir, wenn wir ein Präparat „aufhellen“, etwa mit einem Öl; wir machen es optisch möglichst homogen, um einige wenige Einzelheiten (gefärbte Bakterien, auch ungefärbte optisch stark differenzierte Details) hervortreten zu lassen.

Wenn Licht durch sehr enge Spalten oder an scharfen Kanten vorbeigeht, so wird es von seiner gradlinigen Fortpflanzung teilweise abgelenkt: gebeugt. Das von einem solchen schmalen Spalt kommende Licht ist somit nicht geeignet, ein absolut genaues Bild eines Objektes zu geben, ja, es kann unter Umständen ein vom lichtgebenden Objekt durchaus verschiedenes Bild entstehen, aus dem unter keinen Umständen eindeutig auf die Gestalt des Objekts geschlossen werden kann. Folgendes kleine Experiment ist für das Verständnis dieses Vorganges sehr dienlich: Man schneide in ein Stückchen schwarzen Papiers einen feinen Schnitt (Spalt) mit einem scharfen Messer. Nun betrachte man durch diesen Spalt (halte denselben nahe ans Auge) ein sich rechtwinklig kreuzendes Liniensystem. Nun drehe man das Papier um den Sehstrahl als Achse. Man wird erstaunt sein, daß je nach der Stellung des Spaltes die Liniensysteme verschwinden, scharf werden und sich wieder in Undeutlichkeit verlieren. Die senkrecht zum Spalt stehenden Linien werden scharf erscheinen, die dem Spalt parallel verlaufenden kaum oder gar nicht sichtbar sein.

Die wenigen Strahlen, die von den dem Spalt parallelen Linien aus durch den Spalt zum Auge kommen, werden von dem Spalt so gebeugt, daß kein einigermaßen richtiges Bild im Auge entsteht. Was geschieht mit den abbildenden Strahlen, die vom Liniensystem kommen, das zum Spalt senkrecht steht?

Natürlich werden auch diese gebeugt; während aber das Bild des dem Spalt parallelen Strahles vorzüglich in die Breite gebeugt wird, erfährt das Bild der zum Spalt senkrechten Linien (d. h. das Bild jedes kleinsten Teiles dieser Linien) eine Beugung hauptsächlich in der Längsrichtung der Linie. Bei genauer Betrachtung wird man finden, daß die zum Spalt senkrechten Linien auch etwas verbreitert sind, dies röhrt von einer geringen Beugung in die Breite her. Die senkrecht aufeinander stehenden Räten eines Mauerwerkes, das von der Sonne beschienen ist, sind ein vorzügliches Versuchsobjekt.

Sticht man ein feines Löchelchen in eine Zinnfolie und betrachtet durch dieses ein Licht, so bekommt man ebenfalls Beugungerscheinungen. Es ist das große Verdienst Abbés, die Bedeutung der Beugung (Diffraction) für das Mikroskop betont zu haben; je stärkere Vergrößerungen wir anwenden, je feinere Liniensysteme wir auflösen, desto mehr sind wir Täuschungen durch Diffraction ausgesetzt.

So ist es z. B. durchaus unmöglich, aus dem mikroskopischen Bild auf den wahren Bau der Schale gewisser Diatomeen zu schließen. Ein geradezu klassisches Hilfsmittel, um die Erscheinungen der Beugung im Mikroskop kennen zu lernen, ist die Abbésche Diffraktionsplatte mit den dazu gehörigen Blenden und dem Okular. Jeder, der es ernst meint mit der Mikroskopie, sollte diese Thatsachen genau kennen und die Erscheinungen der Diffraktionsplatte studiert haben.

Schon früh in der Geschichte des Mikroskops begegnen wir Sammellinsen zur Beleuchtung des Objekts, teils für auffallendes Licht, wie oben erwähnt, teils für durchfallendes. Wiederum ist es Abbé, dem wir die heute gebräuchlichen Beleuchtungsapparate für durchfallendes Licht verdanken. Jedes auch nur einigermaßen passable Mikroskop hat einen Abbéschen Kondensor.

Fig. 44 zeigt einen solchen sehr vollkommenen Apparat.

Zur besseren Deutlichkeit ist der Kondensor *C* herausgeklappt (nach rechts).

Er besteht aus drei Teilen, dem Kondensor-Linsensystem *C*, dem Blendenträger *D* und der Hülse *S*. Der Kondensor kann aus seiner Hülse herausgeklappt werden, damit der Apparat auch für einfache Spiegelbeleuchtung brauchbar ist. Ebenso kann der Blendenträger nach der anderen Seite herausgeklappt

werden, damit man Blenden, farbige und Mattglasscheiben usw. in ihn legen kann.

Er ist mit einer Irisblende versehen, kann durch Schraube und Trieb exzentrisch gestellt und um die optische Achse des

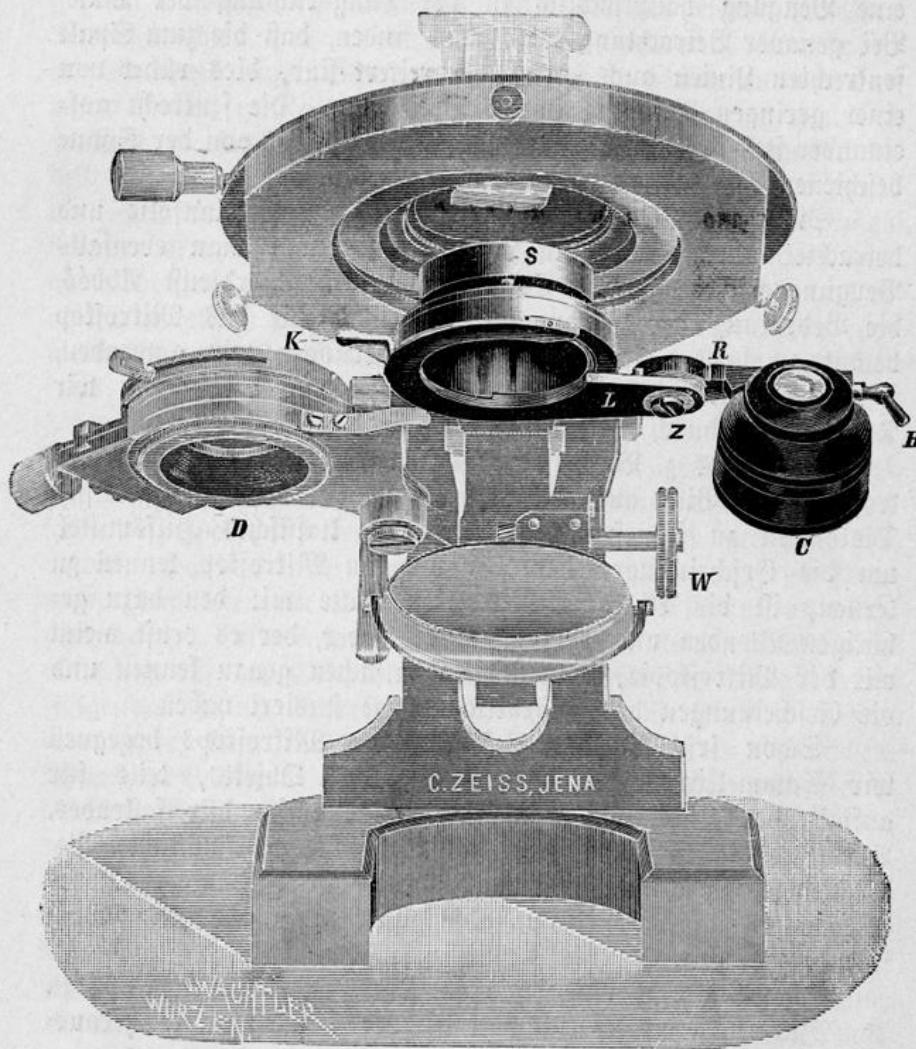


Fig. 44.

Mikroskops gedreht werden. Oben in *S* befindet sich eine weitere Irisblende, die dicht unter dem Objekt in der Tischebene liegt und sich beim Engern machen etwas hebt — letzteres eine sehr nützliche und sinnreiche Verbesserung. Diese Iris-

blende dient nur zur Beobachtung mit dem Spiegel allein und herausgeklapptem Kondensor. Letztere Blende ist in Fig. 44 a von oben zu sehen.

Der ganze Beleuchtungsapparat kann durch Schraube und Trieb *W* gehoben und gesenkt werden.

Die optische Leistung des Kondensors ist die, einen Lichtkegel zu erzeugen, der die Öffnung des Objektivs ausfüllen kann.

Er muß deshalb eine numerische Apertur haben, die der des stärksten gebrauchten Objektivs ungefähr gleichkommt. Die

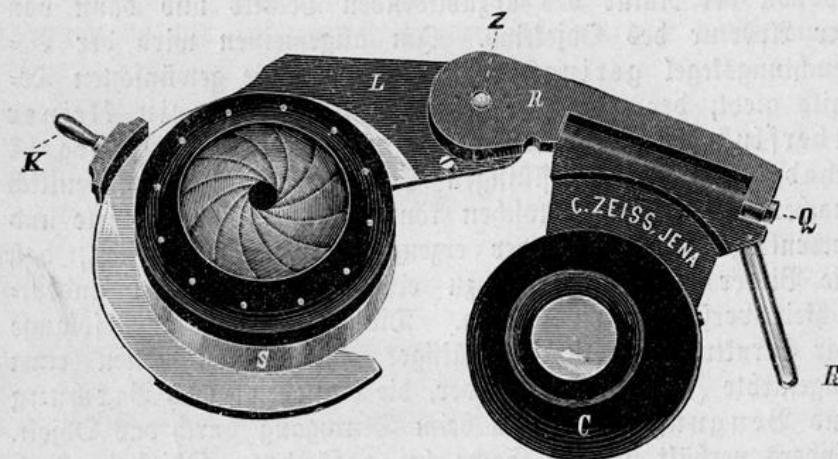


Fig. 44 a.

Irisblende dient dazu, seine Apertur beliebig zu verkleinern, d. h. vom Regel soviel abzublenden als nötig ist, die seitliche Verschiebung der Irisblende mit Rotationsvorrichtung ermöglicht, Licht jeder beliebigen Schräglage anzuwenden; will man bei sehr schräger Beleuchtung arbeiten, so verbindet man Kondensoroberfläche und untere Fläche des Objektträgers mit einem Tropfen Immersionsöl um Lichtverluste an der Kondensoroberfläche und der Unterseite des Objektträgers zu vermeiden. Dies ist jedoch meist nur bei Objektiven mit höchsten Aperturen nötig; z. B. bei der Auflösung von Diatomeenschalen. Nehmen wir nun einmal an, wir hätten ein feinstes Kugelchen mit dem Mikroskop zu sehen.

Wieviel Öffnung muß der Kondensor haben, daß wir das beste Bild von dem Objekt bekommen?

Er muß ungefähr soviel Öffnung haben, daß die durch das Kugelchen gegangenen Strahlen die Öffnung des Objektivs ausfüllen, allgemeiner: um eine möglichst gute Abbildung des Objekts zu geben, muß es eine Beleuchtung bekommen, die es in den Stand setzt, alle ihm zukommenden Brechungs- und Beugungsmöglichkeiten auszunützen innerhalb der durch die Öffnung des Objektivs gegebenen Grenzen. Also: Es ist durchaus nicht immer nötig, daß der Kondensorkegel die Objektivöffnung ausfüllt, es hängt vielmehr die Öffnung des Beleuchtungskegels, seine Richtung sc. in erster Linie ab von der Natur des abzubildenden Details und dann von der Apertur des Objektivs. Im allgemeinen wird der Beleuchtungskegel geringster Apertur, der die gewünschten Details gibt, der günstigste sein. Teder, auch ein kleiner Überfluß in der Apertur des Beleuchtungskegels schadet, da die überflüssigen Strahlen das Bild undeutlich machen, ja sogar auslöschen können, indem sie so viele und undeutliche Beugungsbilder erzeugen neben dem ersten, daß die Bilder alle zusammen zu einer undefinierbaren Undeutlichkeit verschwimmen können. Dies gilt jedoch nur, solange wir Strukturbilder lichtdurchlässiger Objekte sehen wollen (etwa ungefärbte Zellen sc.) — Bilder, die entstehen durch Brechung und Beugung des Lichtes beim Durchgang durch das Objekt. Anders verhält sich die Sache bei gefärbten Objekten (Bakterien, Zellkernen, Granula sc.), die kein Licht durchlassen (dasselbe absorbieren), sondern nur dadurch gegen die hellere Umgebung sichtbar werden, daß sie das Licht in einem Teil des Objekts auslöschen. Hier erreicht man die stärksten Kontraste, wenn man die ganze Objektivöffnung mit Licht ausfüllt, also den Kondensor gar nicht abblendet.

Der ganze Beleuchtungsapparat kann durch Schraube und Trieb gehoben und gesenkt werden. Nehmen wir an, das Objekt befindet sich in der Fokalebene des Kondensors. Senken wir nun den Kondensor, so wird der das Objekt durchsetzende Teil des Kondensorkegels 1. immer lichtärmer werden, 2. einen immer geringeren Öffnungswinkel bekommen. Es hat also das Senken des Beleuchtungsapparats eine zweifache Wirkung.

Im allgemeinen hat man sich bei der mikroskopischen Beleuchtung vor einem Zuviel zu hüten. Man ist sehr leicht

der Versuchung ausgesetzt, mehr als nötig zu beleuchten, natürlich, wenn das Auge etwas ermüdet ist, man überanstrengt dadurch aber die Augen, ohne ein irgendwie besseres Bild zu bekommen, im Gegenteil, wie oben erläutert, man verschlechtert das Bild.

Läßt man Strahlen von solcher Schiefheit das Objekt treffen, daß kein Lichtstrahl der Beleuchtung direkt in das Objekt gelangt, sondern nur vom Objekt abgelenktes Licht, so erscheint das Objekt leuchtend auf dunklem Grunde. Man nennt diese Beleuchtung Dunkelfeldbeleuchtung. Sie ist mit dem Abbé'schen Beleuchtungsapparat zu erzielen. Sehr schief Beleuchtung bis fast zur streifenden Incidenz ist durch einen

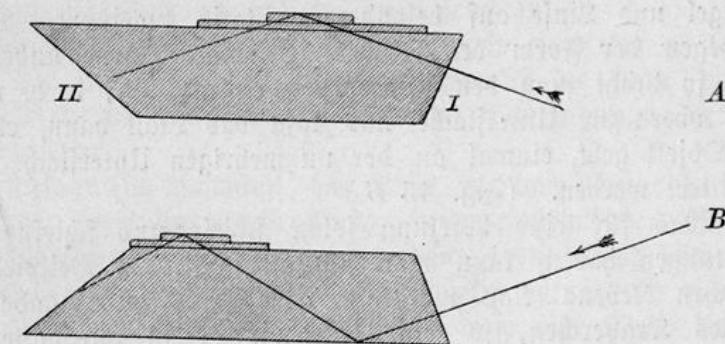


Fig. 45.

kleinen Apparat zu erzielen, den Verfasser nach seinen Angaben von der Firma Jueß in Steglitz bei Berlin konstruierten ließ (Fig. 45). Er besteht aus einem Glasblock, dessen eine Kante I mit der Oberfläche einen Winkel von etwa  $80^{\circ}$  bildet, die gegenüberliegende II hat einen Neigungswinkel von  $\frac{1}{2} R$ , letztere dient für weniger schief Beleuchtung bis zur Grenze der totalen Reflexion, Kante I für schiefsten Lichteinfall. Der Objektträger wird mit der Oberfläche des Glaskörpers durch einen Tropfen Immersionsöl verbunden, das Objekt ist in einem Medium, das denselben Brechungsindex hat, wie Glas, und ist bedeckt mit einem Deckgläschen. Bei Trockensystemen wird alles direkte Licht von der Deckglasoberfläche wieder nach unten total reflektiert, und nur das im Objekt abgebeugte Licht wird die Abbildung bewirken. Fig. 45 A

zeigt den Glasblock und den schematischen Strahlengang. Der Apparat ist auch für Immersionssysteme brauchbar, man muß nur das Licht schief genug machen. Allerdings fällt dann die Reflexion an dem Deckglas fort, und man hat dann nur sehr schiefe Beleuchtung von unten, während bei Trockensystemen die schiefe Beleuchtung von unten mit einer ebenso schiefen von oben verbunden ist. Das Prinzip dieser Beleuchtung wurde nach Dippel zuerst von Wenham angewandt, doch wurde obiger Apparat ohne Kenntnis des Wenhamschen konstruiert. Er ist nur für ganz spezielle Zwecke zu verwenden, wie für die Auflösung sehr schwieriger Objekte (Diatomeen), und erfordert stärkste Lichtquellen.

Das Licht wird dem Apparat von der Seite durch Spiegel und Linse auf besonderem Stativ zugeführt. Sollte er wegen der Form des Tisches in obiger Form unbequem sein, so dreht man den Glaskörper einfach um, d. h. macht seine obere zur Unterfläche und läßt das Licht dann, ehe es ins Objekt geht, einmal an der nunmehrigen Unterfläche total reflektiert werden. (Fig. 45 B.)

Was für eine Wirkung solche schiefe und schiefste Beleuchtungen haben, kann man sich an folgendem Beispiel des täglichen Lebens klar machen. Eine Glasscheibe habe ein feinstes Kräuterchen, so fein, daß wir es in durchfallendem und auch in ziemlich senkrecht gespiegeltem Licht nicht sehen. Wir gehen dann mit der zu untersuchenden Glasscheibe in die Nähe einer hellen Lichtquelle und halten die Scheibe so, daß sie zwar vom Licht voll getroffen wird, aber keines direkt in unsere Augen spiegelt, gewöhnlich strahlt dann das kleine Kräuterchen auf einmal in hellem Licht, es ist dann in der Lage, durch Beugung einen Teil des Lichts in unser Auge zu leiten, während der übrige Teil der Scheibe relativ wenig hell ist. Genau dasselbe, nur mit durchfallendem (oder durch- und auffallendem) schiefem Licht machen wir bei schiefen, speziell Dunkelfeldbeleuchtungen.

Die beste Lichtquelle ist eine mild in diffussem Licht leuchtende weiße Wolke, von künstlichen Beleuchtungsapparaten ist besonders empfehlenswert eine Mattglasscheibe, die von einer Auerlampe erleuchtet wird. Hat man kein Gas, so thut eine Petroleumlampe (breiter Flachbrenner) mit davor gestellter Schusterkugel gute Dienste.

Wir haben bis jetzt nur von der Beleuchtung mit zusammengesetztem Licht gesprochen. Natürlich hat man auch Apparate konstruiert, um alle verschiedenen Möglichkeiten des Lichtes anzuwenden. Es sind deren besonders zwei Gruppen:

1. betreffend Wellenlänge,
2. betreffend Schwingungsrichtung.

Die erste Gruppe umfaßt alle Möglichkeiten, die durch Zerlegung des Lichtes in seine Komponenten entstehen, d. h. in die Spektralfarben. Die beiden bekanntesten Apparate hierfür sind: Hartnacks Beleuchtungsapparat für monochromatisches Licht und Engelmanns Mikrospektral-Objektiv. Es würde zu weit führen, diese Instrumente des Genauerens zu beschreiben. Es möge hier nur gesagt sein, daß sie dazu dienen, das Objekt mit einfarbigem Licht zu beleuchten, d. h. alle Teile des Spektrums besonders auf das Objekt einwirken zu lassen.

Die zweite Gruppe betrifft Apparate, die dazu dienen, das Objekt mit Licht einer bestimmten Schwingungsrichtung zu beleuchten.

Bekanntlich schwingt das Licht in einer Ebene senkrecht zu seiner Fortpflanzungsrichtung, beim gewöhnlichen Licht ist aber die Schwingungsrichtung in dieser Ebene nicht für alle Wellen die gleiche, sondern jede Welle hat irgend eine beliebige Schwingungsrichtung, die für diese eine Welle dieselbe bleibt, mit einigen später zu erörternden Einschränkungen.<sup>1)</sup> Sendet man nun solches gewöhnliches Licht durch ein Nikolsches Prisma, so läßt letzteres nur Wellenbewegungen einer Richtung durch, aus dem gewöhnlichen Licht macht das Nikolsche Prisma polarisiertes. Wird solches polarisiertes Licht wiederum durch ein genau ebenso beschaffenes Nikolsches Prisma geschickt, so wird es nur unter ganz bestimmten Umständen durchgelassen, nämlich wenn der zweite Nikol genau so steht wie der erste. Dreht man den zweiten Nikol, so wird immer weniger Licht durchgehen, bis bei gekreuzten Nicks gar kein Licht mehr durchgeht.

Also der Nikol ist zugleich ein Mittel, um polarisiertes Licht herzustellen und zu erkennen, 1. ob Licht polarisiert ist, 2. in welcher Richtung es polarisiert ist.

<sup>1)</sup> In: "Das Licht und die Farben" hat Herr Prof. Graetz eine vorzügliche Erläuterung dieser Erscheinungen gegeben. Wir möchten hier jedem angehenden Mikroskopiker und jedem, der sich für diese Dinge interessiert, empfehlen, dies Buch gründlich durchzulesen.

Der Polarisationsapparat besteht nun aus dem unter dem Objekt angebrachten Nikolschen Prismen, das polarisiertes Licht in das Objekt sendet, dem Polarisator und dem im Okular angebrachten Nikolschen Prismen, das die Erkennung des polarisierten Lichtes ermöglicht, dem Analysator.

Es giebt nun Körper, die die Schwingungsrichtung des polarisierten Lichtes zu ändern vermögen. Bringt man ein solches Objekt in das mit dem Polarisator und Analysator versehene Mikroskop, so wird Helligkeit und Dunkelheit nicht mehr mit der parallelen und gekreuzten Stellung der Nikols zusammenfallen, sondern in anderen relativen Stellungen der beiden Nikols eintreten. Dies hängt ab von der Natur der betreffenden Objekte, von denen man sagt, sie drehen die Ebene des polarisierten Lichtes. Gewisse Teile der Muskelfaser, Seide, Traubenzuckerlösungen, Dextrin, viele Krystalle &c. drehen die Polarisationsebene.

Besonders für die Krystallographie sind diese Untersuchungen von der größten Bedeutung. Betont möge noch werden, daß man drehende Körper vorausgesetzt, oft auf seine Dickenunterschiede schließen kann mit dem Polarisationsapparat, die der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung entgehen.

Man hat eine sehr geistreiche Verbindung der Beleuchtung in einfarbigem Spektrallicht mit der Polarisation erdacht, sie ist bekannt unter dem Namen Mikrospektropolarisator. Es giebt zwei Formen desselben, den ursprünglichen nach Rollet und eine Konstruktion von Abbé und Dippel.

Eine weitere hierher gehörige Vorrichtung hat den Zweck zu untersuchen und zu messen, ob und welchen Teil des Spektrums ein Objekt absorbiert; sie besteht aus einem gerad-sichtigen Prismen, Spalt mit Vergleichsprisma und Meßvorrichtung.

Es wurde absichtlich unterlassen des weiteren auf die Optik der Spektralfarben und der Polarisation einzugehen. In „Das Licht und die Farben“ von Professor Dr. Leo Graetz sind diese Fragen klar und allgemeinverständlich erläutert, so daß wir einfach auf dies Buch der Teubnerschen Sammlung verweisen können, um Wiederholungen zu vermeiden.

### Der Objekttisch.

An den einfachsten Mikroskopen besteht der Objekttisch aus einer einfachen Platte, die ein zur optischen Achse centriertes Loch hat; die Bewegungen des Objekts geschehen dann durch Verschieben mit der Hand; obgleich man sich hierin eine große Geschicklichkeit erwerben kann, ist die mechanische Bewegung des Objekts derjenigen mit der Hand weit überlegen; speziell die Rotation eines Objekts um die optische Achse ist bei starken Vergrößerungen mit der Hand nicht oder kaum möglich. Hierfür dient der drehbare Objekttisch; derselbe hat eine Vorrichtung

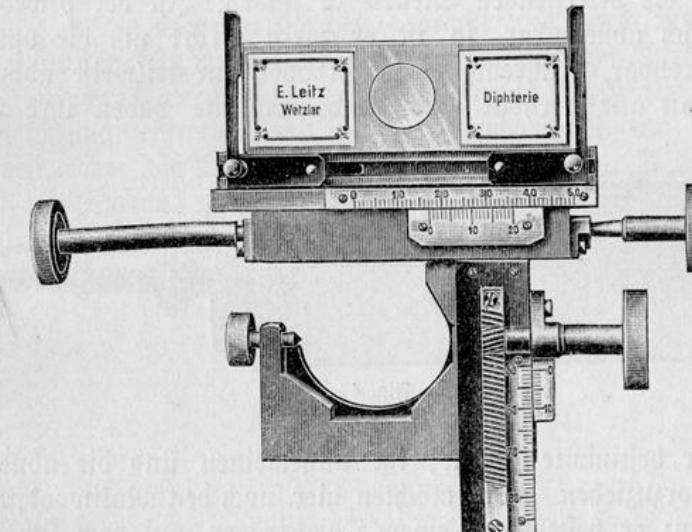


Fig. 46.

zum Centrieren, die zugleich eine geringe Verschiebung der Tischplatte in der Objektebene gestattet.

Die eigentlichen Instrumente hierzu sind die durch Schraube und Trieb verschiebbaren sogenannten mechanischen oder beweglichen Objekttische. Die beiden Bewegungen gehen in zwei aufeinander senkrechten Richtungen vor sich, so daß man ein ganzes Präparat systematisch durchmustern kann und absolut sicher ist, nichts übersehen zu haben. Die Bewegungen sind an Skalen mit Nonnen genau kontrollierbar. Ein weiterer großer Vorteil ist der, daß man jederzeit eine Stelle in einem Präparat wiederfinden kann, wenn man einen solchen Objekttisch hat, da durch einen Anschlag der Objektträger allemal wieder dieselbe Stellung bekommt; man braucht sich dann nur die Stellung der beiden Skalen zu merken (Fig. 46).

Selbstverständlich sind nicht alle beweglichen Objektische gleich, somit die Notierung einer Stelle nur für einen ganz bestimmten Tisch gültig. Um nun mit jedem beliebigen Tisch eine bestimmte Stelle eines Präparates finden zu können, ist es nur nötig, die verschiedenen Tische mit einem und demselben Vergleichspräparat einmal verglichen zu haben, dann weiß man, welche Skalenwerte des einen denen des anderen entsprechen, die Differenzen der Skalen sind dann ein für allemal die Konstanten, vorausgesetzt, daß derselbe Objektpunkt in der optischen Achse lag. Es ist dann sehr leicht, in den zugesandten Präparaten die betreffenden Stellen zu finden. Ist der bewegliche Objektisch abnehmbar, so ist er meist nicht um die optische Achse drehbar, während die nicht oder nur teilweise abnehmbaren fast alle drehbar sind, beide Systeme haben ihre Vor-

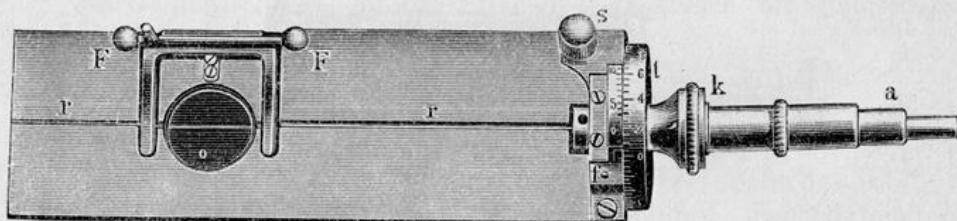


Fig. 47.

züge für bestimmte Zwecke; im allgemeinen sind die abnehmbaren vorzuziehen. Wir möchten hier noch den Maltwoodfinder erwähnen; er besteht aus einem Objektträger, auf dem sich eine sehr feine Felderteilung befindet. Jedes dieser Felderchen ist numeriert. Hat man nun eine Stelle, die man jederzeit wiederfinden möchte, so nimmt man das betreffende Präparat weg, legt an dessen Stelle, ebenfalls genau den Anschlägen anliegend, den Maltwoodfinder und merkt sich die Nummer des Feldchens. Da alle Maltwoodfinder genau gleich sind, braucht man dann bei Übersendung von Präparaten nur die Nummer des Feldchens anzugeben. Natürlich gehört hierzu ein beweglicher Objektisch. Hat man keinen beweglichen Objektisch, so genügt für die meisten Zwecke eine Teilung des Objektisches durch zwei aufeinander senkrecht stehende numerierte Liniensysteme.

Wir haben bis jetzt nur vom Verschieben des Objekts gesprochen. Selbstverständlich kann man auch, speziell bei schwachen und mittleren Vergrößerungen, in die Lage kommen,

das Objekt herumzudrehen um eine horizontale Achse, so daß man es nacheinander von allen Seiten sieht.

Schon Leeuwenhoeks Mikroskope hatten diese Vorrichtung — heute begegnet man ihr sehr selten —, trotzdem sie so einfach ist und jeder sie selbst herstellen kann. Man klebt ein Stückchen Kork auf den Objektträger, steckt eine Stecknadel mit dickem Kopf durch das Korklochchen. Nun befestigt man das kleine Objekt an der Nadelspitze und kann es rollen, soviel man will. Die Firma Zeiß hat einen sehr sinnreichen Apparat konstruiert, genannt Kapillarrotator (Fig. 47). Die Objekte werden in ein Kapillarröhrchen gebracht und durch mechanische Vorrichtungen herumgewendet. Um die optische Wirkung des Kapillarrohres aufzuheben, muß dasselbe in Öl liegen und die Beobachtung entweder mit einem Immersionsystem gemacht werden, oder die Oberfläche des Öls mit einem Deckglas bedekt sein, wenn man mit einer Trockenlinse beobachten will.

## V. Kapitel.

### Abbildung mikroskopischer Objekte.

Der Übersicht halber wollen wir die Methoden der mikroskopischen Abbildung in drei Hauptgruppen trennen:

1. Das einfache Zeichnen ohne optische Hilfsmittel (Spiegel, Zeichenprismen &c.)
2. Das Nachzeichnen mit Zeichenapparaten.
3. Die Mikrophotographie.

Das einfache Zeichnen unterscheidet sich nicht von dem gewöhnlichen Abzeichnen irgend welcher Gegenstände unserer Umgebung; hier wie dort wird des Künstlers Hand Meisterwerke schaffen, die dem Objekt ähnlich aber trotzdem individuelle Leistungen, beeinflußt von des Zeichners Persönlichkeit sind. Speziell bei den mikroskopischen Zeichnungen findet man sehr häufig — vielleicht immer —, daß die persönliche Auffassung einen großen Einfluß auf diese Abbildungen hat.

Es ist recht interessant, die Zeichnungen zu vergleichen, die zwei gute und geübte mikroskopische Zeichner von demselben Objekt entwerfen. — Man wird erstaunt sein zu sehen, wieviel die Persönlichkeit bei diesen mitgespielt, trotzdem man meinen sollte, daß ein derartiges Objekt der Individualität sehr wenig Spielraum läßt. Wer je einmal probiert hat, auf diese Weise eine Zeichnung zu machen, wird sehr bald gefunden haben, wie schwer es ist, von irgend etwas auch nur ähnliche Konturen zu zeichnen. Ein Hilfsmittel hierfür sind die Zeichenapparate. Es sind deren zwei Arten prinzipiell zu unterscheiden, solche, die ein Bild des Objekts auf die Zeichenfläche projizieren, und solche, die durch Spiegelung ein Bild der Zeichenfläche im Auge erzeugen an derselben Stelle, wo das Bild des Objekts zustande kommt, und zwar so, daß sich

Zeichenfläche und Objekt scheinbar an derselben Stelle befinden, d. h. in einer und derselben Ebene.

Der bekannteste Zeichenapparat letzterer Kategorie ist der Abbé'sche, von dem wir untenstehend eine Abbildung (Fig. 48) geben. Durch einen Spiegel wird das Bild der Zeichenfläche in ein totalsreflektierendes Prisma geworfen, dessen Belag ein Loch hat, centriert zur optischen Achse des Mikroskops. Sieht man durch dieses Loch in das Mikroskop, so werden neben den vom Objekt kommenden Strahlen solche von der Zeichenfläche ins Auge gelangen, das Objekt wird scheinbar auf der Zeichenfläche liegen, und man kann seine Konturen auf letzterer leicht umfahren. Natürlich muß die Zeichenfläche so reflektiert sein,

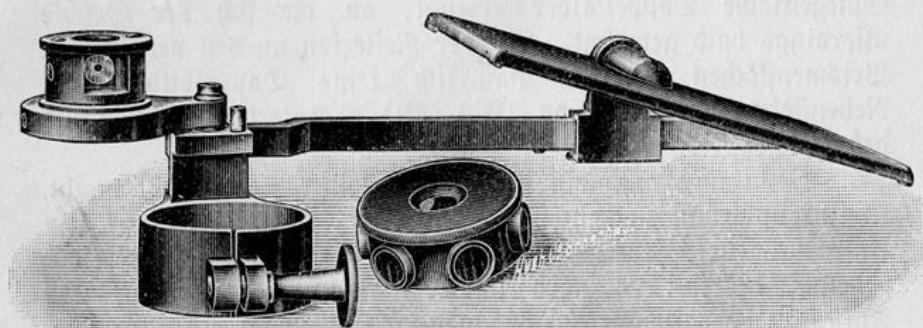


Fig. 48.

dass sie horizontal zu liegen scheint. In vielen Fällen ist das nur möglich, wenn man dieselbe in Wirklichkeit zur Horizontalen neigt, also schräg stellt. Hierfür existieren sogenannte Zeichentische, die in verschiedener Richtung verstellbar sind.

Um das Objekt ohne Zeichenfläche beobachten zu können, ist das Prisma so angeordnet, daß man es zur Seite klappen kann, alsdann liegt das Okular frei für gewöhnliche Beobachtung.

Die Helligkeit der Zeichenfläche muß natürlich in einem bestimmten Verhältnis stehen zu der des Objekts. Dies erreicht man teils durch Regulierung der Objektbeleuchtung, teils durch Rauchgläser, die die Zeichenfläche nach Bedarf verdunkeln. Sie sind so angeordnet, daß das Licht von der Zeichenfläche durch sie gehen muß, ehe es ins Prisma kommt. In unserer Figur sind es kleine runde Fensterchen von verschiedener Dunkelheit, die an einer Kappe angebracht sind, die über die Prismen-

fassung gestülpt wird. Der ganze Apparat wird mit einem Ring mit Schraube so am Okularende des Tubus befestigt, daß sich das Prisma dicht über dem Okular befindet.

Ein sehr zweckmäßiger Apparat, der demselben Zwecke dient, ist das Zeichenprisma von Leitz. Es besteht aus einem Okular, in das eine Prismenkombination derart eingefügt ist, daß die Zeichenfläche genau horizontal erscheint, wenn das Mikroskop um 45% geneigt ist. Man hat dann nur das Papier auf den Tisch zu legen und kann sehr bequem nachzeichnen. Da bei letzterem der Spiegel vermieden ist, erscheint die Bleistiftspitze nicht doppelt, wie bei dem Abbé'schen Apparat, bei welchem Reflexion an der vorderen wie der hinteren Spiegelfläche Doppelbilder erzeugt, an die sich der Geübte allerdings bald gewöhnt. Bei der Reflexion an den versilberten Prismenflächen kommen natürlich keine Doppelbilder vor. Nebenstehende Illustration (Fig. 49) erläutert den Gebrauch des Zeichenprismas.

Wenn nun auch ein solcher Apparat es sehr leicht macht, Konturen genau nachzuzeichnen, so ist er doch noch lange kein Universalmittel, jeden zum Zeichner zu machen — die Ausführung des Bildes wird immer von Geschick, Übung und Auffassung des Zeichners abhängen. Zeichnen ist ein ganz vorzügliches Mittel, sich an genaues Beobachten zu gewöhnen.

Namentlich die körperliche Auffassung der Objekte wird außerordentlich gefördert durch geschickten Gebrauch der Mikrometerschraube beim Zeichnen, allerdings werden hier auch die meisten Fehler gemacht, und ehe man sich an diese schwierigste Aufgabe wagt, lasse man eine Zeit lang beim Zeichnen die Finger weg von der Einstellung und versuche, möglichst bei schwachen und mittleren Vergrößerungen, Objekte mit groben deutlichen Konturen abzuzeichnen. Wenn man das kann, aber nicht eher, soll man die körperliche Wiedergabe versuchen — aber bedenken, daß dazu eine große Gewandtheit gehört, die man zuerst an makroskopischen Objekten üben sollte.

Ein ganz vorzüglicher Prüfstein für einen mikroskopischen Zeichner ist die Baumwollfaser. Erst wenn man solche Objekte zeichnet, merkt man, wieviel Übung und Genauigkeit dazu gehört, eine auch nur einigermaßen richtige körperliche Auffassung zu gewinnen, und hat man sie, so ist doch noch der Weg von der Auffassung bis zur vollendeten Zeichnung ein schwerer.

Das einzige Mittel, mikroskopische Bilder mit absoluter Objektivität wiederzugeben, ist die Mikrophotographie, d. h. die Projektion des mikroskopischen Bildes auf die lichtempfindliche Platte. Selbstverständlich kann man auch statt der Platte einen Bogen Zeichenpapier anordnen und auf diesem nachzeichnen; solche Apparate hatte man schon vor etwa 200 Jahren. Sie wurden sowohl zur Projektion und Demonstration für ein

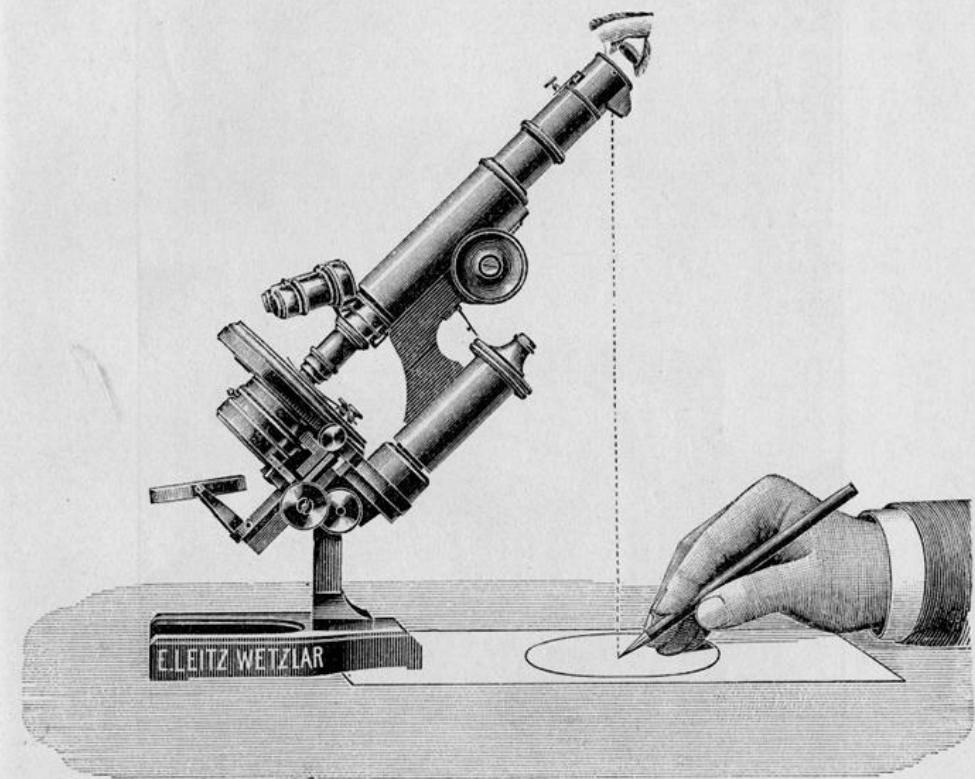


Fig. 49.

größeres Auditorium benutzt, wie dies Fig. 50 zeigt, als auch in Form einer Camera obscura zum Zeichnen.

Fig. 1 zeigt den Projektionsapparat, einen Spiegel, der die Sonnenstrahlen durch eine schwache Konvexlinse zum Präparat sandte. In den Tubus des Apparats wurde das im vorigen Kapitel abgebildete Cuffische Handmikroskop angeschraubt. Auch der hier wiedergegebene Projektionsapparat, eigentlich

Beleuchtungsapparat für Projektion mit Sonnenlicht, ist von Cuff; die Illustration nach Ledermüller (1762).

Fig. 2 zeigt die Anwendung im Auditorium; bei c konnte das Bild auf einem Schirm aufgefangen und nachgezeichnetet werden.

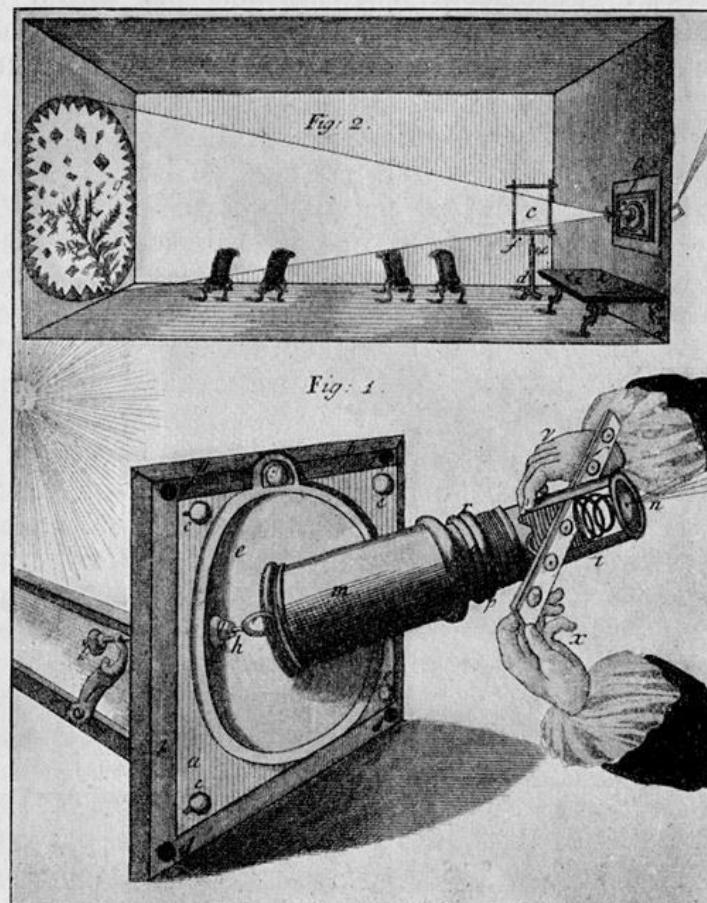


Fig. 50.

werden. Der Spiegel war je nach dem Sonnenstand durch Zahn und Trieb verstellbar.

Die nächsten Figuren (51) zeigen denselben Apparat in Verbindung mit der Camera obscura. Bei der oberen Abbildung wird das Bild durch einen Spiegel gegen das horizontale Mattglas geworfen, bei der unteren direkt auf die vertikalstehende Scheibe projiziert.

Aus nachfolgenden zwei Figuren (52) geht der Unterschied des Strahlenganges bei der Okularbeobachtung I und der Projektion II oder Photographie hervor. Während bei der Okularbeobachtung die Strahlen aus dem Okular parallel

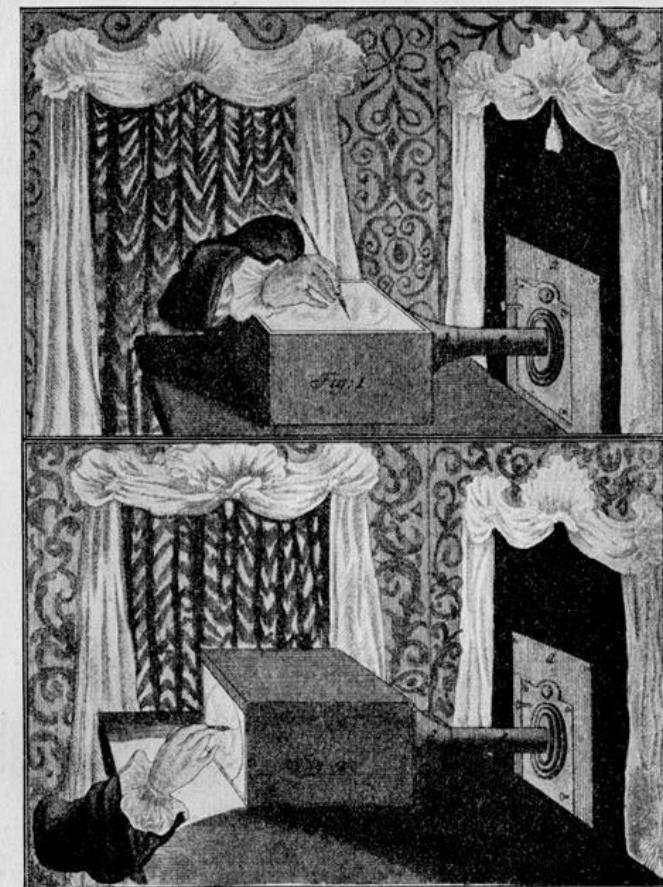


Fig. 51.

(d. h. nur ungefähr parallel) austreten, kann man die letzteren zur Vereinigung zum reellen Bilde bringen, wenn man das Objekt etwas von dem Objektiv entfernt (den Tubus etwas hebt). Das von Objektiv und Kollektiv (oder auch vom Objektiv allein bei Ramsden.-Okularen) entworfene reelle Bild entfernt sich vom Okularglas A, so daß A nun dasselbe auf den Schirm SS projizieren kann. Dem aufmerksamen Leser

wird auffallen, daß das Bild bei I einmal, bei II zweimal umgekehrt wird, also bei dem auf die Mattscheibe SS projizierten Bilde sind z. B. rechts und links nicht verkehrt, es ist dieses Mattscheibenbild ein aufrechtes und erst sein Abdruck wird umgekehrt, wie das gesehene Bild in I.

Wenn man also ein Objekt für das Auge eingestellt hat und nun die Kamera auf das Mikroskop aufsetzt, so muß man den Tubus heben, um das Objekt scharf auf der Mattscheibe zu sehen.

Natürlich kann man das Bild des Objekts auch auf eine Zeichenfläche projizieren und dort nachzeichnen. Ein derartiger

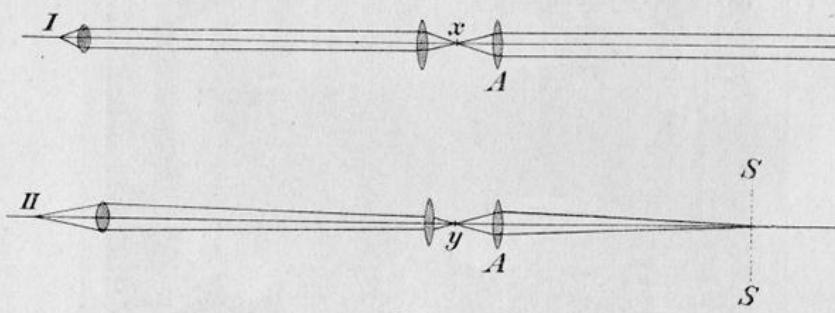


Fig. 52.

Zeichenapparat ist der bekannte Edingersche, speziell für große Präparate bei schwachen und mittleren Vergrößerungen.

Die mikrophotographische Kamera ist entweder mit dem horizontal umgelegten oder dem aufrechtstehenden Mikroskop zu verbinden.

Für lange Kameraauszüge empfiehlt sich die horizontale Anordnung. Die Einstellung erfolgt dann durch ein Triebwerk, welches mit der Mikrometerschraube verbunden ist, da die Entfernung der Mattscheibe von der Mikrometerschraube das Einstellen mit der Hand unmöglich macht. Gewöhnlich werden diese langen Rämmern in Verbindung mit einem Heliosstaten oder einer Bogenlampe benutzt. Ihre Anwendung ist umständlich, sie erfordern ein spezielles Zimmer für ihre Aufstellung, und sie sind sehr kostspielig. Für spezielle Zwecke sind sie allerdings unbedingt nötig.

Eine weit bequemere, einfachere und um ein Beträchtliches billigere Anordnung ist die des aufrechten mikrophotographischen

Apparats (Fig. 53). Die Kamera wird von einer Säule getragen, die fest mit einer Eisenplatte verbunden ist; auf dieser findet das Mikroskop Aufstellung, und sein Ocularende wird mit dem Kamerahals durch geeignete Zwischenstücke (h) lichtdicht verbunden.

Eine weitere sehr zweckmäßige Anordnung ist die kleine aufstellbare Kamera von Tueß, von der wir untenstehend eine

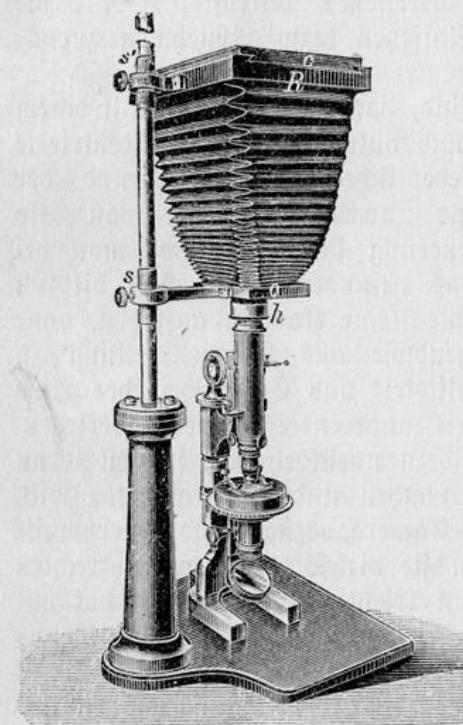


Fig. 53.



Fig. 54.

Abbildung geben (Fig. 54). Sie besteht aus einem Trichter aus Aluminium, der durch Schrauben am Tubus befestigt wird, die Kassetten werden in den oberen Teil des Trichters eingeschoben. Der Apparat ist so leicht, daß er auf die Einstellung keinen Einfluß ausübt; er ist bei vorsichtiger Manipulation für die schwierigsten Aufnahmen zu benutzen und hat den Vorteil momentan abgenommen und aufgesetzt zu werden. Neuerdings wird er nach Angabe des Verfassers mit einem Ansatzstück geliefert, welches es ermöglicht, den Apparat an jeden Mikroskopitubus, ob eng

oder weit, ohne weiteres anzupassen und aufs genaueste zu centrieren; es genügt dann, eine Schraube zu lösen oder anzuziehen, um den Apparat abzunehmen bzw. wieder genau so wie vorher aufzusezen. In der Figur sieht man fünf Schrauben, eine große und zwei Paare solcher mit kleineren Köpfen. Die zwei Paare mit den kleinen Köpfen dienen zum centrieren und bleiben ein für allemal in derselben Stellung, sobald einmal genau centriert ist für das betreffende Mikroskop. Nur die große Schraube wird beim Aufsetzen bzw. Abnehmen zurückgeschraubt oder angezogen.

Vorteile dieser Kamera sind, daß sie momentan mit einem Griff aufgesetzt werden kann und automatisch sich in centrierte Stellung stellt, ihre außerordentliche Handlichkeit, und der Umstand, daß die Tubuslänge unveränderlich ist, man also immer genau dieselbe Vergrößerung bekommt. Hat man bei einer Okularuntersuchung etwas gefunden, was man bildlich festhalten will, so kann man die kleine Kamera aufsetzen, ohne daß man das Mikroskop irgendwie aus seiner Stellung zu bringen braucht. An Bequemlichkeit und Einfachheit des Aufsetzens ist diese Kamera allen anderen Systemen überlegen. Sie ist im Laboratorium geradezu unentbehrlich, speziell wenn man vergleichende Messungen machen und rasch arbeiten will. Nur wo es sich um lange Kameraauszüge und allerhöchste Vergrößerungen handelt, kann sie die Stativkamera aufrechten und horizontalen Systemen nicht ersehen. Van Heurck hat mit diesem Apparat die schwierigsten Objekte, wie *Amphipleura pellucida*, erfolgreich photographiert.

Ist schon bei gewöhnlicher Okularbeobachtung die richtige Beleuchtung eine der wichtigsten Vorbedingungen zum guten Bilde, so ist dies in noch viel höherem Grade der Fall bei der Mikrophotographie, und nur die allersorgfältigste Benutzung der Beleuchtungsapparate macht es möglich, tadellose Bilder zu bekommen.

Wir haben verschiedene Variationsmöglichkeiten des Lichtes, seine Helligkeit, Intensität, seine Richtung (Fortpflanzungsrichtung), eventuell die Gesamtheit der Richtungen, die die Beleuchtung ausmachen, seine Farbe, die Richtung seiner Schwingungen (polarisiert oder nicht).

Helligkeit ist bekanntlich die Lichtmenge, welche von der Oberflächeneinheit ausgeht. Für die Mikrophotographie kommt

erstens die Helligkeit des Präparates und zweitens die Helligkeit des projizierten Bildes auf der Mattscheibe in Betracht. Die Helligkeit des letzteren ist nicht etwa nur von derjenigen des Objekts abhängig, sondern die wirksame Öffnung des Objektivs, die Absorption durch die Mikroskoplinsen, die lineare Vergrößerung etc. Wollte man also einen mathematischen Ausdruck finden für das Verhältnis der Bildhelligkeit zu der des Objekts, so müßten alle diese Größen in Rechnung gezogen werden.

Die Objekthelligkeit können wir auf zwei grundsätzlich verschiedene Arten variieren:

1. Durch Heben und Senken oder Abblenden des Kondensors. Wie wir oben expliziert haben, ist dies notwendigerweise mit einer Veränderung der Apertur des Beleuchtungsfegels verbunden.

2. Dadurch, daß wir die Helligkeit der Lichtquelle ändern, etwa in der Reihenfolge Kerzenlicht, Petroleum oder Gas (Fischschwanzbrenner), Auerlicht, Kalklicht, Bogenlicht, direktes Sonnenlicht.

Wir können mit jedem dieser Lichter eine Beleuchtung von genau derselben Apertur, Strahlenrichtung etc. erzeugen, die in der Helligkeit sehr verschieden ausfällt. Bezeichnen wir Apertur, Strahlenrichtung etc. als Strahlengang der Beleuchtung, deren Lichtmenge (Helligkeit) als Quantität, so sehen wir, daß die Quantität durch Veränderung der Lichtquelle, der Strahlengang durch den Beleuchtungsapparat variiert werden soll, daß mit der Strahlengangsänderung eine Quantitätsänderung verbunden ist, das ist unvermeidlich, und diese Quantitätsveränderung kann nur durch Beeinflussung der Lichtquelle wieder ausgeglichen werden, so daß man bei enger Blende eventuell das Licht heller machen, durch eine Linse auf den Spiegel konzentrieren oder es dem Mikroskop näher stellen muß. Da man meist nur eine Lichtquelle zur Verfügung hat, muß man sich mit der Sammellinse helfen, so gut es geht. Auerlicht in Verbindung mit der Sammellinse genügt für die meisten Zwecke vollkommen. Natürlich hängt die Farbe des Lichtes von der Lichtquelle ab.

Im photographischen Sinne möchten wir auch die Farbe des Lichtes zu seinen quantitativen Eigenschaften rechnen, insofern, als es auf die Menge aktinischen (photographisch

wirk samen) Lichtes ankommt, d. h. auf die Menge chemisch wirkamer Kraft, die das Licht ausübt.

Vom Strahlengang haben wir bereits bei den Beleuchtungsarten gehandelt; das dort Gesagte gilt in noch strengerem Sinne hier. Die schiefe, manchmal Dunkelfeld-Beleuchtung, oft auffallendes Licht, kurz alle möglichen Beleuchtungsvarietäten kommen in Betracht und wir stehen nicht an zu sagen, daß die wahre Kunst des Mikrophotographen in der Beleuchtung besteht.

Um den Unterschied zwischen der Augenbeobachtung und der Photographie zu verstehen, müssen wir einige Eigenschaften der photographischen Platte mit denen des Auges vergleichen. Es ist allgemein bekannt, daß die Platte für einen anderen Teil des Spektrums empfindlich ist als das Auge. Um diesen Unterschied wenigstens teilweise aufzuheben hat man Mittel, die Platte farbenempfindlich (orthochromatisch) zu machen. Diese Eigenschaft der Platte muß berücksichtigt werden bei der Konstruktion der Objektive, da sonst der für das Auge wirk samste Teil der Strahlen anderswo ein Bild erzeugen könnte, als der für die Platte wirkamste. Es würde also dann das sichtbare Bild anderswo im Raum liegen, als das photographische, und die Einstellung mit dem Auge würde zwar für das sichtbare Bild scharf werden, das photographische dagegen wäre unscharf.

Zur Beruhigung können wir aber versichern, daß Objektive mit merkbarer Fokusdifferenz sehr selten sind. (Es gibt ein gewöhnliches photographisches Objektiv, bei dem die Fokusdifferenz in sehr geistreicher Weise unschädlich gemacht wird, indem es in einer gewissen Stellung nur das Augenbild scharf gibt, in einer anderen nur das photographische, es ist dies der Bistigmat von Rodenstock; diese Linse ist vorzüglich dazu geeignet, den Unterschied zwischen optischem und chemischem Fokus klar zu machen.)

Eine weitere wichtige Eigenschaft der Platte ist die, daß sie vermag Reize zu summieren, die auf eine fast unbegrenzte Zeit sich erstrecken. Man kann also auch Objekte photographieren, die ihrer Natur nach oder aus Beleuchtungsnotwendigkeiten verhältnismäßig sehr schwach beleuchtet sind, wenn man nur lange genug exponiert; man kann die Exposition über Stunden ausdehnen, ja über Tage. Speziell in der Astronomie hat

man außerordentlich lange Expositionszeiten angewandt, aber auch in der Mikrophotographie sind stundenlange Expositionen mit großem Erfolg angewandt worden. Man kann also schief Beleuchtung, enge Beleuchtungskegel auch bei relativ schwacher Lichtquelle zur Photographie benutzen. Wie alle durch einen Reiz auslösbbaren Vorgänge, hat auch die Reaktion der Platte auf Lichteindrücke eine Reizschwelle, d. h. von einer gewissen Helligkeit an nach unten macht Licht keine entwickelbare Einwirkung auf die Platte. Natürlich muß die Helligkeit eines Objekts oberhalb der Reizschwelle sein. Während das Auge nur eine außerordentlich kurze Zeit braucht, um einen Lichteindruck zu bekommen, selbst bei schwacher Beleuchtung, und eine zeitliche Verlängerung eines Lichteindruckes von einer gewissen, sehr kurzen Zeit ab zur Ermüdung des Auges führt, kann, wie gesagt, bei der Platte viel länger belichtet werden, d. h. in außerordentlich viel höherem Grade als beim Auge Helligkeit durch Expositionszeit ersetzt werden; dies geht so weit, daß Objekte photographiert werden können, die zu licht schwach sind, als daß man sie sehen könnte, wenn man nur lange genug exponiert.

Eine wichtige Frage für den Mikrophotographen ist die Expositionszeit. Dieselbe kann nicht ohne weiteres angegeben werden, sondern muß experimentell gefunden werden, am einfachsten, wenn man (nach Dr. Rod. Zeiß) Streifen derselben Platte dem Licht des Objekts durch verschiedene lange Zeiten aussetzt. Es sollte dies Experiment bei jeder neuen Kombination gemacht werden. Der Aufwand einer Versuchsplatte mit sicherem Ergebnis bedeutet fast immer eine — oft bedeutende — Ersparnis an Zeit und Geld, gegenüber planlosem Herumexperimentieren!

Während, wie gesagt, die langen Expositionszeiten theoretisch möglich sind, haben sie ähnlich wie in der astronomischen Photographie, einige praktische Bedenken. Deren erstes ist, daß das Gesichtsfeld immer eine gewisse diffuse Helligkeit hat, die sich wie ein ganz feiner Schleier über das Bild verbreitet; am besten kann man das sehen, wenn man mit zu weit geöffnetem Kondensor beobachtet, durch Engermachen des Kondensorkegels ist dieser Schleier zum Verschwinden fürs Auge zu bringen, aber bei sehr langen Expositionen kann doch noch ein Schleier auftreten auf der Platte. Weiter kann sich die Einstellung durch

allerhand Einflüsse während sehr langer Expositionen etwas verändern und so das Bild unscharf machen. Aus diesen Gründen soll die Expositionszeit möglichst abgekürzt werden, und zwar dadurch, daß man eine möglichst helle Lichtquelle nimmt, man hüte sich aber, eine mangelhafte Helligkeit auf Kosten der Schärfe und Güte des Bildes durch einen weiteren Beleuchtungskegel (Öffnen der Kondensorblende über das Optimum der Bildschärfe hinaus) zu verbessern.

Für die Beleuchtung mit geradem Licht hat Dr. Rod. Zeiß die Regel aufgestellt, daß der Beleuchtungskegel  $\frac{1}{3}$  des Objektivs ausfüllen solle; wenn man das Okular wegnimmt und in den Tubus hineinsieht, kann man sehen, wieviel vom Objektiv beleuchtet ist. Für histologische Objekte (auch gefärbte) ist diese Beleuchtung sehr geeignet. Diese Regel, der man füglich den Namen „Zeissche Regel“ geben sollte, giebt für gerades Licht fast immer ohne weiteres die richtige Apertur der Beleuchtung, und es sollte jede Untersuchung mit derselben angefangen werden. Natürlich ist für die verschiedenen Objektive diese Apertur des Beleuchtungskegels ganz verschieden, und es ist als ein grober Fehler zu bezeichnen, wenn man vergißt beim Wechsel der Objektive auch die Kondensoriris entsprechend zu regulieren. Die Zeissche Regel gilt in gleicher Weise für Photographie und Okularbeobachtung.

Wer sich mit der Photographie feinster Details (Diatomeen u. c.) beschäftigt hat, wird sehr bald gefunden haben, daß die üblichen Stativen nicht so recht hierfür passen — speziell die Mikrometerbewegung ist für diese Feinheiten bei höchsten Vergrößerungen nicht fein genug —, die Veränderlichkeit der Einstellung ist oft recht lästig und zeitraubend, und drittens, der Tubus ist oft zu eng, so daß er bei schwachen Objektiven einen Teil des Bildes abschneidet. Es sind für diese Zwecke zwei ganz vorzügliche Spezialstativen konstruiert worden, deren eines nach den Ideen van Heurck von der englischen Firma Watson & Sons gebaut wird. Das andere ist ein deutsches, aus den Werkstätten von Carl Zeiß in Jena.

Da dies Stativ sich ebenso für Okularbeobachtung als photographische Zwecke eignet und einige prinzipielle Neuerungen von hoher Bedeutung aufweist, möchten wir auf dasselbe hier des Näheren eingehen und geben im folgenden einen wörtlichen Auszug eines Teiles vom Prospekt der Firma Zeiß

über das neue Stativ und dessen Abbildung (Fig. 55, siehe Tafel):

1. Der Tubus *T* ist so weit (49 mm im Lichten), daß die zur Aufnahme größerer Objekte dienenden lichtstarken Mikroplanare von 20 bis 100 mm Brennweite nicht nur selbst mit ihren Fassungen darin Platz finden, sondern auch das weite Gesichtsfeld derselben durch den oberen oder unteren Tubusrand keine Abblendung erfährt.

2. Die Ausladung des Tubus, d. h. der Abstand der Tubusachse von der inneren Fläche der das Oberteil tragenden Säule *S* (Zwischenträger) ist so groß (75 mm), daß Objekte bis zu 150 mm Durchmesser auf dem Tisch des Mikroskops Platz finden und vollständig durchsucht werden können.

3. Die Mikrometerbewegung ist nach gänzlich veränderten Prinzipien neu konstruiert. Sie übertrifft die bisher angewandte erheblich an Feinheit. Einer ganzen Umdrehung der Mikrometerwalze *W* entspricht eine Hebung oder Senkung des Tubus um 0,04 mm. Dabei ist, durch Anordnung von zu den Triebknöpfen *K* der groben Tubusbewegung parallelen Walzen *W* für die Feinbewegung einerseits der Übergang von dem einen zum andern Mechanismus für die Hand des Beobachters noch bequemer als früher, wo die Achsen der Antriebsknöpfe senkrecht zu einander standen. Es gestattet ferner der relativ geringe Durchmesser der Feinbewegungswalze neben der langsamem Bewegung durch entsprechend schnelles Rotieren zwischen den Fingern eine etwas beschleunigte, der früheren etwa gleiche. Drittens endlich ist bei der Konstruktion dieses Mechanismus ein Hauptgewicht darauf gelegt, durch angemessene Anordnung der Teile zu einander einseitige Belastung und damit allmähliche Minderleistung zu vermeiden und durch besondere Sicherheitsvorrichtungen systematischen wie zufälligen Schädigungen nach Möglichkeit vorzubeugen. Auch in diesen Beziehungen darf die neue Mikrometerbewegung mit Zug und Recht als eine verbesserte bezeichnet werden.

Eine Einrichtung, die mit den vorerwähnten Zwecken dient, aber eine selbständige Bedeutung neben ihnen hat, ist

4. daß die das Oberteil tragende Säule *S* nicht zugleich die Feinbewegung oder sonst welchen Mechanismus in sich schließt, sondern lediglich ihrem Grundzweck dient, starrer Träger des Oberteils zu sein. Sie ist daher die natürliche Angriffs-

stelle für den freihändigen Transport des Stativs und zu diesem Zweck ist an ihrem oberen Teil eine besondere Handhabe *H* vorgesehen.

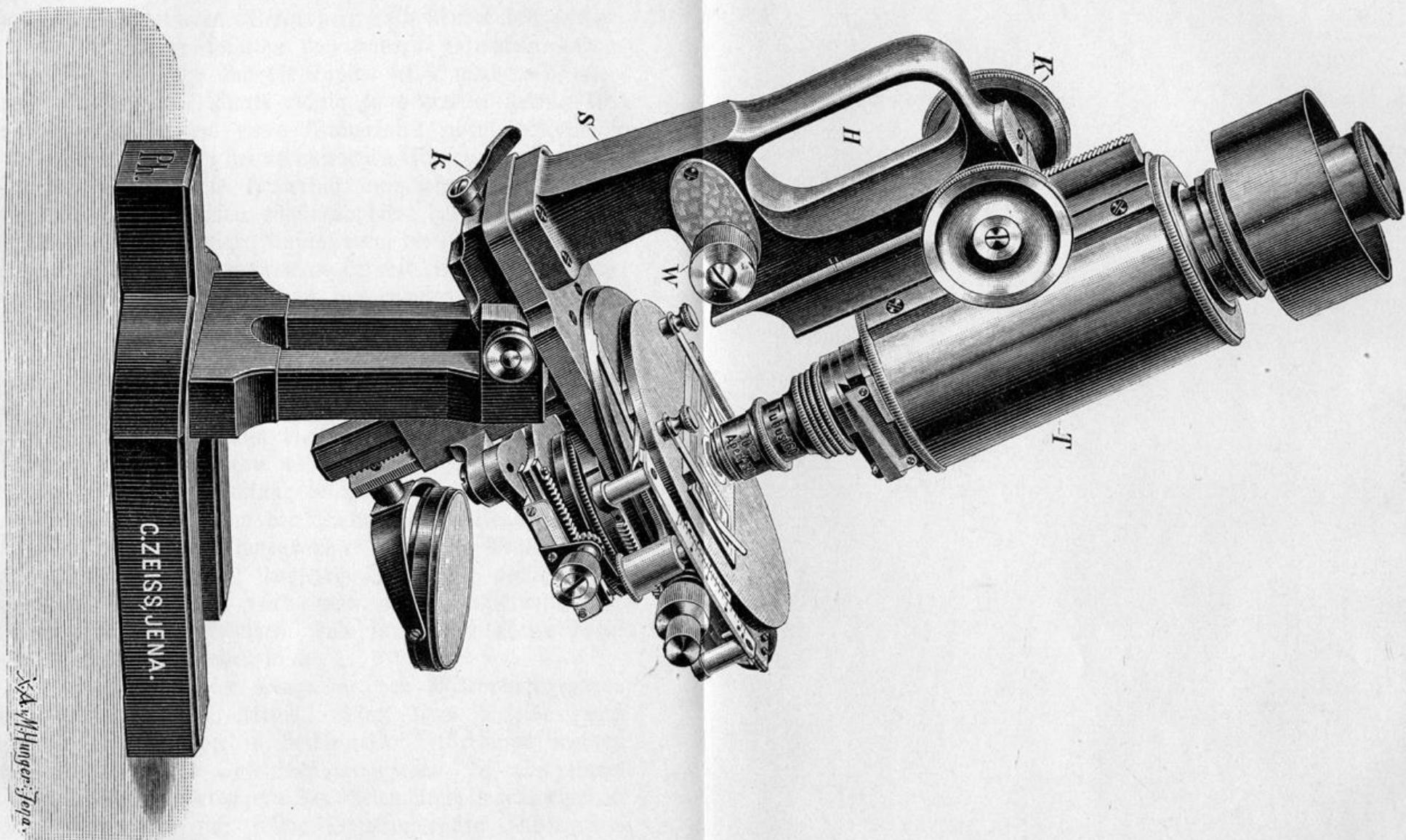
5. Der selbständige Charakter des Trägers erlaubt ferner neben der vollständigeren Erfüllung der zu 1 bis 3 genannten Anforderungen eine sehr weitgehende Anpassung des Stativs an besondere Zwecke. Es steht nun nichts mehr im Wege, den Träger craneartig beliebig weit auszuladen und damit die Entfernung der Tubusachse vom Träger weit über das bisher mögliche Maß zu steigern. Die Werkstatt hat von dieser Möglichkeit bereits Gebrauch gemacht und Mikroskope für Gehirnschnitt- und ähnliche Untersuchungen hergestellt, bei denen jene Entfernung 125 mm beträgt, also die vollständige Durchsuchung von 250 mm im Durchmesser haltenden Objekten möglich ist unbeschadet der Feinheit der Mikrometerbewegung.

6. Mittels eines unterhalb der Säule angebrachten Hebels *K* kann das Oberteil in jeder geneigten Lage festgestellt werden und dies ebenfalls in vollkommnerer, dauernd gutes Funktionieren weniger gefährdender Weise, als mit den bisherigen Vorrichtungen möglich war.

Es ist nicht mehr als eine Pflicht der Gerechtigkeit, hier auszusprechen, daß dies Stativ für feinste Arbeiten das beste ist, welches zur Zeit auf dem Kontinent gebaut wird, und einen ebenso wichtigen Fortschritt auf dem Gebiete des Stativbaues bedeutet, wie die Apochromaten auf dem Gebiet der Linsen.

Man findet sehr häufig die Bemerkung in Büchern über Mikroskopie, daß die Mikrophotographie ein mangelhaftes Mittel zur Darstellung sei, weil sie nur Details, die genau in einer Ebene liegen, abbilde. Dies Urteil ist ein sehr unrichtiges — etwa ebenso wenig berechtigt, als wenn man sagen wollte, die Objektive mit hohen Aperturen geben schlechtere Bilder, weil sie eine geringere Tiefenschärfe haben. In der That gibt es kein Mittel zur objektiven Darstellung mikroskopischer Bilder, das auch nur entfernt einer guten Photographie gleichkäme. Natürlich gehört zum Mikrophotographen nicht nur ein sehr gewandter Mikroskopiker und Präparator, sondern auch ein guter Photograph, der die Technik der Photographie wirklich beherrscht. Wer allerdings seine ersten photographischen Versuche auf unserem Gebiete ohne Vorkenntnisse macht, sollte sich

Fig. 55.



Zu Scheffer, Mikroskop.

über Mißerfolge nicht wundern; der Grund des unverständigen Urteils vieler ist in deren Ungeschicklichkeit zu suchen. Wer mikrophotographieren will, soll imstande sein, mit der gewöhnlichen Kamera eine tadelloß druckende Platte herzustellen, soll den ganzen Negativprozeß inklusive Verstärkung, Abschwächung, Umkopieren, Vergrößern &c. vollendet beherrschen. Man sollte nie seine Platten von andern entwickeln lassen, und wenigstens anfangs auch die Kopien selbst machen, da man erst beim Kopieren die Platte richtig zu beurteilen lernt. Um die verschiedenen Tiefen eines Präparates abzubilden, muß man natürlich Aufnahmen bei verschiedenen Einstellungen machen. Wer speziell Objekte, die körperlich aufgefaßt werden sollen, in den verschiedenen Tiefen photographiert hat, wird gesehen haben, daß gute derartige Aufnahmen die Auffassung ganz außerordentlich fördern, wenn man sie mit einander vergleicht. Während z. B. bei schiefem Licht aufgenommene Bilder verschiedener Tiefen vorzüglich vergleichbar sind, ist es außerordentlich schwer, ja manchmal unmöglich verschiedene Tiefen bei solcher Beleuchtung zum zeichnerischen Bilde zu vereinigen, wegen der seitlichen Verschiebung der Bilder beim Spiel der Mikrometerschraube; es kann die Zeichnung in der Richtung des schrägen Lichtes verzogen werden, eine That, die nicht immer die genügende Beachtung erfährt.

Auch für das Studium der Wirkung der Beleuchtung auf die Abbildung ist die Photographie das beste Mittel; man photographiere nur einmal dasselbe Objekt bei verschiedenen Beleuchtungsarten; dann wird man ein Verständnis der Beleuchtungswirkung bekommen, das in solcher Weise kaum anderswie gewonnen werden kann.

Eine weitere wichtige Frage für den Mikrophotographen ist die Apertur des Objektivs. Man kann dieselbe durch Blenden bei jedem Objektiv verkleinern. Allerdings werden solche Blenden nie den Objektiven mitgegeben, da man etwas ganz Ähnliches durch Verengern des Beleuchtungskegels erreicht. Übrigens kann man sich solche Objektivblenden selber aus schwarzem Papier machen. Für manche Objekte ist eine kleine Objektivapertur sehr vorteilhaft.

Vielleicht entschließt sich einmal eine Firma, auch die Objektive mit Blenden zu versehen, speziell die mit großer Apertur. (Es ist in der That nicht ganz einerlei, ob die

Apertur des Kondensorkegels beschränkt wird oder die des Objektivkegels.)

In den verschiedenen von diesem Gebiet handelnden Büchern wird gewöhnlich der eine oder andere Entwickler empfohlen — wer überhaupt photographieren kann, wird so ziemlich mit jedem gutes leisten, natürlich soll man sich möglichst an denselben halten, da nur genaue Bekanntschaft mit dessen Eigenarten gute Erfolge sichert. Man soll nur ja nicht vom Entwickler verlangen, daß er ohne weiteres eine tadellos druckfähige Platte hervorruft. — Die Nachbehandlung des Negativs ist oft unerlässlich. Unter Nachbehandlung verstehen wir natürlich nur objektive, d. h. chemische oder physikalische Prozesse, wie Verstärken, Abschwächen, Umkopieren, Lackieren, Vergrößern etc. Jede, auch die geringste subjektive Veränderung der Platte ist als eine durchaus verwerfliche Handlung zu bezeichnen. Glücklicherweise eignet sich das Mikrophotogramm sehr wenig hierfür.

Eine weitere sehr wichtige Verwendung der Mikrophotographie ist die zu Messungszwecken und zur Bestimmung der Vergrößerung.

#### Bergrößerung und Messung.

Um dieselbe zu bestimmen, muß man zunächst ein Objekt von genau bekannten Maßen haben. Das bequemste und gebräuchlichste ist das sogenannte Objektmikrometer, ein sehr feiner Maßstab, der auf Glas eingeritzt ist. Man kann solche Teilungen mit Hilfe von Teilmaschinen außerordentlich genau und fein herstellen.

Eine der üblichsten Formen des Objektmikrometers ist das in 100 Teile geteilte Millimeter; photographiert man mit den verschiedenen möglichen Vergrößerungen ein solches Objektmikrometer und mißt dann die Photogramme mit einem gewöhnlichen Maßstab, so hat man im Verhältnis der Dimensionen des Objektmikrometers und des Bildes direkt die betreffenden Vergrößerungszahlen. Photographiert man nun immer genau bei derselben Kamerалänge, so kann man aus der Messung der Photographie einen genauen Schluß auf die wahre Größe des Objekts machen. Auch wenn es auf genaue Zählungen ankommt, ist die Photographie als absolut untrüglich der direkten Zählung überlegen.

Daz aber auch ein Photogramm täuschen und zu durchaus falschen Vorführungen führen kann, möchten wir an folgender Abbildung (Fig. 56) beweisen. Sie stellt das Korn eines photographischen Negativs dar, und zwar einen dunklen feinen Strich in hellerer Umgebung. Die Vergrößerung ist eine etwa 200fache. Jeder, der nun dieses Photogramm ansieht, wird ohne weiteres sagen, daß das Korn des dunklen Bandes in der Mitte außerordentlich viel größer sei, als das der helleren beiden seitlichen Partien. Dies ist aber durchaus falsch; untersucht man die Platte bei stärkster Vergrößerung und der geeigneten Beleuchtung, so findet man, daß das Korn überall dieselbe Durchschnittsgröße hat, in den allerdichten Partien sowohl wie in den beinahe glasklaren Stellen. Man sieht das am besten, wenn man die nasse Platte untersucht, natürlich muß man dabei Immersionssysteme anwenden und die Platte mit einem Deckgläschchen bedecken; dann sieht man, daß die groben Klumpen aus einzelnen Silberkörnern bestehen, die nicht von denen der hellsten Partien verschieden sind. Es wurde dies Beispiel speziell gewählt, um darauf aufmerksam zu machen, daß eine Untersuchung erst dann für beendet anzusehen ist, wenn die angewandte Methode bis zu den möglichen Grenzen ausgenützt ist.

Das „beendet“ ist natürlich ein relativer Begriff, es wird gegeben durch unser beschränktes Können, und man sollte immer bedenken, daß eine Untersuchung, die für uns beendet ist, trotzdem eine außerordentlich ungenügende sein kann, derart, daß ein Schluß auf Grund derselben geradezu ein Sprung in die Luft wäre.

Nehmen wir einmal an, es stünden uns nur Vergrößerungen bis höchstens fünfzigfach linear zur Verfügung, also eine Vergrößerung, bei der man gerade erkennen kann, daß

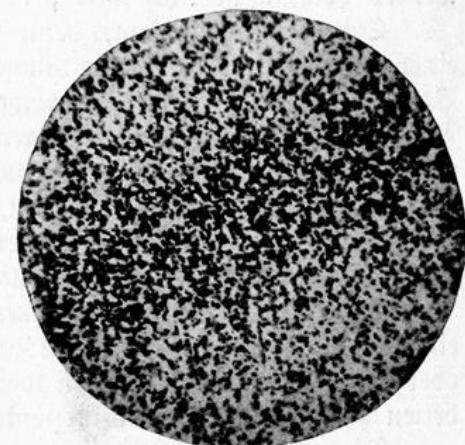


Fig. 56.

die Platte feinste Körnchen hat, aber keine weiteren Details unterscheidet. Was für Theorien lassen sich aus dem bei dieser schwachen Vergrößerung Geschehenen aufstellen! Gestaltveränderungen des Kernes wären nicht erkennbar. Und sicher würde ein heftiger Streit über diese Dinge entbrennen, je weniger man über sie sicheres wüßte, desto mehr Theorien würden bestehen. Wer sich für derartige Fragen interessiert, soll sich nur ein wenig mit der Geschichte der Naturwissenschaften befassen; er wird dann nicht mehr so oft denken und sagen „wie wir es doch so herrlich weit gebracht“.

Seine Zeit verstehen, heißt sie als ein kleines Stückchen einer Kurve ansehen, deren ungefähren Gang wir aus der Vorgeschichte, der Entwicklung vermuten können; kein einzig Ding auf Erden wird man begreifen können, wenn man es nicht als Gewordenes, sich Veränderndes, als etwas Wandbares betrachtet; nur das Kennen der Einflüsse, die die Dinge verändern, ist die Erkenntnis der Dinge, soweit sie unseren stumpfen Sinnen überhaupt möglich ist.

Weiter kann man bei einem Photogramm durch andere eine Messung oder Zählung kontrollieren lassen und messen oder zählen zu einer Zeit, in der man für solch genaue Arbeiten psychisch am besten disponiert ist.

Die meisten Messungen werden natürlich ohne das Zwischenglied eines Photogramms gemacht. Eine der photographischen ähnliche Methode ist die, daß man mit Hilfe eines Zeichenapparates das Objektbild mit dem Bild eines Maßstabes vereinigt, oder die Dimensionen des Objektbildes auf der Zeichenfläche mit einem Bleistift markiert, und dann mit dem Maßstab mißt. Bei allen direkten (photographische = indirekte) Messungen hat man eine wohl zu beachtende Fehlerquelle, nämlich die parallaktische Verschiebung. Nur wenn man das Auge und den Kopf absolut ruhig hält, kann man diese vermeiden. Bei photographischen Messungen fällt diese Fehlerquelle natürlich weg.

Eine weitere Methode die Vergrößerung zu bestimmen ist die, daß man das Objekt einen genau bekannten Weg durch das Gesichtsfeld machen läßt. Durch Schrauben und Hebelertragung kann diese Bewegung ganz außerordentlich fein und genau ausgeführt werden. Man hat dann im Okular eine Spize oder ein Fadenkreuz, an dem man

das Objekt, etwa ein zu kontrollierendes Objektmikrometer, vorbeiführt.

Alle diese Methoden zur Bestimmung der Vergrößerung können etwas modifiziert auch zur Messung der mikroskopischen Objekte verwandt werden. Unter Vergrößerung versteht man allgemein die lineare Vergrößerung, d. h. den Quotient (das Vielfache), um den eine Längeneinheit im Bilde größer erscheint, als sie es in Wirklichkeit ist; die Maßeinheit für solche Messungen ist das Mikron ( $\mu$ ), dessen Länge  $\frac{1}{1000}$  mm beträgt.

Außer den oben erwähnten Methoden der Messung ist noch zu erwähnen diejenige mit dem Okularmikrometer. Es ist dies ein feiner Maßstab, der auf eine kleine runde Glasscheibe eingerichtet ist, und so ins Innere des Okulars gelegt wird, daß das Augenokularglas den Maßstab als Lupe vergrößert, es bekommt dann das Auge zugleich am selben Orte ein Bild des Maßstabes und des Objekts, man kann also die Größenverhältnisse des Objektbildes mit denen des Maßstabes direkt vergleichen. Natürlich müssen die Werte der einzelnen Intervalle mit dem Objektmikrometer für jede Kombination empirisch bestimmt werden, d. h. festgestellt werden, welcher wahren Objektgröße ein Intervall des Okularmikrometers entspricht. Die Methode mit dem Okularmikrometer ist die meist verbreitete; um das Bild des Maßstabes genau mit dem Bild des Objekts zusammenzulegen, muß man natürlich das Objekt so lange verschieben, bis es richtig liegt.

Ebenso wie man ein Objekt an einer Marke vorbeiführen, und dann den zurückgelegten Weg an einer Schraubentrommel ablesen kann (Objektschraubenmikrometer), ist es möglich, eine Marke im Okular über das Objekt hinweg zu führen, und den Weg dieser Marke wiederum an einer Schraubentrommel abzulesen (Okularschraubenmikrometer). Natürlich müssen hier die Intervalle ebenso empirisch bestimmt werden, als bei dem Okularglasmikrometer mit eingerichteter Skala.

Betreffs Beleuchtung beim Messen soll hier nur gesagt werden, daß die Fehler, die man durch unscharfe Einstellung macht, durch möglichst paralleles Licht vermindert werden. Im allgemeinen soll man nie am Rande des Gesichtsfeldes, sondern nur in der Mitte Messungen vornehmen wegen der verschiedenen Vergrößerung in den verschiedenen Zonen. Dicken-

messungen werden mit Hilfe der Mikrometerschraube gemacht. Liegt das Objekt unbedeckt, so kann man die Dickenmaße direkt aus der Differenz der Einstellungen auf die obere und untere Grenze ablesen; ist es mit einem Deckglas bedeckt, so hat man diese Differenz noch mit dem Index des Glases zu multiplizieren. Derselbe beträgt ungefähr  $\frac{3}{2}$ .

Es ist durchaus nicht unbedingt nötig, für die gewöhnlichen Augenbeobachtungen die Vergrößerung genau zu kennen. Erstlich ist dieselbe, streng genommen, für verschiedene Augen verschieden, und dann ist im allgemeinen eine ungefähre Kenntnis derselben durchaus genügend.

Anders bei Abbildungen. Hier sollte die Angabe der Vergrößerung so exakt als irgend möglich gemacht werden, ja unter Umständen empfiehlt es sich der betreffenden Photographie ein Bild des Objektmikrometers beizulegen, das genau unter denselben Bedingungen gemacht ist. Man kann auch das betreffende Bild des Maßstabes neben oder unter das Photogramm auf dasselbe Blatt kopieren. Dann kann jedermann direkt auf dem Bild die Vergrößerung bestimmen und messen, was er will. In einer Anzahl aus unserem Laboratorium hervorgegangener Bilder hat sich diese Methode recht nützlich erwiesen; arbeitet man immer mit demselben Kameraauszug, so braucht man das Objektmikrometer nur einmal aufzunehmen; dann läßt man den kleinen Streifen aus der Platte ausschneiden und kopiert ihn mit, wo es nötig ist; solche Bilder können jederzeit zu den exaktesten Messungen gebraucht werden. Natürlich muß auch die Tubuslänge immer genau dieselbe sein.

Oft zeigt das Photogramm Details, die zu fein für unser Auge sind. Dann muß man es natürlich vergrößern. Eine gute scharfe Platte verträgt eine recht beträchtliche Vergrößerung, doch hat eine solche nur dann Sinn, wenn die Platte Details hat, die mit bloßem Auge unbequem zu sehen sind, z. B. bei Diatomeenaufnahmen. Ehe man sich die Mühe einer Vergrößerung macht, sollte man die Platte recht genau mit einer Lupe ansehen; falls es nötig einen Maßstab beizugeben, vergrößert man denselben am besten gleich mit.

Häufig ist es wünschenswert ein Objekt zu photographieren, dessen Ausdehnung das Gesichtsfeld weit überschreitet. Man photographiert dann die einzelnen Partien nacheinander und

setzt das Bild aus den einzelnen Photogrammen gleich einer Mosaik zusammen. Hierfür ist es empfehlenswert, das Bild durch eine quadratische Blende zu begrenzen. Natürlich gehört hierzu ein beweglicher Objektivtisch.

Wie außerordentlich die Photographie das Verständnis mancher Vorgänge unterstützt zeigen nachstehende Abbildungen (Fig. 57). Beide stellen das Korn einer photographischen Platte dar, genau an derselben Stelle, und zwar Nr. 1 vor, Nr. 2 nach der Verstärkung dieser Platte mit Sublimat und Liq. Ammon. caustic.

Man sieht genau, wie jedes einzelne Korn dicker geworden ist, ohne den Charakter seiner Form einzubüßen. Da die

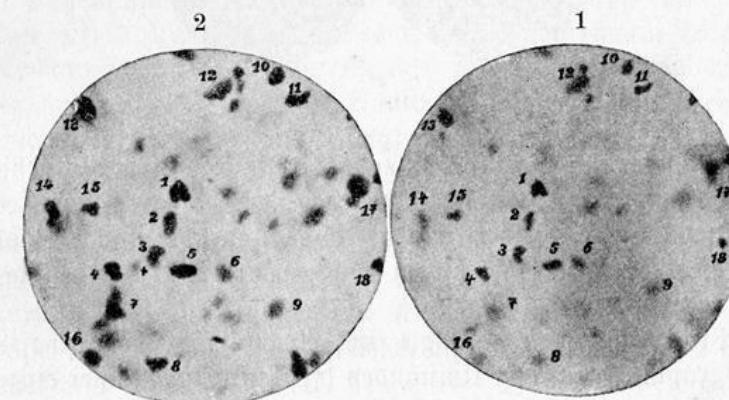


Fig. 57.

beiden Aufnahmen genau unter denselben Bedingungen gemacht sind, kann man sie ohne weiteres zu vergleichenden Messungen benützen. Es würde zu weit führen, alle Folgerungen zu erörtern, die man aus diesen beiden Aufnahmen machen kann. Da die Einstellung bei beiden genau für dieselbe Objektebene war, kann man auch aus diesen Aufnahmen auf das Dickenwachstum des Kornes in der Richtung der optischen Achse schließen, es ist also die geringe Tiefenschärfe hier geradezu nützlich. Man vergleiche nur einmal die Körner Nr. 7, 8, 16, 9. Auf 1 liegen sie so tief, daß sie nur Herstreuungskreise geben, die auf dem Bild als schwache Schatten erscheinen. Die Verstärkung hat sie dicker gemacht, also auch ihre Oberfläche erhöht, so daß sie jetzt teilweise in den Bereich der Penetration des Objektivs gelangt sind. Wer sich einmal die

Mühe giebt, diese Bilder genau zu studieren, der wird finden, daß man sich stundenlang mit denselben beschäftigen und eine Menge von Erfahrungen aus ihnen gewinnen kann: Fig. 58 zeigt zwei Vergleichsaufnahmen derselben Stelle vor und nach der Verstärkung bei 100 facher Vergrößerung. Es ist ohne weiteres klar, daß keine, auch die beste Zeichnung imstande ist, die Größenverhältnisse *et c.* so genau wiederzugeben, wie die

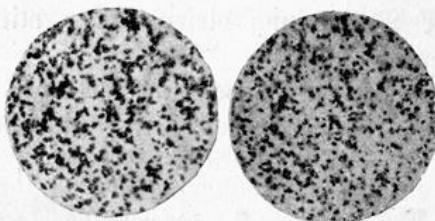


Fig. 58.

Photographie, nur die vergleichende direkte Messung des Objekts vor und nach der Verstärkung würde die Photographie in einer Hinsicht teilweise ersehen können. Was sind aber lange Zahlenreihen im Vergleich mit einem Bilderpaar, das auf den ersten Blick das wesentliche zeigt!

Professor Scheiner sagte im Archiv für wissenschaftliche Photographie, daß unter Umständen die Aufnahmen einer einzigen Nacht Material geben für die rechnerische Arbeit eines ganzen Jahres. Liegen auf unserem Gebiet die Verhältnisse auch nicht so, so kann doch auch ein Mikrophotogramm Objekt eines längeren Studiums sein. Namentlich wo es sich um Vergleichen handelt, ist die Photographie der direkten Beobachtung weit überlegen.

## VI. Kapitel.

### Die mikroskopische Untersuchung.

Gegenstand der mikroskopischen Untersuchung kann jeder Körper sein. Kurz gesagt, alles was uns überhaupt körperlich erreichbar ist. Das feinste Gefüge der Panzerplatten unserer Kriegsschiffe, das Gerüst der Diatomeenschale, die wunderbaren Formen der tierischen und Pflanzenzelle, die ganze Natur kann nicht nur, sondern muß mikroskopisch untersucht werden, damit wir forschreiten in der Erkenntnis und im Wissen. Nun eignet sich nicht jedes Objekt ohne weiteres für die Untersuchung, und die Kunst, die Objekte für das Mikroskop tauglich herzurichten, ist aus bescheidenen Anfängen zu hoher Vollendung gelangt. — Sie ist zu einer selbständigen Wissenschaft von solcher Ausdehnung geworden, daß kaum ein Mensch das ganze Gebiet zu beherrschen vermag. Um dasselbe einigermaßen übersichtlich zu machen, wollen wir es teilen 1. in die Methoden dem Präparat die richtige körperliche Beschaffenheit zu geben (physikalische Mikroskopie) und 2. die (chemischen) Reaktionen, Färbungsmethoden *et c.* Natürlich hat man sich bei der Präparation darnach zu richten, wie das Präparat beobachtet werden soll.

Eine große Reihe von Objekten eignet sich ohne weiteres zur Beobachtung, sehr kleine und feine besonders für durchfallendes Licht. Für das auffallende Licht eignen sich die meisten Objekte ohne große Präparation, z. B. wenn man speziell die Oberflächen studieren will, andere (Stahl, Mineralien und viele andere) müssen unter Umständen erst eine künstlich hergestellte Oberfläche bekommen, geschliffen, gesägt, geschnitten *et c.* werden, um in auffallendem Licht das Gewünschte zu zeigen. Noch schwieriger wird die Aufgabe des Präparierens, wenn es sich um die

Herrichtung für durchfallendes Licht handelt. Wie oben gesagt sind manche Objekte, Diatomeen, Bakterien, Schmetterlingsschuppen, Blutkörperchen, freie Zellen und manches anderes an sich dünn genug; man hat sie nur auf den Objektträger zu bringen und mit einem Deckglas zu bedecken. — Schon hier fangen die Schwierigkeiten an. Haben wir z. B. eine Flüssigkeit zu untersuchen, in der einige wenige kleine Partikelchen vermutet werden, so kann man viele Tropfen nacheinander untersuchen, ohne ein sicheres Resultat zu bekommen. Nur wenn die Partikelchen in Masse darin enthalten sind, läßt sich ein sicheres Ergebnis erreichen. Man muß die Aufschwemmung konzentrierter machen, die Flüssigkeit teilweise abdampfen, was oft unmöglich ist, oder die Partikelchen sich abscheiden lassen. Das thun sie aber nur, wenn sie spezifisch schwerer sind als die Flüssigkeit, und je geringer der Unterschied des spezifischen Gewichts beider ist, desto langsamer geht das vor sich. Hier muß der Präparator seine physikalischen Kenntnisse anwenden, und den Unterschied der spezifischen Gewichte auf eine kurze Zeit wirksamer machen, d. h. statt der Erdschwere eine andere Kraft auf beide wirken lassen, die in ähnlichem Sinne wirkt wie jene, aber viel stärker ist: das ist die Centrifugalkraft. Er centrifugiert seine Aufschwemmung (Harn, Sputum, Bakterienaufschwemmungen etc.) und untersucht das Sediment.

Hat man kleine trockene Körperchen, z. B. Diatomeen, so kann man dieselben einfach mit dem Deckglas zudecken und untersuchen, so daß sie in einer Luftschicht liegen, oder aber in irgend eine flüssige Masse bringen, und dann mit dem Deckglas bedecken, so daß sie nun in einer Einbettungsmasse liegen. Der Präparator muß die chemischen und physikalischen Relationen des Objekts und der Einbettungsmaßen hierbei berücksichtigen, also nicht etwa eine Flüssigkeit wählen, die das Objekt auflöst oder verändert, oder eine solche, die einen dem Objektindex nahen Brechungsindex hat. (Über chemische Beeinflussung der Objekte werden wir im folgenden näheres erfahren.) Unter Umständen kann es auch wünschenswert sein, nur Details im Innern des Objekts zu sehen, ohne durch das Bild der Oberfläche gestört zu werden. Dann soll der Index der Einbettungsmasse mit dem des Objekts möglichst übereinstimmen.

Manche Objekte (z. B. lebende Infusorien) sollen in möglichster Freiheit untersucht werden. Man bringt sie im

„hängenden Tropfen“ an die Unterfläche des Deckglases, das auf einem hohlgeschliffenen Objektträger (oder einer demselben Zweck dienenden Vorrichtung) so liegt, daß der Tropfen frei in Luft hängt.

Eine große Anzahl von Objekten, speziell lebende Zellen der Warmblüter etc. müssen unter Umständen in erhöhten Temperaturen untersucht werden. Hierfür hat man eigene sogenannte „heizbare Objektträger“ konstruiert.

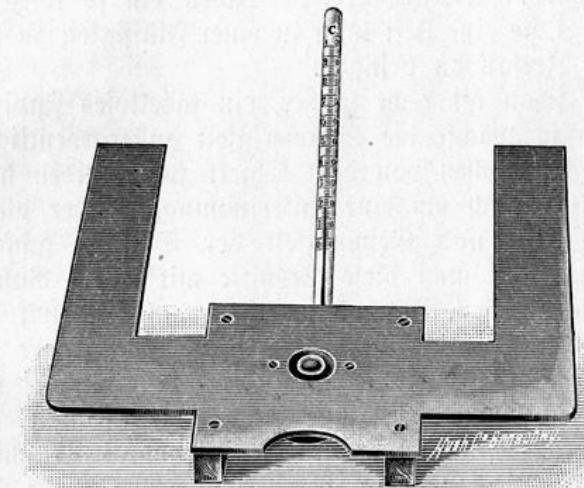


Fig. 59.

Die obenstehende Fig. 59 zeigt einen solchen; er besteht aus Metall, und die beiden bandförmigen Verlängerungen werden mit Flammen erwärmt. Die Temperatur kann man am Thermometer ablesen.

Auch die Einwirkung elektrischer Ströme ist eine hier und da nötige Versuchsanordnung. Man kann sich mit einigen Streifen Stanniolpapier und einem Objektträger ganz gut selbst den nötigen Apparat herstellen.

Will man ein Objekt in einem anderen Gas als Luft untersuchen, so bedient man sich der mikroskopischen Gaskammern; sie bestehen aus einem hohl geschliffenen Objektträger, auf dem sich das Objekt im hängenden Tropfen befindet; durch ein zu- und abführendes Röhrchen zirkuliert das betreffende Gas.

Die meisten Objekte haben nun die erforderliche Form nicht, sondern müssen erst zu der nötigen Feinheit zerteilt werden. Eine ganze Reihe derselben kann mit Hilfe von feinen Nadeln, Häckchen usw. in genügend feine Stückchen zerteilt werden, z. B. die meisten tierischen Gewebe. Oft genügt es auch, weiche Gewebe zwischen Deckglas und Objektträger zu zerquetschen. Zur Untersuchung auf Trichinen benutzt man z. B. solche Vorrichtungen, bei denen das Objekt zwischen zwei Glasplatten zerquetscht wird. Manche Objekte haben ein so loses Gefüge, daß es genügt, sie eine Zeit lang in einer Flüssigkeit zu schütteln, um sie zum Zerfall zu bringen.

Ist es schon oft recht schwer, ein tadelloses Zupfpräparat herzustellen, so wächst die Schwierigkeit außerordentlich, wenn man dünne Scheibchen von dem Objekt zu schneiden hat.

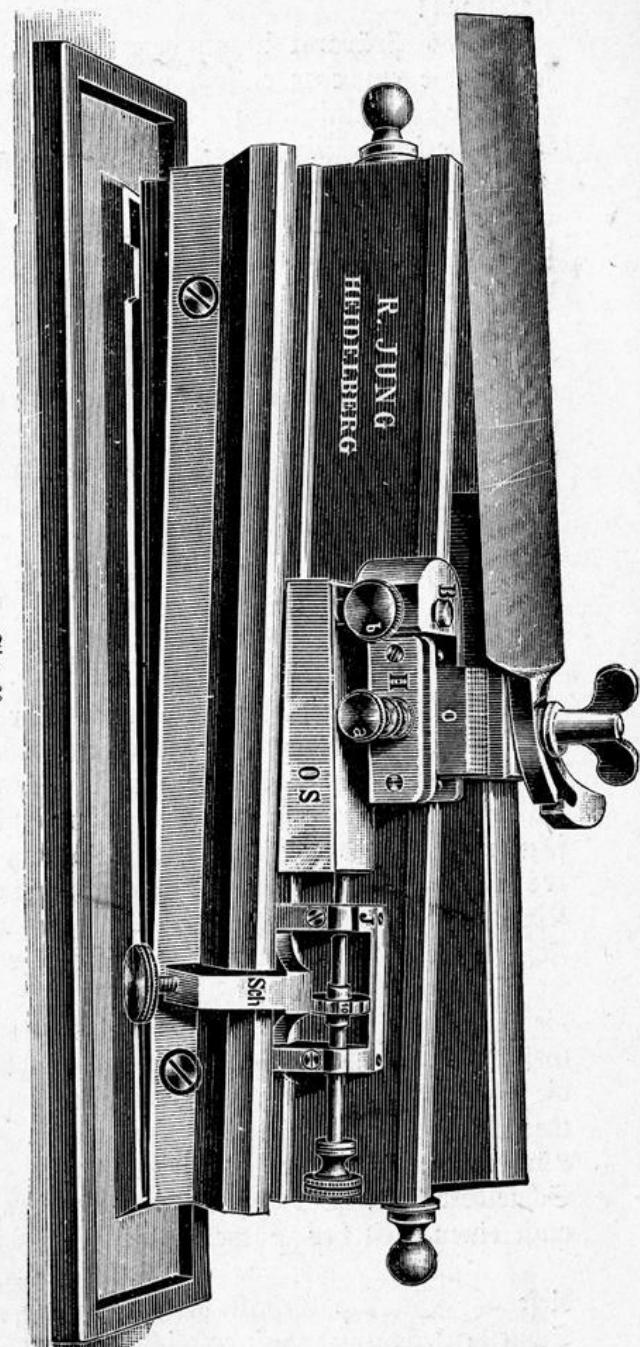
Handelt es sich um eine Untersuchung, bei der die Gleichmäßigkeit, Größe und Genauigkeit der Schnitte ganz gleichgültig ist, so kann man diese Schnitte mit einem Rasiermesser aus der Hand machen. Wo es jedoch darauf ankommt, Schnitte zu machen, die überall genau gleich dick, von einiger Flächenausdehnung sind, und wenn man eine Anzahl auf einander folgender gleicher Schnitte ohne Aussfall haben will, da muß man die unsichere Hand durch die unfehlbare Maschine, das Mikrotom ersetzen. Es gibt deren eine große Reihe, die teils ganz vorzüglich konstruiert sind, teils einen merkwürdigen Mangel an technologischem Verständnis des Konstrukteurs aufweisen. Wer überhaupt eine Konstruktion macht, sollte doch bedenken, daß es nicht genügt, tierische Gewebe zu kennen, um eine richtige Maschinenkonstruktion zu machen. Der Technologe und Maschinenkonstrukteur sollte die maschinellen Hilfsmittel liefern, die den Zwecken des Mikroskopikers dienen, nur in dem letzteren Falle wäre eine ideale Ausnutzung unseres technischen Könnens und unserer physikalischen Kenntnisse zu erreichen.

Nebenstehende Fig. 60 zeigt ein modernes Mikrotom. Seine Hauptaufgaben sind 1. eine absolut gleichmäßige Messerführung in einer genauen Ebene zu sichern, 2. das Präparat während des Schnittes festzuhalten und eine gleichmäßige genau bestimmbare Hebung des Objektes vor jedem Schnitt zu ermöglichen in einer Richtung senkrecht zur Schnittebene.

Beide, das Messer und das Präparat sind auf möglichst schweren Eisenblöcken befestigt; dieselben gleiten in Schienen

auf Eisenbeinfüßchen. Messerbahn sind jede für sich genau plan geschliffen und garantieren eine absolut sichere Führung mit möglichst wenig Reibung. Beide Bahnen sind etwas gegeneinander geneigt, so daß, wenn die Messerbahn etwa nach der Wasserrage stünde, die Objektbahn etwas von unten nach oben ginge, also daß eine Bewegung des Präparats auf dieser Bahn eine Hebung oder Senkung desselben bedeutet gegen die Ebene der Messerbahn, folglich auch gegen die Ebene, in der sich die Messerschneide bewegt. Der

Präparatenblock wird auf seiner Bahn mit Hilfe einer Mikrometerschraube verschoben. Die Bewegung geht in so feinen Grenzen vor sich, daß die Hebung des Präparates um  $1\text{ }\mu = (\frac{1}{1000}\text{ mm})$  genau ausführbar ist. Diese Bewegung ist an



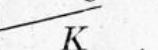
Aus Natur u. Geisteswelt 35: Scheffer, Mikroskope.

Feinheit der Mikrometerbewegung fast aller Mikroskope weit überlegen!

Das Präparat ist an dem Block mit einer Klammer befestigt, die entweder einfach oder mit verschiedenen Bewegungen zur groben Einstellung des Präparates durch Schraube und Trieb versehen ist.

Der Messerschlitten wird auf seiner Bahn mit der Hand, oder auch mechanisch durch eine Kurbel mit Saite oder Kette, bei manchen Konstruktionen auch durch eine sehr steile Schraube verschoben.

Von der allergrößten Wichtigkeit ist die Beschaffenheit des Mikrotommessers, und da wir zugleich hieran zeigen können, wie wichtig und fruchtbringend die mikroskopische Beobachtung für das Verständnis vieler Vorgänge ist, wollen wir auf die Gestalt und Wirkung des Messers etwas näher eingehen. Bekanntlich hat jedes Messer die Gestalt eines schlanken

~~Kieles~~, also etwa -Gestalt. In der That wäre dies die ideale Form eines Messers. In Wahrheit ähnelt seine Gestalt mehr dieser Figur , d. h. die Schneide ist ein Keil, der etwas stumpfer ist als der die große Form des Messers bildende. Damit das Ding einen Namen hat, wollen wir den letzteren Körper- (*K*), den erstenen Schneidenkeil (*S*) nennen. Es ist selbstverständlich, daß der Schneidenkeil immer stumpfer sein muß als der Körperkeil; d. h. daß die beiden Flächen des Schneidenkeiles einen stumpferen Winkel bilden als die des Körperkeiles. Der letztere giebt dem Messer seine Gestalt, Festigkeit &c. Wenn ein Messer in der Werkstatt fertig ist bis auf

die Herstellung der Schneide, so hat es etwa diese -Gestalt. Nun wird die Schneide angeschliffen, d. h. es werden die beiden Ebenen des Schneidenkeiles hergestellt. Man könnte theoretisch die Schneide herstellen wollen durch Abschleifen des Körperkeils, so lange, bis seine beiden Ebenen eine scharfe Schneide bilden. Das geht aber in der Praxis leider nicht; man muß einen Teil des Körpers abschleifen, bis das Messer etwa

diese -Gestalt bekommt. Die endgültige Form des Schneidenkeils wird auf möglichst planen sogenannten Abzieh-

steinen hergestellt. Natürlich ist es wichtig, daß der Schneidenkeil überall die gleiche Form hat, das kann man nur erreichen, wenn das Messer während des Abziehens immer genau dieselbe Neigung zur Fläche des Steines hat. Da man das mit der Hand nicht so genau machen kann, hat man Abziehvorrichtungen erdacht, die die Neigung des Messers beim Abziehen zur Zwangslage machen; man befestigt (Fig. 61) am Rücken des Messers einen runden Stab (oder eine ähnlich wirkende Hülse), die auf dem Abziehstein ebenso aufliegt, wie die Schneide; dann braucht man das Messer nur auf dem Stein hin und her zu führen, ohne daß man die Neigung verändern könnte. Natürlich ge-

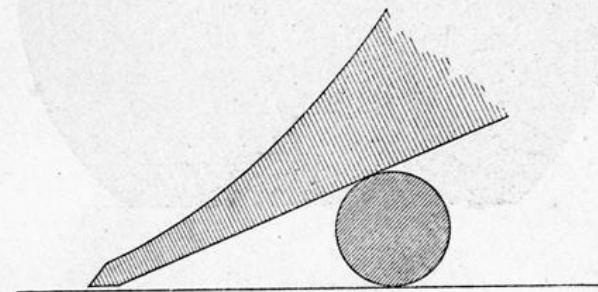


Fig. 61.

schieht dies gleicherweise auf beiden Seiten. Nach dem Abziehen auf dem Stein wird das Messer auf dem Streichriemen abgezogen und ist dann schnittfertig.

Nachstehende zwei Figuren (62 a, b) zeigen das Messer *a* ohne und *b* mit Schneidenkeil. Sie sind bei dreißigfacher Vergrößerung in auffallendem Licht aufgenommen worden.

Um zu begreifen, wie der feine Schnitt des Mikrotommessers zustande kommt, wollen wir einmal überlegen, wie wir im täglichen Leben schneiden. Auf diese Frage wird jeder denkende Mensch antworten: Das kommt ganz darauf an, was wir schneiden; wenn wir z. B. ein Stück Schweizerkäse schneiden, so drücken wir einfach das Messer als Keil durch ihn, ein Durchziehen des Messers würde hier keinen Vorteil bringen. Ja, ein feiner Draht thut dieselben Dienste, wie das Messer. Anders, wenn wir einen Korkstopfen schneiden, da hilft das Drücken wenig, wenn man das Messer nicht durchzieht. Im ersten Fall sprengt das Messer als Keil einfach den Käs.

auseinander, im zweiten hat es noch eine besondere Wirkung, die wir als Zähnchenwirkung bezeichnen möchten. (Wir ver-

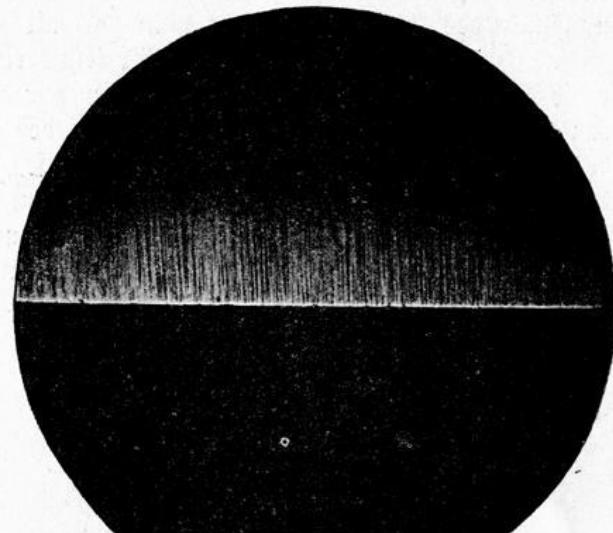


Fig. 62 a.

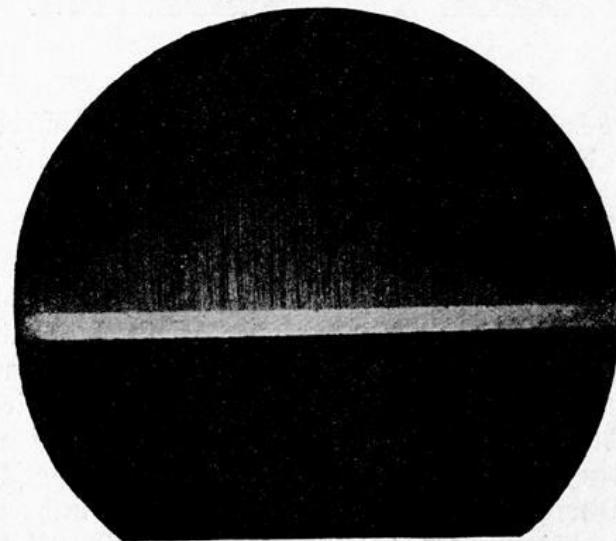


Fig. 62 b.

meiden absichtlich das Wort Sägewirkung, weil die Zähnchen des Messers eine ganz andere Form haben wie die der Säge;

bekanntlich ist die Schneide der Säge immer um ein beträchtliches breiter als ihr Blatt, und die Zähne sind breit, so daß sie Stückchen herausreißen (Sägespäne), die Zähnchen des Mikrotommessers sind aber ganz spitz  $\Delta_A \Delta_B$ . A ist die Schneide einer Säge, B der Querschnitt eines Mikrotom-

messerzähns.

Man wird erstaunt sein, daß wir es wagen, der Mikro-

tommesserschneide Zähnchen zuzuschreiben, ist sie doch feiner, als

die Schneide eines Rasiermessers.

In der That hat jedes, auch das feinste Mikrotomesser, solche Zähnchen, davon kann man sich mit einer starken Ver-

größerung sehr leicht überzeugen.



Fig. 63.

Obenstehendes Photogramm (Fig. 63) zeigt die Schneide eines Mikrotommessers bei etwa tausendsfacher Linearvergrößerung. Es kommen, wie man sich durch direkte Messung und Zählung im Bilde überzeugen kann, etwa 15 Zähnchen auf 5 cm Schneide im Bilde, also auf 1 cm 3 Zähnchen, das macht in Wirklichkeit auf den Millimeter Schneide etwa 300 Zähnchen! Natürlich ist das nur eine ungefähre Zahl, die aber der Wahrheit bei dem Messer, von dem das Bild stammt, ziemlich nahe kommt.

Ein solches Messer kann natürlich keinen glatten Schnitt machen, sondern die Zähnchen müssen Spuren auf den Schnittflächen hinterlassen. Nachstehendes Photogramm (Fig. 64) zeigt die Schnittspuren dieses Messers auf der Oberfläche eines etwa  $10 \mu$  dicken Schnittes von einem Block reinen, gut gehärteten Celloidins mit spitzer Messerstellung, ebenfalls tausendsfach vergrößert. (Es war, nebenbei bemerkt, ein leichtes, Schnitt für Schnitt, so oft wir wollten,  $5 \mu$  zu schneiden, und

zwar ohne daß die Schnitte zerrissen, ein Beweis für die Güte des Messers.)

Um diese ziemlich schwer darstellbaren Schnittspuren zu bekommen, muß man einige Vorsichtsmaßregeln anwenden, nämlich den Schnitt trocken einlegen und gleich einer Diatomee mit schiefster Beleuchtung betrachten event. photographieren. Sobald man ihn naß einlegt, verschwinden die Strukturen der Schnittoberfläche. Wendet man aber die richtige Beleuchtung an, so kann man jede Schnittoberfläche in diese Streifung auflösen.

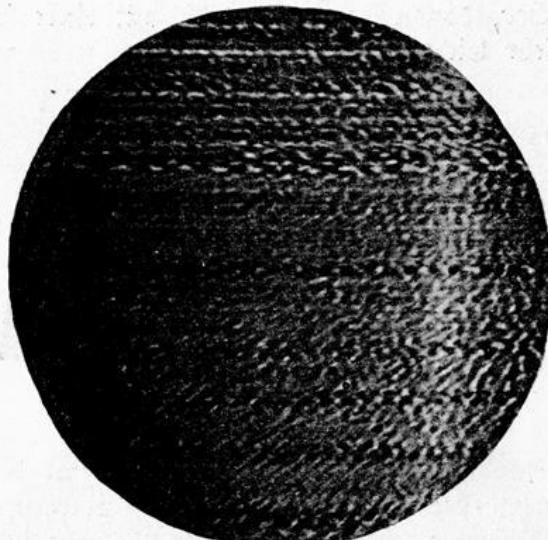


Fig. 64.

Müßt man die Breite der dicksten Kräzer, so wird man finden, daß sie im Bilde unter 1 mm, also in Wirklichkeit unter  $1\text{ }\mu$  bleiben, eine Größe, die selbst im Vergleich mit den meisten mikroskopischen Objekten recht klein ist. Das war auch von vornherein anzunehmen aus dem Bild der Schneide und dem Umstand, daß das Messer spitz stand. Kommen bei Querstellung des Messers 300 Zähnchen auf den Millimeter Objekt, so kommen bei Spitzstellung um so viel mehr darauf, als Längeneinheiten der Schneide der Ausdehnung des Präparates senkrecht zur Schnittrichtung (Messerbahn) entsprechen. Wer sich ein bißchen auf Interferenzerscheinungen versteht, kann auf der trockenen Schnittfläche eines Celloidinblocks

dieselben recht gut beobachten und aus denselben auf die Schnittspuren schließen.

Wer übrigens Celloidinschnitte auf die oben angeführte Weise sehr genau ansieht, wird auch feinste Kugelchen auf derselben hier und da finden, das dürften abgerissene Celloidinteilchen sein, die zwischen Messer und Präparat zu Kugelchen gerollt worden sind.

Untersucht man den grauschwarzen Schlamm, der sich auf dem Abziehstein bildet, bei durchfallendem Licht, so findet man helle Gesteinssplitterchen und dunkle, oft wurmförmige Stahlteilchen, diese letztere Gestalt der Metallteilchen kommt ebenfalls durch Rollen derselben zwischen Messer und Stein zustande.

Sehr schöne Bilder der Schneide giebt der Vertikalilluminator. Indessen muß man hierbei einen kleinen Kunstgriff anwenden: Das Licht der Lampe muß durch eine stark abgeblendet Sammellinse in das Loch des Vertikalilluminators geworfen werden. (Auch für die Vertikalillumination gelten die Abbé'schen Gesetze natürlich, und man muß besonders hier bei der Anordnung des Experimentes ein wenig selbst Konstrukteur sein.) Hat man aber alles richtig aufgestellt und beleuchtet, dann kann man jede, auch die feinste Messerschneide in Perlen auflösen. Natürlich muß man bedenken, daß diese Bilder Beugungsbilder sind und nur Andeutungen, die aber mit Sicherheit das eine besagen: daß die Schneide keines Messers eine kontinuierliche Linie darstellt. Aus der Natur der Schneide, ihrer Herstellung und besonders mit Hülfe der oben wiedergegebenen Bilder ist aber das Bild des Vertikalilluminators mit Sicherheit so zu deuten, daß jede Messerschneide eine feine Zähnelung hat. Jetzt können wir auch den Unterschied zwischen dem Durchdrücken und Durchziehen verstehen, das erstere ist eine reine Keil(Spreng)wirkung, das zweite eine Zähnchenwirkung.

Man hat diese Zähnchenwirkung Sägewirkung genannt, und sich gewundert, warum denn da keine Sägespäne abfielen! Daran ist die Gestalt der Zähnchen (wie oben gesagt) schuld; sie krazen gewissermaßen wie Nadeln jedesmal die Stelle des Objekts durch, die sie gerade mit den Spitzchen berühren. Gedermann weiß, daß man mit der Nadel in nur einigermaßen elastischem Gewebe einen Kräzer ohne „Sägespäne“ machen kann.

Beide, Spreng- und Zähnchenwirkung, haben wir bei verschiedenen Präparaten: erstere bei den Paraffin-, letztere bei den Celloidin- und anderen elastischen Präparaten.

Außerordentlich wichtig für das Gelingen der Schnitte ist die Stellung und Neigung des Messers. Erstere bedeutet die Stellung zur Schnittrichtung, letztere die relative Stellung von Rücken und Schneide (letztere kann höher oder tiefer stehen als

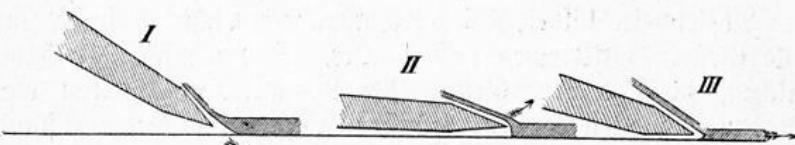


Fig. 65.

der Rücken), je nachdem man das Messer um eine in seiner Längsrichtung liegende Achse dreht. Beistehende Fig. 65 möge das etwas näher erläutern. Bei III steht der Schneidenkeil (mit seiner unteren Ebene) parallel der Schnittebene; beim Fortgang durch das Präparat wird er seinen Weg ruhig weiter machen, ohne von der Horizontalen nach oben oder unten abzuweichen. In II steht die Schneide zu hoch, das Messer wird beim Fortschreiten aus dem Präparat herausgetrieben; in I steht sie zu tief, sie wird sich immer tiefer in das Präparat hineinarbeiten. Aus diesen drei Figuren geht hervor, daß die richtige Neigung des Messers eine unerlässliche Voraussetzung für gute Schnitte ist.

In der That sind die besten Messerhalter (Fig. 66) mit einer solchen Vorrichtung versehen, die die Neigung beliebig zu verändern und sie in Graden abzulesen ermöglicht. Beistehende Figur zeigt einen solchen Messerhalter aus den Werkstätten der Firma Jung in Heidelberg. Er ist ein ganz vorzügliches Instrument.

Genau definiert sollte Neigung bedeuten Richtung der

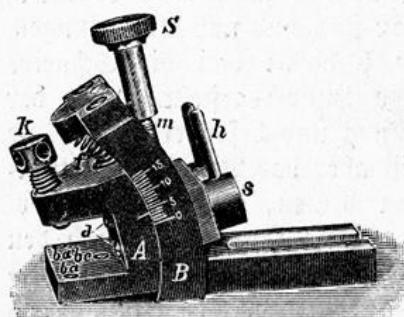


Fig. 66.

solchen Vorrichtung versehen, die die Neigung beliebig zu verändern und sie in Graden abzulesen ermöglicht. Beistehende Figur zeigt einen solchen Messerhalter aus den Werkstätten der Firma Jung in Heidelberg. Er ist ein ganz vorzügliches Instrument.

Genau definiert sollte Neigung bedeuten Richtung der

unteren (dem Präparat zugekehrten) Schneidenkeilebene zur Schnittebene.

Nun sind leider nicht einmal die Schneidenkeile von Ebenen gebildet, sondern von gekrümmten Flächen. Das kommt vom Abziehen auf dem Streichriemen. Je elastischer er ist, desto runder werden die Schneidenkeilschänen, so daß derselbe in Wirklichkeit fast immer ähnlich aussieht, es muß infolge dessen die Schneide noch etwas tiefer stehen als in Fig. III. Natürlich erleidet ein solcher Keil im Präparat einen doppelten Druck beim Fortschreiten, der Schnitt wird ihn ein klein wenig nach unten, der Präparatenblock mit Macht nach oben drücken. Es würde zu weit führen, diese Thatsachen mathematisch zu erörtern; im allgemeinen muß man die günstigste Neigung empirisch finden. Dieselbe ist für Präparate von verschiedener Elastizität verschieden. Man kann annähernd plane Schneidenkeilschänen erzielen, wenn man das Messer nur auf ganz planen, sehr feinkörnigen Steinen abzieht, und gar keinen Streichriemen benutzt; das ist aber sehr mühsam, und lohnt sich nur für feinste Arbeiten, erfordert auch einen ganz vorzüglichen Stein und eine große Geschicklichkeit.

Wir sind aus zwei Gründen etwas länger beim Messer verweilt, erstens, weil das Verständnis dieses Instruments unerlässlich ist für den Mikroskopiker, und zweitens weil nur die mikroskopische Untersuchung des Messers ein Verständnis seiner Wirkung eröffnet. Wir raten jedem, seine Messer erst bei schwacher und dann auch bei stärkster Vergrößerung zu untersuchen, nur so wird er ein volles Verständnis dieses wichtigen Instruments gewinnen. Es steht zu hoffen, daß die durchaus vagen Begriffe gutes oder schlechtes Messer ersetzt werden durch den Ausdruck der mikroskopischen Schneidenuntersuchung. Wahrscheinlich würde dieselbe in einer großen Anzahl zweifelhafter Fälle von großem Nutzen sein und Aufklärung geben, warum so manches Messer „nicht schneidet“.

In weitaus der größten Mehrzahl der von uns untersuchten Fälle lag es nicht am Messer!

Oft findet man die Angabe, man könne prüfen, ob ein Messer scharf ist, wenn man ein frei gehaltenes Haar mit ihm zu durchschneiden versucht. Hält man das Haar kurz und ist es steif, so thut das jedes gewöhnliche Rasiermesser. Ein gutes

Messer soll ein feines langes Haar (Frauenhaar), welches nur mit seinem Gewicht auf der Schneide liegt, glatt durchschneiden, wenn man dasselbe so über die Schneide führt, daß es mit derselben einen möglichst spitzen Winkel bildet. Man muß das Haar langsam über die Schneide führen, nicht reißen. Das Haar sollte etwa 10 cm lang sein und in seiner Mitte auf der Schneide liegen.

Da die Schnitte leicht am Messer haften und, besonders beim Durchziehen (schräge Messerstellung) leicht zerreißen, benetzt man das Messer mit einer geeigneten Flüssigkeit, auf der dann die Schnitte gewissermaßen schwimmen. Ja für ganz große Schnitte setzt man entweder das ganze Mikrotom unter Wasser oder bringt eine Wanne an, die es ermöglicht, in Flüssigkeit zu schneiden. Natürlich giebt es eine große Anzahl verschiedener Systeme. Die vorstehende Abbildung stellt ein solches aus der bekannten Werkstatt von Jung in Heidelberg dar. Zum Schneiden mit dem Mikrotom eignen sich nun fast gar keine tierischen Gewebe ohne Vorbehandlung; sie sind fast ausschlagslos zu weich, nur sehr wenige zu hart; letztere haben meist Kalksalze oder sonstige mineralische Bestandteile, die ihnen vor dem Schneiden entzogen werden müssen, die weichen müssen (meist durch Wasserentziehung oder Koagulation, wohl auch chemische Prozesse) gehärtet werden; aber auch das genügt selten. Meist muß das Präparat noch mit einer Masse durchtränkt werden, die fest wird und mit dem Präparat ein homogenes Ganzes bildet von der zum Schnitt geeigneten Konsistenz. Es giebt eine ziemliche Anzahl solcher Durchtränkungs(Einbettungs)-Massen, deren bekannteste Paraffin und Celloidin sind. Die verschiedenen Härtungs- und Einbettungsmethoden sind sehr zahlreich und teilweise recht kompliziert. Hat man nun glücklich einen Schnitt fertig gebracht, so fängt für den Präparator eine neue Aufgabe an. Die meisten Gewebe sind optisch nicht genügend differenziert, und die Unterschiede der einzelnen Details müssen künstlich besser sichtbar gemacht werden. Man benutzt hierzu die Eigenschaft der verschiedenen Gewebebestandteile, sich mit Farben verschieden stark zu färben; das geht so weit, daß aus einem Farbgemisch die verschiedenen Gewebelemente nur ganz bestimmte Farben annehmen. Ein geradezu klassisches Farbgemisch, das erste, das auf Grund exakt chemischer Betrachtungen kombiniert wurde, ist das Ehrlichsche

Triacidgemisch. Es ist in der mikroskopischen Färberei viel herumprobiert worden, ohne daß die Chemie immer genügende Berücksichtigung gefunden hätte. Allerdings ist die Farbchemie ein so schwieriges und ausgedehntes Gebiet, daß man dem Mikroskopiker kaum zumuten kann, es zu beherrschen, aber die Grundzüge dieses Gebietes sollte doch jeder, der färbt, wenigstens einigermaßen kennen.

Die meisten und besten modernen Färbungsmethoden verdanken wir Weigert und Ehrlich, die ihre Arbeiten auf exaktem chemischen Wissen als Grundlage aufgebaut haben.

Hat man den Schnitt nun gefärbt, so hellt man ihn gewöhnlich noch auf, d. h. man durchtränkt ihn mit einer Flüssigkeit, die die ungesärbten Details verschwinden macht, und hat dann endlich das fertige Präparat.

Gewiß hat sich mancher Leser gewundert, daß man mit einem so zarten Ding, wie etwa ein tierisches Gewebe, so viele und eingreifende Manipulationen vornehmen muß, ehe man ein brauchbares Präparat bekommt. In der That könnte man einen solchen gefärbten aufgehellten Schnitt füglich eine „teilweise sichtbare Ruine“ nennen, und das sollte jeder bedenken, der ins Mikroskop sieht! Aber auch aus Ruinen kann man Schlüsse ziehen, das hat die Mikroskopie glänzend bewiesen. Nicht allein das bisschen Mikroskopieren macht den mikroskopischen Forscher — er muß Naturwissenschaftler sein in des Wortes höchster Bedeutung, wenn er ernsthaft zu arbeiten gedenkt, und nicht nur das bisschen, was man so gewöhnlich lernt, genügt — wer nicht durchaus naturwissenschaftlich denken kann, wem nicht die Grundzüge naturwissenschaftlichen Denkens Selbstverständlichkeit des täglichen Lebens geworden sind, dem werden die Tiefen naturwissenschaftlichen Verständnisses — eines der höchsten und edelsten Glücksgefühle, dessen wir Menschen fähig sind, verschlossen bleiben.

Natürlich muß man auch chemische Reaktionen unter dem Mikroskop anstellen. Es möge genügen, dies hier kurz zu erwähnen — einen grundätzlichen Unterschied zwischen Mikrochemie und der gewöhnlichen giebt es natürlich nicht.

Ebenso giebt es auch eine Mikromechanik und eine Mikrophysik. Um von diesen einen kleinen Begriff zu geben, möchten wir hier folgendes frei nach einer geistreichen Plauderei des großen Crookes wiederholen: Nehmen wir einmal an, ein

Mensch würde plötzlich mikroskopisch klein, so daß seine Länge einige Mikronen beträgt; dies Menschlein hat aber noch all die Ansichten, Kenntnisse und Erfahrungen, die etwa ein moderner Naturforscher hat. Der mikroskopisch kleine Mensch geht auf einem thaubedeckten Blatt im Morgensonnenchein spazieren. Plötzlich kommt er an eine riesige silberglänzende Kugel, die er als wissbegieriger Mann des näheren untersucht. Er betastet sie, sie giebt seinem Drucke nach, ohne daß seine Hände im mindesten naß werden, er stößt mit seinen Fäusten gegen sie, rennt gegen sie, sie stößt ihn zurück wie ein elastischer Gummiball. Endlich tritt er mit aller Kraft, die er hat gegen sie, die Kugel platzt und eine furchterliche Sturzflut ergießt sich über ihn — reißt ihn zu Boden, daß ihm die Sinne schwinden. Er erwacht und fühlt sich von einer zähen hellen durchsichtigen Schicht am Boden festgehalten, keine Anstrengung vermag ihn frei zu machen, bis er sich endlich ermattet in sein Schicksal ergiebt. Da kommt ihm die Sonne zu Hilfe, das Wasserhäutchen, das das arme Menschlein festhielt, verdunstet und er ist wieder frei. — Da kommt ein Schmetterling vorbeigeslogen — ein furchtbarer Sturmwind wirbelt das Menschlein davon. — Endlich erwacht der Naturforscher vom albschweren Traum und finnt nach, bis er lächelnd sagt: Mikrophysik.

Sie ist es, die die Mechanik dieser kleinsten Vorgänge beherrscht, statt der Erdschwere ganz andere Kräfte setzt, kurz alle Physik scheinbar auf den Kopf stellt — sie ist nichts anderes als eine besondere Erscheinung eines allgemeingültigen Gesetzes, aber es gehört ein tiefes Verständnis dazu, um sie immer zu berücksichtigen.

Wer weitere Belehrung sucht über das Mikroskop, seine Hilfsapparate und die Technik der Methoden, dem möchten wir folgende Bücher empfehlen:

Die Geschichte des Mikroskops ist in höchst anziehender Weise dargestellt von Herrn Regierungsrat R. J. Petri in „Das Mikroskop, von seinen Anfängen bis zur jetzigen Vollkommenheit, für alle Freunde dieses Instrumentes“.

Weiter soll auf das Werk Hartings „Geschichte und gegenwärtiger Zustand des Mikroskops“ verwiesen werden. Seine grundlegenden historischen Studien haben den neueren Abhandlungen auf diesem Gebiet den Weg gebahnt.

Wer sich ernsthaft mit praktischen mikroskopischen Studien

beschäftigen will, sollte das „Handbuch der allgemeinen Mikroskopie“ von Herrn Professor Dr. Leopold Dippel in Darmstadt gründlich studieren. Der Umstand, daß die theoretischen Abschnitte mit Unterstützung des Herrn Professor Abbé verfaßt wurden, macht das Buch zu einem grundlegenden Werke, dessen Inhalt jedem ernsthaften Mikroskopiker selbstverständliches geistiges Besitztum sein sollte.

Ein weiteres sehr empfehlenswertes Werk ist „The Mikroskope“ by Dr. Henri van Heurck. Dies Werk enthält außerordentlich reichhaltiges und umfassendes Material über das Mikroskop, und was seinen Wert sehr erhöht, die Reproduktionen der besten Mikrophotogramme. Leider ist es noch nicht in deutscher Übersetzung erhältlich.

Beim Studium der theoretischen Optik geht es ohne etwas mathematisches Denken nicht ab, und manchen mag das abschrecken, zu seinem eigenen Schaden; auch mathematische Begriffe können gute Freunde werden, wenn man sich nur die rechte Mühe giebt, vertraut mit ihnen zu werden. Es mutet einen ganz sonderbar an, wenn man die unendliche Armut unserer Gebildeten an mathematischen Begriffen der einfachsten, grundlegendsten Art beobachtet. Menschen, die sonst über einen großen Begriffs- und Wortschatz verfügen, kennen nicht einmal die einfachsten Bezeichnungen dieses Gebietes, man lasse sich nur einmal die Begriffe Rechteck, Viereck, Quadrat von einer Anzahl sonst wohl unterrichteter Menschen definieren, man zeige einen rotierenden Körper und frage nach der Lage der Rotationsachse, oder man frage gar, ob und wie sich die Umkehrung des Bildes im Spiegel von derjenigen durch ein photographisches Objektiv unterscheide — man wird staunen über das, was man von „gebildeten denkenden“ Menschen über diese alltäglichen Dinge zu hören bekommt.

## Verzeichnis der Figuren.

Die mit \* bezeichneten Abbildungen sind Originalreproduktionen aus den Werken der betreffenden Autoren.

	Seite
Figur 1. Brechung eines Strahles beim Übergang aus Luft in Wasser . . . . .	1
= 2. Spiegelung an ebenen Flächen . . . . .	5
= 3. Ablenkung durch das Prisma . . . . .	6
= 4. 5. 6. Optische Täuschungen durch Prismen . . . . .	7. 8. 9
= 7. Die verschiedenen Linsenformen . . . . .	10
= 8. Auffassung der Linse als zusammengesetzt aus einzelnen Prismen von verschiedenem Kantenwinkel . . . . .	11
= 9. Abbildung eines Punktes auf der optischen Achse durch eine Konvexlinie . . . . .	11
= 10. Abbildung außeraxialer Punkte der Objektebene . . . . .	13
= 11. Vergrößert- und Verkleinertsehen durch Linsen . . . . .	16
= *12. Mikroskop nach Descartes . . . . .	20
= *13. Anwendungsweise eines solchen nach Zahn . . . . .	21
= 14. 15. Mikroskop von Leeuwenhoek, 14 nach Harting und 15 nach van Heurck . . . . .	21. 22
= *16. Die ersten Bakterienabbildungen nach Leeuwenhoek . . . . .	22
= *17. Entwicklungsgeschichte des Flores nach Leeuwenhoek . . . . .	23
= *18. Mikroskop Muschelbroeks . . . . .	24
= *19. Zirkelmikroskop nach Ledermüller . . . . .	25
= *20. Verbessertes englisches Handmikroskop von Cuff nach Ledermüller . . . . .	26
= *21. Dasselbe Mikroskop auf einem Stativ mit Beleuchtungsspiegel nach Ledermüller . . . . .	25
*22. Handmikroskope nach Bonanni (Vorläufer von Fig. 20 und 21) . . . . .	27
*23. Maschine zum Schleifen optischer Gläser . . . . .	28
*24. Wassertropfen-Linsen-Mikroskop nach Gray . . . . .	29
*25. Mikroskop von Ellis (angefertigt von Cuff) . . . . .	30
*26. Modernes Präparier- (oder Lupen-)Mikroskop . . . . .	31
*27. Zerlegung des Lichtes in seine Komponenten (Spektrum) durch das Prisma . . . . .	32

	Seite
Figur 28. Die sphärische Aberration (Fehler aus der Kugelform) der Linsen . . . . .	32
= 29. Erste Versuche der Verminderung der Linsenfehler . . . . .	33
= 30. Strahlengang im zusammengesetzten Mikroskop mit einfaches Okular . . . . .	35
= *31. Zusammengesetztes Mikroskop von Hooke . . . . .	36
= *32. Mikroskopische Abbildungen der Messerschneide, Nadelspitze und eines Punktes nach Hooke . . . . .	37
= *33. Eisflocken nach Hooke . . . . .	38
= *34. Fliegenkopf nach Hooke . . . . .	38
= *35. Zusammengesetztes Mikroskop des Bonanni, speziell zum Zeichnen konstruiert . . . . .	40
= *36. Schmetterlingschuppen mit Streifungen nach Bonanni . . . . .	41
= 37. Vergleich des Strahlenganges im zusammengesetzten Mikroskop mit einfachen Okular, mit dem Gang der Strahlen beim zusammengesetzten Mikroskop mit Kollektivglas (Mittelglas) zwischen Objektiv und Okular . . . . .	42
= *38. Mikroskop des deutschen Professors Hertel . . . . .	43
= 39. Die Achromatisierung eines Prismas . . . . .	44
= 40. Vergleich zwischen einer Öllimmersion und einem Trocken-System . . . . .	46
= 41. Modernes Arbeitsstativ . . . . .	51
= 42. Die Mikrometerschraube desselben . . . . .	52
= 43. Der Vertikal-Illuminator. (Opak-Illuminator) . . . . .	56
= 44 u. 44a. Der Abbé'sche Beleuchtungsapparat . . . . .	60. 61
= 45. Prisma für schiefste Beleuchtung . . . . .	63
= 46. Der bewegliche Objektträger. (Bewegung des Objekts in den zwei Dimensionen der Tischemebene) . . . . .	67
= 47. Der Kapillarrotator. (Rollen des Objekts um eine horizontale Achse) . . . . .	68
= 48. Abbé'scher Zeichenapparat . . . . .	71
= 49. Leitz'sches Zeichenprisma . . . . .	73
= *50. Ledermüllers Vorrichtung zur Projektion mikroskopischer Bilder . . . . .	74
= *51. Desjelben Camera obscura zum Zeichnen mikroskopischer Objekte . . . . .	75
= 52. Strahlengang bei der mikroskopischen Projektion . . . . .	76
= 53. 54. Aufrechte und kleine aufsetzbare mikrophotographische Kamera . . . . .	77
= 55. (Tafel.) Mikrophotographisches Stativ von Zeiß . . . . .	83
= 56. 57. 58. Mikrophotogramme zur Demonstration der Möglichkeit der Photographie bei Vergleichen, Messungen &c . . . . .	87. 91. 92
= 59. Heizbarer Objektträger . . . . .	95

	Seite
Figur 60. Mikrotom . . . . .	97
"- 61. Das Messer auf dem Abziehstein . . . . .	99
"- 62 a. Messer ohne Schneidenfeil . . . . .	100
"- 62 b. Messer mit Schneidenfeil . . . . .	100
"- 63. Mikrotommesserschneide bei 1000 facher Vergrößerung. . . . .	101
"- 64. Schnittspuren dieses Messers in Cellovidin . . . . .	102
"- 65. Messerneigung beim Schneiden . . . . .	104
"- 66. Messerhalter zur Herstellung der richtigen Neigung von Jung . . . . .	104

## Registrier.

- | <b>A.</b>   | <b>D.</b>   |
|---|---|
| Abbé, Prof. Dr., Jena 48. 59.<br>— Beleuchtungsapparat 50.<br>— Zeichenapparat 70. 71.<br>Abbildung durch Konvex-Linsen<br>11. 12. 13.<br>Absorption des Lichtes im Objekt 62.<br>Achromasie 34. 41. 44.<br>Aepinus 45.<br>Alhazen 19.<br>Amici 45. 48.<br>Apertur, numerische 47.<br>— des Beleuchtungsfeldes 61. 62.<br>Aristophanes, Brenngläser 19.                               | Descartes 20.<br>Dippel, Prof. Dr. Leopold, in<br>Darmstadt, Handbuch der all-<br>gemeinen Mikroskopie 109.<br>Dispersions 31.  |
| <b>E.</b>   | <b>G.</b>   |
| Ehrlich 107.<br>Einbettung 94.<br>Einfalls-Lot 1.<br>Einfalls-Ebene 1.<br>Einfalls-Winkel 2.<br>Euler 33.<br>Expositionszeit, Ermittelung der-<br>selben nach Dr. Rod. Beiß 81.   | Farbensäume 31.<br>Fär bemethoden 107.<br>Floß, Leeuwenhoeks Abbildungen<br>23.   |
| <b>F.</b>   | <b>H.</b>   |
| Bakterienabbildungen, Leeuwen-<br>hoeks 22.<br>Beeldsnyder 45.<br>Beleuchtung des Objekts 54—66.<br>Beugung des Lichts 58. 59.<br>— im Objekt 62.<br>Bild-Punkt 13.<br>— Ebene 13.<br>Bonanni 20. 39.<br>— Handmikroskop 27.<br>— horizontales Mikroskop 40.<br>— Schmetterlingschuppen 41.<br>Brechungsgesetz 3.<br>Brechungsindex 4. 5.<br>Brewster 33.<br>Brillen 20.<br>Brunk 28. | Giovanni Maria de la Torre 29.<br>Glaskügelchen, geschmolzene 28.<br>Graß 29.<br>Grenzschicht 1.  |
| <b>C.</b>   | <b>J.</b>   |
| Chester More Hall 34. 44.<br>Chevalier, Brüder 45.<br>Cuffs Handmikroskop 26.<br>— Mikroskop nach Ellis 30.<br>— Sonnenmikroskop 74.  | Harting: Geschichte des Mikro-<br>skopes 108.<br>Hartsoeker 28.<br>Herschel 33.<br>Hertel 43.<br>Heurck, Dr. Henri van, The Mi-<br>kroskope 108.<br>Hufnagel, Georg 20. |
- Aus Natur u. Geisteswelt 35: Scheffer, Mikroskope. 8

**J.**

Immersion 46. 58.  
Janssen, Gebrüder 35.

**K.**

Kapillarrotator 68.  
Kollektiv-(Mittel)Glas 39.  
Korrektionsfassung 48.

**L.**

Layard 19.  
Ledermüllers Camera obscura 75.  
Leiß, C. 6.  
Leeuwenhoek, Anton van 21.  
— dessen Mikroskope 21. 22.  
Leiß, C., Weßlar 51. 52. 53.  
Lichtquellen 79.  
Lieberlühnscher Spiegel 55.  
Linsenformen 10.  
Linsengefäß 14.

**M.**

Marshall 41.  
Messung, mikroskopische 87. 90.  
Micrometerschraube 29. 52.  
Mikrophotographische Kamera 77.  
Mikrotom 97.  
— Messer-Schneide 98. 105.  
— Messerhalter von Jung 104.

**N.**

Neros Smaragd 19.  
Newton 42.  
Niniveh, Linse aus 19.

**O.**

Objekt-Ebene 13.  
Objekt-Punkt 13.  
Objektivisch, beweglicher 67.  
— heizbarer 95.  
„Oculus artificialis“ des Joh. Bahn  
39.  
Optische Achse 11. 13.

**P.**

Petri, Reg.-Nat Dr.: Das Mikro-  
skop ic. 108.

Plattenkorn-Bergleichsphoto-  
gramme 91.

Plinius, Kauterisieren mit Brenn-  
gläsern 19.

Präparation mikroskopischer Ob-  
jekte 93. 94.

Präpariermikroskop 31.

Prisma 6. 7. 8. 9.

**R.**

Reflexion des Lichtes 5.

Roger Bacon 20.

Röß 48.

**S.**

Schiefe Beleuchtung 63.

Schleifmaschine 28.

Schott, Dr., Jena 49.

Sehen, vergrößert, verkleinert 10.

Seneca, Vergrößerungsgläser 19.

Smith, Professor 55.

Spektrum 32.

Sphärische Aberration 32.

Stativ für Arbeit von Leiß 51.

— für Mikrophotographie von  
van Heurck 82.

— von Leiß 83. 84.

Strahlenbrechung 1.

Strahlengang bei der Projektion 76.

Swammerdam 25.

**V.**

Van Deyl 45.

Vertikal-Illuminator 55. 56.

Vitrum pulicarium 20. 21.

**W.**

Weigert 107.

Wenham 48.

Wilson 26.

Wollaston 33.

**Z.**

Zeichenprisma von C. Leiß-Weßlar  
73.

Zeiss, Carl, Jena 48. 55. 56. 59.  
68. 83.

Zirkelmikroskop 25.

Zusammengesetztes Mikroskop,  
Strahlengang desselben 35.

**Die deutschen Volksstämme und Landschaften.** Von Prof. Dr. O. Weise.  
Mit 26 Abbildungen. Geh. M. 1.—, geschmacv. geb. M. 1. 25.

Das vorliegende Buch schildert die charakteristischen Eigentümlichkeiten der Landschaft, ihre Beziehungen zu den Nachbarlandschaften, den Einfluß der Gegend auf das Temperament und die geistige Anlage der Menschen, die Leistungen hervorragender Männer auf dem Gebiete der Kunst und Wissenschaft, des Gewerbes und der Industrie; Sitten und Gebräuche, Sagen und Märchen, Besonderheiten in der Sprache und Hauseinrichtung, in der politischen Haltung und dichterischen Beanlagung u. a. m. Eine gute Auswahl von Städtebildern, Landschaften und Bauten wie vollständlichen Kunstwerken schmückt das Buch, das jedem Freunde deutschen Wesens und deutscher Eigenart in Nord und Süd, in Ost und West hochwillkommen sein wird.

**Deutsche Baukunst im Mittelalter.** Von Prof. Dr. A. Matthaei.  
Mit zahlr. Abb. i. T. Geh. M. 1.—, geschmacv. geb. M. 1. 25.

Der Verfasser gibt eine Darstellung der Entwicklung der deutschen Baukunst bis zum Ausgang des Mittelalters und klärt über ihr Wesen als Kunst auf, zeigt, wie sich im Verlauf der Entwicklung die Raumvorstellung klärt und vertieft, wie das technische Können wächst und die praktischen Aufgaben sich erweitern, wie in dem behandelten Zeitraum das germanische Volk aus der Erbschaft der Antike, die in der Basilika vorliegt, etwas Neues entwickelt, die romanische Kunst, die in den Kaiserdomen am Rhein ihren Höhepunkt erreicht, und wie in den Zeiten der Kreuzzüge neue Anregungen kommen, die zur Gotik führen.

**Die Metalle.** Von Prof. Dr. R. Scheid. Mit 16 Abbildungen.  
Geh. M. 1.—, geschmacvoll geb. M. 1. 25.

Das Bändchen will, ohne daß irgend welche Kenntnisse der Chemie und Geisteinkunde vorausgesetzt werden, eine Erklärung geben, wie die Metalle in der Erde sich als Erze abgelagert haben mögen und wie die Erze sich in das reine Metall umwandeln lassen; wie die Metalle auf den Hüttenwerken dargestellt werden, ist unter Beigabe von Abbildungen erklärt. In den letzten Abschnitten werden sodann die Metalle hinsichtlich ihrer Eigenarten verglichen und das Allgemeine über Darstellung und Verarbeitung zusammenfassend erklärt.

**Das deutsche Volkslied.** Über Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges. Von Privatdozent Dr. J. W. Bruinier. Geh. M. 1.—, geschmacvoll geb. M. 1. 25.

Der Verfasser faßt den Begriff des Volksliedes in dem weiteren Sinne, den ihm die heutige Wissenschaft zulassen läßt, und führt daher den Leser durch die Jahrhunderte, zeigend, wie und was unser Volk seit Tacitus Zeiten gesungen, wie die Kunstdichtung immer fruchtend ins Volk drang und dort dem Geschmack angepaßt wurde.

**Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit.** Von Prof. Dr. O. Weise. Reich illustr. Geh. M. 1.—, geschmacv. geb. M. 1. 25.

Der Verfasser verfolgt durch mehr als vier Jahrtausende die einschlägigen Erscheinungen; wir hören von den Bibliotheken der Babylonier, von den Zeitungen im alten Rom, vor allem aber von der großartigen Entwicklung, die „Schrift- und Buchwesen“ in der neuesten Zeit, insbesondere seit Erfindung der Buchdruckerkunst, genommen haben.

## Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von Prof. Dr. H. Buchner.

Mit zahlr. Abb. i. T. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1. 25.

In klarer und überaus fesselnder Darstellung unterrichtet der Verfasser über die äußeren Lebensbedingungen des Menschen, über das Verhältnis von Lust, Licht- und Wärme zum menschlichen Körper, über Kleidung und Wohnung, Bodenverhältnisse und Wasserversorgung, die Krankheiten erzeugenden Pilze und Infektionskrankheiten, kurz über alle wichtigen Fragen der Hygiene.

**Aufgaben und Ziele des Menschenlebens.** Von Dr. J. Unold in München. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

Jeder denkende Mensch wird und muß sich heute die Frage vorlegen: Wie ordnen wir unser Dasein, das persönliche und das öffentliche? giebt es für die mündige Persönlichkeit überhaupt keinen Zweck und kein Ziel des Einzel- und Gesamtlebens? giebt es keine bindenden Regeln des menschlichen Handelns? Diese Frage, in der er zugleich die Lebensfrage der modernen Kulturvölker und somit auch unseres deutschen Volkes sieht, beantwortet der Verfasser dieses Bändchens in zuversichtlich bejahender, zugleich wohlgegrundeter Weise.

**Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit.** Von Prof. Dr. R. Zander. Mit 19 Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

Der Verfasser hat in seinen Vorträgen in streng wissenschaftlicher Weise, aber in allgemein verständlicher Form das Wesen der Leibesübungen dargestellt, den Bau und die Thätigkeit aller Organe, auf die die Leibesübungen einwirken, in Wort und Bild geschildert und den günstigen oder schädlichen Einfluß der Leibesübungen auf sie und auf den ganzen Körper eingehend behandelt. Eine genaue Besprechung erfahren die Wechselbeziehungen zwischen körperlicher und geistiger Arbeit, die Leibesübungen der Frauen, die Bedeutung des Sports und die Gefahren der sportlichen Übertreibungen.

**Unsere wichtigsten Kulturpflanzen.** Von Privatdozent Dr. Giesen-hagen in München. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

Die frische Darstellung beschränkt sich nicht etwa auf die Schilderung der Getreidepflanzen, sondern die Darstellung des Körperbaues und der Entwicklung und Errichtung der Organe der Getreidegräser vermittelt zugleich dem Leser in anschaulicher Form allgemeine botanische Kenntnisse. Hierzu fügt der Verfasser einen äußerst interessanten geschichtlichen Überblick über den Getreidebau und gewährt einen Ausblick auf die kulturgechichtliche Entwicklung des Menschengeschlechtes überhaupt und besonders unserer germanischen Vorfahren. Den Schluß bildet eine Darstellung der Krankheiten der Getreidegräser.

**Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität.** Von Prof. Dr. Richardz. Mit 94 Abbildungen im Text. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

In vortrefflicher Weise ist es dem Verfasser gelungen, die grundlegenden Gesetze der Elektrizität zu erörtern, leicht verständlich, aber zugleich auch für jeden Fachmann interessant die Themata zu behandeln: Über elektrische Schwingungen und Hertz'sche Wellen auf Drahten; die Hertz'schen Wellen in der Luft, Strahlen elektrischer Kraft und die Telegraphie ohne Draht; Faradays Kraftlinien und die neueren Vorstellungen vom Wesen der elektrischen Kräfte; die Tesla-Ströme; die Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen. Vorausgeschickt ist eine Darstellung der absoluten elektrischen und magnetischen Maßeinheiten (Ampere, Volt und Ohm).

**Das Eisenhüttenwesen** erläutert in acht Vorträgen von Prof. Dr. H. Wedding. Mit 12 Figuren im Text. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

In dem mit zahlreichen Abbildungen versehenen Bändchen wird uns zunächst die Erzeugung des schmiedbaren Eisens bei Holzkohlenfeuerung geschildert und dann gezeigt, welche gewaltigen Änderungen mit der Erfindung des Hochofenprozesses eintraten. Der Verfasser belehrt uns über die chemischen physikalischen und geologischen Grundlagen derselben, über die Eisenerze und Brennstoffe, über die verschiedenen Eisenarten und ihre Benennungen, um dann die Erzeugung der verschiedenen Eisenarten und die dabei in Betracht kommenden Prozesse zu schildern, insbesondere auch die in unserer Zeit besonders wichtigen Formgebungsarbeiten und die Härtung. Der letzte Abschnitt ist dem schlimmsten Feind des Eisens, dem Roste, gewidmet.

**Ernährung und Volksnahrungsmittel.** Sechs Vorträge gehalten von Prof. Dr. Johannes Frenzel. Mit 6 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

In knapper Form gibt der Verfasser zunächst ein Bild der gesamten Ernährungslehre. Es werden die Begriffe „Körperstoffe“, „Nährstoffe“, „Nahrungsmittel“, „Nahrung“ klargelegt und ausführlicher besprochen. Hieran schließt sich die Betrachtung der Zubereitung unserer Nahrung. Des weiteren wird der gesamte Verdauungsapparat besprochen, wobei die hierbei notwendigen Untersuchungsmethoden erläutert werden. Hierauf folgt die Besprechung der einzelnen Nahrungsmittel, wobei insbesondere auch die Herstellungsmethoden der Konserven behandelt werden. Erläuternde Abbildungen und Tabellen erhöhen den Wert des Bändchens.

**Der Kampf zwischen Mensch und Tier.** Von Prof. Dr. Karl Eichstein. Mit 31 Abbild. i. T. Geh. M. 1.—, geschmackv. geb. M. 1. 25.

Die Vielseitigkeit und Größe des Kampfes zwischen Mensch und Tier, die Erbitterung und Energie, mit der er geführt wird, stellt der Verfasser an zahlreichen Beispielen lebhaft vor Augen. Nachdem wir zunächst in der Einleitung erfahren, wie Mensch und Tier in grauer Vorzeit mit einander bekannt geworden sein dürften, wie sie einander schäzen und fürchten lernten, führen uns die einzelnen Kapitel Episoden aus dem Kampfe vor. Besondere Schilderung erfahren die Kampfmittel, welche von beiden Gegnern angewendet werden, hier die durch Überlegung, Geschicklichkeit und Wissenschaft im Laufe der Zeit erlangten Schußwaffen, Fallen, Gifte und besondere Wirtschaftsmethoden, dort spitzige Krallen, scharfer Zahn, furchtbare Gifte, List und Gewandtheit, der Schutzfärbung und schützenden Ähnlichkeit, der Anpassungsfähigkeit nicht zu vergessen.

**Am fausenden Webstuhl der Zeit.** Übersicht der Wirkungen der Entwicklung der Naturwissenschaften u. der Technik. Von Baumhardt, Geh. Reg.-Rat, Prof. a. d. Techn. Hochschule zu Hannover. Mit vielen Abbild. Geh. M. 1.—, geschmackvoll geb. M. 1. 25.

In dem ersten Vortrage werden den sieben Weltwundern der Alten die ganz anders gearteten Wunder unserer Zeit gegenübergestellt, die in der großartigen Ausbildung des Verkehrsreichs und in der glänzenden Entwicklung der Naturwissenschaften bestehen. Im letzten der Vorträge werden die meistens zu entgegengesetzten Erscheinungen führenden Wirkungen der Verkehrsvervollkommenung dargestellt, die in vielseitiger Weise auf wirtschaftlichem, sozialem und politischem Gebiete und auf das gesamte Kulturleben sich geäußert haben.

Weitere Bändchen befinden sich in Vorbereitung.

