



G. STADE UND H. STAUDE
MIKROPHOTOGRAPHIE

Handwritten text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is faint and difficult to decipher but appears to contain several lines of script.

MIKROPHOTOGRAPHIE

Von

Dr. Gerhard Stade und Dr. Herbert Staude

Berlin

Berlin

Mit 164 Figuren im Text



1939

AKADEMISCHE VERLAGSGESELLSCHAFT M. B. H.

LEIPZIG



1938 III 3657

1.
Copyright 1939 by Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig
Printed in Germany / Druck von Paul Dünnhaupt, Köthen (Anhalt)

Vorwort.

Das Mikroskop hat sich im Laufe der letzten fünfzehn Jahre von einem nur im Forschungslabor benützten, empfindlichen Instrument zu einem Gerät entwickelt, das eine Verwendung unter rauen Bedingungen durchaus zuläßt. Parallel hiermit fand eine wesentliche Verlagerung des Kreises von Personen statt, die beruflich mit Mikroskopen umgehen müssen, was wohl am deutlichsten daraus zu erkennen ist, daß in vielen Betrieben, in denen früher ein zerkratzter Glasscherben als Lupe zur Beurteilung von Werkstoff und Werkstück diente, heute jeder Dreher oder Schleifer das Mikroskop als Prüfinstrument zur Überwachung seiner Arbeit benützt, ja, daß Mikroskope in fester Verbindung mit der Maschine genaueste Einstellung und Überwachung des Werkstückes ermöglichen; ferner sei daran erinnert, daß in jedem chemischen Betrieb, in jedem Krankenhaus serienweise Mikrophotographien ausgeführt werden, oder daß Materialuntersuchungen ohne Mikrophotographien kaum denkbar sind.

Mit dieser Umschichtung in den Kreisen derjenigen, die mikrophotographisch arbeiten, setzte auch eine Änderung der Arbeitsmethode als solcher ein. Früher mußte die Ausführung einer Mikrophotographie von Anfang bis Ende wohl durchdacht werden, da ja Mikroskop, Kamera und Lichtquelle getrennte Elemente waren, die zusammengesetzt große Variationsmöglichkeiten zuließen, heute dagegen ist dank der modernen Geräte das Mikrophotographieren weitgehend schematisiert. Damit ist eine mehr oder weniger exerziermäßige Handhabung der Geräte möglich, wie sie für die laufende Betriebskontrolle notwendig ist. Hierbei könnte der Benutzer, gestützt auf eingehende Gebrauchsanweisungen, wohl von normalen Objekten durchaus brauchbare Aufnahmen erzielen; die Praxis und vor allem die in vielen Veröffentlichungen gebrachten Aufnahmen lehren jedoch, daß viele Mikrophotographen längst nicht die Erfolge haben, die sie mit ihrem modernen hochwer-

tigen Gerät erreichen müßten, ja, daß ihre Aufnahmen oft hinter denen zurückstehen, die von anderen mit bei weitem einfacheren Hilfsmitteln hergestellt wurden.

Wir wollen daher dem Praktiker durch unser Buch die erforderlichen Grundlagen der Mikroskopie und Mikrophotographie in kurzer Form vermitteln, und ihm alte und neue, mehr oder weniger bekannte und bisher noch nicht bekanntgewordene Verfahren näherbringen. Die Unterscheidung von Wesentlichem und weniger Wesentlichem ist hierbei natürlich durchaus subjektiv. Wir haben den Stoff auf Grund unserer in mehrjähriger Praxis erworbenen Erfahrungen kritisch gesichtet und glauben, damit dem Praktiker am besten zu dienen. Ebenso sind die Mikrophotographien, die die charakteristischen Merkmale der betreffenden Verfahren zeigen sollen, fast ausschließlich aus Anfragen der Praxis entstanden.

Daß der Photographie in unserem Buch, trotz des Titels, nur ein kleiner Teil gewidmet wurde, hat seinen Grund darin, daß die eigentliche photographische Arbeit bei der Herstellung von Mikrophotographien von ziemlich untergeordneter Bedeutung ist. Sind die Einstellung des Präparates und die Beleuchtung einwandfrei, so wird jeder Photograph imstande sein, die Aufnahme auszuführen. Da andererseits der Mikroskopiker nicht immer Fachmann auf dem Gebiet der Photographie ist, so dürften die Hinweise über das photographische Material, seine Leistungsgrenzen und seine Behandlung nicht ohne Interesse sein.

Den Firmen, die uns Klischees überließen und zum Teil auch Aufnahmen ermöglichten, sagen wir unseren Dank, ebenso dem Verlag für die Ausstattung des Buches und das verständnisvolle Entgegenkommen in jeder Beziehung.

Berlin, Oktober 1938.

G. STADE, H. STAUDE.

Inhaltsverzeichnis¹⁾.

	Seite
Erstes Kapitel. Die Gesetze der optischen Abbildung im Mikroskop	1
1. Die Abbildung durch ein einfaches Linsensystem	1
2. Geometrisch-optische Beziehungen zwischen Objekt und Bild	2
3. Schärfentiefe und physiologisches Auflösungsvermögen	5
4. Physikalisches Auflösungsvermögen	10
5. Abbildungsmaßstab, Schärfentiefe, Auflösungsvermögen	24
6. Geometrische Fehler	27
a) Der Farbfehler	27
b) Sphärische Abweichung und Sinusbedingung	30
c) Astigmatismus und Wölbung	31
d) Verzeichnung	32
7. Objektivformen	33
8. Immersionen	35
9. Das zusammengesetzte Mikroskop	37
10. Tubuslänge und Vergrößerung	39
11. Der Abbildungsmaßstab in der Mikrophotographie	40
12. Auflösungsvermögen und Schärfentiefe beim zusammengesetzten Mikroskop	41
13. Ausführungsformen der Okulare	41
 Zweites Kapitel. Die mikroskopischen Anordnungen	 44
1. Das Mikroskopstativ	44
2. Der Objektisch	44
3. Der Tubus	47
4. Der Objektivträger	47
5. Der Okularstutzen	49
6. Trieb und Mikrometerschraube	50
7. Die Lichtquellen	51
8. Die mikroskopischen Beleuchtungsanordnungen	58
9. Hellfeldbeleuchtung im durchfallenden Licht bei schwacher Vergrößerung	60
10. Hellfeld im durchfallenden Licht bei Mikroskopie mit Objektiv und Okular	64
11. Der Beleuchtungsapparat	65
12. Das Einjustieren eines Mikroskopes für die Photographie	67
13. Schiefe Beleuchtung bei schwachen Vergrößerungen	72
14. Schräglicht bei mikroskopischen Vergrößerungen	76
15. Dunkelfeldbeleuchtung bei großem Abbildungsmaßstab	77
16. Ultramikroskopie	81

¹⁾ Kap. 1-4 bearbeitete Dr. G. STADE; Kap. 5 bearbeitete Dr. H. STAUDE.

	Seite
17. Beleuchtung im auffallenden Licht	82
18. Hellfeldbeleuchtung bei kleinem Abbildungsmaßstab	82
19. Hellfeld bei großem Abbildungsmaßstab	83
20. Dunkelfeldbeleuchtung bei kleinem Abbildungsmaßstab	89
21. Dunkelfeldbeleuchtung bei Photographie mit Objektiv und Okular	93
22. Kombinierte Auf- und Durchlichtbeleuchtung	97
Drittes Kapitel. Spezielle mikrophotographische Anordnungen	99
1. Stereo-Mikrophotographie	99
2. Aufnahmen im polarisierten Licht	112
3. Mikrophotographie im ultravioletten Licht	125
4. Infrarot-Mikroskopie	129
5. Lumineszenz-Mikroskopie	131
6. Photographie von Profilen	134
7. Untersuchung und Beurteilung von Oberflächen	139
8. Aufnahme lebender Objekte	145
Viertes Kapitel. Mikrophotographische Geräte	149
Fünftes Kapitel. Die photographische Aufnahme	163
1. Das Aufnahmematerial	164
2. Filter	169
3. Bestimmung der Belichtung	170
4. Auflösungsvermögen	172
5. Die Behandlung der Schichten	174
6. Hypersensibilisieren	182
7. Fixieren und Wässern	183
8. Trocknen	184
Sechstes Kapitel. Literaturverzeichnis	185
Namen- und Sachverzeichnis	197

Druckfehlerberichtigung.

S. 63 Zeile 11 von unten statt S. 180: S. 169.

1. Kapitel.

Die Gesetze der optischen Abbildung im Mikroskop.

1. Die Abbildung durch ein einfaches Linsensystem.

Um das vergrößerte Bild eines Objektes zu erhalten, genügt es, zwischen Objekt und Bild ein sammelndes Linsensystem zu schalten, das je nach den Forderungen, die man an die Qualität des Bildes stellt, mehr oder weniger kompliziert gestaltet ist. Ein solches Linsensystem, das die Abbildung des Objektes bewirkt, heißt *Objektiv*. Den geringsten Ansprüchen genügt eine einfache Sammellinse.

An der Anordnung zur Abbildung des Objektes mit Objektiv und Projektionsschirm kann man sich leicht die im Mikroskop auftretenden Abbildungsverhältnisse klarmachen. Durch Erweiterung lassen sich dann alle gewonnenen Erkenntnisse auf das zusammengesetzte Mikroskop übertragen.

Die Anordnung ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Ein auf der *optischen Achse* AA liegender Objektpunkt O_1 wird mit Hilfe der Linse¹⁾ L nach dem Bildpunkt O'_1 abgebildet. Aus Fig. 1 erkennt man, daß alle vom Objektpunkt O_1 ausgehenden Strahlen, die innerhalb eines Kegels vom Winkel 2σ liegen, durch die Linse L zum Bildpunkt O'_1 gebrochen werden. Ebenso werden alle vom Objektpunkt O_2 ausgehenden Strahlen im Bildpunkt O'_2 vereinigt. Begrenzt werden die Strahlenbündel, d. h. die Kegel, die alle Strahlen vom Objekt zur Linse, bzw. von der Linse zum Bild, enthalten, durch die Fassung F der Linse. Ein Vergrößern des freien Durchmessers der Linse läßt mehr

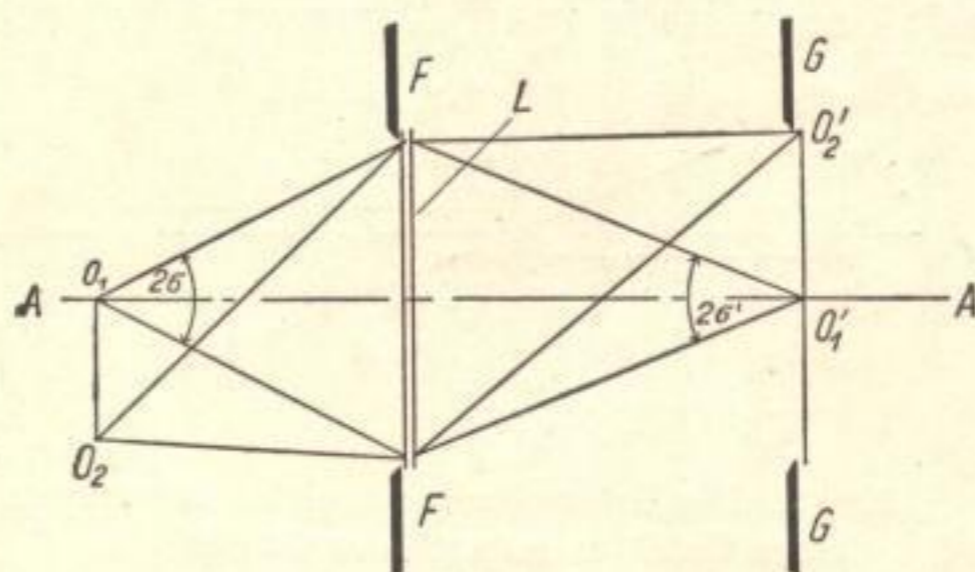


Fig. 1. Abbildung eines Objektes O_1O_2 durch das Objektiv L .

¹⁾ Linsen werden im Rahmen dieses Buches durch zwei parallele Striche dargestellt, sofern nicht Erscheinungen besprochen werden, die durch die geometrische Form der Linsen bedingt sind.

Lichtstrahlen zur Abbildung des Objektes zu. Die Helligkeit im Bildpunkt wird dadurch erhöht. Die Fassung der Linse, durch deren Größe der zur Abbildung zugelassene Strahlenkegel bestimmt ist, wirkt als *Öffnungs- oder Apertur-Blende*. Eine wesentliche Eigenschaft dieser Blende ist, daß durch Änderung ihrer Größe die Helligkeit im Bild geändert wird. Das Schließen der Aperturblende beeinflusst die Größe des Bildes nicht, da die Blende in unmittelbarer Nähe des abbildenden Objektivs liegt, also im Bild bestimmt nicht zu sehen ist.

Die Größe des Feldes, das bei der in Fig. 1 gezeichneten Anordnung übersehen wird, muß durch eine Blende begrenzt sein, die zugleich mit dem Objekt scharf abgebildet wird. Diese sogenannte *Gesichtsfeldblende* ist demnach entweder am Ort des Objektes oder am Ort des Bildes angeordnet. Bei der gezeichneten einfachen Anordnung stellt der Mattscheibenrahmen die Gesichtsfeldblende dar (Blende G).

2. Geometrisch-optische Beziehungen zwischen Objekt und Bild.

Zwischen Objekt und Bild bestehen geometrisch-optische Beziehungen, mit deren Hilfe man Aussagen über die Lage von Objekt und Bild und

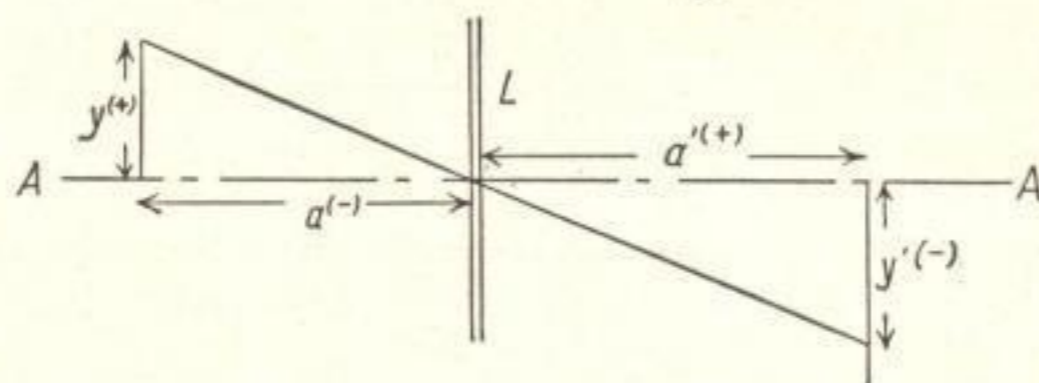


Fig. 2. Die Größenbeziehungen bei Abbildung eines Objektes y durch das Objektiv L .

über den Abbildungsmaßstab, d. h. über die Beziehung zwischen Objektgröße und Bildgröße, machen kann.

Bevor jedoch eine formelmäßige Darstellung der Abbildungsgesetze gegeben wird, sollen an Hand von Fig. 2 einige in dieser Dar-

stellung auftretende Größen erläutert werden. Eine dünne Linse L bildet ein Objekt der Größe y in ein Bild der Größe y' ab. Da das Objekt y oberhalb der optischen Achse AA liegt, wird es positiv gerechnet. Das Bild y' , das unterhalb der optischen Achse liegt, ist demnach negativ. Ferner ist zu bemerken, daß alle Größen, die sich auf das Bild beziehen, mit einem Strich versehen werden. Die Entfernung zwischen Objekt und Linse heißt *Objektweite* a , die Entfernung zwischen Bild und Linse entsprechend *Bildweite* a' . Alle Größen, die, von der Linse aus betrachtet, gegen die Richtung der einfallenden Lichtstrahlen zielen, werden negativ gerechnet, alle Größen in Richtung der Lichtstrahlen positiv. Daher ist a negativ, a' positiv. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die hier aufgestellten Bezeichnungen sich nur auf dünne Linsen beziehen, ebenso wie die folgenden Betrachtungen. Außerdem wird für diese noch vorausgesetzt, daß sich der gesamte Abbildungsvorgang in einem Raum nahe der optischen Achse abspielt.

Als erste Beziehung interessiert der gesetzmäßige Zusammenhang zwischen a und a' . Er lautet:

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f'}. \quad (1)$$

Hierbei muß die Größe f' noch erklärt werden. Rückt das Objekt ins Unendliche (z. B. Abbildung der Sonne durch eine Linse), so wird:

$$\frac{1}{a} = 0, \quad (1a)$$

also

$$a' = f'; \quad (1b)$$

f' ist die Bildweite bei Abbildung eines unendlich fernen Punktes. Diese Größe, die *Brennweite* des Objektivs, ist von den Daten der Linse abhängig; sie bestimmt das Verhalten der Linse eindeutig.

Einige Folgerungen aus obigen Formeln, die zu wissen ganz nützlich sind, seien angeführt: Rückt das Objekt vom Unendlichen bis zum Punkt $a = -f'$, d. h. bis zum *vorderen Brennpunkt* oder *Objektbrennpunkt*, so rückt das Bild von $a' = f'$, d. h. vom *hinteren Brennpunkt* oder *Bildbrennpunkt*, nach unendlich. Nähert sich das Objekt noch mehr der Linse, so wird a' negativ. In diesem Falle läßt sich das Bild nicht mehr auf einem Schirm auffangen. Es wird *virtuell*. Beobachtet man demnach durch eine Linse ein Objekt O , das zwischen Objektbrennpunkt \bar{F} und Linse liegt, so scheinen die Lichtstrahlen von dem virtuellen Bild O' herzukommen (Fig. 3).

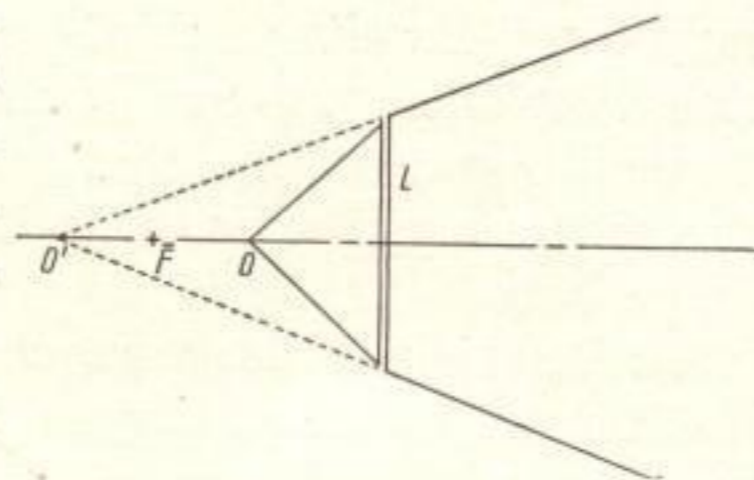


Fig. 3. Abbildung eines zwischen Brennpunkt und Objektiv liegenden Objektes.

Es interessiert weiterhin die Größenbeziehung zwischen Objekt und Bild, d. h. der *Abbildungsmaßstab* β'_1 ¹⁾ des optischen Systems. Diesen kann man aus Fig. 2 ablesen:

$$\beta'_1 = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}. \quad (2)$$

¹⁾ Man unterscheidet in der technischen Optik zwischen dem *Abbildungsmaßstab*, der als Größenbeziehung zwischen einem in seiner Ausdehnung bekannten Objekt und dem zugehörigen von einem optischen System auf einem Auffangschirm (Mattscheibe, photographische Platte) entworfenen Bild mit Hilfe eines Maßstabes ausgemessen werden kann, und der *Vergrößerung*, unter der ein Objekt bei subjektiver Betrachtung durch ein optisches System (Mikroskop, Fernrohr) erscheint (vgl. S. 40).

Der Abbildungsmaßstab ist positiv, wenn sowohl das Objekt wie das Bild entweder oberhalb oder unterhalb der optischen Achse liegen. Der Abbildungsmaßstab ist negativ, wenn das Objekt oberhalb und das Bild unterhalb der optischen Achse liegen und umgekehrt, d. h. also bei Bildumkehr.

Um einen möglichst hohen Abbildungsmaßstab zu erzielen, wie er in der Mikroskopie in den meisten Fällen verlangt wird, muß nach (2) entweder die Entfernung zwischen Objekt und Objektiv (a) sehr klein oder aber die Entfernung zwischen Objektiv und Bild (a') sehr groß sein. Diese beiden Forderungen haben ihre Grenze in der Möglichkeit der mechanischen Herstellung der vergrößernden Geräte. Eine kleine Objektweite führt zu einer kleinen Brennweite, da diese bei reeller Abbildung kleiner als die Objektweite sein muß (vgl. S. 3). Eine kleine Brennweite wiederum erfordert Linsen mit starken Krümmungen. Eine Verringerung der Brennweite kann demnach nur so lange vorgenommen werden, wie Linsen in dem geforderten Gütegrad und der geforderten Kleinheit hergestellt werden können. Leichter erscheint eine Vergrößerung der Bildweite zu sein. Jedoch hat auch diese ihre Grenzen, da bei einer Verlängerung der Bildweite das Vergrößerungsgerät sehr empfindlich gegen äußere Einflüsse, vor allen Dingen Schwingungen und Erschütterungen wird, was bei Photographie verwackelte Bilder zur Folge hat.

Als Beispiel sei hier angegeben, welche Objektivbrennweiten bei einer Entfernung zwischen Objekt und Bild von 1 m gebraucht werden, um bestimmte Abbildungsmaßstäbe zu erhalten. Vereint man die Beziehungen (1) und (2) mit der Bedingung, daß die Entfernung zwischen Objekt und Bild eine feste Länge $L = -a + a'$ haben soll, so ergibt sich für die Brennweite:

$$f' = -L \frac{\beta_1'}{(\beta_1' - 1)^2},$$

für die Objektweite:

$$a = \frac{L}{\beta_1' - 1}$$

und für die Bildweite:

$$a' = \frac{\beta_1' \cdot L}{\beta_1' - 1}.$$

Für $L = 1$ m erhält man demnach für die verschiedenen Abbildungsmaßstäbe von $-1 \times$ bis $-100 \times$ die in der Tabelle dargestellten Brennweiten, Objekt- und Bildweiten:

Erzielter Abbildungsmaßstab	-1	-2	-5	-10	-20	-50	-100
Objektivbrennweite in mm	250	222	139	83	45,5	19,3	9,8
Objektweite in mm	-500	-333	-167	-91	-47,6	-19,6	-9,9
Bildweite in mm	500	667	833	909	952	980	990

3. Schärfentiefe und physiologisches Auflösungsvermögen.

Bisher wurden nur Objekte betrachtet, die sich in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse befanden. Nunmehr soll die Abbildung eines räumlichen Objektes untersucht werden. In Fig. 4 sei A, B, C, D ein räumlich angeordnetes (z. B. teilweise durchsichtiges) Objekt, das mit dem Objektiv L abgebildet wird; dann ergibt sich im Bildraum eine Folge A', B', C', D' , die wiederum räumlich angeordnet ist. Legt man in die Ebene senkrecht zur optischen Achse durch den Punkt A' eine Mattscheibe, so werden zwar die Punkte A' und B' scharf abgebildet, der Punkt D' aber ergibt sich in der Mattscheibenebene M als Grundfläche des Strahlenkegels $G'D'H'$ zu erkennen, d. h. der Punkt D wird in M als Kreisscheibchen $G'H'$ abgebildet. Stellt man die Mattscheibenebene senkrecht zur optischen Achse in den Punkt D' , so werden wohl die Punkte D' und C' scharf abgebildet, jedoch der Punkt A' als Zerstreuungsscheibchen $J'K'$. Die kleinsten Zerstreuungsscheibchen erhält man zweifellos, wenn man die Mattscheibe zwischen M und M' nach M'' bringt, dort, wo sich die beiden Strahlenkegel $G'D'H'$ und $J'A'K'$ schneiden.

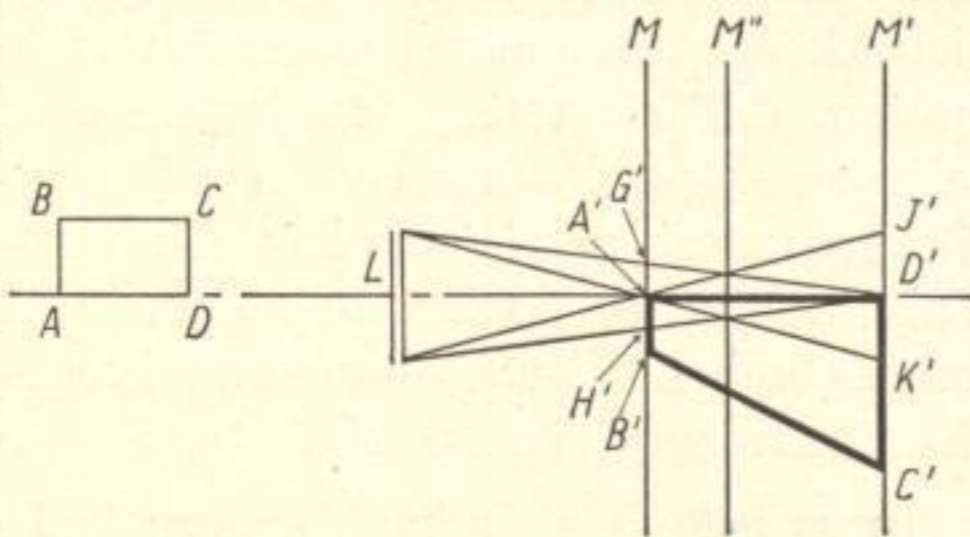


Fig. 4. Abbildung eines räumlich angeordneten Objektes $ABCD$.

Besteht, wie bei subjektiver Betrachtung (vgl. S. 37), die Möglichkeit, schnell hintereinander auf die verschiedenen Ebenen, z. B. AB oder CD , einzustellen, so ist es natürlich möglich, die Eigenschaften der beiden Ebenen zu erkennen, da das Gehirn dann die beiden dem Auge hintereinander scharf erscheinenden Bilder zu vereinigen vermag und so einen geschlossenen Eindruck des räumlichen Objektes $ABCD$ erhält. Anders ist es jedoch bei der Photographie, da die photographische Platte nur eine ganz bestimmte Einstellebene herausgreift und zur Abbildung bringt. In dieser Einstellebene werden sich räumlich angeordnete Bildpunkte als Zerstreuungskreise darstellen. Es ist daher notwendig zu untersuchen, wie klein diese Zerstreuungskreise sein müssen, um dem Auge noch als Punkte zu erscheinen.

Bekanntlich besteht die Netzhaut des Auges nicht aus einer homogenen, lichtempfindlichen Schicht, sondern sie ist unterteilt in einzelne lichtempfindliche Elemente, die sogenannten Stäbchen und

Zäpfchen. Das vom Auge gesehene Bild setzt sich also aus einem Mosaik von vielen Einzelreizen zusammen, deren Zusammenwirken den bildmäßigen Eindruck vermittelt. Ist nun bei der besprochenen räumlichen Anordnung der Objektelemente der Zerstreuungskreis außerhalb der Einstellebene liegender Objektpunkte so klein, daß sein Bild auf nur ein Stäbchen oder Zäpfchen fällt, so kann das Auge diesen Zerstreuungskreis niemals von einer punktförmigen Abbildung unterscheiden. Wird jedoch das Zerstreuungsscheibchen so groß, daß mehrere Stäbchen oder Zäpfchen im Auge getroffen werden, so erkennt das Auge, daß die Abbildung nicht mehr punktförmig, d. h. unscharf, ist. Man sieht hieraus, daß es nicht nötig ist, die Zerstreuungsscheibchen unendlich klein zu machen. Es genügt vielmehr, die Scheibchen so klein zu halten, daß sie unter den jeweiligen Beobachtungsbedingungen nicht von einer punktförmigen Abbildung unterschieden werden können. Reproduziert man z. B. das photographische Bild mit einem groben Druckraster, so wird man auf eine starke Verkleinerung der Zerstreuungsscheibchen viel eher verzichten können als bei einem normalen Kontaktabzug (vgl. S. 25).

Innerhalb des abzubildenden Tiefenbereiches dürfen die Zerstreuungskreise eine gewisse Maximalgröße nicht überschreiten, damit sie von dem jeweiligen Beobachtungsgerät noch als punktförmig erkannt werden. Kennt man diese Größe für jedes Beobachtungsgerät (z. B. das Auge), so kann man auf den noch scharf erscheinenden Tiefenraum schließen. Aus Fig. 4 liest man ab, wovon die Größe der in der Bildebene erscheinenden Zerstreuungskreise einer räumlich angeordneten Punktfolge abhängt. Vergrößert man den Abstand AD , so wird entsprechend der Abstand $A'D'$ vergrößert. Damit wächst aber die Grundfläche des Strahlenkegels, beispielsweise $G'D'H'$, und damit der Zerstreuungskreis. Ebenso wächst der Zerstreuungskreis bei steigendem Abbildungsmaßstab des Objektivs.

Öffnet man die Blende des Objektivs L , so wird die Größe des Strahlenkegels und damit der Zerstreuungskreis wachsen. Dies ist eine Erscheinung, die bei der normalen Photographie allgemein bekannt ist. Bei Abblendung des Objektivs wächst die Schärfentiefe, wodurch es möglich ist, nahe gelegene Gegenstände zugleich mit entfernten Gegenständen scharf abzubilden.

Bei der Mikroskopie geht die Öffnung der Blende nicht direkt in die Rechnung ein, sondern eine Funktion F , die gegeben ist durch den Sinus des halben Winkels, unter dem die Öffnung des Objektivs vom Objekt aus gesehen wird, multipliziert mit dem Brechungsexponenten n des Mediums zwischen Objekt und Objektiv (Immersionssysteme, vgl.

S. 35)¹⁾. Befindet sich nach Fig. 5 in O das Objekt und in L das Objektiv, so ist diese Funktion gegeben durch:

$$F = n \sin \sigma. \quad (3a)$$

Man erhält demnach für den Radius des Zerstreungskreises:

$$dz' = \beta'_1 \cdot \Delta a \cdot F, \quad (3)$$

wobei Δa der Betrag ist, um den der untersuchte Objektpunkt von demjenigen abweicht, auf den eingestellt wurde.

Die Funktion F wird später (vgl. S. 15) nochmals auftreten. Sie soll deshalb an dieser Stelle näher betrachtet werden. Bekanntlich besteht in der geometrischen Optik als oberstes Gesetz das SNELLIUSSCHE

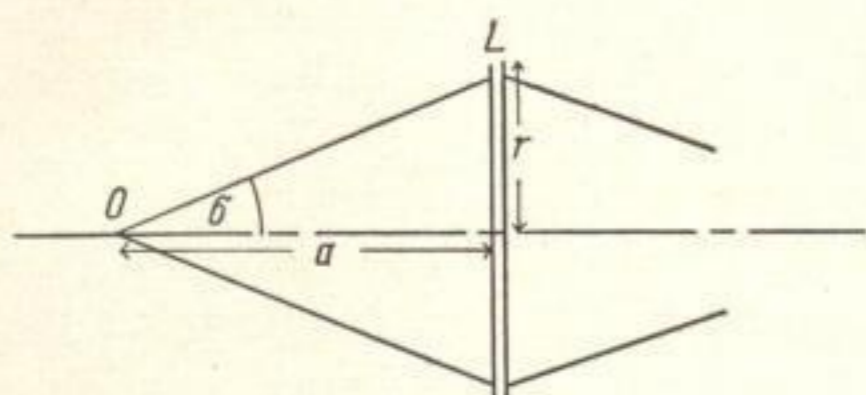


Fig. 5. Abbildung eines Objektpunktes O mit zur optischen Achse unter dem Winkel σ geneigten Strahlen.

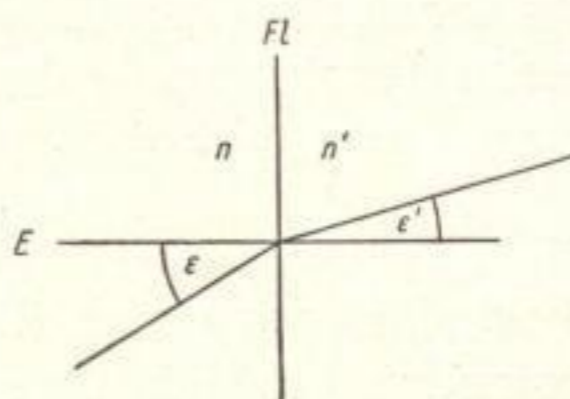


Fig. 6. Brechung des Lichtes.

Brechungsgesetz, das die Brechungsexponenten (in Fig. 6 n, n') vor und hinter einer brechenden Fläche Fl mit den Winkeln ϵ, ϵ' , die die Lichtstrahlen gegen das Einfallslot (E) bilden, in Verbindung bringt. Es ergibt sich nach den Bezeichnungen der Fig. 6:

$$n \cdot \sin \epsilon = n' \cdot \sin \epsilon'. \quad (4)$$

Die Größe $n \cdot \sin \epsilon$ bleibt also beim Durchgang durch die brechende Fläche die gleiche, d. h. sie ist eine Invariante der Fläche, ganz gleich, welche Brechungsexponenten vor und hinter der Fläche vorhanden sind.

Nimmt man an, daß sich in der optischen Anordnung nach Fig. 5 zwischen dem Objekt O und dem Objektiv L ein Raum mit dem Brechungsexponenten n befindet, so wird der Betrag $n \cdot \sin \sigma$ beim Durchtritt des Lichtstrahls durch die erste Linsenfläche invariant bleiben, unabhängig vom Brechungsexponenten n des Mediums zwischen Objekt und Objektiv. $n \cdot \sin \sigma$ ist demnach eine Größe, die jedem Objektiv zugeordnet ist und die durch kein Mittel bei gegebener Bildweite ver-

¹⁾ Dies erkennt man ohne weiteres, wenn man die Größe des Zerstreungskreises hinter dem Objektiv berechnet und dabei den Winkel σ' hinter dem Objektiv durch den Winkel σ unter Berücksichtigung der Sinusbedingung (vgl. S. 31) ersetzt.

größert werden kann; denn wächst der Brechungsexponent n vor dem Objektiv, so wird entsprechend der Winkel σ , der vom Objektiv gerade noch aufgenommen werden kann, kleiner werden. Sinkt der Brechungsexponent n , so wird der Winkel σ größer, ohne daß sich der Betrag $n \cdot \sin \sigma$ ändert¹⁾. Diese für die Mikroskopie außerordentlich wichtige Invariante wird die *numerische Apertur des Objektivs* genannt. Sie ergibt sich zu:

$$F = A_0 = n \cdot \sin \sigma. \quad (5)$$

Zur Bestimmung der numerischen Apertur eines photographischen Objektivs ist es notwendig, sie mit der relativen Öffnung des Objektivs in Verbindung zu bringen. In Fig. 5 befindet sich in O das Objekt, das durch die Linse L abgebildet wird. Der Winkel σ , der für die numerische Apertur maßgebend ist, ist klein, so daß man $\sin \sigma = \text{tg } \sigma$ setzen kann. Es ergibt sich somit die Apertur:

$$A_0 = \sin \sigma = \text{tg } \sigma = -r/a.$$

Hierin kann a durch die Brennweite und den bei der Abbildung auftretenden Abbildungsmaßstab ersetzt werden, indem man aus den Formeln (1) und (2) a' eliminiert und nach a auflöst. Es ergibt sich (vgl. S. 3):

$$\frac{1}{a} = \frac{-\beta_1'}{\beta_1' - 1} \frac{1}{f'}.$$

Bedenkt man noch, daß die relative Öffnung (Öffnungszahl) eines photographischen Objektivs definitionsgemäß gegeben ist durch das Verhältnis Objektivbrennweite zu Objektivdurchmesser, also:

$$R = f'/2r,$$

so erhält man für die numerische Apertur des Objektivs der relativen Öffnung R bei einem Abbildungsmaßstab des Objektivs von β_1' :

$$A_0 = \frac{1}{2R} \frac{-\beta_1'}{\beta_1' - 1}.$$

Sind Bild und Gegenstand gleich groß, also $\beta_1' = -1$, so ergibt sich die numerische Apertur zu:

$$A_0 = 1/4R.$$

Wird das Objekt sehr stark vergrößert, ist also β_1' sehr groß, so folgt:

$$A_0 = 1/2R.$$

Für große Abbildungsmaßstäbe ist demnach die numerische Apertur eines photographischen Objektivs größer als für kleine Abbildungs-

¹⁾ Dieser Gedankengang, der nur für kleine Winkel σ gültig ist, wird für große Winkel σ durch die Einhaltung der Sinusbedingung (vgl. S. 31) ersetzt.

maßstäbe, wobei es jedoch nicht immer möglich ist, ein und dasselbe Objektiv für kleine und große Abbildungsmaßstäbe zu verwenden, da sich durch die verschiedene Verwendung der Korrektionszustand des Objektivs erheblich ändert (vgl. S. 33).

Der durch die Tiefenausdehnung des Objektes hervorgerufene Zerstreungskreis ergibt sich in Abhängigkeit von der numerischen Apertur des Mikroobjektives zu:

$$dz' = \beta'_1 \cdot A_0 \cdot \Delta a. \quad (3b)$$

Auf S. 5 wurde gezeigt, daß man zu einer besseren Abbildung räumlich angeordneter Objekte gelangt, wenn man nicht auf die dem Objektiv nächsten oder fernsten Objektpunkte, sondern auf eine Ebene zwischen diesen extremen Lagen scharf stellt. Dann werden nämlich Punkte, die von dieser Ebene nach beiden Seiten der optischen Achse um Δa entfernt liegen, mit gleich großen Zerstreungskreisen abgebildet. Der Bereich, der bei dieser Einstellung gleich große Zerstreungskreise ergibt, beträgt demnach:

$$\Delta b = 2 \Delta a,$$

so daß man für den Durchmesser des Zerstreungskreises erhält:

$$\delta' = 2 dz' = 2 \beta'_1 \cdot \frac{\Delta b}{2} \cdot A_0$$

oder für den bei gegebener Feinheit des Aufnahmerasters scharf abgebildeten Tiefenbereich:

$$\Delta b = \frac{\delta'}{\beta'_1 \cdot A_0}. \quad (6)$$

Wie schon erwähnt, beruht das Sehen auf der Reizung der lichtempfindlichen Elemente des Auges, der Stäbchen und Zäpfchen. Fallen die Bilder zweier Objektpunkte auf ein solches Element, so werden sie nicht mehr getrennt wahrgenommen. Das sog. *physiologische Auflösungsvermögen* ist demnach durch die Anordnung der Netzhautelemente im Auge gegeben. Der Mindestabstand, den zwei Objektpunkte haben müssen, damit sie bei Betrachtung des Objektes in deutlicher Sehweite (25 cm) noch getrennt wahrgenommen werden, beträgt $\frac{1}{15}$ mm. Sie erscheinen dem Auge unter einem Winkel von $1'$. Soll im Bild der Zerstreungskreis mit dem Durchmesser δ' als punktförmig erkannt werden, so muß er bei Betrachtung in deutlicher Sehweite kleiner als $\frac{1}{15}$ mm sein.

Ein Objekt soll $25 \times$ vergrößert aufgenommen werden. Das abbildende Objektiv sei auf $f:5$ abgeblendet. Es besitzt demnach eine numerische Apertur von 0,1 (vgl. S. 8). Zwischen Objekt und Objektiv befindet sich Luft, also $n = 1$. Demnach ergibt sich als scharf ab-

gebildeter Tiefenbereich bei subjektiver Beobachtung ($\delta' = 1/30$ mm) eine Zone von $\Delta = 1/75$ mm.

Bei einem $25 \times$ Abbildungsmaßstab können gemäß dem oben Ausgeführten Objektstrukturen von $1/375$ mm noch erkannt werden. Der Tiefenbereich scharfer Abbildung ist demnach bei obigem Beispiel fünfmal so groß wie die kleinste vom Auge noch aufgelöste Struktur.

4. Physikalisches Auflösungsvermögen.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde angenommen, daß sich die Lichtstrahlen geradlinig fortpflanzen, ohne daß auf die Wirkung von Blenden, die sich im Strahlengang befinden, Rücksicht genommen wurde. Licht ist eine Wellenbewegung, deren Schwingungen in Ebenen

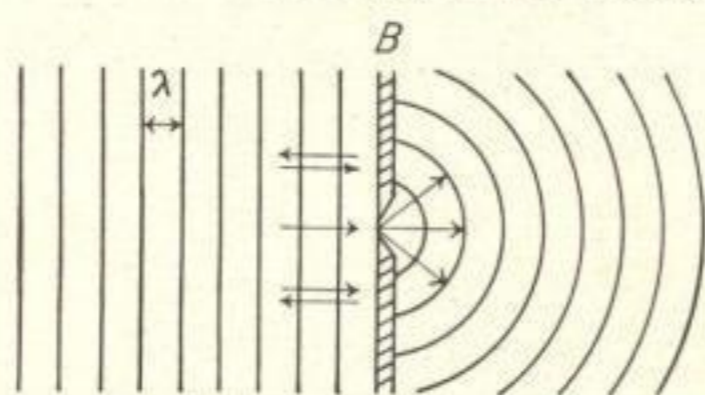


Fig. 7. Beugung an einer kleinen Öffnung.

senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtes stattfinden (sog. Transversalschwingungen). Wellenbewegungen werden in ihrem Charakter grundlegend verändert, wenn die Öffnungen, durch die sich die Wellen bewegen, von der Größenordnung der Wellenlänge sind.

Eine ebene Wellenfront mag sich nach einer Blende bewegen, deren Öffnung klein ist. Man kann sich diese ebene Wellenfront durch Eintauchen eines Stabes in eine Wasseroberfläche erzeugt denken, so daß die Längsseite des Stabes die Oberfläche gleichzeitig berührt. Die Versuchsanordnung ist in Fig. 7 skizziert. Die Wellen sind durch ihre Wellenberge dargestellt. Die Länge zwischen zwei Wellenbergen heißt *Wellenlänge* λ . Die Blende befindet sich bei B. Gelangt die ebene Welle (Pfeilrichtung von links nach rechts) zur Blende, so wird sie an allen Stellen reflektiert (Pfeilrichtung von rechts nach links). Nur durch die Öffnung tritt die Welle hindurch. Jedoch bleibt ihr ebener Wellencharakter nicht erhalten. Sie breitet sich vielmehr von der Öffnung als Kugelwelle aus, die ihr Erregungszentrum in der Öffnung selbst hat. Es ist demnach nicht möglich, auf Grund der sich hinter der Öffnung ausbildenden Welle Aussagen über den Zustand zu machen, in dem sich die Welle vor dem Durchtritt durch die Öffnung befunden hat. Öffnet man die Blende, so wird sich nach dem Durchtritt durch die Öffnung eine Welle ausbilden, die immer mehr den Charakter einer ebenen Welle annimmt. Nur an den dem Blendenrand benachbarten Teilen wird sich eine Störung des ebenen Wellencharakters bemerkbar machen, die aber bei Vergrößerung der Blendenöffnung immer mehr gegen den ebenen Charakter der Welle zurücktritt.

Diese aus der Anschauung heraus ohne weiteres verständliche Tatsache läßt sich auch mit Hilfe des für Transversalschwingungen gültigen HUYGENSSchen Prinzipes erklären. Aus Fig. 7 ging hervor, daß sich an der engen Blende eine Kugelwelle ausbildet. Allgemein kann man sagen, daß jedes von einer Welle getroffene Element des Trägers der Welle (z. B. des Wassers) Erregungszentrum einer Kugelwelle wird. Trifft z. B. nach Fig. 8 eine ebene Welle auf den Querschnitt Q , so werden die in diesem Querschnitt enthaltenen Elemente des Wellenträgers Kugelwellen aussenden, deren Hüllkurve die entstehende Wellenfront (im Fall der Fig. 8 eine ebene Wellenfront) darstellt. Wird der Querschnitt Q durch eine Blende begrenzt, so wird an den Grenzen das Gleichgewicht der einzelnen Kugelwellen

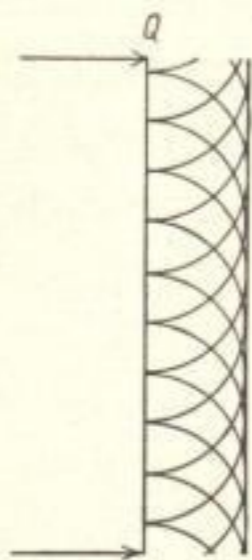


Fig. 8. Wandern einer Welle durch Überlagerung der HUYGENSSchen Elementarwellen.

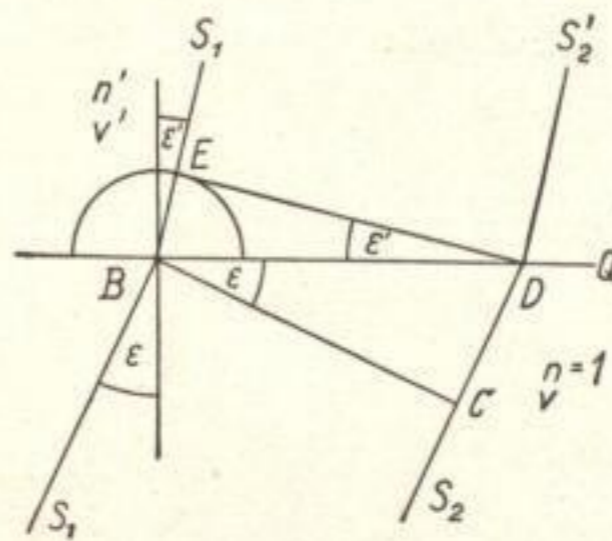


Fig. 9. Brechung der Lichtstrahlen S_1S_2 an dem Querschnitt Q .

gestört und die Gestalt der sich ergebenden Welle geändert, was bei Ausblendung eines einzigen solchen Elementes die Änderung der ebenen Welle in eine Kugelwelle bedingt.

Mit Hilfe des HUYGENSSchen Prinzipes läßt sich neben der oben gegebenen Deutung der Erscheinungen beim Durchtritt einer Welle durch eine Öffnung auch ein anschauliches Bild der Brechung geben. Eine Welle pflanzt sich in einem Medium mit einer bestimmten Geschwindigkeit fort, die sich ändert, wenn die Welle von einem Medium in ein anderes übertritt. Ein ebener Wellenzug S_1S_2 (Fig. 9) bewege sich in einem Medium mit der Geschwindigkeit v vorwärts. Bei dem Querschnitt Q trifft er unter dem Winkel ϵ gegen das Einfallslot auf ein zweites Medium, in dem er sich nur noch mit der Geschwindigkeit v' fortpflanzen kann.

Auf dem Querschnitt Q soll das HUYGENSSche Prinzip angewendet werden, und zwar in dem Augenblick, in dem der Strahl S_2 gerade den Querschnitt Q erreicht. In diesem Augenblick wird D Erregungszentrum einer Kugelwelle, die sich jedoch noch nicht von D fortbewegt hat. Da der Strahl S_1 den Querschnitt Q eher trifft als S_2 , hat sich

bei B eine Kugelwelle ausgebildet, die in der Zeit, während der S_2 die Strecke:

$$CD = vt$$

durchläuft, die Größe:

$$r = v't$$

angenommen hat. Die Front DE der sich im zweiten Medium ausbildenden ebenen Welle $S'_1S'_2$ ist als Hüllkurve aller zwischen B und D sich ausbildenden Kugelwellen gegeben durch die Tangente von D an den Kreis um B mit dem Radius r . Aus der Figur liest man dann sofort ab:

$$CD = vt = BD \sin \varepsilon$$

$$BE = r = v't = BD \sin \varepsilon'.$$

Daraus folgt:

$$\frac{\sin \varepsilon}{\sin \varepsilon'} = \frac{v}{v'}.$$

Schreibt man hierzu das Brechungsgesetz (S. 7)

$$\frac{\sin \varepsilon}{\sin \varepsilon'} = \frac{n'}{n},$$

so folgt:

$$\frac{n'}{n} = \frac{v}{v'}.$$

Nimmt man an, daß Lichtstrahlen von Luft (exakter vom Vakuum $n = 1$, $v = v_0 = 300\,000$ km/sec) in ein Medium mit dem Brechungsexponenten n' eindringen, so folgt:

$$n' = \frac{v_0}{v'},$$

d. h. der Brechungsexponent eines Mediums ist gleich dem Verhältnis der Lichtstrahlgeschwindigkeit im Vakuum zu dem im Medium.

Die Erscheinungen am Rand einer Blende werden *Beugungerscheinungen* genannt. Sie treten bei allen Wellenbewegungen auf, also auch beim Durchtritt von Licht durch irgendwelche Blenden, wie z. B. beim Durchtritt durch ein Objektiv, dessen Fassung die Blende darstellt. Strahlt Licht von einem Objektpunkt aus, so wird die Abbildung um so verwaschener sein, je kleiner die Öffnung des Objektivs im Verhältnis zur Wellenlänge des zur Abbildung benutzten Lichtes ist. Dies soll aus Fig. 10 hervorgehen. Es ist hier die Helligkeitsverteilung dargestellt, die sich in der Bildebene längs der Geraden $O'_4 O'_5$ senkrecht zur optischen Achse bei der Abbildung eines punktförmigen Objektes mit einem Objektiv ergibt, dessen Öffnung von Fig. 10a über 10b nach 10c jeweils um den $\sqrt{2}$ -ten Teil sinkt. Die ideale Abbildung des Objektes wäre dann erreicht, wenn für jeden Punkt der Bildebene außerhalb

des Bildpunktes O' , also z. B. in O'_1 , völlige Dunkelheit herrscht, in diesem jedoch maximale Helligkeit vorhanden ist. In Fig. 10 ist diese Forderung in keinem der gezeichneten Fälle erfüllt. Bei Fig. 10a z. B. findet man ein hell leuchtendes Scheibchen und nur auf einem Kreis mit dem Radius $O'_2 O'_3$ senkrecht zur optischen Achse herrscht völlige Dunkelheit. Jenseits O'_2 und O'_3 steigt die Helligkeit wieder an. Der leuchtende Objektpunkt wird demnach als Lichtscheibchen abgebildet, das von leuchtenden Ringen umgeben ist (sog. Beugungsringe). Für eine große Öffnung des Objektivs (Fig. 10a) ist das Bild am objektähnlichsten. Bei Verkleinerung der Öffnung wird das Bildscheibchen immer breiter. Die Helligkeit im Bildpunkt O' nimmt ab. Das Bild wird kontrastarm.

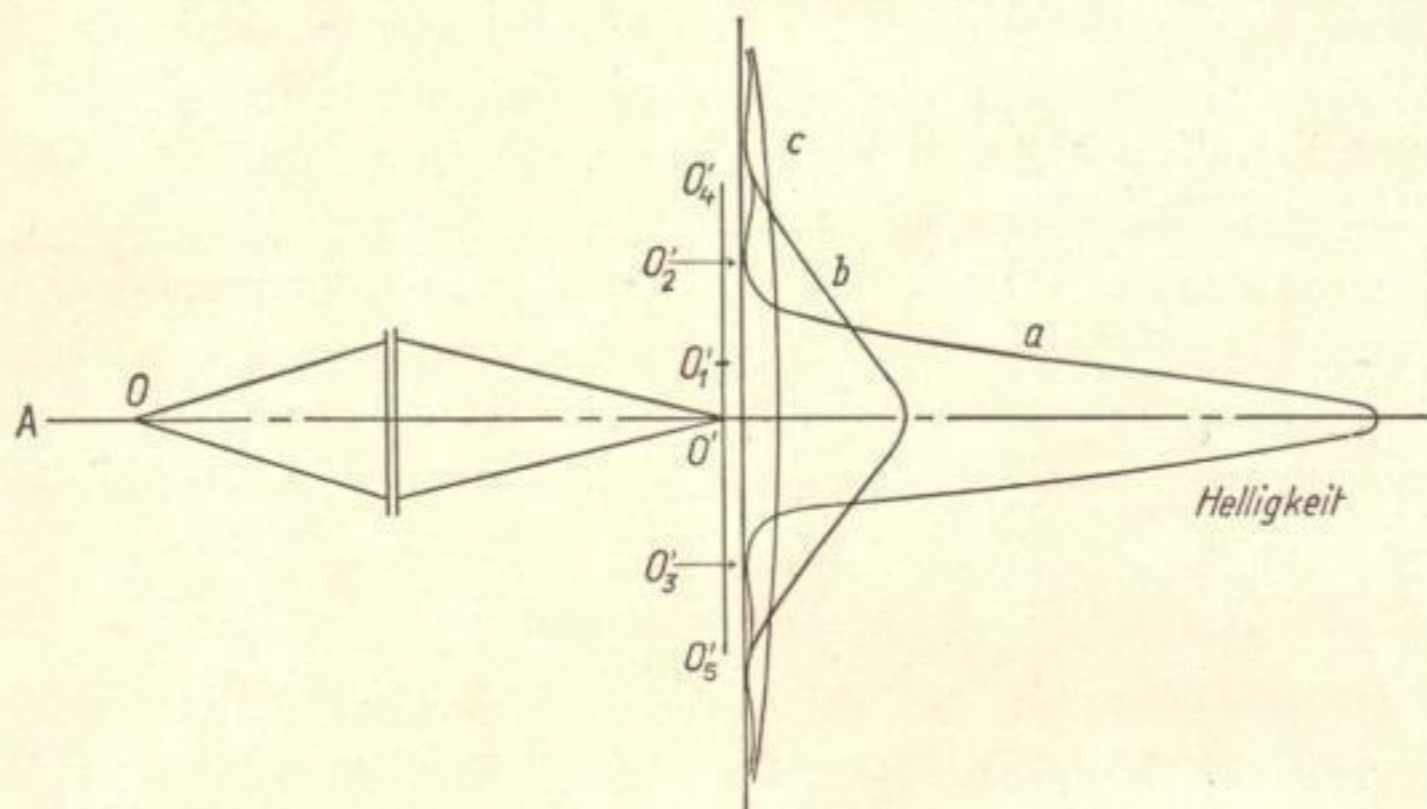


Fig. 10. Beugung des Lichtes am Objektiv.

Bisher wurde nur ein einzelnes Objektelement untersucht, dessen Bild Rückschlüsse auf seine *Lage* in der Objektebene zuläßt. Über seine *Größe* kann jedoch ohne weiteres nichts ausgesagt werden. Es ist vielmehr notwendig, die Abbildung zweier benachbarter Objektelemente zu untersuchen und von hier aus auf die Abbildung der gesamten Objektstruktur zu schließen. Dabei soll festgestellt werden, wie eng aneinander zwei derartige Elemente rücken können, ehe die Beugungserscheinungen, die jedem Objekt zugeordnet sind, das Bild bis zur Unähnlichkeit überlagern.

In Fig. 11a erkennt man die Bilder zweier Objektelemente (a, b), die in großem Abstand voneinander liegen. Da sich die Helligkeiten zweier Bilder unter der Voraussetzung, daß selbstleuchtende Objekte abgebildet werden (vgl. S. 21 ff.), arithmetisch addieren, erhält man die eingezeichnete Summenkurve c der beiden Helligkeiten als wirklich gesehenes Bild. Die beiden Bilder der Objektpunkte treten getrennt in Erscheinung. Die Aufhellung des Untergrundes ist gering.

Rücken nach Fig. 11b die beiden Objektelemente so nahe zusammen, daß im Bild das Helligkeitsmaximum des einen auf dem ersten seitlichen Minimum des anderen liegt (Kurven *a*, *b*), so werden die beiden Objektelemente gerade noch getrennt wahrgenommen, wie man aus der eingezeichneten Summenkurve (*c*) erkennen kann. Der Untergrund zwischen den beiden Objekten ist ziemlich stark aufgehellt, jedoch findet immer noch eine deutliche Verminderung der Helligkeit zwischen den Bildern der beiden Punkte statt.

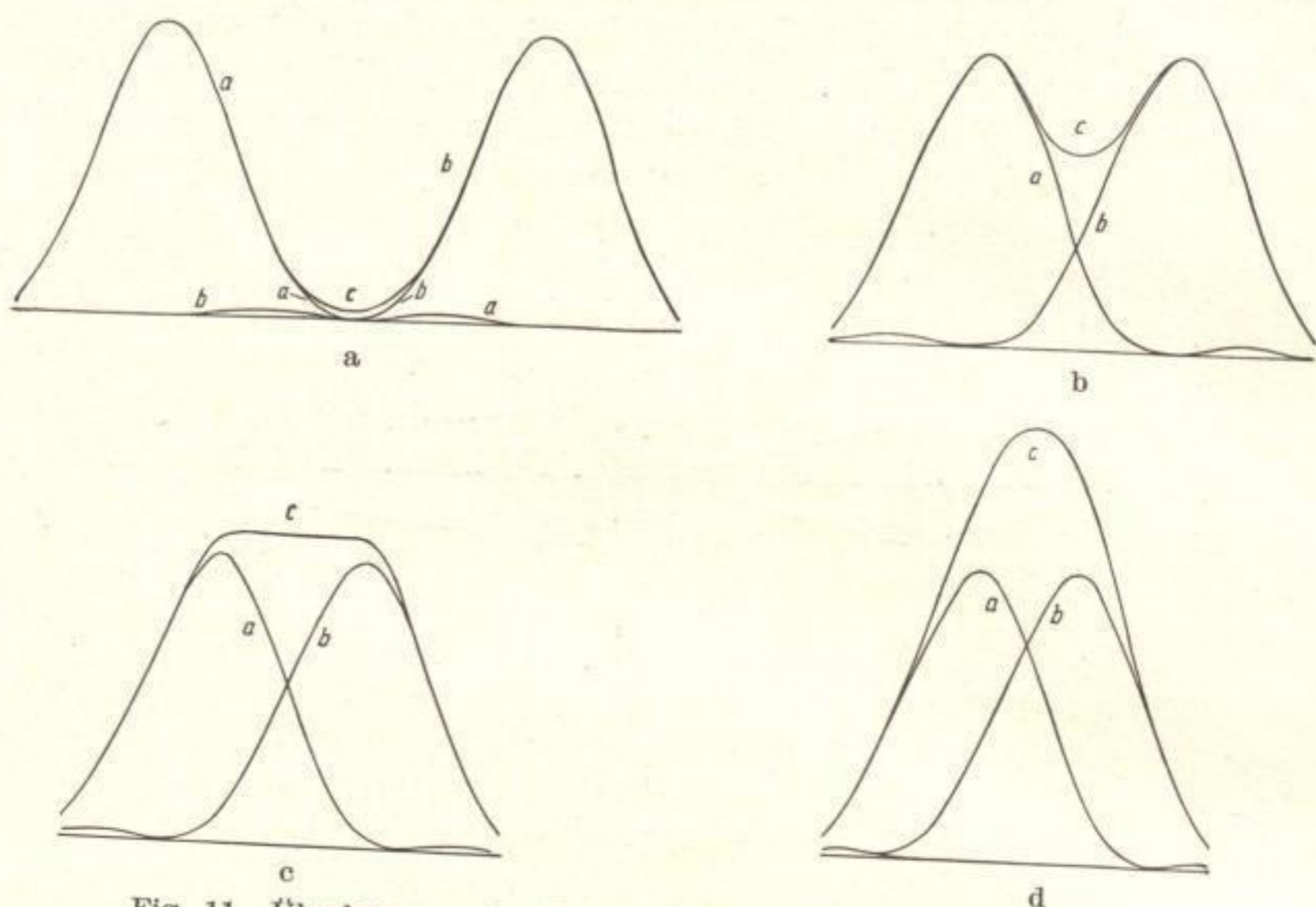


Fig. 11. Überlagerung der Beugungsspektren zweier Objektpunkte.

Rücken jetzt die beiden Objektelemente noch näher zusammen, so ergibt sich ein Bild, aus dem man nicht mehr die Anwesenheit zweier einzelner Elemente erkennen kann (Fig. 11c). Die Helligkeit zwischen den Bildern der beiden Objektelemente ist ebenso groß wie die Helligkeit der Bilder selbst geworden. Fig. 11c stellt demnach den Grenzfall für die Trennung der beiden Objektelemente im Bild dar. Befinden sich die Objektelemente in einem etwas größeren Abstand, als in Fig. 11c gezeichnet, so findet eine, wenn auch geringe Einsattelung der Helligkeit statt. Mit einem hart arbeitenden Aufnahmematerial (z. B. mit photomechanischen Platten) können die beiden Objektpunkte getrennt dargestellt werden. Rücken jedoch die beiden Objektelemente noch näher zusammen, so ergibt sich ein Bild, dessen Helligkeitsverteilung in Fig. 11d dargestellt ist. Es scheint in der Mitte zwischen den beiden Objektelementen ein einziges Element zu liegen. Das Bild zeigt

keine genügende Auflösung mehr. Der Umriß eines Objektes z. B. kann nicht mehr erkannt werden.

Die hier angestellten Betrachtungen sind außerordentlich wichtig, denn sie zeigen, daß es keinen Sinn hat, den Abbildungsmaßstab eines optischen Instrumentes, z. B. eines Mikroskopes, immer weiter zu vergrößern. Es bestehen Grenzen des Auflösungsvermögens, die sich aus der Wellennatur des Lichtes ergeben: Zwei Objekte, die getrennt gesehen werden sollen, dürfen nicht beliebig nahe benachbart sein, da durch die Beugung am Objektivrand eine Verbreiterung des Bildes jedes Objektelementes entsteht, durch die unter Umständen keine Einsattelung der Helligkeit zwischen den beiden Bildpunkten mehr stattfindet. Diese Verbreiterung der Bildpunkte ist nun nach Fig. 10 um so größer, je kleiner die Öffnung des zur Abbildung benutzten Objektivs im Verhältnis zur Wellenlänge ist. An Stelle der Öffnung muß man genauer die numerische Apertur des Objektivs setzen, da es offensichtlich mehr auf die Größe des vom Objektiv aufgenommenen Strahlenkegels als auf die geometrische Form der Objektivfassung ankommt.

Der kleinste Abstand, den zwei Objektelemente besitzen dürfen, damit sie gerade noch getrennt wahrgenommen werden können, ergibt sich zu:

$$d = \varkappa (\lambda/A_0), \quad (7)$$

worin λ die Wellenlänge des Lichtes und A_0 die numerische Apertur des Objektivs ist, die uns hier wieder als außerordentlich wichtige Konstante des Objektivs entgegentritt¹⁾.

Es muß noch untersucht werden, welche Bedeutung dem Proportionalitätsfaktor \varkappa zukommt. Wie aus den Betrachtungen, die insbesondere an Fig. 11c geknüpft wurden, hervorgeht, können zwei Objekte um so näher benachbart sein, je kontrastreicher die zur photographischen Aufnahme benutzte Platte arbeitet. Das Auflösungsvermögen ist demnach von der Fähigkeit der aufnehmenden Schicht (z. B. des Auges), geringe Helligkeitsunterschiede festzustellen, abhängig.

Die Berücksichtigung des Helligkeits-Unterscheidungsvermögens geschieht in Formel (7) durch den Faktor \varkappa . Er beträgt im Grenzfall

¹⁾ Da die numerische Apertur dem Ausdruck $n \sin \sigma$ entspricht, ergibt sich, daß eine feinere Struktur aufgelöst wird, wenn sich zwischen Objekt und Objektiv ein Medium mit höherem Brechungsindex befindet. Diese Erhöhung des Auflösungsvermögens kann man sich entweder mit Hilfe des SNELLIUSschen Brechungsgesetzes dadurch erklären, daß dem Winkel σ im Medium ein größerer Winkel σ' [$\sin \sigma' = n \sin \sigma$] in Luft entspricht, oder aber dadurch, daß beim Eintritt in das Medium die Wellenlänge λ des Lichtes auf den Betrag λ/n verkürzt wird.

(Fig. 11c) für sehr hart arbeitendes Material (z. B. photomechanische Platten) 0,45, während er für das Auge ungefähr gleich 0,6 ist.

In Formel (7) wird der geringste Abstand, den zwei Objektelemente haben dürfen, wenn sie bei Abbildung mit einem Objektiv der Apertur A_0 und einem Licht der Wellenlänge λ noch getrennt werden sollen, berechnet. Dieser Abstand d steht in einem einfachen Zusammenhang mit dem Auflösungsvermögen L der optischen Anordnung. Es ist klar, daß das Auflösungsvermögen um so größer ist, je kleiner der Abstand d ist. Man kann daher schreiben:

$$L = \frac{1}{d} = \frac{A_0}{\alpha \cdot \lambda} \quad (7a)$$

Um sich ein Bild über die Größe des Auflösungsvermögens machen zu können, muß noch einiges über die Wellenlänge des Lichtes gesagt werden. Bekanntlich besteht weißes Licht aus einer Vielheit von Farben, die man landläufig als die sieben Regenbogenfarben bezeichnet, wobei natürlich eine Aufteilung in sieben Farben keinesfalls erschöpfend ist, da das Auge zwischen den einzelnen der sieben Farben noch viele Zwischentöne erkennt. Jeder dieser Farben entspricht eine Wellenlänge des Lichtes. Die Farbenerscheinung, die man beispielsweise im Regenbogen sieht, stellt demnach ein Band von Lichtschwingungen dar, deren Wellenlänge von violett nach rot wächst. Das äußerste noch sichtbare Violett hat eine Wellenlänge von ungefähr $0,4 \cdot 10^{-3}$ mm, das äußerste Rot hat eine Wellenlänge von ungefähr $0,7 \cdot 10^{-3}$ mm. Dazwischen liegen:

mittleres Blau	$0,475 \cdot 10^{-3}$ mm
Grün	$0,540 \cdot 10^{-3}$ mm
Gelb	$0,575 \cdot 10^{-3}$ mm
Orange	$0,600 \cdot 10^{-3}$ mm
Rot	$0,650 \cdot 10^{-3}$ mm.

Für ein Objektiv mit einer numerischen Apertur von 0,25 ergibt sich bei subjektiver Beobachtung ($\alpha = 0,6$) und Beleuchtung mit gelbgrünem Licht ($\lambda = 0,55 \cdot 10^{-3}$ mm) als kleinster Abstand zweier noch getrennt wahrgenommener Objektelemente:

$$d = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ mm.}$$

Die feinste mit einem Mikroskop im sichtbaren Licht ($\lambda = 0,4 \cdot 10^{-3}$ mm) überhaupt zu erkennende Objektstruktur erhält man bei Verwendung eines Objektivs hoher Apertur (Ölimmersion $A_0 = 1,50$) zu:

$$d = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ mm.}$$

Dieser Abstand ist ungefähr halb so groß wie die Wellenlänge des zur Abbildung benutzten Lichtes.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde vorausgesetzt, daß die Objekte, deren Bilder untersucht wurden, Selbstleuchter seien, also z. B. einzelne hell glühende Metallteilchen.

Nun tritt aber in der Mikroskopie fast nie ein solcher Selbstleuchter auf. Das Objekt empfängt von irgendwoher Licht und reflektiert es ins Objektiv, oder es absorbiert es teilweise oder ganz, so daß das ihm charakteristische Aussehen im Bild auftritt. Es können bei diesen nicht selbstleuchtenden Objekten unter Umständen ganz andere Erscheinungen auftreten als bei selbstleuchtenden Objekten. Der Grund, warum bei dieser Darstellung die Abbildung eines Selbstleuchters an die Spitze der Betrachtungen gestellt wurde, soll später noch ersichtlich werden. Zunächst müssen jedoch die Erscheinungen untersucht werden, die sich bei der Abbildung eines Nichtselbstleuchters ergeben. Die Theorie hierzu wurde von E. ABBE aufgestellt. Als Objekt, das von dem Mikroskopobjektiv abgebildet werden soll, diene ein Silberspiegel, in dem in gleichen Abständen lichtdurchlässige Spalte eingeschabt wurden (opt. Gitter). Das Gitter (G) soll

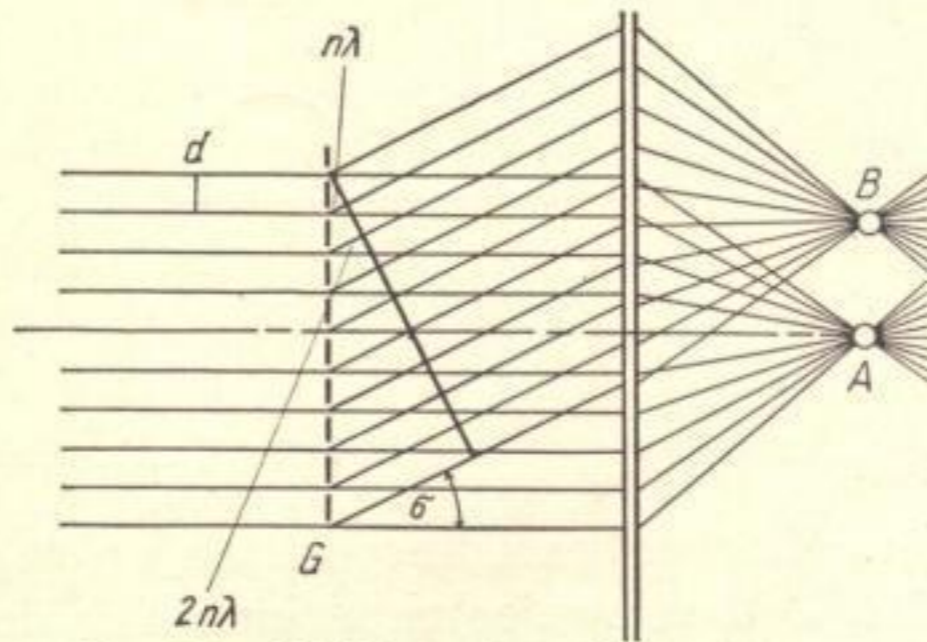


Fig. 12. Abbildung eines Strichgitters.

im durchfallenden Licht untersucht werden (Fig. 12). Es empfängt Licht von einer weit entfernten Lichtquelle, so daß es mit nahezu parallelen Strahlen beleuchtet wird. Durch Beugung tritt an den einzelnen Gitterspalten (vgl. S. 12) neben dem das Gitter in der ursprünglichen Richtung durchsetzenden Licht abgelenktes Licht aus dem Gitter heraus. Jedoch wird nicht in jeder Richtung Licht von dem Gitter ausstrahlen, sondern es werden bestimmte Richtungen bevorzugt werden.

Die Entstehung dieses in bestimmten Richtungen abgelenkten Lichtes soll kurz betrachtet werden. Treffen an einer Stelle zwei Schwingungen zusammen, die um eine halbe Wellenlänge gegeneinander versetzt sind (Phasendifferenz gleich einer halben Wellenlänge) (Kurven I und II in Fig. 13a), so löschen sich die beiden Wellen bei der Überlagerung gegenseitig aus (Kurve III). Gelangen dagegen an einen Punkt zwei Wellen, die um ein ganzes Vielfaches der Wellenlänge versetzt sind (Phasendifferenz gleich einem Vielfachen der Wellenlänge) (Kurven I und II in Fig. 13b), so erhält man eine Wellenbewegung, deren Amplitude doppelt so groß ist wie die Amplituden der beiden einfallenden Wellen (Kurve III in Fig. 13b). Licht, das durch eine kleine Öffnung,

also z. B. durch die engen Spalte des optischen Gitters, hindurchtritt, wird nach allen Seiten abgelenkt (vgl. Fig. 7). So tritt z. B. in Fig. 12 Licht unter einem Winkel σ gegen die optische Achse aus den einzelnen Öffnungen des Gitters aus. Vereinigt man die Lichtstrahlen in der hinteren Brennebene einer Linse (parallel aus dem Unendlichen kommende Lichtstrahlen werden in der hinteren Brennebene eines Objektivs vereinigt; vgl. S. 3), so wird große Helligkeit an allen den Stellen entstehen, in denen die Strahlen mit einer Phasendifferenz von einem Vielfachen der Wellenlänge eintreffen. Man erhält demnach ein Maximum an Helligkeit dann, wenn nach den Größen der Fig. 12:

$$d \cdot \sin \sigma = n \cdot \lambda \quad (8)$$

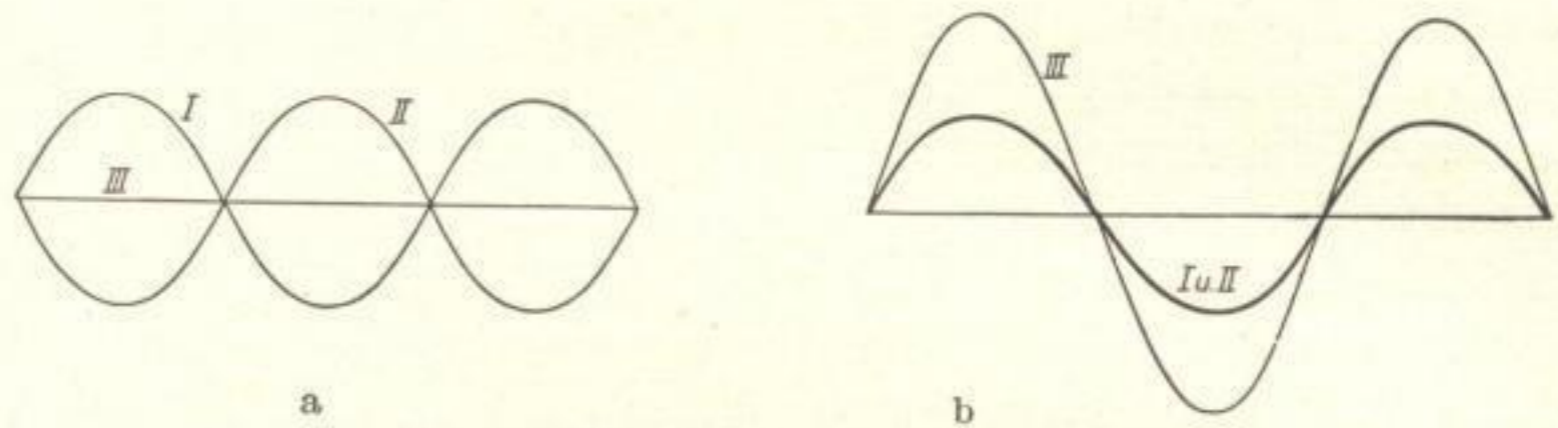


Fig. 13. Überlagerung zweier Wellen.

ist. Hierbei bezeichnet man als *Gitterkonstante* d den Abstand zwischen den Mitten zweier nebeneinander liegender Spalte. Das erste Helligkeitsmaximum liegt auf der optischen Achse bei A . Das benachbarte Maximum erhält man in B für einen Winkel σ , der gegeben ist durch:

$$\sin \sigma = \lambda/d, \quad (8a)$$

das nächste für einen Winkel σ_1 gemäß:

$$\sin \sigma_1 = 2 \lambda/d \quad (8b)$$

usf.

Soll das Gitter nach Fig. 12 abgebildet werden, so wird das Licht von den einzelnen Helligkeitsmaximis in der hinteren Brennebene des Objektivs, die gleichsam nebeneinander liegende in ihrer Schwingung miteinander gekoppelte Lichtquellen darstellen, nach der Bildebene strahlen. Hierbei entsteht durch Interferenz eine Lichtverteilung, die unter gewissen Bedingungen dem Objekt ähnlich ist, beispielsweise also das Gitter auflöst.

Es ergibt sich, daß das nullte Beugungsmaximum, d. h. das ungebeugt durch das Objekt tretende Licht (Punkt A in Fig. 12) allein nicht ausreicht, um das Gitter aufzulösen. Für eine dem Objekt entsprechende Darstellung der lichtdurchlässigen Spalte ist es vielmehr notwendig, daß ein weiteres Beugungsmaximum zur Abbildung zugelassen wird. Fällt das Licht nach Fig. 12 in Richtung der optischen Achse auf das Objekt, so erhält man die Größe des Strahlenkegels, der mindestens

zur Abbildung benutzt werden muß, als:

$$\sin \sigma = \lambda/d \quad [\text{vgl. Formel (8a)}].$$

Da aber $\sin \sigma$ gleich der numerischen Apertur des Objektivs ist, ergibt sich:

$$d = \lambda/A_0 \quad (8c)$$

als kleinste noch aufgelöste Gitterstruktur bei achsenparallelem Einfall des Lichtes der Wellenlänge λ und bei Abbildung mit einem Objektiv der numerischen Apertur A_0 .

ABBE fand bei seinen Untersuchungen, daß bei Beleuchtung des Objektes mit zur optischen Achse parallelem Licht nicht die höchste Auflösung erzielt wurde, sondern daß unter einem bestimmten Winkel zur Achse einfallendes Licht bedeutend mehr aufzulösen gestattete. Die Erklärung hierfür kann an Hand von Fig. 14 gegeben werden.

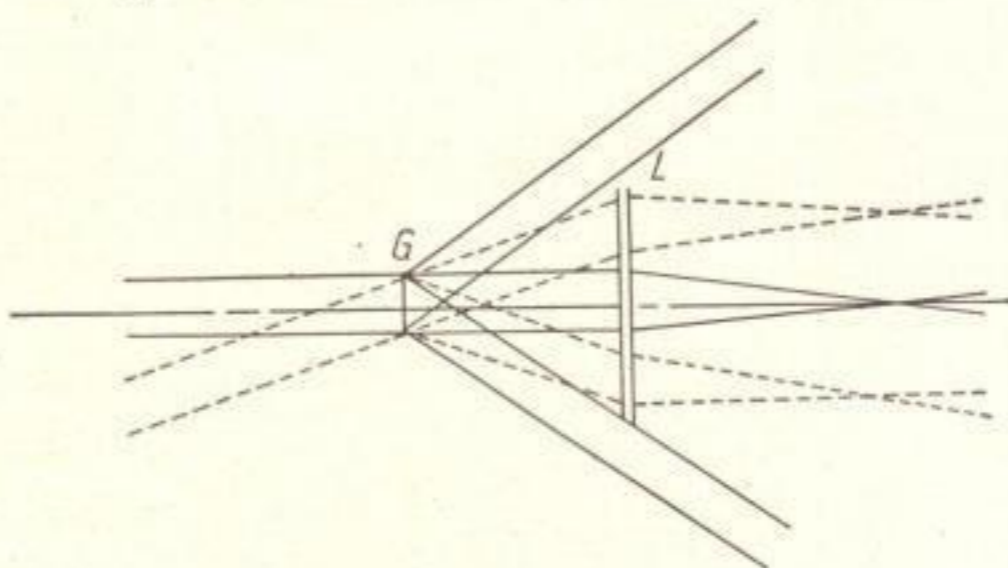


Fig. 14. Erhöhung der Auflösung durch schiefe Beleuchtung.

Wird ein gitterförmiges Objekt G mit zur Achse parallelem Licht beleuchtet, so kann bei entsprechender Feinheit des Gitters (kleine Gitterkonstante) nur das mittlere Maximum in das Objektiv L gelangen, während die seitlichen Maxima an der Fassung des Objektivs vorbeigehen. Die Gitterstruktur wird demnach nicht aufgelöst (ausgezogen gezeichnete Strahlen). Fallen dagegen die beleuchtenden Strahlen schräg auf das Objekt, so daß sie eben noch vom Objektiv aufgenommen werden, so gelangt ein seitliches Maximum mit in das Objektiv (gestrichelt gezeichnet). Die Struktur wird also aufgelöst. Man erkennt, daß es bei der Abbildung eines nicht selbstleuchtenden Objektes darauf ankommt, mit welcher Apertur das Objekt beleuchtet wird. Rechnungsmäßig wird diese Tatsache dadurch ausgedrückt, daß in die Formel für den kleinsten Abstand der Elemente einer gitterförmigen Struktur die Apertur der beleuchtenden Strahlen \bar{A}_b mit eingeht, und zwar in der Form¹⁾:

$$d = \frac{\lambda}{\bar{A}_b + A_0} \quad (8d)$$

¹⁾ Zu beachten ist hierbei, daß die beleuchtenden Strahlen nur unter einem ganz bestimmten Winkel σ_b auf das Objekt fallen, aus dessen Sinus sich die Apertur \bar{A}_b ergibt. Das Objektiv ist dagegen voll geöffnet. Es nimmt daher Strahlen aller Aperturen bis zur Apertur A_0 auf. A_0 ist demnach Grenzapertur des voll geöffneten Objektivs.

Maximales Auflösungsvermögen erhält man für $\bar{A}_b = A_0$:

$$d = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{A_0}. \quad (8e)$$

Dies besagt, daß das nullte Maximum soeben noch in das Objektiv gelangen kann, während das erste an der anderen Seite der Objektivfassung soeben zur Abbildung beiträgt.

Diese günstige Beleuchtung ist in Fig. 14 (gestrichelt) erreicht (vgl. auch die in Fig. 15a dargestellte Lichtverteilung in der hinteren Brennebene des Objektivs). Da jede andere Beleuchtungsart geringere Auflösung ergibt, ist es nach der ABBESCHEN Abbildungstheorie notwendig,

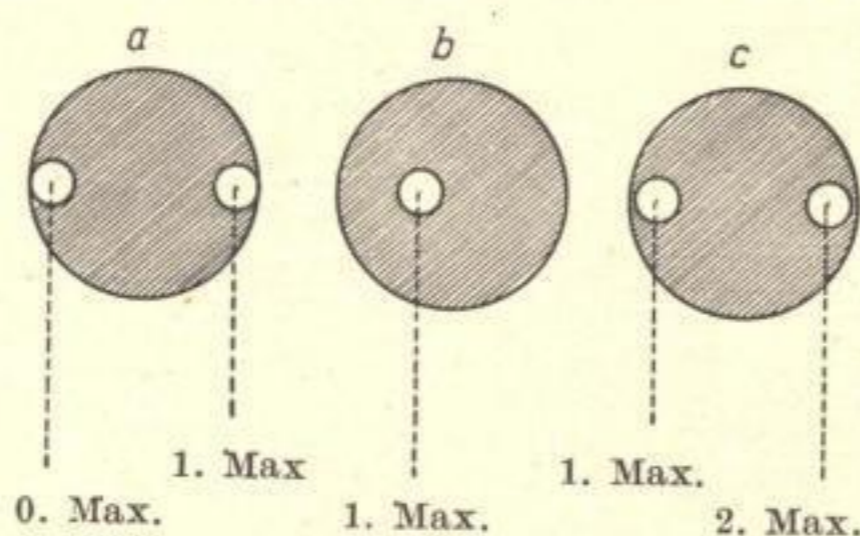


Fig. 15. Lichtverteilung in der hinteren Brennebene eines Mikroskopobjektivs bei Abbildung eines Strichgitters.

das Objekt mit engen Bündeln zu beleuchten, deren Apertur gleich der Objektivapertur ist, denn alle Bündel, die geringere Auflösung bewirken, verringern den Kontrast im Bild.

Wächst die Apertur der beleuchtenden Strahlen, so wird sich das nullte Maximum aus der Objektivfassung herausbewegen, während das erste Maximum weiter zur Mitte der Objektivöffnung hinrückt (Fig. 15b).

Da ein Maximum zur Abbildung nicht ausreicht, muß notwendigerweise die Apertur des Objektivs erhöht oder die Anforderung an Trennung feinsten Strukturen verringert werden. Eine dem Fall $\bar{A}_b = A_0$ gleichwertige Auflösung kann erst wieder eintreten, wenn das erste seitliche Maximum gerade noch ins Objektiv fällt, während das zweite soeben hineingelangt (Fig. 15c). Dies ist der Fall für eine Apertur der beleuchtenden Strahlen von:

$$\bar{A}_b = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{d}, \quad \frac{3}{2} \frac{\lambda}{d} \dots$$

während für Aperturen der beleuchtenden Strahlen von:

$$\bar{A}_b = 0, \quad \frac{\lambda}{d}, \quad \frac{2\lambda}{d} \dots$$

das geringste mögliche Auflösungsvermögen, nämlich eine Breite der aufgelösten Struktur von:

$$d = \lambda/A_0$$

erreicht ist.

Fällt kein direktes Licht mehr in das Objektiv ($\bar{A}_b > A_0$, Fall b und c in Fig. 15), sondern nur noch abgelenktes Licht, so können natürlich

nur noch diejenigen Stellen als leuchtend abgebildet werden, welche die Beugung verursachen. Bei dieser sogenannten *Dunkelfeld-Beleuchtung* werden daher nur die Ränder einer Struktur aufleuchten, während der Untergrund dunkel bleibt.

Die Beleuchtung des Objektes unter verschiedenem Winkel zur optischen Achse durch Verändern der Lichtquelle zu erreichen (vgl. Fig. 14), ist unbequem. Es empfiehlt sich, die Beleuchtung unter verschiedener Apertur durch eine Linse herzustellen, deren Apertur für die gewünschte Anordnung ausreichend ist. In Fig. 16 ist eine solche Anordnung gezeichnet. Von der vorderen Brennebene E_1 der Beleuchtungslinse K (sog. *Kondensator*) treffen die beleuchtenden Strahlenbündel (z. B. I II II' III III') durch den Kondensator unter verschiedenem Winkel auf das Objekt O .

Sie werden vom Objektiv L aufgenommen und in dessen hinterer Brennebene E_2 vereinigt. In der Ebene E_1 befindet sich eine Lichtquelle oder ihr Bild. Bringt man in E_1 eine Blende an (Aperturblende der Beleuchtung), so kann man den

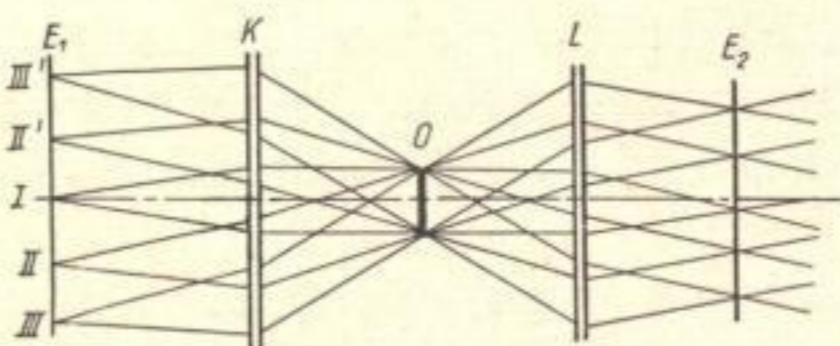


Fig. 16. Ausleuchtung eines Objektes mit einem Kondensator.

Bereich der beleuchtenden Apertur verringern, da durch sie die einzelnen Beleuchtungsbündel (erst III III', dann II II') abgeschnitten werden. Verschiebt man die Blende senkrecht zur optischen Achse, so erreicht man schiefe Beleuchtung (z. B. mit dem Strahlenbündel III). Die Objektebene O bleibt hierbei vollständig gleichmäßig ausgeleuchtet.

Nach den Ausführungen auf S. 20 ist es gemäß der *ABBESCHEN* Abbildungstheorie zur Erzeugung möglichst gut aufgelöster kontrastreicher Bilder notwendig, daß das Objekt mit engen Bündeln beleuchtet wird. Sie sollen unter einer Apertur einfallen, die gleich der des Objektivs ist. Beim Mikroskopieren ergibt sich jedoch, daß die von *ABBE* vorgeschlagene Beleuchtungsart nicht immer günstig ist, sondern daß im Gegenteil gerade eine gleichmäßige Ausleuchtung des Objektivs die günstigsten Ergebnisse liefert. Wenn man diesen Befund deuten will, so muß man zunächst einmal untersuchen, welche besonderen Eigenschaften die Abbildung eines Nichtselbstleuchters hat, die nach *ANSICHT ABBES* bei der Mikroskopie vorliegt, und wodurch sie sich von der eingangs besprochenen Selbstleuchterabbildung unterscheidet.

Während bei der Abbildung eines Selbstleuchters vom Objekt ein Strahlenkegel ausgeht, der vom Objektiv aufgenommen und in der Bildebene wieder vereinigt wird, wird bei der Abbildung eines Nichtselbstleuchters nach den Vorschriften *ABBES* das Licht durch das Objekt in bestimmte Richtungen zerlegt, die in der hinteren Brenn-

ebene des Objektivs als diskrete Beugungsmaxima auftreten. Diese Beugungsmaxima interferieren miteinander und ergeben im Bildraum in verschiedenen Ebenen senkrecht zur optischen Achse eine Helligkeitsverteilung, die unter günstigen Umständen (z. B. dann, wenn das ungebeugte Licht und das erste seitliche Beugungsmaximum zur Abbildung gelangt) auf die Objektstruktur schließen läßt. Eine dieser Ebenen im Bildraum ist die geometrisch dem Objekt zugeordnete Bildebene. Eine eindeutige Zuordnung von Objekt und Bild fehlt jedoch. Da die „Bilder“ in verschiedenen Ebenen hintereinander angeordnet sind, weisen sie, gemäß dem geometrisch-optischen Strahlenverlauf, verschiedene Größe auf, so daß Größenbeziehungen nur relativ zueinander, nicht aber absolut festgestellt werden können. Da die Abbildung eines Nichtselbstleuchters auf der Interferenz einzelner Beugungsmaxima beruht, die nur unter gewissen Bedingungen ein dem Objekt entsprechendes Bild ergibt, muß für diese Abbildung der Begriff Objektähnlichkeit des Bildes, wie er für Selbstleuchter gebraucht wird, durch Auszählbarkeit der Strukturelemente ersetzt werden. (Der auffälligste Fall der Unähnlichkeit tritt z. B. im Dunkelfeld ein, bei dem die Helligkeitswerte denen des Hellfeldbildes entgegengesetzt sind.)

Da Interferenzerscheinungen sehr kontrastreich sind, wird die Abbildung eines Nichtselbstleuchters kontrastreicher sein als die eines Selbstleuchters. Die Nichtselbstleuchter-Abbildung wird demnach Objekte, deren Elemente geringe Absorptions- oder Reflexionsunterschiede aufweisen, gut sichtbar machen. Man erkennt hieraus, daß ein selbstleuchtendes Objekt ähnlichere, allerdings meist flauere Bilder ergibt als ein nicht selbstleuchtendes Objekt. Dies kann jedoch durch Wahl eines geeigneten Plattenmaterials ausgeglichen werden. Es sind demnach für mikroskopische Beobachtungen Bilder erwünscht, die denen selbstleuchtender Objekte ähnlich sind.

Eine der Selbstleuchter-Abbildung gleichwertige Abbildung eines nicht selbstleuchtenden Objektes findet gemäß der BEREKSchen Theorie immer dann statt, wenn an irgendeiner Stelle des Strahlenganges zwischen Objekt und Bild eine Helligkeitsverteilung besteht, die gleich derjenigen bei Abbildung eines Selbstleuchters ist. Charakteristisch für einen Selbstleuchter ist, daß er Licht nach allen Richtungen des Raumes sendet, demnach die Öffnung des abbildenden Objektivs gleichmäßig mit Licht erfüllt. Charakteristisch für ein nicht selbstleuchtendes Objekt ist es, daß es Licht (die Beugungsmaxima) in bestimmte Richtungen des Raumes aussendet. Beleuchtet man das Objekt in verschiedenen Richtungen, so daß sich die Beugungsmaxima überlagern und dadurch das abbildende Objektiv gleichmäßig aus-

leuchten, so erhält man im Bildraum eine Lichtverteilung, die von der eines Selbstleuchters nicht mehr zu unterscheiden ist. Jede Störung der gleichmäßigen Ausleuchtung, sei es durch eine entsprechend gewählte Beleuchtungsanordnung (ABBES Beleuchtungsvorschrift), sei es durch Blenden, die in der hinteren Brennebene des Objektivs angeordnet werden, bringt eine Abbildung hervor, die mehr oder weniger Erscheinungen aufweist, die der Abbildung eines Nichtselbstleuchters entsprechen.

Daraus folgt, daß eine der Selbstleuchterabbildung äquivalente Abbildung nur im Hellfeld vorhanden ist, und zwar dann, wenn die Apertur des Kondensors der des Objektivs gleich ist. Abblendung des Kondensors oder Verschieben der Blende zur Erzeugung schiefer Beleuchtung führt zu Nichtselbstleuchter-Abbildung. Die Objektähnlichkeit wird verringert, der Kontrast im Bild jedoch erhöht. Für eine günstige Abbildung wird man daher folgendes Verfahren empfehlen können:

Um festzustellen, ob eine Struktur im Objekt vorhanden ist, wird man die Beleuchtung so kontrastreich wie möglich wählen. Dies bedeutet, daß man die Irisblende des Kondensors soweit wie möglich schließt und unter Umständen exzentrisch stellt. Hat man die Struktur gefunden, so ist es ratsam, die zentral stehende Kondensorblende so weit zu öffnen, bis das Bild merklich flau wird. Ein objektähnliches und zugleich genügend kontrastreiches Bild ergibt sich meist, wenn $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ der Objektivöffnung ausgeleuchtet ist.

Auffällig ist, daß das Auflösungsvermögen eines nicht selbstleuchtenden Objektes im günstigsten Fall demjenigen entspricht, das für ein selbstleuchtendes Objekt abgeleitet wurde. Durch die BEREKSche Theorie wurde der Zusammenhang zwischen einem Selbstleuchter und einem Nichtselbstleuchter gegeben. Er besteht, wie im vorhergehenden gezeigt wurde, darin, daß bei der Abbildung eines Nichtselbstleuchters nur ganz diskrete Lichtbündel die Abbildung bewirken, während bei der Abbildung eines Selbstleuchters alle möglichen in das Objektiv einfallenden Strahlenrichtungen gleichzeitig zur Abbildung beitragen. Es müssen demnach auch die nach der Nichtselbstleuchter-Theorie günstigsten Strahlenrichtungen (zwei Maxima gelangen gerade noch ins Objektiv) bei Selbstleuchter-Abbildung mitwirken. Die nach der Nichtselbstleuchter-Theorie günstige Auflösung bleibt also auch bei der Selbstleuchter-Theorie erhalten. Bei der Abbildung nach der Selbstleuchter-Theorie muß nur, da sie geringeren Kontrast aufweist, ein Kontrastfaktor mit einbezogen werden, der mit Formel (7) durch κ gegeben ist.

5. Abbildungsmaßstab, Schärfentiefe, Auflösungsvermögen.

Die wichtigsten Faktoren, die bei gut korrigiertem Objektiv auf die Abbildung einwirken, sind Abbildungsmaßstab, Schärfentiefe und Auflösungsvermögen¹⁾.

Durch Erhöhung der numerischen Apertur eines Objektivs wächst sein Auflösungsvermögen. Dabei sinkt jedoch die Schärfentiefe der Abbildung. Durch die vergrößerte Abbildung des Objektes wird erreicht, daß zwei vom Objektiv aufgelöste Objektstellen vom Auge als zwei diskrete Elemente empfunden werden. Auch hierbei ergibt sich, daß mit Erhöhung des Abbildungsmaßstabes der scharf abgebildete Tiefenbereich sinkt. Zur Erreichung optimaler Abbildung ist es notwendig, zu untersuchen, in welcher Beziehung der Abbildungsmaßstab und die numerische Apertur zueinander stehen müssen, damit ein Bild physikalisch und physiologisch gut aufgelöst und dabei in einem möglichst großen Tiefenbereich scharf abgebildet erscheint.

Bezeichnet man den Abstand zweier Bildelemente, die vom Auge soeben noch getrennt werden (vgl. S. 9) mit d' , so müssen bei einem Abbildungsmaßstab β'_1 zwei vom Objektiv soeben noch getrennte Objektelemente im Abstand:

$$d = d' / \beta'_1$$

liegen. Vereinigt man diese Bedingung mit der Auflösungsformel (7), so erhält man:

$$\beta'_1 = \frac{d'}{\alpha \cdot \lambda} A_0. \quad (9)$$

Diese Gleichung gibt den für ein Objektiv der numerischen Apertur A_0 günstigsten Abbildungsmaßstab β'_1 an. Eine Erhöhung des Abbildungsmaßstabes würde dem Auge keine feineren Objektstrukturen mehr darbieten können, sondern sich nur ungünstig auf die Schärfentiefe auswirken. Andererseits würde bei einer Verkleinerung des Abbildungsmaßstabes zwar die Schärfentiefe größer werden, jedoch die vom Objektiv aufgelöste Struktur vom Auge nicht mehr getrennt werden. Aus der Beziehung (9) kann demnach ermittelt werden, in welchem Verhältnis numerische Apertur des Objektivs und Abbildungsmaßstab zueinander stehen müssen, damit bei einem möglichst großen scharf abgebildeten Tiefenbereich alles das erkannt werden kann, was das Objektiv auflöst.

Wie schon mehrfach erwähnt, kann das Auge bei Betrachtung eines Bildes in deutlicher Sehweite (25 cm) Einzelheiten bis zu einem Ab-

¹⁾ Vgl. hierzu auch die Bilder von Fig. 62, die durch Objektive verschiedener Apertur bei gleichem Abbildungsmaßstab erzeugt wurden.

stand von $d' = 1/15$ mm herab trennen. Der Faktor α soll für normal empfindliches Aufnahmematerial mit 0,6 angesetzt werden. Das Objekt mag mit blauem Licht (Wellenlänge $\lambda = 0,45 \cdot 10^{-3}$ mm) abgebildet werden. Dann ergibt sich aus Formel (9):

$$\beta'_1 = 250 A_0.$$

Dies bedeutet, daß für einen geschulten Beobachter der Abbildungsmaßstab bei optimaler Abbildung mindestens das 250fache der numerischen Apertur des Objektivs betragen muß. Ein ungeschulter Beobachter wird unter Umständen eine Strecke von $1/15$ mm noch nicht deutlich erkennen können. Für ihn muß die Strecke mindestens das Doppelte bis das Vierfache lang sein. Man kann also sagen, daß für geschulte Beobachter der Abbildungsmaßstab das 250fache bis 500fache der numerischen Apertur betragen muß, während er für ungeschulte Beobachter gleich dem 500fachen bis 1000fachen der numerischen Apertur des Objektivs sein soll. Man bezeichnet den Bereich:

$$250 A_0 \leq \beta'_1 \leq 500 A_0 \quad (10a)$$

als das Gebiet des *kleinst nutzbaren Abbildungsmaßstabes*¹⁾, während der Bereich:

$$500 A_0 \leq \beta'_1 \leq 1000 A_0 \quad (10b)$$

das Gebiet des *förderlichen Abbildungsmaßstabes*¹⁾ heißt. Wird der Abbildungsmaßstab höher als $1000 A_0$, so kann in keinem Fall neue Struktur erkannt werden. Man bezeichnet diesen Abbildungsmaßstab, der wirkungslos bleibt, als *tot* oder *leer*¹⁾.

Bei einem Druckraster, dessen einzelne Rasterelemente vom Auge erkannt werden, muß der Abbildungsmaßstab so eingerichtet werden, daß das *Raster* die Objektfeinheiten wiedergeben kann. Es wird sich in diesem Fall also der Abstand d' einzig und allein nach der Feinheit des Rasters richten. Es sei dies hier ausdrücklich betont, da oftmals Mikroaufnahmen für Veröffentlichungen angefertigt werden. Hier wird u. U. eine Objektstruktur, die in der Photographie gut zu erkennen ist, vom Raster überhaupt nicht wiedergegeben, weil der Abbildungsmaßstab für direkte Betrachtung der Photographie gewählt war.

Werden zwei Objektelemente gut getrennt, wenn sie im Druck auf Kunstdruckpapier einen Abstand $d' = 1/2$ mm haben, so ergibt sich der Zusammenhang zwischen Apertur und Abbildungsmaßstab zu:

$$\beta'_1 = 2000 A_0. \quad (10c)$$

¹⁾ Geläufiger sind die Begriffe *kleinst nutzbare*, *förderliche* und *leere Vergrößerung*, die bei der subjektiven Betrachtung eines Objektes durch ein Mikroskop Anwendung finden (vgl. S. 3, Fußnote).

Vereinigt man die auf S. 9 gefundene Formel (6) für die Größe des scharf abgebildeten Bereiches mit der Beziehung (9) zwischen Abbildungsmaßstab und Apertur, so erhält man:

$$\Delta = \varkappa \cdot \lambda \cdot \frac{\delta'}{d' \cdot A_0^2}.$$

Je größer das Aufnahmeraster ist, um so größer ist der Durchmesser des Zerstreuungsscheibchens, das noch als punktförmig erkannt wird. Andererseits muß der Abstand d' zweier noch getrennt wahrgenommener Bildelemente um so größer sein, je größer das Aufnahmeraster ist. δ' wächst demnach gleichsinnig mit d' , wenn das Raster größer wird. Man kann schreiben:

$$\delta' = \alpha \cdot d',$$

wobei der Proportionalitätsfaktor α stets kleiner als 1 sein muß, da der Zerstreuungskreis mit dem Durchmesser δ' noch punktförmig erscheint, wenn die Länge d' schon als Strecke erkannt wird. Setzt man obige Beziehung in die Gleichung für Δ ein, so ergibt sich:

$$\Delta = \varkappa \cdot \lambda \cdot \alpha \cdot 1/A_0^2. \quad (11)$$

Ist die numerische Apertur eines Objektivs so auf den gewählten Abbildungsmaßstab abgestimmt, daß all das, was das Objektiv auflöst, gerade vom Aufnahmeraster getrennt wird, so ergibt sich:

1. daß die Schärfentiefe durch die Feinheit des Aufnahmerasters nicht beeinflusst wird [d' und δ' heben sich in Formel (11) weg];
2. daß bei Auflösung sehr feiner Strukturen die Schärfentiefe stark absinkt [$1/A_0^2$ in Formel (11)];
3. daß größere Schärfentiefe erzielt wird, wenn man eine bestimmte Struktur mit kurzwelligem (blauem) Licht auflöst als mit langwelligem (rotem) Licht [λ/A_0^2 in Formel (11)].

Im folgenden soll als Beispiel eine Tabelle gegeben werden, in der für verschiedene Aperturen (I) der kleinst nutzbare Abbildungsmaßstab (II), der förderliche Abbildungsmaßstab (III), der für einen Autotypiedruck (Entfernung zweier noch getrennter Bildelemente ca. $1/2$ mm) nötige Abbildungsmaßstab (IV), der Abstand zweier aufgelöster Objektelemente (V) und der bei dieser Abbildung scharf abgebildete Tiefenbereich (VI) aufgeführt sind. Hierbei wurde angenommen, daß der Durchmesser des Zerstreuungskreises, der dem Betrachter noch als punktförmig erscheint, halb so groß ist wie der Abstand zweier noch getrennt wahrgenommener Bildteile ($\alpha = 1/2$). Wie in den vorherigen Betrachtungen werde ferner blaues Licht ($\lambda = 0,45 \cdot 10^{-3}$ mm) zur Abbildung benutzt.

I	II	III	IV	V mm	VI mm	
0,1	25-50	50-100	200	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	} Trocken- objektive
0,2	50-100	100-200	400	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	
0,3	75-150	150-300	600	$9 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	
0,4	100-200	200-400	800	$7 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	
0,5	125-250	250-500	1000	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	
0,6	150-300	300-600	1200	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	
0,7	175-350	350-700	1400	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	
0,8	200-400	400-800	1600	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	
0,9	225-450	450-900	1800	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	} Immer- sions- objektive $n = 1,5$
1,0	250-500	500-1000	2000	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	
1,1	275-550	550-1100	2200	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	
1,2	300-600	600-1200	2400	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	
1,3	325-650	650-1300	2600	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	

6. Geometrische Fehler.

Bisher wurde über die Form der Objektive keine Aussage gemacht. Vielmehr wurde angenommen, daß die Abbildung fehlerfrei ist, daß also z. B. ein Punkt, abgesehen von Beugungserscheinungen, wieder in einem Punkt abgebildet wird. Nun haften aber den optischen Linsen Abbildungsfehler an, die teils von der Form der Linsenflächen (Kugelflächen), teils von den Eigenschaften des Glases, aus dem sie bestehen, herrühren. Es ist daher notwendig, einiges über die bei den Objektiven auftretenden Fehler zu sagen.

a) Der Farbfehler.

Da der Brechungsexponent n des Glases für die verschiedenen Wellenlängen des Lichtes und damit für die verschiedenen Farben verschieden groß ist, werden die Lichtstrahlen bei ihrem Durchtritt durch das optische System in ihre Spektralfarben zerlegt. Das Bild eines farblosen Objektes, das von einer einfachen Linse entworfen wird, weist demnach Farberscheinungen auf.

Der Farbfehler äußert sich in zweierlei Art:

1. In Fig. 17a ist O ein Objektpunkt, der durch die Linse L abgebildet wird. Der Punkt O sendet weißes Licht aus, z. B. den Strahl OA . Da nun der Brechungsexponent des Glases, aus dem die Linse L besteht, für die verschiedenen Farben, aus denen sich das weiße Licht zusammensetzt, verschieden groß ist, wird auch die Brechkraft der Linse für die einzelnen Farben verschieden groß sein. Der weiße Licht-

strahl wird demnach in ein farbiges Lichtbündel aufgeteilt, das durch $O'_1 O'_2 O'_3$ dargestellt ist. Man erhält von dem Punkt O bei Abbildung mit einer einfachen Linse verschiedene auf der optischen Achse hintereinander angeordnete Bildpunkte, in denen jeweils nur das Bild einer Farbe scharf ist. Die Bilder der übrigen Farben sind an der betreffenden Stelle unscharf und geben einen mehr oder weniger großen Streukreis.

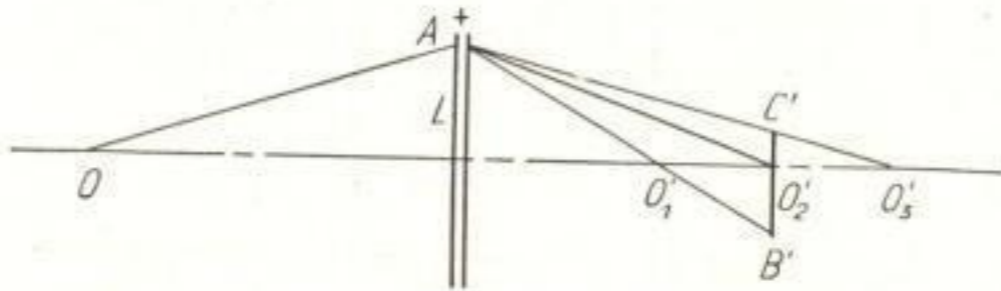


Fig. 17a. Chromatische Längsaberration bei Abbildung eines Achsenpunktes.

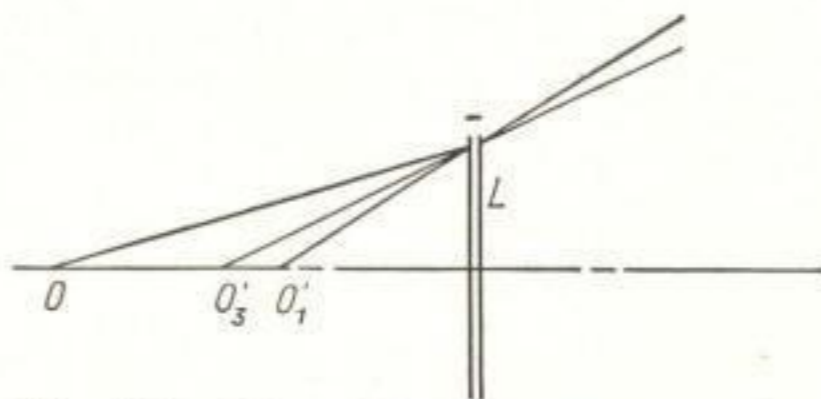


Fig. 17b. Chromatische Längsaberration einer Zerstreuungslinse.

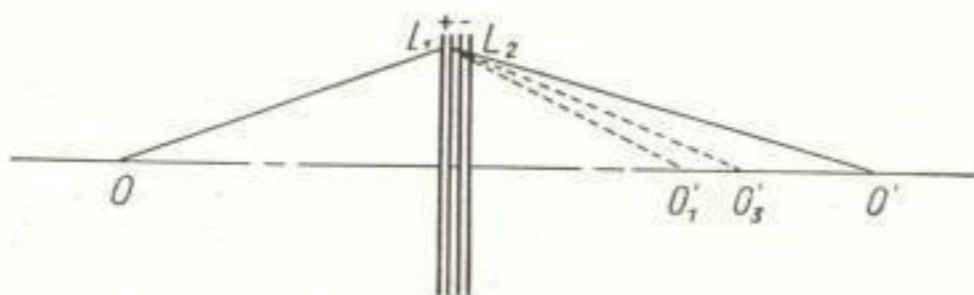


Fig. 17c. Behebung des Farbfehlers durch eine Sammellinse und eine Zerstreuungslinse.

Abbildungsmaßstab für die verschiedenen Farben verschieden groß sein. Man erhält ein Bild, das je nach den auftretenden Farbfehlern verschieden breite, farbige Ränder aufweist. Dieser Fehler heißt Farbenvergrößerungsfehler.

Eine den soeben behandelten Sammellinsen gerade entgegengesetzte Wirkung weisen die Zerstreuungslinsen auf. (Vgl. Fig. 17b.) Die vom Objektpunkt O kommenden Strahlen werden von der optischen Achse weggebrochen. Der virtuelle Bildpunkt O'_1 der blauen Strahlen liegt näher an der Linse als der virtuelle Bildpunkt O'_3 der roten Strahlen. Kombiniert man daher eine Sammellinse und eine Zerstreuungslinse, so muß nach Fig. 17c eine völlige oder teilweise Behebung des Farbfehlers bei gleichzeitiger sammelnder Wirkung des Gesamtsystems dann gelingen, wenn man die Zerstreuungslinse aus einem stark farben-

Die Brechkraft einer Sammellinse ist für blau am größten (Bildpunkt O'_1), für rot am geringsten (Bildpunkt O'_3). In O'_2 erhält man ein scharfes Bild grüner Farbe, das von roten ($O'_2 C'$) und blauen ($O'_2 B'$) Zerstreuungskreisen umgeben ist. Dieser Fehler heißt chromatische Längsaberration oder Farbfehler der Bildweiten.

2. Natürlich wird auch eine Verschiedenheit der Bildweiten vorhanden sein, wenn das Objekt unendlich weit vom Objektiv entfernt ist; d. h. aber, daß die Brennweite für die verschiedenen Farben verschieden groß ist. Da nun der Abbildungsmaßstab eines Objektivs eine Funktion der Brennweite ist, wird bei der Abbildung mit einer gewöhnlichen Linse der

zerstreuenden Material herstellt, da diese dann trotz geringer brechender Wirkung eine genügend große, der Sammellinse entgegengesetzte farbige Abweichung aufweist. Ein solches *achromatisches System* ist in Fig. 18 dargestellt. Man erkennt die stark sammelnde, wenig farb-streuende Kronglaslinse und die mit ihr verkittete, wenig brechende, aber stark farbzerstreuende Flintglaslinse.

Die farbige Abweichung der Flintglaslinse gleicht nicht vollkommen der Abweichung der Kronglaslinse. Vielmehr lassen sich auf diese Weise nur zwei Farben des Spektrums an einem Bildort vereinigen, während die Bilder der anderen mehr oder weniger hiervon abweichen. Dies ist in Fig. 19 für ein Mikroskopobjektiv dargestellt. Über der Wellenlänge des Lichtes ist hier die farbige Längsabweichung von der

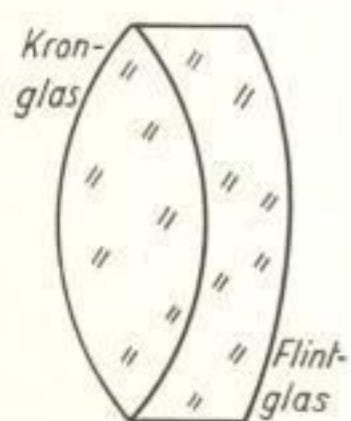


Fig. 18. Achromatisches Objektiv.

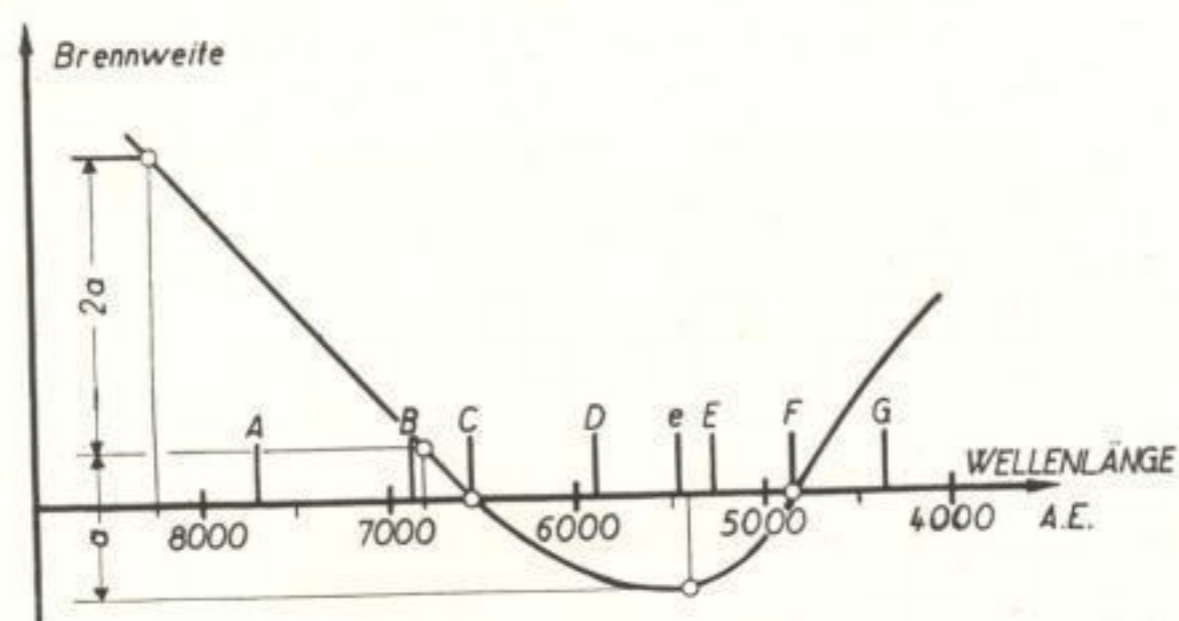


Fig. 19. Farbige Längs-Abweichung eines Mikroskop-Objektives.

Einstellebene aufgetragen. Man sieht, daß sich zwar Blaugrün und Orange decken, daß aber Grün zum Objektiv, Blau und Rot vom Objektiv weg abweichen. Diese noch bleibenden farbigen Reste nennt man das sekundäre Spektrum. Es fällt bei der Mikrophotographie meist nicht auf, da (vgl. S. 180) im allgemeinen mit Farbfiltern gearbeitet wird, die nur eine bestimmte Farbe zur Abbildung zulassen.

Wie aus Fig. 19 hervorgeht, wird bei Mikroskopobjektiven die chromatische Längsaberration behoben. Der Farbenvergrößerungsfehler bleibt bestehen und wird, wie später gezeigt wird, durch andere Mittel korrigiert (vgl. S. 42). Zur Erzielung eines noch farbenreineren Bildes, wie es die für technische und wissenschaftliche Aufnahmen gut brauchbaren Achromate zeigen, muß das sekundäre Spektrum beseitigt werden. Dies gelingt durch Vereinigung der Bilder dreier Farben. Die Objektive, die dies leisten, heißen Apochromate. Außer diesen gibt es Halbapochromate (Fluoritsysteme), die in der Korrektur zwischen den Achromaten und den Apochromaten stehen.

Ein Beheben der Farbfehler bei Achsenstrahlen allein genügt noch nicht zur Erzeugung eines farbenreinen Bildes. Es ist bei der Kon-

struktion der Objektive auch auf Farbenfreiheit bei Abbildung mit Randstrahlen zu achten (Behebung der Sphäro-Chromasie).

b) Sphärische Abweichung und Sinusbedingung.

Die einfachen Linsen weisen einen weiteren Fehler auf, der unbedingt behoben werden muß, nämlich die *sphärische Aberration*. Wird ein von einem Achsenpunkt divergent ausgehendes Lichtbündel durch

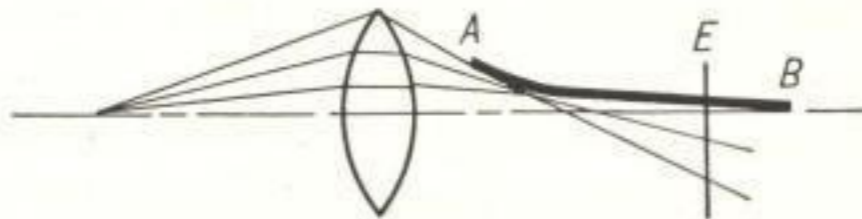


Fig. 20a. Sphärische Abweichung bei einer Sammellinse.



Fig. 20b. Kaustik durch Spiegelung an einem Ring.

Werkphoto Busch, phot. H. POLENSKI.

eine Linse gesammelt, so ist es bei einer normalen sphärischen Linse nicht möglich, die Strahlen wieder in einem einzigen Punkt zu vereinigen. Es ergibt sich vielmehr, daß der Bildpunkt achsennaher Strahlen weiter vom Objektiv entfernt ist als der Bildpunkt, der durch Randstrahlen erzeugt wird (Fig. 20a). In der Bildebene erhält man demnach nur für eine Strahlenrichtung, z. B. für achsennahe Strahlen, punktförmige Vereinigung, während die Randstrahlen Zerstreuungsscheibchen geben. Ein Bild von dieser durch die Kugelgestalt der Linse hervorgerufenen Erscheinung kann man sich machen, wenn man das Licht einer Glühlampe von der Innenseite eines Ringes auf eine weiße Unterlage reflektieren läßt (vgl. Fig. 20b). Es

ergibt sich hier, ähnlich dem Kurvenzug *AB* in Fig. 20a, an Stelle des Bildes der Lichtquelle eine Strahlenvereinigungsfigur, die man *Kaustik* nennt. Diese Kaustiken tragen natürlich wesentlich zur Bildverschlechterung bei. Man muß daher versuchen, sie so klein wie möglich zu halten, d. h. man muß die Objektive sphärisch korrigieren. Da die sphärische Abweichung mit der Größe der Objektivapertur wächst, ist es unbedingt notwendig, gerade bei starken Objektiven eine ausgezeichnete sphärische Korrektur herbeizuführen (vgl. S. 34), sonst wird der Gewinn an Auflösung bei Vergrößerung der nume-

rischen Apertur durch die von sphärischen Fehlern hervorgerufene Verschlechterung des Bildes wieder aufgehoben.

Durch diese Korrektur ist aber das gute geometrisch-optische Auflösungsvermögen noch nicht gesichert; vielmehr muß noch gefordert werden, daß der Abbildungsmaßstab bei Abbildung mit achsennahen Strahlen ebenso groß ist wie bei Abbildung mit Strahlen, die unter einem großen Winkel gegen die optische Achse verlaufen, d. h. bei Strahlen hoher Apertur. In Fig. 21 sei L ein sphärisch korrigiertes System, das den Objektpunkt O_1 als Bildpunkt O'_1 wiedergibt. Das Objekt y wird durch achsennahe Strahlen als y' abgebildet, während sich mit Randstrahlen ein Bild y'' ergibt. Dem Objekt y ist demnach kein eindeutiges Bild zugeordnet. Man erhält an dieser Stelle ein Bild, dessen Kontur unscharf ist (Bereich $O'_2 O''_2$), das demnach für ein genaues Erkennen des Objektes nicht ausreicht.

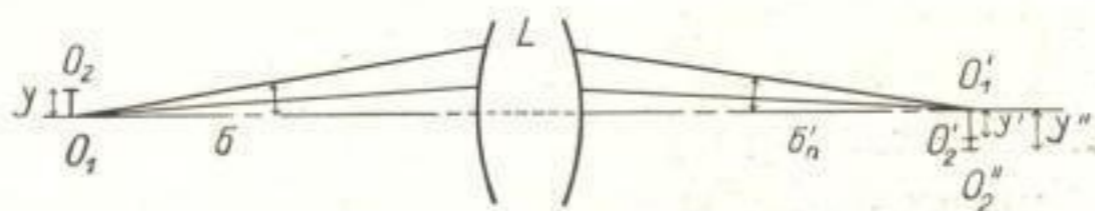


Fig. 21. Fehlerhafte Abbildung eines Achsenpunktes mit einem Objektiv, bei dem die Sinusbedingung nicht eingehalten wurde.

Der Abbildungsmaßstab mit achsennahen Strahlen ist gleich dem Abbildungsmaßstab mit Randstrahlen, wenn die sogenannte *Sinusbedingung* erfüllt ist. Beträgt der Abbildungsmaßstab β'_1 , so ergibt sich nach den Bezeichnungen der Fig. 21 die Sinusbedingung:

$$\frac{n \sin \sigma}{n'_n \sin \sigma'_n} = \beta'_1, \quad (12)$$

wobei n'_n und σ'_n dem Bildraum hinter der letzten Fläche des Objektivs angehören. Aus Formel (12) erkennt man, daß die numerische Apertur vor der Brechung gleich der numerischen Apertur nach der Brechung multipliziert mit dem Abbildungsmaßstab ist. Eine Änderung der numerischen Apertur durch Änderung des Mediums im Objektraum führt zu Bildverschlechterung, da dann die Sinusbedingung nicht mehr eingehalten wird.

c) Astigmatismus und Wölbung.

Bisher wurden nur die Fehler betrachtet, die bei der Abbildung achsennaher Punkte auftreten. Ein von der optischen Achse entfernter Punkt wird astigmatisch, d. h. nicht punktförmig, abgebildet. Man erhält von einem Objektpunkt O (Fig. 22) zwei Bildpunkte, je nachdem, ob man mit Lichtbüscheln abbildet, die in der Zeichenebene

liegen (Bildpunkt O'_1) oder ob man zur Abbildung Lichtbündel senkrecht zur Zeichenebene benutzt (Bildpunkt O'_2). Da dieser Abbildungsfehler mit der Entfernung des Objektpunktes O von der optischen Achse wächst, so folgt, daß die beiden astigmatischen Bilder der Ebene E in Fig. 22 bei Abbildung durch das optische System L auf zwei Bildschalen S_1 und S_2 liegen müssen. Ist das optische System frei von Astigmatismus, so liegen die beiden Bildschalen aufeinander. Es bleibt

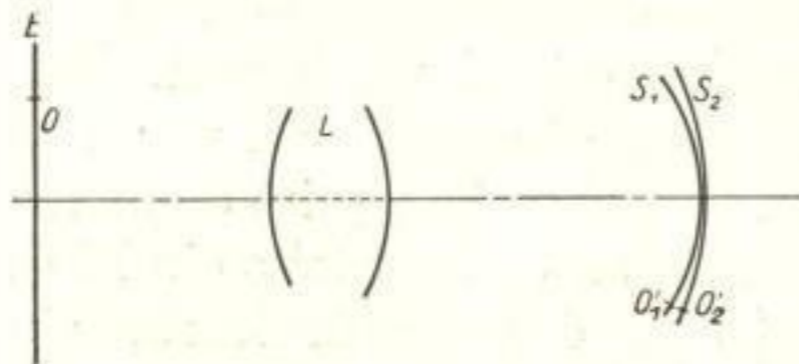


Fig. 22. Fehlerhafte Abbildung durch Astigmatismus und Bildfeldwölbung.

also als Fehler die Bildfeldwölbung übrig. Auf einem Auffangschirm erhält man kein bis zum Rand scharfes Bild, sondern je nach der Einstellung entweder Schärfe in der Bildmitte und Schärfenabfall nach dem Rand zu oder Unschärfe in der Bildmitte und eine scharfe Randzone. Diese Wölbung der Bildebene kann durch

Korrektion des Mikroskopobjektivs allein nur bei schwachen Vergrößerungen (photographische Anastigmaten vgl. S. 33) behoben werden. Bei höheren Vergrößerungen sind besondere Korrektionsmittel (Hormale, vgl. S. 42) nötig¹⁾.

d) Verzeichnung.

Weiterhin muß der Abbildungsmaßstab über die gesamte Fläche des Bildes gleich groß sein, denn nur so ist es möglich, ein Objekt formgetreu wiederzugeben. Wächst bei einem nicht verzeichnungs-

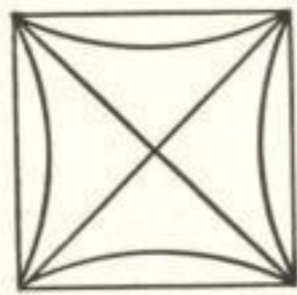


Fig. 23a. Kissenförmige Verzeichnung.

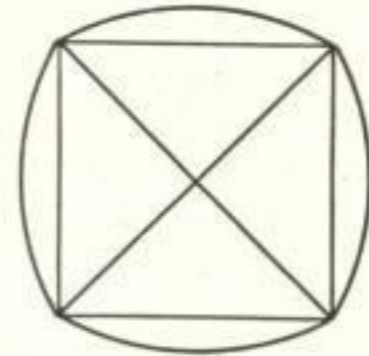


Fig. 23b. Tonnenförmige Verzeichnung.

freien Objektiv der Abbildungsmaßstab nach dem Rand zu, so werden bei der Abbildung eines Quadrates die Eckpunkte weiter entfernt von der Mitte abgebildet als der Mittelpunkt der Seiten. Man erhält demnach die in Fig. 23a dargestellte Figur. Der Fehler wird *kissen-*

¹⁾ Neuerdings ist es durch Erhöhung der Zahl der Linsen gelungen, auch Mikroskopobjektive hoher Apertur mit geübnetem Gesichtsfeld zu konstruieren (vgl. Abb. 25 e S. 35).

förmige Verzeichnung genannt. Umgekehrt erhält man bei zum Rand abnehmendem Abbildungsmaßstab *tonnenförmige Verzeichnung* (Fig. 23b).

7. Objektivformen.

Die Form der Objektivform richtet sich danach, was sie leisten sollen. Für Übersichtsaufnahmen bei schwachen Vergrößerungen benutzt man photographische Anastigmaten, die ein großes Gesichtsfeld scharf und frei von Astigmatismus und Wölbung abbilden. Diese Objektive, die ohne Okulare benutzt werden, ergeben in bezug auf farbige Korrektion und Ebnung des Gesichtsfeldes bessere Bilder als die schwachen Mikroskopobjektive mit Okular. Sie eignen sich jedoch nur zur Projektion und Photographie, nicht zur subjektiven Beobachtung. Die Objektive besitzen meist eine Irisblende zur Verringerung der numerischen Apertur. Es können symmetrische und unsymmetrische Objektive, d. h. Objektive, bei denen entweder das Teilsystem vor der Irisblende dem Teilsystem hinter der Irisblende vollkommen gleich, oder Objektive, bei denen beide Teilsysteme voneinander verschieden sind, verwendet werden (vgl. Fig. 24). Letztere müssen umgekehrt wie photographische Objektive gefaßt sein, da ja im Gegensatz zur Photographie die Bildweite kurz und die Objektweite lang ist (vgl. Tabelle S. 4).



Fig. 24. Symmetrischer photographischer Anastigmat.

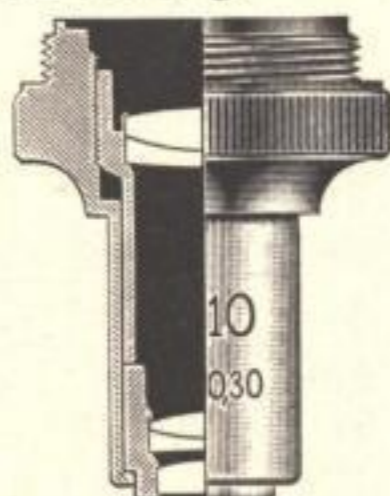


Fig. 25a. Schwaches Mikroskop-Objektiv.

Die schwächsten Mikro-Objektive bestehen meist aus nur einem Achromaten, dessen Apertur durch eine Vorderlinse begrenzt wird. Sie lassen sich sphärisch bis zu einer Apertur von 0,10 korrigieren. Die Bildfeldwölbung dieser Objektive ist meist ziemlich groß.

Verkürzung der Objektivbrennweite und Erhöhung der Apertur erreicht man bei hinreichender Korrektur durch zwei Achromate. Man erhält so Objektive, die bis zur Apertur 0,30 brauchbar sind (Fig. 25a)¹⁾.

Bei manchen Objektiven dieser Art läßt sich die Frontlinse abschrauben, so daß man die Objektive für zwei verschiedene Vergrößerungen verwenden kann (sog. Satzachromate). Bei anderen läßt sich der zweite Achromat gegen den ersten verstellen, wodurch die Brennweite des Objektivs und damit seine Vergrößerung verändert werden kann. Allerdings müssen hierbei größere geometrische Fehler in Kauf ge-

¹⁾ In Fig. 25a wurde die Brechkraft des vorderen Achromaten durch eine einfache Sammellinse erhöht, deren Farbfehler durch die beiden verkitteten Systeme kompensiert werden muss.

nommen werden, weshalb diese Objektive nur zur subjektiven Beobachtung benutzt werden sollten.

Mit größerer Apertur und kürzerer Brennweite, d. h. höherer Vergrößerungsleistung des Objektivs, wächst die Zahl der verwendeten Linsensysteme. Dies ist notwendig, um die infolge der hohen numerischen Apertur auftretenden sphärischen Abweichungen und Verstöße gegen die Sinusbedingung zu beheben. Ein überaus wertvolles Korrektionsmittel zur Behebung dieser Fehler wurde von AMICI in Form einer halbkugeligen Frontlinse gefunden (vgl. Fig. 25b). Mit dieser Linse

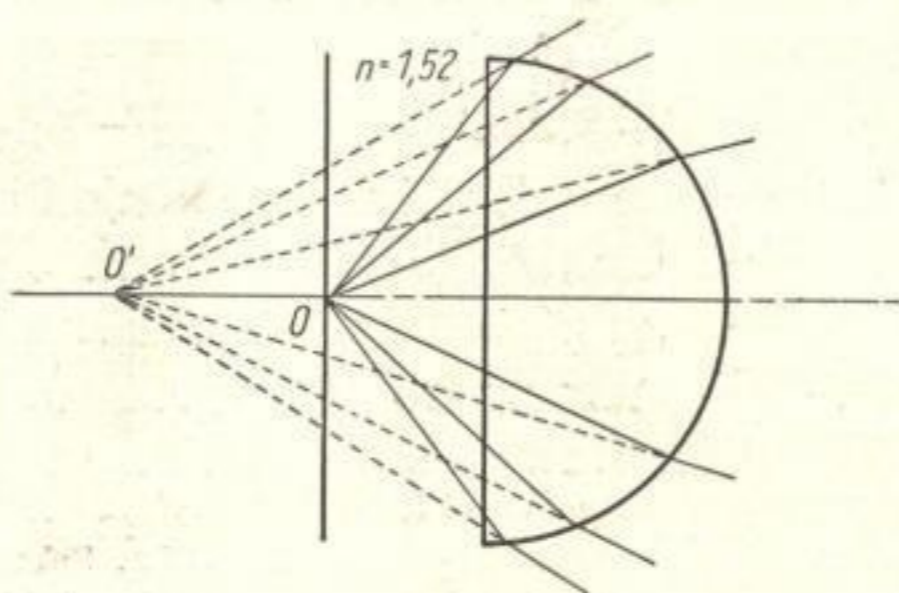


Fig. 25b. Abbildung durch die AMICISCHE Halbkugellinse.



Fig. 25c. Apochromatische Ölimmersion.

ist es nämlich möglich, die starke Divergenz der vom Objekt austretenden Strahlen erheblich zu mindern und dabei sphärische Fehler oder Verstöße gegen die Sinusbedingung durch Änderung des Krümmungsradius und der Dicke der Linse weitgehend zu beeinflussen. Befindet sich zwischen Objekt und Objektiv ein Medium mit einem Brechungsindex, der demjenigen der AMICI-Linse gleicht (homogene Öl-immersion, vgl. S. 36), so wird von dieser das Objekt frei von sphärischen Fehlern und Verstößen gegen die Sinusbedingung abgebildet. Die Divergenz wird hierbei durch eine meniskenförmige Linse nochmals verringert, ohne daß wesentliche sphärische Fehler in die Abbildung gebracht werden. Die nur noch wenig divergenten Strahlenbündel werden durch mehrere verkittete Systeme konvergent gemacht (Fig. 25c), welche die durch das unverkittete Frontlinsensystem entstehenden Farbfehler und die sphärischen Restfehler beheben. Allgemein ist noch zu bemerken, daß mit der Zahl der Glasluftflächen die Zahl der Reflexe an ihnen wächst. Ein Objektiv mit großem Abbildungsmaßstab gibt demnach flauere Bilder als ein Objektiv geringerer Leistung bei gleicher geometrischer Korrektur.

Bringt man in den Strahlengang zwischen Objekt und Objektiv eine planparallele Glasplatte, z. B. das Deckglas eines Durchlichtpräparates, so verschlechtert dieses die Abbildung, vor allem bei

kurzbrennweitigen Objektiven, sehr stark, weil durch diese Glasplatte erhebliche sphärische Fehler auftreten. Man muß daher die Objektive verschieden korrigieren, je nachdem, ob sie zur Untersuchung von Präparaten dienen, die mit dem Deckglas bedeckt sind, oder von Präparaten, die ohne Deckglas gebraucht werden.

Die Deckglasdicke beträgt 0,17 mm. Die starken Objektive sind gegen Abweichungen von dieser Dicke sehr empfindlich. Man ist also bei der Mikroskopie von mit Deckglas bedeckten Objekten gezwungen, die Deckglasdicke, für die die Objektive berechnet sind, einzuhalten und von diesem Maß abweichende Deckgläser nicht zu verwenden. Das Messen der Deckglasdicke kann man mit jeder beliebigen Mikrometerschraube vornehmen.

Es werden aber auch Objektive geliefert, die in gewissen Grenzen eine Korrektur der verschiedenen Deckglasdicken durch Verstellen einzelner Linsen gegeneinander zulassen (Fig. 25d). Sind die Deckglasdicken bekannt, so läßt sich ein Einstellen auf beste Bildgüte sofort ausführen, da auf dem Stellring der Korrektionsfassung

die Einstellung für jede Deckglasdicke graviert ist. Kennt man die Deckglasdicke nicht, so muß das beste Bild empirisch gefunden werden.

Ein bildfeldebennendes Objektiv hoher Leistung (vgl. S. 32), das besonders für Mikrophotographie geeignet ist, zeigt Fig. 25e. Auffällig ist hierbei die Ausbildung der beiden ersten und der 7. Linse. Die beiden ersten Linsen bilden die sog. Duplexfront, die eine starke Verringerung der Neigung der abbildenden Strahlen gegen die optische Achse bei Einhaltung von Sinusbedingung und Vermeidung sphärischer Fehler bedingt.

8. Immersionen.

Für höchste Vergrößerungen benutzt man Immersionsobjektive, bei denen sich zwischen dem Objekt und der Frontlinse des Objektivs nicht Luft, sondern eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, befindet. Da diese Flüssigkeit einen höheren Brechungsexponenten als Luft besitzt, gelingt es, die numerische Apertur größer als 1 zu machen (vgl. S. 8) und dadurch mehr aufzulösen. Daneben ist es möglich, vor allen Dingen bei Auflichtobjektiven, störende Reflexe an der Objektober-

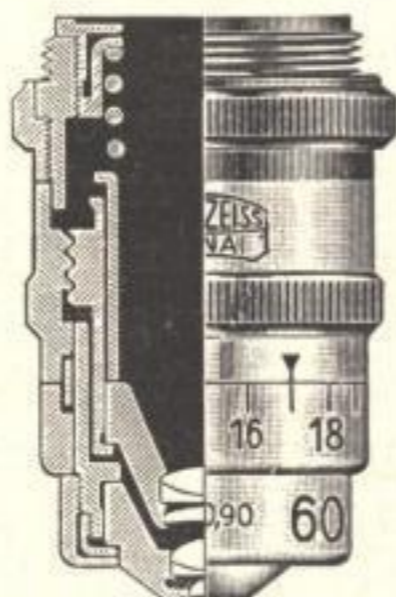


Fig. 25d. Wasserimmersion mit Korrekturfassung zum Ausgleich verschiedener Deckglasdicke.

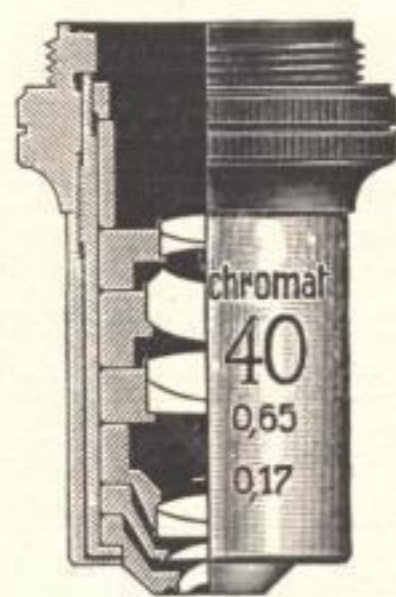


Fig. 25e. Achromatisches stark vergrößerndes Objektiv mit geebnetem Bildfeld.

fläche auszuschalten. Gelingt es, eine Immersionsflüssigkeit zu finden, deren Brechungsexponent und Farbzerstreuung denen des Glases gleichen, so ist es möglich, das Objektiv ebenso für die Beobachtung von Präparaten mit, wie von Präparaten ohne Deckglas zu verwenden. Zur restlosen Ausnutzung des Objektivs muß natürlich das Präparat in einem Medium mit einem dem Brechungsexponenten des Glases mindestens gleich großen Brechungsexponenten eingeschlossen sein. Ebenso muß sich zwischen Kondensator und Präparat Immersionsflüssigkeit befinden. Ein System, bei dem von der Frontlinse des Kondensators bis zur Frontlinse des Objektivs keine Änderung des Brechungsexponenten stattfindet, heißt homogene Immersion.

Als Immersionsflüssigkeit für solche Objektive benutzt man Zedernholzöl, dessen Brechungsexponent man durch Eindicken des Öles sehr genau dem des Glases angleichen kann. Allerdings verlangt das Öl eine vorsichtige Behandlung. Das mit der Luft in Berührung kommende Öl neigt zur Verharzung. Es wird dickflüssig und ändert dadurch seine optischen Eigenschaften. Nach Gebrauch müssen Objektiv, Kondensator und Präparat sofort gereinigt werden (am besten mit einem mit Benzin getränkten weichen Tuch), da sonst das Öl fest wird und sich nur sehr schwer entfernen läßt. Besonders ist auf Sauberkeit beim Mikroskopieren zu achten, da ein Tropfen Öl, der in die Verstellung des Kreuztisches kommt (vgl. S. 45) und dort verharzt, eine Betätigung des Tisches unmöglich macht.

In feuchten Räumen kondensieren Wassertröpfchen an der Oberfläche des Öles, die unvermischt das Öl durchsetzen. Befindet sich ein solches Tröpfchen beim Mikroskopieren vor dem Objektiv, so gelingt es nicht, ein scharfes Bild des Objektes zu erhalten. Das Präparat und das Objektiv müssen vom Öl gereinigt werden und die Einstellung muß mit neuem Öl wiederholt werden.

Bei der oben beschriebenen homogenen Immersion kann es vorkommen, daß eine Objektstruktur, die bei Betrachtung mit einem Trockensystem gut sichtbar war, beim Einschluß in die Immersionsflüssigkeit vollkommen flau wird. Dies beruht darauf, daß das Objekt dasselbe Aussehen wie das Einschlußmedium besitzt, d. h. vollkommen durchsichtig ist. Man wird in diesem Fall versuchen, ein gefärbtes Einschlußmedium zu benutzen, dessen Brechungsexponent außerdem von dem des Objektes merklich abweicht. Als vorteilhaft hat sich hierbei nach den Erfahrungen des Verfassers, vor allen Dingen für den Einschluß von Diatomeen, Arsenbisulfid¹⁾ erwiesen, das einen Bre-

¹⁾ Arsenbisulfid (Realgar As_2S_2) erhält man durch Zusammenschmelzen von 7 Teilen Arsen und 3 Teilen Schwefel.

chungsexponenten von ca. 2,45 aufweist, der somit bedeutend höher als derjenige der Diatomeen-Schalen ist.

Die achromatischen Ölimmersionen haben eine Apertur von ca. 1,3, die Apochromate bis zu 1,5. Bis zu einer Apertur von 1,6 kann man kommen, wenn man als Immersionsflüssigkeit Monobromnaphthalin benutzt. Da viele Objekte im Monobromnaphthalin zerstört werden, eignen sich diese Objektive in erster Linie nur zur Untersuchung von Metallen im auffallenden Licht. Zur Beobachtung von Objekten, die in Wasser oder in Flüssigkeiten liegen, die einen dem Brechungsexponenten des Wassers ähnlichen Brechungsexponenten haben, dient eine Wasserimmersion, mit der das Objekt direkt ohne Zwischenschaltung eines Deckglases durch Eintauchen des Objektivs in die zu untersuchende Flüssigkeit betrachtet werden kann. Wird ein Deckglas zwischengeschaltet, so ist natürlich eine zusätzliche Korrektur erforderlich, da ja das Deckglas einen anderen Brechungsexponenten als das Wasser hat und demzufolge die Qualität des Bildes beeinflusst. Daher müssen Wasserimmersionen stets mit Korrektionsfassungen hergestellt werden.

9. Das zusammengesetzte Mikroskop.

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf Fragen der Abbildung durch ein Objektiv. Im Mikroskop befindet sich im allgemeinen ein zweites abbildendes System, das *Okular*, das die Aufgabe hat, das vom Mikroskopobjektiv erzeugte Zwischenbild nochmals vergrößert abzubilden. Hierzu kann im einfachsten Fall eine zweite Linse dienen (vgl. Fig. 26). Das Objektiv L entwirft von dem Objekt

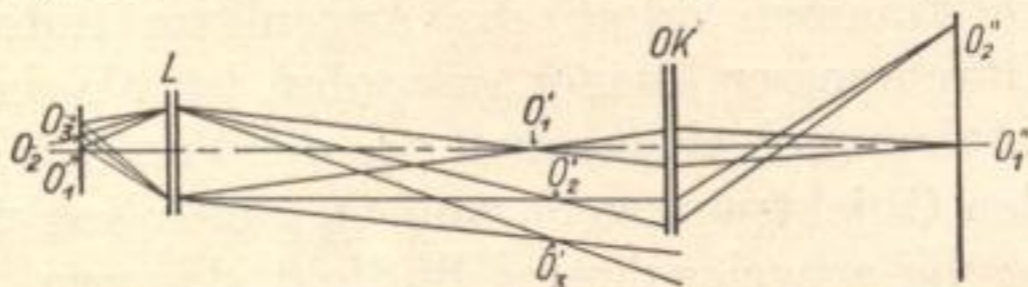


Fig. 26. Bildfeldbeschränkung durch ein einfaches Okular.

$O_1 O_2 O_3$ ein vergrößertes Zwischenbild $O'_1 O'_2 O'_3$, das von dem Okular Ok nochmals vergrößert nach $O''_1 O''_2$ abgebildet wird. Befindet sich das Objekt nicht auf der optischen Achse, sondern z. B. in O_2 , so kann das gezeichnete Zusatzsystem gerade noch alle von O_2 ausgehenden und durch das Objektiv hindurchgehenden Strahlen aufnehmen. (Der vom oberen Rand des Objektivs kommende Strahl z. B. trifft den unteren Rand der Okularlinse.)

Vom Objektpunkt O_3 tritt kein Licht mehr durch das Okular hindurch. Man erhält vom Bildpunkt O''_2 her einen Helligkeitsabfall nach dem Rand, der bis zur völligen Beschneidung des Gesichtsfeldes führt. Um diese Gesichtsfeldbeschränkung zu vermeiden, kann man den Durchmesser des Okulars vergrößern. Dies ist jedoch nur bei Mikrophoto-

graphie und Projektion möglich. Bei subjektiver Beobachtung darf der aus der Okularlinse austretende Strahlenkegel nicht größer als die Augenpupille sein, da sonst Gesichtsfeldbeschränkung stattfindet. Man setzt deshalb an den Ort des Zwischenbildes $O'_1 O'_2$ ein optisches System, das die Aufgabe hat, die vom Bild $O'_1 O'_2$ divergierenden Strahlen zu sammeln und so Strahlen durch das Okular gelangen zu lassen, die ohne Zusatzlinse nicht mehr abgebildet werden können. Die Gewähr dafür, daß alle durch das Objektiv von einem bestimmten Objektpunkt herkommenden Strahlen im Bild vereinigt werden, ist dann gegeben, wenn die Öffnung des Objektivs in der Nähe der Augenlinse des Okulars, d. h. bei subjektiver Beobachtung in der Augenpupille abgebildet wird. Das Bild der Objektivöffnung kurz hinter dem Okular heißt, da es mit der Augenpupille zusammenfällt, Austrittspupille

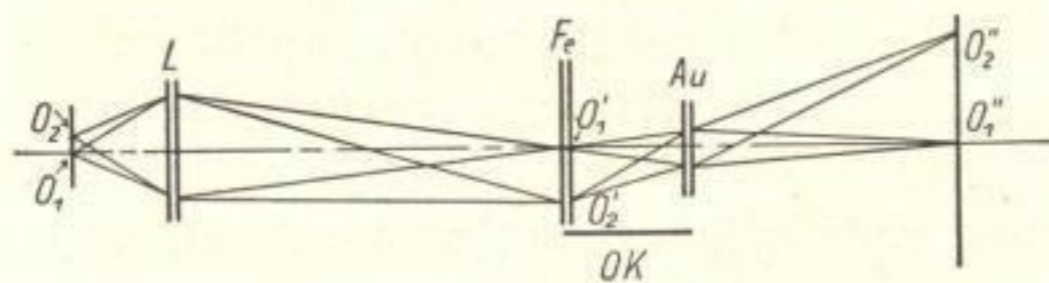


Fig. 27. Vergrößerung des Bildfeldes durch die Feldlinse.

des gesamten Mikroskopes. Die Wirkung dieser zusätzlichen sog. Feldlinse ist in Fig. 27 dargestellt. Das Objektiv L bildet das Objekt $O_1 O_2$ in $O'_1 O'_2$ ab, wo sich die Feldlinse Fe befindet. Das

Bild $O'_1 O'_2$ wird durch die Augenlinse Au in $O''_1 O''_2$ entworfen. Die Feldlinse bildet die Öffnung des Objektivs in der Augenlinse ab. Dadurch wird erreicht, daß die Lichtbündel, die vom Objektiv nach O'_2 zielen, noch vollkommen durch die Augenlinse treten können, obwohl diese im Durchmesser kleiner geworden ist als in Fig. 26. Der Bildpunkt O''_2 ist demnach ebenso hell wie der Punkt O'_1 , vorausgesetzt, daß die beiden Objektpunkte O_1 und O_2 gleich hell waren. Man erhält ein gleichmäßig ausgeleuchtetes Bildfeld, das von der Fassung der Feldlinse begrenzt wird. Die Fassung der Feldlinse ist demnach Gesichtsfeldblende.

Die Anordnung der Feldlinse im Bild $O'_1 O'_2$ hat gewisse Nachteile. Da die Oberfläche der Feldlinse zugleich mit dem Objekt scharf gesehen wird, muß sich jeder Kratzer oder jedes Stäubchen auf der Linse im Bild bemerkbar machen. Man wird demnach besser die Feldlinse etwas aus dem Bildpunkt rücken. Man kann die Feldlinse entweder zum Objektiv rücken, so daß das Zwischenbild $O'_1 O'_2$ zwischen Feldlinse und Augenlinse des Okulars liegt, oder man kann die Feldlinse zur Augenlinse hinrücken, so daß das Zwischenbild $O'_1 O'_2$ vor dem Okular liegt. Man erhält so die beiden Okulartypen, das HUYGENSSche und das RAMSDENSche Okular (Fig. 29a und e). Beim HUYGENSSchen Okular liegt das Zwischenbild im Okular. Die Gesichtsfeldblende wird im Okular selbst angeordnet. Ebenso muß eine Strichplatte (z. B. ein Okularmikrometer), die mit dem Objekt zugleich scharf gesehen

werden soll, im Okular angebracht werden. Beim RAMSDENSchen Okular befindet sich die Gesichtsfeldblende ebenso wie die Strichplatte vor dem Okular.

10. Tubuslänge und Vergrößerung.

Beim Mikroskop sind Objektiv und Okular in festem Abstand voneinander angeordnet. Das bedeutet aber, daß sich das von jedem Objektiv entworfene Zwischenbild immer wieder an derselben Stelle befindet. Den Abstand zwischen hinterer Brennebene des Objektivs und dem vom Objektiv entworfene Zwischenbild nennt man die optische Tubuslänge. Alle Mikroskopobjektive eines Herstellers sind auf eine bestimmte Tubuslänge korrigiert, die eingehalten werden muß, wenn ein einwandfreies Bild erzielt werden soll¹⁾. Es ist dann möglich, für jedes Objektiv einen bestimmten Abbildungsmaßstab anzugeben, der für die be-

treffende Tubuslänge richtig ist. Wird das Objektiv mit anderer Tubuslänge gebraucht, so wird es in seiner Stellung zum Zwischenbild und damit zum Objekt verändert. Der Abbildungsmaßstab weicht demnach ab. Erst wenn man die Auffangfläche des Zwischenbildes immer wieder in den-

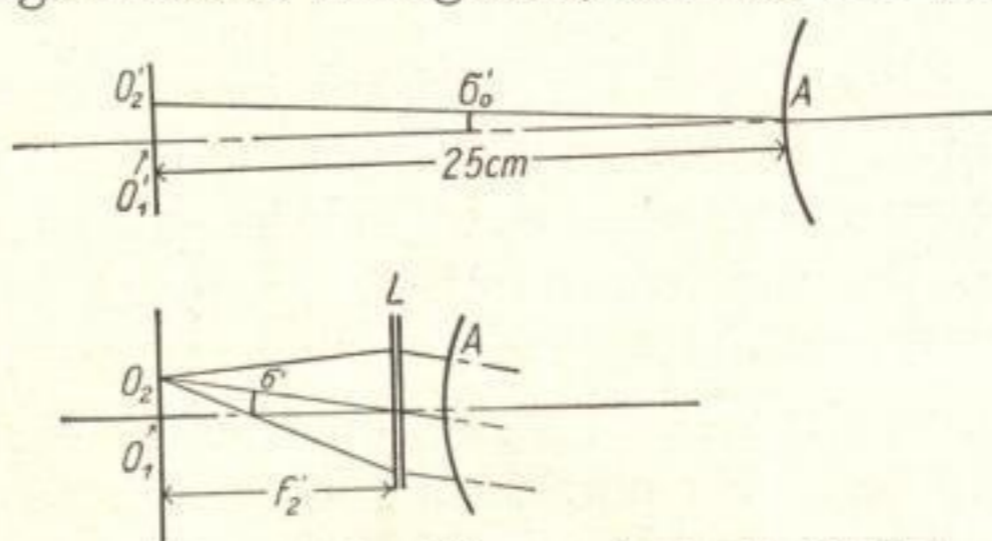


Fig. 28. Vergrößerung durch ein Okular.

selben Abstand vom Objektiv bringt, ist die Angabe des Abbildungsmaßstabes möglich. Dieser dem Mikroskopobjektiv eigene Abbildungsmaßstab (i. a. nicht ganz exakt Eigenvergrößerung genannt) ist bei den gängigen Mikroskopobjektiven meist neben der Aperturangabe auf dem Objektiv eingraviert oder aus Listen zu entnehmen. (Die Gravierung 0,50/30 bedeutet demnach, daß das Objektiv die numerische Apertur 0,50 besitzt. Es bildet das Objekt bei Einhaltung der Tubuslänge $30 \times$ vergrößert ab.)

Das vom Objektiv gelieferte Zwischenbild wird mit dem Okular betrachtet. Das Okular hat bei subjektiver Betrachtung die Aufgabe, das Zwischenbild dem Auge unter einem größeren Gesichtswinkel darzubieten als bei Bildbeobachtung ohne besondere Hilfsmittel. Dies soll aus Fig. 28 hervorgehen. Man sieht in Fig. 28a ein Zwischenbild $O'_1 O'_2$, das vom Auge A in deutlicher Sehweite (25 cm) betrachtet wird.

¹⁾ Die optische Tubuslänge von Objektiven *verschiedener Brennweite* ist verschieden groß, da meistens auf Einhaltung des Abstandes zwischen Objekt und Bild Wert gelegt wird, um beim Objektivwechsel die Einstellung des Mikroskopes beizubehalten. Fest bleibt hierbei die mechanische Tubuslänge, d. h. die Entfernung von der Objektivanlage bis zur Okularanlage (vgl. S. 47).

Der Winkel, unter dem das Objekt $O_1' O_2'$ gesehen wird, ergibt sich zu:

$$\sigma'_0 = \frac{O_1' O_2'}{25}.$$

Wird dasselbe Zwischenbild $O_1' O_2'$ nach Fig. 28b unter Vorschaltung eines Linsensystems L mit der Brennweite f_2' betrachtet, so beträgt der Winkel, unter dem das Auge das Bild $O_1' O_2'$ sieht:

$$\sigma' = \frac{O_1' O_2'}{f_2'}.$$

$O_1' O_2'$ steht hierbei in der Brennebene der Linse, die das Zwischenbild ins Unendliche projiziert, so daß es mit entspanntem Auge betrachtet werden kann. Die Vergrößerung¹⁾ des Gesichtswinkels durch das Linsensystem, also z. B. durch das Okular, beträgt demnach:

$$\bar{\Gamma}'_2 = \frac{25}{f_2'}. \quad (13)$$

Diese Größe heißt Eigenvergrößerung des Okulars. Sie wird auf das Okular aufgraviert. Sie ist für jedes Okular unabhängig von dem System, mit dem es in Verbindung gebracht wird, vorausgesetzt, daß der Beobachter stets mit entspanntem Auge arbeitet, d. h. daß er das Bild im Unendlichen sieht. Das vom Objektiv im Abbildungsmaßstab β'_1 entworfene Bild wird vom Okular unter der Vergrößerung $\bar{\Gamma}'_2$ dargeboten. Es ergibt sich demnach für subjektive Beobachtung die Gesamtvergrößerung des Systems zu:

$$\bar{\Gamma}' = \beta'_1 \cdot \bar{\Gamma}'_2 \quad (14)$$

11. Der Abbildungsmaßstab in der Mikrophotographie.

Will man das subjektiv scharf eingestellte mikroskopische Bild photographieren, so darf man das Objektiv nicht verstellen, da sich dann das Bild verschlechtert. Man muß vielmehr die Scharfeinstellung auf der Mattscheibe durch Verschieben des Okulars oder exakter nur der Augenlinse des Okulars (vgl. S. 43) erzielen. Beträgt die Entfernung von der Okularlinse der Brennweite f_2' bis zum vom Objektiv entworfenen Bild a_2 und die Entfernung von der Okularlinse bis zur Mattscheibe a'_2 , so ergibt sich aus den Beziehungen (1) und (2) für den Abbildungsmaßstab des Okulars bei Photographie:

$$\beta'_2 = -\frac{a_2' - f_2'}{f_2'}.$$

Mißt man die Balgenlänge B der Kamera vom hinteren Brennpunkt des Okulars bis zur Mattscheibe, also

$$B = a_2' - f_2',$$

¹⁾ Gemäß der Anmerkung auf S. 3 kann hier von einer Vergrößerung des Bildes gesprochen werden.

so folgt:

$$\beta'_2 = -\frac{B}{f'_2}$$

oder

$$\beta'_2 = -\frac{B}{25} \Gamma'_2, \quad (15)$$

wobei B die Entfernung der Mattscheibe von der hinteren Brennebene des Okulars (*Balgenauszug*) ist¹⁾. Mißt man den Balgenauszug der photographischen Kamera in Zentimetern, so erhält man als Gesamt-abbildungsmaßstab des Mikroskopes:

$$\bar{\beta}' = -\frac{B}{25} \cdot \bar{\Gamma}'. \quad (16)$$

Man findet den Abbildungsmaßstab bei Photographie und Projektion durch Multiplikation der sich bei subjektiver Beobachtung ergebenden Vergrößerung mit dem Quotienten aus Balgenauszug durch deutliche Sehweite, wobei zu bemerken ist, daß das Bild gegenüber dem subjektiv gesehenen seitenverkehrt ist. Da aber das subjektiv gesehene Bild selbst seitenverkehrt ist ($\bar{\Gamma}'$ ist negativ, da β'_1 negativ, Γ'_2 positiv ist), so erhält man bei Photographie mit Objektiv und Okular ein seitenrichtiges Bild. Hat beispielsweise ein Objektiv eine Eigenvergrößerung von $30\times$ und das Okular eine Eigenvergrößerung von $10\times$, so ergibt sich die subjektive Vergrößerung zu $300\times$. Bei einer Balgenlänge von 25 cm würde dies gleich dem Abbildungsmaßstab sein. Bei einer Balgenlänge von 50 cm beträgt der Abbildungsmaßstab $600\times$.

12. Auflösungsvermögen und Schärfentiefe beim zusammengesetzten Mikroskop.

Beim zusammengesetzten Mikroskop muß untersucht werden, in welcher Weise das Okular die Apertur des Objektivs beeinflusst. Das Okular ist so gebaut, daß auch für seitliche Bildpunkte kein Helligkeitsabfall stattfindet. Dies wird dadurch erreicht, daß die Öffnung des Objektivs in der Nähe der Augenlinse des Okulars abgebildet wird, so daß keine Aperturbeschränkung durch das Okular eintritt. Das Okular hat also nur Einfluß auf die Vergrößerung des Bildes, nicht aber auf die Apertur des Systems. Dies bedeutet, daß allein das Objektiv für die Auflösung der Objektstruktur maßgebend ist. Bei der Berechnung der Schärfentiefe muß die Apertur des Objektivs und die Vergrößerung bzw. der Abbildungsmaßstab der gesamten mikroskopischen Anordnung in Rechnung gesetzt werden.

¹⁾ Die hintere Brennebene des Okulars liegt im allgemeinen in unmittelbarer Nähe der Augenlinse, so daß man den Balgenauszug praktisch von der Augenlinse bis zur Mattscheibe rechnen kann.

13. Ausführungsformen der Okulare.

Das Okular hat die Aufgabe, das vom Mikroskopobjektiv gelieferte Bild möglichst fehlerfrei zu vergrößern und die vom Objektiv zurückbleibenden Restfehler zu beheben. Bei der Abbildung durch das Okular tritt vor allen Dingen Astigmatismus und Bildfeldwölbung auf, Fehler, die durch die Stellung des Okulars im Strahlengang bedingt sind; denn die Ausdehnung des vom Objektiv gelieferten Zwischenbildes ist im Verhältnis zur Brennweite des Okulars groß. Ist das vom Objektiv gelieferte Bild eben, so genügt zu einer von Astigmatismus und Wölbung freien Abbildung meist ein HUYGENSSches Okular. Das HUYGENSSche Okular (Fig. 29a) besteht aus zwei Plankonvexlinsen, die ihre Planflächen dem Auge des Beobachters zukehren. Die dem Auge abgewandte

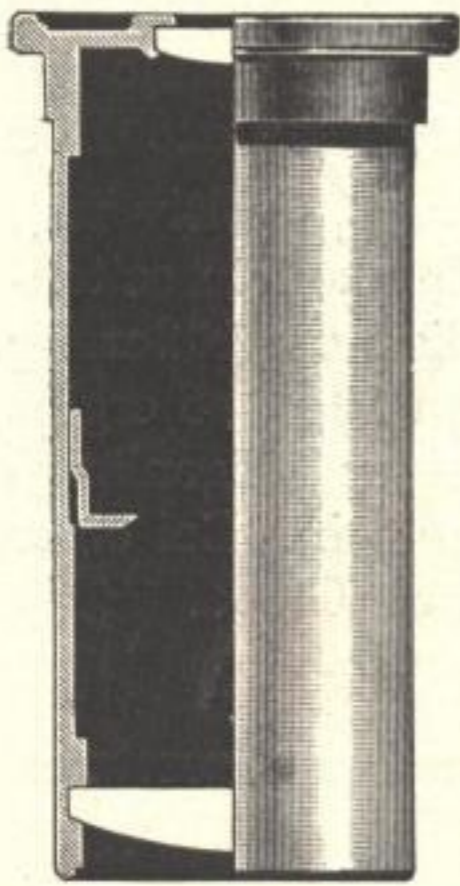


Fig. 29a. HUYGENSSches Okular.

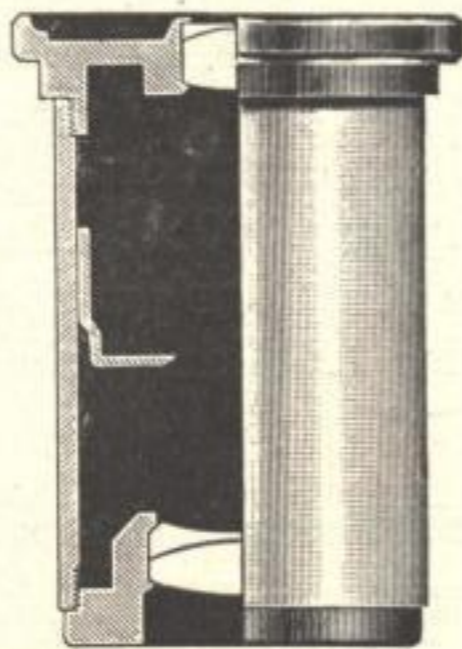


Fig. 29b. Kompensationsokular.

Linse, die Feldlinse, bildet zusammen mit dem Objektiv das Objekt in der Brennebene der Augenlinse ab. Zugleich entwirft sie ein Bild der Austrittspupille des Objektivs in der Nähe der Augenlinse des Okulars (Austrittspupille des Mikroskops). Die Augenlinse projiziert das Zwischenbild für subjektive Beobachtung ins Unendliche. Für Photographie kann durch geringe Verschiebung des Okulars ein ins Endliche gerückter Strahlenvereinigungspunkt erreicht werden.

Bei starken Objektiven muß der auftretende Farbenvergrößerungsfehler durch das Okular kompensiert werden (sog. Kompensationsokulare, Fig. 29b). Dies regelt man dadurch, daß man dem Okular eine dem Farbenvergrößerungsfehler des Objektivs entgegengesetzte chromatische Korrektur gibt. Um den zur Kompensation des Farbfehlers nötigen Grad von chromatischer Abweichung im Okular zu erreichen, erhält die Augenlinse (bzw. Feld- und Augenlinse) des Kompensations-Okulars eine Kittfläche, wodurch jeder beliebige Grad von farbiger Korrektur entsteht. Da bei diesen Okularen auch Punkte, die nicht in der Nähe der optischen Achse liegen, farbig korrigiert sind, scheint das Bild ebener zu sein als bei gewöhnlichen HUYGENS-Okularen.

Weitergehende Ebnung erreicht man mit Periplan-Okularen, bei denen eine Bildschale sehr gut geebnet werden kann, während die andere noch Wölbung zeigt. Dadurch tritt natürlich in gewissem Maße Astigmatismus am Rand des Bildfeldes auf.

Restlose Behebung der Bildfeldwölbung erhält man durch Einschaltung einer chromatisch korrigierten Zerstreuungslinse an Stelle des Okulars, die das vom Objektiv gelieferte Zwischenbild auf der Mattscheibenebene abbildet. Solche Linsen lassen sich nur zur Projektion und Photographie, nicht zur subjektiven Beobachtung benutzen. Mit ihnen gelingt es, eine ebene Fläche gekrümmt abzubilden, und zwar so, daß diese Krümmung gerade entgegengesetzt derjenigen ist, die vom Mikroskopobjektiv erzeugt wird. Man kann demnach jedes Mikroskopobjektiv mit einer auf seine Wölbung abgestimmten Zerstreuungslinse kombinieren, um ein ebenes mikroskopisches Bild zu erhalten. Daneben wird durch diese Linsen auch der Farbenvergrößerungsfehler der Objektive kompensiert.

Diese, die Bildfeldwölbung restlos behabenden, Okulare werden in Verbindung mit Zeiss'schen und Leitz'schen Objekti-

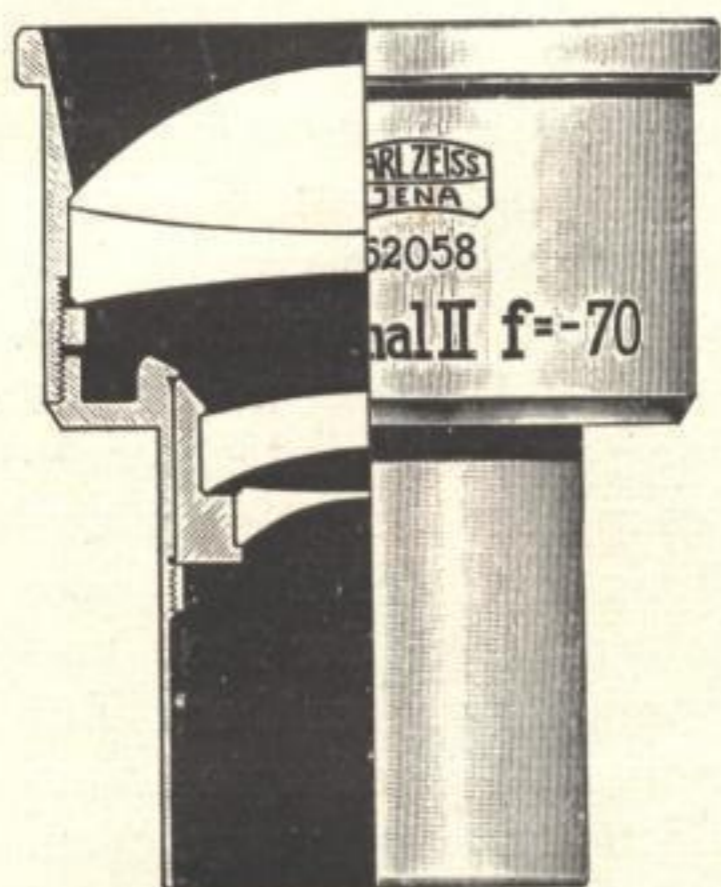


Fig. 29c. Homal.

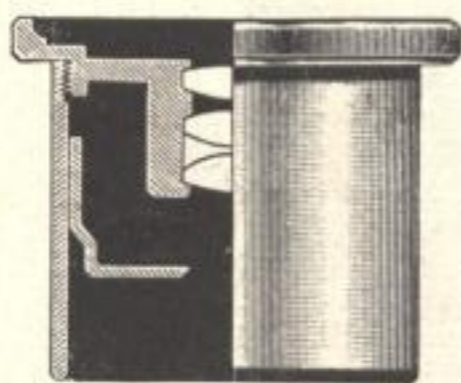


Fig. 29d. Orthoskopisches Okular.

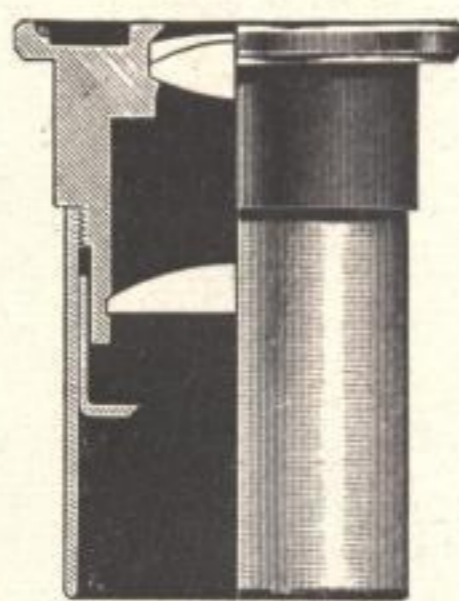


Fig. 29e. RAMSDEN-Okular.

ven hergestellt und unter dem Namen Homale bzw. Projektare geführt (Fig. 29c). Das von den Homalen gelieferte Bild ist seitenverkehrt, was natürlich bei Photographien keine Rolle spielt.

Für genaue mikroskopische Messungen sind orthoskopische Okulare vorteilhaft, da mit ihnen ein großes Gesichtsfeld verzeichnungsfrei abgebildet werden kann (Fig. 29d). Sie bestehen aus einem dreiteiligen verkitteten System und einer sammelnden Linse.

Für Meßzwecke benutzt man ferner häufig an Stelle des HUYGENS'schen Okulars das RAMSDEN'sche Okular (Fig. 29e), da bei diesem eine Strichplatte außerhalb des Okulars angebracht werden kann. Es fällt demnach die Strichplatte mit dem vom Mikroskopobjektiv erzeugten Zwischenbild zusammen.

Wie bereits erwähnt, kann für verschiedene Längen der photographischen Kamera die Scharfeinstellung dadurch erreicht werden, daß

das Okular verschieden weit aus dem Tubus herausgezogen wird. Die exakteste Methode ist, die Augenlinse allein zu verstellen, bis die Abbildung auf der Mattscheibe scharf ist. Dies wird in den Projektionsokularen erreicht, bei denen die Augenlinse sich in einer Schnecken-gangfassung befindet, in der sie gegen die Feldlinse zur Scharfeinstellung des Bildes auf der Mattscheibe verstellt werden kann.

2. Kapitel.

Die mikroskopischen Anordnungen.

1. Das Mikroskopstativ.

Das Mikroskopstativ (Fig. 30) hat die Aufgabe, den Beleuchtungsapparat, das Objekt, das Objektiv und das Okular so zu vereinigen,



Fig. 30. Einfaches Mikroskopstativ.

daß eine zentrierte Strahlenführung gewährleistet ist. Es trägt den Objektisch, den Tubus mit Objektivträger und Okularrohr und den Beleuchtungsapparat. Zur Scharfeinstellung wird der Tubus dem Objekt mit Hilfe der Grob- und Feinverstellung genähert. Für Durchlicht-Mikroskopie ist ein Kondensorträger vorgesehen. Bei Auflicht-Mikroskopie wird der Beleuchtungsapparat meist (vgl. S. 50) an Stelle des Objektivträgers am Tubus befestigt. Für die Mikrophotographie müssen Mikroskop und Kamera möglichst stabil gestaltet werden, damit das Gerät soweit wie möglich gegen Erschütterungen und Schwingungen geschützt ist.

2. Der Objektisch.

Zur Auflage des Objektes dient ein Objektisch. Er besteht im einfachsten Falle (vgl. Fig. 30) aus einer durchbohrten,

senkrecht zur optischen Achse des Mikroskopes angeordneten Platte. Die Durchbohrung hat den Zweck, dem Objekt bei Durchlichtmikroskopie die beleuchtenden Strahlen zuzuleiten. Die Verschiebung des Objektes muß von Hand geschehen. Natürlich läßt sich dies nur für Beobachtungen bei schwachen Vergrößerungen durchführen, da bei starken Vergrößerungen eine geringe Verschiebung das Objekt bereits aus dem Gesichtsfeld herausbewegt. Eine feinfühligere Verstellung des Objektes

erreicht man durch eine Führung, die meist durch Zahn und Trieb eine mechanische Übertragung der Bewegung der Hand auf das Objekt vermittelt. Hierzu dient im einfachsten Falle der

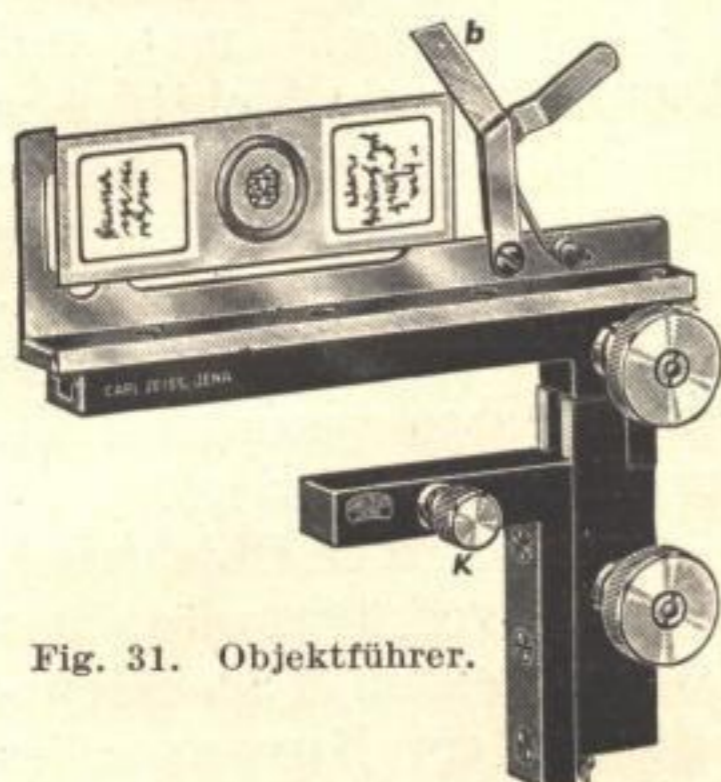


Fig. 31. Objektführer.

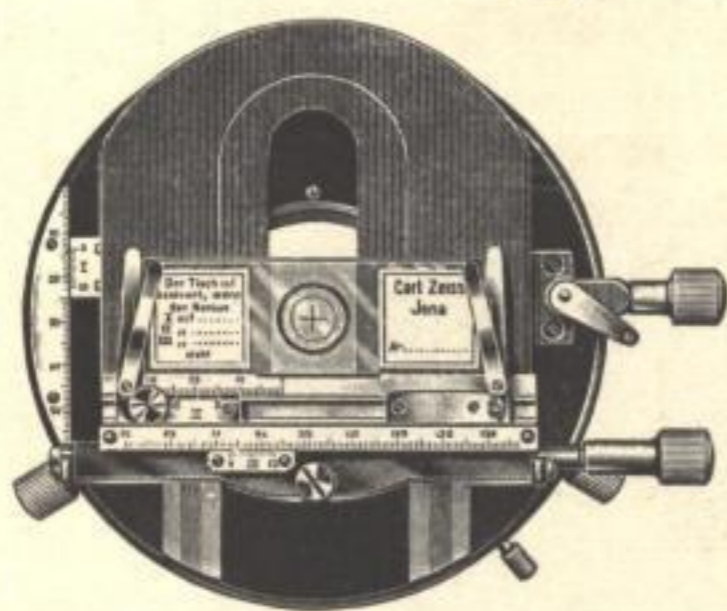
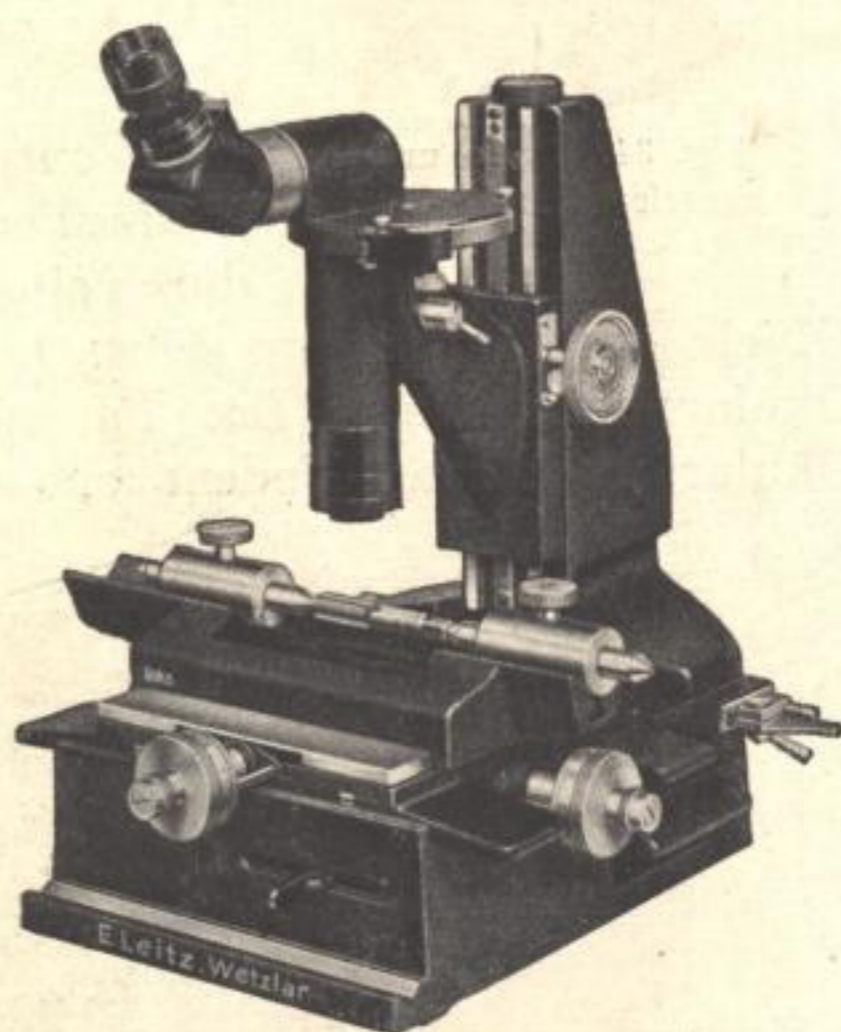


Fig. 32. Kreuztisch.

Fig. 33. Werkstattmikroskop. Verschiebung des Objektisches bis auf $\frac{1}{1000}$ mm ablesbar.

Objektführer (Fig. 31), der an dem Mikroskopträger befestigt wird. Durch zwei Knöpfe kann das Objekt in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen bewegt werden.

Höheren Ansprüchen an genau meßbare Verschiebung auch schwerer Objekte wird der Kreuztisch gerecht, der, in Schwalbenschwanzführungen gleitend, durch Zahn und Trieb bzw. Schraube und Spindel bewegt wird (Fig. 32). Die an beiden Bewegungsrichtungen angebrachten Skalen ermöglichen das Festlegen eines bestimmten Punktes auf dem Objekt und dadurch das Wiederauffinden einer Stelle im Präparat auch dann, wenn es vom Tisch entfernt und später wieder aufgelegt

wird. Durch die Skala kann man außerdem Verschiebungen des Kreuztisches messen und dadurch Größenbeziehungen im Objekt feststellen. Für exakte Messungen werden Kreuztische mit Ablesetrommel hergestellt, auf denen, ähnlich wie auf Mikrometerschrauben, Hundertstel Millimeter abgelesen werden (Fig. 33).



Fig. 34. Dreh- und zentrierbarer Tisch.

Die bei Polarisations-Mikroskopie nötige Drehung des Objektes um die optische Achse des Mikroskopes (vgl. S. 115) erreicht man mit Hilfe von dreh- und zentrierbaren Objektischen (Fig. 34). Dreht man den Tisch ohne vorherige Zentrierung, so bewegt sich das Objekt, vor allem bei starker Vergrößerung, aus dem Bildfeld heraus, weil das Zentrum der Drehung nicht mit der optischen Achse zusammenfällt. Die Zentrierung des Tisches wird durch zwei Schrauben erzielt, gegen die der Objektisch durch einen federnden Stift gedrückt wird. Das

Objekt wird mit einem schwachen Objektiv und einem Fadenkreuz-Okular betrachtet. (Das Fadenkreuz-Okular ist ein HUYGENSSches Okular, in dessen Blendenebene sich ein Fadenkreuz befindet, das zu-

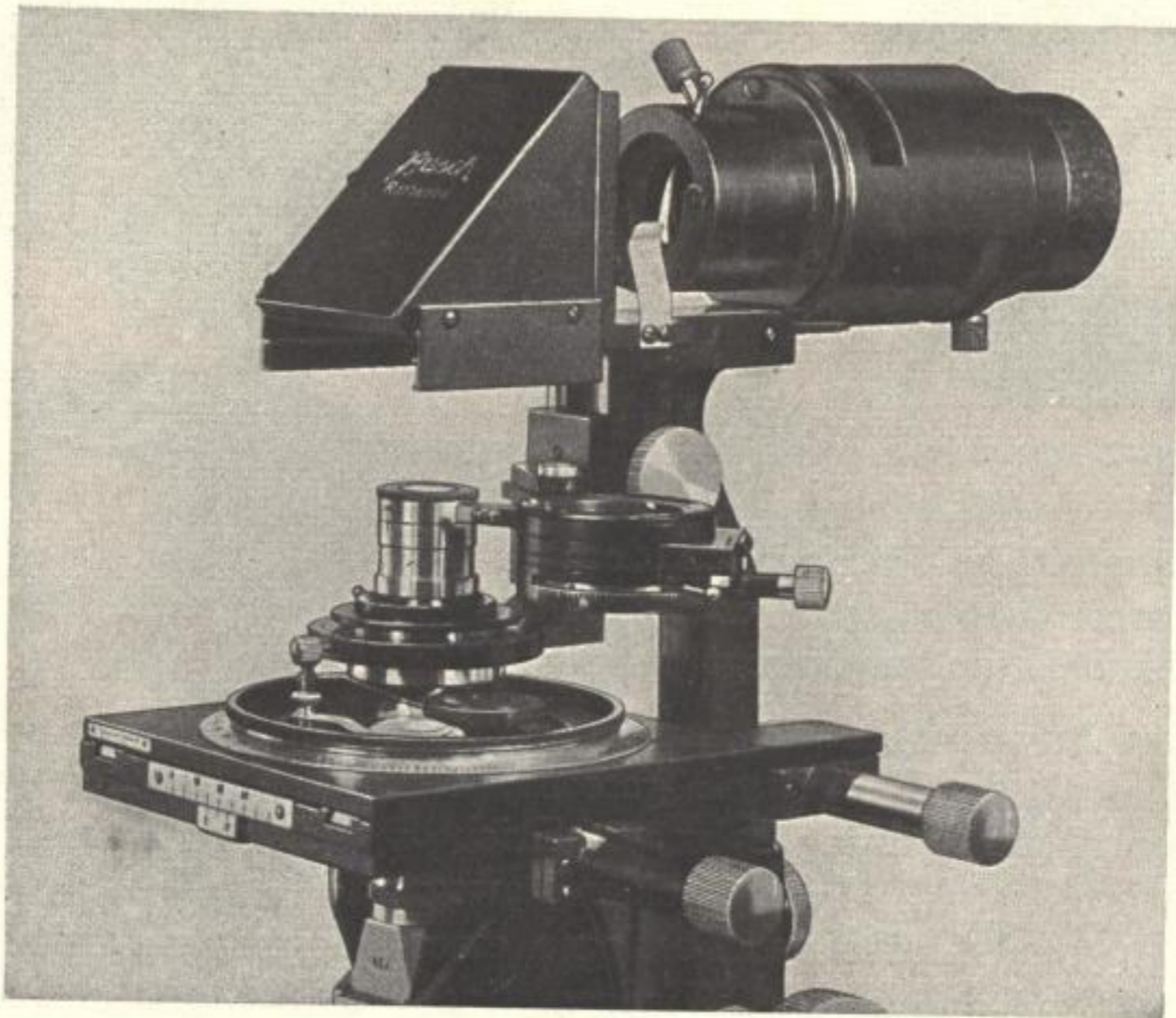


Fig. 35. Kreuztisch mit drehbarer Einlage.

gleich mit dem Objekt scharf abgebildet wird und so den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes erkennen läßt.) Bei der angewandten schwachen Vergrößerung wird sich der Drehungsmittelpunkt des Objektisches in dem verhältnismäßig großen Gesichtsfeld befinden. Man kann demnach mit Hilfe der beiden Zentrierschrauben leicht die Stelle des Präparates, die bei Drehung des Tisches in Ruhe bleibt, mit dem Mittelpunkt des Fadenkreuz-Okulars zur Deckung bringen. Die Übereinstimmung der beiden Mittelpunkte kontrolliert man mit stärkeren Objektiven und stellt nötigenfalls die Zentrierschrauben nach.

Einen Kreuztisch kann man durch Einsetzen einer drehbaren Einlage in einen Drehtisch verwandeln (Fig. 35). Zu diesem Zweck stellt man die beiden Skalen des Kreuztisches auf die von der Herstellerfirma für den betreffenden Kreuztisch in Verbindung mit der drehbaren Einlage angegebenen Stellungen. Setzt man die Einlage in den Kreuztisch ein, was durch Einschieben in eine genaue zylindrische Passung geschieht, so ist der Kreuztisch zentriert.

3. Der Tubus.

Der Mikroskoptubus vereinigt Objektiv und Okular. Das Objektiv wird im einfachsten Falle am Tubus ohne Zwischenschaltung eines Objektivträgers angeschraubt. Das Anschraubgewinde (Objektivgewinde) ist für alle von den verschiedenen Firmen gelieferten Objektive dasselbe (36 Gang je Zoll), so daß Objektive verschiedenen Fabrikates an einem und demselben Mikroskop gebraucht werden können. Das Okular wird in den Tubus oder in einen am Tubus befestigten Okularstutzen eingeschoben. Der Abstand von der Anlage des Objektivs am Tubus (bzw. am Objektivträger) bis zur Anlage des Okulars am Stutzen heißt mechanische Tubuslänge des Mikroskopes. Sie ist für alle Objektive einer Herstellerfirma gleich groß, da die Entfernung zwischen Objekt und Bild eingehalten werden muß (vgl. S. 39).

Für mikrophotographische Zwecke eignet sich, vor allem bei Aufnahmen mit kleinem Abbildungsmaßstab (Übersichts-Anastigmaten), ein weiter Tubus (Durchmesser ca. 50 mm).

4. Der Objektivträger.

Raschen Wechsel der Vergrößerung, bei der man beobachten will, ermöglicht der Objektiv-Revolver, auf den zwei bis vier Objektive geschraubt werden können, die sich durch Drehung des Revolvers nacheinander einschalten lassen (Fig. 36). Eine Einrastvorrichtung hält den Revolver in genau zentrierter Stellung der Objektive fest. Die zusammen mit dem Revolver gelieferten Objektive sind in ihrer Höhe abgestimmt, so daß ein mit einem Objektiv scharf eingestelltes

Bild auch mit allen anderen Objektiven scharf ist. Hierbei ist natürlich Voraussetzung, daß das Objekt eben ist, damit nicht das Objektiv, das vorgedreht werden soll, an irgendwelchen Unebenheiten (z. B.

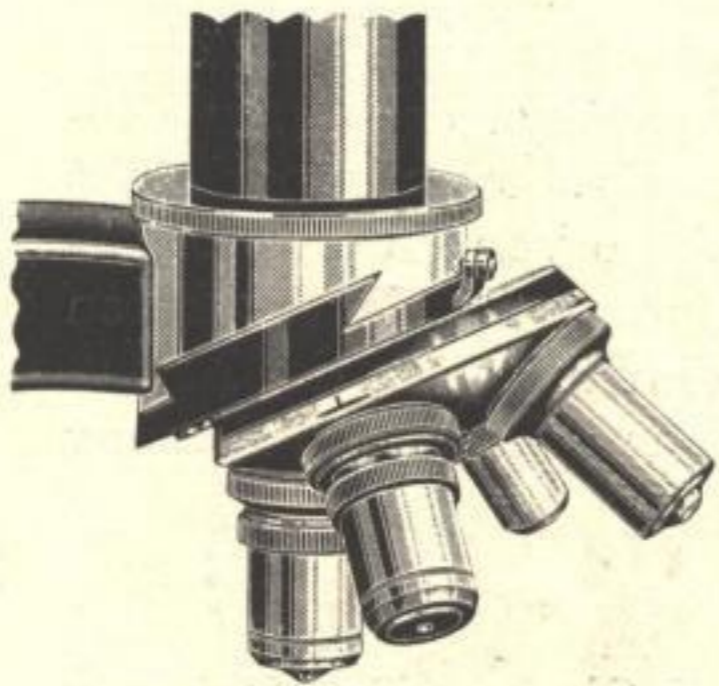


Fig. 36. Objektivrevolver.

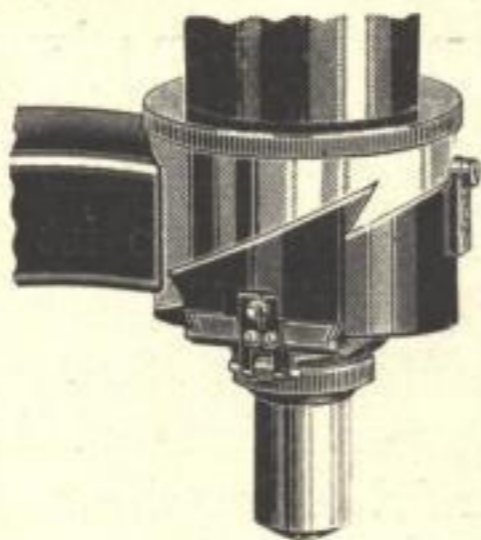


Fig. 38. Zentrierbarer
Objektivschlitten.

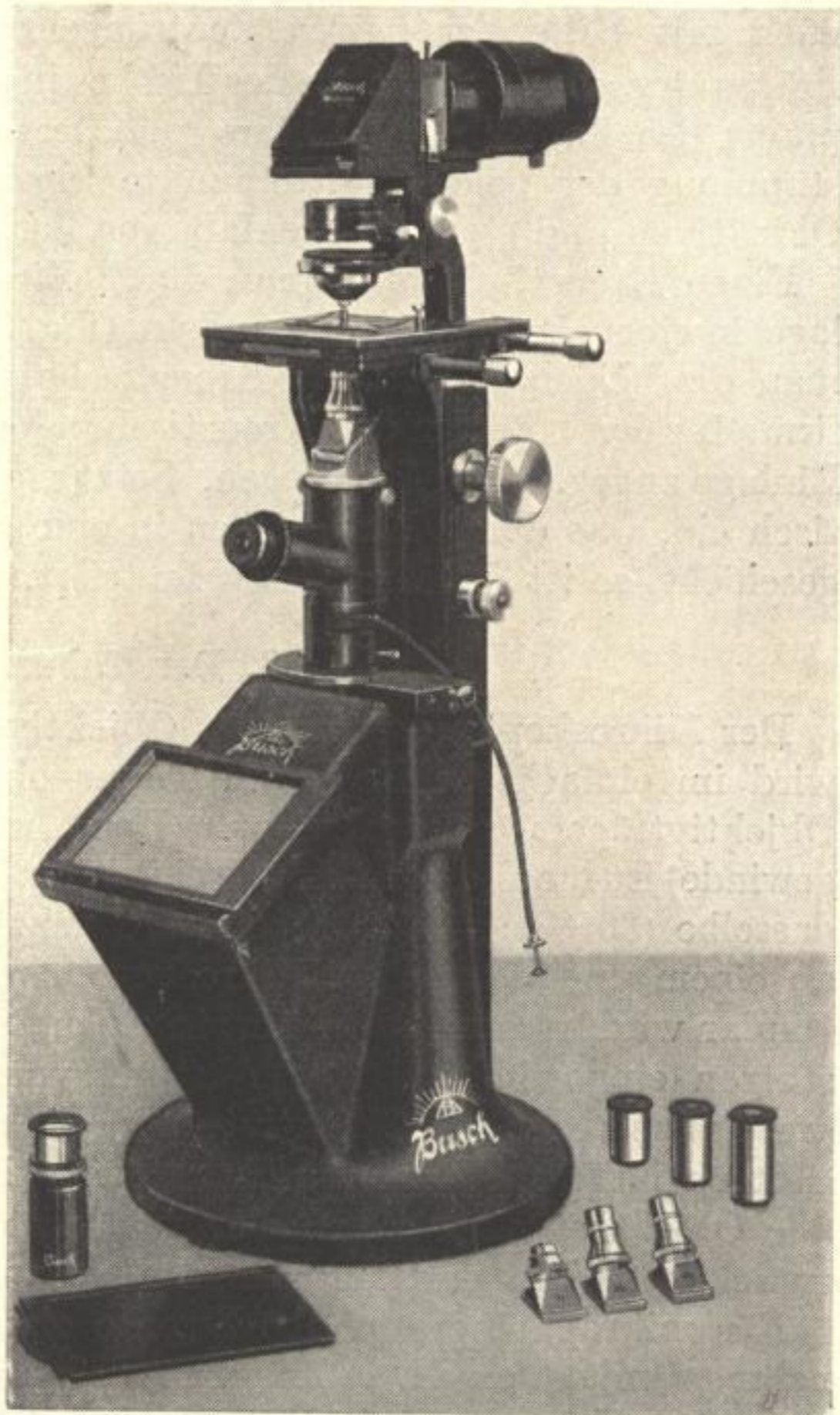


Fig. 37. Mikrophotographisches Gerät mit Objektiven
auf Schrägschlitten.

dem Kittwulst, durch den das Deckglas am Objektträger befestigt ist) anstößt.

Bei anderen Mikroskoptypen befinden sich die Objektive auf Schlitten, die in eine Führung am Mikroskoptubus passen (Fig. 37). Diese Schlitten werden genau justiert, so daß beim Einschieben das Objektiv zentriert ist. An anderen Schlitten befinden sich kleine Schrauben, die ein nachträgliches Justieren ermöglichen (Fig. 38).

Ein weiteres Mittel, Objektive leicht auszuwechseln, ist die Zentrierzange (Fig. 39). Bei dieser befindet sich das Objektiv auf einem Zwischenstück, das in eine konische Passung am Tubus eingeschoben wird. Mit Hilfe einer federnden Zange wird es in die Passung gedrückt. Diese Befestigungsart der Objektive gewährleistet eine sehr gute Zentrierung und wird vor allen Dingen bei Untersuchungen im polarisierten Licht mit Vorteil verwendet.

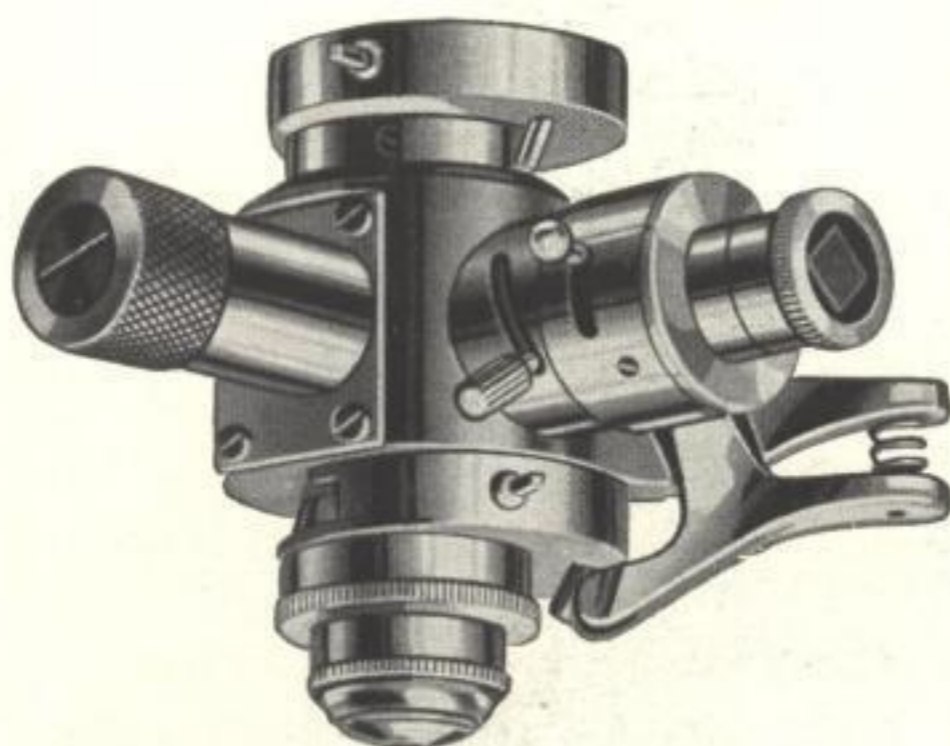


Fig. 39. Zentrierzange.

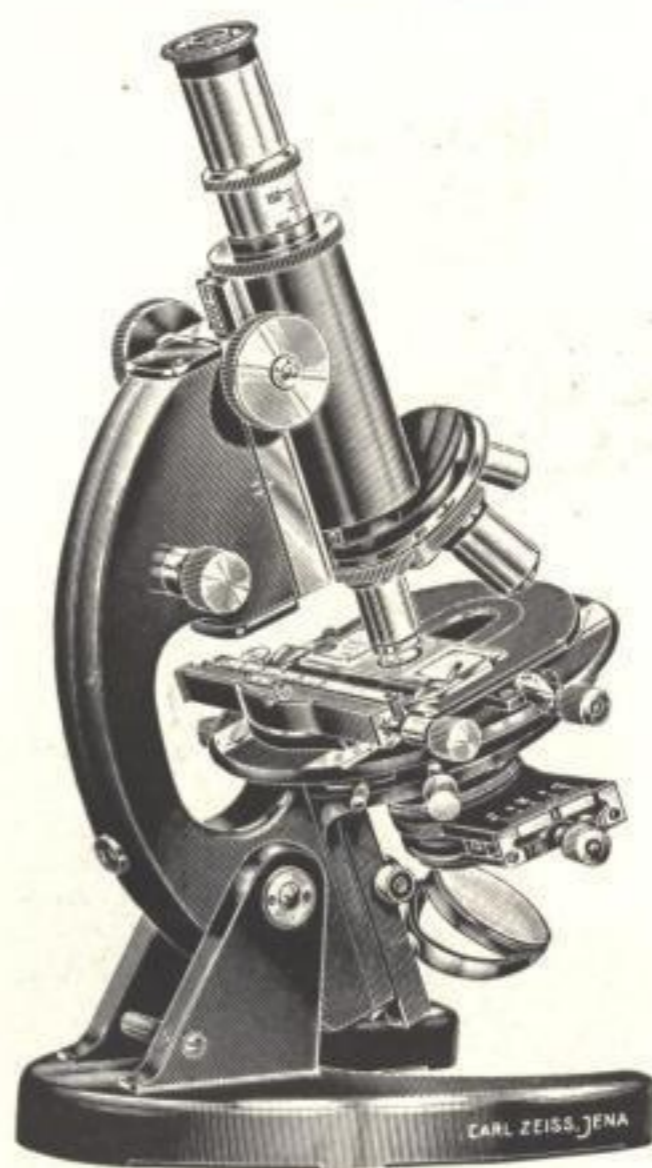


Fig. 40. Mikroskop mit verstellbarem Okularrohr.

5. Der Okularstutzen.

Der Okularstutzen ist ein am Tubus befestigtes (für Photographie mit Anastigmaten abschraubbares) Rohr, in das die Okulare eingeschoben werden. Werden Objektive verschiedener Hersteller verwendet, so muß das Okularrohr im Tubus verschiebbar sein, da, wie schon mehrfach erwähnt, die Tubuslänge, für die die Objektive verschiedener Herkunft korrigiert sind, nicht gleich groß ist (Fig. 40). Auf diese verschiebbaren Rohre sind Zahlen graviert, die der mechanischen Tubuslänge des Mikroskopes entsprechen. Sie rechnet (vgl. S. 47) von der Anlage des Objektivs, d. h. von der Stelle, an der das Objektiv am Tubus sitzt, bis zur Okularanlage, d. h. bis zum Ende des Okularrohres. Von jeder Firma wird die Tubuslänge, für die sie ihre Objektive berechnet hat, angegeben, so daß das Okularrohr stets für die richtige Tubuslänge eingestellt werden kann.

6. Trieb und Mikrometerschraube.

Zur Scharfeinstellung wird der Mikroskoptubus, der Objektiv und Okular trägt, dem Objekt genähert. Dies geschieht zunächst grob durch Zahn und Trieb. Sieht man das Objekt nahezu scharf, so stellt

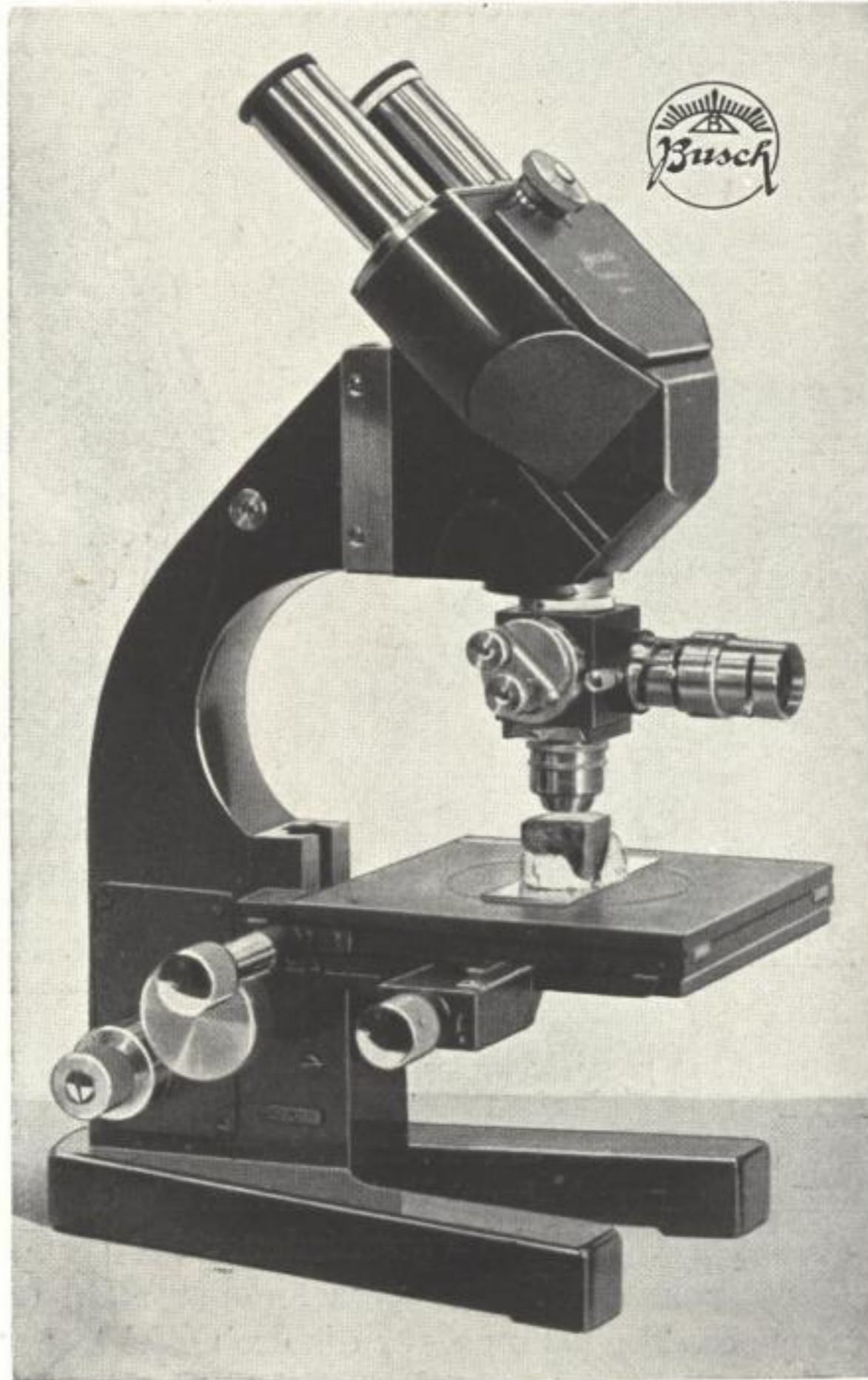


Fig. 41. Großes Metallmikroskop.

man mit der Feinstellschraube nach. Diese Feineinstellung gestattet, äußerst geringe Bewegungen des Tubus durchzuführen. (Die noch meßbare Verschiebung beträgt $\frac{1}{1000}$ mm.) Die Mikrometerschraube befindet sich, vor allem bei einfachen Modellen (vgl. Fig. 30), meist in der Nähe des Grobtriebes am Tubus. Dadurch erreicht man, daß

die Verstellung ohne komplizierten Antriebsmechanismus bewirkt werden kann. Der Beobachter ist beim Einstellen allerdings gezwungen, die Hände ziemlich hoch zu halten, was beim langen Beobachten ermüdend ist. Deshalb erhalten moderne Instrumente eine tiefliegende Feineinstellung, mit deren Hilfe es möglich ist, die Scharfeinstellung vorzunehmen, während die Hände auf dem Tisch ruhen (Fig. 41). Bei diesen Instrumenten wird die Grobbewegung meist durch Verstellung des Objektisches bewirkt, weil auf diese Weise die Triebsschraube in der Nähe der Feineinstellung angeordnet werden kann. Der Tubus bleibt immer in derselben Stellung, was aus verschiedenen Gründen vorteilhaft ist. Bei Untersuchungen im auffallenden Licht (vgl. S. 87) z. B. wird es ermöglicht, daß der Beleuchtungsapparat, der fest mit dem Tubus verbunden ist, stets in Höhe der Lichtquelle bleibt. Ferner ist durch den zur mikrophotographischen Kamera feststehenden Tubus eine lichtsichere Verbindung beider gewährleistet, so daß sich eine Nachjustierung der Lichtquelle erübrigt.

Schwierig gestaltet sich unter Umständen das Einstellen mit starken Objektiven, vor allen Dingen mit der Ölimmersion. Diese Objektive haben einen außerordentlich geringen Objektabstand. Es besteht beim Betrachten von Durchlichtpräparaten Gefahr, daß das Deckglas eingedrückt wird bzw. daß beim Betrachten von Auflichtobjekten (Metallschliffen und ähnlichen) die Frontlinse des Objektivs, die verhältnismäßig leicht in der Fassung sitzt (Halbkugellinse vgl. S. 34), beschädigt wird. Das Aufsuchen des Objektes soll daher mit nahezu geschlossener Kondensorblende (vgl. S. 23) vorgenommen werden, da dann das Objekt am kontrastreichsten ist und leicht gefunden werden kann. Verschiedentlich wird empfohlen, den Tubus mit Hilfe der Grobverstellung soweit zu senken, daß das Objektiv sich nahe am Objekt befindet; darauf wird mit Hilfe der Feineinstellung der Tubus gehoben, bis ein scharfes Bild erscheint.

7. Die Lichtquellen.

In der Mikrophotographie ist es unbedingt notwendig, die Aufnahmen bei konstanten Lichtverhältnissen anzufertigen, da nur auf diese Weise reproduzierbare Bilder möglich sind. Außerdem kann bei wechselnden Lichtverhältnissen, vor allem bei dunklen Objekten, die Belichtungszeit niemals genau bestimmt werden. Tageslicht ist demnach für mikrophotographische Zwecke nicht geeignet.

Am einfachsten in der Bedienung und der Einstellung ist eine Glühlampe von möglichst hoher Leistung. Es eignen sich hierfür natürlich nicht die normalen Beleuchtungslampen, deren Fäden einen viel zu

großen Abstand voneinander haben. Für die Mikroskopie müssen Lichtquellen mit möglichst gleichmäßig leuchtender Fläche benutzt werden, z. B. Projektionsröhrenlampen, deren Glühfäden in geringem Abstand voneinander liegen (Fig. 42a).

Um störendes Nebenlicht auszuschalten, befinden sich diese Lampen in einem besonderen Gehäuse, das eine gute Ventilation ermöglicht,

da die Lampen viel Wärme entwickeln. Das in Fig. 42b dargestellte Lampengehäuse ist kippbar an einem Fuß befestigt. Hierdurch kann leicht der für gute Zentrierung der Lichtquelle zum Mikroskop nötige Kippwinkel eingestellt werden. Am Lampengehäuse

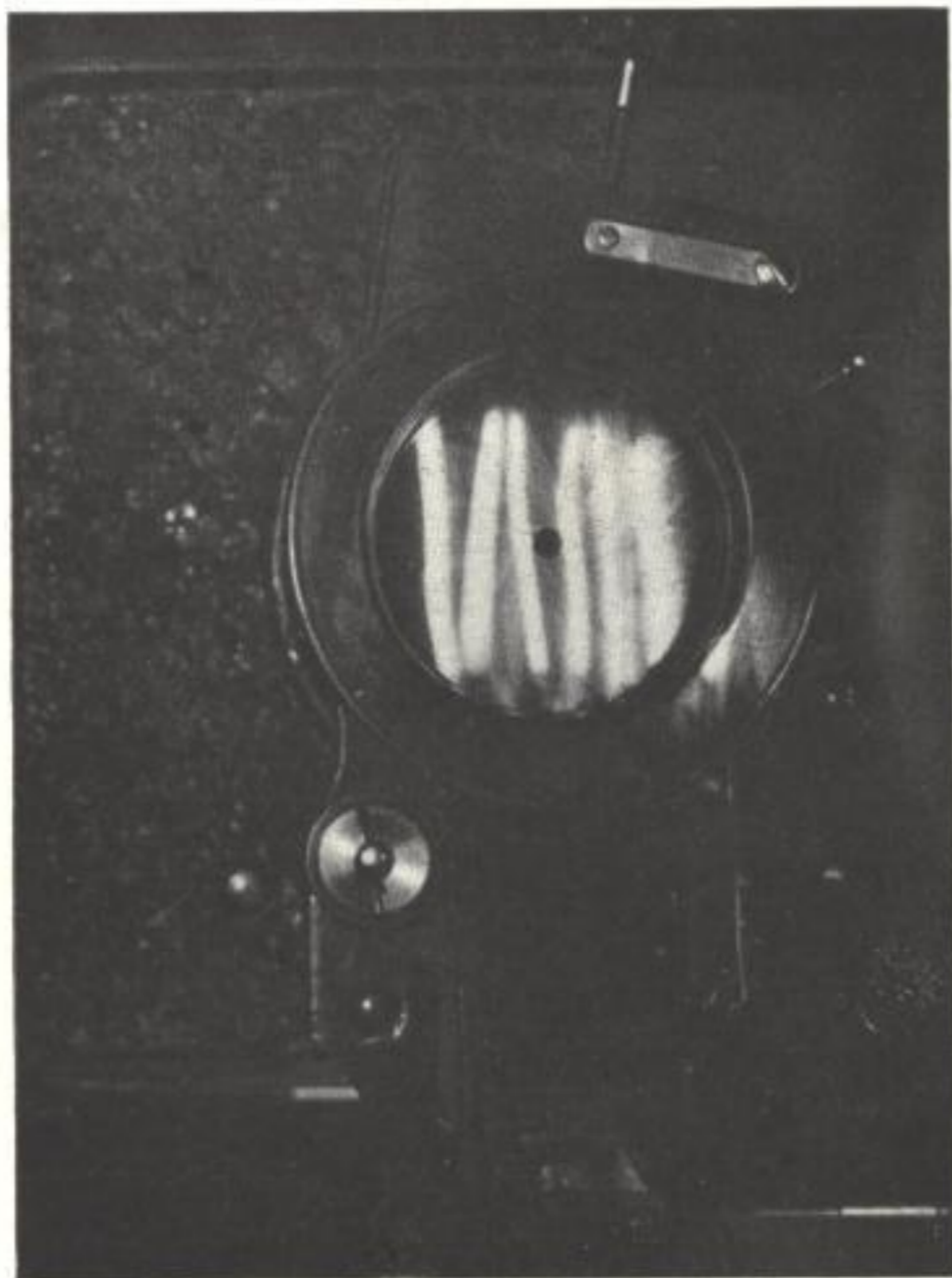


Fig. 42a. Bild der Glühfäden einer Projektionsröhrenlampe auf der Kondensorblende.
Werkphoto Busch, phot. H. POLENSKI.

ist ein Kollektor angebracht, mit dessen Hilfe man die Lichtquelle auf der Aperturblende des Mikroskop-Kondensors abbildet (vgl. S. 64). In der Nähe des Kollektors befindet sich eine Blende, die bei richtiger Einstellung des Mikroskop-Kondensors auf dem Objekt abgebildet wird.

Zur Erzielung möglichst gleichmäßiger Ausleuchtung des Objektes, vor allem bei schwachen Vergrößerungen, eignen sich Niedervoltlampen (Fig. 43a) noch besser als Projektionsröhrenlampen. Sie



Fig. 42b. Lampengehäuse für Projektionsröhrenlampen.

brennen, wie ihr Name schon sagt, an niedriger Spannung (ca. 6 Volt) mit einer hohen Stromstärke (5 Amp.). Die Fäden der Lampenwendel liegen dicht beisammen und erzeugen eine kleine intensiv leuchtende



Fig. 43a. Einwendel- und Zweiwendel-Niedervolt-Lampe.

Fläche. Zur möglichst vollkommenen Ausnutzung des Lichtes wird die Lampenwendel mit einem asphärischen Kollektor auf der Blende des Mikroskop-Kondensors (Fig. 43b) abgebildet. Diese Kollektoren weisen eine nicht kugelige Fläche auf und ermöglichen auf diese Weise durch Verminderung der sphärischen Fehler eine exaktere Abbildung als eine sphärische Linse gleicher Apertur und damit eine bessere Ausleuchtung des Objektes. Kollektor und Lichtquelle werden in einem kleinen Gehäuse (Figur 44) vereinigt, das auf einem Stativ angeordnet, in der Höhe verstellbar und gekippt werden kann. Der Kollektor läßt sich mit Hilfe eines



Fig. 43b. Bild des Glühfadens einer Niedervoltlampe auf der Kondensorblende.
Werkphoto Busch, phot. H. POLENSKI.

Führungsstiftes zur Lichtquelle verschieben. Vor dem Kollektor ist eine Irisblende angebracht.

Verbessert wird die mit diesen Lichtquellen erzielte Ausleuchtung durch Zweiwendellampen. Sie besitzen, wie der Name sagt, zwei Wendeln, die in Richtung der optischen Achse hintereinander ange-

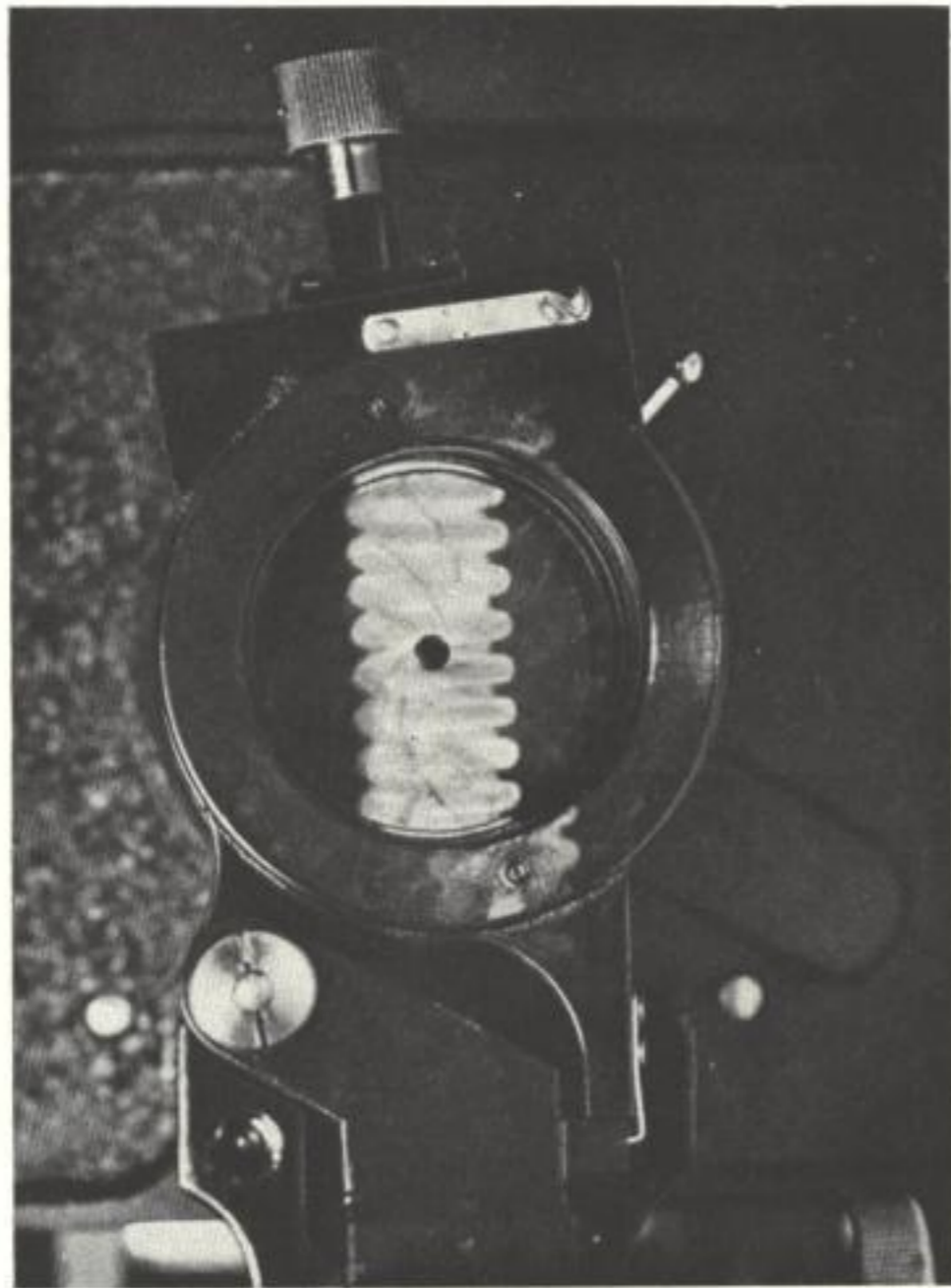


Fig. 43c. Bild der Glühfäden einer Zweiwendellampe auf der Kondensorblende. Werkphoto Busch, phot. H. POLENSKI.

ordnet sind. Die Zwischenräume zwischen den Windungen des Fadens der ersten Wendel werden durch die zweite Wendel ausgefüllt, so daß diese Lampe eine noch gleichmäßigere leuchtende Fläche aufweist (Fig. 43a u. c). Die Niedervoltlampen sind klein, handlich, leicht bedienbar und betriebsicher. Sie genügen für Momentaufnahmen bei schwachen und mittleren Vergrößerungen im durchfallenden Licht und können bei geeigneten Objekten auch für Momentaufnahmen bei starken Vergrößerungen benutzt werden. Im auffallenden Licht erhält man mit ihnen relativ kurze Belichtungszeiten (bei gut reflektierenden Objekten ca. 5 bis 30 sec).

Zur Erzielung größerer Leuchtdichte, z. B. für Momentphotographie bei Durch-

licht-Dunkelfeld (vgl. S. 77), benutzt man Bogenlampen. Besteht die Möglichkeit, eine Bogenlampe mit Gleichstrom zu brennen, so ist dies in jedem Fall anzuraten, da hierbei der Abbrand gleichmäßiger erfolgt als bei der Wechselstrom-Bogenlampe. Außerdem wird nur eine Kohle zur Weißglut gebracht (positiver Krater); der größte Teil der Energie wird demnach von einer Kohle ausgestrahlt. Benutzt man eine Wechselstrom-Bogenlampe, so glühen beide Kohlen gleich stark. Die Energie wird demnach von beiden Kratern ausgestrahlt. Bei den Gleichstrom-Bogenlampen erhält man nur einen hellen Fleck als Bild der Lichtquelle auf der Kondensorblende, während man bei der Wechselstrom-Bogenlampe zwei helle Flecke auf der Kondensorblende sieht. Es darf nur das Bild eines der

beiden glühenden Krater auf der Aperturblende des Kondensors abgebildet werden, da nur so eine gleichmäßig helle Ausleuchtung des Objektes erreicht werden kann.

Für beste Ausnutzung der Lichtenergie bei Mikrophotographie werden die beiden Kohlen senkrecht zueinander angeordnet, so daß die Kohle, deren Krater auf dem Kondensor abgebildet wird, in Richtung der optischen Achse liegt (bei Gleichstromlampen also die positive



Fig. 44. Lampengehäuse für Niedervoltlampe.

Kohle). Eine starke Konzentration der Energie wird bei Gleichstromlampen dadurch erreicht, daß man als Positivkohle eine gegenüber der negativen dünne Kohle benutzt, deren Vorschub entsprechend groß ist. Unregelmäßiges Brennen des Bogens wird durch Dochtkohlen vermieden, bei denen sich der Krater im Docht (meist gegenüber dem Mantel weiches Material) ausbildet, während der Mantel langsam wegbrennt.

Soll nur kurzzeitig beobachtet oder fotografiert werden, so kann der Vorschub der Kohlen durch Handregulierung erfolgen (Fig. 45).

Bei dem gezeigten Modell steht die Lampe fest, während der Blendenträger gekippt wird, so daß das Licht der Bogenlampe nach unten (z. B. zum Mikroskopspiegel, vgl. S. 67) oder waagrecht (z. B. zum

Vertikal-Illuminator, vgl. S. 84) gerichtet werden kann.

Für längere Belichtungszeiten empfiehlt sich dagegen die Benutzung einer Bogenlampe mit automatischer Regulierung. Der Vorschub wird bei den Lampen z. T. durch ein Uhrwerk geleistet, das sich im hinteren Teil der in Fig. 46 gezeigten Lampe befindet. Es wird durch den in der Figur sichtbaren Hebel ein- und ausgeschaltet, so daß die Lampe auch für Handregulierung gebraucht werden kann. Die Bogenlampe steht auf einem Fuß (bzw. einem Reiter für die optische Bank) und kann beliebig geneigt werden. Für ein einwandfreies Arbeiten einer

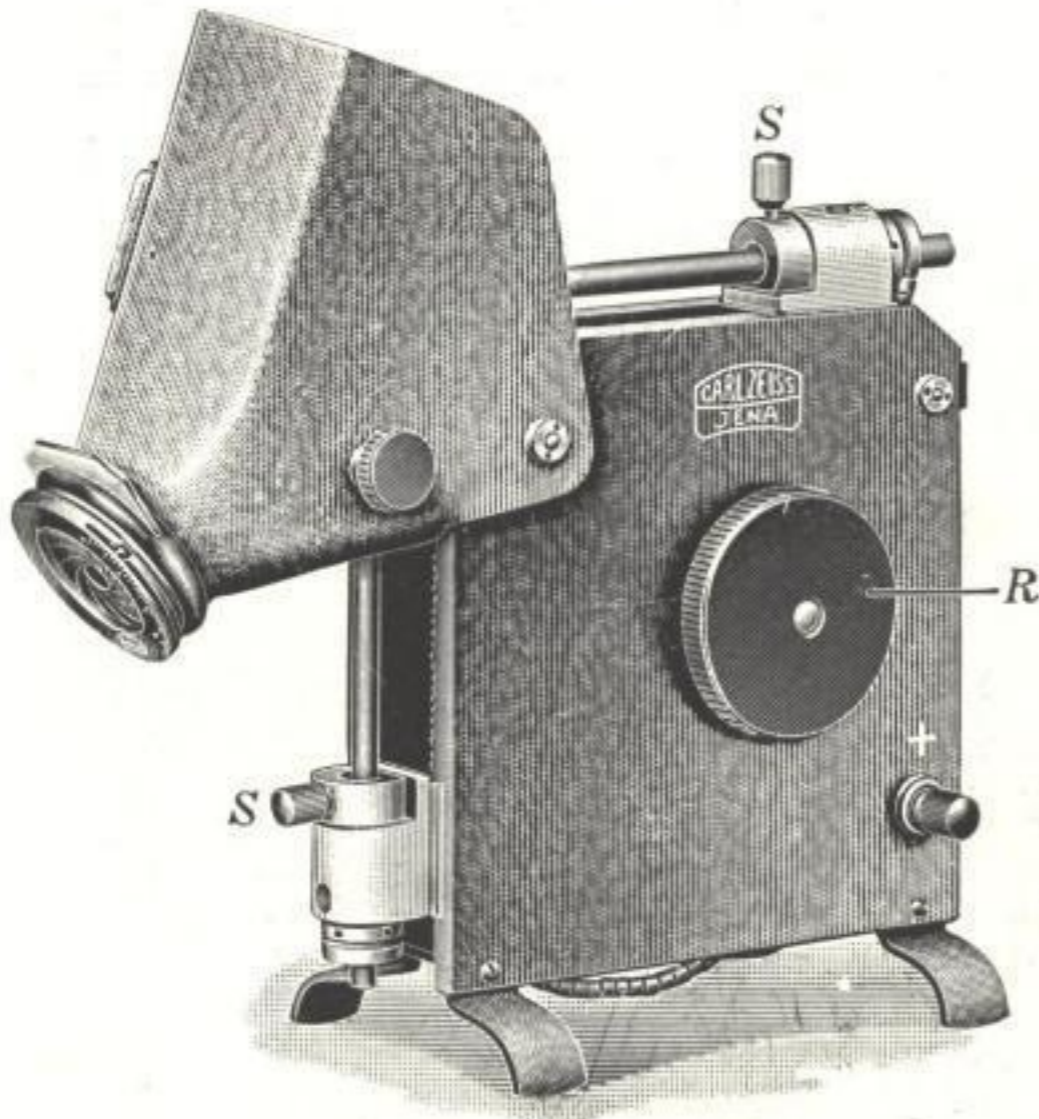


Fig. 45. Bogenlampe mit Handregulierung.

Uhrwerkklampe ist es notwendig, daß die Kohlen vollkommen gleichmäßig abbrennen, da ein ungleichmäßiger Abbrand durch das Uhrwerk nicht ausgeglichen wird.

Für vollkommen ruhiges Brennen benutzt man selbstregulierende Lampen, bei denen der Abbrand mit Hilfe des Betriebsstromes reguliert wird (Figur 47). Der Vorschub der Kohlen erfolgt hier wieder durch eine gespannte Feder. Die Bewegung wird durch einen Hebel reguliert, der durch einen vom Bogenlampenstrom durchflossenen Magneten so gehalten wird, daß er bei normaler Stromstärke die Bewegung der Kohle hemmt. Sinkt die Stromstärke unter einen bestimmten Betrag, so

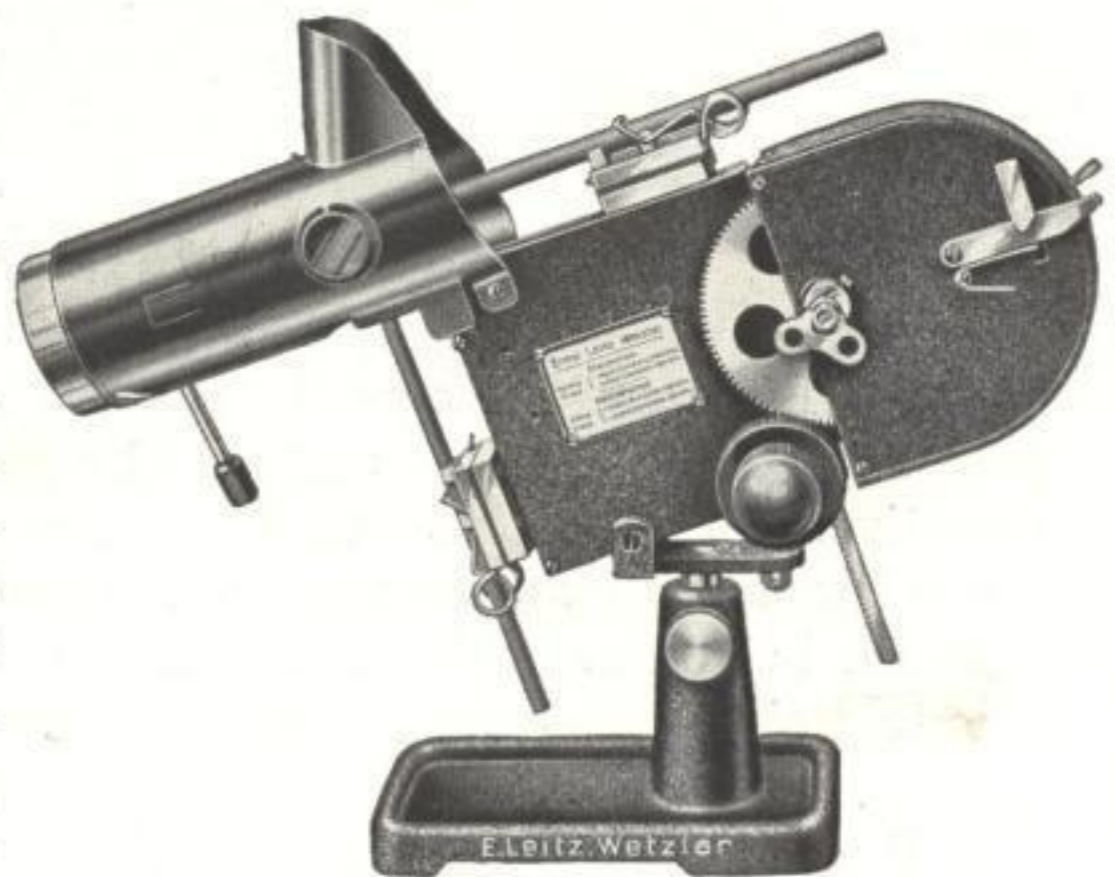


Fig. 46. Uhrwerkbogenlampe.

kann der Magnet den Hebel nicht mehr anziehen. Dadurch wird aber die Bewegung der Kohlen freigegeben, die so lange anhält, bis die normale Stromstärke wieder hergestellt ist. Der Durchmesser der benutzten Kohlen muß zur Erzielung eines gleichmäßigen Abbrandes auf die Größe des elektrischen Reglers abgestimmt sein.

Bei Bogenlampenbeleuchtung findet eine erhebliche Wärmeentwicklung auf dem Objekt statt, die z. B. lebende Objekte tötet. Außerdem kann der Kanadabalsam, in dem die Objekte eingebettet sind, schmelzen. Bei der Untersuchung leicht entzündbarer Stoffe, wie z. B. Celluloidstreifen bei der Untersuchung von photographischem Korn, besteht

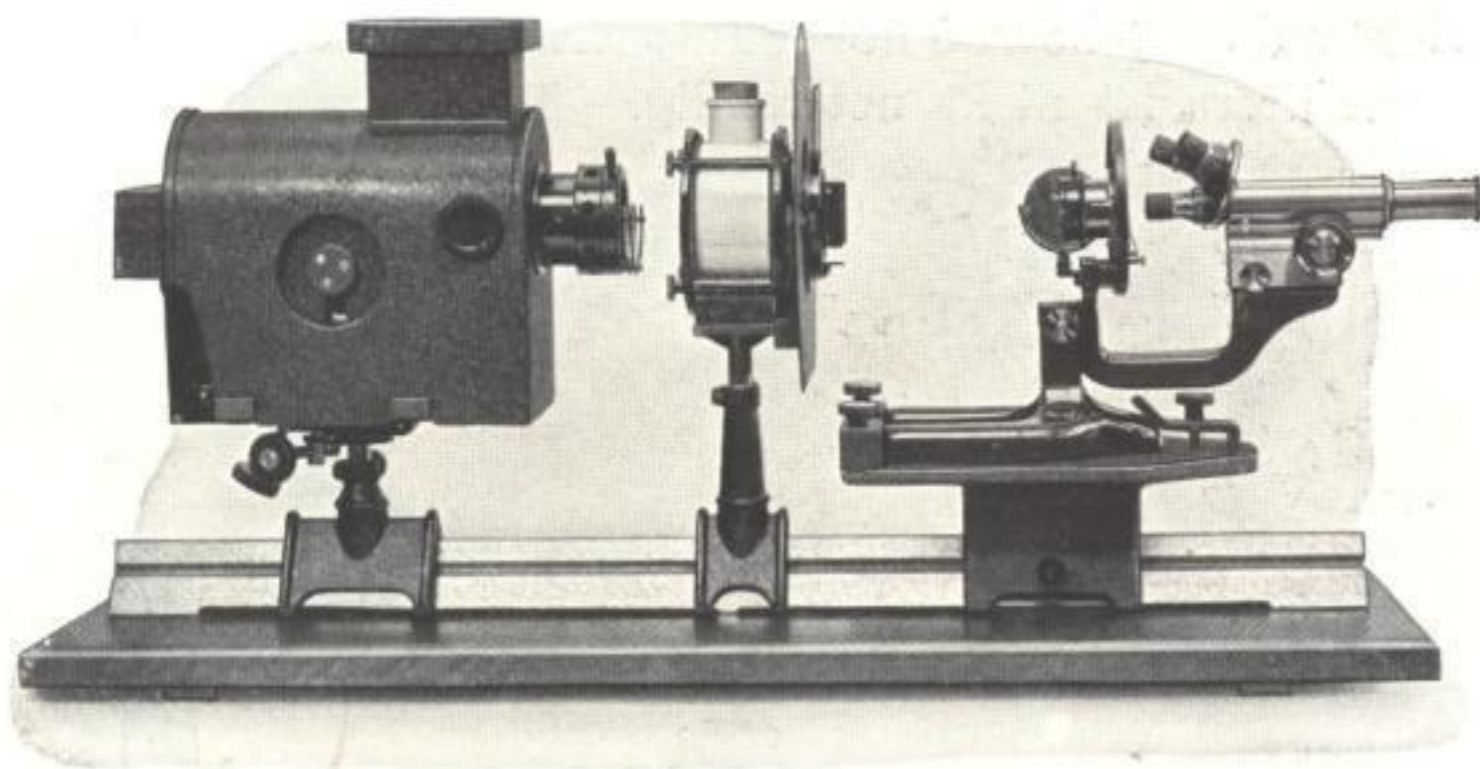


Fig. 47. Elektromagnetisch geregelte Bogenlampe.

die Gefahr, daß in die Objekte Löcher gebrannt werden. Die optische Ausrüstung des Mikroskopes, z. B. empfindliche Polarisationsprismen, können durch die Wärmeentwicklung leiden. Aus all diesen Gründen ist es unbedingt erforderlich, in den Beleuchtungsstrahlengang Kühlküvetten zu schalten, da normale Wärmeschutzgläser nicht ausreichen.

Die Küvetten bestehen aus Porzellankörpern; an die zwei Planglasscheiben gedrückt werden (Fig. 48). Sie können leicht auseinandergenommen werden, um die Glasscheiben zu reinigen. Als Kühlflüssigkeit dient abgekochtes Wasser, in dem Eisenchlorür oder Kupfersulfat gelöst ist. Man setzt die Lösung am besten 5proz. an. Nach dem Lösen empfiehlt es sich, die Lösung zu filtrieren.

Unter Umständen sind lebende Objekte gegen Bestrahlung mit ultraviolettem Licht, das von der Bogenlampe in reichlichem Maße ausgesandt wird, empfindlich. In diesem Falle schaltet man ein ultraviolett absorbierendes Filter aus Euphosglas oder eine zweite Küvette mit 5% Chininsulfat-Lösung in den Strahlengang.

Soll das Präparat vor der Photographie subjektiv beobachtet werden, so ist die ins Auge fallende Lichtmenge zu groß, um eine Beobachtung zuzulassen. Man setzt deshalb ein Rauchglas auf das Okular, das einen großen Teil des Lichtes absorbiert. (Eine Wechseleinrichtung zwischen Bogenlampen- und Glühlampen-Beleuchtung ist auf S. 162 beschrieben.)

Schließlich werden für Mikrophotographie Punktlichtlampen gebraucht. Es handelt sich hierbei um Bogenlampen, die in verdünntem Gas, meist Stickstoff, brennen. Als Lichtquelle dient die positive Elektrode (Anode), die, wie bei der Kohlenbogenlampe, durch den Aufprall der Elektronen zum Glühen kommt. Die Lampe ist für mikrophotographische Zwecke an sich gut geeignet. Sie besitzt eine gleichmäßig leuchtende Fläche von hoher Intensität. Die Zwischenschaltung eines Wärmefilters ist nicht notwendig.



Fig. 48. Küvetten für Flüssigkeitsfilter.

8. Die mikroskopischen Beleuchtungsanordnungen.

Die Art der Beleuchtung richtet sich nach den Eigenschaften des Objektes. Will man durchsichtige Objekte beobachten bzw. photographieren (z. B. histologische Schnitte, Gesteinsdünnschliffe), so wendet man Durchlichtbeleuchtung an, während zur Beobachtung undurchsichtiger Objekte (z. B. Metallanschliffe, Bruchgefüge) Auflichtbeleuchtung benutzt wird.

Wird die Sichtbarkeit der Struktur eines durchsichtigen Objektes durch Dichte- oder Farbunterschiede bzw. die Sichtbarkeit eines un-

durchsichtigen Objektes durch Reflexionsunterschiede bedingt, so beobachtet man bei Hellfeldbeleuchtung, bei der die Apertur des Kondensors gleich der Apertur des Objektivs oder kleiner als diese ist. Weicht der Brechungsindex eines durchsichtigen Präparates von dem des umgebenden Mediums ab, so kann die Objektstruktur, auch wenn keine Dichte- oder Farbunterschiede bestehen, durch Dunkel-feldbeleuchtung sichtbar gemacht werden, bei der kein direkt aus dem Kondensator kommendes Licht, sondern nur vom Objekt abgebeugtes Licht zur Abbildung benutzt wird. Dieselbe Beleuchtungsart kann auch bei Auflicht benutzt werden. Hier wird sie (vgl. S. 88) mit Vorteil zur Erkennung der Farben eines undurchsichtigen Objektes verwendet.

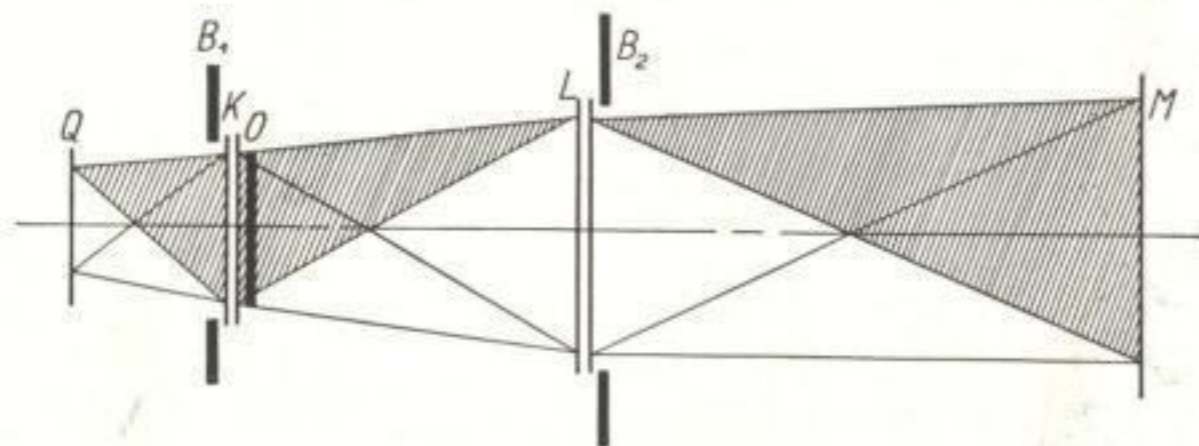


Fig. 49. KÖHLERScher Strahlengang bei kleinstem Abbildungsmaßstab.

Zur Erzielung eines guten mikroskopischen Bildes ist eine vollständig gleichmäßige Beleuchtung des Objektes erforderlich. Gleichmäßige Beleuchtung erhält man dann, wenn man die Lichtquelle in der Ebene der Aperturblende des Objektivs abbildet. (Beim Mikroskopobjektiv ist dies die hintere Brennebene, bei einem photographischen Anastigmaten die Ebene der Irisblende.) Das Objekt muß hierbei in der Nähe des Kollektors (vgl. Fig. 49) liegen, der die Lichtquelle in der Blendenebene des Objektivs abbildet, da dieser von der Lichtquelle völlig gleichmäßig ausgeleuchtet wird. Natürlich kann an Stelle des Kollektors auch ein mit Hilfe eines weiteren Linsensystems erzeugtes Bild von ihm benutzt werden.

Der einfachste Aufbau dieser in der Mikroskopie „KÖHLERSche Beleuchtung“¹⁾ genannten Anordnung ist in Fig. 49 dargestellt.

Die Lichtquelle Q wird durch den Kollektor K im Objektiv L abgebildet. Das Objekt O liegt dicht bei dem Kollektor K , der von der Lichtquelle gleichmäßig ausgeleuchtet wird. Es wird vom Objektiv L auf der Mattscheibe M abgebildet. Schließt man die Objektivblende B_2 , so wird das Bild dunkler, bleibt aber gleichmäßig ausgeleuchtet. Schließt man die Kollektorblende B_1 , so bleibt die Bildhelligkeit gleich groß, aber die ausgeleuchtete Objektfläche wird kleiner.

¹⁾ Vergl. Fußnote S. 64.

9. Hellfeldbeleuchtung im durchfallenden Licht bei schwacher Vergrößerung.

Die in Fig. 49 gezeichnete Beleuchtungseinrichtung genügt bei Photographie mit langbrennweitigen Objektiven geringer Apertur. Man erhält auf diese Weise Anordnungen, die denen in Projektionsapparaten ähneln. Zum Ausleuchten der Objektive kürzerer Brennweite reicht die Öffnung des Kollektors nicht mehr aus. Man bringt deshalb einen Hilfskondensator größerer Apertur in den Beleuchtungsstrahlengang. Hierbei bildet man mit dem Kollektor am Lampengehäuse die Lichtquelle im Unendlichen ab, erhält also in der Nähe des Kollektors (z. B. in der Objektebene) gleichmäßige Ausleuchtung.

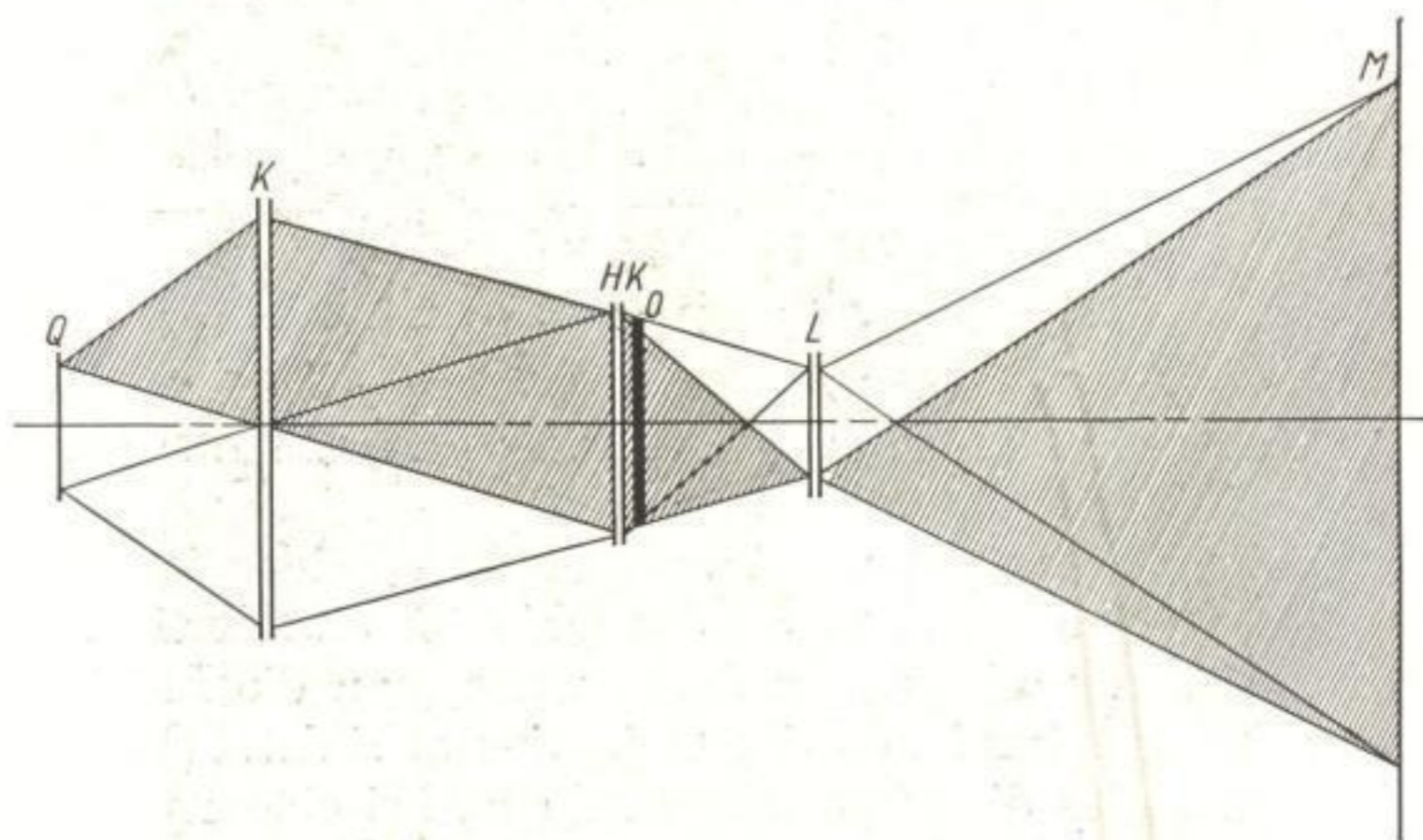


Fig. 50. KÖHLERScher Strahlengang bei kleinem Abbildungsmaßstab.

Mit einem Hilfskondensator — meist genügt ein einfaches Brillenglas (sog. Brillenglaskondensator) — der sich unmittelbar vor dem Objekt befindet, werden die Beleuchtungsstrahlen im abbildenden Objektiv gesammelt. Brennweite und Öffnung des Hilfskondensators sind auf die Brennweite und Apertur des Objektivs abgestimmt. Für jedes Objektiv muß daher ein besonderer Hilfskondensator verwendet werden. In Fig. 50 ist der Strahlengang dieser Anordnung gezeichnet. Die von jedem Lichtquellenpunkt divergierenden Strahlen werden durch den Kollektor *K* parallel gerichtet. Hierdurch wird in der Ebene des Hilfskondensators *HK* gleichmäßige Ausleuchtung erzielt. Der Hilfskondensator vereinigt die Strahlen im Objektiv *L*. Auf der Mattscheibe *M* entsteht das Bild des gleichmäßig ausgeleuchteten Objektes *O*.

Die Einstellung des Strahlenganges geht folgendermaßen vor sich. Durch Verschieben des Kollektors am Lampengehäuse wird die Licht-

quelle auf einem weit entfernt liegenden Auffangschirm scharf abgebildet. Die Blende am Lampengehäuse bleibt geöffnet. Hierauf richtet man das Licht auf den Hilfskondensator, der gleichmäßig beleuchtet sein muß. Das Objekt wird in die Nähe des Kondensators gebracht und das Bild durch Verschieben des Objektivs bzw. der Kamera scharf



Fig. 51. Fettige Degeneration des Herzmuskels. Objektiv $f = 5,5$ cm; $\beta' = 12 \times$. Beleuchtung: Durchlicht-Hellfeld. Filter: Blaugrün + gelb. Platte: Perutz Silber-eosin. Belichtungszeit: $\frac{1}{10}$ ". Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

eingestellt. Schließt man die Blende am Objektiv, so muß das Bild gleichmäßig ausgeleuchtet bleiben. Schließt man noch die Blende am Lampengehäuse, so wird das Bild vignettiert. Es bleibt eine kreisförmig beleuchtete Stelle übrig, die bei genauer Zentrierung des Lampengehäuses zur Kamera in der Mitte des Bildes liegen muß.

Die photographischen Anastigmaten mit verhältnismäßig kurzen Brennweiten werden an den Mikroskoptubus, der zur Vermeidung

von Bildbeschneidung möglichst weit sein soll, angeschraubt. Der Okularstutzen muß hierbei natürlich aus dem Tubus herausgenommen werden. An dessen Stelle tritt eine Lichtabschlußhülse, die eine gegen Seitenlicht sichere Verbindung von Mikroskop und Kamera gewährleistet (vgl. S. 68).

Sollen zur Photographie Objektive längerer Brennweite benutzt werden, so befestigt man sie an der Kamera selbst (vgl. S. 158). Diese Objektive haben gegenüber den kurzbrennweitigen Objektiven den Vorteil, bei gleichem Abbildungsmaßstab (also längerem Balgenauszug) eine größere Fläche scharf abzubilden.



Fig. 52. Hechtbrut 6 Tage alt. Objektiv $f = 3,5$ cm; $\beta' = 16 \times$. Nachträglich verkleinert auf $\frac{1}{5}$. Beleuchtung: Durchlicht-Hellfeld. Filter: Blaugrün. Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit: $\frac{1}{25}$ ". Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

Gleichmäßige Ausleuchtung sehr großer Objekte erreicht man am besten dadurch, daß man in einiger Entfernung hinter dem Objekt eine matte, weiße Fläche (weißes Papier oder einen mit Magnesiumoxyd beschlagenen Schirm) anbringt, die mit Hilfe mehrerer starker Lichtquellen gleichmäßig angestrahlt wird.

Die Qualität der mit photographischen Anastigmaten hergestellten Bilder kann man, ein gut korrigiertes Objektiv vorausgesetzt, gemäß der folgenden Überlegung beurteilen. Zwischen der relativen Öffnung R des Objektivs und seiner numerischen Apertur A_0 besteht (vgl. S. 8) die Näherungsformel:

$$A_0 = 1/2 R,$$

die um so genauer ist, je kleiner die Objektweite gegenüber der Bildweite ist. Für einen $10 \times$ Abbildungsmaßstab genügt nach den Über-

legungen von S. 25 eine numerische Apertur von $\frac{1}{50}$, d. h. eine relative Öffnung von 25, für einen $25\times$ Abbildungsmaßstab genügt eine numerische Apertur von $\frac{1}{20}$, d. h. eine relative Öffnung von 10. Man erkennt hieraus, daß die Objektive mit ziemlich stark geschlossener Blende benutzt werden können, was für die erreichbare Schärfentiefe und für den Kontrast im Bild außerordentlich günstig ist. Eine lange Belichtungszeit ist nicht zu befürchten, da der Abbildungsmaßstab nur gering ist. Ist eine solch weitgehende Abblendung nicht nötig, so eignen sich diese Aufnahmen sehr gut für nachträgliche Vergrößerung, da auf den Negativen meist viel mehr Struktur vorhanden ist, als das Auge erkennen kann.

In Fig. 51 ist eine mit photographischen Anastigmaten hergestellte Aufnahme eines Schnittes durch einen Herzmuskel wiedergegeben. Die Photographie solcher Schnitte ist verhältnismäßig einfach. Das Bild wird bei völlig geöffnetem Objektiv eingestellt. Geringe Abblendung nach erfolgter Scharfeinstellung ist ratsam. Besondere Aufmerksamkeit muß der Wahl eines geeigneten Kontrastfilters (vgl. S. 160) geschenkt werden.

Die für Fig. 51 gewählte Filterkombination gab die rot gefärbten Präparateile am dunkelsten wieder, ohne dabei die feine Zeichnung des Fettgewebes zu zerstören.

Eine gute Wiedergabe der in Fig. 52 und 53 gezeigten Hechtbrut beruht vor allem auf einer günstigen Abblendung des Objektivs. Da nämlich zwischen dem Eidotter und der umgebenden Flüssigkeit (dem Eiweiß) ein erheblicher Brechungsexponenten-Unterschied besteht, ist es nicht möglich, die Objektivblende so stark zu schließen, wie es zur Erreichung der notwendigen Schärfentiefe erwünscht wäre, da hierbei eine Verdunkelung des Objektes vom Rand her einsetzt.

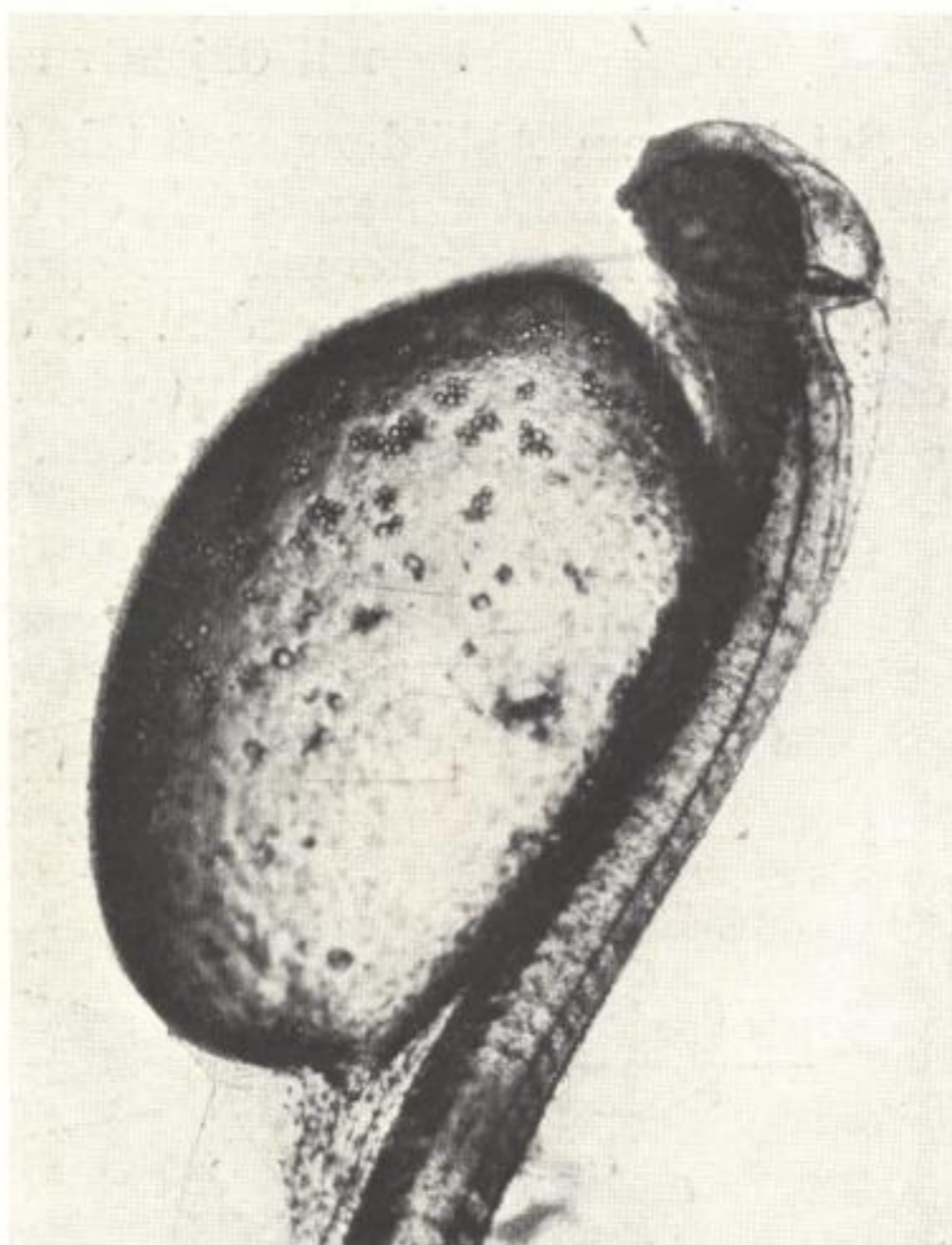


Fig. 53. Soeben ausgeschlüpfter Hecht. Objektiv $f = 2,5$ cm; $\beta' = 28\times$, nachträglich verkleinert auf $\frac{4}{5}$. Beleuchtung: Durchlicht-Hellfeld. Filter: Blaugrün. Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit $\frac{1}{25}$ ".
Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

Es darf daher nur so weit abgeblendet werden, bis der Kopf (bzw. der Rücken) soeben in seiner Tiefe scharf erscheint. Natürlich müssen die Eier unter Wasser photographiert werden, damit der Brechungsindex-Unterschied zwischen Hülle und umgebendem Medium möglichst gering ist.

10. Hellfeld im durchfallenden Licht bei Mikroskopie mit Objektiv und Okular.

Bei höherem Abbildungsmaßstab (Mikroskopie mit Objektiv und Okular) ist es nicht mehr möglich, die einfache Beleuchtungsanordnung, wie sie für Photographie mit photographischen Anastigmaten benutzt wird (vgl. Fig. 50), anzuwenden. Da die Apertur des Kondensors der des Objektivs gleich sein soll (vgl. S. 23), können Brillengaskondensoren nicht mehr angewandt werden. Man benutzt Kondensoren, die

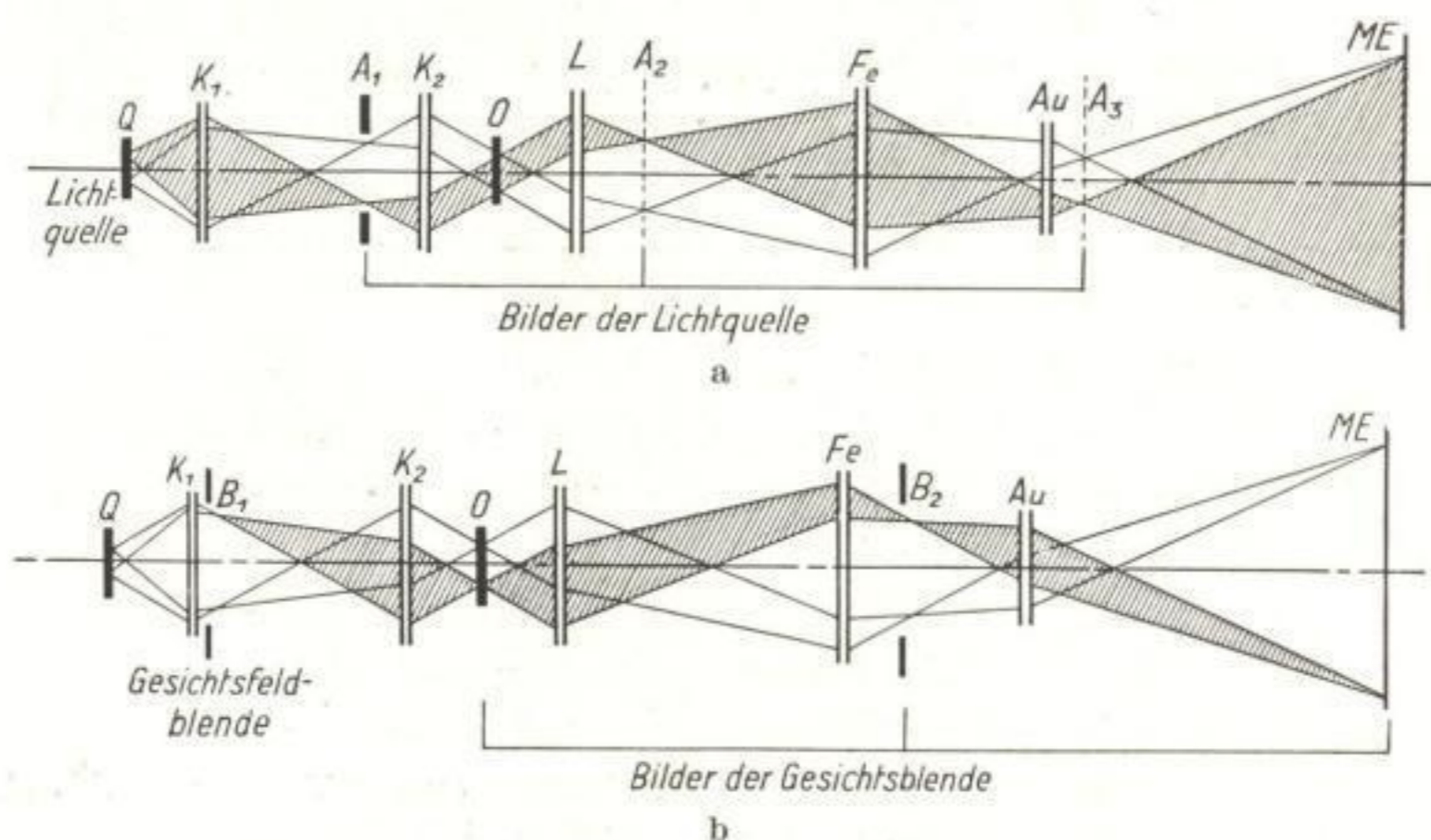


Fig. 54. KÖHLERSCHER Strahlengang im Mikroskop.

ähnlich einem Mikroskopobjektiv gebaut sind. Jeder Objektpunkt muß aus allen Aperturrichtungen, die zur Abbildung zugelassen sind, Licht empfangen. Hierfür wird die KÖHLERSCHE Beleuchtungsanordnung in der in Fig. 54 gezeigten Art benutzt¹⁾. Die Ausleuchtung von Objektiv und Objekt wird durch Abbildung zweier Blenden erreicht:

1. durch Abbildung der Aperturblende zusammen mit der Lichtquelle (Fig. 54a).

¹⁾ Die in Fig. 54 gezeigte Anordnung stellt das KÖHLERSCHE Beleuchtungsprinzip im engeren Sinne dar. Da jedoch die unter Fig. 49 und 50 besprochenen Anordnungen mit ähnlichen Mitteln demselben Zweck entsprechen, wurden sie unter dem Sammelbegriff „KÖHLERSCHE Beleuchtung“ zusammengefaßt.

2. durch Abbildung der Gesichtsfeldblende zusammen mit dem Objekt (Fig. 54b).

Zu 1. Die von der Lichtquelle divergierenden Strahlen werden durch den Kollektor K_1 auf der Aperturblende A_1 des Mikroskopkondensors K_2 gesammelt. Diese Blende befindet sich im vorderen Brennpunkt des Kondensors. Die von jedem Blendenpunkt herkommenden Strahlen gehen demnach unter sich parallel durch das Objekt O , wodurch erreicht wird, daß über das gesamte Gesichtsfeld des Mikroskopes jedem Punkt auf A_1 nur eine Aperturrichtung entspricht. Die Strahlen werden vom Mikroskopobjektiv L in dessen hinterer Brennebene gesammelt. Eine dort angebrachte Blende A_2 ist demnach Aperturblende des Objektivs. Diese Blende wird durch Feld- und Augenlinse (Fe und Au) des Okulars kurz hinter dem Okular nochmals abgebildet. Man erhält hier ein helleuchtendes Lichtscheibchen, die Austrittspupille des Mikroskopes A_3 . Bei subjektiver Beobachtung muß die Augenpupille an den Ort der Austrittspupille gebracht werden, damit das gesamte Gesichtsfeld übersehen werden kann, ohne daß die störende Struktur der Lichtquelle in Erscheinung tritt. Schließt man eine der Aperturblenden A_1 , A_2 , A_3 , so wird das Bild gleichmäßig dunkler. Die Ausleuchtung des Gesichtsfeldes bleibt erhalten.

Zu 2. Der Mikroskopkondensator K_2 bildet die in der Nähe des Kollektors K_1 gelegene, gleichmäßig ausgeleuchtete Gesichtsfeldblende B_1 (Fig. 54b) auf dem Objekt O ab. Das Mikroskopobjektiv L projiziert das Objekt in die Nähe der Feldlinse Fe des Okulars. Das Bild entsteht im Okular am Ort der Gesichtsfeldblende B_2 . Es wird durch die Augenlinse Au des Okulars auf die Mattscheibenebene ME projiziert. Schließt man die Gesichtsfeldblende, so wird der auf dem Objekt ausgeleuchtete Kreis kleiner, ohne daß sich die Helligkeit im ausgeleuchteten Bereich verringert. Man kann demnach mit Hilfe der Blende B_1 das Gesichtsfeld auf dem Objekt begrenzen und nur den Teil ausleuchten, der wirklich zur Abbildung kommt. Diese Maßnahme ist außerordentlich wichtig, da auf diese Weise alles überflüssige Licht, das den Kontrast im Bild durch Reflexe beeinträchtigt, beseitigt wird.

11. Der Beleuchtungsapparat.

Der Mikroskopkondensator für hohe Aperturen ist, wie bereits auf S. 64 angeführt wurde, ähnlich einem Mikroskopobjektiv gebaut. Er besteht meist aus drei sammelnden Linsen, von denen die dem Objekt zugekehrte zur Erreichung der notwendigen sphärischen Korrektur bei hoher Apertur als Halbkugellinse ausgebildet ist (Fig. 55). Die Frontlinse und die Mittellinse lassen sich einzeln abschrauben. Der

Kondensor kann demnach dreilinsig für Objektive großer Apertur und hoher Eigenvergrößerung bei kleinem Gesichtsfeld, zweilinsig für Objektive mittlerer Apertur und mittelstarker Eigenvergrößerung und einlinsig für Objektive kleiner Apertur und schwacher Eigenvergrößerung bei großem Gesichtsfeld gebraucht werden.



Fig. 55. Dreilinsiger Mikroskopkondensor.

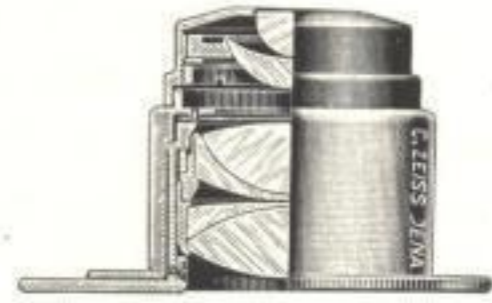


Fig. 56. Achromatischer Mikroskopkondensor.

Farbig korrigiert sind achromatische Kondensoren, die an Stelle der beiden dem Objekt abgewandten einfachen Sammellinsen verkittete Systeme aufweisen, die zusammen mit den Frontlinsen farbenfreie Abbildung gewährleisten (Fig. 56).

Die Kondensoren befinden sich in einem besonderen Beleuchtungsapparat (sog. ABBESchen Beleuchtungsapparat), der durch Triebver-

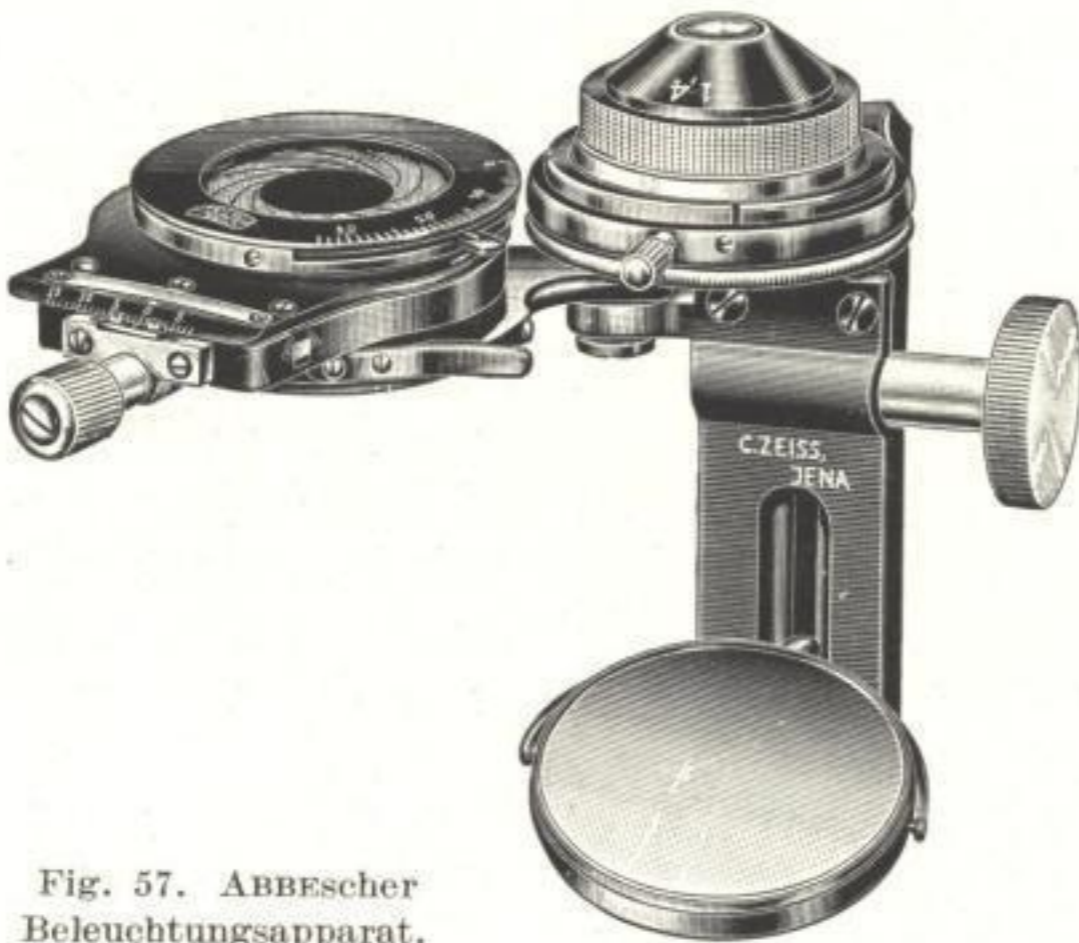


Fig. 57. ABBEScher Beleuchtungsapparat.

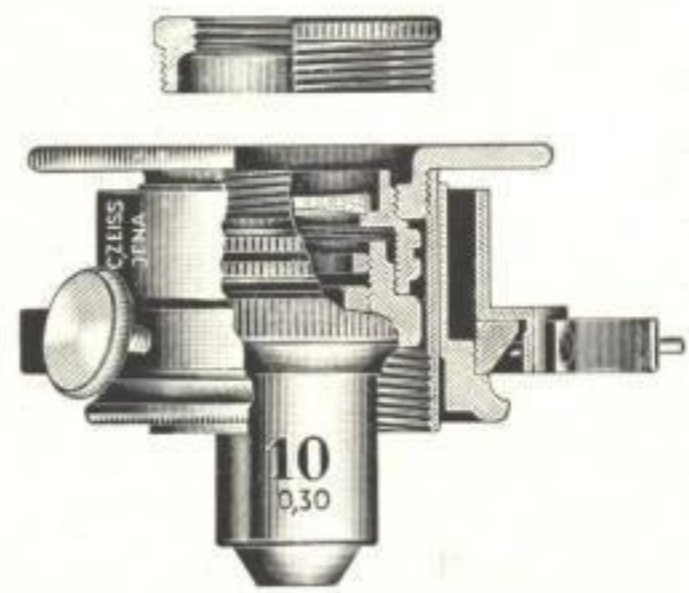


Fig. 58. Mikroskopobjektiv als Kondensor.

stellung gestattet, den Kondensor in der Höhe so einzustellen, daß die Gesichtsfeldblende auf dem Objekt abgebildet wird. Der Kondensor wird in die Schiebhülse des Beleuchtungsapparates eingeschoben und kann mit dem auf S. 60 erwähnten Brillenglas-Kondensor ausgetauscht werden (Fig. 57). An der dem Objekt abgewandten Seite des Kondensors befindet sich eine ausklappbare Zentralblende, die in ihrer Größe verstellt werden kann. Durch einen weiteren Trieb kann ihre Stellung

zur optischen Achse zur Erzeugung schiefer Beleuchtung geändert werden (vgl. S. 76). Unterhalb des ABBESchen Beleuchtungsapparates ist ein Spiegel angeordnet, der das Licht der Lichtquelle auf die Kondensor-Iris projiziert.

Für sehr hohe Anforderungen an die Korrektion der Beleuchtung können Mikroskopobjektive in der Schiebhülse des Kondensors befestigt und exakt einjustiert werden (Fig. 58). Sie liefern ein scharf begrenztes Gesichtsfeld, das sehr gleichmäßig beleuchtet ist, da das Bild frei von chromatischen und sphärischen Abweichungen ist. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß diese Objektive eine große Schnittweite haben müssen, da sich zwischen Objekt und Beleuchtungsobjektiv der ca. 1 mm dicke Objektträger befindet. Es lassen sich daher mit dem üblichen Objektträger nur Objektive bis zu einer Apertur von ca. 0,50 verwenden. Sollen Objektive höherer Apertur verwendet werden, so muß das Objekt zwischen zwei Deckgläser gebracht werden.

12. Das Einjustieren eines Mikroskopes für die Photographie.

Für das Gelingen der photographischen Aufnahme ist es besonders wichtig, daß die Justierung der einzelnen Elemente zueinander peinlich genau erfolgt. Bei modernen mikrophotographischen Geräten, vor allem bei den Kameramikroskopen (vgl. S. 157), ist diese Zentrierung schon vom Hersteller vorgenommen worden. Baut man sich hingegen die Apparatur aus einzelnen Instrumenten wie Mikroskop, Lampe mit Gehäuse und Balgenkamera auf, so muß man die Zentrierung selbst vornehmen. Dies sei für ein aufrechtstehendes Mikroskop mit vertikalem Balgen (bzw. mit horizontalem Balgen und Umlenkungsprisma oberhalb des Okulars) beschrieben. Voraussetzung ist, daß ein gutes Mikroskop benutzt wird, bei dem die Gewähr besteht, daß Kondensor, Objektiv und Okular zueinander zentriert sind und daß das Objekt senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet ist. Dann ist nur noch die Ausrichtung des Mikroskops zum Balgen und die Ausrichtung der Lichtquelle zur gesamten Apparatur nötig. Hierbei muß natürlich die Mattscheibenebene parallel zur Objektebene sein, damit keine Verzerrungen im Bild auftreten können. Die Ausrichtung des Mikroskops zur Kamera geschieht am besten unter Verwendung eines Fadenkreuz-Okulars, d. h. eines HUYGENS-Okulars mit verstellbarer Augenlinse (vgl. S. 46), in dessen Blendenebene ein Fadenkreuz angebracht ist, das die Mitte des Gesichtsfeldes angibt.

Für das erste Ausrichten dient als Lichtquelle eine Lampe mit großer Leuchtfläche, z. B. eine Opalglaslampe. Da die Einstellung zunächst nur mit einem Objektiv geringer Eigenvergrößerung vorgenommen

werden soll, benutzt man einen langbrennweitigen Kondensator, z. B. die Hinterlinse des dreilinsigen Kondensators. Durch Verstellen des Mikroskopspiegels läßt sich das Objektiv leicht ausleuchten. Nach Einsetzen des Fadenkreuzokulars richtet man das Mikroskop nach Augenmaß unter der Kameramitte ein und stellt die Beleuchtung nach. Durch Verstellen der Augenlinse des Okulars bildet man das Fadenkreuz scharf auf der Mattscheibe der Balgenkamera ab. Das Mikroskop wird so weit verschoben, bis sich das Bild des Fadenkreuzes in der Mitte der Mattscheibe befindet. In dieser Stellung klemmt man das Mikroskop fest, so daß es justiert unter dem Balgen steht. Der Balgen befindet

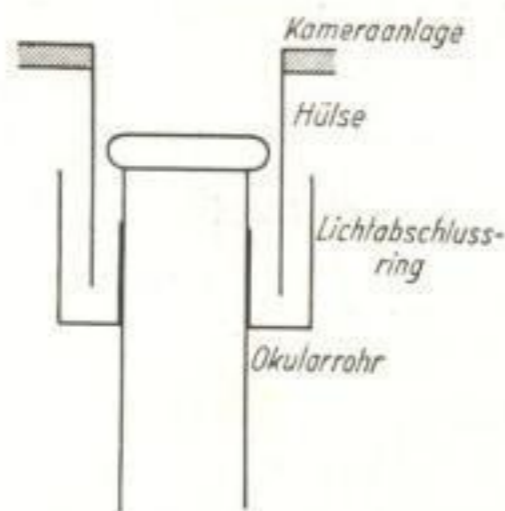


Fig. 59. Lichtdichte Verbindung zwischen Mikroskop und Kamera.

sich an einer vertikalen Säule. Er wird vom Mikroskop weggeschwenkt, damit die kommende Einstellung subjektiv vorgenommen werden kann. Man legt das Objekt auf den Objektisch und stellt mit dem schwachen Objektiv scharf ein. Dann ersetzt man die Opalglaslampe durch die für die Photographie bestimmte Lichtquelle mit Lampengehäuse und den langbrennweitigen Kondensator durch den für das endgültig ge-



Fig. 60. Einstellupe. 6x.

wählte Objektiv geeigneten Kondensator. Zur Vermeidung von Blendung setzt man ein Rauchglas auf das Okular. Das Licht fällt aus dem Lampengehäuse über den Mikroskopspiegel auf den Kondensator. Durch Verstellen der Linse am Lampengehäuse wird die Lichtquelle scharf auf der Kondensatorblende abgebildet, was man durch Schließen dieser Blende feststellen kann (vgl. die Fig. 42a, 43b, 43c). Danach wird die Blende am Kondensator geöffnet und die Blende am Lampengehäuse geschlossen. Der Kondensator wird in der Höhe verstellt, bis man das Bild der Irisblende am Lampengehäuse zugleich mit dem Objekt scharf sieht. Durch Drehen und Kippen des Mikroskopspiegels wird dieses Bild in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht. Hierdurch wird jedoch das Lichtquellenbild auf der Kondensator-Iris etwas verschoben, was man durch leichtes Drehen und Verschieben des Lampengehäuses in Höhe und Breite korrigiert. Sollte sich hierbei das Bild der Lampeniris auf dem Objekt nochmals ein wenig aus der Mitte des Gesichtsfeldes bewegt haben, so stellt man dies mit Hilfe des Mikroskopspiegels nach. Nun setzt man das endgültig gewählte Objektiv ein. Durch nochmalige Kontrolle stellt man fest, ob die Lampeniris noch in der Mitte des Gesichtsfeldes abgebildet wird. Hierauf öffnet man diese Blende so weit, daß das Gesichtsfeld gerade ausgeleuchtet ist. Zieht man das Okular

heraus, so muß das Objektiv gleichmäßig ausgeleuchtet sein, falls nicht zur Erhöhung des Kontrastes im Bild die Apertur der beleuchtenden Strahlen durch Schließen der Aperturblende verringert wurde. Im Interesse einer guten Abbildung empfiehlt es sich, diese Blende nur so weit zu schließen, daß zwei Drittel der Objektoberfläche ausgeleuchtet sind (vgl. S. 23). (Diese Kontrolle wird durch eine in den Okularstutzen eingesetzte Lochblende, sog. Fischauge, erleichtert.) Das Okular wird wieder eingesetzt und die Kamera über das Mikroskop geschwenkt. Zur Vermeidung störenden Nebenlichtes schiebt man auf das Okularrohr eine Hülse, in die eine entsprechende Gegenhülse (Lichtabschlußring) paßt, wodurch alles seitlich einfallende Licht absorbiert oder reflektiert wird (Fig. 59). Auf der Mattscheibe kann man jetzt direkt

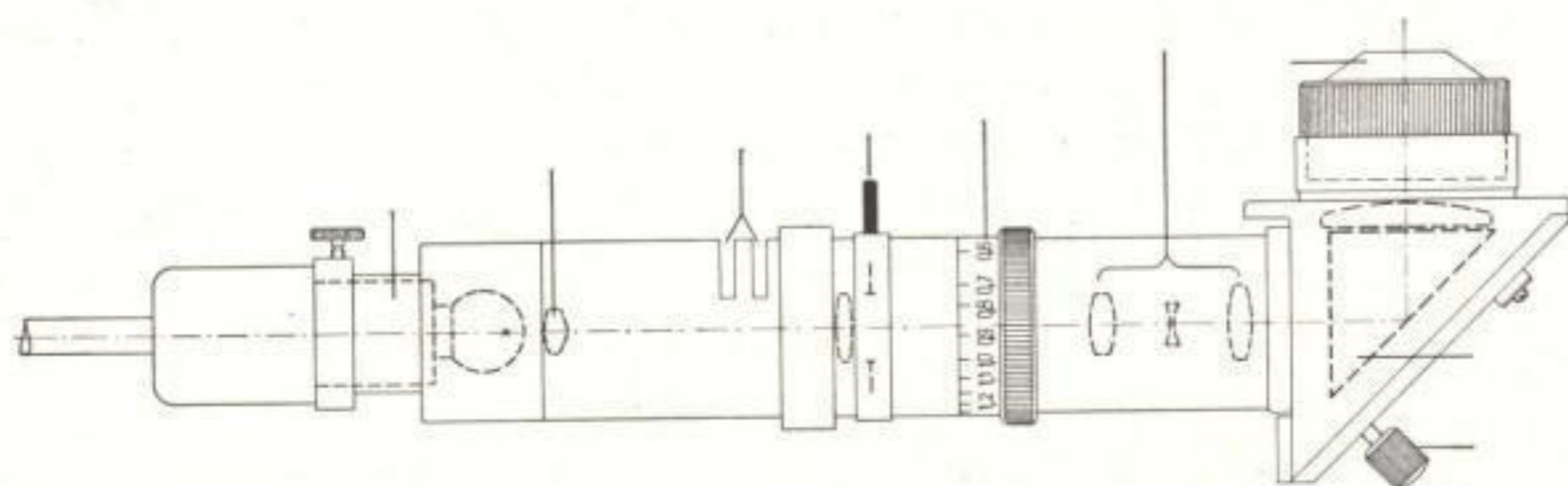


Fig. 61. Pankratischer Kondensator.

oder mit Hilfe einer Einstellupe (Fig. 60) das Bild scharfstellen. Hierbei muß zunächst das Korn der Mattscheibe mit der Lupe scharf gesehen werden. Dies erreicht man durch Heben und Senken der Lupe in der Hülse, nachdem vorher der Feststellring gelockert wurde.

Die Scharfstellung des Bildes auf der Mattscheibe nimmt man am besten durch Verschieben des Okulars bzw. des Okularstutzens vor, da durch Verstellen des gesamten Mikroskopes das Objektiv aus seiner normalen Gebrauchslage gebracht wird, was für die Güte der erzielten Bilder von Nachteil sein kann (vgl. S. 43). Bei mikrographischen Einrichtungen mit fest eingebautem Mikroskop kann man meist die Verschiebung durch eine besondere Führung vornehmen und so das Okular in jeder Lage feststellen.

Ein fest mit dem Mikroskop verbundenes Beleuchtungssystem ist der pankratische Kondensator (Fig. 61). Durch ein besonderes Linsensystem gelingt es hier, einen Kondensator für ein Aperturintervall von 0,16 bis 1,3 zu benutzen, derart, daß durch Verschieben von Linsen gegeneinander das Gesichtsfeld vergrößert oder verkleinert und gleichzeitig die Apertur erniedrigt oder erhöht wird.

Bei Mikrophotographie mit Objektiv und Okular ist mehr noch als bei Photographie mit Anastigmaten auf eine genaue Beachtung der

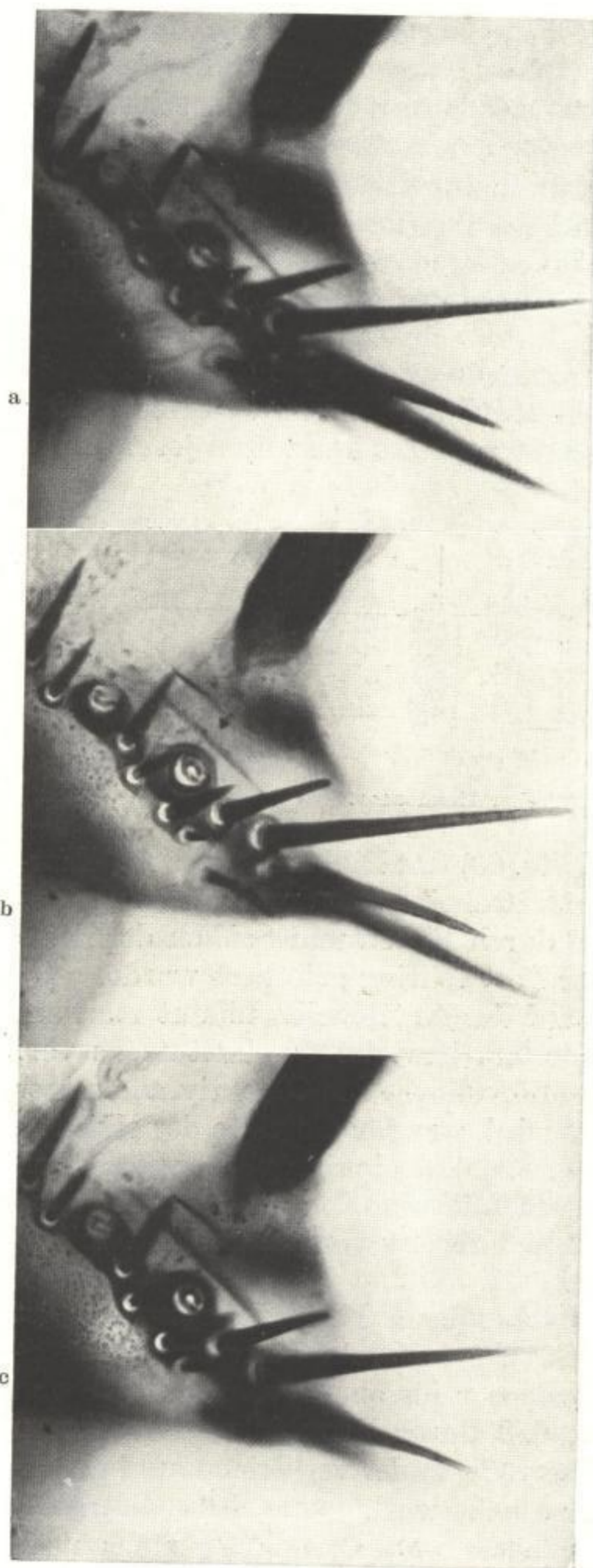


Fig. 62. Legeröhre einer Stubenfliege.
Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

richtig gewählten Objektivapertur Wert zu legen, da die meisten Objektive nicht mit Irisblende versehen sind, die richtige Einstellung demnach durch Wechsel von Objektiv und Okular vorgenommen werden muß (vgl. die Ausführungen S. 24 ff.). Dies soll aus den drei Abbildungen 62 hervorgehen, die ein Teilbild der Legeröhre einer Stubenfliege zeigen. Das Objekt war stark rötlich gefärbt. Man kann daher entsprechend den Betrachtungen auf S. 16 als mittlere Wellenlänge, für die noch gute Auflösung verlangt wird, $\lambda = 0,65 \cdot 10^{-3}$ mm ansetzen und erhält demnach mit Formel (9) als günstigsten Abbildungsmaßstab β'_2 bei einer Objektivapertur A_0 :

$$\beta'_2 = 1300 A_0,$$

wenn die Photographie auf Kunstdruckpapier wiedergegeben wird. Die Aufnahmen wurden mit den Objektiven der Tab. S. 71 angefertigt.

Durch passende Wahl des Okulars und des Balgenauszuges wurde mit allen Objektiven ein $300 \times$ Abbildungsmaßstab hergestellt. Man erkennt in Fig. 62a, daß die Schärfentiefe über den gesamten Bereich gleichmäßig ist. Im Objekt ist jedoch fast keine Auflösung vorhanden. Die Stacheln erscheinen unscharf. Figur 62b zeigt scharfe Begren-

Objektiv	Apertur des Objektivs	Eigenvergrößerung des Objektivs	günstigster Abbildungsmaßstab
a	0,16	6 ×	210 ×
b	0,25	11 ×	325 ×
c	0,42	24 ×	550 ×

zung der Stacheln, die in ihrem Innern noch aufgelöst sind. Die feinen Objektteile, die um die Stacheln herum liegen, werden soeben noch aufgelöst. Die Schärfentiefe ist gegen Fig. 62a kaum gesunken. In Fig. 62c ist das Auflösungsvermögen nur wenig größer, da alle feinsten vom Objektiv getrennten Einzelheiten vom Raster nicht wiedergegeben werden. Die Stacheln werden jedoch nicht mehr in ihrer gesamten Tiefenausdehnung scharf abgebildet. Es ergibt sich demnach, wie von Anfang an zu erwarten war, daß in diesem Falle ein Objektiv mit der Apertur 0,25 allein den gestellten Anforderungen an Auflösungsvermögen und Schärfentiefe gerecht wird.

Nur durch genaue Befolgung dieser Regel war es möglich, den in Fig. 63 wiedergegebenen Teil des Kaugmagens einer Feldgrille über einen relativ großen Tiefenbereich hin scharf wiederzugeben. Daneben wurde bei

dieser Aufnahme davon Gebrauch gemacht, daß durch Abblendung des Kondensors ebenfalls die Schärfentiefe erhöht wird. Allerdings muß hierbei darauf geachtet werden, daß die Abblendung nicht zu weit getrieben wird, da sonst die Bildqualität stark absinkt (vgl. S. 23).

Bei Aufnahmen von Schnitten mit sehr großem Abbildungsmaßstab, wie z. B. des Gehirnschnittes in Fig. 64, ist es nicht mehr möglich, den gesamten Tiefenbereich scharf abzubilden. Bei subjektiver Beob-

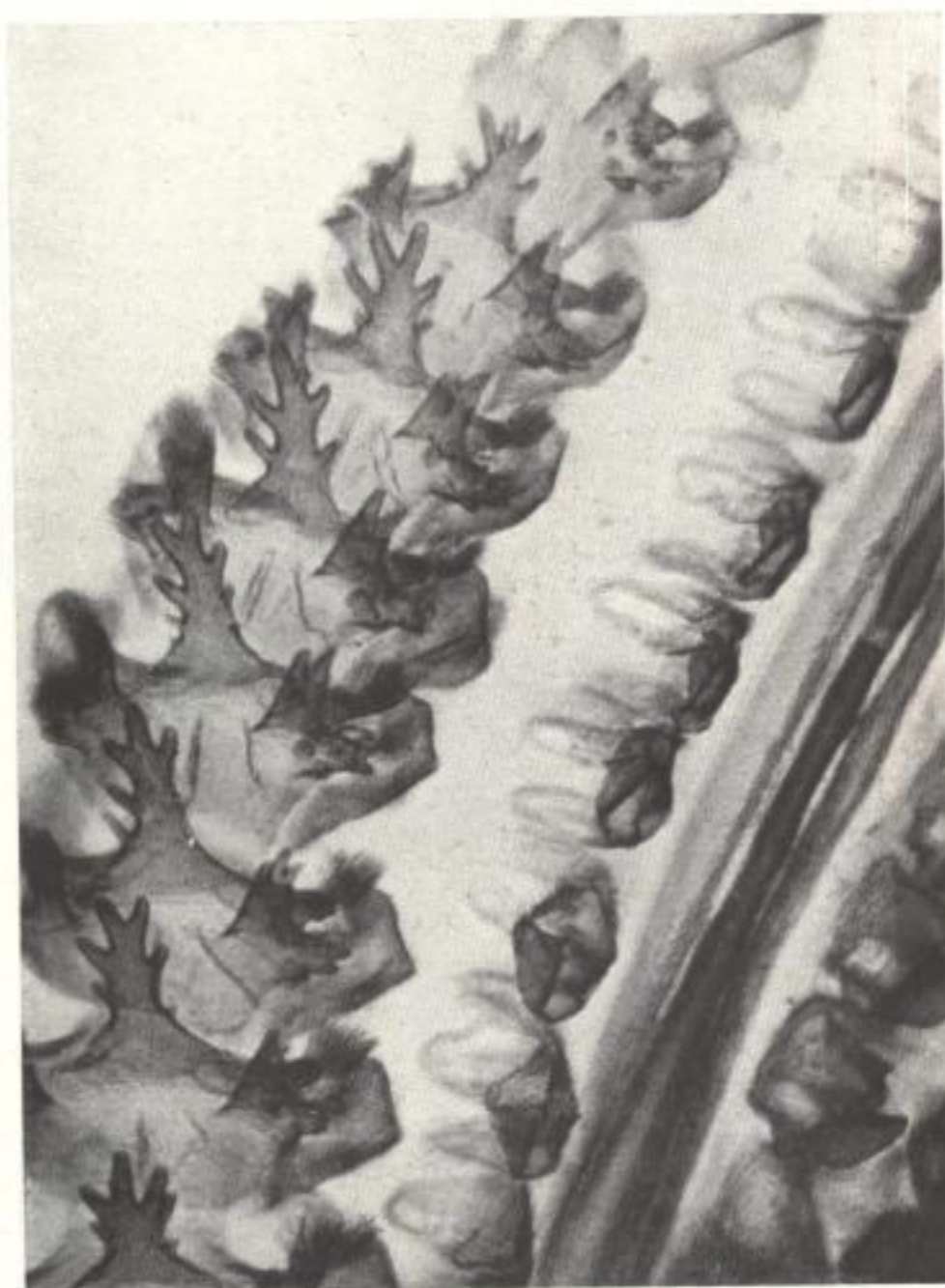


Fig. 63. Kaugmagen einer Feldgrille. Objektiv 0,16/6; Okular 5 ×; $\beta' = 50 \times$. Nachträglich verkleinert auf $\frac{4}{5}$. Beleuchtung: Durchlicht-Hellfeld. Ohne Filter. Platte: Agfa Isopan. Belichtungszeit $\frac{1}{5}$ ".
Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

achtung kann man mit Hilfe der Feinbewegung die Spirochäten durch die gesamte Tiefe des Präparates beobachten. Die photographische Aufnahme gibt hier nur eine Ebene des Objektes (eben die Einstellebene des Objektivs) wieder. Man muß auf die scharfe Abbildung mancher Spirochäten verzichten und sich im Objekt eine Stelle heraussuchen, an der sich möglichst viele Spirochäten in der Einstellebene des Objektivs befinden.



Fig. 64. Gehirnschnitt mit *Spirochaeta pallida*. Objektiv 1,3/100; Okular 7,5 \times ; $\beta' = 1150 \times$. Beleuchtung: Durchlicht-Hellfeld. Filter: gelbgrün. Platte: Perutz-Silbereosin. Belichtungszeit 5". Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

13. Schiefe Beleuchtung bei schwachen Vergrößerungen.

Stellt man durch Verdrehen des Mikroskopspiegels die Beleuchtung exzentrisch ein, so daß das Objektiv nicht mehr ganz ausgeleuchtet wird, sondern höchstens eine Seite des Objektivs direktes Licht erhält, so kann man bisweilen feststellen, daß Objekte, die bei normaler Hellfeldbeleuchtung flau erscheinen, kontrastreich abgebildet werden. Es handelt sich hierbei um Objekte, die das Licht wenig absorbieren. Sie unterscheiden sich von ihrem Einschlußmedium lediglich durch ihren Brechungsexponenten. Das bei zentralem Hellfeld entstehende Absorptionsbild ist demnach flau. Die bei schiefer Beleuchtung entstehende Erhöhung des Kontrastes läßt sich nach Fig. 65 folgendermaßen erklären: Von der Kollektorlinse *K* möge das Licht achsen-

parallel austreten (Fig. 65a). Bringt man in den Strahlengang ein kleines Objekt O , das kein Licht absorbiert, sondern sich von seiner Umgebung nur durch seinen Brechungsindex unterscheidet, so wird die Richtung der Lichtstrahlen beeinflusst. Das Objekt kann jedoch nicht abgebildet werden, da das Objektiv auch die abgelenkten Strahlen

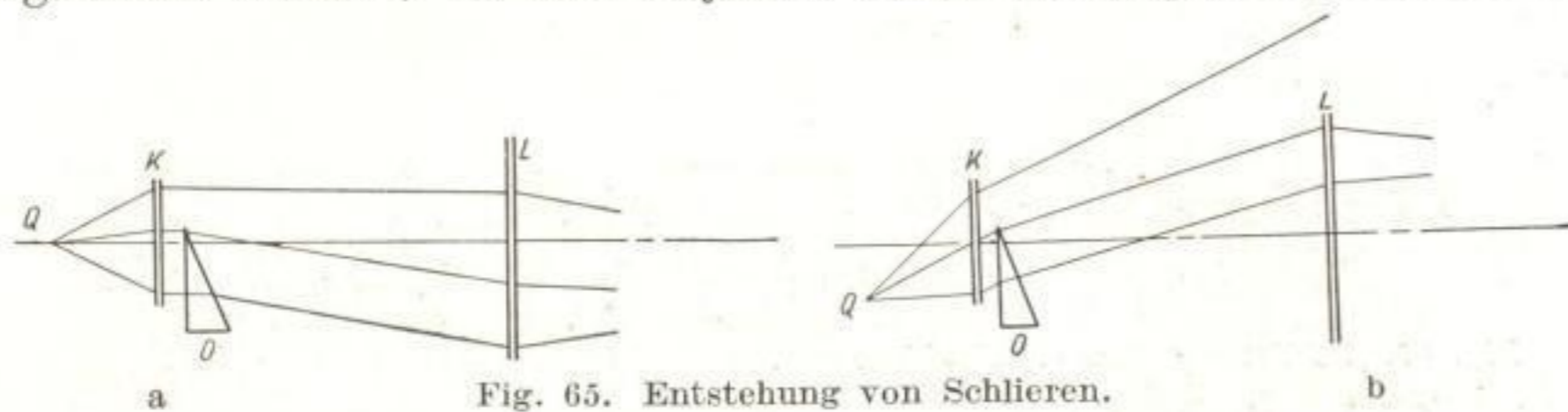


Fig. 65. Entstehung von Schlieren.

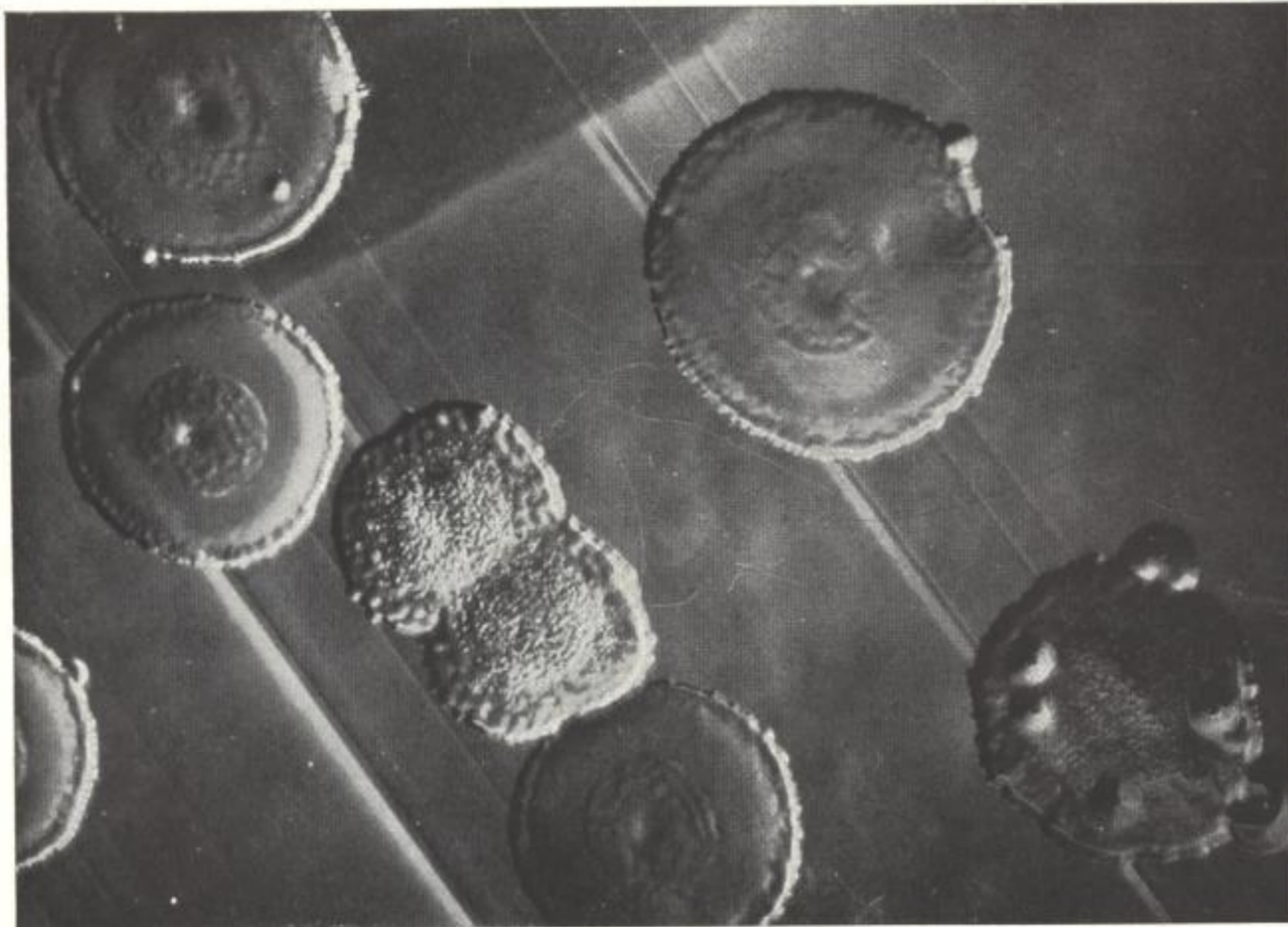


Fig. 66. Schalenkultur. Objektiv $f = 5,5$ cm; $\beta' = 12 \times$. Beleuchtung Schlierenmethode. Platte: Agfa Superpan. Rotfilter. Belichtungszeit $10''$. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE

ebenso wie die nicht abgelenkten Strahlen aufnimmt. Die Helligkeit bleibt demnach über das gesamte Gesichtsfeld gleich groß. Läßt man nach Fig. 65b das Licht schräg auffallen, so daß das Objektiv gerade kein direktes Licht mehr aufnehmen kann, so wird nur durch das Objekt Licht in das Objektiv gebrochen. Das Objekt erscheint demnach hell auf dunklem Grund. Offenbar wird die Erscheinung um so besser zu sehen sein, je näher die Aperturen der beleuchtenden und abbildenden

Strahlen aneinanderliegen, da die Beeinflussung der Lichtstrahlen durch das Objekt nur gering ist. Bei zu kleiner Apertur des Objektivs bzw. zu großer Apertur der Beleuchtung gelangt das vom Objekt ge-

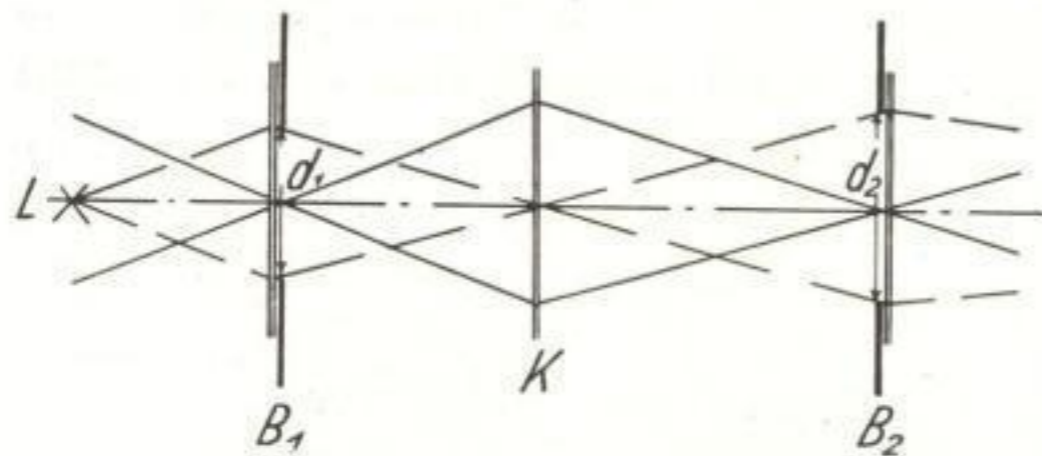


Fig. 67. Schlierenmethode. Strahlengang.

brochene Licht nicht mehr ins Objektiv, es findet also keine Abbildung statt.

Diese Erscheinung kann man, wie bereits erwähnt, sehr gut dazu benutzen, um Objekte zu photographieren, die sich nur durch ihren Brechungsexponenten vom

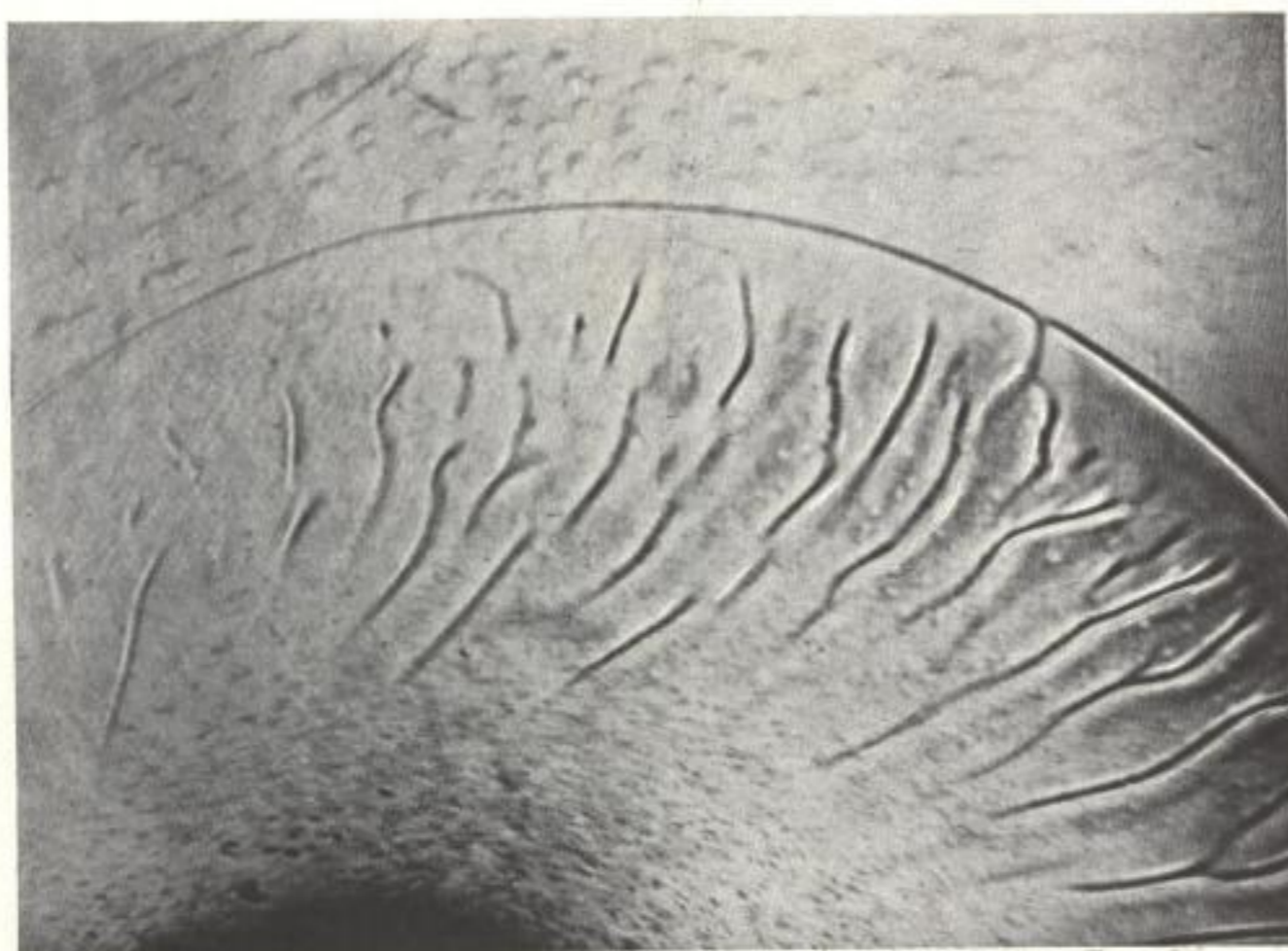
umgebenden Medium unterscheiden. Dies ist bei vielen lebenden Objekten der Fall, bei denen die Beobachtung im auffallenden Licht wegen der an ihrer Oberfläche auftretenden störenden Reflexe nicht möglich ist, die Beobachtung im zentralen Hellfeld jedoch zu wenig Aufschluß gibt. Bei Schalenkulturen ist z. B. eine Ab-



Fig. 68. Fingerabdruck auf einer Glasplatte. Objektiv $f = 10,5$ cm; $\beta' = 4 \times$. Beleuchtung: Schlierenmethode. Ohne Filter. Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit 30".

Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

bildung der Oberfläche im auffallenden Licht unmöglich, da starke Reflexe auftreten. Im durchfallenden Hellfeld erkennt man nur den Umriß der Kultur. Bei schiefer Durchlichtbeleuchtung sieht man dagegen die Oberfläche genau, da die Lichtstrahlen durch die verschiedene Dicke des Objektes verschieden stark beeinflußt werden (Fig. 66). Die optische Anordnung, die man bei Photographie mit Anastigmaten zur Erzielung schräger Beleuchtung bei schwacher Vergrößerung mit Vorteil anwendet, ist in Fig. 67 dargestellt. Mit Hilfe



[Fig. 69. Kochsalzkristall löst sich in Wasser. Objektiv $f = 7,5$ cm; $\beta' = 8 \times$.
Nachträglich verkleinert auf $\frac{1}{5}$. Beleuchtung: Schlierenmethode. Ohne Filter.
Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit $\frac{1}{15}$ ". Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

der Kondensorlinse K bildet man eine gleichmäßig leuchtende Fläche, am besten die Blendenebene B_1 des Kollektors am Lampengehäuse, im Objektiv (Blende B_2) ab. Das Objektiv kann ein Strahlenbündel mit dem Durchmesser d_2 aufnehmen. Die Blende B_1 kann demnach bis zu einem Durchmesser d_1 geschlossen werden, ohne daß die Helligkeit im Bild sinkt. Bringt man an Stelle der Blende B_1 eine kreisförmige Zentralblende vom Durchmesser d_1 in den Strahlengang, so gelangt kein Licht mehr in das Objektiv. Befindet sich jedoch in der Nähe des Kondensors K ein Objekt, dessen Brechungsindex von dem des umgebenden Mediums abweicht, so tritt eine Ablenkung der Lichtstrahlen ein. Es kann demnach Licht in das Objektiv gelangen. Durch Schließen der Blende B_2 kann man den Übergang von ringförmiger Hellfeldbeleuchtung zur Dunkelfeldbeleuchtung einstellen. Hierbei ist zu bemerken, daß die Sichtbarkeit der Objektstruktur durch

ein Brechungsphänomen und nicht, wie bei mikroskopischer Dunkel-
feldbeleuchtung (vgl. S. 77), durch ein Beugungsphänomen ermöglicht
wird. Auf diese Weise kann man leicht eine Fingerspur auf einer Glas-
scheibe sichtbar machen. Die an der Scheibe haftenden Fettreste ge-
nügen, um das in Fig. 68 wiedergegebene kontrastreiche Bild herzu-
stellen.

Interessante Erscheinungen kann man mit Hilfe dieser Methode bei
der Untersuchung von Lösungs- und Mischungsvorgängen feststellen.
In Fig. 69 sieht man (links unten) einen größeren Kochsalzkristall, der
in Wasser geworfen wurde. Es bildet sich vom Kristall her die deut-
lich sichtbare Ringschliere aus, der weitere radial verlaufende Schlieren
folgen. Bei kleinen Kochsalzkristallen (Fig. 70) ergeben sich kreis-
förmige Schlieren, die pulsierend anwachsen und wieder verschwinden.

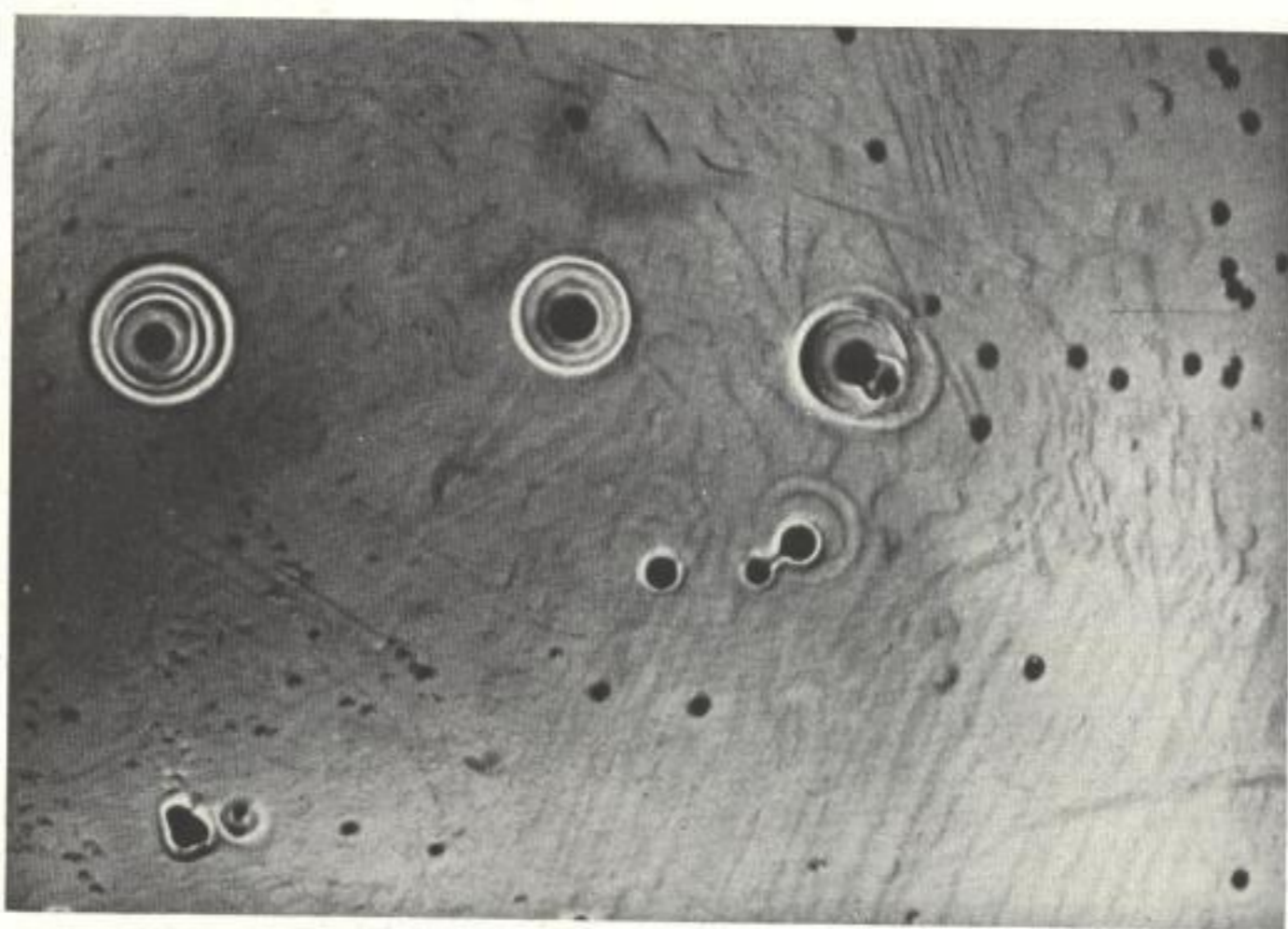


Fig. 70. Kochsalzkristalle lösen sich in Wasser. Objektiv $f = 3,5$ cm; $\beta' = 18 \times$.
Beleuchtung: Schlierenmethode. Ohne Filter. Platte: Perutz Silbereosin.
Belichtungszeit $1/25''$. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

14. Schräglicht bei mikroskopischen Vergrößerungen.

In der Mikroskopie muß man zur Einstellung des günstigsten Apertur-
verhältnisses zwischen Kondensator und Objektiv die Apertur des Kon-
densators verändern, da die Mikroskopobjektive keine Aperturblende
besitzen. Veränderung der Beleuchtungsapertur bei Schräglicht ist
in einfacher Weise dadurch möglich, daß man in der Blendenebene
des Mikroskop-Kondensators Zentralblenden anbringt, deren Durch-
messer verschieden groß ist. Als Zentralblenden benutzt man kleine
runde Blechscheiben, die man auf eine auf dem Blendenträger des

Beleuchtungsapparates befindliche Glasplatte legt. Es läßt sich leicht feststellen, welche Zentralblende für den betreffenden Fall die günstigste ist.

Die Wirkungsweise dieser Anordnung ist aus Fig. 71 ersichtlich. Die Schafwollfaser der Fig. 71a wurde mit Jodzinkjod gefärbt, wodurch die schuppige Struktur sichtbar wird. In Fig. 71b sieht man die ungefärbte Faser im ringförmigen Schräglicht. Hier sind die Schuppen in ihrer räumlichen Anordnung gut erkennbar, ohne daß die Faser durch Ätzung in ihrer Struktur verändert wurde.

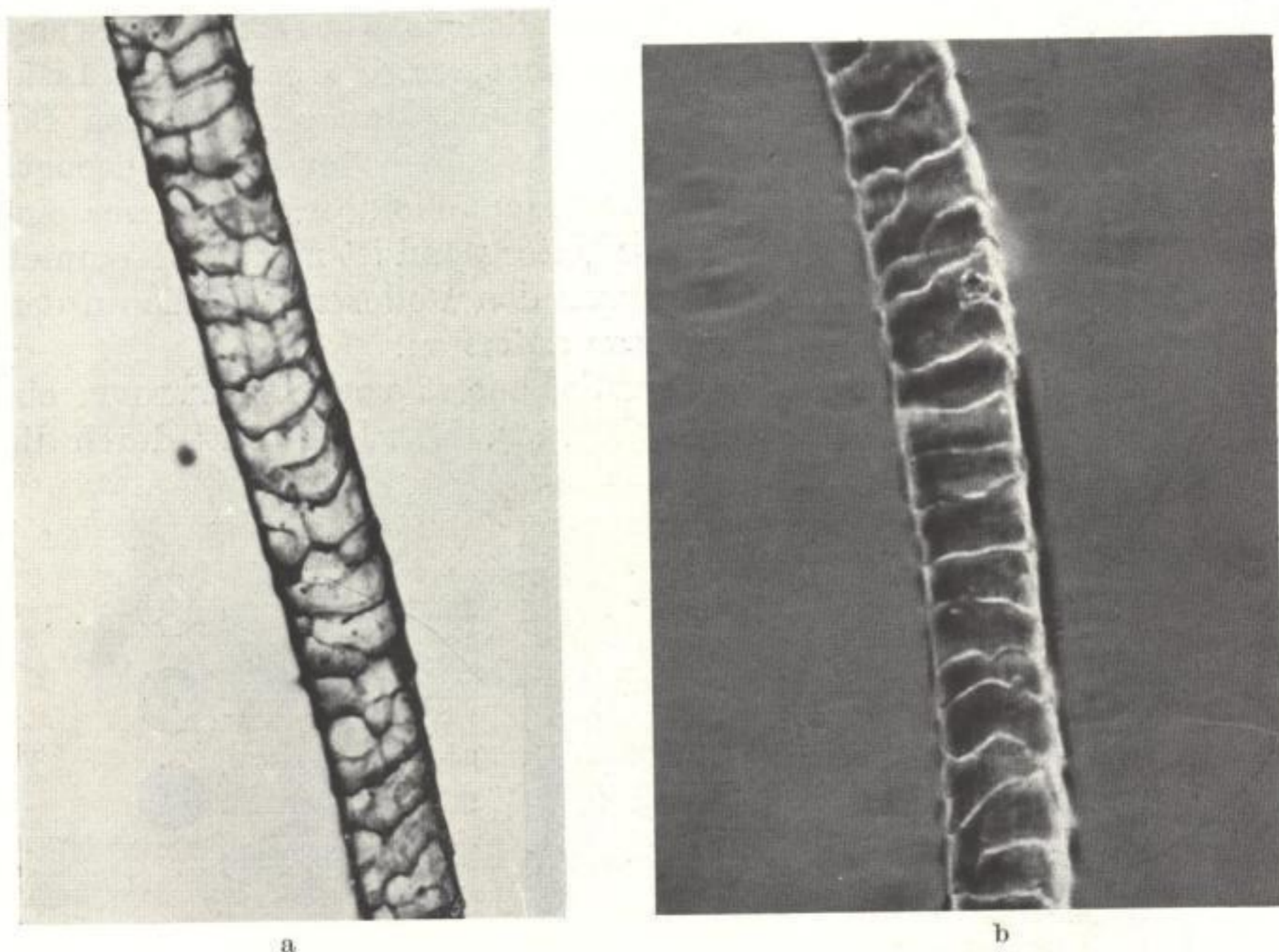


Fig. 71. Schlesische Wolle. Objektiv 0,42/24; Okular 10 ×; $\beta' = 480\times$. a) Geätzt mit Jodzinkjod. Beleuchtung: Durchlicht-Hellfeld. Filter: blau. Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit 12''. b) Ungeätzt. Beleuchtung: Schlierenmethode. Filter: gelbgrün. Platte: Perutz Braunsiegel. Belichtungszeit 1'. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

15. Dunkelfeldbeleuchtung bei großem Abbildungsmaßstab.

Es sei nochmals betont, daß die Sichtbarkeit der bisher untersuchten Objekte im wesentlichen durch Brechung ermöglicht wird. Daneben muß noch die Dunkelfeldabbildung untersucht werden, die durch Beugung entsteht. Nach den Ausführungen von S. 20 entsteht in der Bildebene des Objektivs auch dann ein in gewissem Grade dem Objekt

ähnliches Bild, wenn man zur Abbildung nicht das zentrale und erste seitliche Maximum, sondern das erste und zweite seitliche Maximum zuläßt. Es gelangt hierbei kein direktes Licht ins Objektiv. Der Untergrund erscheint demnach dunkel, während die beugende Struktur hell leuchtet, da sie allein Licht ins Objektiv sendet.

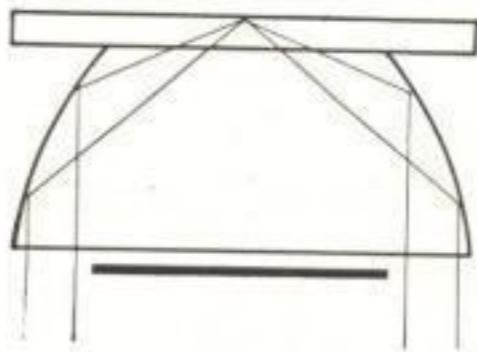


Fig. 72.
Paraboloid-Kondensor.

Solche Beugungsphänomene lassen sich hauptsächlich bei großem Abbildungsmaßstab beobachten. Eine für diese Untersuchungen geeignete Beleuchtung wird in ähnlicher Weise erzeugt wie unter 14 beschrieben. Für geringe Ansprüche genügt es, in der Blendenebene des Kondensors eine Zentralblende einzusetzen, die das direkte Licht vom Objektiv fernhält. Man erhält einen Beleuchtungskegel, der am Objektiv vorbeigeht. Nur das abgebeugte Licht trägt zur Abbildung bei. Das Dunkelfeld ist bei dieser einfachen Anordnung nicht sauber, der Untergrund ist nicht vollkommen schwarz. Diese Aufhellung rührt von den Reflexen her, die an den Glas-Luftflächen der Kondensorenlinen auftreten.

Zur Vermeidung der Reflexe wurde, zuerst von SIEDENTOPF, ein Paraboloid-Kondensor konstruiert (Fig. 72). Das Licht tritt durch die

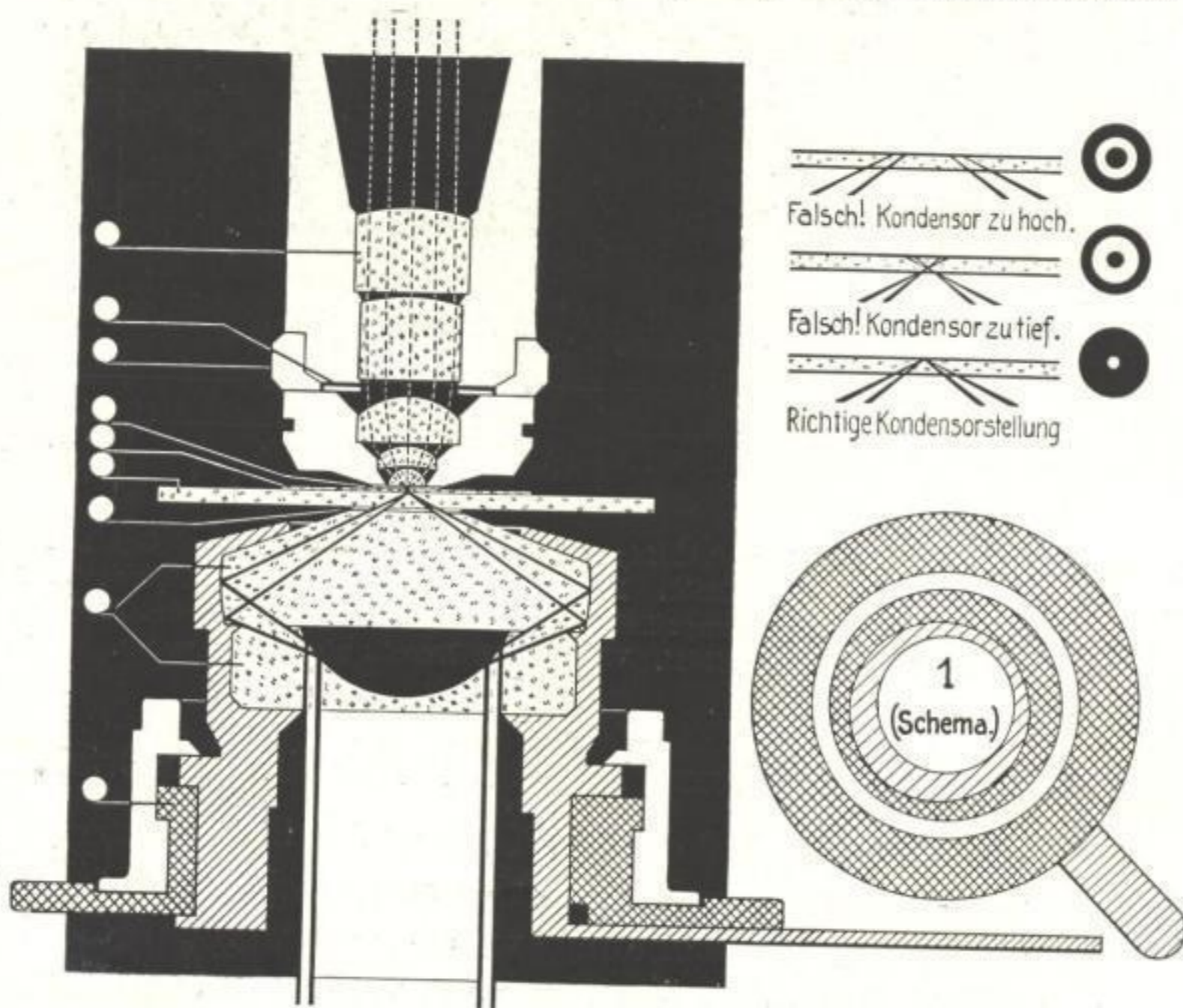


Fig. 73. Zweiflächen-Spiegelkondensor.

untere Planfläche ein und wird von der parabelförmigen Ringfläche des Glaskörpers auf das Objekt reflektiert. Mit einer Irisblende läßt sich die untere Grenzapertur verändern, so daß der Kondensator für verschiedene Objektive benutzt werden kann. Zwischen Kondensator und Präparat muß sich stets Öl befinden, da nur Licht mit einer Apertur höher als 1,0 austritt. Der Kondensator eignet sich für Objektive bis zur Apertur 0,85. Die Strahlenvereinigung bei dem Paraboloid-Kondensator ist nicht ganz exakt, weshalb er für Objektive höherer Apertur nicht verwendet werden kann.

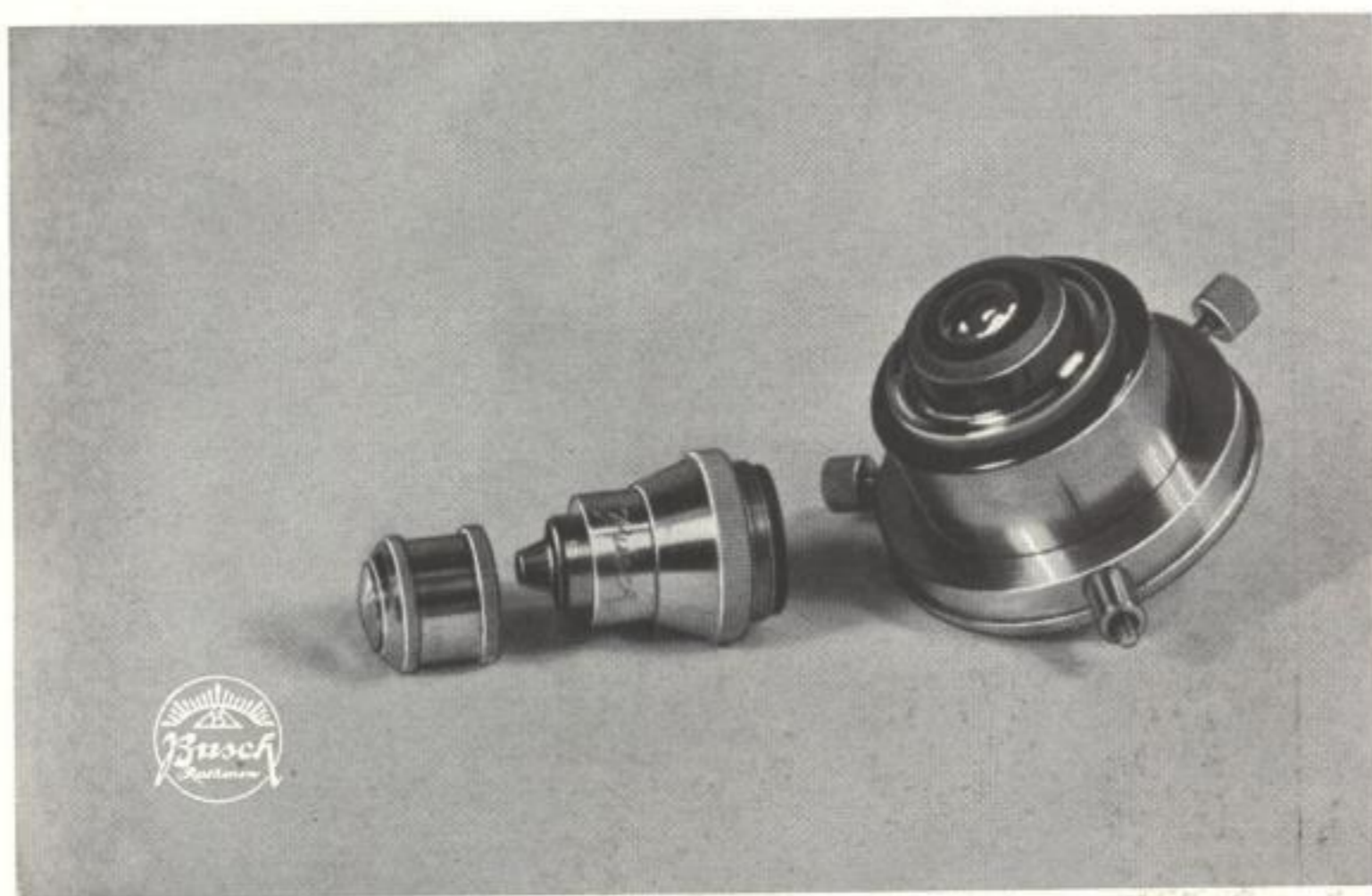


Fig. 74. Zweiflächen-Dunkelfeldkondensator und Objektiv mit Trichterblende.

Bessere Strahlenvereinigung weisen die Zweiflächen-Spiegelkondensoren auf, bei denen die Abbildung durch Reflexion an zwei Spiegelflächen korrigiert wird (Fig. 73). Das Licht wird von dem Kugelspiegel auf den Ringspiegel und von diesem auf das Objekt reflektiert. Zwischen Kondensator und Objekt befindet sich Immersionsflüssigkeit. Die mit diesen Kondensoren erzielte Strahlenvereinigung ist bei hoher beleuchtender Apertur außerordentlich gut, wodurch man die Ausleuchtung einer nur schmalen Schicht des Objektes erreicht. Das Objekt muß demnach genau in der Ebene der Strahlenvereinigung liegen. Diese Ebene kann nur dann exakt eingestellt werden, wenn sich das Objekt auf einem Objektträger geeigneter Dicke befindet. Die für den Kondensator zulässige Objektträger-Dicke ist meist auf den Kondensator graviert, andernfalls soll man keine Objektträger verwenden, die dicker als 1,1 mm sind.

Zum Zentrieren des Kondensors beobachtet man zunächst mit einem Objektiv geringer Eigenvergrößerung. Nähert man den Kondensor dem Objekt, so wird man zunächst einen leuchtenden Ring sehen, der einem Schnitt unterhalb der Strahlenvereinigungs-Ebene entspricht. Der Durchmesser des leuchtenden Ringes wird beim Annähern des Kondensors an das Präparat kleiner, bis schließlich eine einzige leuchtende Fläche zu sehen ist. Durch weiteres Nähern des Kondensors wird die Kreisfläche wieder in einen Kreisring verwandelt.

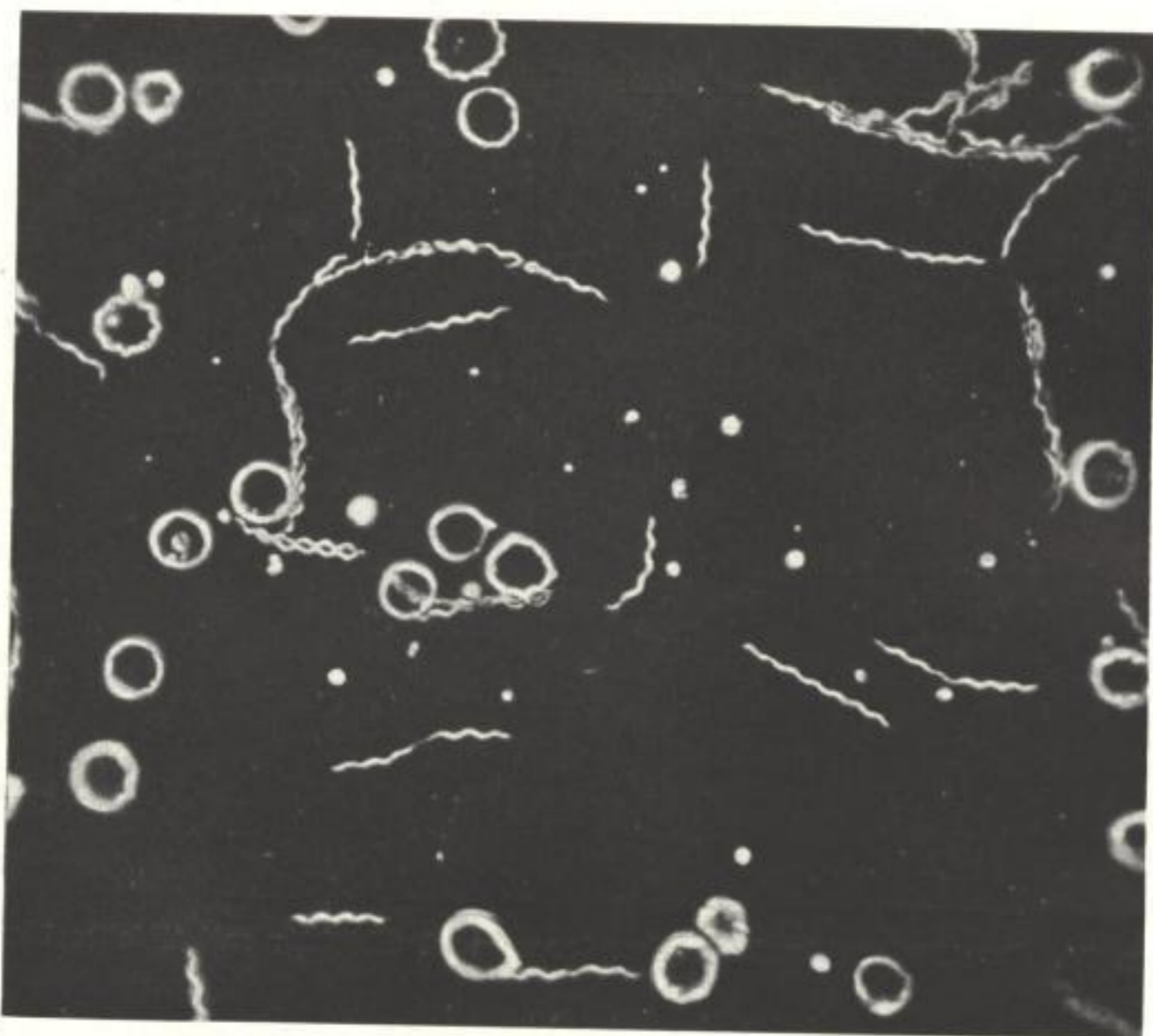


Fig. 75. Recurrens-Spirochaeten. Objektiv 1,3/100; Okular 7,5 \times ; V = 1150 \times . Beleuchtung: Durchlicht-Dunkelfeld. Filter: gelb. Platte: Perutz Braunsiegel. Belichtungszeit 15'.
Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

Mit Hilfe zweier Zentrierschrauben wird die kreisförmige, leuchtende Fläche in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht. Der Kondensor ist jetzt justiert und für die Beobachtung mit starken Objektiven geeignet. Um kein störendes Hellfeld in das Objektiv gelangen zu lassen, muß die untere Kondensorapertur etwas größer als die Objektivapertur sein. Die Kondensoren besitzen im allgemeinen eine numerische Apertur von 1,4. Bei Untersuchungen mit der Ölimmersion ist es notwendig, die Apertur des Objektivs zu verringern. Dies erreicht man durch eine Trichterblende, die auf den Adapter des Objektivs aufgeschraubt wird (Fig. 74). Die mit Hilfe dieser Kondensoren sich ergebenden Bilder zeigen die Struktur leuchtend auf dunklem Grund (Fig. 75).

16. Ultramikroskopie.

Das Ultramikroskop von SIEDENTOPF-ZSIGMONDY dient zur Erzeugung einseitiger Dunkelfeldbeleuchtung, die bisweilen zur Untersuchung von kleinsten Teilchen in Emulsionen verwendet wird. Ultramikroskopische Teilchen werden vom Mikroskop nicht mehr aufgelöst. Ihre Abbildung erfolgt demnach mit Hilfe nur eines Beugungsmaximums. Man erkennt die Anwesenheit eines solchen Teilchens, kann aber über sein Aussehen keine Auskunft geben. Höchstens erlaubt

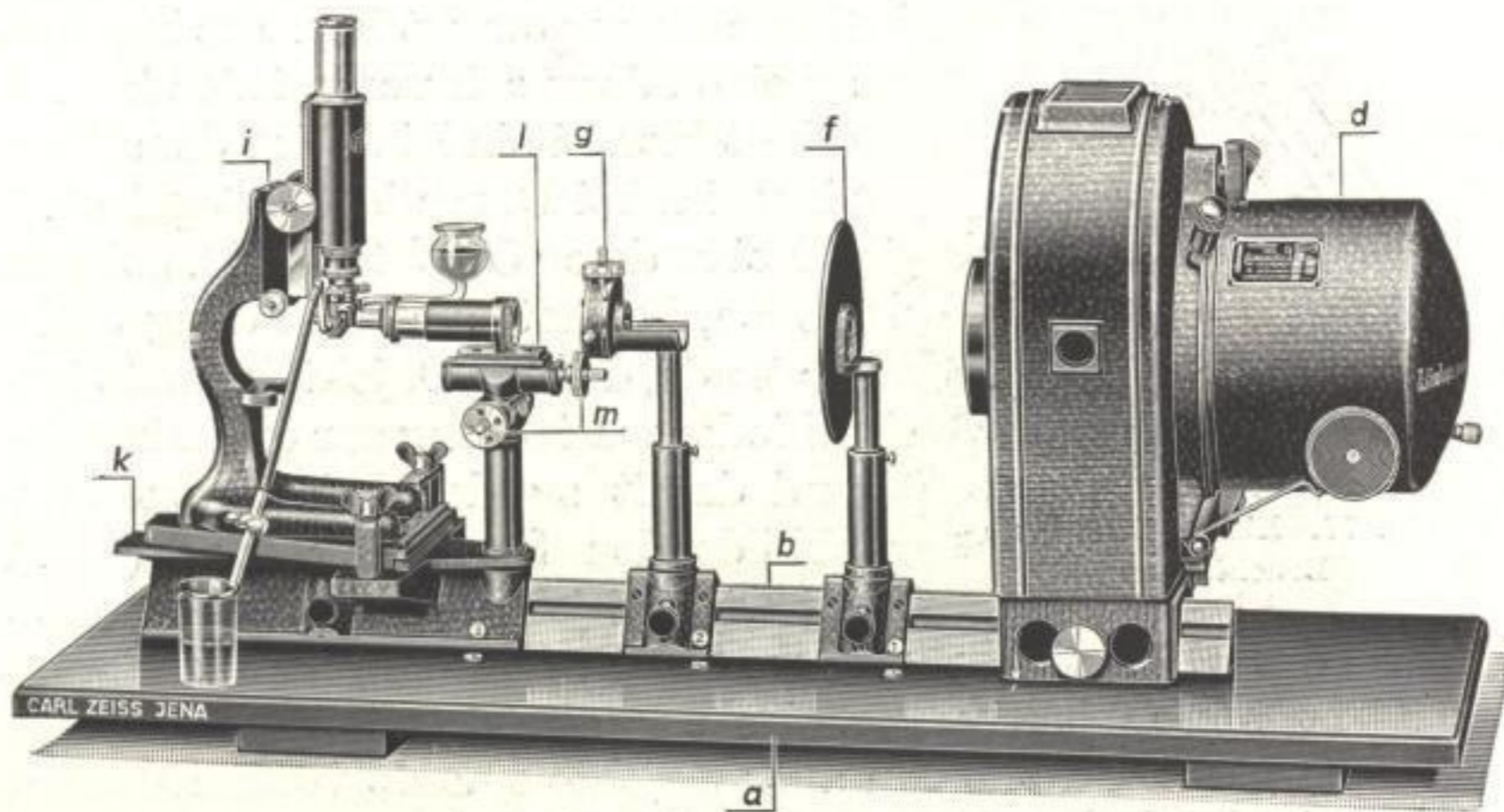


Fig. 76. Ultramikroskop nach SIEDENTOPF-ZSIGMONDY.

der Vergleich der Helligkeit verschiedener Teilchen ein gegenseitiges Abschätzen der Größe, da kleinere Teilchen entsprechend weniger Licht ins Objektiv senden als größere. Die Beleuchtungsstrahlen werden durch ein Mikroskopobjektiv, das senkrecht zur Achse des Mikroskopes angeordnet ist, gesammelt (Fig. 76). Mit Hilfe dieses Objektivs wird ein in der Breite verstellbarer Spalt *g* in der Objektebene ca. 15 mal verkleinert abgebildet. Durch Verringerung der Spaltbreite gelingt es, ähnlich wie bei den Zweiflächen-Dunkelfeld-Kondensoren, einen sehr geringen Tiefenbereich des Objektes auszu-leuchten, der der Schärfentiefe des Objektivs entspricht. Man erreicht dadurch, daß Teilchen, die vom Objektiv unscharf abgebildet werden, kein Licht mehr erhalten und demnach das Bild nicht stören können. Durch Verstellen des gesamten Spaltes kann die ausgeleuchtete Fläche höher und tiefer gestellt werden, so daß die einzelnen Objektebenen untersucht werden können.

Stade-Staude, Mikrophotographie.

6

17. Beleuchtung im auffallenden Licht.

Bei der Untersuchung undurchsichtiger Objekte ist Auflichtbeleuchtung erforderlich. Die verschieden starke Reflexion des Lichtes durch das Objekt ermöglicht die Abbildung. Die Reflexion des Lichtes kann in verschiedener Weise erfolgen. Die einzelnen Körner eines Metallschliffes werden durch Säure verschieden stark angegriffen. Die Politur des Schliffes wird demnach stellenweise erhalten bleiben, während sie an anderer Stelle zerstört wird. Die von der Säure wenig angegriffenen Körner reflektieren mehr Licht als die Körner, auf die die Säure stark gewirkt hat. Die Körner erscheinen demnach verschieden hell. Man erhält hierbei ein Bild, das dem Absorptionsbild bei Durchlicht entspricht.

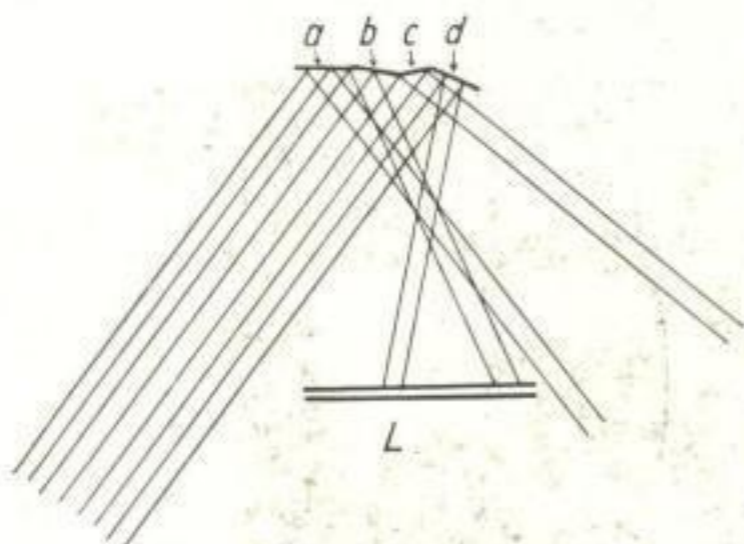


Fig. 77. Lichtreflexion an Bruchflächen.

Bei anderen Objekten, z. B. bei Bruchstellen, kommt die Abbildung dadurch zustande, daß die Objektelemente in verschiedener Richtung zur optischen Achse und damit zu den beleuchtenden und abbildenden Strahlen stehen (Fig. 77).

Es wird Objektelemente geben, die das Licht in das Objektiv reflektieren (z. B. *b* und *d*) und andere, die alles Licht am Objektiv vorbeigehen lassen (z. B. *a* und *c*). Man erhält trotz gleicher Reflexion aller Objektelemente verschieden große Helligkeit im Bild. Das Bild ändert sich hierbei, wenn man die Richtung der beleuchtenden Strahlen ändert.

Bei Auflicht unterscheidet man ebenso wie bei Durchlicht Hellfeld- und Dunkelfeldbeleuchtung. Bei Hellfeld wird das Objekt mit Licht beleuchtet, dessen Apertur kleiner oder gleich der des Objektivs ist (vgl. Fig. 79), während im Dunkelfeld nur Licht auf das Objekt gelangt, dessen Apertur größer als die des Objektivs ist (vgl. Fig. 96).

18. Hellfeldbeleuchtung bei kleinem Abbildungsmaßstab.

Hellfeldbeleuchtung wird bei Photographie mit photographischen Anastigmaten mit Hilfe eines zwischen Objekt und Objektiv angeordneten dünnen, planparallelen Glasplättchens erzeugt (Fig. 78a). Das von der Lichtquelle *Q* kommende Licht wird durch den Kollektor *K* parallel gerichtet. Das Lichtstrahlenbündel wird durch das unversilberte Planplättchen auf das Objekt reflektiert und gelangt von hier aus durch das Planplättchen hindurch auf das abbildende Objektiv *L*. Der in den Strahlengang eingeschaltete Hilfskondensator *HK* bewirkt eine Abbildung der Lichtquelle im Objektiv. Seine Brennweite ist

gleich der Strecke $ABC + CD$. Es empfiehlt sich bei Photographie von angeschliffenen Flächen, mit möglichst weit geöffnetem Objektiv zu arbeiten, da hierdurch die beste Ausleuchtung des Objektes erzielt wird.

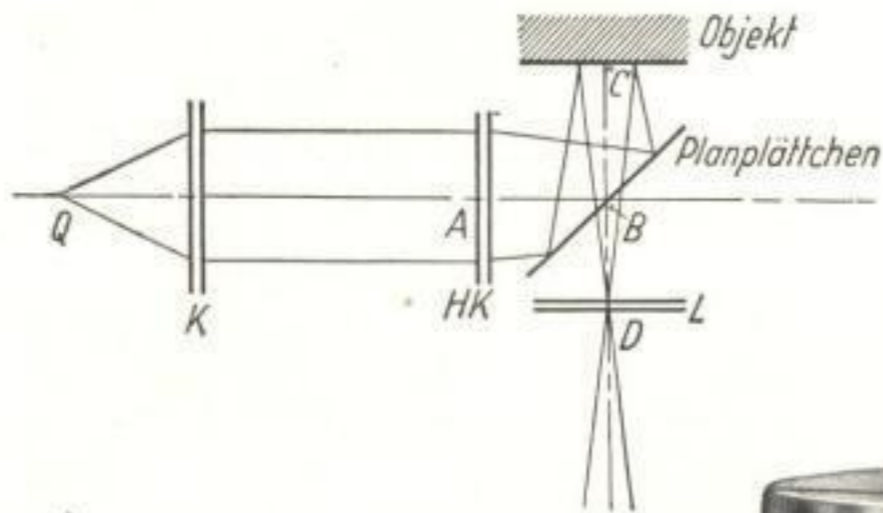


Fig. 78a. Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung bei kleinem Abbildungsmaßstab.

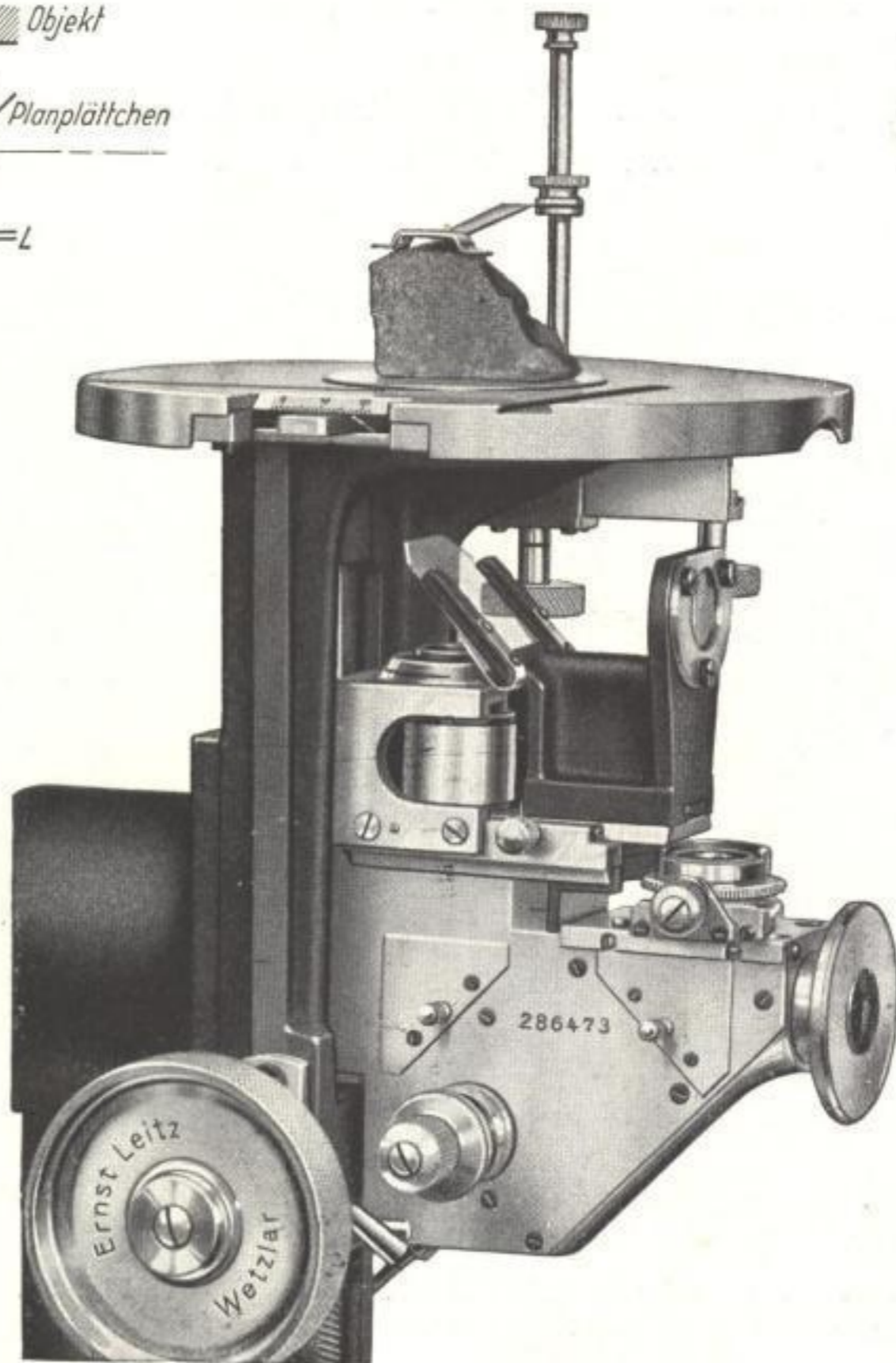


Fig. 78b. Auflichtphotographie mit Anastigmaten. Hellfeldbeleuchtung mit Planplättchen.

19. Hellfeld bei großem Abbildungsmaßstab.

Bei Photographie mit Objektiv und Okular benutzt man zur Hellfeldbeleuchtung im Auflicht den Vertikal-Illuminator, der das Licht in ähnlicher Weise wie bei der Photographie mit photographischen Anastigmaten auf das Objekt sendet (Fig. 78b). Das Licht wird durch das Planplättchen g (Fig. 79) teilweise zum Objektiv reflektiert, das gleich einem Kondensator das Licht auf dem Objekt O sammelt. Mit Objektiv und Okular beobachtet man durch das Planplättchen hindurch das beleuchtete Objekt. Da das Objektiv zugleich als Kondensator wirkt, ist die größte Objektiv-Apertur auch größte Beleuchtungs-

6*

apertur. Objektiv und Beleuchtung sind demnach genau aufeinander abgestimmt, so daß im allgemeinen bei Objektivwechsel an der Beleuchtungsanordnung nichts geändert werden muß.

An Stelle des in Fig. 79 gezeichneten Planplättchens kann man die Beleuchtungseinrichtung mit einem Prisma ausstatten, das die halbe Objektivöffnung bedeckt (Fig. 80). Der rechte Objektivteil wirkt hierbei als Kondensator, während der linke das Objekt abbildet. Auf diese

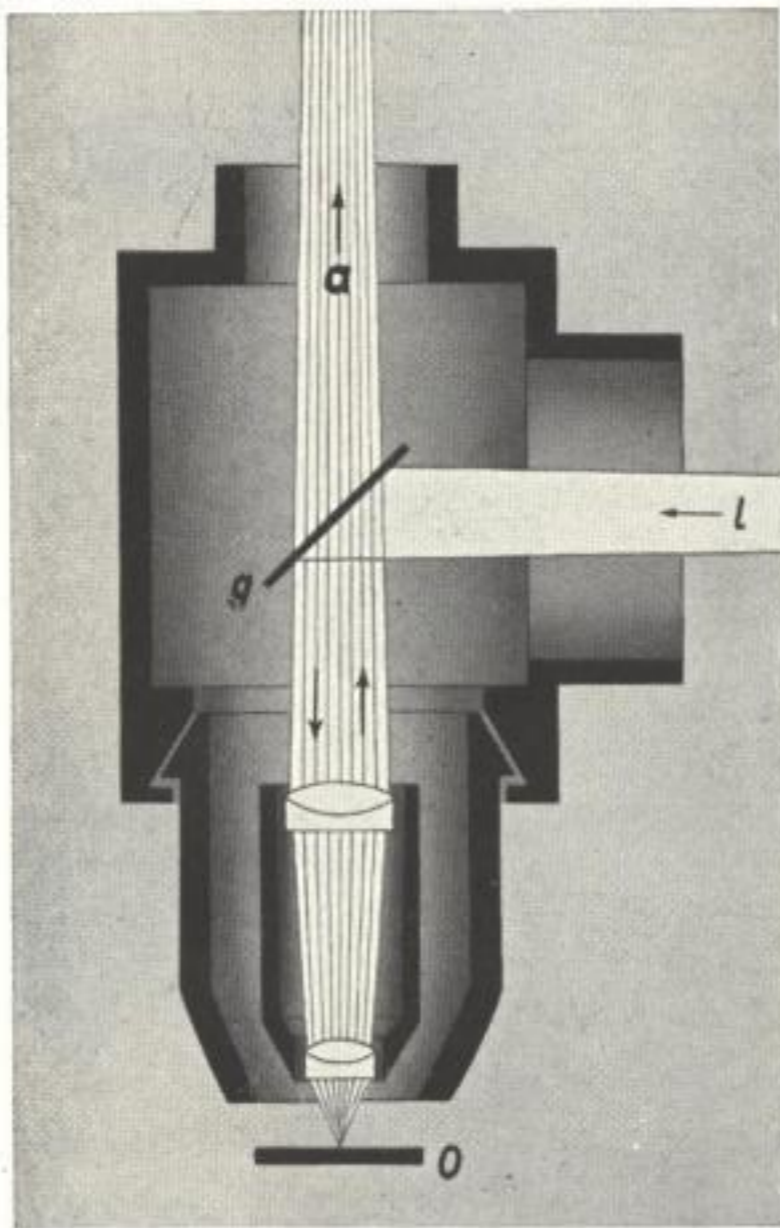


Fig. 79. Auflicht-Hellfeld mit Planplättchen bei großem Abbildungsmaßstab.

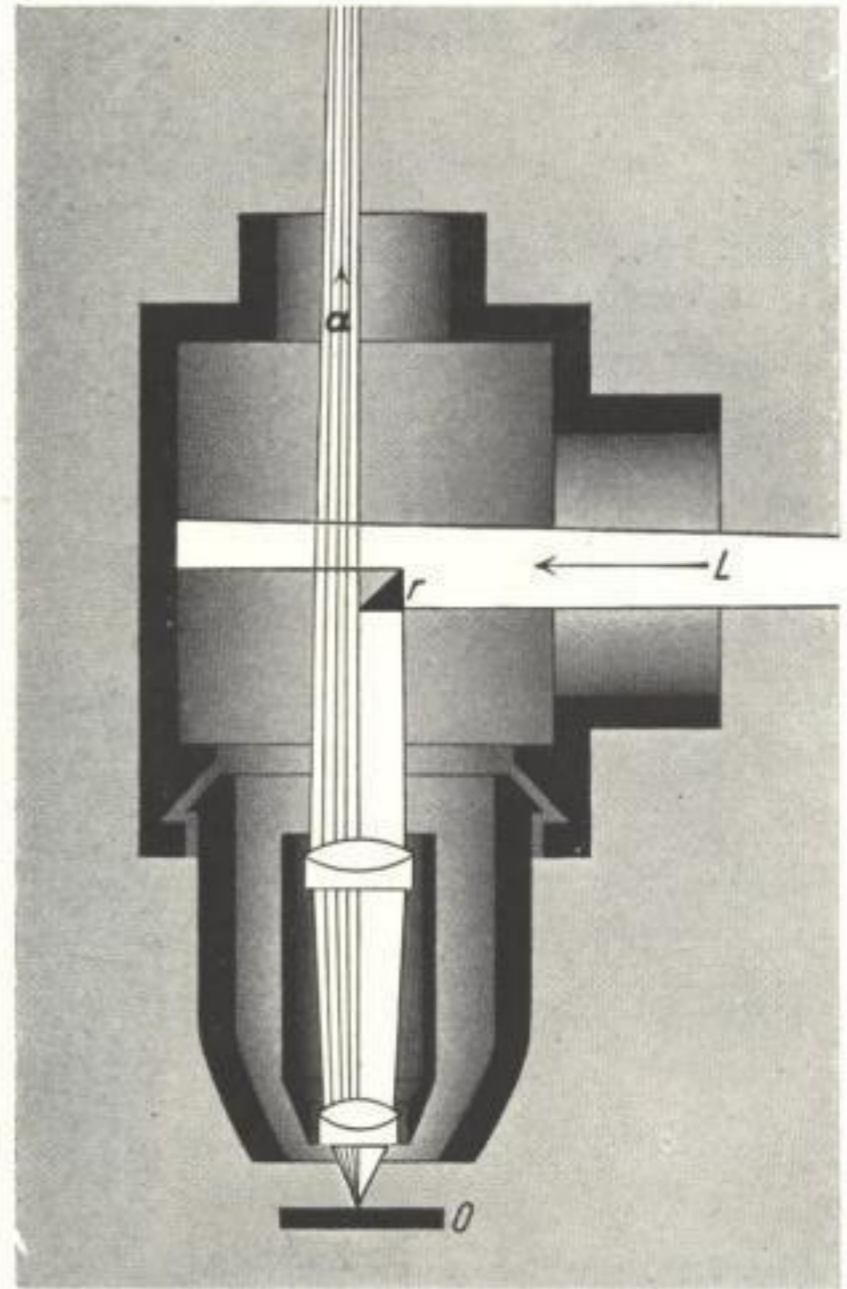


Fig. 80. Auflicht-Hellfeld mit Prisma bei großem Abbildungsmaßstab.

Weise kann das auf den Beleuchtungsapparat fallende Licht gut ausgenutzt werden, so daß man hellere Bilder als bei Arbeiten mit Planplättchen erhält. Außerdem treten Reflexe an den einzelnen Linsen des Objektivs hier weniger in Erscheinung. Trotzdem ist es für Mikrophotographie, vor allem bei Objektiven hoher Eigenvergrößerung, nicht ratsam, mit dem Prisma zu arbeiten, da zur Abbildung nur eine Objektivhälfte benutzt wird. Hierdurch erhält man neben verringertem Auflösungsvermögen — die Apertur des Objektivs ist nur halb so groß wie bei Arbeiten mit Planplättchen — meist unbefriedigende Bilder, da die Leistung der Mikroskopobjektive bei einseitiger Benutzung erheblich sinkt. Durch die einseitige Beleuchtung tritt die Oberfläche

reliefartig hervor, eine Erscheinung, die bei der Photographie von Metallschliffen meist unerwünscht und störend ist.

Zur Erzielung einer gleichmäßigen und möglichst kontrastreichen Abbildung schafft man einen Beleuchtungsstrahlengang, der der KÖHLERSchen Anordnung bei der Durchlicht-Mikroskopie entspricht (Fig. 81). Von der Lichtquelle Q , die sich in dem Lampengehäuse mit der Kollektorlinse L_1 befindet, fällt das Licht durch die Hilfslinsen L_2 und L_3 auf das planparallele Glasplättchen Pl , von dem es teilweise zum Objektiv $A_1 A_2$ und damit zum Objekt O reflektiert wird. Der Kollektor

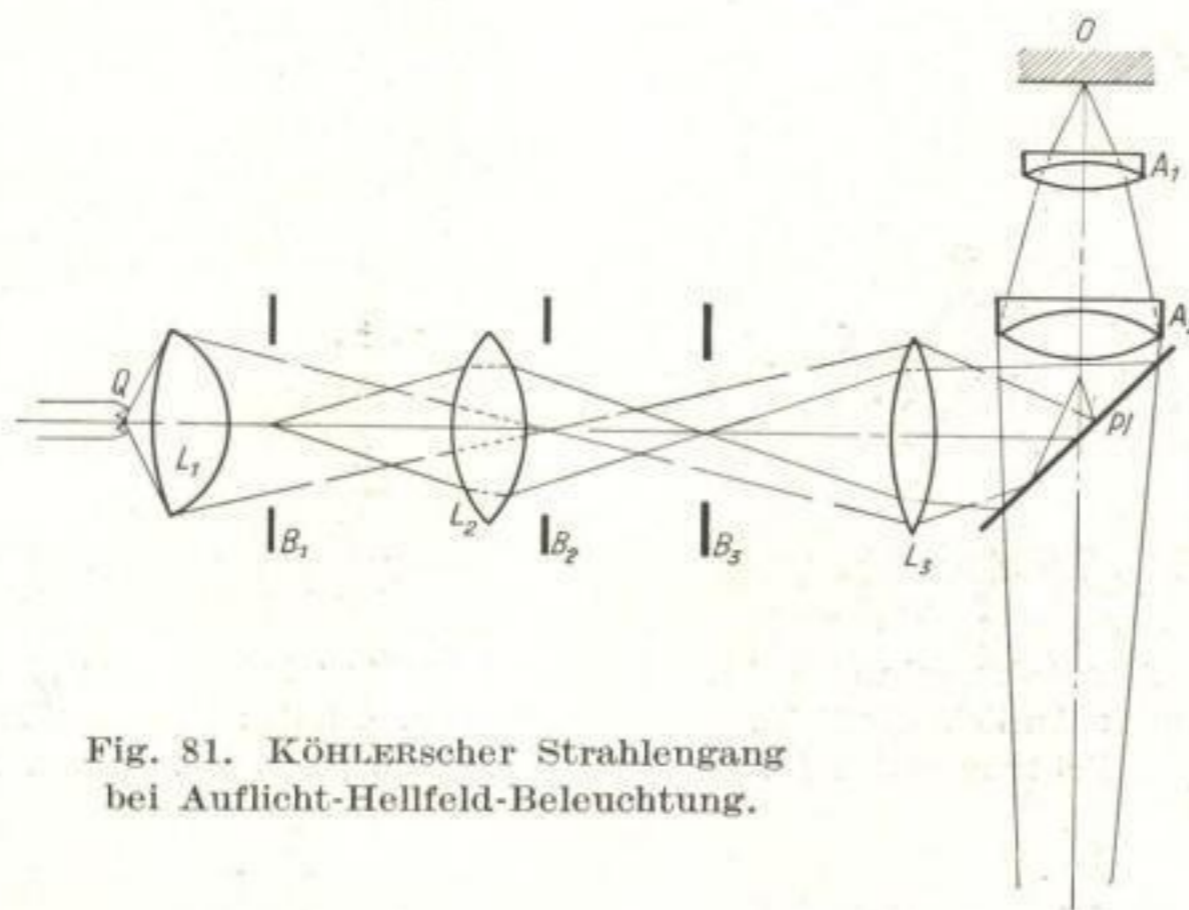


Fig. 81. KÖHLERScher Strahlengang bei Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung.

am Lampengehäuse wird so eingestellt, daß die Lichtquelle auf der Aperturblende bei B_2 scharf abgebildet wird. Mit Hilfe der Linse L_3 wird dieses Bild in die hintere Brennebene des Objektivs projiziert (vgl. bei Durchlicht das Bild der Lichtquelle auf der in der Brennebene des Mikroskopkondensators befindlichen Irisblende).

Die Linse L_2 bildet die Blende am Lampengehäuse auf der Gesichtsfeldblende B_3 ab, die durch die Hilfslinse L_3 und das Objektiv scharf auf dem Objekt erscheint.

Die Linsen L_2 und L_3 sowie die Blenden B_2 und B_3 werden in einem gemeinsamen Stutzen gefaßt, der am Vertikal-Illuminator befestigt ist. Dieser Stutzen wird zusammen mit dem Vertikal-Illuminator justiert, so daß nur noch das Lampengehäuse mit Lichtquelle, Kollektor und Kollektorblende zum Stutzen zentriert werden muß. Hierzu bildet man zunächst die Lichtquelle in der Mitte der Aperturblende ab. Darauf schließt man die Blende B_3 und bringt ihr Bild durch geringes Drehen des Planplättchens im Vertikal-Illuminator in die Mitte des Gesichtsfeldes. Jetzt schließt man die Kollektorblende B_1 . Das Lampengehäuse wird in Höhe und Breite so verstellt, daß die Kollektorblende



Fig. 82. Aluminiumschweißnaht. Objektiv 0,85/60; Okular 10 ×; $\beta' = 1200 \times$.
 Beleuchtung: Auflicht-Hellfeld. Filter: gelbgrün. Platte: Perutz Silbereosin.
 Belichtungszeit 1½'. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

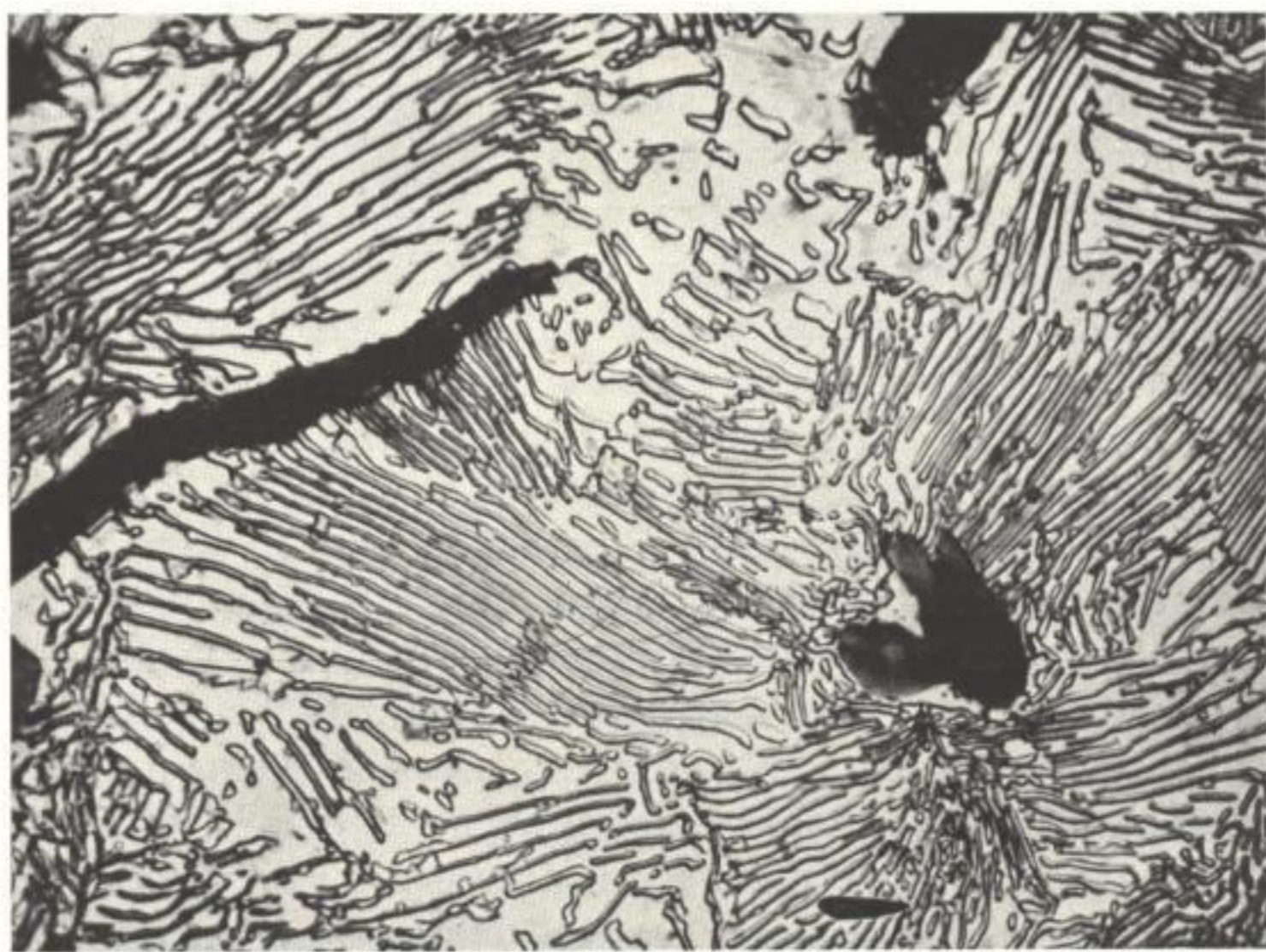


Fig. 83. Lamellarer Perlit mit Graphit. Objektiv 0,85/60; Okular 6 ×; $\beta' = 720 \times$.
 Beleuchtung: Auflicht-Hellfeld. Filter: gelb + blaugrün. Platte: Perutz Braunsiegel.
 Belichtungszeit 3'. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

sich in der Mitte des Gesichtsfeldes befindet. Ein leichtes Drehen und Kippen des Lampengehäuses genügt, um das Lichtquellenbild wieder in die Mitte der Aperturblende zu bringen. Die Kollektorblende sowie die Blende B_3 werden soweit geschlossen, daß das Gesichtsfeld gerade ausgeleuchtet ist.

Hat man den Beleuchtungsstrahlengang einjustiert, so darf bei Wechsel der Objektive die Scharfeinstellung nur durch Heben und Senken des Objektisches, nicht durch Heben des Mikroskoptubus ge-

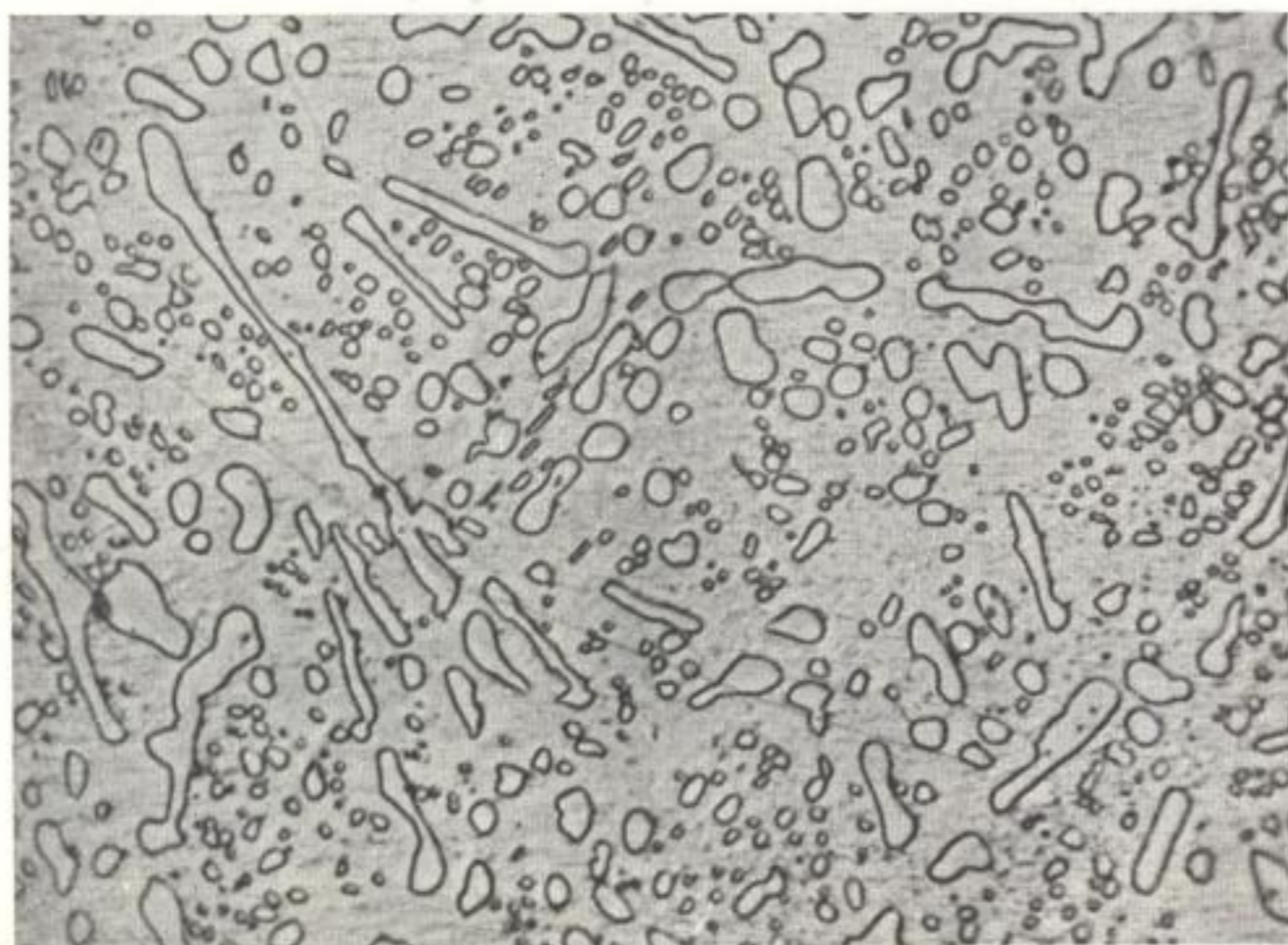


Fig. 84. Körniger Perlit. Objektiv 1,3/100; Okular $7,5 \times$; $\beta' = 1500 \times$.
Nachträglich verkleinert auf $1/5$. Beleuchtung: Auflicht-Hellfeld. Filter: gelb.
Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit 1'. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

schehen, da dies ein gleichzeitiges Heben und Senken des Lampengehäuses erfordern würde. Geringfügige Veränderungen beim Betätigen der Feineinstellung spielen natürlich keine Rolle. Für Auflichtmikroskopie müssen daher Mikroskope mit Objektischverstellung benutzt werden (Fig. 41). Der feste Tubus hat bei der Mikrophotographie den Vorteil, daß die Höhe des Mikroskopes eindeutig festliegt: Beim Beobachten mit verschiedenen Objektiven bzw. bei Einstellung auf verschieden dicke Objekte, wird der Tubus nicht bewegt. Seine Lage zum Kameraansatz bleibt demnach unverändert.

Wie in den Kapiteln über Durchlicht-Mikroskopie muß auch hier wieder darauf hingewiesen werden, daß ein starkes Verringern der Beleuchtungsapertur (Blende B_2 , Fig. 81) nicht ratsam ist, da hierdurch ein durch Beugung stark verzerrtes Bild entsteht.

Besondere Sorgfalt muß bei Auflicht-Mikroskopie auf die Ebenheit der angeschliffenen Oberfläche gelegt werden, da die Schärfentiefe, vor allen Dingen der stärkeren Objektive, nicht ausreicht, um krumme Oberflächen gleichmäßig scharf wiederzugeben. Man muß daher auf ein vollkommen gleichmäßiges Aufsetzen des Schliffes auf der Schleifscheibe achten. Das Ätzen soll kurz vor der Aufnahme erfolgen, da viele Schliffe an der Luft beschlagen und die charakteristische Struktur nicht mehr deutlich aufweisen.



Fig. 85. Ferritkristalle. Objektiv 0,85/45; Okular $10\times$; $\beta' = 900\times$.
Nachträglich verkleinert auf $\frac{1}{5}$. Beleuchtung: Auflicht-Hellfeld. Filter: blaugrün.
Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit $1\frac{1}{2}'$. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

Hellfeldbeleuchtung wird meist dann angewandt, wenn es sich darum handelt, scharfe Konturen (z. B. Korngrenzen) wiederzugeben (vgl. Fig. 82–85). Diese Abbildungen sind Beispiele dafür, wie durch verschiedene Säurebeständigkeit der einzelnen Kristalle sich das Reflexionsvermögen und damit die Helligkeit der einzelnen Objektteile ändert. So werden im Perlit (Fig. 83 und 84) die Karbidkörner von der Säure nicht angegriffen, während die ferritische Grundmasse weggeätzt wird. Es bleibt demnach das Karbidrelief stehen. — Die einzelnen Ferritkörner werden, je nachdem sie zur Schliff-Fläche liegen, verschieden angegriffen (Fig. 85).

Die Farbe des Objektes wird bei Hellfeldbildern meist nicht wahrgenommen, da die Reflexion des Lichtes im wesentlichen an der Oberfläche des Schliffes erfolgt. Zum Erkennen der Farbe eines Körpers ist es jedoch nötig, daß Lichtstrahlen zur Abbildung gelangen, die in den zu untersuchenden Körper eindringen. Hierzu dient die Dun-

kelfeld-Mikroskopie, bei der das an der Oberfläche des Schliffes gespiegelte Licht am Objektiv vorbeigeht, während Licht, das in die Körner eindringt und dort diffus reflektiert wird, zur Beobachtung herangezogen wird.

20. Dunkelfeldbeleuchtung bei kleinem Abbildungsmaßstab.

Als Dunkelfeldbeleuchtung bei auffallendem Licht bezeichnet man eine optische Anordnung, bei der die Apertur der beleuchtenden Strahlen größer ist als die Objektivapertur, bei der demnach die beleuchtenden Strahlen außerhalb der abbildenden Strahlen verlaufen (Fig. 86). Diese Beleuchtungsart wird bekanntlich in der Photographie am meisten angewendet, da in der Natur alle Objekte in dieser Weise beleuchtet werden.

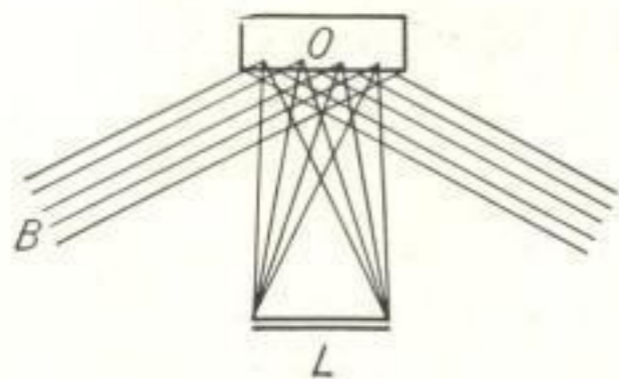


Fig. 86. Auflicht-Dunkelfeld-Beleuchtung.

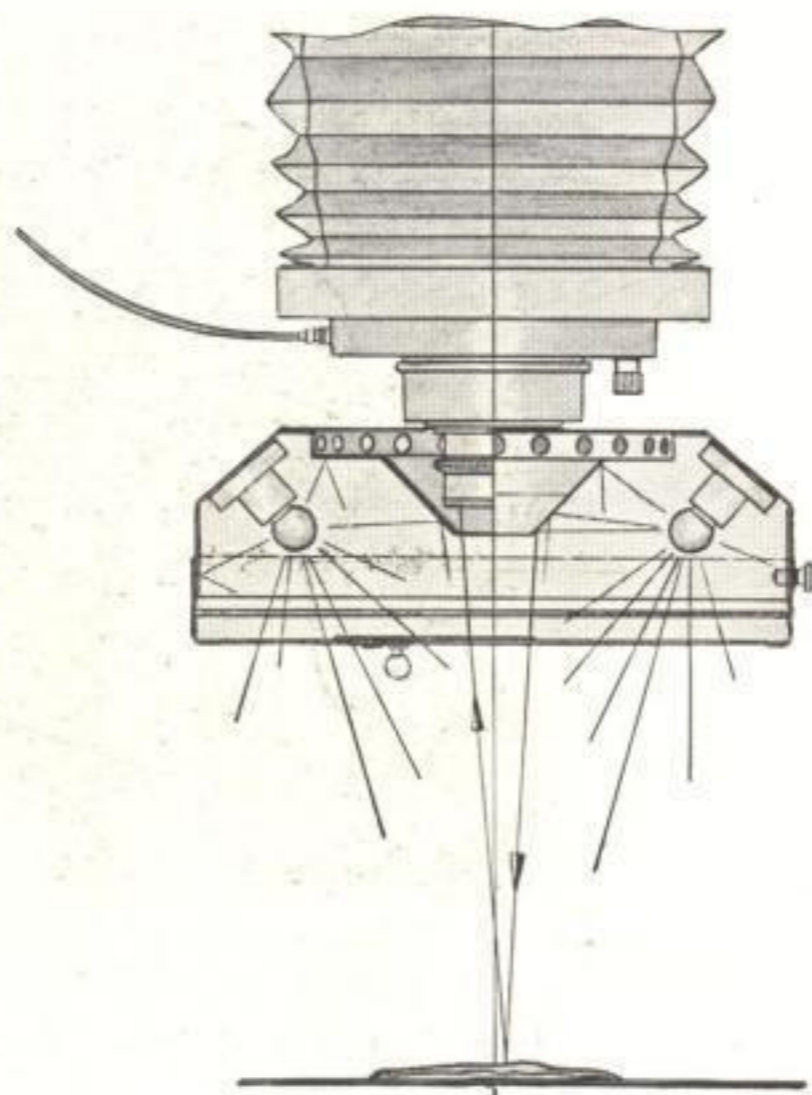


Fig. 87. Ringbeleuchtung.

Die in schwacher Vergrößerung aufgenommenen Objekte (z. B. Maschinenteile, Bruchstücke) sollen möglichst schattenfrei beleuchtet werden. Dies wird z. B. durch die Ringbeleuchtung erreicht, die durch zwölf das Objektiv umgebende Glühlampen eine allseitige Beleuchtung gewährleistet (Fig. 87). Durch Ablendung einzelner Lichtquellen mit Hilfe einer Sektorblende wird einseitige oder zweiseitige Beleuchtung erzielt, so daß die Anordnung für die verschiedensten Objekte gebraucht werden kann.

Für ausgedehnte Objekte gibt der Soffittenrahmen günstige Beleuchtung (Fig. 88). Er enthält vier Soffittenlampen, die je nach der Beschaffenheit des Objektes einzeln eingeschaltet werden können. Durch einhängbare Mattscheiben kann das Licht beliebig diffus gemacht werden.

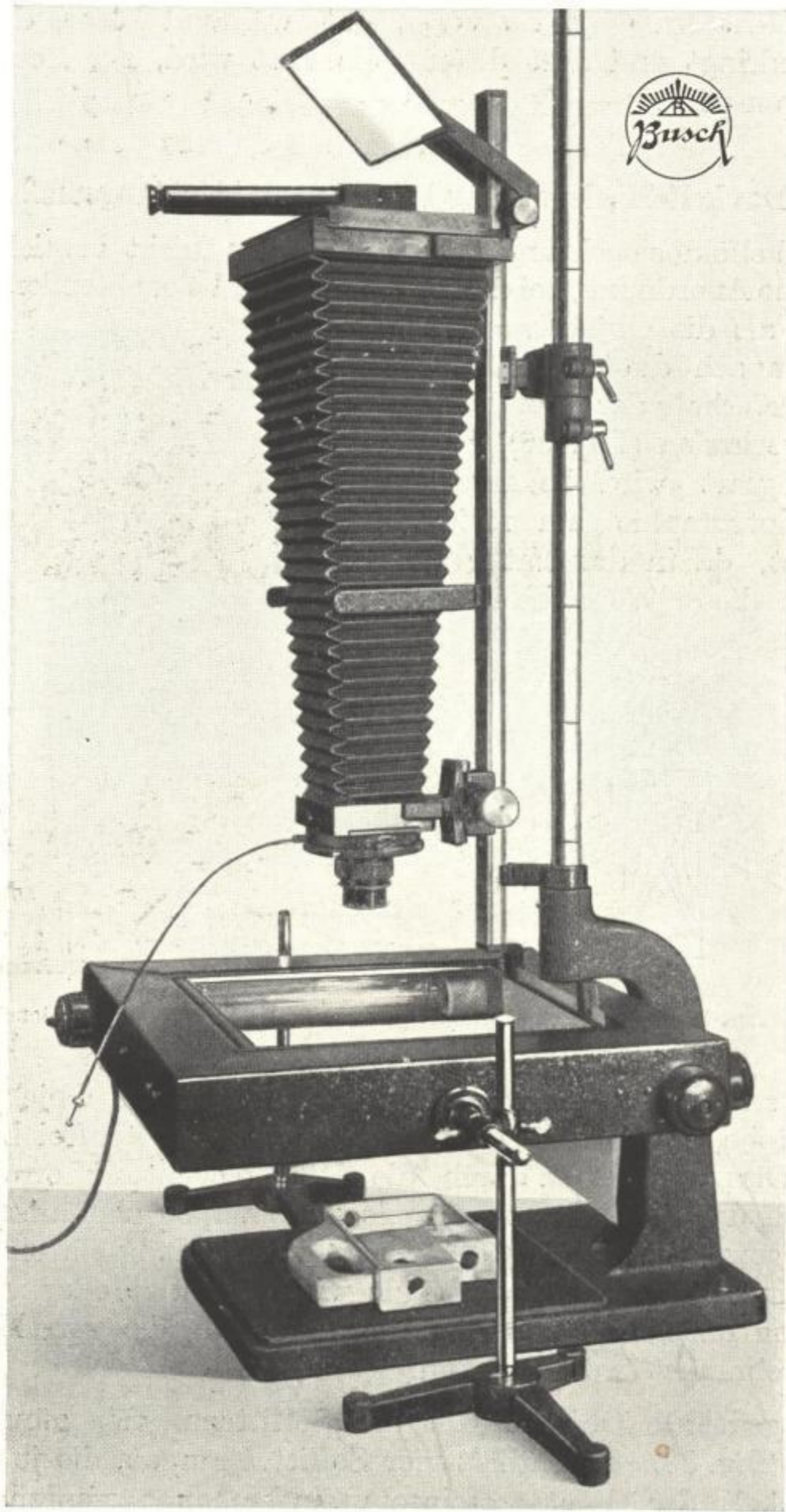


Fig. 88. Balgenkamera mit Soffittenrahmen.

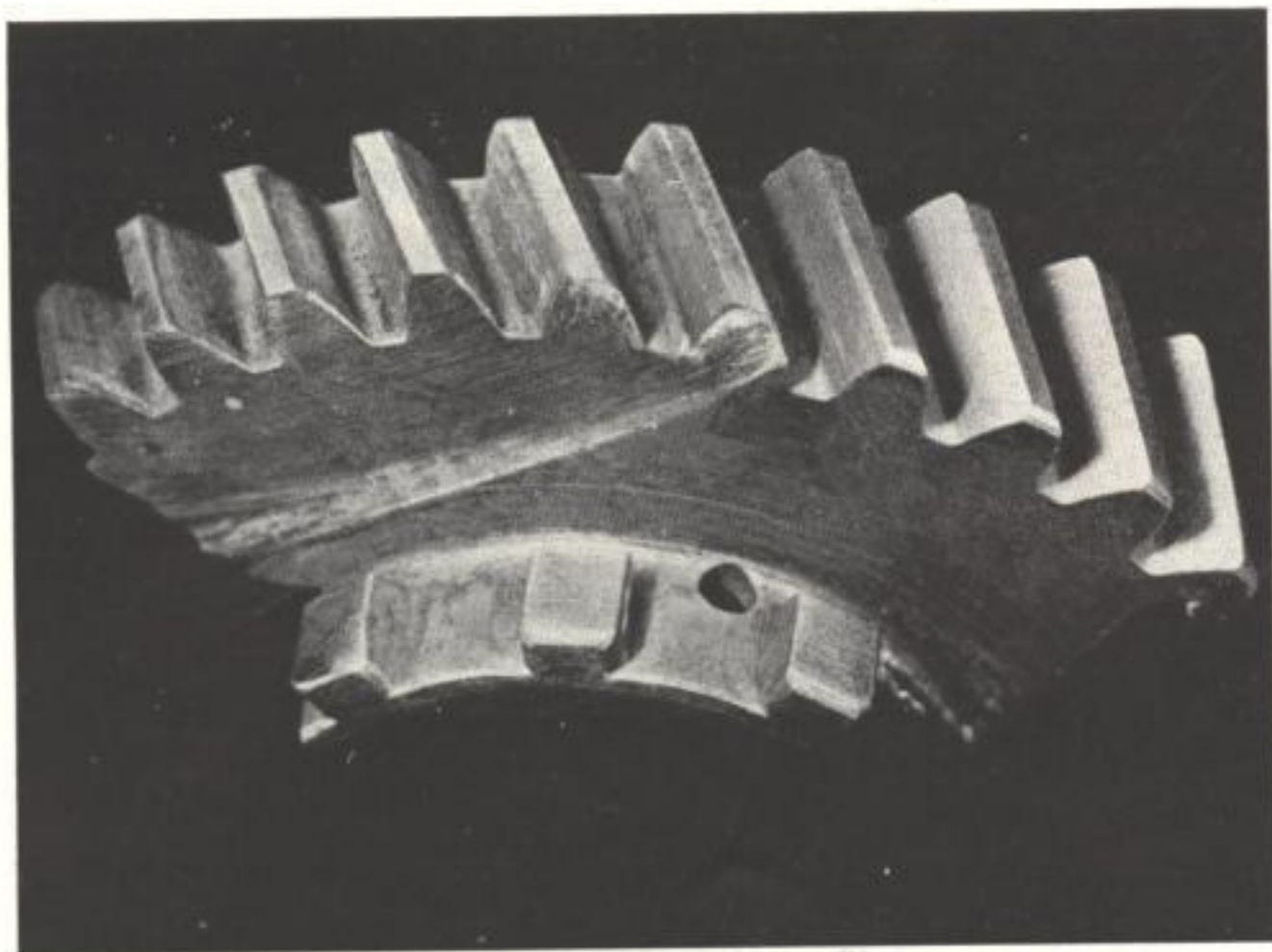


Fig. 89. Zahnrad zerbrochen. Objektiv $f = 19$ cm; $\beta' = 1,5 \times$. Nachträglich verkleinert auf $\frac{4}{5}$.
Beleuchtung: Soffittenrahmen. Ohne Filter. Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit 1'.
Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.



Fig. 90. Kupferkies im Sanderz. Objektiv $f = 5,5$ cm; $\beta' = 11,5 \times$.
Beleuchtung: Auflicht-Dunkelfeld. Filter: gelbgrün. Platte: Perutz Braunsiegel.
Belichtungszeit 3'. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

Das in Fig. 89 wiedergegebene Bruchstück eines Zahnrades weist trotz großer Tiefe gleichmäßige Schärfe auf. Die Beleuchtung ist allseitig gleichmäßig.

Gleichmäßig helle Beleuchtung ebener (angeschliffener) Objekte erreicht man durch schräge Anleuchtung des Objektes mit Hilfe einer

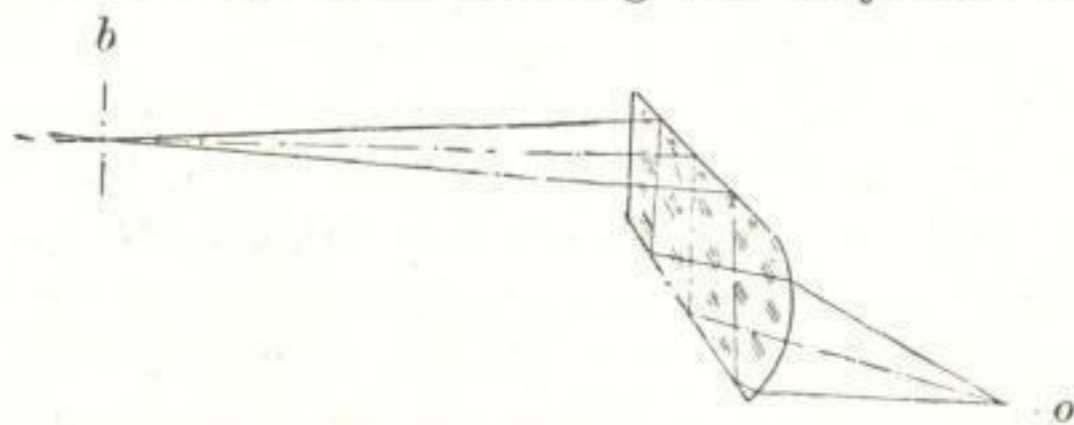


Fig. 91. Schräglicht-Illuminator.



Fig. 92. Chromleder. Objektiv $f = 7,5$ cm; $\beta' = 8 \times$.
 Beleuchtung: Auflicht-Dunkelfeld. Filter: gelb + blaugrün. Platte: Perutz Silbereosin.
 Belichtungszeit 10". Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

Niedervolt-Lampe. Man läßt hierbei das Licht achsenparallel aus dem Kollektor austreten (Lichtquellenbild im Unendlichen). Das Licht dringt je nach der Durchlässigkeit des Objektes in die Oberfläche ein. Während das direkt gespiegelte Licht am Objektiv vorbeigeht, gelangt ein Teil des diffus gestreuten Lichtes in das Objektiv (Fig. 86), wodurch eine Beobachtung des Objektes in seiner Eigenfarbe möglich ist. Man erhält äußerst kontrastreiche Bilder, die z. B. die einzelnen Be

standteile, aus denen sich der in Fig. 90 wiedergegebene Kupferkies zusammensetzt (z. B. den Quarz links oben), genau erkennen lassen.

Handelt es sich darum, Licht aus einer Richtung unter möglichst großem Winkel gegen die optische Achse einfallen zu lassen, so benutzt man hierzu den Schräglicht-Illuminator (Fig. 91). Dieser Illuminator besteht aus einem Reflexionsprisma, an dessen einer Seite sich eine Linse befindet. Das achsenparallel auf den Schräglicht-Illuminator fallende Licht wird an zwei Seiten des Prismas reflektiert und schließlich von der Linse auf dem Objekt gesammelt. Dieses Beleuchtungsgerät eignet sich besonders zur kontrastreichen Abbildung rauher Oberflächen bei Verwendung kurzbrennweitiger Anastigmaten oder schwacher Mikroskopobjektive. Das Licht wird von den einzelnen Objektstellen diffus reflektiert. Die einseitige Beleuchtung bewirkt ein reliefartiges Aussehen und starke Schattenbildung (Fig. 92).

21. Dunkelfeldbeleuchtung bei Photographie mit Objektiv und Okular.

Einseitige Dunkelfeldbeleuchtung erhält man, wie vorher beschrieben, mit dem Schräglicht-Illuminator. Zur Untersuchung eignen sich wieder vor allem raue Oberflächen.

Einseitige Dunkelfeldbeleuchtung ist besonders günstig zur Beobachtung und Beurteilung der Güte und Gleichmäßigkeit eines Werkstückes. Da die Bearbeitung in einer bevorzugten Richtung vorgenommen wird (z. B. Drehen eines Metallkörpers), kann man die Einzelheiten am besten durch eine Beleuchtung senkrecht zu dieser Richtung erkennen (vgl. Fig. 93).

Zur Erzeugung allseitiger Dunkelfeldbeleuchtung dient der LIEBERKÜHN-Spiegel (Fig. 94). Über den Spiegel *m* des Mikroskopes trifft das Licht durch eine Glasplatte *g*, die als Objektaufgabe gebraucht wird, auf einen am Mikroskopobjektiv *a* befestigten Hohlspiegel *h*, der es auf dem Objekt *o* sammelt. Zur Abblendung des direkt in das Objekt fallenden Lichtes dient eine auf der Glasscheibe angebrachte Zentralblende.



Fig. 93. Stahlwelle geschliffen. Objektiv 0,16/6;
 [Okular 10 × ; $\beta' = 30 \times$. Filter: gelb. Platte:
 Perutz Braunsiegel. Belichtungszeit 5'.
 Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

Für hohe Vergrößerungen wird der LIEBERKÜHN-Spiegel durch den Dunkelfeldkondensator von HAUSER (ähnlich dem Zweiflächen-Dunkelfeld-Kondensator für Durchlicht) ersetzt (Fig. 95). Das Licht fällt hier zunächst auf einen Kegelspiegel k , der es zu dem Parabelringspiegel h wirft, von dem aus es unter hoher Apertur auf das Objekt reflektiert wird.

Bei den genannten beiden Anordnungen darf das Objekt eine bestimmte Größe nicht überschreiten, da es sonst die beleuchtenden Strahlen ganz oder teilweise abschneidet. Daher wird bei den heute üblichen Anordnungen das Licht von der Objektivseite her zum Objekt geführt (Fig. 96). Von dem Lampenkollektor tritt achsenparalleles Licht durch die Öffnung in den Beleuchtungsapparat ein. Es fällt auf einen Lochspiegel S , durch dessen Ausbohrung die abbil-

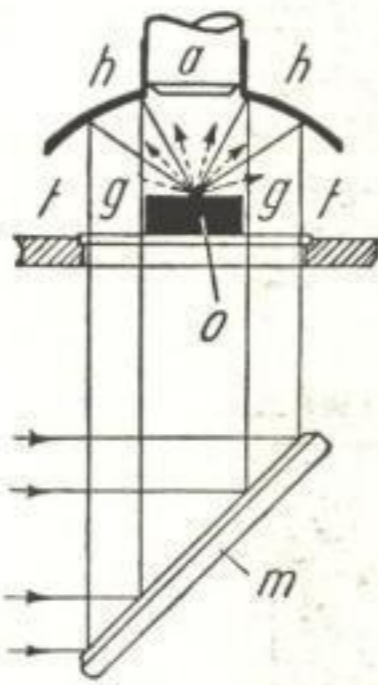


Fig. 94. LIEBERKÜHN-Spiegel.

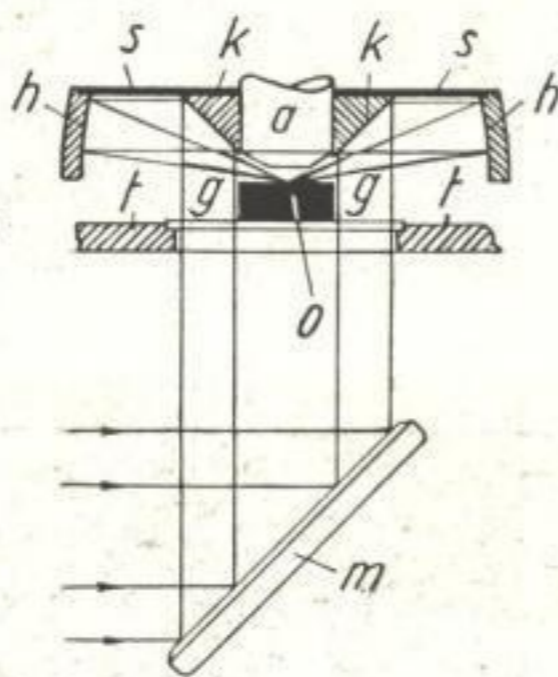


Fig. 95. Zweiflächen-dunkelfeldkondensator.

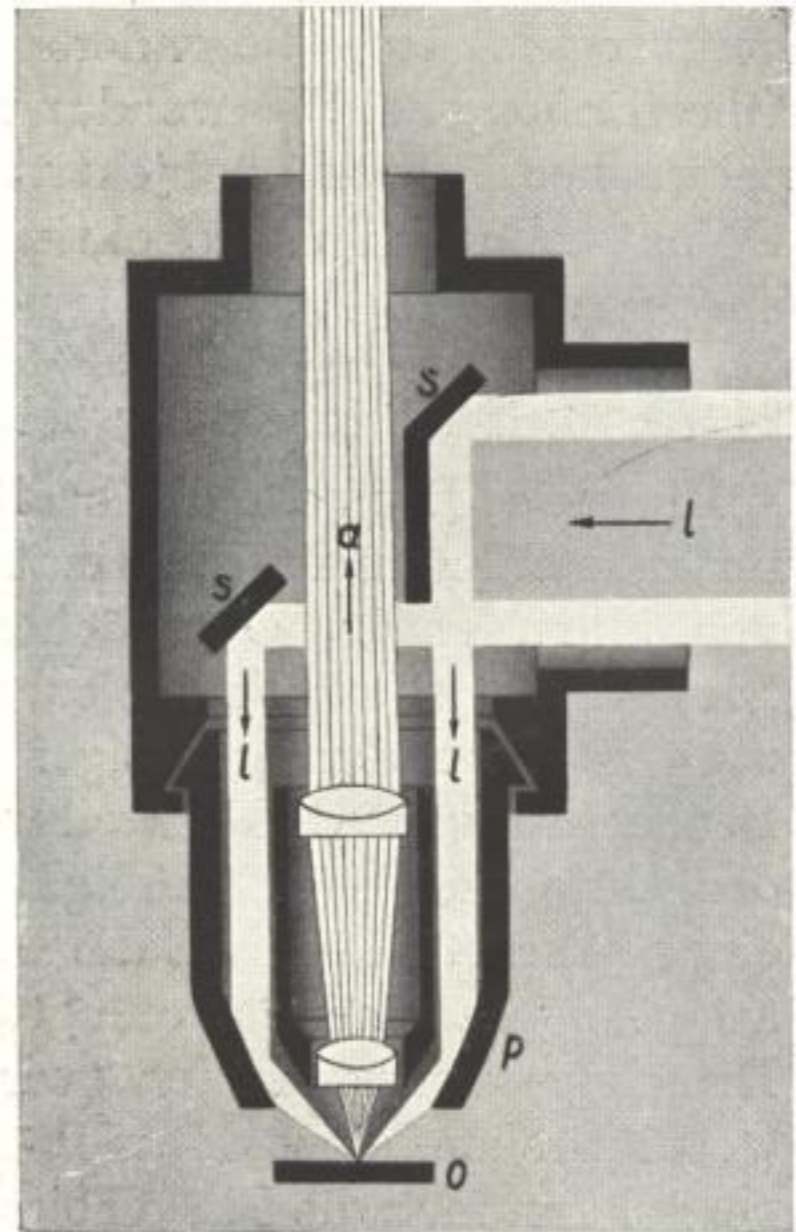
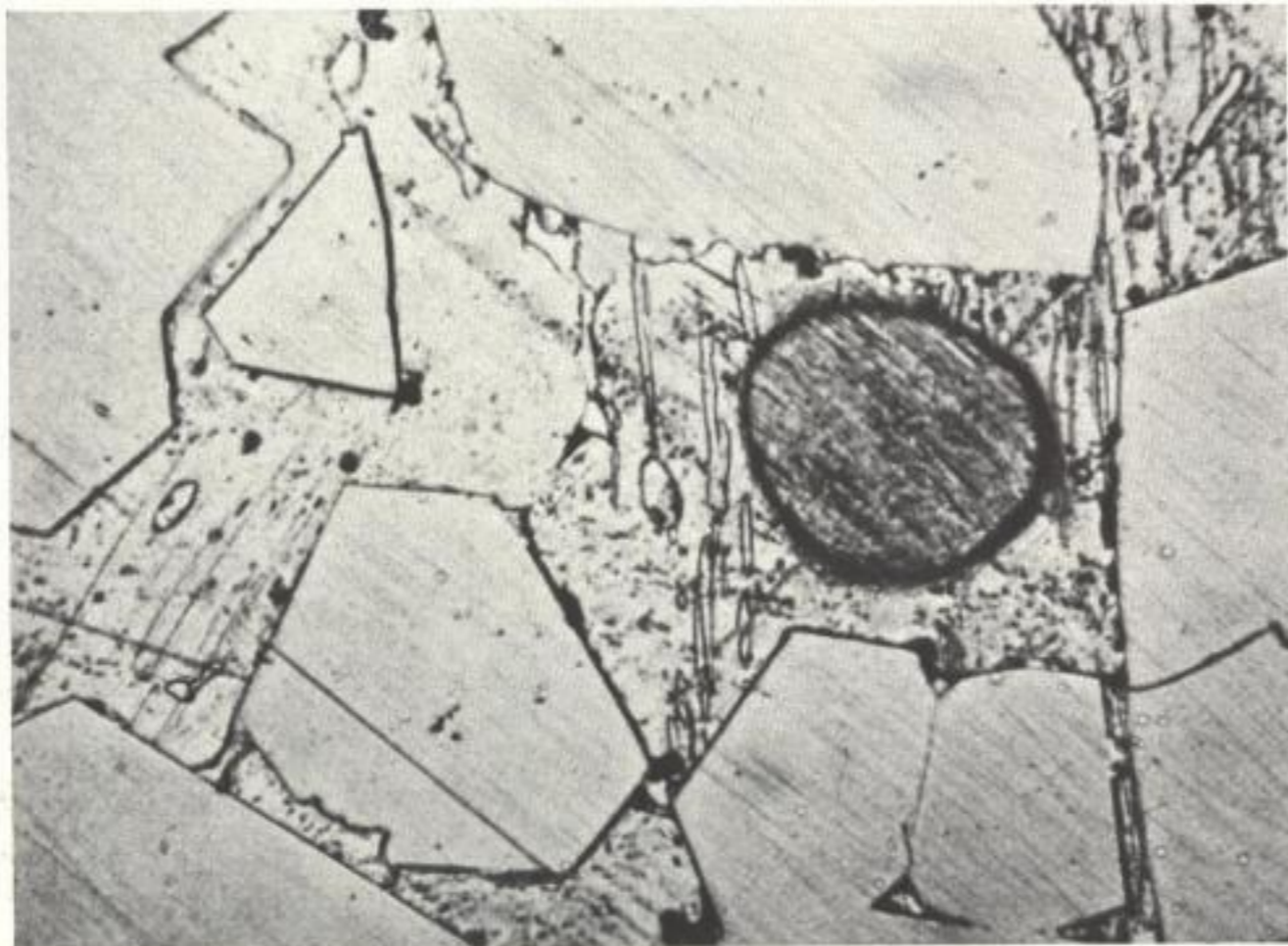


Fig. 96. Auflicht-Dunkelfeld bei großem Abbildungsmaßstab.

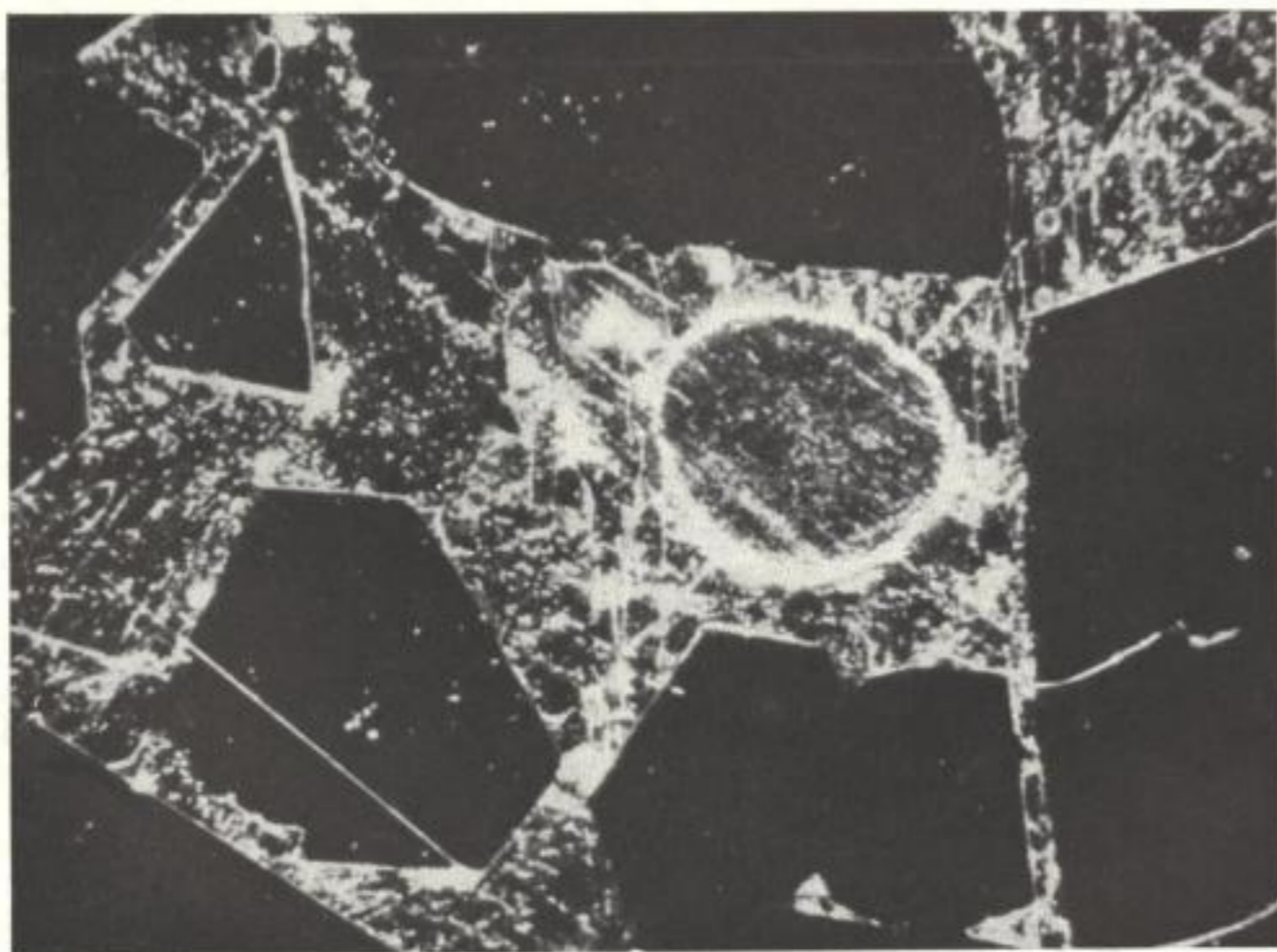
denden Strahlen a geführt werden. Der Lochspiegel reflektiert das Licht auf einen das Objektiv ringförmig umgebenden Parabelspiegel P , der es auf dem Objekt O sammelt. Das vom Objekt reflektierte Licht gelangt zum Objektiv und ermöglicht die Abbildung der Struktur. Mit Hilfe dieser Anordnung kann man große Objekte untersuchen, ohne Gefahr zu laufen, daß die beleuchtenden Strahlen wie beim LIEBERKÜHN-Spiegel abgeschnitten werden. Bei Objektiven mittlerer und hoher Eigenvergrößerung ist der Parabelspiegel durch Verdrehen im Anschraubgewinde in der Höhe verstellbar. Hierdurch wird eine gute Ausleuchtung derjenigen Objektebene erreicht, auf die das Objektiv eingestellt wurde. Ein Verändern dieser günstigsten Stellung des

Ringspiegels hat keinen Zweck, da man das Objektiv zur Abbildung der vom verstellten Spiegel beleuchteten Objektebene nachstellen muß, wobei der Spiegel mitgenommen wird.

Dunkelfeldbeleuchtung ergibt meist vollkommen andere Bilder als Hellfeldbeleuchtung. Bei Objekten, deren Struktur aus kleinen Erhebungen und Vertiefungen in der Oberfläche besteht, kehren sich



a



b

Fig. 97a und b. Hartes Zink (4% Fe). Objektiv 0,30/15; Okular 10 ×; $\beta' = 300 \times$. Nachträglich verkleinert auf $\frac{4}{5}$. Filter: gelb. Platte: Perutz Silbereosin. a Beleuchtung: Auflicht-Hellfeld. Belichtungszeit $\frac{1}{2}'$. b Beleuchtung: Auflicht-Dunkelfeld. Belichtungszeit 3', Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

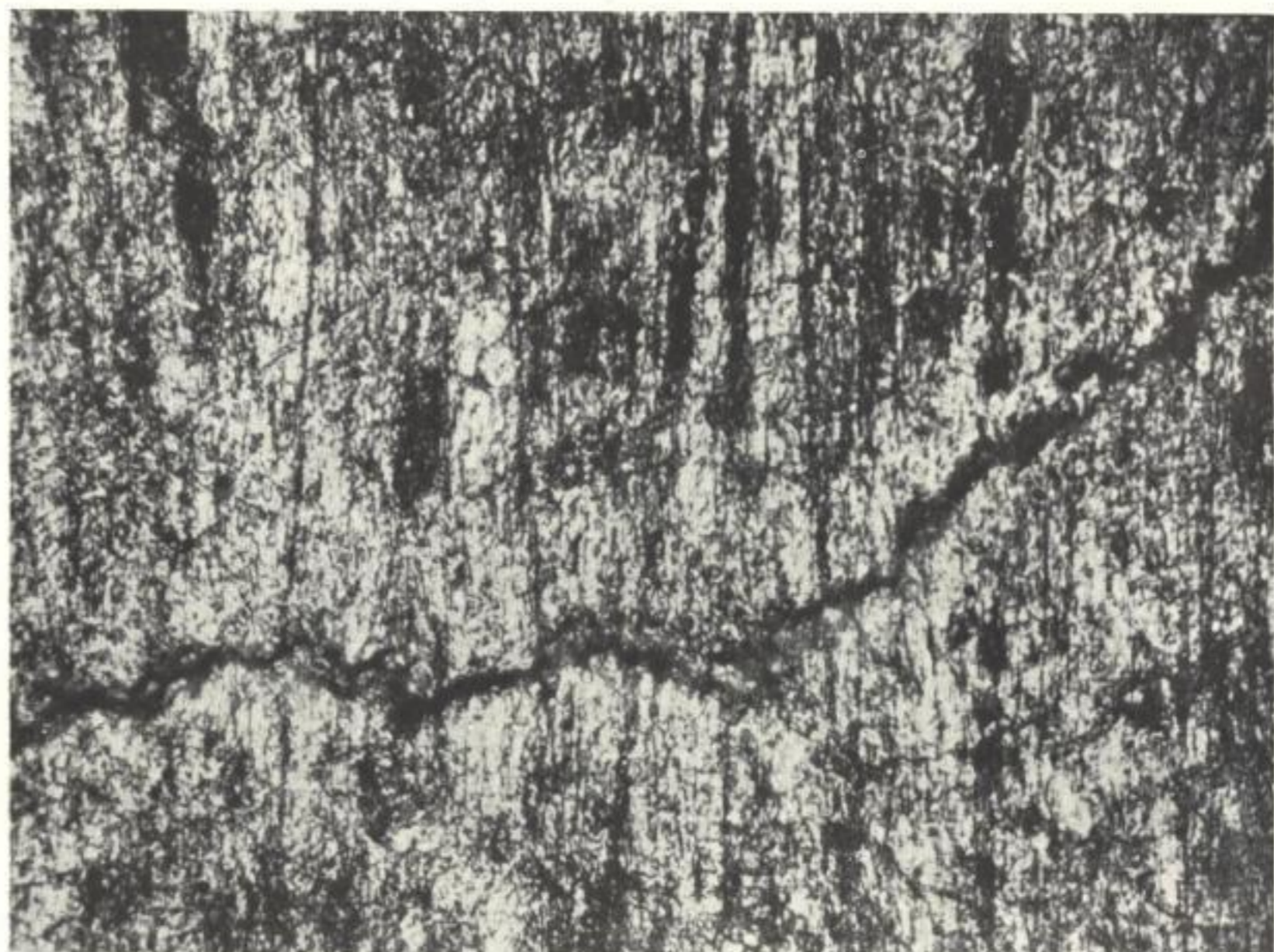


Fig. 98a. Preßstoff-Lagerschale, gerissen. Objektiv 0,30/15; Okular 7,5 \times ; $\beta' = 225 \times$.
Nachträglich verkleinert auf $\frac{1}{5}$. Beleuchtung: Auflicht-Hellfeld. Filter: blaugrün.
Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit 1'. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

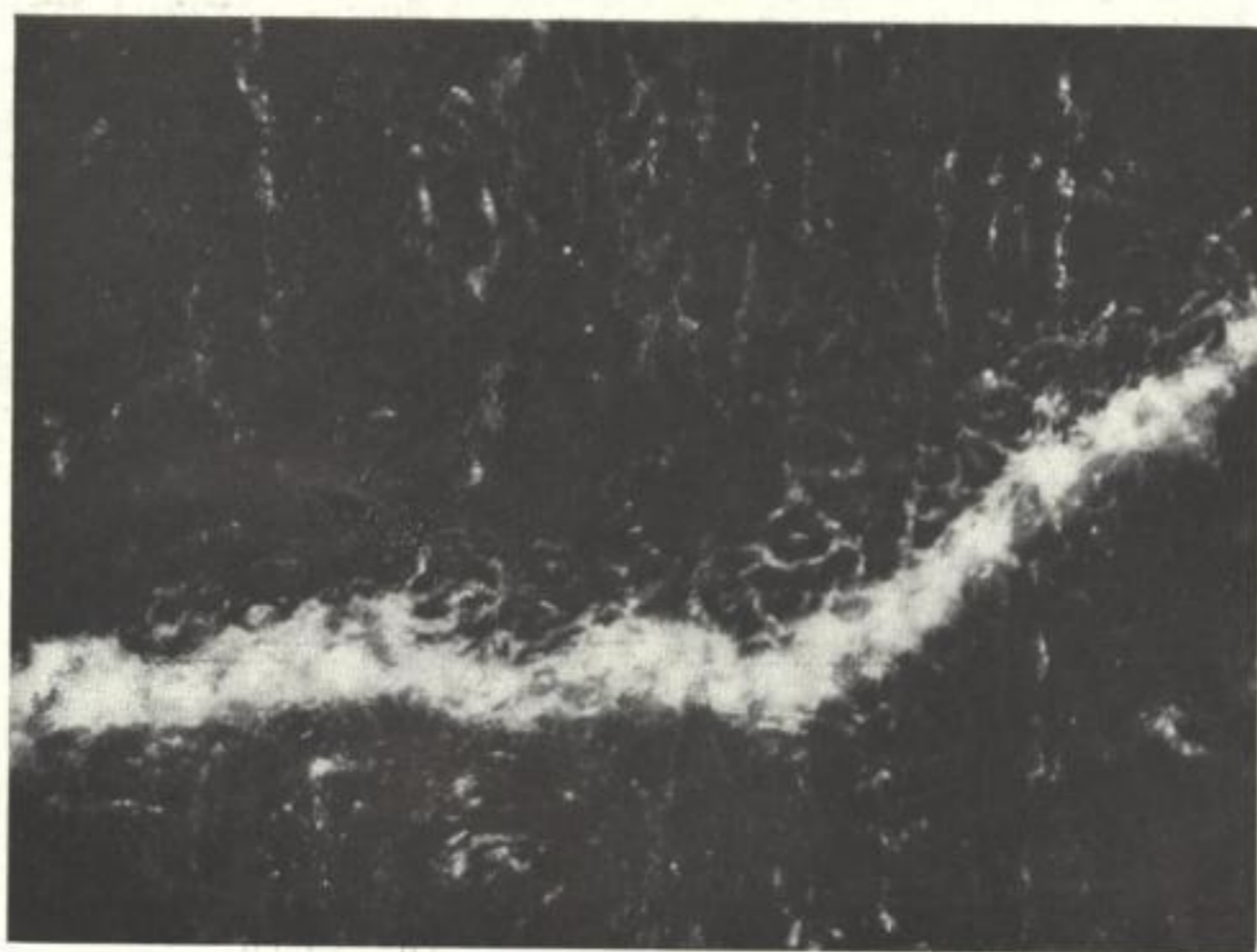


Fig. 98b. Preßstoff-Lagerschale, gerissen. Objektiv 0,30/15; Okular 7,5 \times ; $\beta' = 225 \times$.
Nachträglich verkleinert auf $\frac{1}{5}$. Beleuchtung: Auflicht-Dunkelfeld. Filter: blaugrün.
Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit 2'. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

beim Übergang von Hellfeld zu Dunkelfeld die Helligkeitswerte um (Fig. 97). Große Unterschiede zwischen Hellfeld- und Dunkelfeldbeleuchtung erkennt man auf dem in Fig. 98 dargestellten Preßstoff. Während auf der Hellfeldaufnahme nur die Breite des Risses zu erkennen ist, zeigt die Dunkelfeldaufnahme die starke Beeinflussung des Materials in der Umgebung des Risses. Andere Objekte, z. B. Papieroberflächen, ergeben nur im Dunkelfeld brauchbare Bilder, da im Hellfeld das Bild durch Reflexe vollkommen verschleiert wird (Fig. 99).



Fig. 99. Strohpappe. Objektiv 0,25/11; Okular 7,5 ×; $\beta' = 165 \times$.
Nachträglich verkleinert auf $\frac{1}{5}$. Beleuchtung: Auflicht-Dunkelfeld. Filter: blaugrün.
Platte: Perutz Silbereosin. Belichtungszeit 7'. Werkphoto Busch, phot. H. POLENSKI.

22. Kombinierte Auf- und Durchlichtbeleuchtung.

Man kann bei vielen Objekten, die im Auflicht untersucht werden, die Beobachtung machen, daß zwar Teile der Oberfläche deutlich zu sehen sind, der Umriß aber nicht zu erkennen ist. Der Umriß kann jedoch sehr gut mit Hilfe des Durchlichthellfeldes sichtbar gemacht werden. Durch Aufhellung des Untergrundes hebt sich das Objekt gut ab und kann in seiner vollkommenen Gestalt gut beobachtet werden. Der Sinn des Verfahrens soll aus Fig. 100 hervorgehen. Bei der Auflichtaufnahme a kann man die Einzelheiten der Oberfläche genau erkennen, während vom Umriß der Nadeln nichts zu sehen ist. Das Durchlichtbild b zeigt den Schattenriß ohne Zeichnung in der Oberfläche. Die kombinierte Beleuchtung zeigt alle Einzelheiten in der Oberfläche wie Fig. a und den Umriß wie Fig. b. Man erhält ein

außerordentlich plastisches Bild, aus dem die gesamte Form der Nadeln erkannt werden kann.

Die Einstellung des Bildes nimmt man zunächst bei Auflichtbeleuchtung vor. Es eignet sich hierfür vor allem einseitige oder allseitige Dunkelfeldbeleuchtung, da die bei Hellfeldbeleuchtung auftretenden Reflexe an den Objektivlinsen eine Beobachtung der zu untersuchenden Objekte (meist rauhe Oberflächen, Stoffgewebe usw., vgl. auch Fig. 112) unmöglich machen. Ist das Auflichtbild gleichmäßig beleuchtet, so schaltet man Durchlicht-Hellfeld ein. Hierbei ist wieder auf gute Ausleuchtung zu achten (KÖHLERScher Strahlengang). Da im allgemeinen das Auflichtbild lichtschwächer als das Durchlichtbild ist, muß man die Intensität der für Durchlicht benutzten Lichtquelle durch ein Graufilter schwächen.

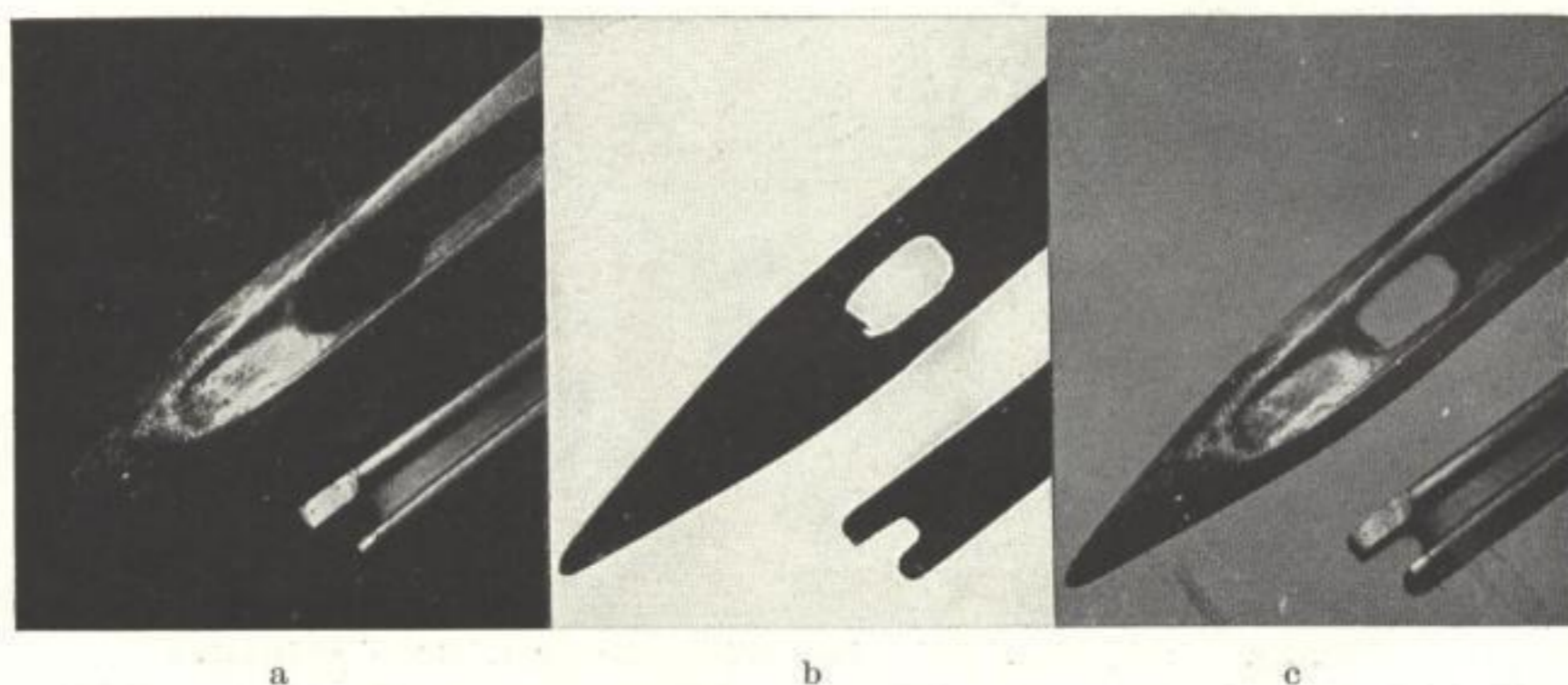


Fig. 100. Sattlernadeln. $\beta' = 8 \times$.
a Auflicht; b Durchlicht; c kombiniertes Auf- und Durchlicht.
Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

Die Anforderungen, die bei dieser Abbildung an die Schärfentiefe des Objektivs gestellt werden, sind hoch, da durch die Aufhellung des Untergrundes auch tiefer gelegene Objektstellen sichtbar werden. Da jedoch bei starker Abblendung des Objektivs das Auflösungsvermögen nachläßt, ist es nötig, ein anderes Verfahren anzuwenden: Man stellt mit einem für eine gute Auflösung hinreichend weit geöffneten Objektiv auf die bei Auflichtbeleuchtung sichtbare Objektstruktur scharf ein und schließt die Aperturblende am Durchlicht-Beleuchtungsapparat so weit, bis der Umriß des Objektes scharf erscheint.

3. Kapitel.

Spezielle mikrophotographische Anordnungen.**1. Stereo-Mikrophotographie.**

Die bisher angestellten Untersuchungen über den Abbildungsvorgang im Mikroskop gestatten nicht, Aussagen darüber zu machen, wie dem Auge die Tiefe eines Objektes bei der Betrachtung eines mikroskopischen Bildes erscheint. Da bei der Tiefenwahrnehmung die Eigenschaften des Auges als optisches Instrument eine wesentliche Rolle spielen, muß auf sie näher eingegangen werden, wobei jedoch auf physiologisch-optische Betrachtungen verzichtet wird.

Vergleicht man das Auge mit einer photographischen Kamera, so stellt man fest, daß die Bilderzeugung in diesen beiden optischen Instrumenten in grundsätzlich verschiedener Weise vor sich geht. Bei der photographischen Kamera entwirft das ruhende Objektiv auf der Mattscheibe ein Bild, das über einen im allgemeinen großen Bereich scharf erscheint. Diesem Vorgang entspricht beim Auge das *indirekte Sehen*: das Auge fixiert einen Punkt und sieht hierbei auch die Umgebung des Punktes, wobei die Schärfe des auf der Netzhaut des Auges erzeugten Bildes schon bei kleinem Bildwinkel stark abfällt. Die von den einzelnen Objektpunkten herkommenden Lichtstrahlen zielen zur Pupille des Auges und gelangen von hier aus divergent zur Netzhaut. Bei indirektem Sehen ist demnach die Augenpupille das Projektionszentrum, von dem aus jedem Objektpunkt ein Bildpunkt auf der Netzhaut zugeordnet wird.

Neben diesem Sehvorgang, dem auf Grund des schroffen Schärfenabfalles zum Rand eine nur untergeordnete Bedeutung zukommt, besteht noch ein zweiter: das *direkte Sehen*: das Auge ist als Ganzes um den Augendrehpunkt drehbar angeordnet, so daß es durch rasche Bewegungen in Breite und Höhe alle wesentlichen Objektpunkte abtasten kann und auf diese Weise, zeitlich hintereinander folgend, das gesamte Objekt punktweise scharf auf der Netzhaut abbildet. Diese Vielheit von Einzeleindrücken vereinigt das Gehirn zu einem vollständigen Bilde. Es tritt demnach als zweites Projektionszentrum der Augendrehpunkt auf, der mit der Augenpupille nicht zusammenfällt. Daraus folgt, daß sich die Perspektive bei indirektem Sehen ändert, wenn das Auge hintereinander mehrere Punkte fixiert. Diese Änderung der Perspektive fällt im allgemeinen wenig auf, da die Entfernung der beiden Projektionszentren klein ist (ca. 11 mm) und da

ferner die Bildqualität bei indirektem Sehen gering ist. Es genügt daher, die Erscheinungen bei direktem Sehen zu untersuchen.

Man kann sich die Entstehung einer Tiefenvorstellung bei Betrachtung mit einem Auge folgendermaßen klarmachen (Fig. 101): Eine sich in die Tiefe erstreckende Punktfolge $ABCD$ wird von einem Auge betrachtet, dessen Drehpunkt sich in P befindet. Offensichtlich ruft, abgesehen von Änderung der Akkomodation, eine in der Ebene EE

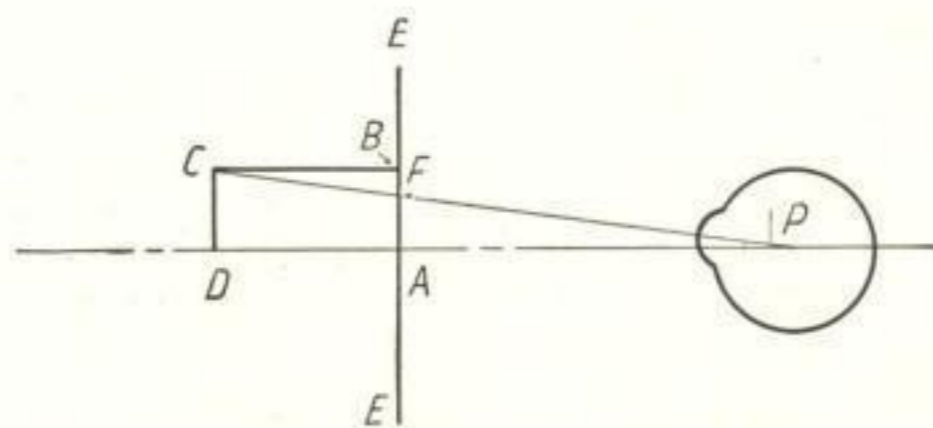


Fig. 101. Beobachtung einer Punktfolge $ABCD$ durch das Auge.

gelegene Punktfolge AFB denselben Eindruck hervor wie die Folge $ABCD$. Nimmt das Auge die ebene Folge AFB wahr, so vermag das Gehirn auf Grund seines Erinnerungsvermögens aus dieser Folge ein räumliches Objekt $ABCD$ zu rekonstruieren. Der Einfluß des Erinnerungsvermögens ist so groß, daß es

nicht gelingt, einen perspektivisch dargestellten Raumkörper flächenhaft zu sehen, eine Erscheinung, die man beim Betrachten einer Landschaftsfotographie sehr gut erkennen kann.

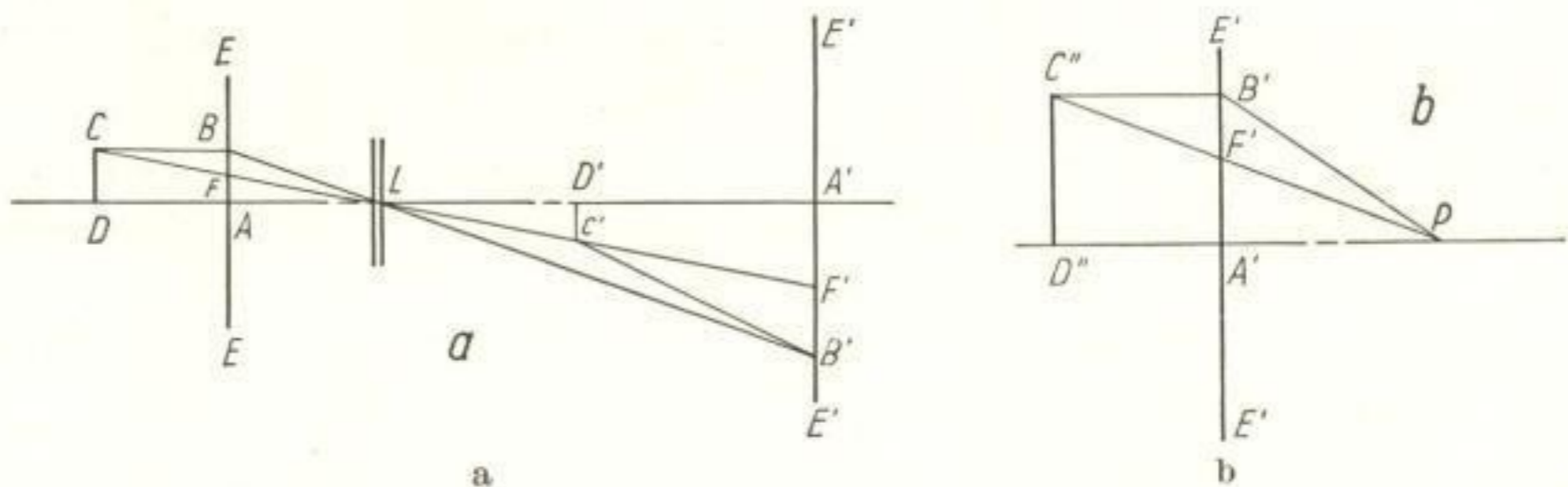


Fig. 102. Beobachtung des Bildes einer Punktfolge $ABCD$ durch das Auge.

Bei der Untersuchung eines Objektes mit dem Mikroskop wird die Punktfolge $ABCD$ (Fig. 102a) durch das optische System L in der Ebene $E'E'$ abgebildet. Dieses Bild wird darauf nach erfolgter Bildaufrichtung vom Auge betrachtet, dessen Drehpunkt sich wieder in P befinden möge. Gemäß den obigen Betrachtungen kann man sich bei ausreichender Schärfentiefe der Abbildung den Gegenstand $ABCD$ ersetzt denken durch eine ebene Punktfolge AFB , deren Bild in $E'E'$ durch $A'F'B'$ gegeben ist. Bei der subjektiven Beobachtung der Folge $A'F'B'$ (Fig. 102b) vermag das Gehirn sich einen räumlichen Gegenstand vorzustellen, dessen Aussehen durch das Erinnerungsvermögen bedingt ist. Es mag sich z. B. die Folge $A'B'C''D''$

ergeben. Der richtige Tiefeneindruck ist dann gewahrt, wenn das Verhältnis Größe : Tiefe bei dem Abbildungsvorgang unverändert bleibt, wenn also:

$$\frac{(A'B')}{(B'C'')} = \frac{(AB)}{(BC)}$$

ist. Aus Fig. 102 liest man ab, wenn β' in Fig. 102a der Abbildungsmaßstab ist:

$$(A'B') = \beta' (AB)$$

$$B'C'' = \frac{(A'P)}{(A'F')} \cdot (F'B') = \frac{(FB)}{(AF)} \cdot (A'P) = \frac{(BC)}{(AL)} \cdot (A'P) = \beta' \cdot \frac{(BC)}{(A'L)} \cdot (A'P);$$

hieraus folgt:

$$\frac{A'B'}{B'C''} = \frac{(AB)}{(BC)} \cdot \frac{(A'L)}{(A'P)}$$

Eine tiefenrichtige Abbildung erhält man dann, wenn:

$$A'P = A'L$$

ist, d. h. wenn der Abstand, in dem das Bild betrachtet wird, gleich der Bildweite bei Erzeugung des Bildes ist. Bei Photographie mit Objektiv allein besagt dies, daß bei der Aufnahme die Balgenlänge gleich 250 mm gemacht werden muß, wenn das Bild eines räumlichen Objektes bei Betrachtung in deutlicher Sehweite einen tiefenrichtigen Eindruck vermitteln soll. Im allgemeinen ist die Balgenlänge bedeutend größer, so daß das Bild auf einen im Verhältnis zur Wirklichkeit abgeflachten Gegenstand schließen läßt. Entsprechend erscheinen bei mikroskopischer Betrachtung alle Objekte abgeflacht, da die Okularbrennweite bedeutend kleiner als die Bildweite des vom Objektiv erzeugten Zwischenbildes ist (vgl. S. 37).

Wie auf S. 100 dargestellt wurde, ist bei einäugigem Beobachten kein eindeutiges Erkennen der Tiefe, sondern nur eine auf dem Erinnerungsvermögen beruhende *Tiefenvorstellung* möglich. Zur *Tiefenwahrnehmung* ist beidäugige Beobachtung nötig. Hierbei entstehen auf Grund der beiden räumlich voneinander getrennten Projektionszentren zwei verschiedene Bilder, die erst im Gehirn zu einer Einheit verschmolzen werden.

Zur Erzielung von stereoskopischen Bildern muß das Objekt in zwei verschiedenen Stellungen zum Objektiv oder mit zwei räumlich von einander entfernten Objektiven aufgenommen werden. Soll die Abbildung tiefenrichtig sein, so müssen die Objektive eine bestimmte Stellung zueinander haben, die man auf Grund der folgenden Überlegungen ermitteln kann:

Ein aus drei Punkten ABC bestehendes Objekt (Fig. 103) werde von den bei P_l und P_r befindlichen Objektiven in der Ebene $E'E'$ ab-

gebildet. Die Objektive liegen symmetrisch zur Achse BN . Der vom Objektiv P_l entworfene Bildpunkt des Mittelpunktes B der Ebene EE liegt bei B'_l , der vom Objektiv P_r entworfene Bildpunkt von B liegt bei B'_r . Die Objektive sind auf die Ebene EE eingestellt. Für das linke Objektiv fällt demnach der Punkt C mit dem in EE gelegenen Punkt C_l zusammen. Sein Bild befindet sich bei C'_l . Für P_r ergibt

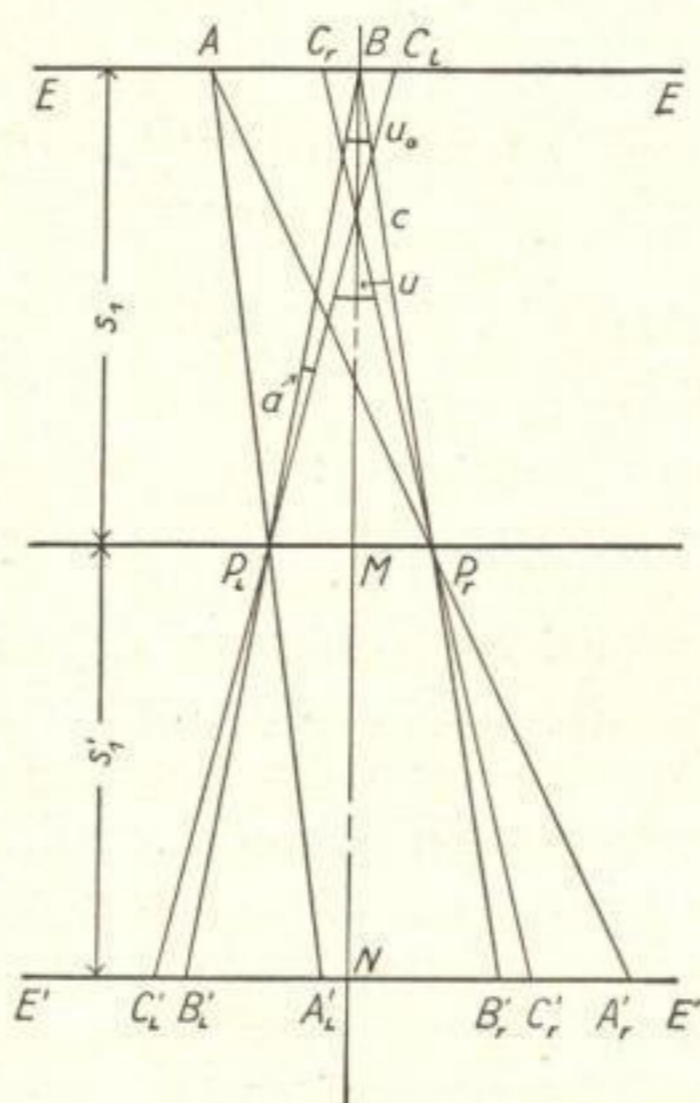


Fig. 103. Abbildung einer Punktfolge ABC durch die Objektive $P_l P_r$.

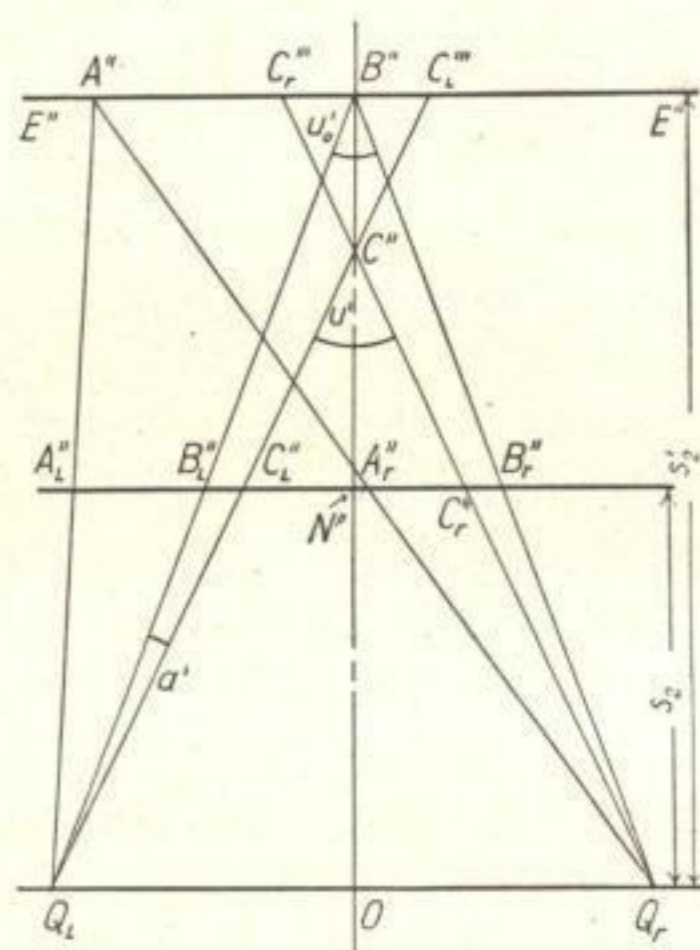


Fig. 104. Beobachtung der sich aus Fig. 103 ergebenden Bilder mit den Augen $Q_l Q_r$.

sich der entsprechende Zusammenhang von C , C_r und C'_r . Die Bildpunkte von A sind A'_l und A'_r . Aus den Bezeichnungen der Figur folgt dann ohne weiteres:

$$A'_l B'_l = A'_r B'_r = AB \left| \frac{s_1'}{s_1} \right|$$

und

$$B'_l C'_l = B'_r C'_r = \frac{1}{2} C_l C_r \left| \frac{s_1'}{s_1} \right|.$$

Die Bilder $A'_l B'_l C'_l$ und $A'_r B'_r C'_r$ werden (vgl. Fig. 104) von den beiden bei Q_l und Q_r symmetrisch zu $B''O$ liegenden Augen des Betrachters derart wahrgenommen, daß das linke Auge nur das linke Bild, das rechte nur das rechte Bild sieht. Die bei der Abbildung mit Hilfe der beiden Objektive P_l und P_r entstandene Bildumkehr wird durch eine 180° -Drehung jedes Bildes um zu $B''O$ parallele Achsen durch B'_l bzw. B'_r wieder beseitigt. Es entstehen auf diese Weise

die beiden Bilder $A_i''B_i''C_i''$ und $A_r''B_r''C_r''$, die sich nur in ihrer Lage, nicht aber in den Größenbeziehungen von den Bildern $A_i'B_i'C_i'$ und $A_r'B_r'C_r'$ unterscheiden. Erfolgt die angegebene Drehung der Bilder nicht, so wird das Objekt tiefenverkehrt wiedergegeben, was man sich leicht an Hand von Fig. 104 bei Beobachtung des Punktes C'' überlegt.

Die beiden Teilbilder sollen derart angeordnet sein, daß die Mitte jedes Bildes dem betreffenden Auge unter dem Winkel $u'_0/2$ erscheint. Der Schnittpunkt der beiden Geraden Q_iB_i'' und Q_rB_r'' ergibt dann den Punkt B'' als vom Beobachter wahrgenommenen Mittelpunkt der im Raum stehenden Ebene $E''E''$. Ebenso ergibt der Schnittpunkt der Geraden Q_iC_i'' und Q_rC_r'' den räumlichen Punkt C'' , der für das linke Auge mit einem in $E''E''$ gelegenen Punkt C_i''' identisch ist. Schließlich erhält man noch den räumlichen Punkt A'' als Schnittpunkt der Geraden Q_iA_i'' und Q_rA_r'' . Der Punkt A'' liegt zusammen mit Punkt B'' in der Ebene $E''E''$, die parallel der Ebene der beiden Teilbilder ist, was ohne weiteres daraus folgt, daß $A_i''B_i'' = A_r''B_r''$ ist.

Die Größe, unter der das Objekt dem Auge erscheint, ergibt sich nach Fig. 103 und 104 zu:

$$A''B'' = \frac{s_1' s_2'}{s_1 s_2} AB;$$

ebenso natürlich:

$$C_i''' C_r''' = \frac{s_1' s_2'}{s_1 s_2} C_i C_r,$$

für kleine Winkel u bzw. u' ist ferner:

$$\begin{aligned} BC &= C_i C_r / u \\ B''C'' &= C_i''' C_r''' / u'. \end{aligned}$$

Soll die Abbildung tiefenrichtig sein, so muß das Verhältnis von Tiefe zu Breite vor und nach der Abbildung dasselbe sein, und es folgt aus:

$$\begin{aligned} \frac{BC}{AB} \cdot u &= \frac{B''C''}{A''B''} \cdot u' : \\ u &= u'. \end{aligned}$$

Führt man an Stelle von u und u' die Winkel u_0 , u'_0 , $\alpha = \frac{B_i' C_i'}{s_1'}$ und $\alpha' = \frac{B_i'' C_i''}{s_2}$ ein, so erhält man:

$$\frac{u}{u'} = \frac{u_0 + 2(B_i' C_i' / s_1')}{u'_0 + 2(B_i'' C_i'' / s_2)} = 1.$$

Da $B_i' C_i' = B_i'' C_i''$ ist, ergeben sich die Bedingungen der tiefenrichtigen Abbildung zu:

$$\begin{aligned} u_0 &= u'_0 \\ s_1' &= s_2. \end{aligned}$$

Tiefenrichtige Abbildung erhält man demnach stets, wenn der Winkel, unter dem die beiden Objektive von der Objektmitte aus gesehen werden (bzw. um den die beiden Objektivachsen gegeneinander geneigt sind), gleich dem Konvergenzwinkel der Augen bei Betrachtung der Bildmitte ist, und wenn ferner die Balgenlänge der Kamera gleich dem Abstand ist, in dem sich die Teilbilder von den Augen des Beobachters befinden. Die zweite Bedingung tritt hinter der ersten zurück, wenn die Tiefenausdehnung des Objektes klein ist, eine Forderung,

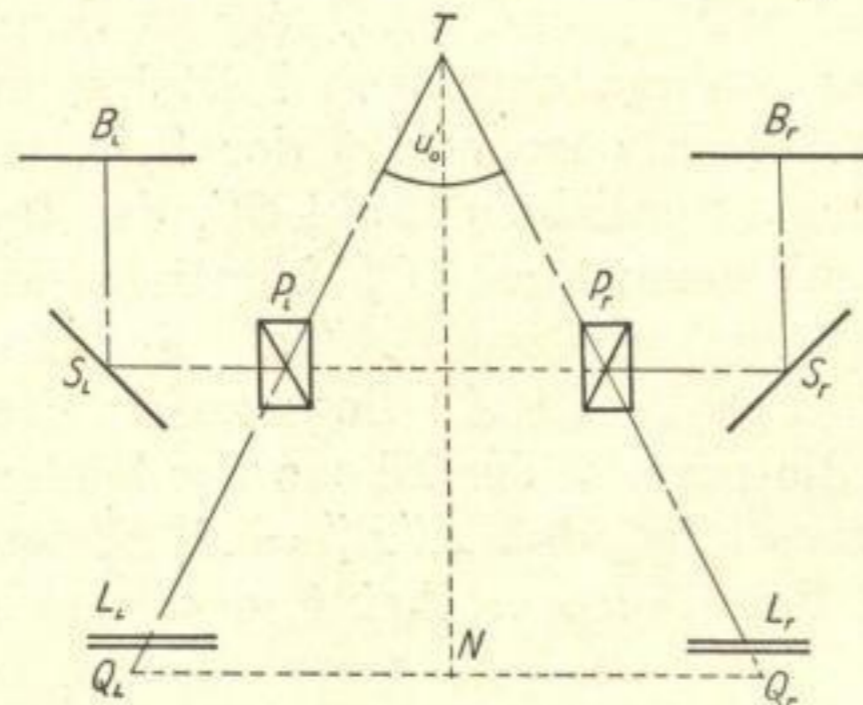


Fig. 105. Stereoskop zur tiefenrichtigen Beobachtung und zur Tiefenmessung.

die im allgemeinen auf Grund der geringen Schärfentiefe des Mikroskopobjektivs erfüllt ist. Ist der Konvergenzwinkel der Augen kleiner als der Konvergenzwinkel der Objektivachsen, so erhält man ein Bild von übernatürlicher Plastik. Dasselbe ergibt sich, wenn auch meist in geringerem Maße, wenn die Balgenlänge der Kamera kleiner ist als der Betrachtungsabstand.

Auf die Ermittlung des Winkels u_0 wird, soweit er sich nicht direkt aus der Neigung der Objektivachsen

ergibt, bei der Besprechung der einzelnen Aufnahmegeräte für stereoskopische Bilder eingegangen.

In diesem Zusammenhang soll nur darauf hingewiesen werden, in welcher Art ein Betrachtungsgerät zur Erzeugung eines tiefenrichtigen Bildes ausgeführt werden soll (Fig. 105). Zwei stereoskopische Teilbilder B_l und B_r werden von den bei Q_l und Q_r liegenden Augen beobachtet. Die von B_l ausgehenden Lichtstrahlen gelangen über den Spiegel S_l und den Prismenwürfel P_l zur Korrektionslinse L_l , die die Scharfeinstellung auf das Bild B_l ermöglicht. Entsprechend wird die Abbildung von B_r durch S_r , P_r und L_r erreicht. Der Konvergenzwinkel u'_0 der Augen kann durch Verschiebung der Prismenwürfel $P_l P_r$ symmetrisch zur Achse TN bei gleichzeitiger Drehung geändert werden. Sind die beiden Spiegelflächen der Prismenwürfel halbdurchlässig versilbert, so wird gleichzeitig mit den beiden stereoskopischen Teilbildern eine Marke T beobachtet, mit deren Hilfe es möglich ist, die Tiefe des Objektes auszumessen, unter der Voraussetzung, daß der Konvergenzwinkel u'_0 dem Konvergenzwinkel der Mikroskopobjektive entspricht und daß ferner die Entfernung der Augen von den Bildern gleich der Balgenlänge der Kamera ist. (Die Entfernung des Augendrehpunktes vom Bild muß gleich der Entfernung des hinteren Knotenpunktes des abbildenden Systems vom Negativ sein.)

Stereo-Mikrophotographien können auf verschiedene Weise hergestellt werden. Die Stereo-Mikroskope bestehen entweder aus zwei vollständigen Mikroskop-Tuben, deren Achsen gegeneinander geneigt sind, oder sie besitzen ein Objektiv und zwei Okulare, wobei der stereoskopische Effekt durch geeignete Ablendung erreicht wird. Die nach der ersten Art gebauten Mikroskope (GREENOUGH-Mikroskope, vgl. Fig. 106) sind mit genau zueinander justierten Objektivpaaren ausgestattet, die einen Winkel von ungefähr 15° miteinander

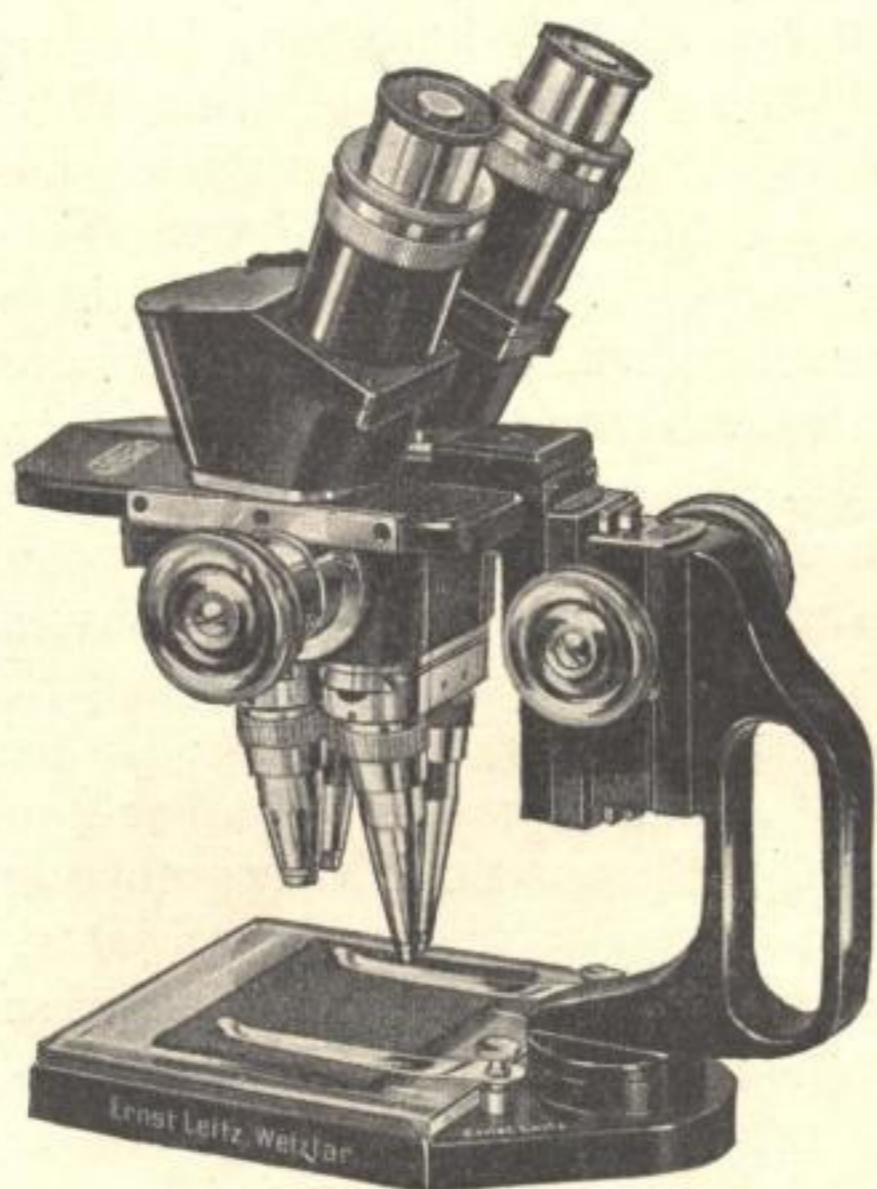


Fig. 106. Stereoskopisches Mikroskop nach GREENOUGH.

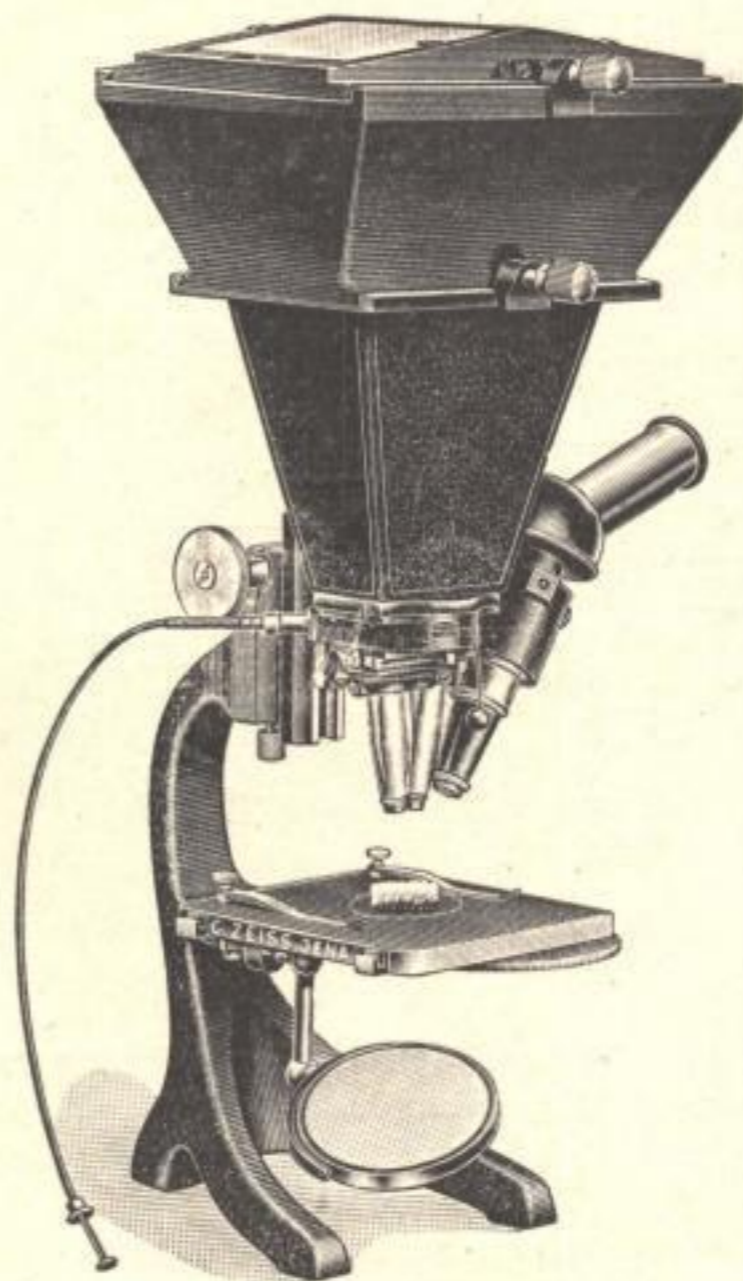


Fig. 107. Stereoskop-Kamera nach DRÜNER.

einschließen. Zwei Umkehrprismen bewirken Bildaufrichtung, so daß das Objekt im Mikroskop in seiner richtigen Lage gesehen wird. Die mit diesen Mikroskopen mögliche Vergrößerung ist begrenzt, da die Maximalapertur der Objektive durch den Neigungswinkel der Objektivachsen zueinander bestimmt wird. Für die erreichbaren schwachen Vergrößerungen sind Objektive geringer Apertur erforderlich, die eine verhältnismäßig große Schärfentiefe besitzen und demnach für die Photographie räumlicher Objekte besonders geeignet sind. Die Aufnahme erfolgt mit einer auf den Okularstützen aufsetzbaren Kamera, die aus einem Balgen und einem Kassettenträger besteht (Fig. 144, vgl. S. 150). Am Okularansatz befindet sich ein Verschuß. Mit dieser Kamera kann man leblose Objekte leicht aufnehmen,

indem man erst durch den einen und dann durch den anderen Tubus hindurch photographiert.

Bei sich bewegenden Objekten müssen die beiden Teilbilder gleichzeitig aufgenommen werden. Die subjektive Beobachtung muß auch während der Aufnahme möglich sein. Hierfür eignet sich die Stereoskop-Kamera nach DRÜNER (Fig. 107). Die Objektive entwerfen allein, ohne Okular, Bilder auf dem dachartig geneigten Mattscheibenträger. Höhere Vergrößerungen erhält man durch Zwischenschaltung des in

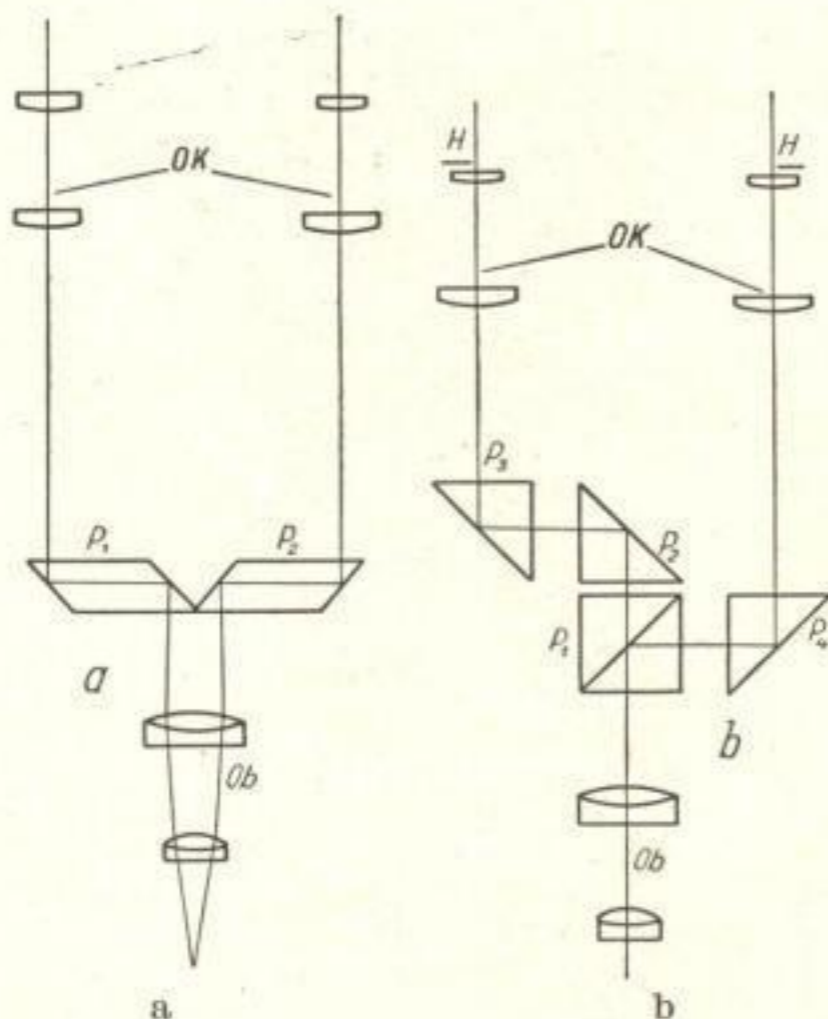


Fig. 108. Stereoskopische Beobachtung mit monobjektivem binokularem Mikroskop;
a durch Halbierung der Austrittspupille des Objektives;
b durch teilweise Abblendung der Austrittspupillen des Mikroskops.

des Mikroskopobjektivs Ob durch die Prismen P_1 und P_2 in zwei Hälften geteilt¹⁾. Man sieht demnach mit dem rechten Auge durch den rechten Objektivteil auf das Objekt, mit dem linken Auge durch den linken Objektivteil. Durch diese Aufteilung der Austrittspupillen beobachtet man das Objekt von zwei Seiten her, ähnlich wie bei dem stereoskopischen Mikroskop mit zwei Tuben. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, daß starke Objektive verwendet werden können, bei denen mit steigender Apertur die Neigung der beiden Beobachtungsstrahlengänge zueinander wächst. Hierbei muß allerdings beachtet werden, daß durch die Halbierung der Austrittspupille das Auflösungsver-

Fig. 107 sichtbaren Aufsatzes, der zwei Bildfeld-ebene Systeme nach Art der Homale aufweist. Die Belichtung der photographischen Platten erfolgt gleichzeitig mit Hilfe des in der Abbildung sichtbaren Verschlusses. Während der Aufnahme kann mit dem Hilfsmikroskop an der Seite der Kamera beobachtet werden.

Bei stereoskopischen Mikroskopen mit nur einem Objektiv teilt man die Austrittspupille des Objektives durch geeignete Blenden derart, daß jedes Auge nur durch eine Hälfte der Austrittspupille beobachten kann. Diese Strahlenbegrenzung kann entweder über dem Objektiv mit Hilfe zweier Prismen oder über den Okularen mit Hilfe zweier Blenden erfolgen (Fig. 108).

Bei dem in Fig. 108a gezeichneten Mikroskop wird die Austrittspupille

¹⁾ Der Prismensatz zur Aufrichtung der Bilder ist in Fig. 108 weggelassen.

mögen des Objektivs auf die Hälfte sinkt, und daß einseitige Abblendung des Objektivs eine Vergrößerung der geometrisch-optischen Fehler nach sich zieht. Außerdem wird hierbei die Forderung, daß der Bildwinkel der beiden zum Objektiv zielenden Strahlenbüschel gleich dem Blickwinkel der Augen sein soll, nicht mehr erfüllt. Allerdings begnügt man sich bei der mikroskopischen Beobachtung im allgemeinen damit, daß überhaupt Tiefenunterschiede wahrgenommen werden, selbst wenn Tiefe und Höhe in verschiedenem Maßstab abgebildet werden.

Bei gewöhnlichen binokularen Mikroskopen (Fig. 108b) wird das Licht durch einen halbversilberten Prismenwürfel P_1 zusammen mit den Reflexionsprismen $P_2P_3P_4$ gleichmäßig auf beide Okulare Ok verteilt. Bringt man in die beiden Austrittspupillen des Mikroskopes die eingezeichneten Halbmondblenden H , die jeweils die Hälfte der Austrittspupille abblenden, so erhält man ebenfalls räumliche Abbildung des Objektes.

Zur Photographie genügt ein monokulares Mikroskop. Es werden zwei Aufnahmen hintereinander angefertigt, wobei man bei der einen Aufnahme nur die linke Hälfte der Austrittspupille, bei der anderen nur die rechte Hälfte wirken läßt. Man muß nur dafür sorgen, daß die halbmondförmige Blende um 180° drehbar angeordnet ist.

Die Halbierung der Austrittspupille kann durch Änderung der Beleuchtungsrichtung ersetzt werden, ein Verfahren, das gelegentlich bei Durchlicht-Mikroskopie Anwendung findet. Man verfährt hierzu bei einer Anordnung mit einem Objektiv und einem Okular folgendermaßen: Man schließt die Blende des Kondensators K so weit, daß die Beleuchtungsapertur gleich der halben Apertur des Objektivs L ist. Hierauf verschiebt man (Fig. 109) die Blende des ABBESchen Beleuchtungsapparates so weit nach links (Gebiet MN), bis die rechte Seite des Objektivs ausgeleuchtet ($M'N'$), die linke dunkel ist. Mit dieser Anordnung macht man eine Aufnahme vom Objekt O und verschiebt dann die Blende des ABBESchen Beleuchtungsapparates nach rechts, bis die linke Seite des Objektivs ausgeleuchtet, die rechte aber dunkel ist (in Fig. 109 gestrichelt gezeichnet). Man erhält eine zweite Aufnahme, die zusammen mit der ersten das stereoskopische Bild ergibt. Natürlich treten hier wieder die Fehler durch schiefe Beleuchtung auf, die sich vor allen Dingen bei Objektiven hoher Eigenvergrößerung bemerkbar machen werden. Durch die einseitige Beleuchtung werden

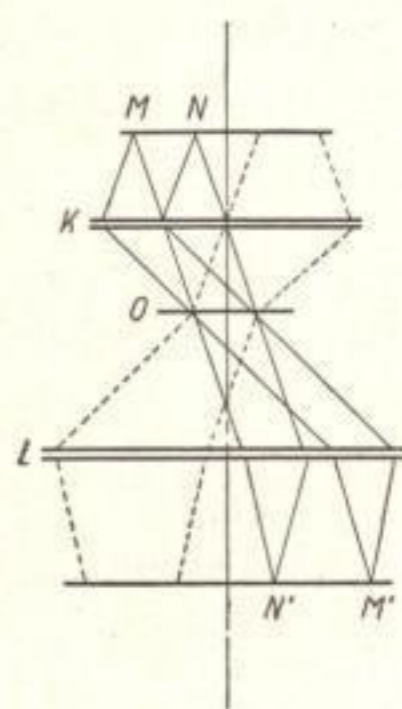


Fig. 109. Erzeugung zweier stereoskopischer Teilbilder durch Änderung der Beleuchtungsrichtung.

Brechungsexponenten-Differenzen besonders auffällig in Erscheinung treten, weshalb die Methode vor allen Dingen für Schlieren-Untersuchungen brauchbar ist.

Für geringe Vergrößerungen, vor allen Dingen im auffallenden Licht, kann man durch Ankippen des Objektes verschiedenartige Bilder erzeugen. Bei Objektiven hoher Eigenvergrößerung läßt sich allerdings dieses Verfahren nicht anwenden, da durch den geringen Arbeitsabstand das Objekt nicht angekippt werden kann.

Für alle Methoden, die mit nur einem Objektiv arbeiten, ist es günstig, eine Aufnahme unter exakter Einhaltung des Strahlenganges und nur die andere durch exzentrische Stellung zu bewirken. Man hat dann wenigstens eine einwandfreie Aufnahme, während die andere mit exzentrischer Einstellung nur die Tiefenwirkung beeinflusst.

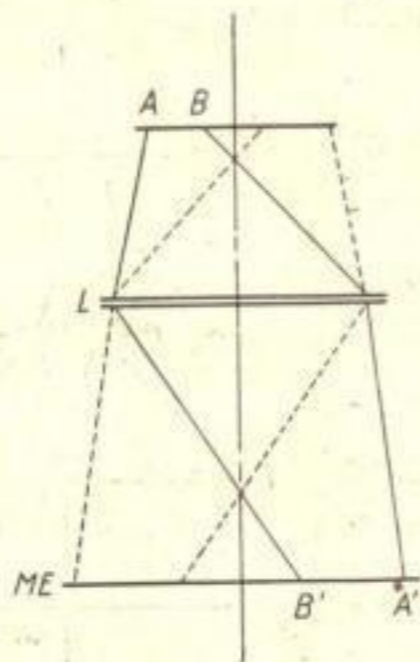


Fig. 110. Erzeugung zweier stereoskopischer Teilbilder durch Verschieben des Objektes.

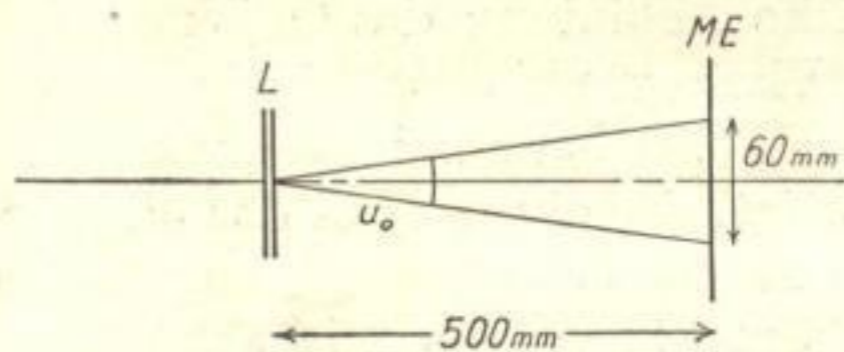


Fig. 111.

Recht vorteilhaft sind nach den Erfahrungen des Verfassers zwei Verfahren zur Erzeugung stereoskopischer Bilder mit einem Objektiv (bzw. einem Mikroskop) unter Ausnutzung der gesamten Objektivöffnung.

Das erste Verfahren beruht auf einer Verschiebung des Objektes bei exakt eingestelltem Strahlengang. In Fig. 110 sei AB das abzubildende Objekt, das für die erste Aufnahme so weit nach links geschoben wird, daß sein Bild $B'A'$ die rechte Hälfte der Mattscheibe ME bzw. der photographischen Platte ausfüllt. Für die zweite Aufnahme wird entsprechend das Objekt nach rechts verschoben (gestrichelt gezeichnet). Man halbiert demnach die photographische Platte, erhält also z. B. bei einem Plattenformat 9×12 zwei stereoskopische Bilder 6×9 . Ein Zerschneiden der Platte wird bei Benutzung eines Kassettenschiebers vermieden, der einmal die rechte und einmal die linke Seite der Platte freigibt. Wie schon gesagt, hat die Methode den Vorteil, daß man den Beleuchtungs- und den Abbildungs-Strahlengang sehr exakt einstellen kann. Sie hat den Nachteil, daß man bei der Verschiebung des Objektes auf das Plattenformat beschränkt ist, daß

also der Winkel, unter dem das Objekt vom Objektiv aus gesehen wird, durch die Größe der photographischen Platte bestimmt ist. Mit einer Kamera von 500 mm Balgenlänge und einem Übersichts-Objektiv L sollen zwei stereoskopische Aufnahmen hergestellt werden. Das größte verfügbare Plattenformat sei 9×12 , so daß die beiden Teilbilder die Größe 6×9 haben. Die beiden Mittelpunkte der 6×9 -Platten sind um 60 mm voneinander entfernt, der Winkel, unter dem das Objekt gesehen wird, beträgt nach Fig. 111:

$$u_0 = 60/500 = 7^\circ,$$

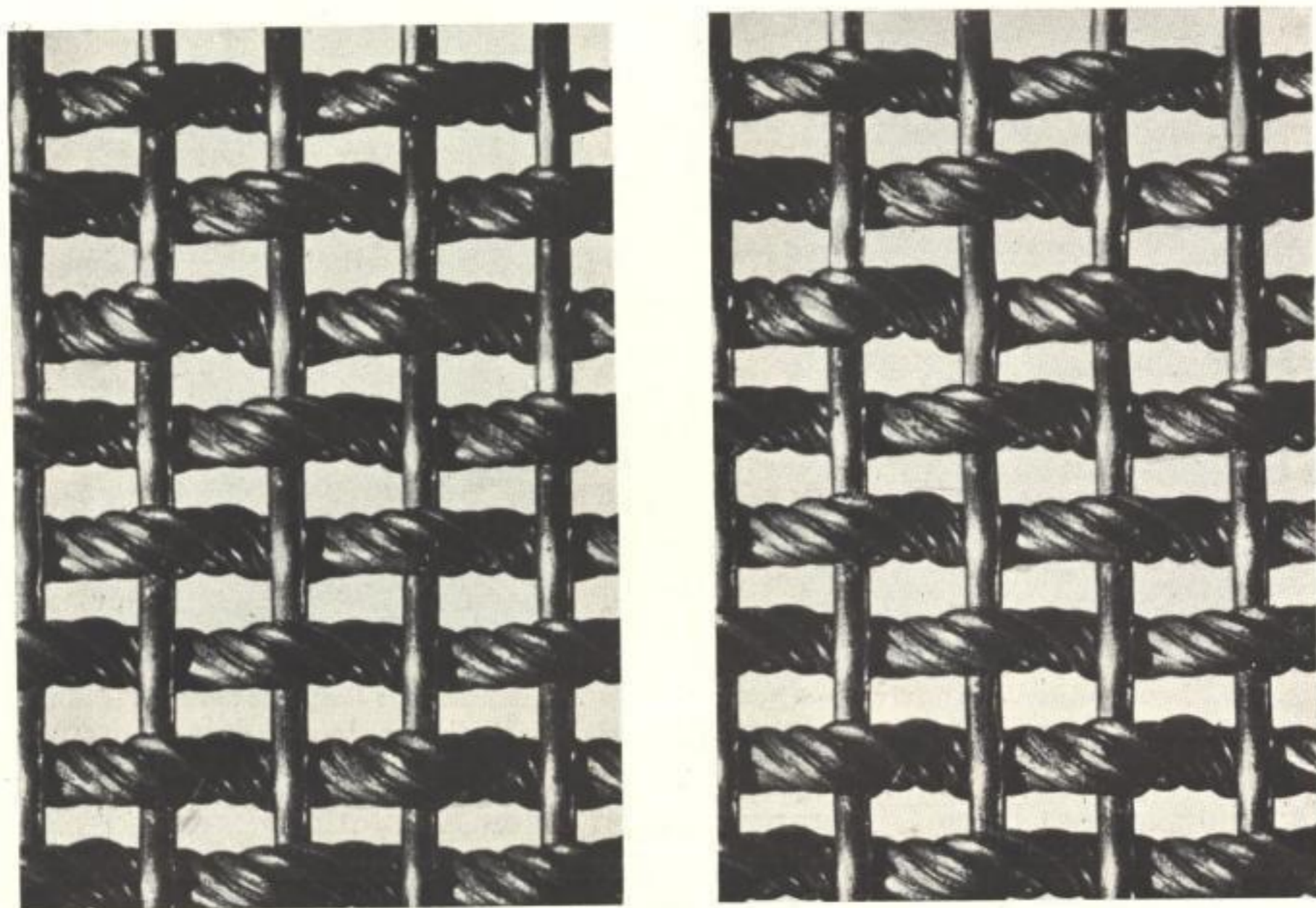


Fig. 112. Drahtnetz. Objektiv $f = 5,5$ cm; $\beta' = 12 \times$. Beleuchtung: Auflicht-Dunkelfeld + Durchlicht-Hellfeld. Filter: gelbgrün. Platte: Perutz Braunsiegel. Belichtungszeit 1'.
Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

d. h. die Hälfte des Winkels zwischen den Achsen des stereoskopischen Mikroskopes nach GREENOUGH. Trotz des verhältnismäßig kleinen Winkels u_0 liefert das Verfahren gerade für Aufnahmen mit photographischen Anastigmaten sehr plastische Bilder (Fig. 112), wobei durch Verkleinerung des Konvergenzwinkels der Augenachsen bei Betrachtung der beiden Teilbilder der räumliche Eindruck erhöht wird. Photographische Anastigmaten eignen sich vor allem deshalb gut, weil sie vollkommen randscharfe Bilder liefern, was bei exzentrischer Einstellung des Objektes unbedingt erforderlich ist.

Bei dem zweiten Verfahren schwenkt man die photographische Kamera um eine senkrecht zur optischen Achse angeordnete Drehachse. Das Objekt wird bei jeder der beiden Einstellungen so lange senkrecht zur Drehachse verschoben, bis sein Bild in die Mitte der Mattscheibe fällt. Man erhält hierbei eine Abbildung, die völlig derjenigen des stereoskopischen Mikroskopes entspricht, vorausgesetzt, daß die beiden Teilbilder richtig aufgeklebt werden, so daß der Sehwinkel bei Betrachtung der Bilder gleich demjenigen Winkel ist, um

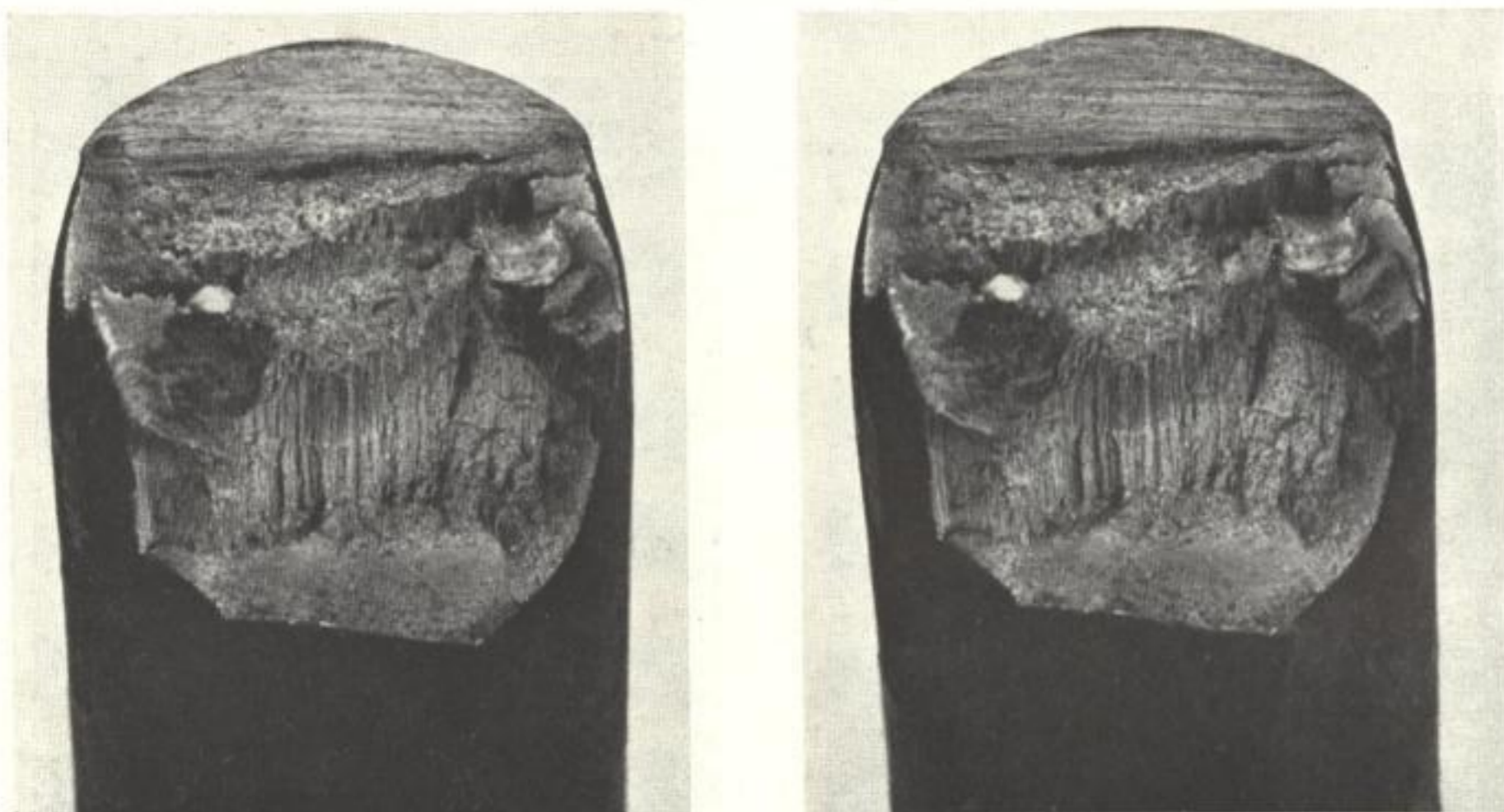


Fig. 113. Bruchgefüge. Objektiv $f = 19$ cm; $\beta' = 3 \times$. Beleuchtung: Soffittenrahmen. Filter: gelbgrün. Platte: Perutz Braunsiegel. Belichtungszeit $\frac{1}{2}$ s. Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

den die Kamera beim Übergang von der einen Einstellung zur anderen geschwenkt wird. Meist genügt es jedoch, die beiden Bilder so nebeneinander anzuordnen, daß mit parallel gerichteten Augenachsen beobachtet werden kann (Fig. 113).

Bei der Behandlung der stereoskopischen Bilder muß beachtet werden, daß die Aufnahmen bei gleicher Belichtungszeit erfolgen, daß ferner die Platten gleich lange entwickelt und gleich kontrastreich kopiert werden, da Änderungen in der Dichte und im Kontrast des Bildes bei manchen Personen störende Wirkung hervorrufen können. Ferner muß besonders auf Sauberkeit der Platten geachtet werden, da jeder kleine Fehler, der in einem Teilbild auftritt, von den Augen nicht eingeordnet werden kann und demnach die Gleichmäßigkeit des stereoskopischen Bildes stört.

Wie schon auf S. 103 bemerkt, tritt bei falscher Anordnung der beiden Teilbilder pseudoskopischer Effekt auf, der bewirkt, daß erhabene

Stellen tief erscheinen und umgekehrt. Bei in ihrer Tiefenanordnung bekannten Objekten bemerkt man falsch angeordnete Stereobilder sofort. Bei Mikroobjekten, deren Tiefenausdehnung nicht ohne weiteres übersehen werden kann, führt der pseudoskopische Effekt zu vollkommen falschen Ergebnissen. Im Zusammenhang hiermit sei noch erwähnt, daß bei Bildern einseitig beleuchteter Objekte (nicht nur bei Stereobildern!) ein Pseudoeffekt eintreten kann, wenn man beim Betrachten das Licht einmal von links und einmal von rechts einfallen läßt. Das Auge erkennt erfahrungsgemäß bei jeder Beleuchtungsrichtung aus der Verteilung von Licht und Schatten die Tiefenanordnung eines Objekts. Diese Erfahrung überträgt es auf das Bild. Weist demnach das Bild eine Beleuchtung von rechts auf, während das Licht bei der Betrachtung von links kommt, so erkennt man, vor allem bei unbekanntem Objekten, ein Oberflächenrelief, das dem wahren gerade entgegengesetzt ist.

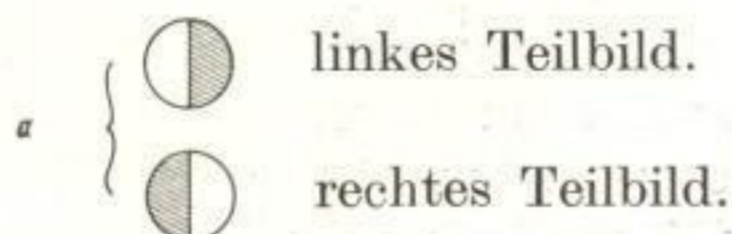
Zur Vermeidung des Pseudoeffektes soll hier für jede der behandelten Aufnahmearten kurz angegeben werden, wie die Bilder aufzukleben sind:

1. Stereoskop mit Aufsatzkamera und Stereokamera nach DRÜNER. Jedes Stereo-Mikroskop gibt bei subjektiver Beobachtung seitenrichtige Bilder, bei Photographie demnach seitenverkehrte Bilder. Ebenso gibt jedes Objektiv ohne Okular seitenverkehrte Bilder. Das linke Objektiv aber erzeugt ein linkes Teilbild und umgekehrt. Die beiden Teilbilder müssen daher je um 180° gedreht werden. Das linke Teilbild muß links bleiben und das rechte rechts.

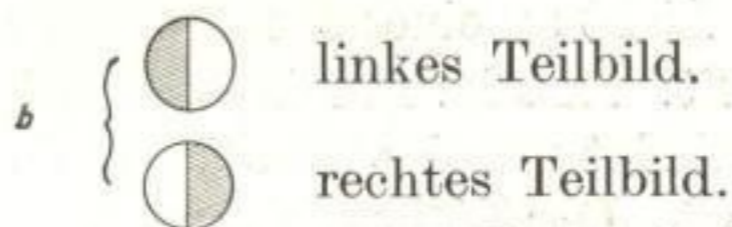
2. Monobjektive, binokulare Instrumente gemäß Fig. 108a. Die Instrumente geben, vorausgesetzt, daß sie keine bildumkehrenden Prismen besitzen, seitenrichtige Bilder. Die Kopien werden ohne Drehung aufgeklebt. Das linke Teilbild bleibt links.

3. Monobjektives, monokulares Mikroskop. Bei Photographie ohne Okular werden die Bilder um 180° gedreht, bei Aufnahme mit Okular bleiben die Bilder in ihrer ursprünglichen Lage.

a) Halbmondblende auf Objektiv.

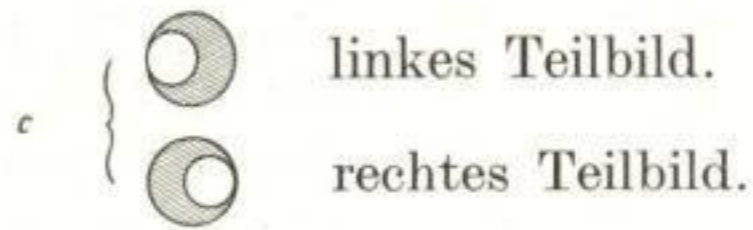


b) Blende auf dem Okular.

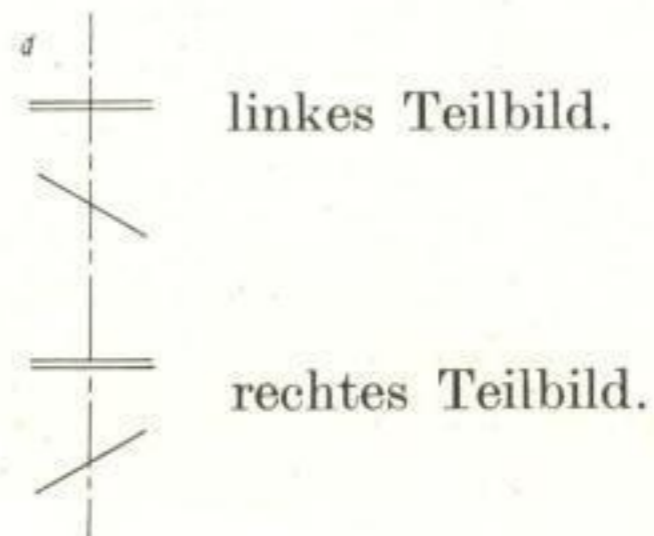


c) Änderung der Beleuchtungsrichtung.

In der Zeichnung ist die Austrittspupille des Objektivs, die man nach Herausziehen des Okulars erkennt, dargestellt.



d) Ankippen des Objektes.



4. Verschieben des Objektes:

a) Aufnahme mit Objektiv ohne Okular. Verschieben des Objektes nach rechts ergibt das linke Teilbild. Das linke Bild auf der Mattscheibe ist demnach linkes Teilbild. Drehen der einzelnen Bilder um 180° .

b) Mit Okular. Das linke Bild auf der Mattscheibe ist rechtes Teilbild. Das linke Bild muß demnach nach rechts, das rechte nach links gebracht werden, ohne die Aufnahmen zu verdrehen.

5. Schwenken der Kamera. Blickrichtung von Kamera und Auge müssen für jedes Teilbild zusammenfallen. Drehen der Bilder um 180° , falls mit Objektiv allein gearbeitet wird.

2. Aufnahmen im polarisierten Licht.

Licht ist Energie, die sich in Form von Schwingungen ausbreitet. Die Schwingungen gehen in Ebenen vor sich, die senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtes liegen. Bei gewöhnlichem Licht ist keine der Ebenen bevorzugt, die Schwingungen finden demnach in allen Ebenen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung gleichmäßig statt.

Diese Eigenschaft geht teilweise oder vollkommen verloren, wenn man das Licht an einer ebenen, polierten Oberfläche, z. B. Glas, reflektieren läßt. In Fig. 114 falle ein Strahl unter einem Winkel α gegen das Einfallslot auf eine reflektierende Ebene, die senkrecht zur Zeichenebene liegt. Der Lichtstrahl wird an der Ebene gespiegelt und pflanzt

sich in der Zeichenebene in der gezeichneten Richtung fort. Einfallender Strahl, Einfallslot und reflektierter Strahl liegen demnach in einer Ebene, der *Einfallsebene*.

Während der einfallende Strahl in allen Ebenen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung schwingt, kann der reflektierte Strahl bevorzugt nur in der zur Einfallsebene senkrechten Ebene schwingen. Diese sogenannte *lineare Polarisation* des Lichtstrahles, d. h. die Fähigkeit, nur in einer Ebene zu schwingen, ist bei einem bestimmten Einfallswinkel α (für Glas ca. 57°) am größten. Man spricht dann von einem vollständig linear polarisierten Lichtstrahl, dessen Schwingungsebene senkrecht zur Einfallsebene steht.

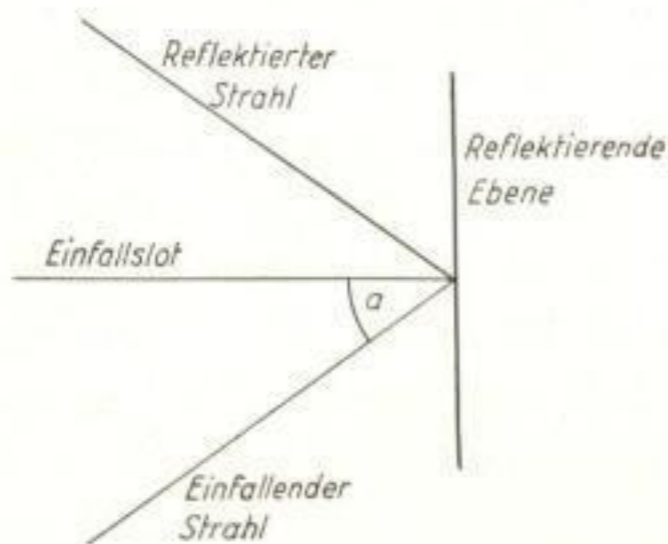


Fig. 114. Reflexion eines Lichtstrahles an einer Ebene.

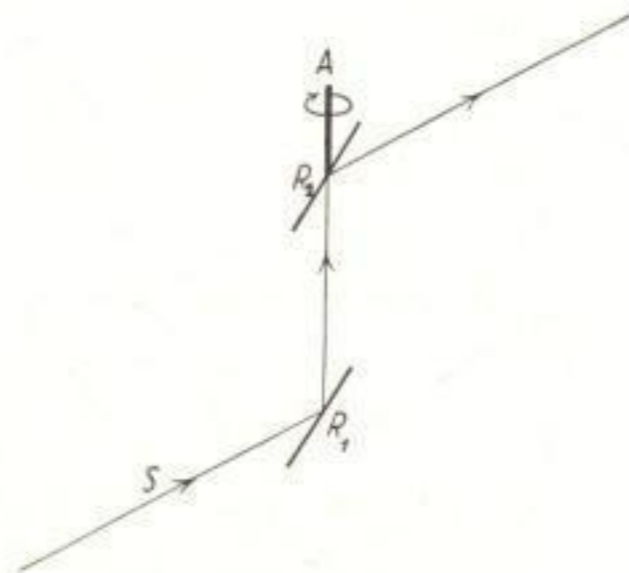


Fig. 115. Polarisationsapparat.

In Fig. 115 ist ein Lichtstrahl gezeichnet, der durch den Spiegel R_1 linear polarisiert wird. Die Schwingungsebene des reflektierten Strahles liegt senkrecht zur Zeichenebene, da diese mit der Einfallsebene zusammenfällt. Der polarisierte Lichtstrahl trifft auf den Spiegel R_2 . Er wird von diesem ungeschwächt reflektiert, da die Einfallsebene des Lichtstrahls wieder in der Zeichenebene liegt, Einfallsebene und Schwingungsebene demnach senkrecht aufeinander stehen. Dreht man den Spiegel R_2 in der gezeichneten Weise um die Achse A , so werden die Einfallsebene und die Schwingungsebene ineinandergedreht. Es findet verminderte Reflexion statt, bis nach einer Drehung um 90° R_2 kein Licht mehr reflektieren kann. Mit Hilfe des Spiegels R_2 kann demnach festgestellt werden, in welcher Ebene der auf ihn treffende Lichtstrahl schwingt. Deshalb heißt dieser Spiegel *Analysator*, während R_1 , durch den der Lichtstrahl linear polarisiert wird, *Polarisator* genannt wird.

Läßt man Licht in beliebiger Richtung durch einen Glasklotz fallen, so pflanzt es sich in allen Richtungen mit derselben Geschwindigkeit fort, ganz gleich, wie der Lichtstrahl polarisiert ist. Die Brechung findet demnach in der an Hand von Fig. 9 auf S. 11 dargelegten Weise

statt. Man nennt Stoffe, die sich wie Glas verhalten, *isotrope* Medien, im Gegensatz zu *anisotropen* Medien, die nur Schwingungen in bestimmten Ebenen zulassen. Hierbei treten zwei linear polarisierte Strahlen auf, die sich mit verschieden großer Geschwindigkeit durch das Medium bewegen (Doppelbrechung). Die Lage der Polarisations Ebenen und die Größe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beiden Strahlen ändert sich mit ihrer Richtung im Kristall. Die ins einzelne gehende Untersuchung dieser Erscheinungen ist mit Hilfe eines Ellipsoids, der Indikatrix, möglich, deren Eigenschaften in besonderen Lehrbüchern eingehend beschrieben werden. Zum Verständnis der Erscheinung genügt die Betrachtung eines einfachen Falles (Fig. 116).

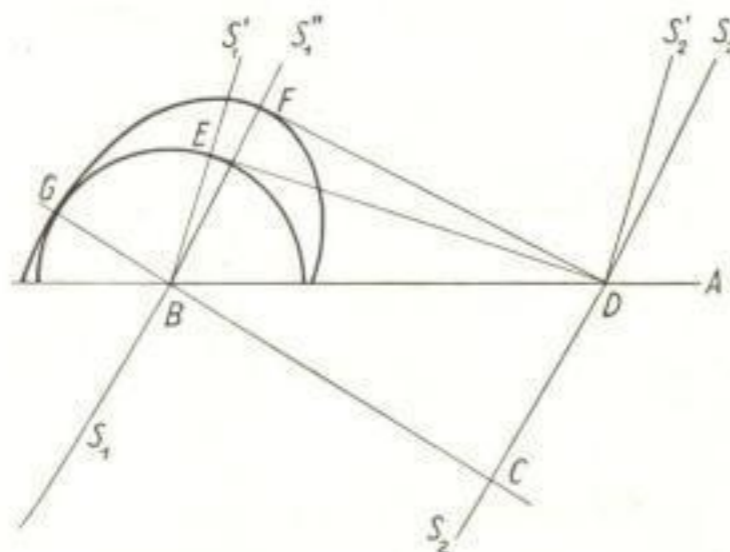


Fig. 116. Doppelbrechung des Lichtes.

Auf die anpolierte Oberfläche eines einachsigen Kristalles trifft ein parallelstrahliges Bündel S_1S_2 auf. Gemäß dem vorher Gesagten spaltet der Kristall jeden Strahl in zwei einzelne Strahlen auf, die sich verschieden schnell durch den Kristall bewegen. Der eine der beiden Strahlen pflanzt sich in allen Richtungen gleich schnell fort, während der andere seine Geschwindigkeit mit der Richtung im Raum ändert. Der

erstgenannte Strahl heißt ordentlicher, der andere außerordentlicher Strahl. Nur in Richtung BG stimmen die Geschwindigkeiten beider Strahlen überein. BG wird daher als Achsenrichtung des Kristalles bezeichnet. Ist die Geschwindigkeit des ordentlichen Strahles gleich der größtmöglichen des außerordentlichen Strahles, so heißt der Kristall positiv einachsig, ist sie gleich der kleinsten des außerordentlichen Strahles, so heißt der Kristall negativ einachsig.

Während S_2 von C nach D gelangt, bewegt sich der ordentliche Strahl S_1' von B nach E , der außerordentliche Strahl S_1'' von B nach F . Die Strahlenfront BC klappert demnach in ED bzw. FD um, die Strahlenrichtung S_1S_2 entsprechend in $S_1'S_2'$ bzw. $S_1''S_2''$. Die Strahlen S_1 , S_1' und S_1'' liegen zusammen mit der optischen Achse in einer Ebene, einem sogenannten Hauptschnitt. Die Schwingungsebene des ordentlichen Strahls S_1' liegt senkrecht zum Hauptschnitt, während die Schwingungsebene des außerordentlichen Strahles S_1'' mit dem Hauptschnitt zusammenfällt.

Fällt das Licht senkrecht zur angeschliffenen Fläche des Kristalles auf, so werden die beiden entstehenden linear polarisierten Strahlen nicht gebrochen. Sie verlaufen im Kristall in der ursprünglichen Richtung mit verschieden großer Geschwindigkeit weiter. Die Zeiten,

die sie gebrauchen, um durch einen Kristall der Dicke d zu gelangen, unterscheiden sich demnach voneinander.

Zur Untersuchung soll der anisotrope Kristall zwischen Polarisator und Analysator gebracht werden. Polarisator und Analysator stehen in gekreuzter Stellung zueinander; die Schwingungsebenen der von ihnen verlustlos reflektierten Lichtstrahlen liegen demnach senkrecht zueinander. Das Gesichtsfeld ist folglich ohne Zwischenschaltung des Kristalles dunkel. In Fig. 117a ist AA die Schwingungsebene des vom Polarisator kommenden Lichtes, DD die Schwingungsebene des vom Analysator verlustlos reflektierten Strahles. Zwischen Polarisator und Analysator wird ein einachsiger Kristall gebracht, den die Lichtstrahlen ungebrochen durchsetzen sollen. Der sich im Kristall ausbildende ordentliche Strahl schwingt in der Ebene BB . Der außerordentliche Strahl, der in der Ebene CC schwingen müßte, kann sich nicht ausbilden, da alles vom Polarisator

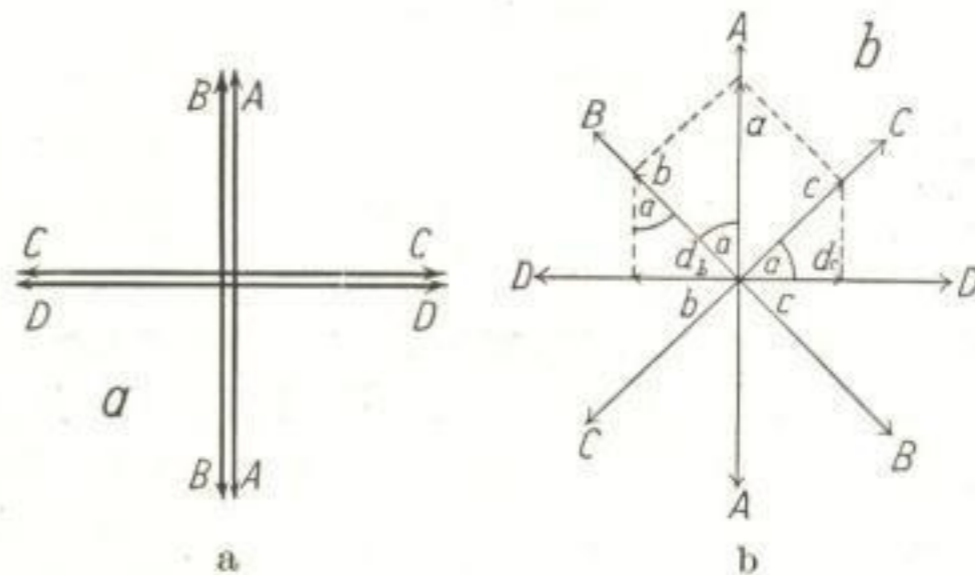


Fig. 117. Verhalten eines einachsigen Kristalls zwischen Polarisator und Analysator in gekreuzter Stellung.

kommende Licht in der Ebene AA schwingt, demnach nur als ordentlicher Strahl durch den Kristall geht. Das in der Ebene AA schwingende Licht wird jedoch vom Analysator nicht reflektiert. Es herrscht demnach hinter dem Analysator Dunkelheit. Dreht man den Kristall um den Winkel α (Fig. 117b), so wird der vom Polarisator kommende Strahl der Amplitude a in einen ordentlichen Strahl B und einen außerordentlichen Strahl C zerlegt. Von diesen Strahlen werden vom Analysator d_b und d_c durchgelassen, die wegen ihrer verschiedenen Geschwindigkeit eine Phasendifferenz aufweisen und dieser entsprechend vereinigt werden. Die sich ergebende Interferenzerscheinung läßt sich mit Hilfe der folgenden Überlegungen leicht berechnen:

Das Licht besteht (vgl. S. 112) aus Schwingungen, d. h. es ändert seinen Zustand periodisch mit der Zeit nach der Formel:

$$w = a \cdot \sin \omega t,$$

wobei die Amplitude a die Größe der Schwingung angibt. Während der Dauer einer Schwingung T durchläuft die Welle alle Zustände. War demnach zur Zeit $t = 0$ $w = 0$, so muß für $t = T$ ebenfalls $w = 0$ sein. Hieraus folgt:

$$w = a \cdot \sin 2\pi (t/T).$$

Ändert man den Beobachtungsort (Punkt A), indem man sich um die Strecke s in Richtung der Welle entfernt (Punkt B), so befindet sich die Welle in B in einem Schwingungszustand, der in A schon um die Zeit:

$$t_1 = \frac{s}{c}$$

vorher war, wenn c die Geschwindigkeit des Lichtes ist, da die Welle die Zeit t_1 braucht, um von A nach B zu gelangen. In B hat demnach die Welle die Form:

$$w = a \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{s}{cT} \right).$$

Aus dieser Formel ergibt sich, daß zwischen zwei Punkten A und B in jedem Augenblick dann alle überhaupt möglichen Schwingungszustände vorhanden sind, wenn $s = \lambda = cT$ ist. Durchläuft demnach die Welle die Strecke λ , so führt sie eine volle Schwingung aus. Nach S. 10 bezeichnet man die Strecke λ als Wellenlänge und kann somit schreiben:

$$w = a \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{s}{\lambda} \right).$$

Nach Austritt aus einem positiv einachsigen Kristall sei der außerordentliche Strahl (w_a) gegenüber dem ordentlichen Strahl (w_o) um die Strecke Δ verzögert. Man erhält demnach als Schwingungszustand der beiden Strahlen hinter dem Analysator:

$$w_o = d_b \cdot \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

$$w_a = d_c \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\Delta}{\lambda} \right).$$

Aus Fig. 117b liest man ab:

$$d_b = -d_c = -a \cdot \sin \alpha \cos \alpha.$$

Man erhält demnach als Gesamtschwingung hinter dem Analysator:

$$\begin{aligned} w_g &= w_o + w_a \\ &= - \left[a \sin 2\alpha \cdot \sin \pi \frac{\Delta}{\lambda} \right] \cos 2\pi \frac{t}{T}. \end{aligned}$$

Die Energie der Schwingung, die proportional dem Quadrat der Amplitude ist, hat die Form:

$$I \sim A^2 = a^2 \cdot \sin^2 2\alpha \cdot \sin^2 \left(\pi \frac{\Delta}{\lambda} \right).$$

Hieraus folgt, daß die Helligkeit des aus dem Analysator austretenden Lichtes am größten ist, wenn der ordentliche (und ebenso natürlich

der außerordentliche Strahl in einer Ebene schwingt, die um 45° gegen die Schwingungsebene des Polarisators gedreht ist ($\alpha = 45^\circ$).

Ist der außerordentliche Strahl um ein Vielfaches einer ganzen Welle gegenüber dem ordentlichen Strahl verzögert ($\Delta = m\lambda$), so ist die aus dem Analysator austretende Helligkeit gleich null. Beträgt die Verzögerung eine halbe Wellenlänge oder ein ungeradzahliges Vielfaches von ihr, so treten Strahlen großer Helligkeit aus dem Analysator aus.

Wird weißes Licht zur Untersuchung benutzt, so wird nur eine Farbe ganz ausgelöscht, während alle anderen Farben teilweise oder ganz vom Analysator reflektiert werden (Abhängigkeit von der Wellenlänge λ). Das im Polarisations-Mikroskop sichtbare Bild weist demnach leuchtende Farben auf. Steigt die Dicke des anisotropen Mediums (z. B. eines positiv einachsigen Kristalles) an, so wird der außerordentliche Strahl in steigendem Maße gegenüber dem ordentlichen Strahl verzögert. Jede Dicke ergibt Auslöschung für eine bestimmte Wellenlänge, während an dieser Stelle eine andere Farbe, die sogenannte Komplementär-Farbe, hell aufleuchtet. Das Licht wird folglich in ein Spektrum zerlegt, das sich wiederholt, wenn der Gangunterschied gleich einer Wellenlänge geworden ist. Die Spektren entsprechen demnach einem Gangunterschied von 1, 2, 3 . . . Wellenlängen. Man spricht von Spektren 1., 2., 3., . . . Ordnung.

Es wurde festgestellt, daß es beim Drehen des anisotropen Kristalls vier Stellungen gibt, in denen das Licht völlig ausgelöscht wird; nämlich dann, wenn die Schwingungsebenen BB und CC mit den Ebenen AA und DD zusammenfallen. Unter 45° zu diesen Stellungen müssen dann Stellen großer Helligkeit liegen. Auf diese Weise ist es möglich, die Schwingungsebenen des außerordentlichen Strahles im Kristall festzustellen. Unbekannt bleibt, in welcher der beiden Schwingungsrichtungen sich das Licht mit größter Geschwindigkeit fortpflanzt. Dies kann einfach bestimmt werden. Bringt man hinter den zu untersuchenden anisotropen Kristall einen zweiten Kristall (beide Kristalle in der Stellung größter Helligkeit), von dem bekannt ist, in welcher der beiden Schwingungsebenen sich der Lichtstrahl schneller fortpflanzt, so beobachtet man hinter dem Analysator einen Farbumschlag. Dieser Farbumschlag beruht einfach darauf, daß die Verzögerung des einen Strahls gegenüber dem anderen, die im ersten Kristall erzeugt wurde, durch den zweiten Kristall nochmals geändert wird. Liegen die Schwingungsebenen für den Strahl geringer Geschwindigkeit in beiden Kristallen parallel (entsprechend natürlich auch für den Strahl großer Geschwindigkeit), so wird die Verzögerung der einen Welle gegenüber der anderen vergrößert, d. h. das zu beobachtende Licht

weist Farben höherer Ordnung auf (vgl. nächsten Absatz). Dreht man den zu untersuchenden anisotropen Kristall um 90° , so wird die Verzögerung, die die langsame Welle hinter der schnellen hatte, durch den zusätzlichen Kristall teilweise wieder aufgehoben, d. h. es tritt Licht niedriger Ordnung aus der Anordnung aus.

Die zur Untersuchung angeführten anisotropen Kristalle nennt man Kompensatoren. Man benutzt im einfachsten Falle eine Kristallplatte aus Gips, die im polarisierten Licht rot erscheint (rot erster Ordnung). Ist der zu untersuchende Kristall nicht stark anisotrop, so wird sich bei Addition der Verzögerung in beiden Kristallen die Farbe des Lichtes von rot über violett nach blau und grün ändern, während sie sich bei Subtraktion von rot über orange nach gelb verschiebt.

Das Gipsplättchen selbst untersucht man folgendermaßen: Man bringt das Plättchen zwischen Polarisator und Analysator in gekreuzter

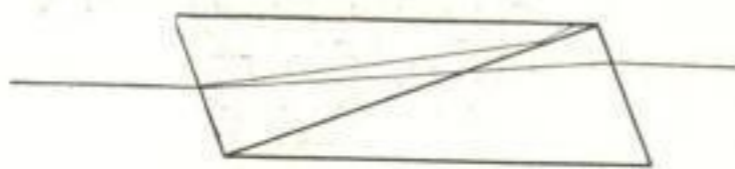


Fig. 118. NICOL'sches Prisma.

Stellung so, daß das Feld rot aufleuchtet. Kippt man jetzt das Plättchen um die Schwingungsrichtung, in der sich das Licht mit geringerer Geschwindigkeit fortpflanzt, so wird

das Feld allmählich blau erleuchtet. Beim Kippen um die andere Schwingungsrichtung wird das Feld gelb.

Zur Messung der Doppelbrechung benutzt man einen Quarzkeil. Dieser gibt, ähnlich wie das Gipsplättchen, einen zusätzlichen Gangunterschied der beiden linear polarisierten Strahlen. Es muß sich demnach eine Stelle des Quarzkeiles finden lassen, in der die Doppelbrechung des Objektes gerade aufgehoben wird (Schwarz erster Ordnung). Kennt man an der betreffenden Stelle des Quarzkeiles das Maß der Doppelbrechung, so ist demnach die Größe der Doppelbrechung im Objekt bestimmt.

Da die Intensität des von einer Glasplatte reflektierten Lichtes gering ist, werden die Bilder, die man mit einer derartigen Polarisations-Apparatur erhält, lichtschwach sein.

Zur Erzeugung eines lichtstarken polarisierten Lichtstrahles wurden, zuerst von NICOL, Prismen aus anisotropen Kristallen (Kalkspat) angefertigt, die nur Licht einer Schwingungsrichtung durchlassen. Die Eigenschaft, auf Grund deren die Konstruktion solcher Prismen ermöglicht wird, ist hierbei die Verschiedenheit der Brechungsexponenten senkrecht zueinander polarisierter Wellen im Kristall.

Zerschneidet man einen normalen Kalkspat-Kristall (Rhomböeder) in der in Fig. 118 angegebenen Weise und kittet dann die beiden Kristallteile mit Kanadabalsam wieder zusammen, so wird der durch

den ersten Teil hindurchtretende ordentliche Strahl so gebrochen, daß er an der Kittfläche total reflektiert wird, während der außerordentliche Strahl durch die Kittfläche treten kann. Das aus dem Kristall austretende Licht ist demnach linear polarisiert.

Die Kombinationsmöglichkeit solcher Kristalle ist sehr groß. Für mikroskopische Zwecke besonders günstig sind Prismen, die bei geringer Länge einen großen Querschnitt aufweisen (AHRENS-Prismen).

Die Schwingungsebene des aus dem Kristall austretenden Lichtes ist meist auf seiner Fassung vermerkt. Sie läßt sich feststellen, indem man durch einen Nicol hindurch Licht betrachtet, das von einer Glasplatte¹⁾ reflektiert wird. Durch Drehen des Nicols wird das Licht ausgelöscht. Da das von einer Glasplatte reflektierte Licht senkrecht zur Einfallsebene schwingt, ist diese Einfallsebene bei Dunkelstellung zugleich Schwingungsebene der polarisiert aus dem Prisma austretenden Strahlen.

Erwähnt sei noch, daß in letzter Zeit an Stelle der Polarisationsprismen Polarisationsfilter entwickelt wurden, deren Wirkung auf einer zwischen zwei Glasplatten gekitteten Schicht von dichroitischen Kristallen (z. B. Herapathit) be-

ruht, die eine Schwingungsrichtung stark absorbieren, während sie die andere ohne große Verluste durchlassen. Die Filter sind in allen den Fällen vorteilhaft, in denen man einen großen freien Durchmesser bei geringer Dicke des Polarisators, bzw. Analysators, benötigt. Die Farben sind allerdings beim Prisma reiner als beim Filter, dessen Polarisationswirkung von der Wellenlänge des zur Untersuchung benutzten Lichtes abhängt.

Polarisations-Mikroskope sind Mikroskope, die mit einem Polarisator und einem Analysator sowie zur Bestimmung der Hauptschwingungsrichtungen mit Kompensatoren ausgerüstet sind. Der Polarisator befindet sich bei Durchlicht-Mikroskopen vor dem Kondensator. Der Kondensator besteht gewöhnlich aus einer Sammellinse mit einem ausschaltbaren, zweilinsigen Mikroskop-Kondensator (vgl. Fig. 119). Für schwache Vergrößerungen wird der Kondensator ausgeschaltet und mit Hilfe der Sammellinse allein KÖHLERScher Strahlengang erzeugt. Der Polarisations-Kondensator hat eine sehr kurze Brennweite, durch die



Fig. 119. Polarisationskondensator.

¹⁾ Unter Umständen genügt es, den Lichtreflex an dem etwas spiegelnden Fußboden zu betrachten.

der relativ kleine Querschnitt des Polarisations-Prismas zur Erzeugung einer hohen Apertur ausgenutzt werden kann. Der Kondensator muß hierfür sehr nahe an das Objekt herangebracht werden, wodurch KÖHLERScher Strahlengang nicht mehr exakt eingestellt werden kann.

Als Objektive wählt man am besten Achromate, deren Linsen spannungsfrei sein müssen, damit die Doppelbrechung, die bei Ver-spannung von Glas auftritt, nicht störend auf das Bild einwirkt (vgl. Fig. 120). Aus diesem Grunde dürfen keine Fluorit-Systeme benutzt werden, da der Flußpat, der hierbei verwendet wird, nicht frei von Doppelbrechung ist.

Die Objektive müssen gut zentriert sein. Sind sie am Mikroskop fest anjustiert, so muß der Objektstisch zu den Objektiven zentriert werden, damit bei Drehung des Tisches das Präparat stets im Gesichtsfeld bleibt (vgl. S. 46).

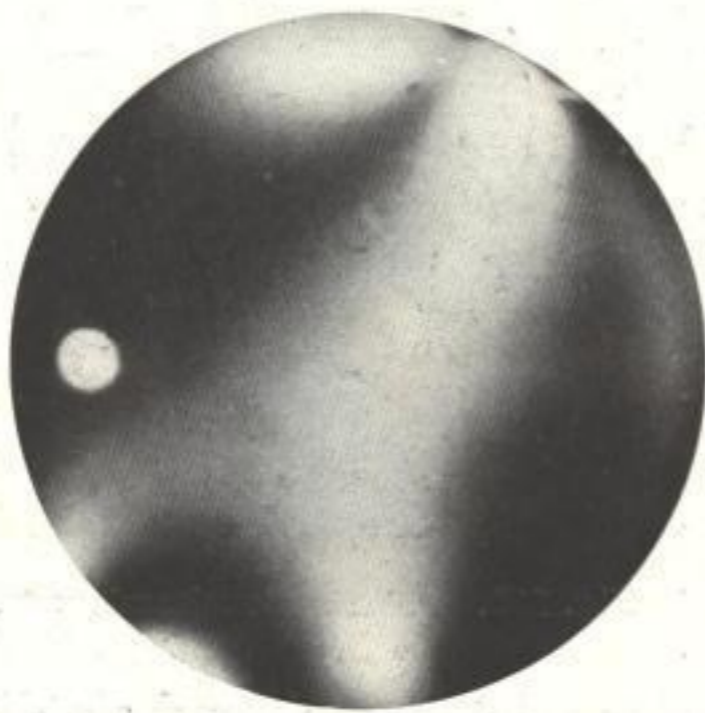


Fig. 120. Verspanntes Mikroskopobjektiv zwischen gekreuzten Nicols.
Werkphoto Busch, phot. Dr. STADE.

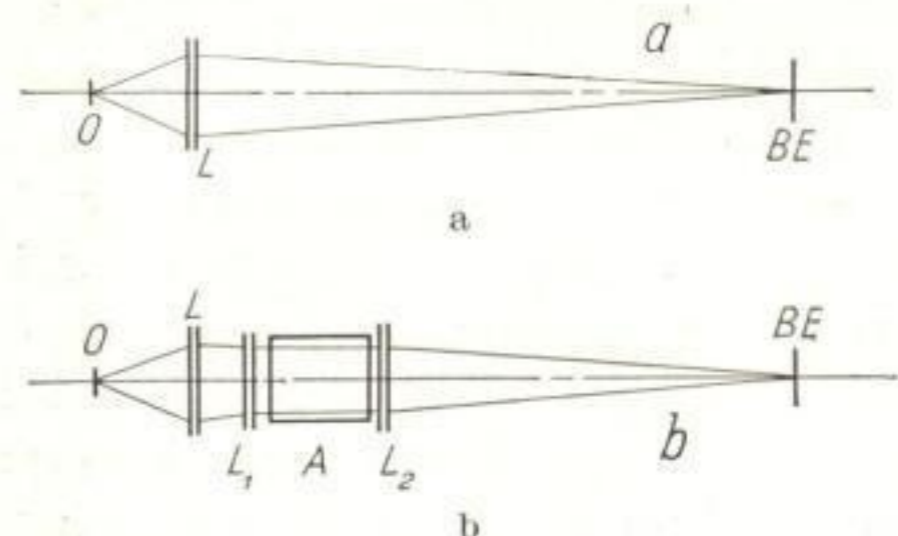


Fig. 121. Anastigmatischer Tubusanalysator.

Der Analysator kann an verschiedenen Stellen des Strahlenganges angeordnet werden, nämlich am Ort oder im Bild der Austrittspupille des Objektivs, d. h. kurz hinter dem Objektiv oder hinter dem Okular. Die Anordnung hinter dem Okular ergibt auf einfache Weise fehlerfreie Bilder. Sie weist jedoch Lukenwirkung auf: Das Prisma wirkt Gesichtsfeldbeschränkend, da sein Querschnitt klein ist.

Günstiger ist es, das Analysator-Prisma in die Austrittspupille des Objektivs zu bringen. Strahlen, die das Polarisations-Prisma schief durchsetzen, bilden das Objekt astigmatisch ab. Es ist daher notwendig, parallelen Strahlengang durch das Prisma hindurchzuführen. Dies geschieht mit Hilfe zweier Zusatzlinsen, von denen die erste, dem Objektiv zugekehrte, das Bild im Unendlichen entwirft, während die zweite die Strahlen wieder sammelt, so daß durch Einschaltung des Analysators keine Nachstellung des Objektivs erfolgen muß (Fig. 121). Polarisationsfilter können, da sie bei hinreichender freier

Öffnung nur geringe Dicke aufweisen, an jeder Stelle des Strahlenganges angeordnet werden. Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, sie in der Nähe des Zwischenbildes anzubringen, da dann die an den Kristallen des Filters entstehende Beugung des Lichtes am wenigsten stört. Am besten kittet man die Filter auf die Feldlinse des Okulars.

Im auffallenden Licht ordnet man den Polarisator günstig vor der Aperturblende des KÖHLERSchen Beleuchtungs-Stutzens an. Zu beachten ist, daß der Vertikalilluminator nur in Verbindung mit dem Planplättchen oder mit eigens für Polarisations-Untersuchungen konstruierten Prismen angewandt werden darf. Bei Beobachtung mit Planplättchen stellt man im Interesse einer möglichst großen Bildhelligkeit den Polarisator stets so ein, daß die Schwingungsebene des aus ihm austretenden Lichtes senkrecht zur Einfallsebene der Lichtstrahlen auf dem Planplättchen steht (vergl. S. 113).

Mit dem Polarisations-Mikroskop werden Dünnschliffe, bzw. angeschliffene Flächen, auf die auftretenden Farberscheinungen hin untersucht und ihre kristallographischen Eigenschaften mit Hilfe der Kompensatoren festgestellt. Dabei kann jeder einzelne Kristall für sich betrachtet werden.

Die bei Polarisations-Untersuchungen auftretenden Bilder sind, wenn man nicht mit monochromatischem Licht arbeitet, äußerst farbenreich. Die korrekte Wiedergabe dieser Bilder ist daher nur mit Farbenplatten möglich. Soll allein der Helligkeitsunterschied einzelner Farben gezeigt werden, so gelingt es auch durch Auswahl geeigneter Filter zusammen mit entsprechend farbempfindlichen Platten, diese Unterschiede darzustellen. Es muß jedoch bei der Aus-



Fig. 122. Kalium citrium zwischen gekreuzten Nicols. Objektiv 0,25/11; Okular $10\times$; $\beta' = 220\times$. Nachträglich verkleinert auf $\frac{4}{5}$. Beleuchtung: Durchlicht-Hellfeld. Ohne Filter. Platte: Hauff Extra Rapid. Belichtungszeit 45". Werkphoto Busch, phot. H. POLENSKI.

wahl der Filter besonders sorgfältig verfahren werden, damit wirklich der gewünschte Farbunterschied dargestellt wird (Fig. 122). Die Anwendung von polarisiertem Licht zur Sichtbarmachung von Struktur-Einheiten zeigt Fig. 123.

Neben dieser orthoskopischen Untersuchung kann man konoskopische Beobachtungen anstellen, bei denen man eine größere Fläche des Kristalles als Ganzes untersucht. Der Grundgedanke dieser Methode



Fig. 123. Tüpfelzellen von *Pinus isoline* zwischen gekreuzten Nicols. Objektiv 0,25/11; Okular $10\times$; $\beta' = 220\times$. Nachträglich verkleinert auf $\frac{1}{5}$. Filter: gelbgrün. Platte: Hauff Extra Rapid. Belichtungszeit 30". Werkphoto Busch, phot. H. POLENSKI.

ist folgender: Die das Objekt durchsetzenden Strahlenbündel sind parallel (vgl. Fig. 54) derart, daß jeder Richtung der Strahlen im Objekt ein Punkt in der hinteren Brennebene des Objektivs zukommt. In den verschiedenen Richtungen durch das anisotrope Objekt entstehen natürlich verschiedenartige Gangunterschiede der beiden linear polarisierten Strahlen, die teils durch verschiedene Dicke, teils durch Änderung der Brechungsverhältnisse bei schiefem Strahleneinfall bedingt sind. Folglich befinden sich hierbei in der hinteren Brennebene des Objektivs bei Beleuchtung mit monochromatischem Licht je nach dem Gangunterschied der beiden Strahlen Gebiete großer Helligkeit und großer Dunkelheit. Es entstehen auf diese Weise Figuren, die charakteristisch für die Doppelbrechung im Objekt sind und die es ermöglichen, auf die Eigenschaft des Objektes zu schließen. Diese Figuren werden mit einem Hilfsobjektiv der BERTRANDSchen

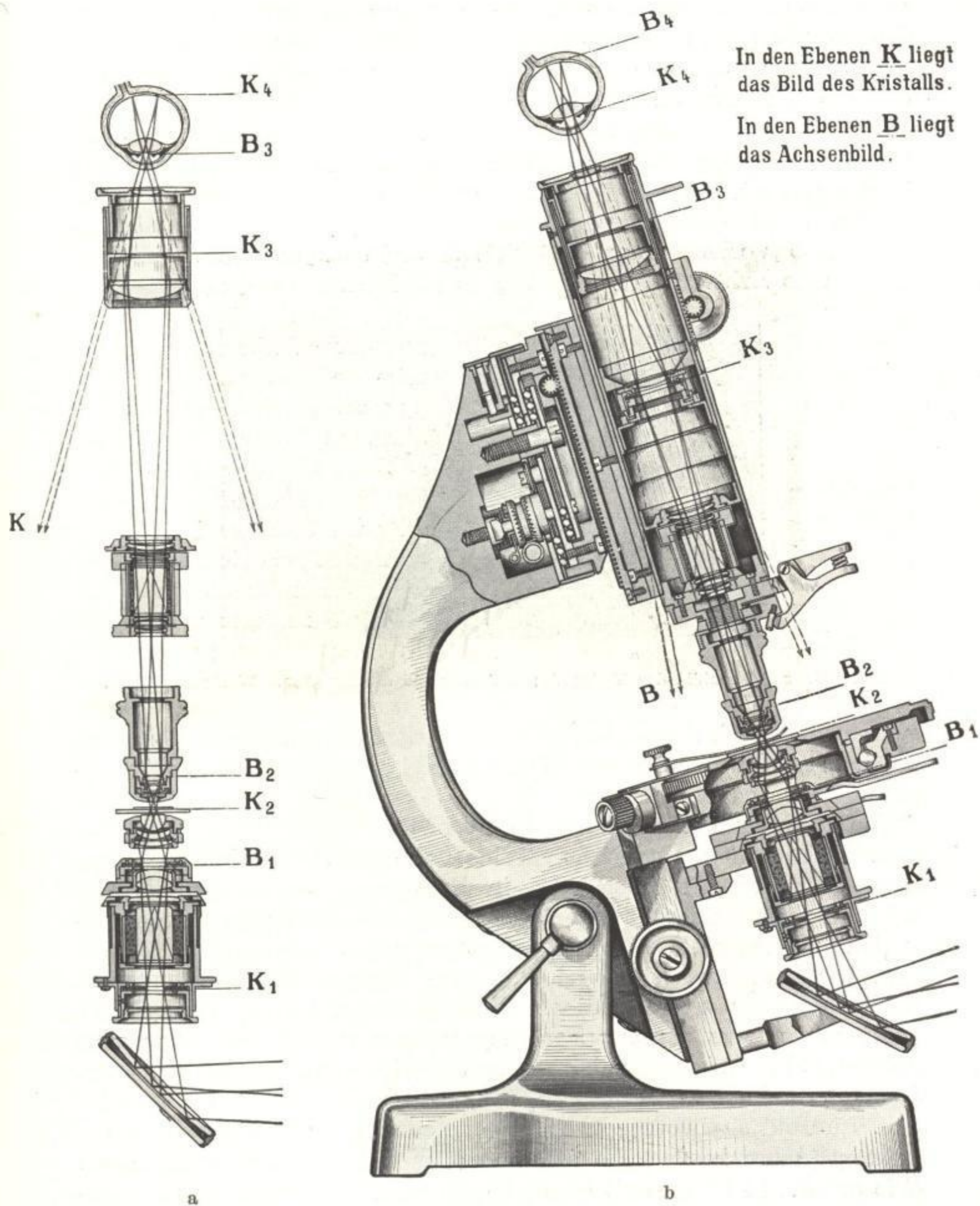


Fig. 124. Strahlengang im Polarisationsmikroskop.
 a orthoskopisch; b konoskopisch. BERTRANDSche Hilfslinse bei K₃.

Hilfslinse sichtbar gemacht, die zusammen mit dem Okular ein Mikroskop ergibt (Fig. 124), mit dem die Figuren in der hinteren Brennebene des Objektivs betrachtet werden können. Wichtig ist hierbei, daß die BERTRANDSche Hilfslinse abgeblendet werden kann, um den Kontrast der Interferenzerscheinung zu erhöhen. Eine Abblendung ist vor allem dann nötig, wenn der zu untersuchende Kristall örtlich inhomogen ist. Da die Blende in der Nähe des vom Objektiv entworfenen Zwischenbildes des Objektes liegt, erhält man durch Abblendung eine Verkleinerung des wirksamen Teiles des Kristalles und damit eine Erhöhung des Kontrastes im Bild.

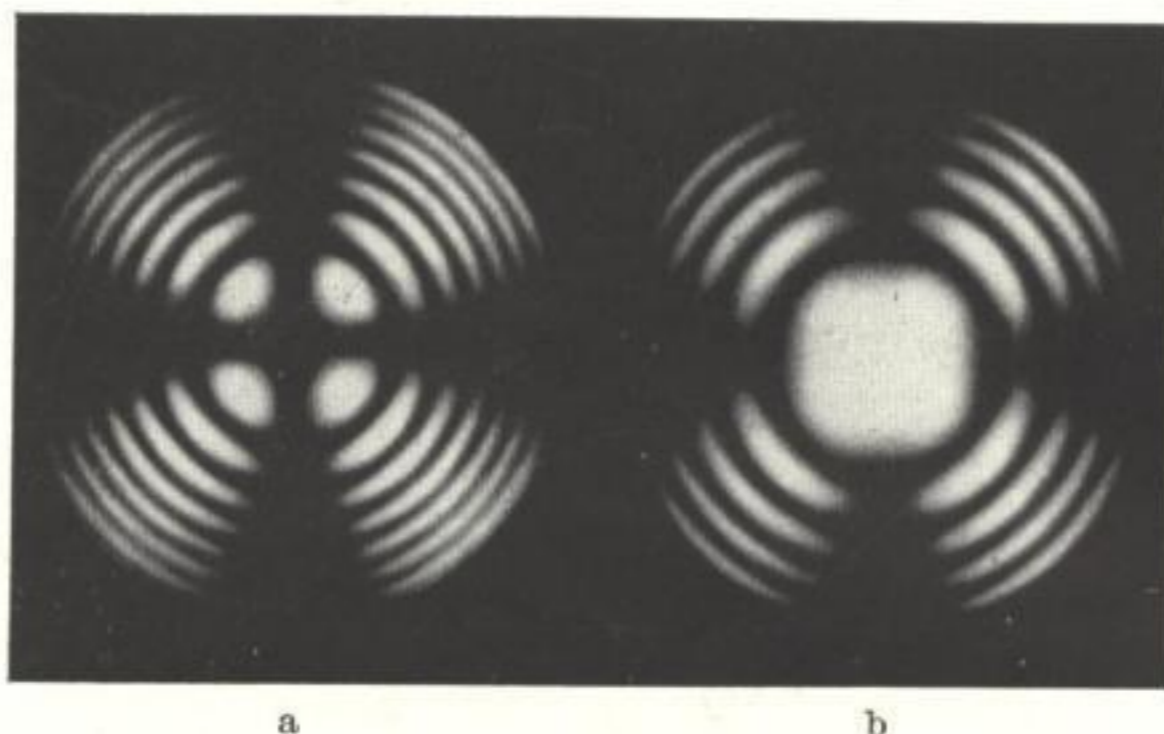


Fig. 125. a Achsenbild des Kalkspats; b Achsenbild des Quarzes. Werkphoto Zeiss.

Das Achsenbild eines einachsigen Kristalls zwischen gekreuzten Nicols ist in Fig. 125 a dargestellt. Der Kristall ist senkrecht zur optischen Achse geschnitten.

Die Interferenzerscheinung zerfällt in drei Teile:

1. die Bildmitte entspricht Strahlen, die parallel zur Kristallachse durch den Kristall gehen. Da in Richtung dieser Achse die Geschwindigkeit beider Strahlen gleich groß ist, tritt kein Gangunterschied und demnach keine Doppelbrechung auf.

2. Die Bildmitte ist von hellen und dunklen Kreisen umgeben, die einem Gangunterschied von Vielfachen der halben Wellenlänge entsprechen. Aus Symmetriegründen müssen Punkte mit dem Gangunterschied $m \cdot \lambda$ kreisförmig um den Bildmittelpunkt angeordnet sein. (Für die dunklen Kreise ist $m = 1, 2, 3 \dots$)

3. Im Bild sind ferner zwei Diagonalen größter Dunkelheit zu erkennen (Achsenkreuz), die aus folgender Tatsache zu deuten sind: Wie auf S. 114 festgestellt wurde, liegen im Hauptschnitt der ordentliche, der außerordentliche Strahl und die optische Achse des Kristalles an der untersuchten Objektstelle. Im Bild ist daher jeder Durch-

messer der Kreise die Projektion eines Hauptschnittes. Da die Schwingungsebenen zweier zueinander gehöriger linear-polarisierter Lichtstrahlen im Hauptschnitt bzw. senkrecht dazu liegen, kann sich bei einer Hauptschnittlage parallel zur Schwingungsebene des Polarisators nur der außerordentliche Strahl ausbilden, der jedoch vom Analysator nicht durchgelassen wird. Entsprechendes erhält man, wenn der Hauptschnitt parallel zur Schwingungsebene des Analysators liegt, für den ordentlichen Strahl. Die Diagonalen im Bild geben demnach die Schwingungsrichtungen des von Polarisator und Analysator durchgelassenen bzw. vernichteten Lichtes an.

Neben reinen Polarisations-Untersuchungen ist die Anwendung von polarisiertem Licht im Auflicht dann vorteilhaft, wenn es sich darum handelt, Reflexe, die störend im Bild wirken, zu beseitigen, also besonders bei Untersuchung rauher Oberflächen im auffallenden Licht, bei der die an den Linsen des Objektivs auftretenden Reflexe eine Beobachtung im Hellfeld unmöglich machen (vgl. S. 84). Meistens genügt hierfür schon die Beobachtung unter Zwischenschaltung des Analysators allein, da das Licht an dem Planplättchen weitgehend linear polarisiert wird.

Am Schluß dieses Abschnittes soll noch kurz auf die optisch-aktiven Kristalle eingegangen werden. Diese Kristalle haben die Eigenschaft, die Polarisationssebene zu drehen. Bringt man demnach zwischen zwei gekreuzte Nicols ein optisch-aktives Medium, so findet eine Aufhellung des Gesichtsfeldes statt, die bei Drehung des Objektes erhalten bleibt und sich nur durch Verdrehung des Polarisators gegen den Analysator oder umgekehrt kompensieren läßt. Die Drehung der Polarisationssebene ist von der Wellenlänge des zur Beobachtung benutzten Lichtes abhängig, so daß sich durch Drehung des Analysators oder des Polarisators die Farbe des Objektes ändert.

Der charakteristische Unterschied zwischen optisch-aktiven und anisotropen Kristallen bei konoskopischer Beobachtung mit gekreuzten Nicols besteht darin, daß bei den aktiven Medien die Bildmitte entsprechend dem Drehungsvermögen aufgehellt ist, während sie bei den anisotropen Kristallen dunkel ist (vgl. Fig. 125b).

3. Mikrophotographie im ultravioletten Licht.

Das Auflösungsvermögen eines Mikroskopes läßt sich nicht beliebig steigern, da durch Beugung des Lichtes am Objekt bzw. an der Objektivblende feine Objektstrukturen nicht mehr ähnlich abgebildet werden können. Da die kleinste noch aufgelöste Struktur proportional der Wellenlänge des zur Abbildung benutzten Lichtes ist (vgl. S. 15), liegt

es nahe, zur Erhöhung des Auflösungsvermögens die Wellenlänge des Lichtes zu verkleinern: Man stellt Mikrophotographien im ultravioletten Licht her, das vom Auge nicht mehr gesehen wird. Hierbei treten allerdings verschiedene Schwierigkeiten auf, die in der Erzeugung des ultravioletten Lichtes, in der Schaffung einer für ultraviolettes Licht durchlässigen Optik und eines für ultraviolettes Licht genügend empfindlichen Aufnahmematerials begründet sind.

Die kürzeste Wellenlänge des zur Abbildung benutzten sichtbaren Lichtes beträgt $0,4 \cdot 10^{-3}$ mm, die kürzeste Wellenlänge des zur Abbildung benutzten ultravioletten Lichtes beträgt $0,28 \cdot 10^{-3}$ mm.

Man erhält demnach bei Ultraviolet-Mikroskopie eine Erhöhung des Auflösungsvermögens von 30%. Dieser Vorteil wird nicht in jedem Fall eine so komplizierte Einrichtung, wie sie die Aufnahmeapparatur für ultraviolettes Licht darstellt, rechtfertigen. Im Gegenteil dürfte der Erfolg, den die Ultraviolet-Mikroskopie zu verzeichnen hat, vielmehr darin zu suchen sein, daß mit ultraviolettem Licht durch zum Teil völlig geänderte Absorptionsverhältnisse im Objekt Strukturen abgebildet werden, die man im sichtbaren Licht kaum oder nur unter Zuhilfenahme von Färbungen, die das Objekt mehr oder weniger stark beeinflussen, unterscheiden kann. So läßt sich diese Methode mit Vorteil zur Erkennung von Chromosomen, zur Untersuchung von Protoplasmastrukturen und zur Aufsuchung von kleinsten Bakterien verwenden. Auf Grund dieser charakteristischen Absorptionseigenschaften werden auch vielfach Objektive schwacher und mittlerer Eigenvergrößerung angewendet. Zu beachten ist hierbei allerdings, daß lebende Organismen außerordentlich empfindlich gegen Bestrahlung mit ultraviolettem Licht sind, so daß man sie den Strahlen nur kurze Zeit aussetzen darf.

Die für Mikroskope im sichtbaren Licht benutzte Glasoptik ist für Licht unter $0,35 \cdot 10^{-3}$ mm Wellenlänge nicht mehr durchlässig. Brauchbar ist sie nur im eigentlichen sichtbaren Gebiet, da die geometrisch-optischen Abbildungsfehler (vor allem Sphärochromasie) selbst bei Verwendung monochromatischen Lichtes bei kleinerer Wellenlänge als $0,4 \cdot 10^{-3}$ mm schnell ansteigen.

Es wurden daher eigens für Ultraviolet-Mikroskopie Objektive und Okulare berechnet, die aus geschmolzenem Quarz bestehen. Die geometrisch-optischen Abbildungsfehler (vor allem die sphärische Aberration) lassen sich bis auf den Farbfehler gut beheben. Man erhält demnach nur für streng monochromatisches Licht scharfe Bilder. Die Objektive und Okulare wurden für eine Lichtwellenlänge von $0,28 \cdot 10^{-3}$ mm berechnet (Zeiss-Monochromate).

Zur Beleuchtung des Objektes braucht man eine Lichtquelle, die Licht der Wellenlänge $0,28 \cdot 10^{-3}$ mm in hinreichend starkem Maße aussendet. Hierfür wird in der hier besprochenen Anordnung von Zeiss eine Funkenstrecke mit Kadmium-Elektroden benutzt, die mit einer Wechselspannung von 10 000 Volt betrieben wird. Parallel

zur Funkenstrecke ist eine Kapazität geschaltet, die sich während eines Wechsels mehrmals über die Funkenstrecke entlädt. Da die Elektroden aus dem leicht schmelzbaren Kadmium bestehen, dürfen sie nicht spitz sein, da sie sonst leicht abtropfen würden. Elektroden mit großen Flächen begünstigen das Wandern des Funkens und setzen damit die Lichtausbeute herab. Zur Erzielung eines möglichst ruhigen Funkens unter Vermeidung des Wegschmelzens und des Abbrandes der Elektroden werden diese als flache Kreisringe aus etwa 1 mm dickem Blech angefertigt. Diese Kreisringe sitzen auf zylinderförmigen, gut leitenden Elektrodenhaltern, die drehbar angeordnet sind, und zwar so, daß ihre Achsen um 90° gegeneinander versetzt sind (Fig. 126). Durch Drehung der Elektroden wird erreicht, daß jede Einzelentladung an einer anderen Stelle der Elektroden erfolgt. Hierdurch wird die Zerstörung der Kadmiumbleche bedeutend herabgesetzt, da sie während der Umdrehung abkühlen können.

Die Spektrallinie der Wellenlänge $0,28 \cdot 10^{-3}$ mm wird durch einen aus zwei 60° -Bergkristall-Prismen bestehenden Monochromator ausgesondert (Fig. 126) und von diesem durch ein Bergkristall-Reflexions-Prisma zum Mikroskop-Kondensator reflektiert. Der Kondensator be-

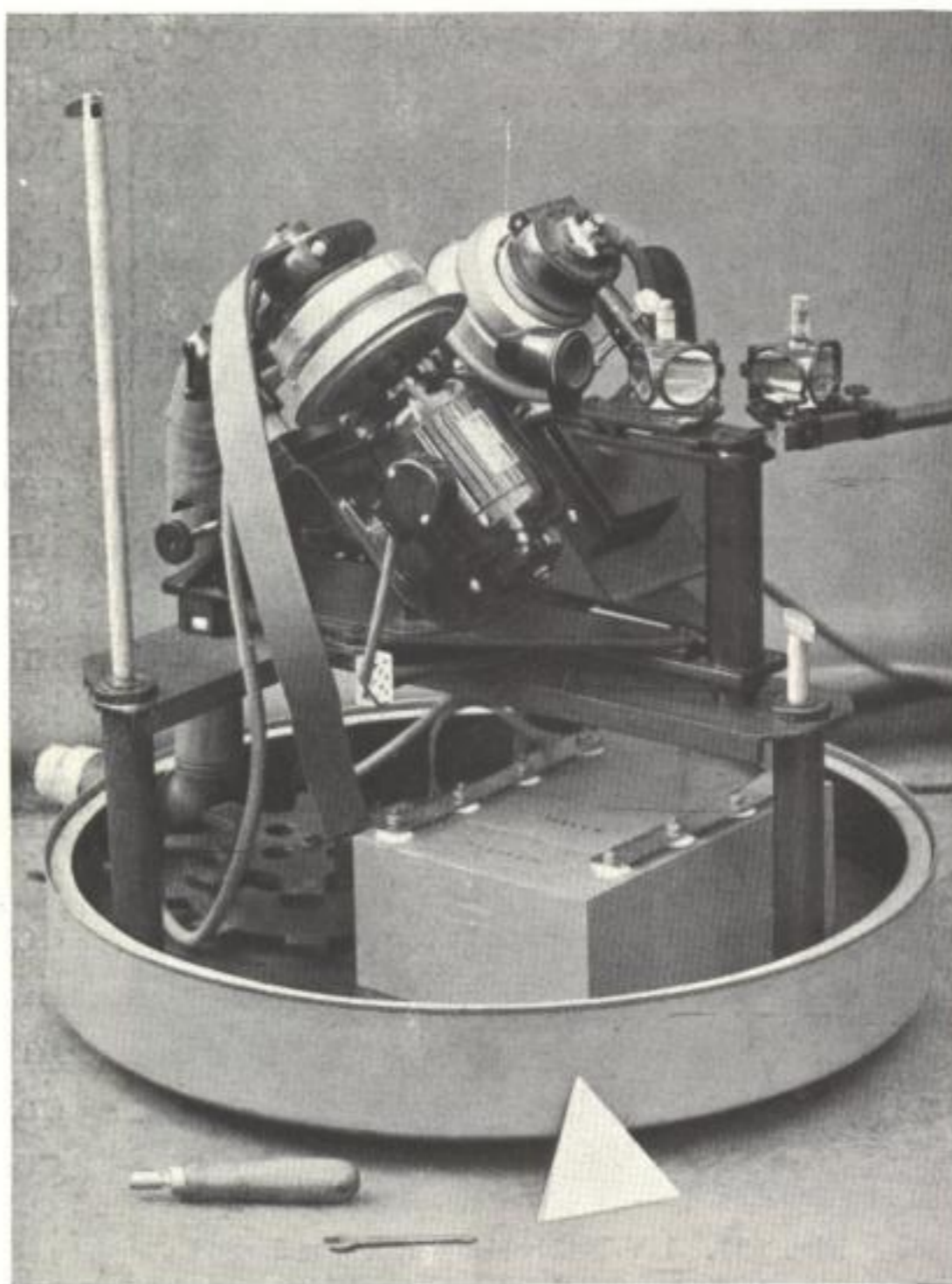


Fig. 126. Funkenstrecke für UV-Mikroskopie mit Prismen-Monochromator. Werkphoto Zeiss.

steht aus vier Linsen. Er hat eine Brennweite von 4 mm und eine numerische Apertur von 1,30. Durch Abnehmen der Frontlinse kann er für Objektive niedriger Eigenvergrößerung verwendet werden.

Die Objektive geringer Eigenvergrößerung sind Trockensysteme, die Objektive hoher Eigenvergrößerung sind Immersionen. Als Immersionsflüssigkeit dient mit Wasser verdünntes Glycerin, dessen Brechungs-

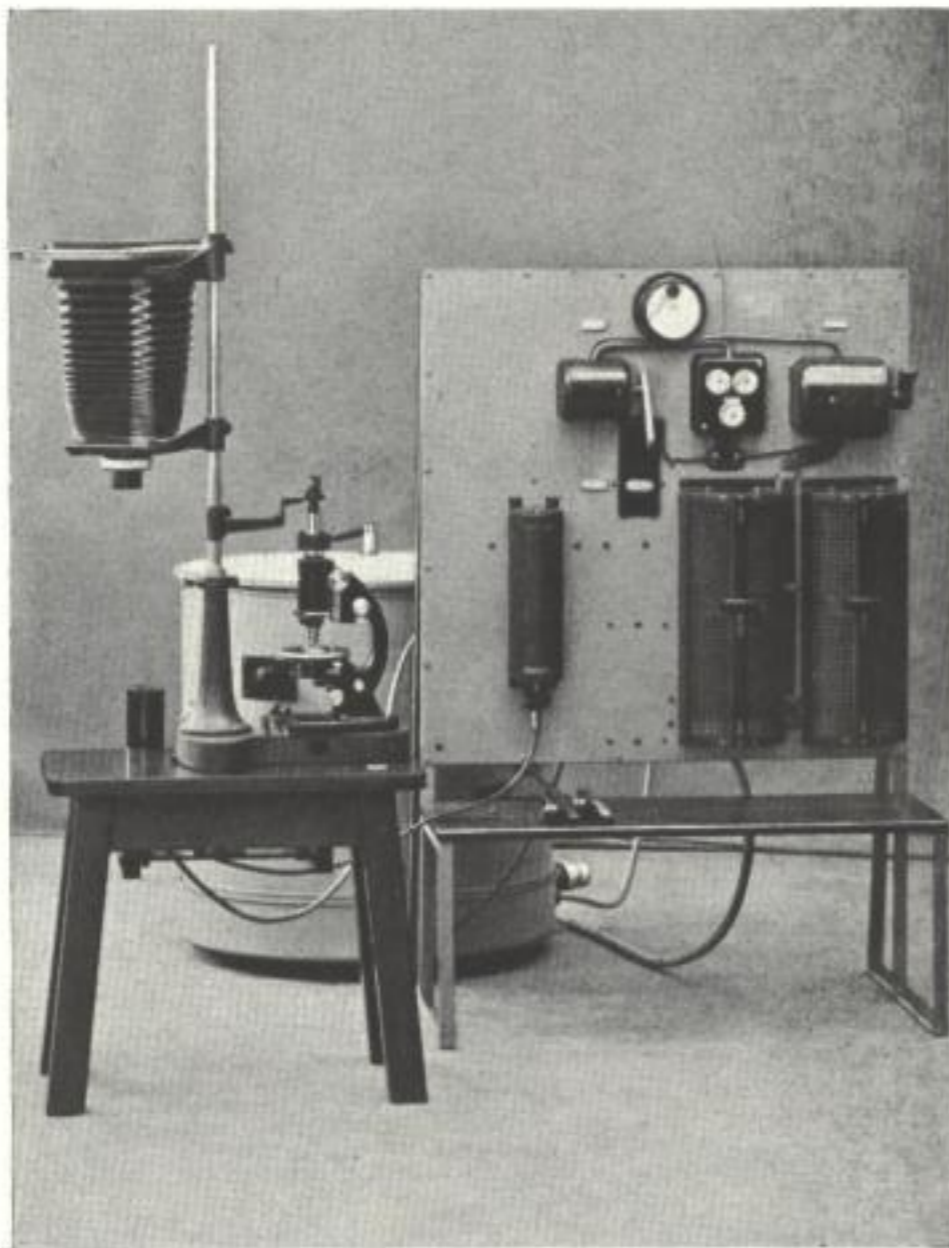


Fig. 127. UV-Mikroskop mit Sucher und Kamera. Werkphoto Zeiss.

Exponent dem des Quarzes angeglichen ist. Andere Immersionsflüssigkeiten, wie z. B. Zedernholzöl oder Kanadabalsam zu benutzen, ist nicht ratsam, da diese im ultravioletten Licht luminescieren und dadurch das Bild vollkommen verschleiern.

Die Zentrierung des Strahlenganges nimmt man am besten im sichtbaren Licht vor. Die letzte Einstellung jedoch muß im ultravioletten Licht geschehen. Hierbei überzeugt man sich zunächst mit Hilfe einer lumineszierenden Uranglasplatte, ob das Bild des Funkens in der Mitte der Kondensoröffnung liegt. Darauf beobachtet man mit einem schwachen Objektiv eine auf dem Objektisch liegende stark lumineszierende Substanz und stellt durch Heben des Kondensors größtmögliche Helligkeit ein. Der ausgeleuchtete Objektteil wird mit Hilfe der Zentrierschrauben des Kondensors in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht.

Eine genaue Scharfstellung des Objektes auf der Mattscheibe kann ohne weiteres nicht vorgenommen werden, da im allgemeinen die Lichterscheinung in der Mattscheibenebene zu schwach ist, um eine Uranglasplatte aufleuchten zu lassen, ganz abgesehen davon, daß die in der gesamten Dicke der Platte entstehende Lichtverteilung eine exakte Einstellung nicht zuläßt.

Man benutzt daher eine Hilfsvorrichtung, die über das Mikroskopokular gebracht wird (Fig. 127). Eine Quarzlinse vereinigt das vom Mikroskopokular kommende Licht in einer Ebene, in der sich eine dünne Uranglasplatte befindet, die bei der gegenüber dem Matt-

scheibe liegende Uranglasplatte befindet, die bei der gegenüber dem Matt-

scheibenbild stark verkleinerten Abbildung hell aufleuchtet. Das Bild auf der Uranglasscheibe kann mit einer starken Lupe aus gewöhnlichem Glas betrachtet werden. Die Brennweite der Quarzlinse ist so bemessen, daß man dann ein scharfes Bild auf der Uranglasscheibe erhält, wenn das Mikroskop das Objekt auf einer Mattscheibe in 33 cm Abstand vom Okular scharf abbildet. Auf diese Weise ist es möglich, das Mikroskop für eine feste Balgenlänge von 33 cm genau einzustellen. Diese Suchervorrichtung wird ausschwenkbar mit der photographischen Kamera geliefert, so daß zunächst scharf eingestellt und dann photographiert werden kann.

Mit Hilfe der Feineinstellung ist es möglich, das Objekt in seiner Tiefe abzutasten und von verschiedenen Objektebenen scharfe Bilder zu erhalten, zumal Immersionsobjektive, deren Schärfentiefe sehr gering ist, Objektebenen, die sich $0,5 \cdot 10^{-3}$ mm außerhalb der Einstellebene befinden, nicht mehr abbilden. Auf diese Weise werden optische Schnitte durch das Präparat gelegt, deren Gesamtheit dann das wahre Aussehen des Objektes vermittelt.

4. Infrarot-Mikroskopie.

Ähnlich wie im Ultraviolett weisen viele Substanzen im Infrarot, d. h. in einem Licht größerer Wellenlänge als das äußerste Rot, ein Absorptionsvermögen auf, das von dem im sichtbaren Licht vollkommen abweicht. So können z. B. viele biologische oder medizinische Präparate mit sichtbarem Licht nicht durchleuchtet werden. Man muß sie deshalb für die Photographie durch gewaltsame chemische Einflüsse, z. B. durch Chlorbleiche, durchsichtig machen, ein Verfahren, das auf Grund der hierdurch bedingten Veränderungen der Objekte nicht immer erwünscht ist.

Mit Hilfe des infraroten Lichtes können gerade diese Präparate ohne vorherige Behandlung durchleuchtet werden. Es war nur nötig, Sensibilisatoren zu schaffen, mit deren Hilfe photographische Platten mit hoher Infrarot-Empfindlichkeit hergestellt werden können. Die Agfa bringt heute Platten in den Handel, deren Empfindlichkeitsmaximum bei einer Wellenlänge von $0,960 \cdot 10^{-3}$ mm bzw. $0,855 \cdot 10^{-3}$ mm, $0,810 \cdot 10^{-3}$ mm, $0,730 \cdot 10^{-3}$ mm liegt. Die Agfa-Infrarot-Platte Rapid 810 z. B. eignet sich bei Verwendung eines Spezial-Filters sehr gut zur Abbildung von Insekten, deren brauner Chitinpanzer fast alles sichtbare Licht absorbiert.

Die Herstellung von Infrarot-Aufnahmen ist bei weitem nicht so kompliziert wie die Herstellung der Ultraviolett-Aufnahmen, da außer einigen Sperrfiltern keine neuen optischen Elemente für die Mikroaufnahme gebraucht werden.

Als Lichtquelle benutzt man am besten eine Glühlampe. Hier wirkt sich die Eigenschaft der Glühlampen, viele langwellige Strahlen auszusenden, günstig aus.

Da man im infraroten Licht ebenso wie bei der Ultraviolett-Mikroskopie die Aufnahme nicht subjektiv scharf stellen kann, muß man zu besonderen Hilfsmitteln greifen. Hier soll eine Methode beschrieben werden, die sich besonders für Achromate anwenden läßt. Die Objektive werden in Verbindung mit Okularen verwendet, deren farbige Korrektur derjenigen der Objektive mindestens nahekommt (z. B. die Kompensations-Okulare).

Bei achromatischen Objektiven werden die Bildbrennweiten für zwei Wellenlängen (der orangefarbenen Spektrallinie C und der blaugrünen F) zusammengelegt (vgl. S. 29). Der Schnittpunkt der gelbgrünen Strahlen liegt ein wenig näher am Objektiv, während alle Farben jenseits von Orange und Blaugrün weiter vom Objektiv weg liegen (vgl. Fig. 19). Man erkennt zwischen den Spektrallinien e und E die stärkste Abweichung im Gelbgrün (Unterkorrektur). Die Linien C und F weisen keine Abweichungen auf. Jenseits C und F findet ein starker Anstieg der Aberration statt.

Für die kommende Untersuchung sei die Agfa-Extra-Rapid-Platte 810 zugrunde gelegt, deren photographisch wirksame Wellenlänge bei $0,81 \cdot 10^{-3}$ mm (≈ 8100 Ångström-Einheiten in der Figur) liegt. Die dieser Wellenlänge entsprechende farbige Abweichung ist in der Kurve eingetragen. Kennt man den Verlauf der Kurve, so kann man feststellen, um wieviel man das Mikroskop nachstellen muß, um für die wirksame Wellenlänge $0,81 \cdot 10^{-3}$ mm ein scharfes Bild zu erhalten. Da der Verlauf der Kurve für alle Achromate¹⁾ ähnlich ist, genügt es, zwei Punkte der Kurve zu ermitteln, um daraus die Verstellung für das Infrarot-Gebiet extrapolieren zu können. Es erweist sich günstig, zwei im Spektrum möglichst weit entfernte Punkte zu beobachten, die natürlich in der Figur links von dem Minimum liegen müssen. Man stellt hierbei zunächst mit einem Gelbgrün-Filter das Bild scharf ein. Die Scharfeinstellung wird mit einem strengen Rotfilter wiederholt. Der Unterschied der beiden Einstellungen wird an der Mikrometerschraube der Feineinstellung abgelesen.

In Fig. 19 ergibt sich als farbige Abweichung zwischen den beiden Meßpunkten die Strecke a . Aus der Figur wird abgelesen, daß die farbige Abweichung vom äußersten noch sichtbaren Rot bis zum Gebiet des für die Agfa-Platte 810 wirksamen Lichtes von $0,81 \cdot 10^{-3}$ mm eine

¹⁾ Voraussetzung hierbei ist, daß die Objektive im ultraroten Gebiet noch genügend gute Korrektur (Sphäro-Chromasie) aufweisen.

farbige Abweichung auftritt, die doppelt so groß ist wie die farbige Abweichung, die im sichtbaren Gebiet zwischen dem äußersten Rot und dem Gelbgrün besteht (d. h. $2a$). Um ein scharfes Bild zu erhalten, muß man demnach von der Einstellung im äußersten Rot aus den Mikroskop-Tubus um den doppelten Betrag der Verstellung zwischen Gelbgrün und Rot heben.

Bei Verwendung von Apochromaten ist die Einstelldifferenz für Abbildung mit roten und infraroten Strahlen geringer. Es genügt hier meistens, das Objekt im äußersten Rot scharf zu stellen und die Ultrarot-Aufnahme bei derselben Einstellung vorzunehmen. Exakter ist es allerdings, bei verschiedener Stellung der Mikrometerschraube, die ohne toten Gang arbeiten muß, Streifenaufnahmen herzustellen, um für die endgültige Aufnahme die schärfste Einstellung zu ermitteln. Besonders geeignet hierfür ist der Zeiss-Multiplikator, der Streifenaufnahmen von ein und derselben Stelle bei verschiedener Einstellung herzustellen gestattet.

Das physikalische Auflösungsvermögen bei Infrarot-Photographie ist entsprechend der größeren Wellenlänge geringer als bei Photographie mit sichtbarem Licht. Man muß demnach mit Objektiven großer numerischer Apertur arbeiten, ein Verfahren, das sich auf die Schärfentiefe ungünstig auswirkt.

5. Luminescenz-Mikroskopie.

Treffen ultraviolette Lichtstrahlen auf ein Objekt, so sendet dieses unter Umständen eine sichtbare Strahlung aus. Es wandelt demnach die kurzwelligen, ultravioletten Strahlen in langwellige, sichtbare um und wird damit zum Selbstleuchter. Diese Eigenschaft des Objektes, die man Luminescenz nennt, tritt bei organischen Substanzen, vor allen Dingen bei Pflanzengewebe (Chlorophyll) und tierischen Geweben, auf. Ferner weisen manche Mineralien, z. B. Schmirgel, stark leuchtende Luminescenz auf. Andere Objekte werden mit lumineszierenden Farbstoffen getränkt und geben auf diese Weise Leuchterscheinungen, auch wenn sie an sich nicht lumineszieren.

Im Gegensatz zu der Beobachtung im ultravioletten Licht wird bei der Luminescenz-Mikroskopie das ultraviolette Licht nur bis zum Objekt herangezogen und von da aus möglichst ausgeschaltet. Die Art der Beleuchtung spielt dabei keine Rolle, da die beleuchtenden ultravioletten Strahlen nur die Aufgabe haben, das Objekt zur Aussendung sichtbarer Strahlen anzuregen. Man wählt daher im allgemeinen sowohl für Durchlicht- wie für Auflicht-Mikroskopie Dunkel-feldbeleuchtung, die alle direkt in das Objektiv fallenden ultravioletten

Strahlen ausblendet. Auf diese Weise wird die Lumineszenz der Objektive (Kittflächen) weitgehend vermieden.

Die Leuchterscheinungen bei Lumineszenz-Mikroskopie sind kontrastreich, aber sehr lichtschwach. Das Objekt muß daher mit einer Lichtquelle hoher Leuchtdichte beleuchtet werden. Besonders gut eignet sich der an ultraviolettem Licht reiche Flammenbogen einer Kohlenbogenlampe, vor allem, wenn die Kohlen Nickel- oder Eisensalze enthalten (z. B. Nickeldochtkohlen). Als Lampenkollektor be-

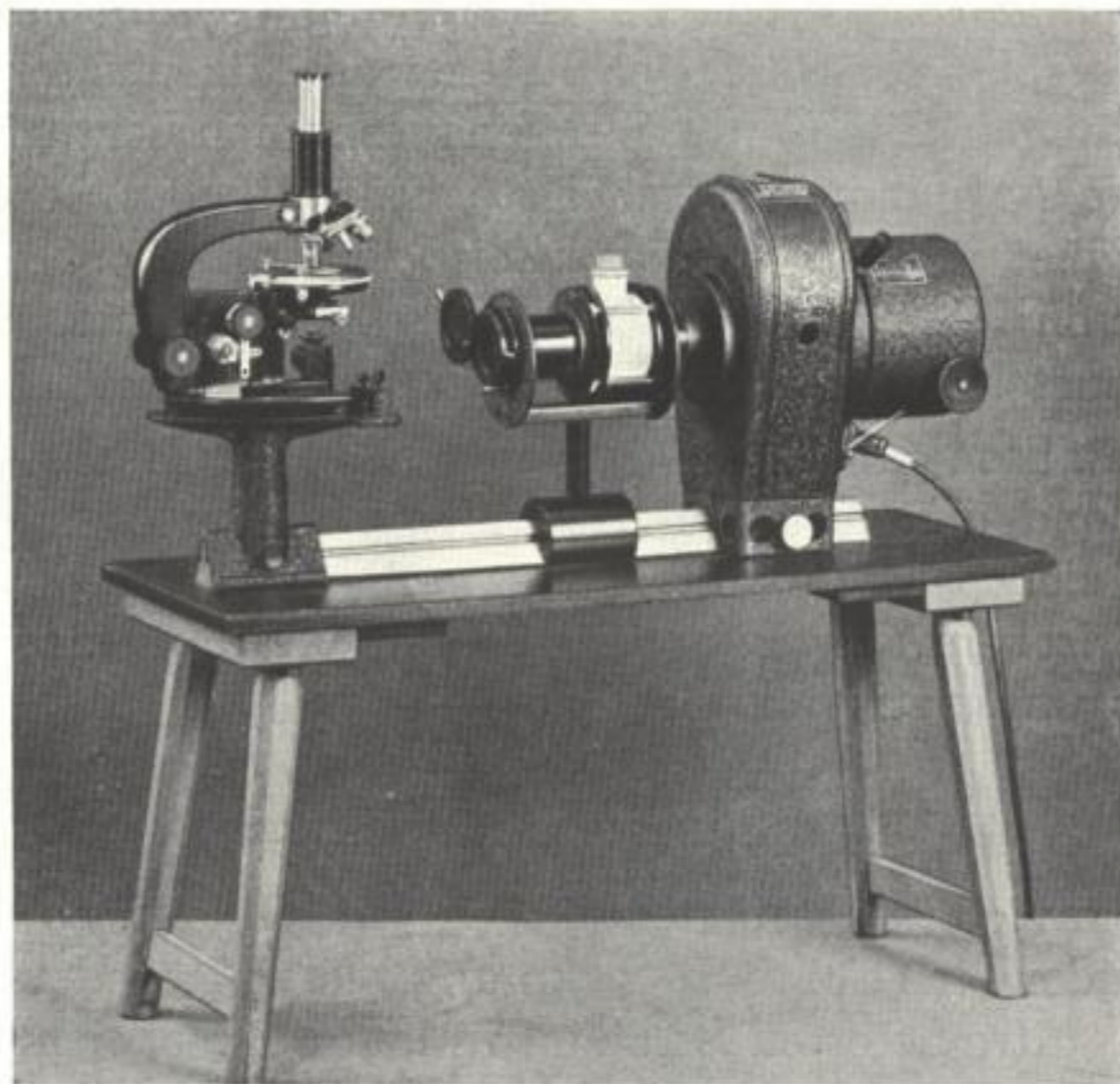


Fig. 128. Lumineszenz-Mikroskop. Werkphoto Zeiss.

nutzt man eine Quarzlinse, die für ultraviolette Strahlen gut durchlässig ist (vgl. auch S. 126). An Stelle des Quarzkollektors kann auch ein, am besten verchromter, Spiegel zur Abbildung der Lichtquelle benutzt werden.

Das Objekt darf nur mit ultraviolettem Licht beleuchtet werden, da das lichtschwache Lumineszenz-Bild durch zusätzliche Bestrahlung des Objektes mit sichtbarem Licht nicht mehr zu sehen ist. Man schaltet daher ein Schwarzglasfilter in Verbindung mit einer Kühlkuvette mit 5- bis 20proz. Kupfersulfatlösung in den Strahlengang (Fig. 48 und 128). Das Schwarzglas ist für das zur Lumineszenz-Mikroskopie benutzte Licht der Wellenlänge $0,3 \cdot 10^{-3}$ mm bis $0,4 \cdot 10^{-3}$ mm durchlässig, während es alles sichtbare Licht bis auf den äußersten roten

Teil absorbiert. Dieses Rot wird aber von der Kupfersulfatlösung nicht durchgelassen.

Der Objektträger bei Durchlicht-Beleuchtung besteht aus Bergkristall oder dem billigen Uviolglas, dessen Durchlässigkeit für das bei Lumineszenz-Mikroskopie verwendete relativ langwellige Ultraviolett ausreicht. Das Deckglas soll aus normalem Glas oder besser aus dem Ultraviolett besonders absorbierenden Euphosglas bestehen, da, wie bereits hervorgehoben, alles ultraviolette Licht, das im Objektiv Lumineszenz veranlassen könnte, vernichtet werden muß. Es ist darauf zu achten, daß Objektträger und Deckglas frei von lumineszierenden Substanzen sind, deren Leuchterscheinung das Bild der eigentlichen Objektstruktur fälscht. Man reinigt sie deshalb in Chromschwefelsäure und spült sie mit Wasser und lumineszenzfreiem Alkohol ab. Der Alkohol wird zu diesem Zweck ein- bis zweimal bis auf einen Rückstand von 10% bis 15% seines Volumens destilliert. Die noch durch Objekt und Okular dringenden Reste von ultraviolettem Licht müssen durch ein über dem Okular befindliches Sperrfilter aus Euphosglas beseitigt werden, da auch die Hornhaut des Auges luminesziert. Außerdem schwärzt die restliche Ultraviolett-Strahlung das photographische Bild stark und verschlechtert damit die Auflösung und den Kontrast im Bild.

Die lichtschwachen Lumineszenz-Bilder sollen zur Vermeidung allzu langer Belichtungszeit mit einem Objektiv hoher Apertur, aber mit kleinem Abbildungsmaßstab aufgenommen werden. Die photographische Platte muß eine hohe Allgemein-Empfindlichkeit haben. Die Belichtungszeiten betragen je nach der Beleuchtungsart 1–20 Minuten.

Wie schon erwähnt, zeigen viele organische und anorganische Substanzen im unbehandelten Zustand leuchtende Lumineszenz-Farben. Diese Eigenlumineszenz (auch primäre Lumineszenz genannt) beobachtet man besonders gut an Pflanzenquerschnitten im durchfallenden Licht. Hierbei ist zu beachten, daß durch das Präparieren der Objekte die Eigenlumineszenz erhalten bleibt. Die Schnitte werden in Formalindämpfen fixiert. Alle anderen Fixierungsmittel, z. B. Chromsäure, zerstören die Lumineszenz. Wässrige Lösung von Formalin löst die lumineszierenden Substanzen und verschleiert auf diese Weise das gesamte Bild. Zum Einschluß benutzt man Glycerin oder Paraffinöl, da wässrige Lösungen aus vorgenannten Gründen vermieden werden müssen. Zur Umrandung sollen ebenfalls nur Substanzen verwendet werden, die sich im Einschlußmedium nicht lösen, am besten venezianischer Lack.

Substanzen, die von sich aus nicht lumineszieren, können mit lumineszierenden Stoffen behandelt werden. Der Vorteil dieser Unter-

suchungsart gegenüber der Untersuchung gefärbter Objekte besteht darin, daß die lumineszierenden Stoffe nur sehr verdünnt (1:1000 bis 1:500 000) angewendet werden. Dabei ist es möglich, daß mit Hilfe eines einzigen lumineszierenden Stoffes (Fluorochrom¹⁾) das Objekt in den verschiedensten Farben aufleuchtet. Wird nämlich das Fluorochrom vom Gewebe festgehalten, so leuchtet es je nach der chemischen Einwirkung von Gewebe und Fluorochrom aufeinander entweder in der Eigenfarbe oder in einer von dieser völlig verschiedenen Farbe auf. Besitzt das Gewebe Eigenlumineszenz, so mischen sich die Farben von Gewebe und Fluorochrom miteinander (Mischlumineszenz). Schließlich kann noch der Fall eintreten, daß durch chemische Reaktion von Gewebe und Fluorochrom miteinander jede Lumineszenz verschwindet, so daß diese Gewebeteile dunkel in heller Umgebung liegen.

Weisen biologische Objekte bei Auflichtbeleuchtung störende Reflexe auf, so kann man sie mit einem Fluorochrom behandeln und im Lumineszenzlicht untersuchen. Da jetzt die Objekte reine Selbstleuchter sind, ist die Abbildung reflexfrei.

6. Photographie von Profilen.

Bei der Überprüfung der Arbeitsweise einzelner Maschinenelemente, z. B. des Eingriffes zweier Zahnräder, ist es notwendig, den Umriß

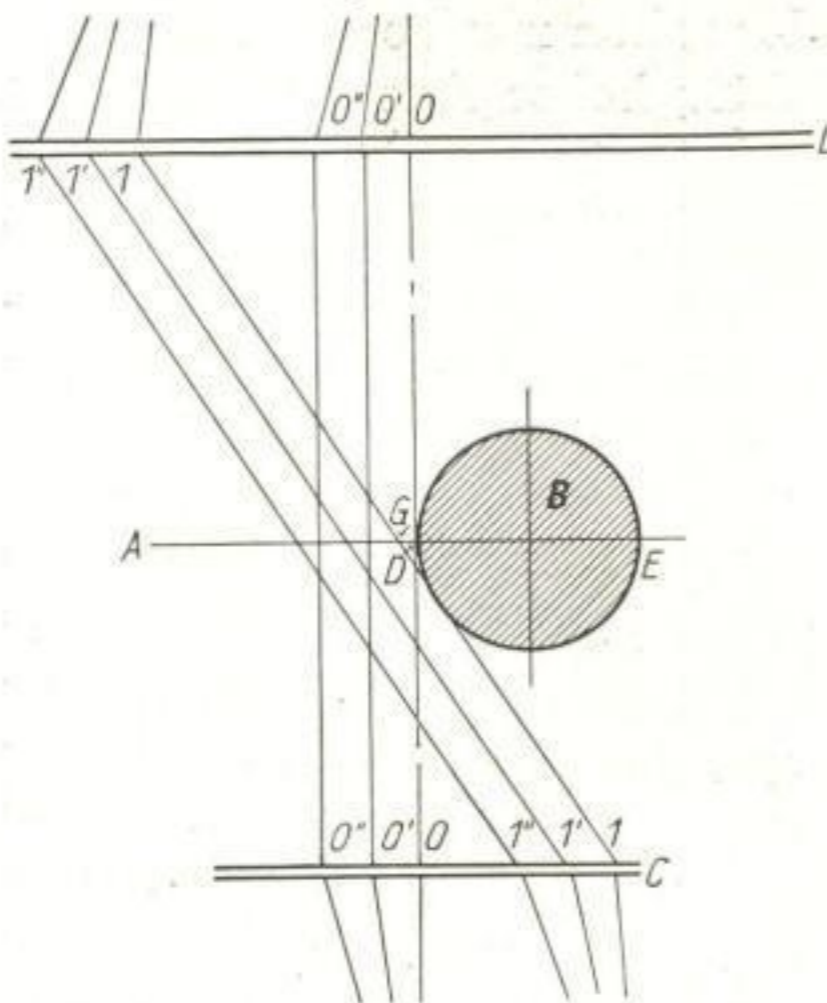


Fig. 129a. Abbildung eines Gewindebolzens.

dieser Teile zu untersuchen. Man erzeugt hierzu ein Schattenbild des betreffenden Teiles und beobachtet es mit einem Mikroskop, dessen Vergrößerung sich nach der Genauigkeit, die eingehalten werden soll, und nach der Größe des Objektes richtet. In der Ebene des Zwischenbildes, das mit einem RAMSDENschen Okular beobachtet wird, befindet sich im allgemeinen eine Strichplatte, die das Sollprofil des Werkstückes angibt. Bei der Photographie stellt man zunächst durch Verschieben des Okulares das Strichplattenbild auf der Mattscheibe und darauf das Objekt durch Bewegen

¹⁾ Die Bezeichnung Fluorochrom ist physikalisch nicht ganz exakt. Man versteht unter Fluoreszenz ein nachhaltendes Leuchten eines mit ultraviolettem Licht bestrahlten Körpers, während bei Lumineszenz das Leuchten nur während der Bestrahlung stattfindet.

des Mikroskoptubus ein, so daß Strichplatte und Objekt gleichzeitig scharf erscheinen.

Profilbilder von dünnen Objekten lassen sich ohne Schwierigkeit herstellen, vorausgesetzt, daß die verwendete Optik sphärisch und farblich einwandfrei und vor allen Dingen verzeichnungsfrei abbildet.

Die Güte der Abbildung dicker Objekte wird durch die Schärfentiefe der verwendeten Optik beeinflußt. Die günstigste Anordnung soll an Hand der Abbildung eines Gewindeprofils von 4 mm Steigung und 40 mm Flankendurchmesser besprochen werden.

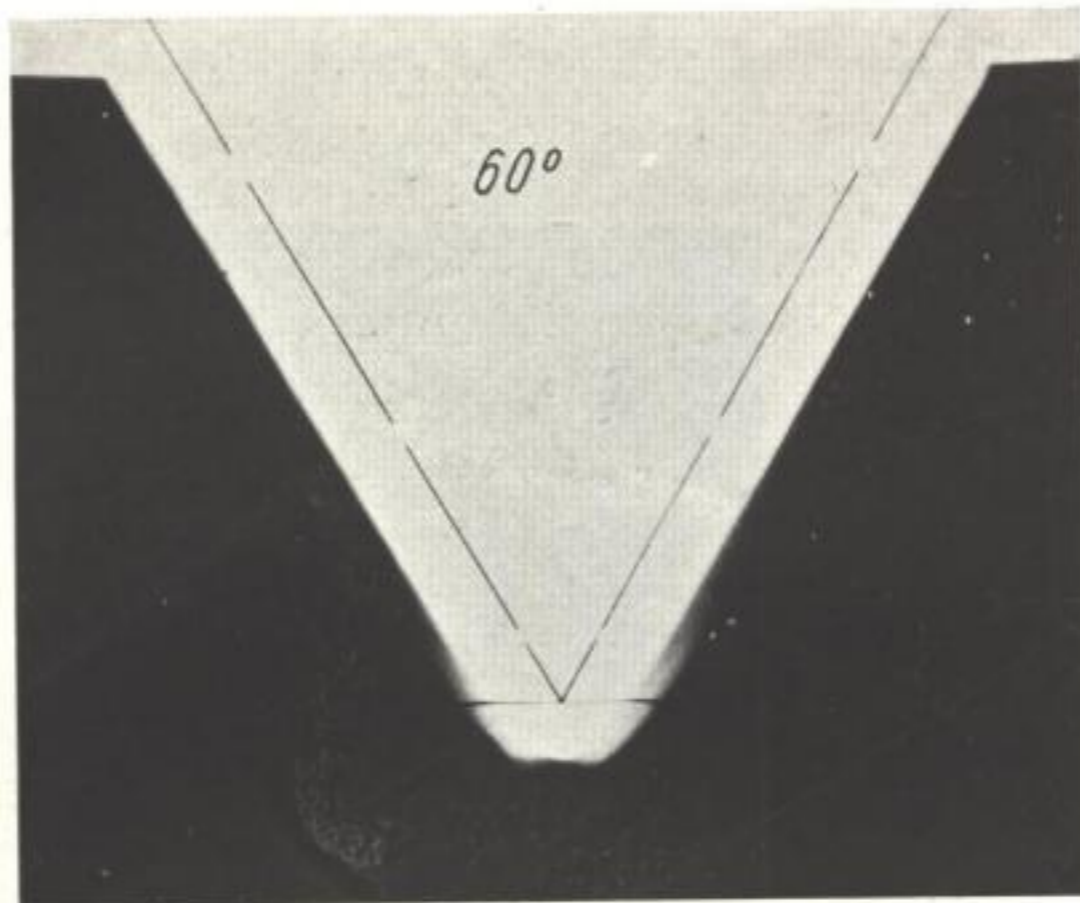


Fig. 129b. Ungenaue Abbildung des Gewindekernes durch zu hohe Apertur der beleuchtenden Strahlen. Werkphoto Lindner, phot. Dr. STADE.

In Fig. 129a ist der Gewindebolzen *B* dargestellt. Er wird von einer Beleuchtungseinrichtung mit dem Kondensator *C* beleuchtet. Das Mikroskop mit dem Objektiv *L* ist zur Erzeugung eines Achsenschnittbildes¹⁾ des Profils auf die Ebene *AE* senkrecht zur optischen Achse *OO* eingestellt. Alle Lichtstrahlen, die parallel zur optischen Achse verlaufen (*O'O'*; *O''O''* . . .), erzeugen ein Bild, in dem die Strecke *AD* hell, die Strecke *DE* dunkel erscheint. Strahlen, die gegen die optische Achse geneigt sind (z. B. *11*; *1'1'*; *1''1''* . . .), verändern die Schattengrenze (durch die Strahlen *11* rückt sie z. B. von *D* nach *G*). Man erhält demnach an Stelle eines wahrheitsgetreuen Bildes der Schattengrenze *D* ein Halbschattengebiet, dessen Größe sich nach dem Winkel richtet, den die beleuchtenden Strahlen mit der optischen Achse einschließen. Die Ausbildung des Halbschattens ist von der Apertur

¹⁾ Unter Achsenschnitt eines Gewindebolzens versteht man einen Schnitt durch seine Drehachse. In Fig. 129a ist z. B. *DE* die Spur eines Achsenschnittes.

der beleuchtenden Strahlen abhängig. Wie aus Fig. 129b hervorgeht, ist eine einwandfreie Messung des Profils auf diese Weise unmöglich¹⁾.

Um eine einwandfreie Abbildung des Profils zu erhalten, muß man demnach alle gegen die optische Achse geneigten Strahlen ausschalten. Dies geschieht am besten durch Anwendung des KÖHLERSchen Beleuchtungsprinzips, das eine Veränderung der beleuchtenden Apertur gestattet (Fig. 130). Die Lichtquelle Q wird vom Kollektor K am Ort der Aperturblende Bl abgebildet. Bl steht im Brennpunkt des Kon-

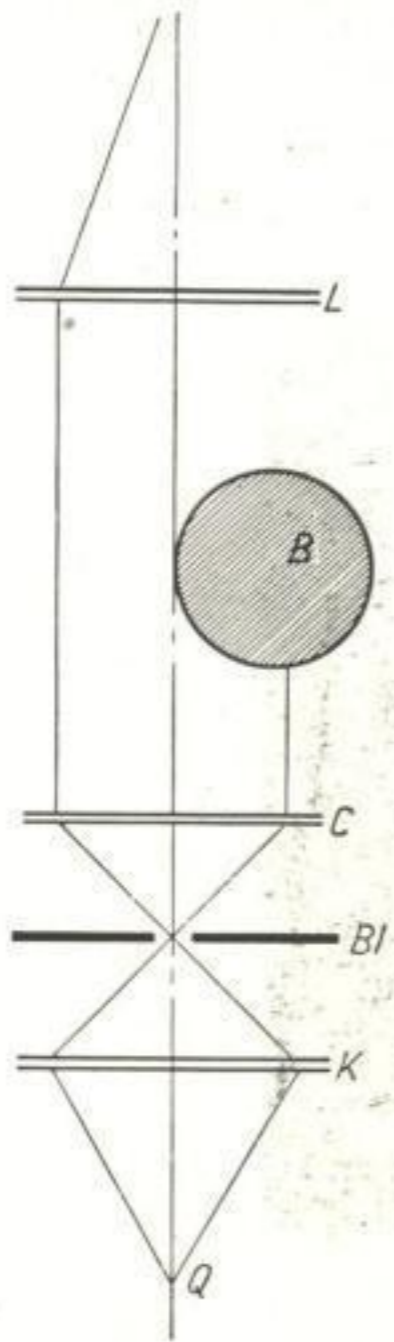


Fig. 130. KÖHLERScher Strahlengang bei Profilprojektion.

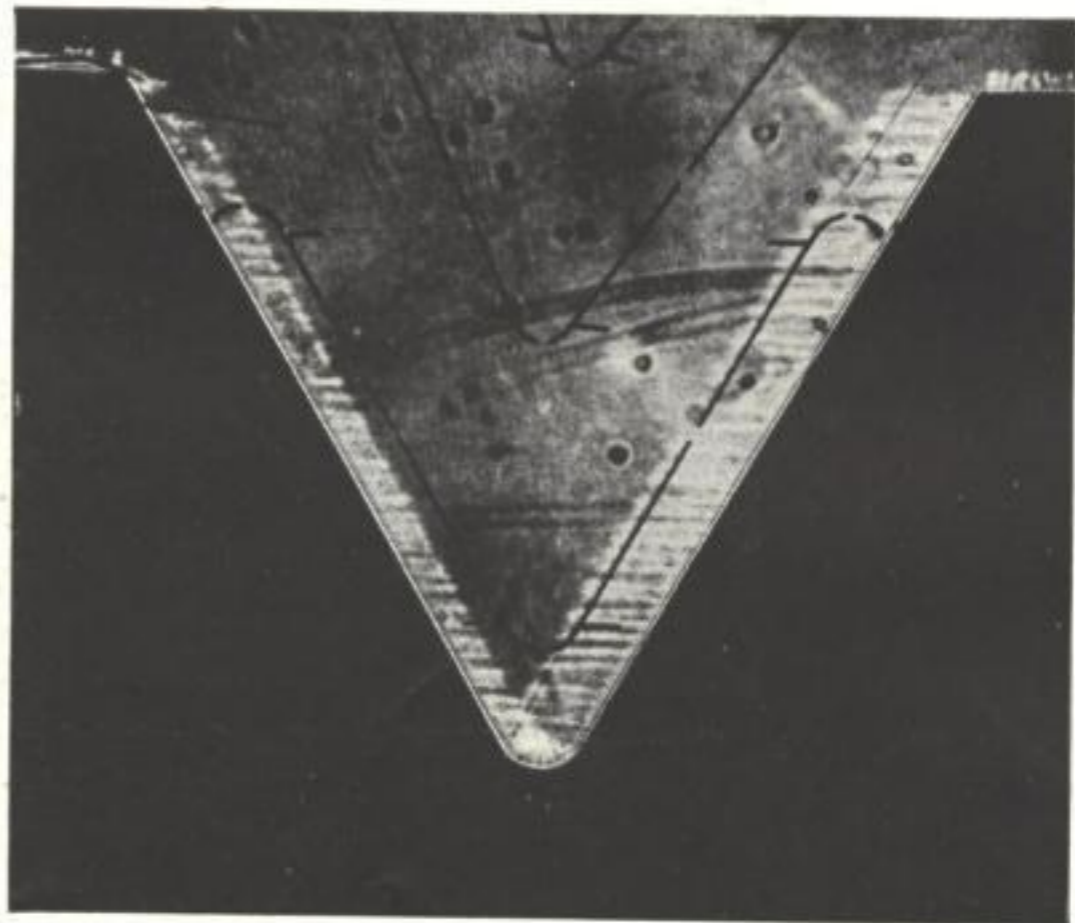


Fig. 131. Gewindeprofil bei stark geschlossener Kondensorblende. Werkphoto Lindner, phot. Dr. STADE.

densors C . Ist Bl stark geschlossen, so treten nur achsenparallele Strahlen aus, die im Brennpunkt des Objektivs vereinigt werden. Wie auf S. 22 auseinandergesetzt wurde, erhält man hierbei reine Nichtselbstleuchter-Abbildung. Es ist demnach starke Beugung am Objekt zu erwarten, die man tatsächlich erhält, wie aus den parallel zum Profil verlaufenden dunklen Linien der Fig. 131 zu erkennen ist. Bemerkenswert ist bei dieser Abbildung die starke Aufhellung längs des Profils, die durch Reflexe am Werkstück zu erklären ist.

¹⁾ Um die Ausbildung des Schattenrisses besser zeigen zu können, wurde die in der Abbildung sichtbare Strichplatte so gedreht, daß die Profilzeichnung mit keiner Flanke des Gewindes zur Deckung kam.

Ist das Objekt nicht übermäßig dick, so kann man durch Regulierung der Blende *Bl* eine Zwischenstellung finden, bei der die Schärfentiefe der Abbildung ausreicht, ohne daß störende Beugung auftritt. So wurde in Fig. 132 ein einwandfreies Schattenbild erreicht. Eine weitere Verbesserung der Abbildung von Gewindebolzen mit großem Durchmesser erhält man, wenn man neben der Apertur der beleuchtenden Strahlen auch die Apertur der abbildenden Strahlen verringert. Wie aus Fig. 129a hervorgeht, kann man die Strahlen 11... auch durch Abblendung in der hinteren Brennebene des Objektivs beseitigen. Man erreicht durch mäßiges Schließen der Aperturblenden von *Kondensator und Objektiv* eine einwandfreie Abbildung von Profilen

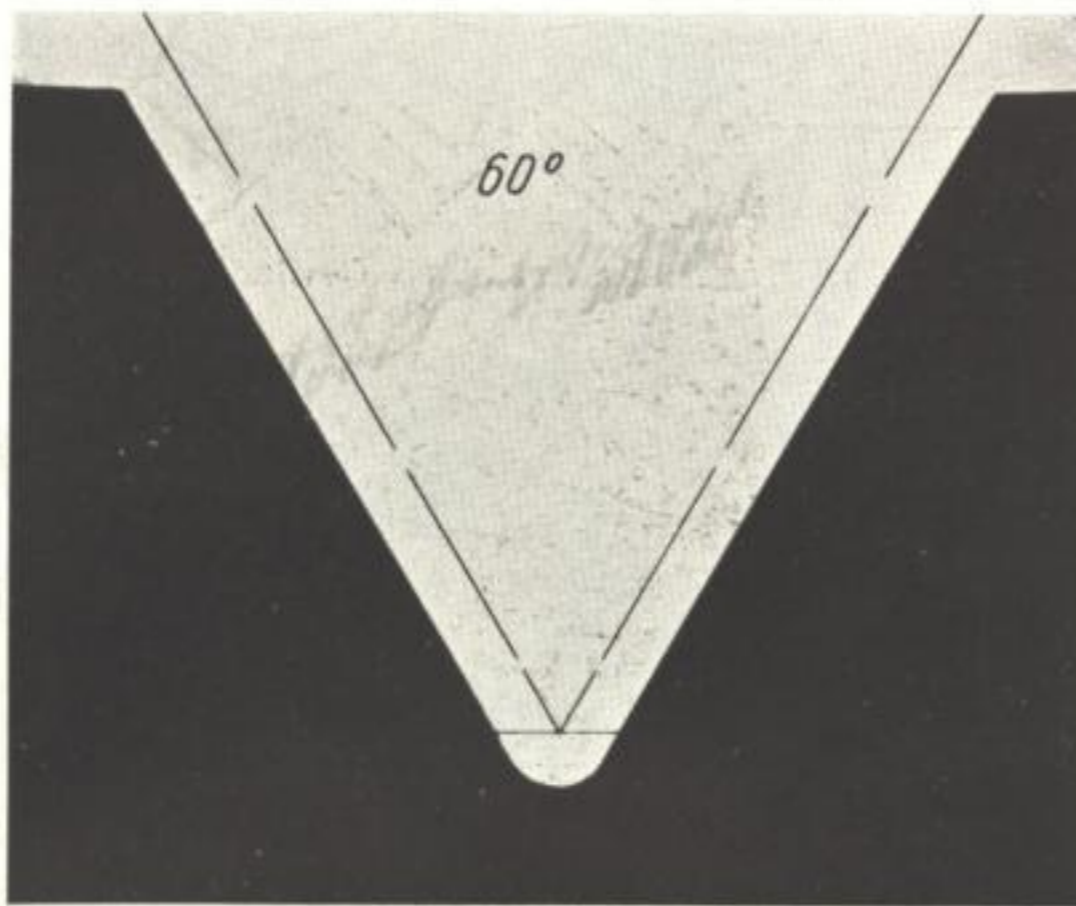


Fig. 132. Einwandfreie Abbildung eines Gewindes. Werkphoto Lindner, phot. Dr. STADE.

großer Dicke, eine Tatsache, die bisher bei der Konstruktion von Profil-Mikroskopen nicht berücksichtigt wurde.

Die bisherigen Betrachtungen sind auf alle Arten von Profilrollen oder Gewindebolzen anwendbar. Die Abbildung der Gewindebolzen bietet jedoch noch eine weitere Schwierigkeit, die mit der Steigung des Gewindes zusammenhängt.

In Fig. 133a ist die Draufsicht auf einen Gewindebolzen dargestellt, und zwar wurde hierbei der Achsenschnitt besonders stark hervorgehoben. Der Einfachheit halber wurde auf Darstellung von Spitzen- und Kernabrundungen verzichtet. Die Projektion fand senkrecht zur Achsenschnittebene auf diese statt. Es ergibt sich demnach ein Bild, das dem bei Beleuchtung des Bolzens mit parallelem Licht senkrecht zur Achsenschnittebene entspricht. Man erkennt aus Fig. 133a, daß das Bild des Achsenschnittes von

Teilen der Gewindeflanke überdeckt wird, die über oder unter der Achsenschnittebene liegen. Man erhält demnach ein Profilbild, das durch unscharf abgebildete Teile des Gewindes überlagert bzw. überschattet wird. Daneben treten noch Reflexe an den Gewindeflanken auf, die ein unbrauchbares Bild gemäß Fig. 133b ergeben.

Zur Vermeidung dieses Fehlers ist es notwendig, die Beleuchtungsstrahlen im Steigungswinkel des Gewindes auf das Objekt fallen zu

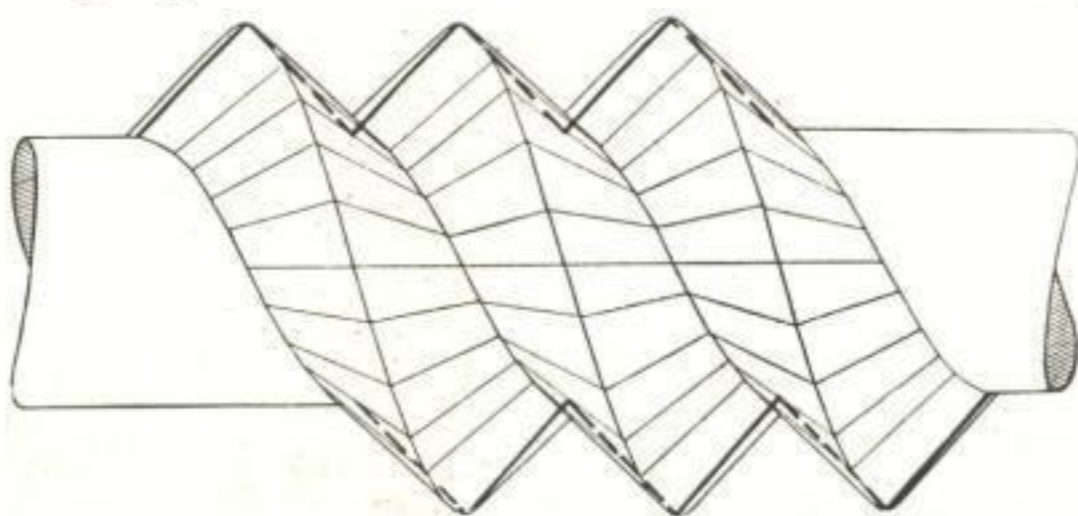


Fig. 133a. Draufsicht auf einen Gewindebolzen.

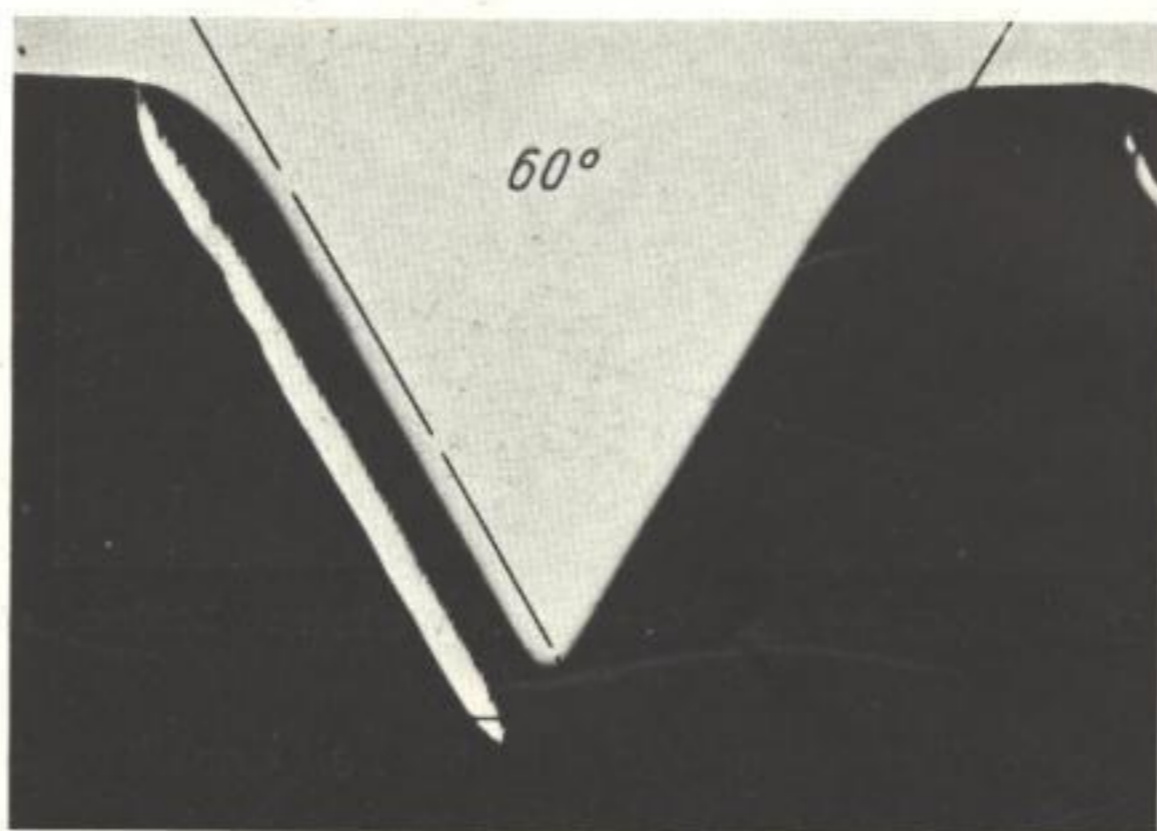


Fig. 133b. Fehlerhafte Abbildung eines Gewindes durch falsche Beleuchtung.
Werkphoto Lindner, phot. Dr. STADE.

lassen (vgl. Fig. 134), da dann, wie man sich leicht an Hand von Fig. 133a überlegt, die gezeichneten Sinuslinien in Gerade übergehen. Um eine unverzerrte Wiedergabe des Profils zu erreichen, muß hierbei das abbildende Objektiv in seiner ursprünglichen Lage verbleiben. Es wird, wie aus Fig. 134 hervorgeht, einseitig beansprucht, worauf bei der Korrektur des Objektivs Rücksicht zu nehmen ist.

Beim Schrägstellen von Beleuchtung und Mikroskop beobachtet man den Senkrechtschnitt, der bei kleinen Steigungen kaum merkbar vom Achsenschnitt abweicht. Man begnügt sich deshalb im allgemeinen damit, entweder das Mikroskop oder aber den Gewindebolzen ent-

sprechend dem Steigungswinkel anzukippen, wie es z. B. bei dem in Fig. 135 gezeigten Werkstatt-Meßmikroskop der Fall ist (vgl. auch Fig. 33). Dieses Gerät vereinigt Beleuchtungseinrichtung, Objektisch mit Mikrometerverstellung, Mikroskop mit Revolverstrichplatte und Balgenkamera. Beim Schwenken des Mikroskops bewegt sich gleichzeitig die Kamera mit, so daß auf der Mattscheibe keine zusätzliche Verzerrung des Profils festzustellen ist.

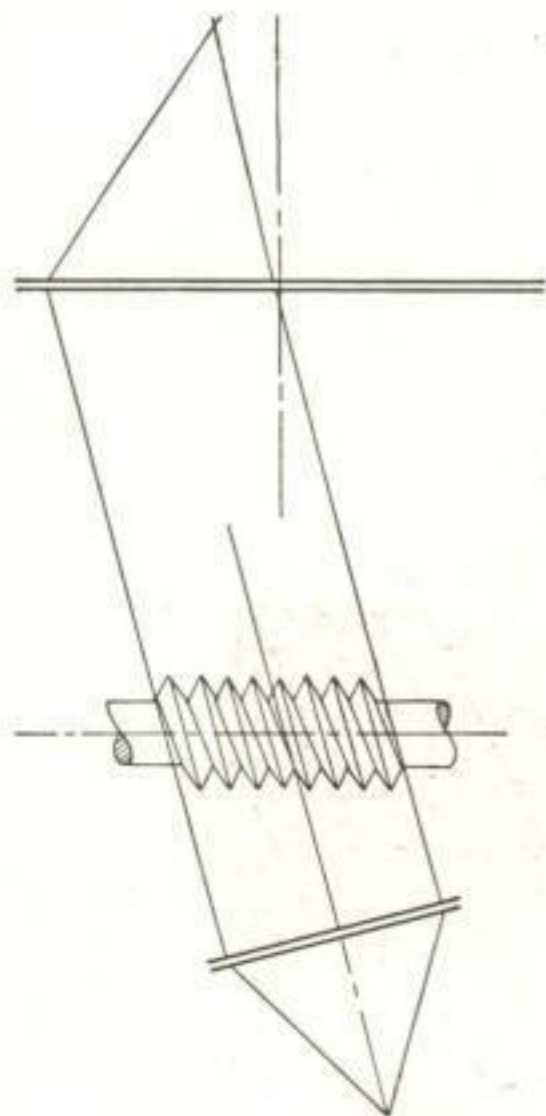


Fig. 134. Korrekte Beleuchtung eines Gewindebolzens.



Fig. 135. Werkstatt-Meßmikroskop.

7. Untersuchung und Beurteilung von Oberflächen.

Es besteht bei vielen, vor allem technischen Untersuchungen die Notwendigkeit, ein Bild von der Oberfläche des betreffenden Prüfstückes zu erhalten. Ein Auflicht-Mikroskop läßt zwar jede Ungleichmäßigkeit der Oberfläche erkennen, gestattet jedoch nicht, deren Tiefe zu bestimmen.

Hat man die Bearbeitung der zu untersuchenden Oberfläche in der Hand, so kann man, wenn man Zeit und Mühe nicht scheut, die Tiefe der Unregelmäßigkeiten dadurch messen, daß man das Prüfstück senkrecht zur bearbeiteten Oberfläche schneidet, schleift und poliert. Die gesuchte Furchentiefe erkennt man dann bei Beobachtung der Kante der polierten Fläche. Um ein Abrunden der Prüfkante beim Schleifen und Polieren zu vermeiden, schleift und poliert man zwei

Stücke des zu untersuchenden Werkstoffes vor der Bearbeitung, kittet oder lötet die polierten Flächen aneinander und bearbeitet das gesamte Stück dann senkrecht zu den verkitteten Flächen. Zieht man die beiden Stücke wieder voneinander ab, so erhält man bei Beobachtung der Kante einer der polierten Flächen ein einwandfreies Profil der Furchen.

Führt man den Schnitt nicht senkrecht zur bearbeiteten Oberfläche, sondern schräg zu ihr aus, so erhält man ein entsprechend dem Schnittwinkel verzerrtes Profil, das auch bei Beobachtung der bearbeiteten Fläche selbst erkannt werden kann.

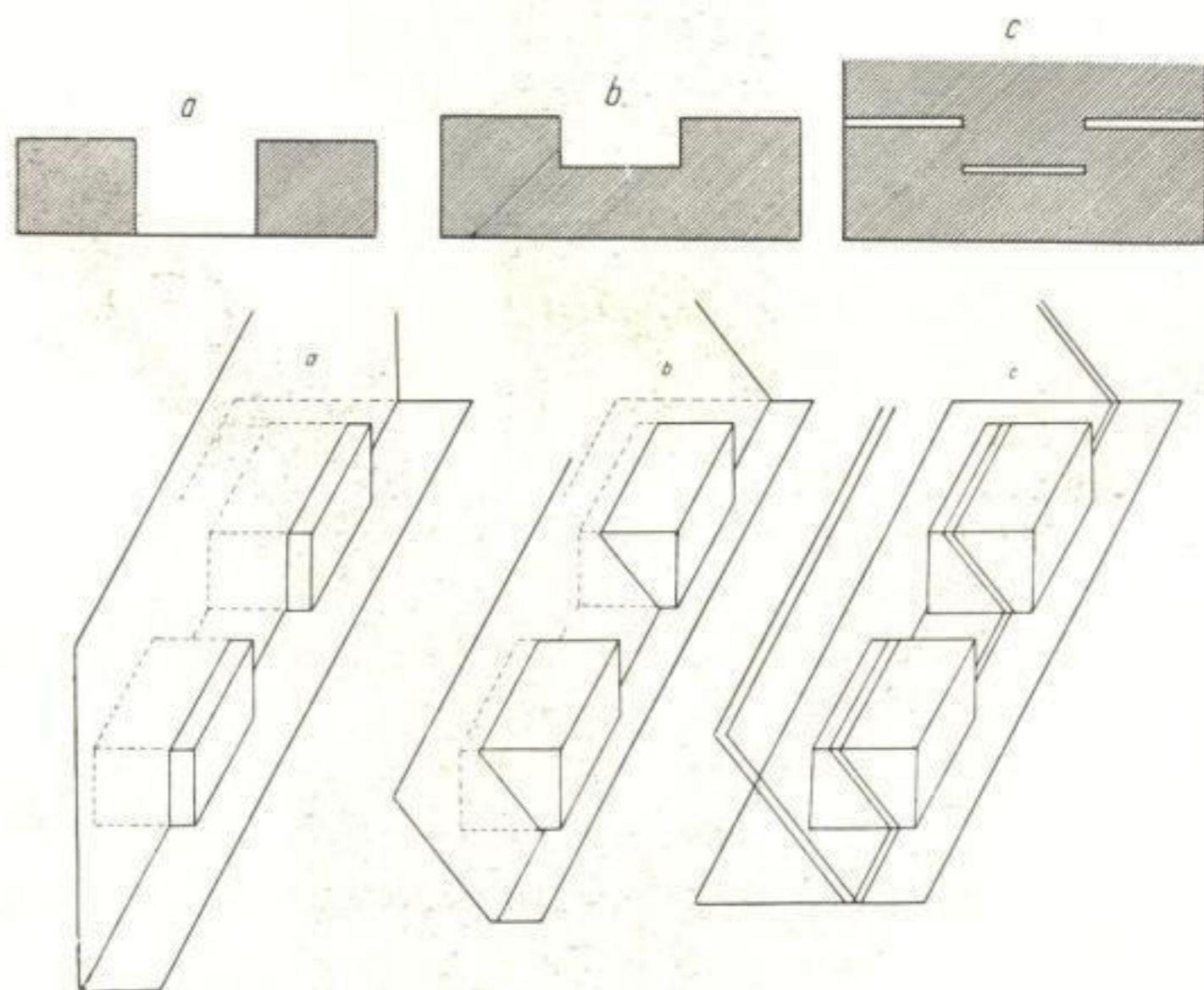


Fig. 136. Oberflächenprofil. *a* Schnitt senkrecht zur bearbeiteten Oberfläche; *b* Schnitt schräg zur bearbeiteten Oberfläche; *c* Lichtschnitt.

In Fig. 136 ist ein einfaches Werkstück dargestellt, das in verschiedener Weise geschnitten wurde. Fig. 136a zeigt das Bild beim Schnitt senkrecht zur bearbeiteten Oberfläche, Fig. 136b beim Schnitt schräg zur Oberfläche. In Fig. 136a wird die Schnittfläche, in Fig. 136b die bearbeitete Oberfläche beobachtet.

An Stelle des mechanischen Schnittes, der die Zerstörung des Werkstückes erfordert, kann man den Schnitt auch optisch ausführen, sog. Lichtschnitt, indem man unter einem Winkel, der dem Schnittwinkel in Fig. 136b entsprechen soll, einen Spalt auf der zu prüfenden Oberfläche abbildet. Das Bild der beiden Spaltkanten entspricht im Bereich der Schärfentiefe je einer Schnittebene. Die Beobachtung senk-

recht zur Werkstück-Oberfläche muß demnach ähnliche Bilder wie in Abb. 136b ergeben (vgl. Fig. 136c).

Natürlich kann die Beobachtung des Spaltbildes auch unter einem von 90° verschiedenen Winkel gegen die bearbeitete Fläche erfolgen. Es findet eine nochmalige Verzerrung des Bildes statt, die bei der Auswertung der Bilder leicht berücksichtigt werden kann. Empfehlenswert ist, die Beobachtung symmetrisch zur Abbildung des Spaltes

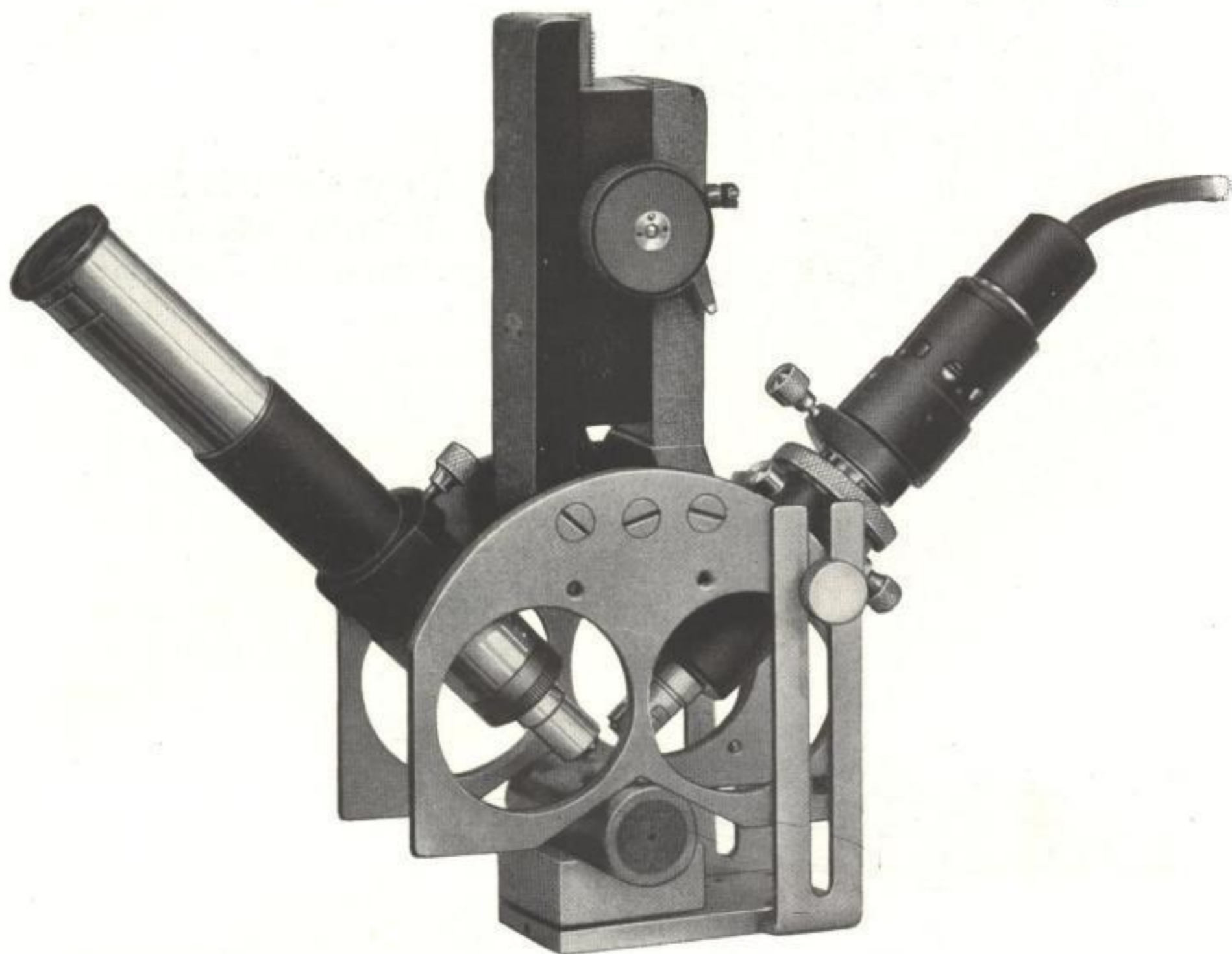


Fig. 137. Oberflächen-Meßmikroskop nach SCHMALTZ.

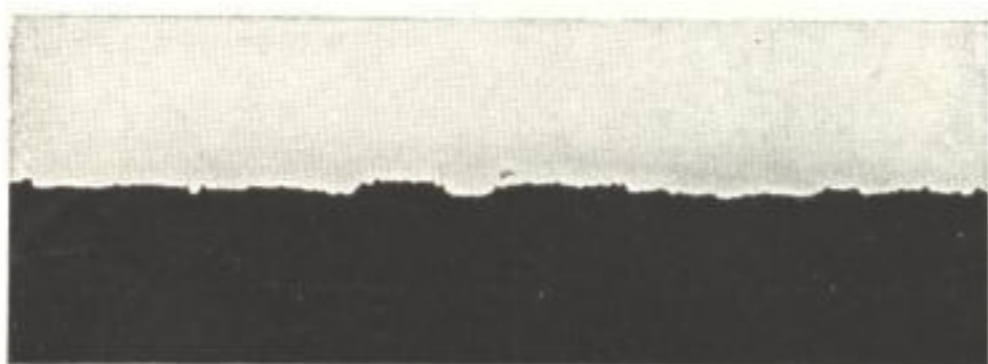
anzuordnen, so daß die Abbildungsstrahlen vom Objekt zum Objektiv reflektiert werden. Es entsteht auf diese Weise Hellfeldbeleuchtung, bei der am günstigsten beobachtet werden kann. Auf dieser Grundlage wurde von Zeiss nach Vorschlägen von Prof. SCHMALTZ ein Gerät zur Messung von Oberflächen-Profilen entwickelt.

In dem in Fig. 137 rechts sichtbaren Beleuchtungs-Tubus ist ein Spalt eingebaut, der von einem Mikroskop-Objektiv, das dem Objektiv des Beobachtungstubus gleich ist, auf dem Objekt abgebildet wird. Die Beobachtungsachse steht senkrecht zur Achse des Abbildungsstrahlenganges des Spaltes. Das Werkstück richtet man am besten

so aus, daß die zu untersuchenden Flächen (z. B. Drehriefen) senkrecht zum Spaltbild verlaufen. Das Spaltbild entsteht in der Schärfeebene des Mikroskopobjektivs, so daß bei Scharfeinstellung des Objektes mit Hilfe des in Fig. 137 oben sichtbaren Triebknopfes gleichzeitig der Spalt auf dem Objekt scharf abgebildet wird.



a



b

Fig. 138. Aluminium gefeilt. Profilhöhe 106:1.
Werkphoto Zeiss.

In Fig. 138a ist die Oberfläche eines gefeilten Stückes Aluminium dargestellt, wie man sie in normalen Auflicht-Mikroskopen beobachten kann. Fig. 138b zeigt das Bild, das sich mit Hilfe der Lichtschnitt-Methode ergibt. Man erkennt deutlich das Oberflächenprofil als Schattengrenze.

Bei der Lichtschnittmethode darf der Zerstreuungskreis, der sich auf Grund der Tiefenausdehnung des Objektes ergibt, nicht größer als die noch aufgelöste Struktur sein. Dies bedeutet eine Grenze der kleinsten noch darstellbaren Furchentiefe, die bei 1 bis 2μ liegt. Sollen geringere Furchen gemessen werden, so kann man sich einer ebenfalls von Zeiss entwickelten Methode bedienen, die auf einem Interferenzverfahren nach Angaben von W. LINNIK beruht.

Auf S. 18 wurde gezeigt, daß sich zwei ebene Wellenzüge beim Zusammentreffen verstärken oder abschwächen bzw. ganz auslöschen können, je nachdem mit welcher Phasendifferenz sie vereinigt werden. Eine einfache Anordnung zur Untersuchung derartiger Erscheinungen ist in Fig. 139 dargestellt. Ein ebener Wellenzug AA soll unter 45° auf ein halbdurchsichtiges Planplättchen fallen. Er wird teilweise vom Plättchen reflektiert (Wellenzug BB), teilweise durchgelassen (CC). Bei S_1 und S_2 sind zwei Spiegel angeordnet, die die Wellenzüge BB und CC in sich selbst reflektieren ($B'B'$ und $C'C'$). Diese Wellenzüge gelangen zum Planplättchen, werden hier z. T. reflektiert und z. T.

durchgelassen und kommen hinter dem Plättchen zur Vereinigung. Es ergibt sich ein Wellenzug DD , der mit großer Amplitude schwingt, wenn die Wellenzüge $B'B'$ und $C'C'$ eine Phasendifferenz von einem Vielfachen der Wellenlänge haben [$2(PS_1 - PS_2) = m\lambda$]. Auslöschung findet statt, wenn die Wellenzüge $B'B'$ und $C'C'$ eine Phasendifferenz von einem ungeraden Vielfachen der halben Wellenlänge aufweisen:

$$2(PS_1 - PS_2) = (2m - 1) \cdot \lambda/2.$$

Bewegt man einen der beiden Spiegel in Richtung des Wellenzuges, so ändert sich die Amplitude des Wellenzuges DD zwischen 0 und einem Höchstwert, der von dem Reflexions- und Absorptionsvermögen des Planplättchens abhängt. Man beobachtet demnach eine Änderung der Helligkeit hinter dem Planplättchen zwischen 0 und dem Höchstwert, wenn ein Spiegel um eine viertel Wellenlänge aus der Ausgangsstellung verschoben wurde. Diese einfache Methode gestattet offenbar, sehr kleine Höhenunterschiede genau zu messen.

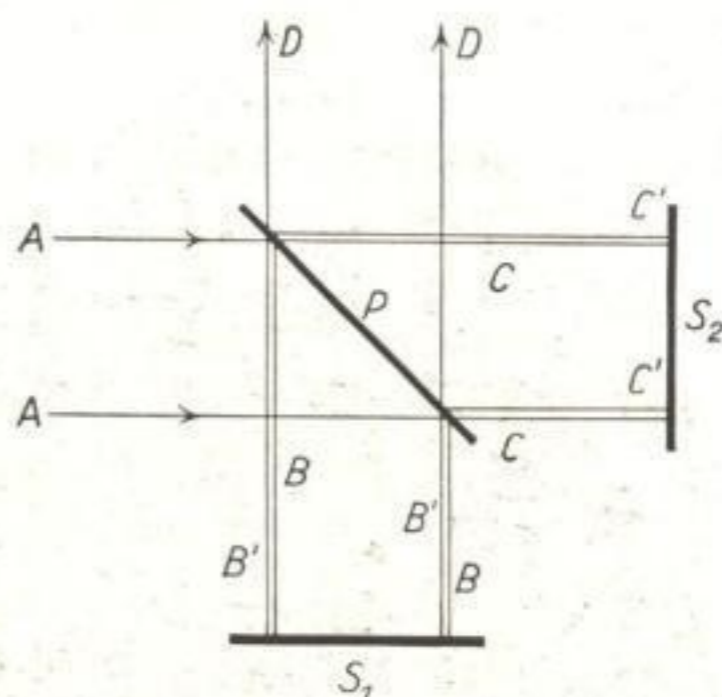


Fig. 139. Interferometer.

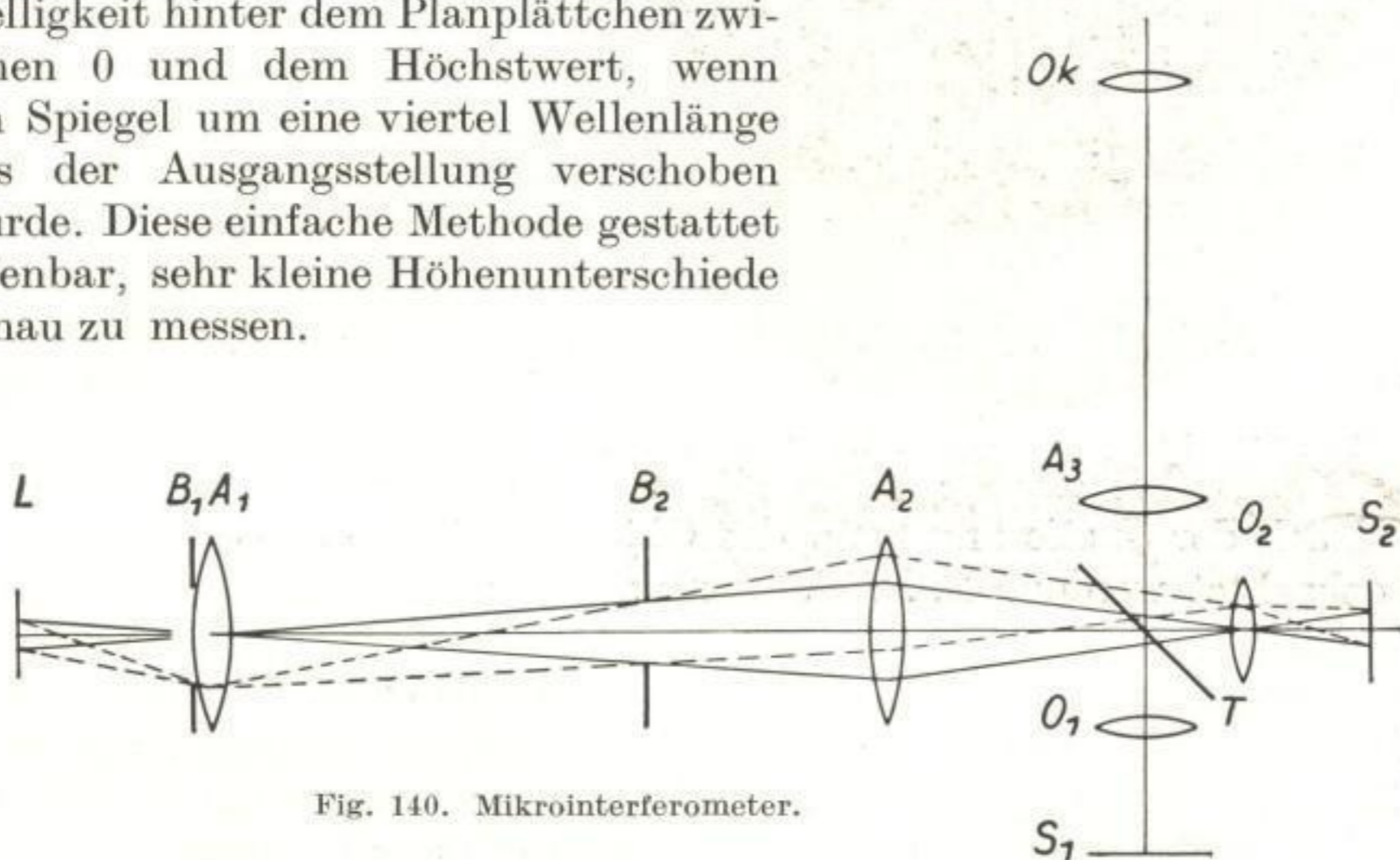


Fig. 140. Mikrointerferometer.

Die optisch einwandfreie Strahlenführung hierfür unter Benutzung des KÖHLERSCHEN Prinzips ist in Fig. 140 dargestellt. Die von der Lichtquelle L ausgehenden Strahlen werden von dem Achromaten A_1 in der Ebene der Blende B_2 vereinigt. B_2 steht im Brennpunkt des Achromaten A_2 . Sie wirkt hierbei als Gesichtsfeldblende. Die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen treffen demnach zueinander parallel auf das Planplättchen, an dem die oben beschriebene Zerlegung der Lichtstrahlen erfolgt. Die einander völlig gleichen Objektive O_1 und O_2 dienen zur Abbildung der Spiegel S_1 und S_2 , die sich in der

Brennebene von O_1 und O_2 befinden. Mit Hilfe des aus dem Achromaten A_2 und dem Okular OK bestehenden Fernrohres kann man die beiden Spiegel S_1 und S_2 beobachten und die Interferenzerscheinungen feststellen. B_1 ist Aperturblende. Sie wird von A_2 auf O_1 bzw. O_2 abgebildet.

Die soeben beschriebene Anordnung unterscheidet sich von der in Fig. 139 gezeigten wesentlich durch die beiden Objektive O_1 und O_2 , mit deren Hilfe es möglich ist, feine Objektstrukturen stark zu vergrößern



Fig. 141. Endmaß. $\beta' = 410$. Werkphoto Zeiss.

und mit Hilfe der Interferenzerscheinung ihre Tiefe zu messen.

Zur Justierung des Gerätes entfernt man zunächst die beiden Objektive O_1 und O_2 und stellt unter Beobachtung des Bildes im Fernrohr die beiden Spiegel so ein, daß keine Interferenzen auftreten. Hierauf setzt man die Objektive ein und verstellt sie so lange, bis die Spiegeloberfläche scharf erscheint und bei Beleuchtung mit weißem Licht in der Bildmitte keine Interferenzen sichtbar sind, d. h. bis die Bildmitte weiß erscheint.

Nach der Justierung kann das Objekt an Stelle des einen Spiegels beobachtet werden. Zur Erlangung scharfer Interferenzen ist hierbei monochromatisches Licht erforderlich, das man durch geeignete Filter oder besser mit einer Quecksilberdampfampe erhält. Durch geringes Ankippen des Objektes ändert sich von Punkt zu Punkt die Weglänge zwischen Objektiv und Prüfling. Es tritt demnach ein System von Interferenzstreifen auf, mit dem man die im Objekt entstehenden Interferenzerscheinungen vergleicht. In Fig. 141 sieht man die Fläche eines Endmaßes bei $400 \times$ Abbildungsmaßstab im Interferenz-Mikroskop. Als Lichtquelle diente hierbei eine Quecksilberlampe, aus der die Linie $\lambda = 0,546 \mu$ ausgefiltert wurde. Man erkennt deutlich das durch Kippen des Objektes entstandene System von Interferenzstreifen, von denen jeder einer Zunahme des Weges der Lichtstrahlen um eine halbe Wellenlänge entspricht. Die Interferenzerscheinung zeigt Abweichungen von mehr als $1/2$ Streifenbreite, so daß man auf Risse bis zu $\lambda/4$, d. h. $0,14 \mu$ schließen kann.

8. Aufnahme lebender Objekte.

Während es bei Aufnahmen lebloser Objekte vollkommen genügt, durch ein einziges Bild die charakteristischen Merkmale zu erfassen, muß bei lebenden Objekten als weiteres Merkmal ihre Beweglichkeit berücksichtigt werden. Zur Abbildung lebender Objekte benutzt man deshalb die Kinematographie. Mit ihr kann man Lebensvorgänge, Entwicklungen und Gestaltveränderungen darstellen, was vor allen Dingen bei schwer herstellbaren Präparaten außerordentlich nützlich ist. Daneben bedient man sich der Kinematographie, um die zeitliche Folge der Änderungen zu verlängern oder zu verkürzen. Dadurch wird ein Vorgang, dessen Bewegung entweder zu schnell ist, als daß er vom Auge in seinen Einzelheiten erkannt wird, oder aber dessen Bewegung zu langsam ist, als daß er vom Auge überhaupt als Bewegung registriert wird, so dargestellt, daß der Beobachter die charakteristischen Merkmale des Vorgangs erkennt. Die Art der Herstellung solcher Aufnahmen beruht auf einer Veränderung der Größe der Aufnahme­frequenz, d. h. der Zahl der in einer Sekunde aufgenommenen Bilder, während die Vorführfrequenz (16 bis 24 Bilder in der Sekunde) dieselbe bleibt. Die Verlängerung eines schnell beweglichen Vorgangs nennt man Zeitlupe, die Verkürzung eines langsam beweglichen Vorgangs Zeitraffer.

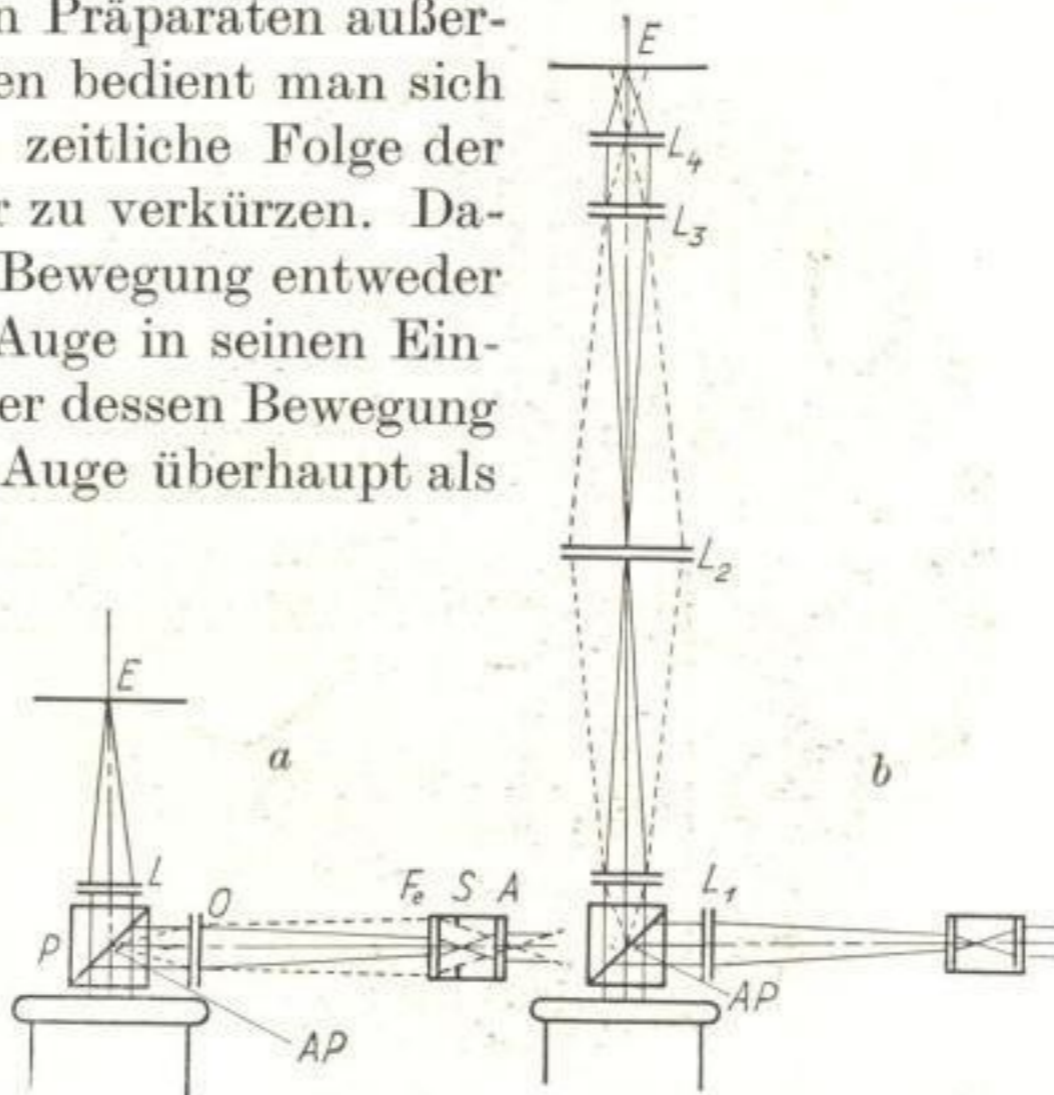


Fig. 142. Mikrokinematographischer Apparat.
a Ohne Kameraobjektiv; b mit Kameraobjektiv.

Die Verbindung von Kinokamera mit Mikroskop kann auf zwei Arten vor sich gehen. Sie richtet sich danach, ob eine Kamera mit Photo-Objektiv oder eine Kamera ohne Photo-Objektiv verwendet werden soll. Zur Scharfstellung auf der Filmebene darf an dem subjektiv eingestellten Mikroskop nichts geändert werden, d. h. das mikroskopische Objekt muß im Unendlichen abgebildet werden. Bei Verwendung einer Kinokamera ohne Objektiv liegt der Film sehr nahe am Mikroskopokular. Ein auf Unendlich eingestelltes Mikroskop gibt demnach unscharfe Bilder. Zur Scharfstellung des Mikrobildes auf der Filmebene (E in Fig. 142a) benutzt man einen Achromaten (L), der sich in der Nähe der sehr kleinen Austrittspupille des Mikroskopes befindet, so daß nur mit achsennahen Strahlen abgebildet wird. Zur

Kontrolle der Bildschärfe während der Aufnahme ordnet man über dem Mikroskopokular einen Prismenwürfel (P) an, der aus zwei aufeinandergekitteten rechtwinkligen Prismen besteht. Die Hypothenusenfläche eines dieser Prismen ist schwach versilbert. Ein Teil des vom Okular kommenden Lichtes wird demnach in das Einblickfernrohr

reflektiert. Das Objektiv O bildet zusammen mit der Feldlinse Fe das im Unendlichen liegende Bild in der Ebene S ab, in der sich eine Strichplatte befindet, die vom Beobachter durch die Augenlinse A scharf gesehen wird. Werden Strichplatte und Mikroskopbild gleichzeitig scharf gesehen, so ist das Mikroskop richtig eingestellt und damit das Bild auf dem Film scharf. Daneben dient die Strichplatte dazu, das Bildfeld so zu begrenzen, daß der Beobachter den Bereich übersieht, der auf dem Film abgebildet wird.

Wird eine Kinokamera mit auf Unendlich gestelltem Photo-Objektiv benutzt, so ist bei subjektiv richtig eingestelltem Mikroskop das Bild auf dem Film scharf. Da man jedoch die Filmkamera dem Mikroskop nicht genug nähern kann, so daß sich die Austrittspupille des Mikroskopes und Blende des Photo-Objektivs decken, erhält man eine starke Vignettierung, d. h. einen sehr kleinen Bereich guter Ausleuchtung auf dem Film. Es ist daher unbedingt notwendig, zwischen Mikroskop und Photo-Objektiv eine Zwischenoptik zu schalten, die die Austrittspupille des Mikroskopes im Objektiv der Kinokamera abbildet, das vom Mikroskop im Unendlichen entworfene Bild aber wieder ins Unendliche projiziert (Fig. 142b), ohne daß hierbei der Abbildungsmaßstab geändert wird. Die Linse L_1 entwirft ein Bild des Objektes in der Ebene der Linse L_2 . Dieses Bild wird von L_3 ins Unendliche projiziert und durch das Photo-Objektiv L_4 auf der Filmebene E abgebildet. Die Abbildung der Austrittspupille des Mikroskops in der Blendenebene des Photo-Objektivs vermittelt im wesentlichen L_2



Fig. 143. Mikro-Filmgerät für Kameras mit fest eingebautem Objektiv.

hält man eine starke Vignettierung, d. h. einen sehr kleinen Bereich guter Ausleuchtung auf dem Film. Es ist daher unbedingt notwendig, zwischen Mikroskop und Photo-Objektiv eine Zwischenoptik zu schalten, die die Austrittspupille des Mikroskopes im Objektiv der Kinokamera abbildet, das vom Mikroskop im Unendlichen entworfene Bild aber wieder ins Unendliche projiziert (Fig. 142b), ohne daß hierbei der Abbildungsmaßstab geändert wird. Die Linse L_1 entwirft ein Bild des Objektes in der Ebene der Linse L_2 . Dieses Bild wird von L_3 ins Unendliche projiziert und durch das Photo-Objektiv L_4 auf der Filmebene E abgebildet. Die Abbildung der Austrittspupille des Mikroskops in der Blendenebene des Photo-Objektivs vermittelt im wesentlichen L_2

(gestrichelt gezeichnet). Das Einblickfernrohr ist bei dieser Anordnung ebenso gebaut wie in Fig. 142a. Alles auf S. 146 hierüber Ausgeführte hat auch für diesen Fall Gültigkeit.

Die zuletzt beschriebenen Kinozusatzgeräte (Fig. 143) ermöglichen die Verwendung der normalen Kinokamera, ohne daß vorher das Objektiv abgenommen werden muß. Man kann rasch hintereinander normale Aufnahmen und Mikro-Aufnahmen herstellen.

Auf dem projizierten Filmbild sollen alle die Objektteile vom Beobachter gesehen werden, die im Mikroskop aufgelöst werden. Um eine günstige Abbildung zu erhalten, muß demnach der Gesamtabbildungsmaßstab auf die Apertur des Mikroskop-Objektives abgestimmt sein. Die Brennweite des Photo-Objektivs f'_1 ist gleich der Balgenlänge, da die Kamera auf Unendlich eingestellt ist. Demnach beträgt der Abbildungsmaßstab auf dem Filmbild nach Formel (16) S. 41:

$$\beta'_{\text{Film}} = -\frac{f'_1}{25} \bar{\Gamma}',$$

wobei $\bar{\Gamma}'$ die Vergrößerung bei subjektiver Betrachtung ist. Wird das Bild mit einem Objektiv (Brennweite f'_2) auf eine Wand projiziert, die um die gegen f'_2 große Strecke s' vom Projektionsapparat entfernt ist, so erhält man als Abbildungsmaßstab auf der Projektionswand:

$$\beta'_p = -\frac{s'}{f'_2} \beta'_{\text{Film}} = \frac{s' f'_1}{25 f'_2} \bar{\Gamma}'.$$

Definitionsgemäß erscheint eine mit dem Abbildungsmaßstab $\beta' = \bar{\Gamma}'$ hergestellte Mikrophotographie bei Betrachtung in deutlicher Sehweite (25 cm) ebenso groß wie das Bild im Okular. Wird das Bild in einer Entfernung a' betrachtet, so muß der Abbildungsmaßstab:

$$\beta'_{a'} = \frac{a'}{25} \bar{\Gamma}'$$

sein, wenn subjektiv diejenigen Strukturfeinheiten aufgelöst werden sollen, die bei direkter Beobachtung im Okular erkannt werden. Befindet sich demnach der Betrachter in einem Abstand a' vor der Projektionswand, so muß:

$$\beta'_{a'} = \beta'_p$$

sein. Daraus folgt:

$$\frac{s'}{a'} = \frac{f'_2}{f'_1}.$$

Wird mit demselben Objektiv aufgenommen und projiziert, so muß der Betrachter in unmittelbarer Nähe des Projektionsapparates sitzen, um denselben Eindruck zu haben wie bei direkter Beobachtung mit Mikroskop. Im allgemeinen befindet er sich jedoch näher an der Projektionswand; er erkennt demnach alle durch Übervergrößerung auftretenden Unschärfen. In diesem Falle ist es ratsam, für Mikro-

Kinaufnahmen Objektive hoher numerischer Apertur und schwache Okulare zu verwenden.

Objektive hoher numerischer Apertur gewährleisten eine gute Lichtausbeute, d. h. große Bildhelligkeit, die bei den kurzen Belichtungszeiten der Kinematographie notwendig ist. Vorteilhaft ist die durch die kurzbrennweitigen Photo-Objektive bedingte Verkleinerung gegenüber einer normalen Mikroaufnahme (bei einem Photo-Objektiv von 50 mm Brennweite beträgt die Belichtungszeit $\frac{1}{100}$ derjenigen einer Mikroaufnahme mit 500 mm Balgenauszug!).

Zur Beleuchtung des Objektes genügt im Durchlicht meist eine Niedervoltlampe, vor allen Dingen dann, wenn die Vergrößerung gering ist. Bei Aufnahmen im auffallenden Licht oder Dunkelfeldaufnahmen im durchfallenden Licht muß zur Beleuchtung eine Bogenlampe hoher Stromstärke benutzt werden.

Schnellverlaufende Vorgänge, die vom Auge nicht mehr verfolgt werden können, nimmt man mit einer Kamera auf, deren Aufnahmefrequenz größer ist als die Wiedergabefrequenz. Solche Zeitlupenaufnahmen sind schon mit den handelsüblichen Kinokameras möglich. Man erhält hierbei z. B. durch Einschaltung des 64er Ganges eine Verlangsamung des Vorganges von 1:3. Zu noch stärkerer Verlangsamung benutzt man spezielle Hochfrequenz-Kameras mit einer Bildzahl von 100 bis 250 je Sekunde. Bei den hier auftretenden kürzesten Belichtungszeiten muß auf günstigste Beleuchtung und Abbildung des Objektes besonderer Wert gelegt werden (d. h. lichtstarkes, gut ausgeleuchtetes Objektiv, schwaches Okular, kurzbrennweitiges Photo-Objektiv). Als Lichtquelle benutzt man wieder eine Starkstrombogenlampe.

Die Darstellung eines Vorganges, der so langsam verläuft, daß er vom Auge nicht mehr erkannt werden kann, wird durch Zeitraffer-Aufnahmen ermöglicht. Soll der Vorgang wenig beschleunigt werden, so schaltet man von dem üblichen 16er Gang auf einen Gang geringerer Bildfrequenz (z. B. 8er Gang) um. Für sehr langsame Bewegungen muß jedoch mit dem Einergang gearbeitet werden, wobei die Belichtung mit einem Momentverschluß vorgenommen wird. Bei Kameras, die für Einzelaufnahmen eingerichtet sind, benutzt man natürlich den Kameraverschluß, da hier Filmtransport und Auslösung gekuppelt sind. Alle Einzelaufnahmen müssen bei gleicher Bildhelligkeit und gleicher Belichtungszeit ausgeführt werden, da sonst äußerst störende Helligkeitsschwankungen und dadurch Unruhe im Bild auftreten.

Oftmals genügt es, von dem lebenden Objekt an Stelle von kinematographischen Aufnahmen nur eine Aufnahme anzufertigen. Die Bedingungen, unter denen diese Aufnahmen aufgenommen werden, sind im allgemeinen ungünstiger als bei den Filmaufnahmen. Meist wird

ein größeres Aufnahmeformat gewählt. Die Bildhelligkeit ist demnach kleiner als bei Kinoaufnahmen. Da außerdem Unschärfe durch Bewegung im stehenden Bild auffälliger ist als im bewegten, die Belichtungszeit demnach nur sehr kurz sein darf, muß mehr noch als bei Mikro-Kinuaufnahmen auf Anwendung einer Lichtquelle hoher Leuchtdichte bei bestmöglicher Lichtausbeute Wert gelegt werden. Bei Übersichtsaufnahmen oder bei schwachen mikroskopischen Vergrößerungen im durchfallenden Licht genügt als Lichtquelle eine Niedervoltlampe. Für höhere Vergrößerungen ist eine Bogenlampe unbedingt erforderlich. Unter ungünstigen Lichtverhältnissen benutzt man zur Aufnahme ein starkes Mikro-Objektiv in Verbindung mit einem schwachen Okular und einer Kamera mit kleinem Balgen (vgl. S. 152). Das erhaltene Negativ kann man ohne erheblichen Schärfenverlust drei- bis viermal vergrößern.

4. Kapitel.

Mikrophotographische Geräte.

Wenn am Schluß der Darstellung der bei der Mikrophotographie auftretenden physikalisch-optischen Probleme und Erscheinungen eine Beschreibung der mikrophotographischen Geräte gegeben wird, so soll dies keine einseitige Wertung irgendeines Fabrikates sein. Alle von unseren großen optischen Werken entwickelten Geräte arbeiten einwandfrei. Es genügt daher im Rahmen dieses Buches, von jedem Kameratyp nur einen Repräsentanten zu behandeln, der besonders ausgeprägt die Merkmale der betreffenden Anordnung zeigt. Seine besondere Eignung für Spezialgebiete der Mikrophotographie ist durch die Konstruktion bedingt, so daß ähnliche Kameras meist auf gleichen Gebieten angewendet werden können. Im übrigen wird auf die mannigfaltigen Prospekte der einzelnen Hersteller mikroskopischer Einrichtungen hingewiesen, aus denen man Einzelheiten der für den besonderen Zweck vorgesehenen Geräte entnehmen kann.

Man kann natürlich mit ganz *einfachen Mitteln* mikroskopische Aufnahmen herstellen. Wenn man exakt abbildet und genau justiert, so müssen diese Aufnahmen vollkommen einwandfrei werden. Vorschriften hierfür wurden auf S. 67 gegeben. Wird jedoch einiger Wert auf *schnelle* Arbeitsbereitschaft bei exakter Justierung gelegt, so empfiehlt es sich, eine besondere Aufnahmeapparatur anzuschaffen.

Sollen mikrophotographische Aufnahmen nicht laufend, sondern nur bei besonders interessierenden Objekten angefertigt werden, so genügt hierfür eine *Aufsetzkamera*. Sie besitzt einen starren Balgen, der auf der Unterseite ein Klemmstück trägt, mit dem die Kamera am Mikroskop befestigt wird, und der auf der Oberseite einen Adapter aufweist,

der die Mattscheibe oder die Kassette aufnimmt. Mit Hilfe eines Zusatz-Objektivs wird das parallel aus dem Mikroskop tretende Licht auf der photographischen Platte konzentriert. Die Lichtquelle muß gesondert angebracht und justiert werden. Man stellt daher zunächst mit dem Auge exakt ein und setzt dann die Kamera auf das Mikroskop. Die Kontrolle der Scharfeinstellung auf der photographischen Platte kann in verschiedener Weise vorgenommen werden, am einfachsten auf der Mattscheibe evtl. mit Hilfe einer Lupe. Will man jedoch gleich-



Fig. 144. Aufsetzkamera mit Einblickokular.

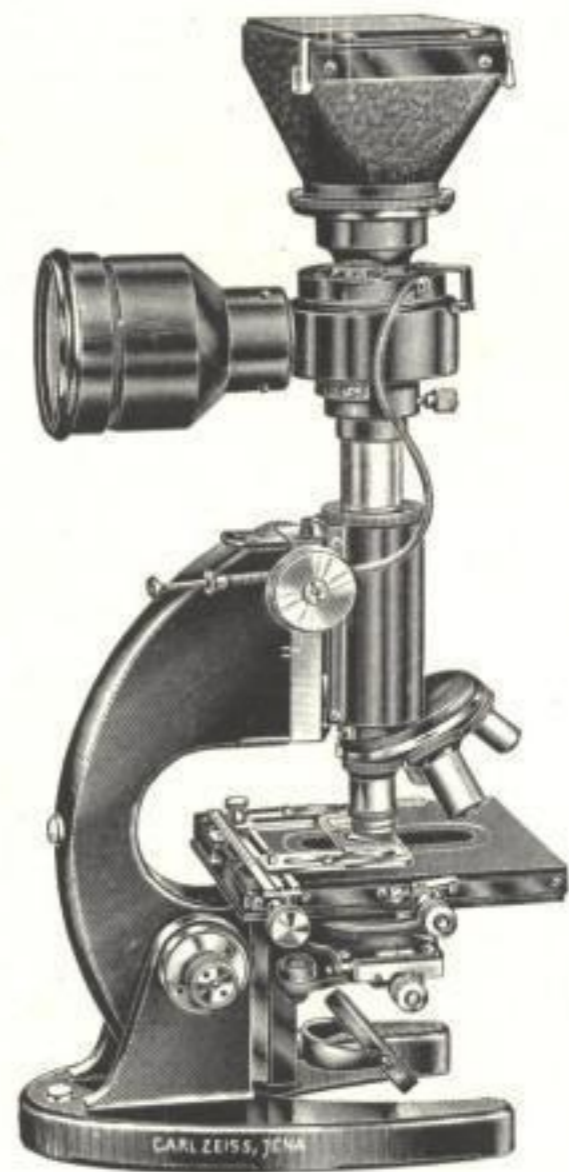


Fig. 145. Aufsetzkamera mit Mattscheibe.

zeitig mit der Aufnahme beobachten, was vor allen Dingen bei Aufnahmen sich bewegender Objekte notwendig ist, so bringt man an die Kamera ein Einblick-Okular, das ähnlich dem bei Mikrokinematographie (vgl. Fig. 142) die Aufgabe hat, das Bild dem Auge und der Mattscheibe zugleich scharf darzubieten. Zur Teilung des Strahlenganges für Beobachtung und Photographie benutzt man einen Prismenwürfel, der entweder das gesamte Licht in das Einblick-Okular reflektiert oder aber Beobachtungen während der Photographie gestattet. Im ersten Fall muß das Prisma während der Aufnahme aus dem Strahlengang geschaltet werden. Diese Konstruktion hat den Vorteil, daß



das gesamte Licht zur photographischen Platte gelangt, was vor allen Dingen bei Momentaufnahmen mit Dunkelfeldbeleuchtung, bei der man jeden Lichtverlust vermeiden muß, notwendig ist. Beobachtung während der Photographie kann man bei Momentaufnahmen entbehren, da ja das Bild nur ganz kurze Zeit auf der Platte entworfen wird. Für längere Belichtungszeiten, bei denen man dauernd beobachten will, ob das Objekt irgendwelche Veränderungen erleidet, benutzt man ein halbversilbertes Prisma.

Das Bild einer Aufsetzkamera ist in Fig. 144 wiedergegeben.

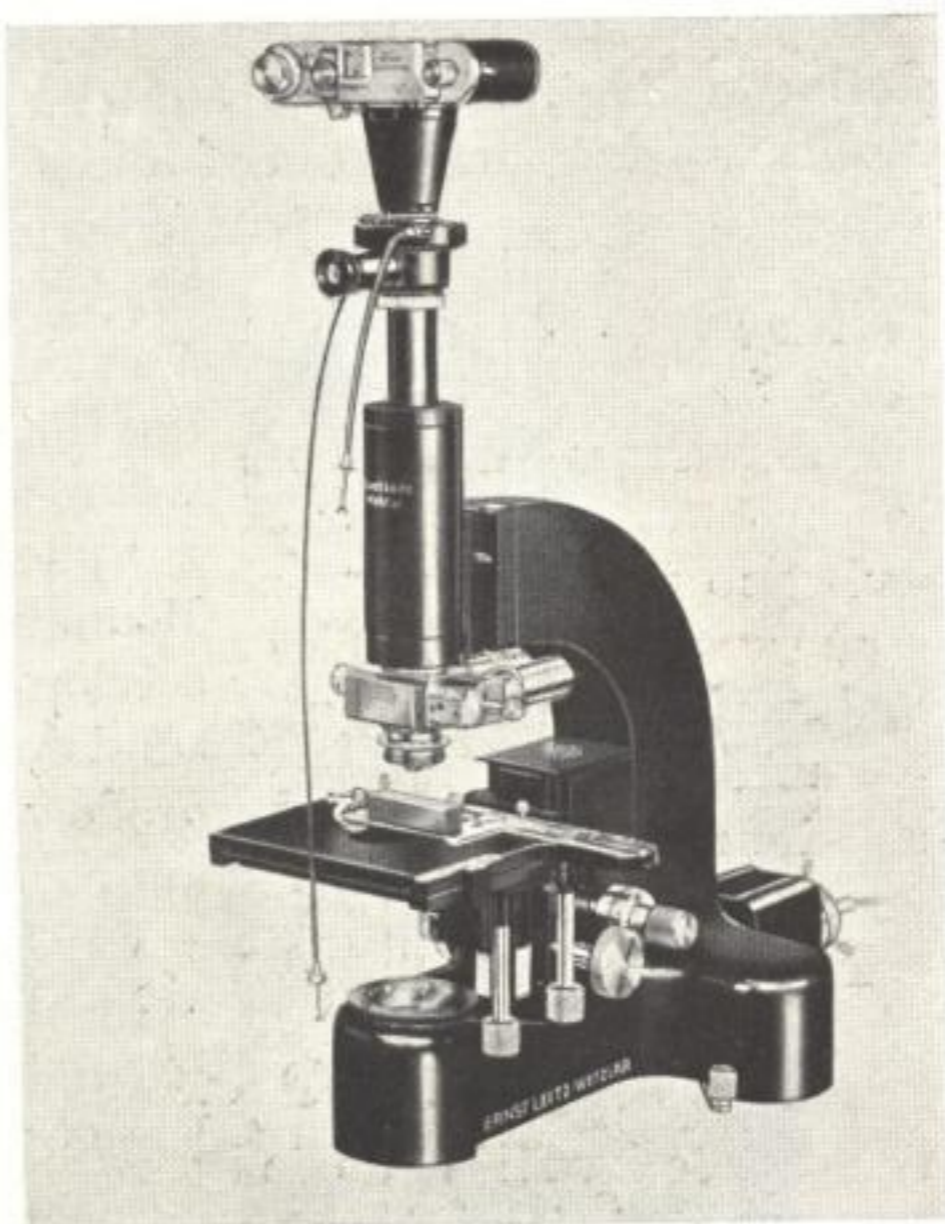


Fig. 146 a. Aufsetzkamera Mifilmca in Verbindung mit dem Mikroskop Ortholux mit fest eingebauter und justierter Beleuchtung.

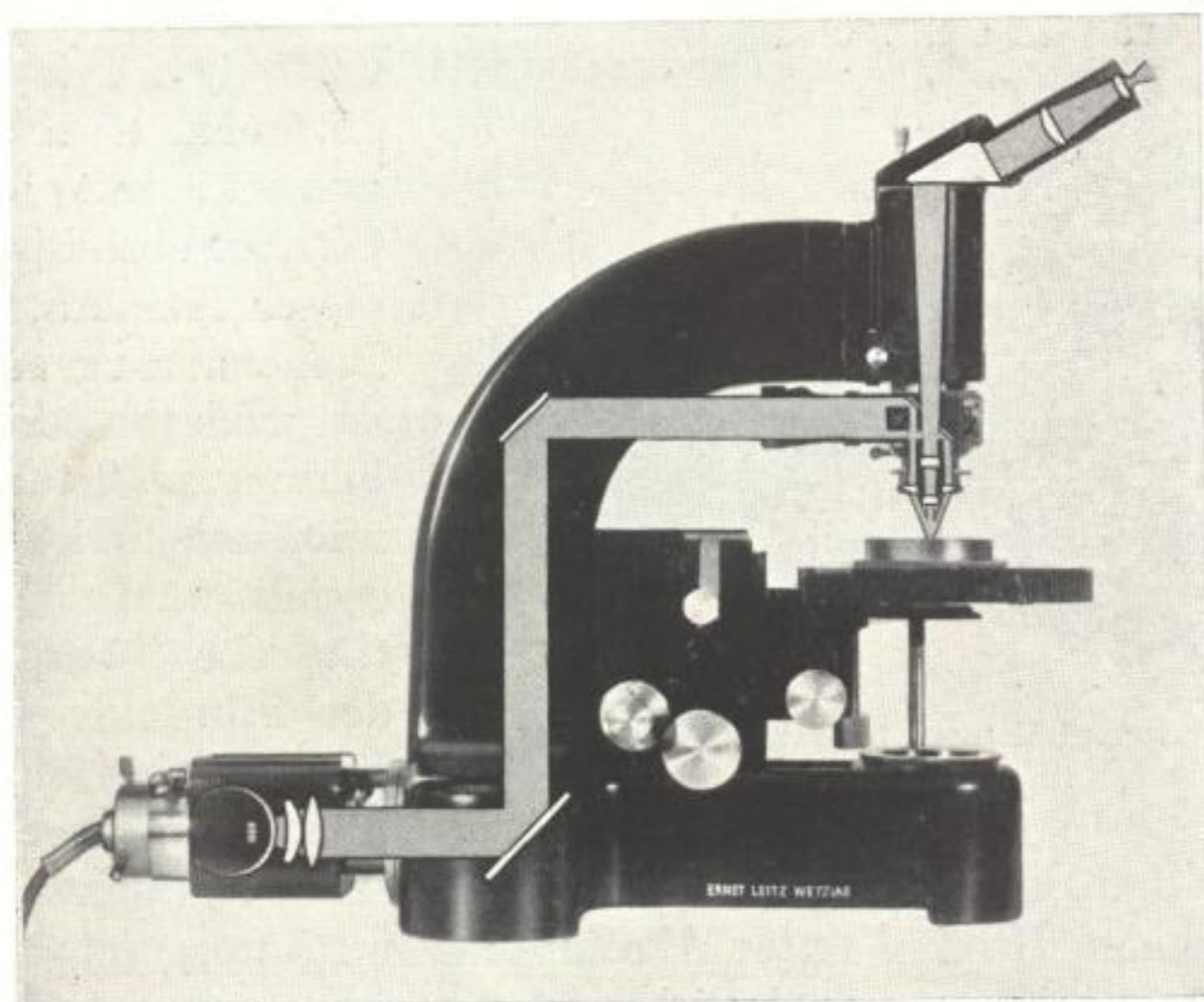


Fig. 146 b. Strahlengang für Auflichtbeleuchtung im Mikroskop Ortholux.

An Stelle des Einblick-Okulars kann man eine zweite Mattscheibe anbringen (vgl. Fig. 145), auf der das Bild mit der Lupe scharfgestellt wird. Man ist auf diese Weise frei von Akkomodations-

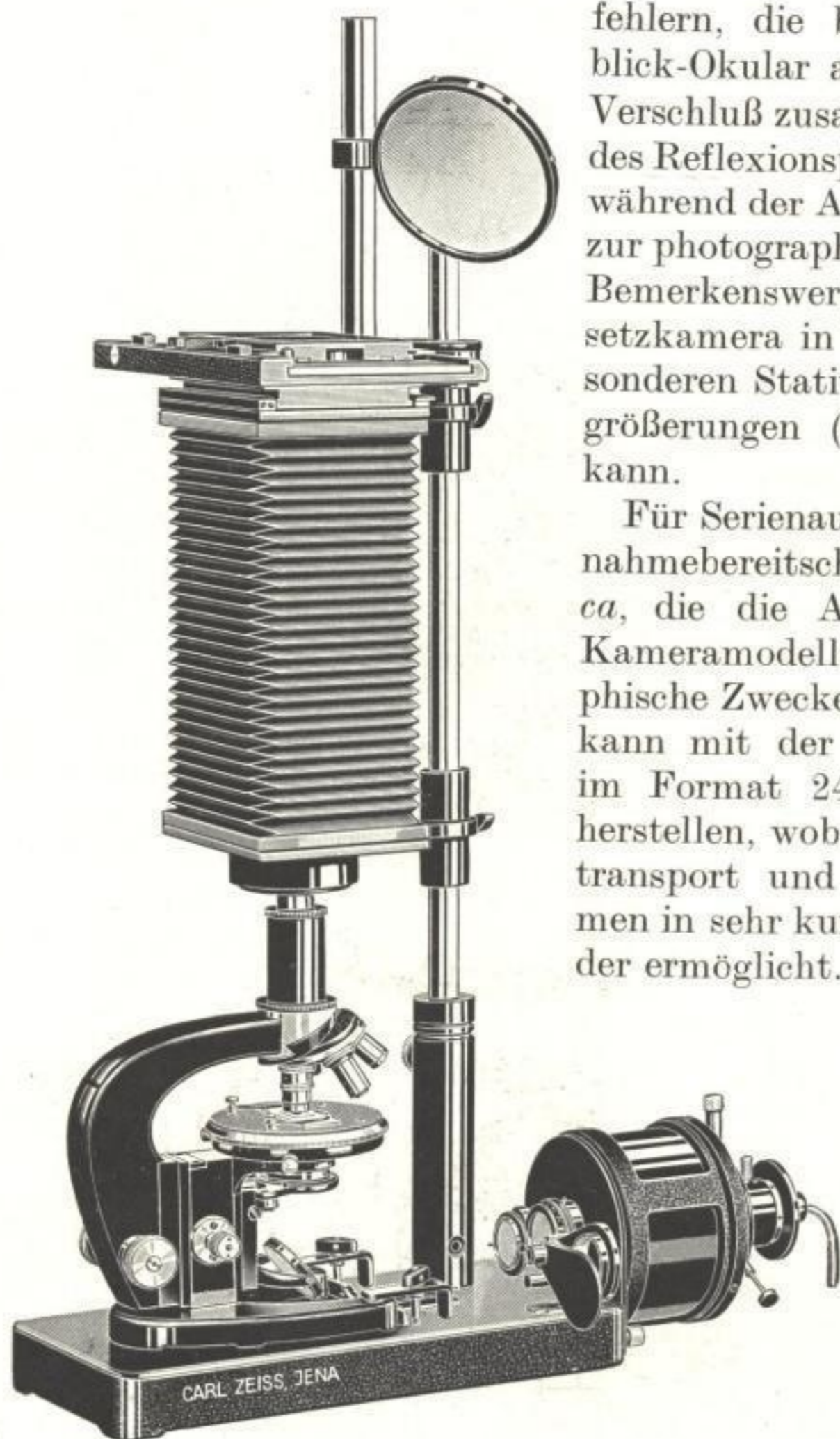


Fig. 147. Standard-Kamera für Mikrophotographie im Durchlicht.

fehlern, die bei Beobachtung mit Einblick-Okular auftreten können. Mit dem Verschluß zusammen ist die Umschaltung des Reflexionsprismas gekuppelt, wodurch während der Aufnahme das gesamte Licht zur photographischen Platte geleitet wird. Bemerkenswert ist, daß die gezeigte Aufsetzkamera in Verbindung mit einem besonderen Stativ auch für schwächste Vergrößerungen (zweimal) benutzt werden kann.

Für Serienaufnahmen bei schneller Aufnahmebereitschaft eignet sich die *Mifilmca*, die die Ausbildung des bekannten Kameramodells Leica für mikrophotographische Zwecke darstellt (Fig. 146a). Man kann mit der Mifilmca 36 Aufnahmen im Format 24×36 mm hintereinander herstellen, wobei die Kupplung von Filmtransport und Verschlußaufzug Aufnahmen in sehr kurzen Abständen nacheinander ermöglicht. Im übrigen entspricht die

Mifilmca einer Aufsetzkamera mit Einblick-Okular. Vorteilhaft ist bei dieser Kamera, daß der Balgenauszug sehr klein ist, wodurch geringer Abbildungsmaßstab und damit kurze Belichtungszeit erzielt wird. Die nachträgliche Vergrößerung der Filmbilder erfordert ein möglichst feinkörniges Aufnahmematerial und

eine sorgfältige Behandlung der belichteten Schicht. Näheres hierüber ist im folgenden Kapitel unter Abschnitt 4 und 5 ausgeführt.

Will man mit einer gewöhnlichen Aufsetzkamera rasch hintereinanderfolgende Serien aufnehmen, so benutzt man hierzu am besten

eine Filmpack- oder Rollfilmkassette, bei der der Filmtransport schnell und unter Vermeidung unnötiger Handgriffe vor sich geht. Natürlich sind auch Momentaufnahmen mit der Kinokamera möglich, wobei sich vor allen Dingen Kameras mit Einergang bei gleichzeitigem Filmtransport und Verschlußaufzug eignen.

Das Einjustieren des Lampengehäuses, das beim Arbeiten mit Aufsetzkameras nötig ist, wird von Konstruktionen vermieden, bei denen das Lampengehäuse fest an der Kamera angebracht ist. Es ist hier nur noch erforderlich, das Mikroskop in justierter Stellung an die Kamera zu stellen, was durch Anschläge, die bei Anpassung des Mikroskopes an die Kamera angebracht werden, erleichtert wird. Das Mikroskop kann für sich allein als Arbeitsmikroskop verwendet werden und bildet zusammen mit der Kamera eine vollwertige mikrophotographische Einrichtung.

Bei der *Standard-Kamera* (Figur 147) ist das Lampengehäuse mit Lichtquelle, asphärischem Kondensator und Kühlkuvette auf der Grundplatte, auf der das Mikroskop mit Anschlägen und Klemmwinkeln befestigt ist, angeordnet. In Fig. 148 ist die Kamera für Photographie bei schwacher Vergrößerung eingerichtet. Der oberhalb der Kamera

sichtbare Spiegel erleichtert die Beobachtung des Mattscheibenbildes. Von den verschiedenen Methoden der Auflichtbeleuchtung, die sich mit der Standard-Kamera ausführen lassen, sei hier der Makrotisch erwähnt, bei dem das Objekt durch vier einzeln einschaltbare und verstellbare kleine Soffittenlampen beleuchtet wird (Fig. 149). Zur Aufhellung des Untergrundes erzeugt man Durchlichtbeleuchtung, deren Intensität durch eine Matt- und eine Milchglasscheibe gedämpft werden kann.



Fig. 148. Standard-Kamera für Makrophotographie im Durchlicht.

Eine mikrophotographische Kamera mit horizontalem Balgen ist das *Citophot* (Fig. 150). Hier kann mit Hilfe einer Spiegelreflex-Einrichtung das Bild zunächst auf der in Augenhöhe des Beobachters

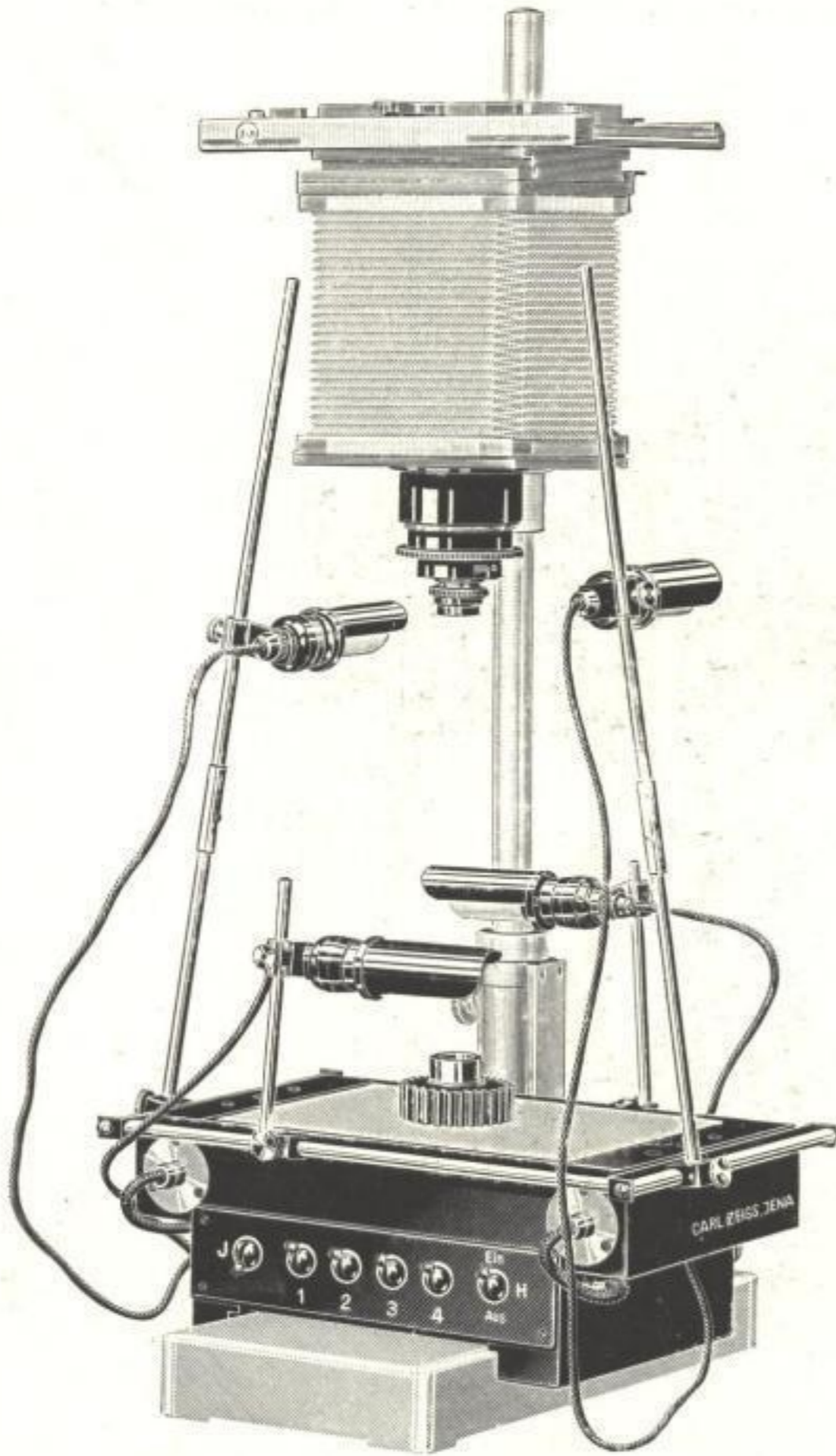


Fig. 149. Standard-Kamera für Makrophotographie im Auflicht.

liegenden Mattscheibe scharf eingestellt und vor der Aufnahme beobachtet werden. Nach dem Ausschalten des Spiegels wird das Objekt auf der photographischen Platte abgebildet, die auf der dem Beobachter abgekehrten Seite liegt. Mattscheibenbild und photographisches Bild sind gleichzeitig scharf. Man hat demnach bei dieser Kamera den Vorteil, Bildausschnitt und Bildwirkung genau kontrollieren zu können. Daneben gestattet ein Mikroskop mit Doppeltubus (Fig. 151) subjektive Beobachtung und nach Ausschaltung des Reflexionsprismas Photographie.

Das in dem Gehäuse über dem Okular befindliche Prisma reflektiert die vom Mikroskop kommenden Strahlen in die Kamera. Durch eine Rechtsdrehung des Prismas um 90° hat man die Möglichkeit, Mikroprojektion auf einem Schirm auszuführen.

Besonders handlich ist beim *Citophot* die Einrichtung für Makroskopie. Der Objektisch ist dem Beobachter zugekehrt und gestattet daher ein leichtes Bearbeiten des Objektes. Makro-

photographie bei Auflichtbeleuchtung ist mit Hilfe von einzeln einschaltbaren und verstellbaren Soffittenlampen oder zur Erzeugung von einseitiger, intensiver Beleuchtung mit Hilfe des Niedervoltlampengehäuses (Fig. 152) möglich.

Um Dejustierung der einzelnen optischen Teile eines mikrophotographischen Gerätes vollkommen zu vermeiden, vereinigt man Lichtquelle, Mikroskop und Kamera zu einem einheitlichen Ganzen.

Das mikrophotographische Gerät *Neophot* dient speziell der Untersuchung im auffallenden Licht. Aus diesem Grunde ist es nach dem LE-CHATELIER-Typ gebaut: Der Objektisch befindet sich hierbei über dem Objektiv, die zu untersuchende Objektfläche weist nach unten (Fig. 153). Das auf die Tischfläche aufgelegte Objekt ist senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet, ohne daß eine Schliffpresse gebraucht wird. Zur Beobachtung dient ein Einblick-Okular,

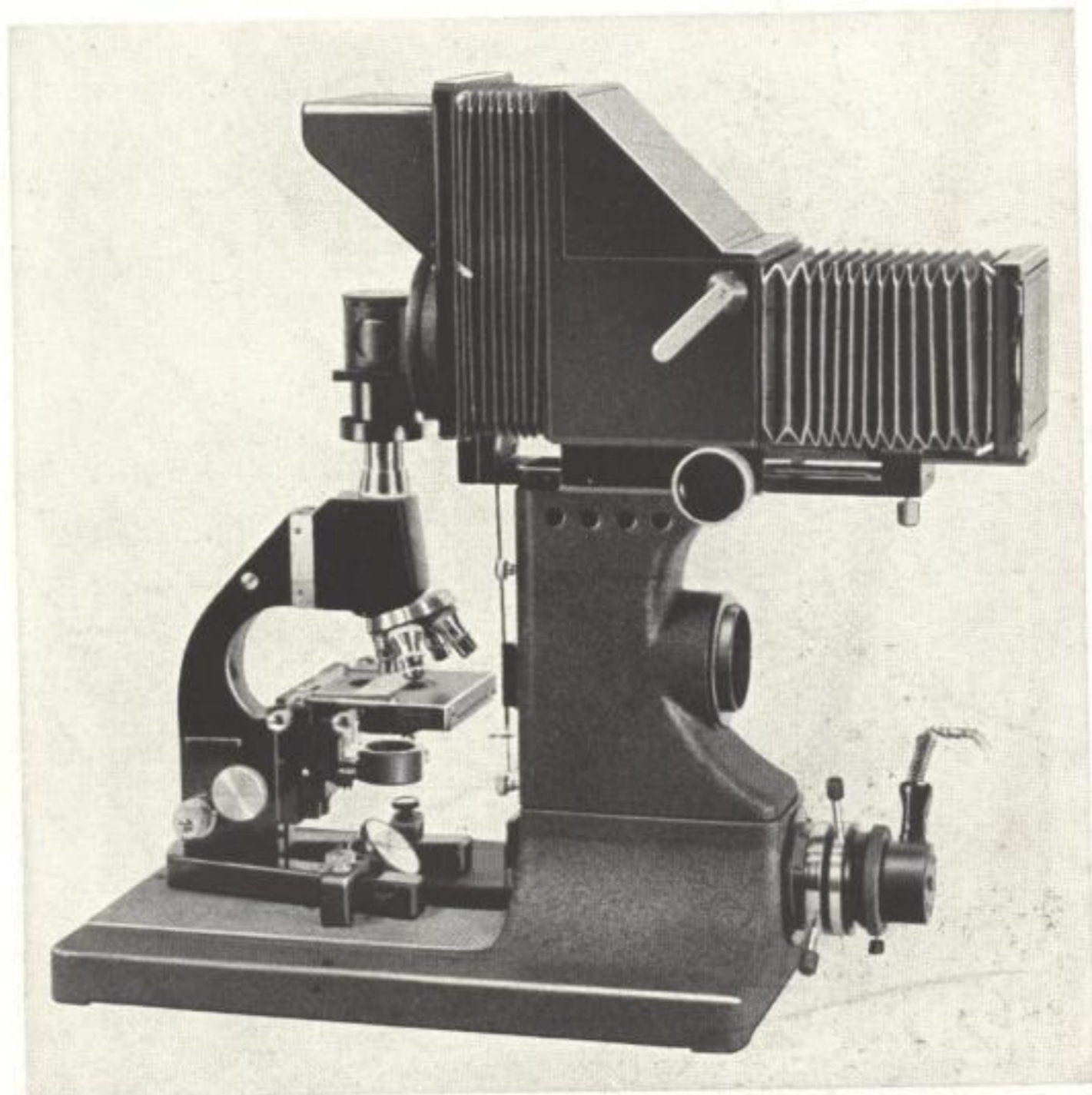


Fig. 150. Citophot für Durchlicht-Mikrophotographie.

das sich geneigt in Augenhöhe des Beobachters befindet. Grob- und Feintrieb sind tief angeordnet und leicht zu bedienen. Der Grobtrieb wirkt auf den Tisch, der Feintrieb auf den Objektivträger.

Für die Photographie wird ein Prisma in den Abbildungsstrahlengang geschaltet, das das Licht zur photographischen Platte reflektiert. Die Kamera befindet sich seitlich vom Mikroskop und läßt sich längs einer optischen Bank verschieben. Mit zwei Wellen an beiden Seiten der optischen Bank kann man die Grob- und Feinverstellung auch beim Einstellen auf der Mattscheibe vornehmen. Gegenüber der Kamera befindet sich die Beleuchtungseinrichtung mit Bogen-

lampe oder Niedervoltlampe, die, auf Reitern angebracht, in Richtung der optischen Achse verschoben werden kann. Da die lange optische Bank leicht Erschütterungen ausgesetzt ist, ruht die gesamte Anordnung auf vier Schwingtöpfen, die von außen kommende Störungen aufnehmen.

Für Übersichtsaufnahmen bei schwachen Vergrößerungen und Verkleinerungen wird das photographische Objektiv an der Balgen-

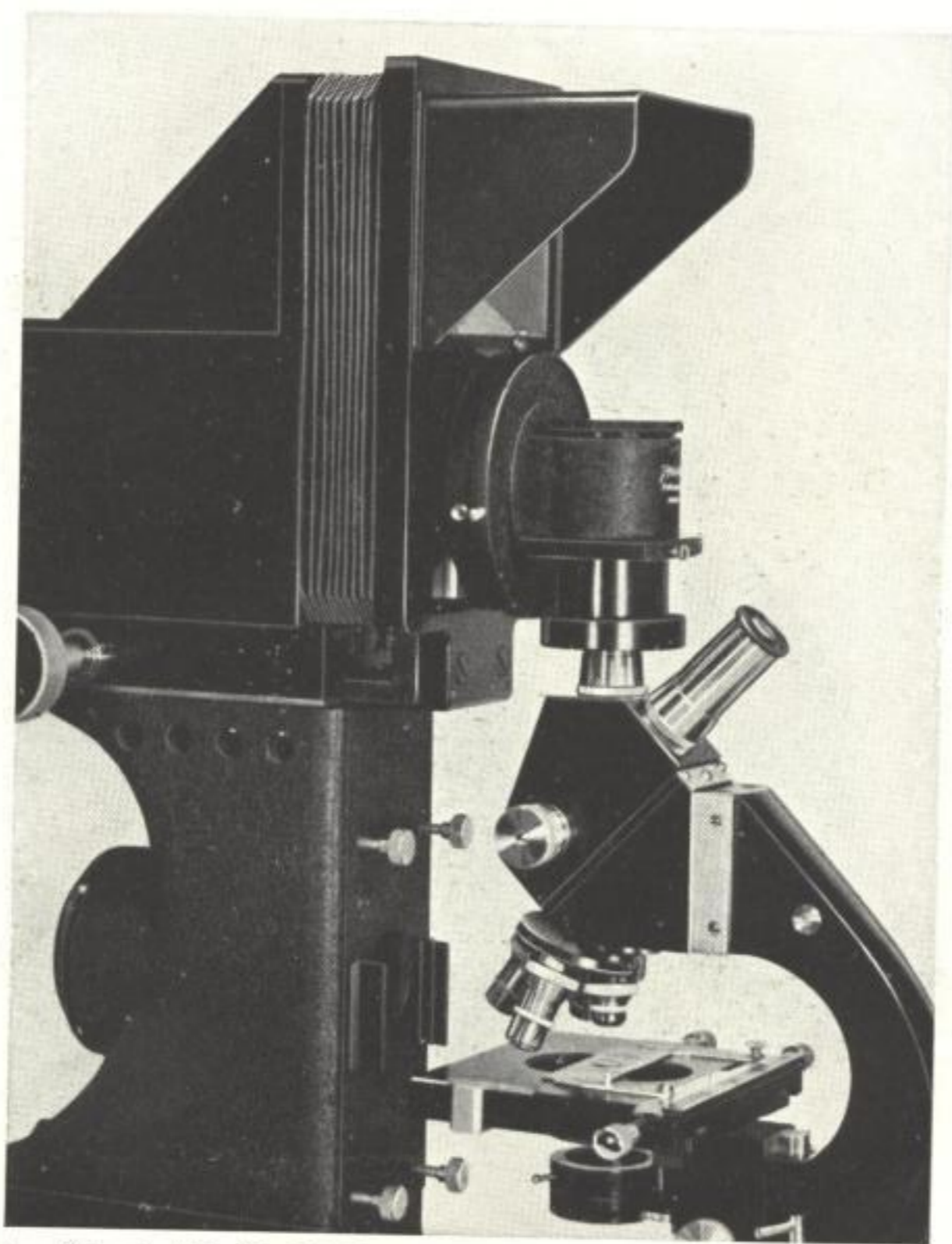


Fig. 151. Citophot in Verbindung mit einem Mikroskop mit Doppeltubus.

kamera befestigt, während das Objekt auf einem besonderen Objektisch liegt (Fig. 154).

Schnellste Arbeits- und Aufnahmebereitschaft gewähren die *Kamera-Mikroskope*, bei denen Lichtquelle, Mikroskop und Kamerabalgen fest und ein für allemal justiert zu einem Ganzen vereinigt sind. Diese Geräte sind besonders gut für Serienaufnahmen, wie sie bei laufender Betriebskontrolle gefordert werden, geeignet. Durch die feste Justierung ermöglichen sie dem Anfänger nach kurzer Einarbeitung exakte

Arbeit. Besonderer Wert wird bei den Kamera-Mikroskopen auf weitgehende Schwingungsfreiheit gelegt, um die Geräte auch im Werklabor benutzen zu können.

Man unterscheidet zwei Typen: Mikroskope nach LE CHATELIER und die Mikroskope in normaler Gebrauchslage. Ein Kamera-Mikroskop vom LE-CHATELIER-Typ ist das *Metaphot* (Fig. 155). Das *Metaphot* vereinigt ein Universal-Mikroskop für Durch- und Auflicht mit

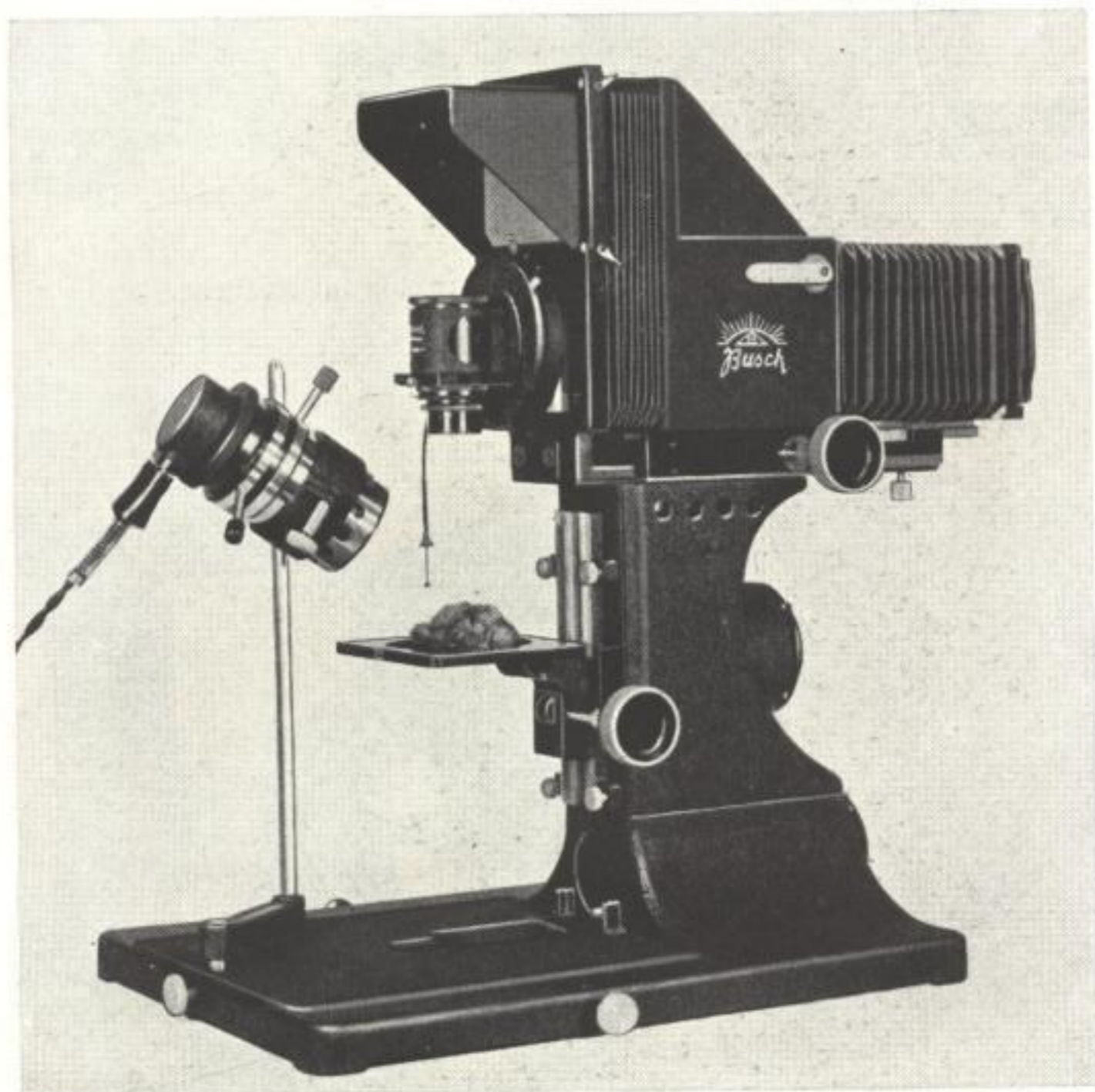


Fig. 152. Citophot für Auflicht-Makro-Photographie.

einer photographischen Kamera derart, daß Einstellung und Aufnahme vorgenommen werden können, ohne daß der Beobachter seinen Platz wechseln muß. Lichtquelle, Mikroskop und Kamera sind gedrängt gebaut, so daß das Gerät einen für mikrophotographische Apparaturen außerordentlich geringen Platz beansprucht. Der Kamerabalgen, von einer festen Länge von 50 cm, ist im Gehäuse des Gerätes untergebracht. Die Mattscheibe befindet sich pultartig geneigt in bequemer Betrachtungshöhe vor dem Beobachter. An Stelle des Mattscheibenrahmens kann die Kassette mit der photographischen Platte eingelegt werden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit,

die Kassette im Fuß des Gerätes anzubringen. Bei der Belichtung wird hierbei der Spiegel, der die Lichtstrahlen zur Mattscheibe reflektiert, ausgeschaltet, so daß sie ungehindert auf die unten liegende photographische Platte fallen können. Man ist auf diese Weise frei

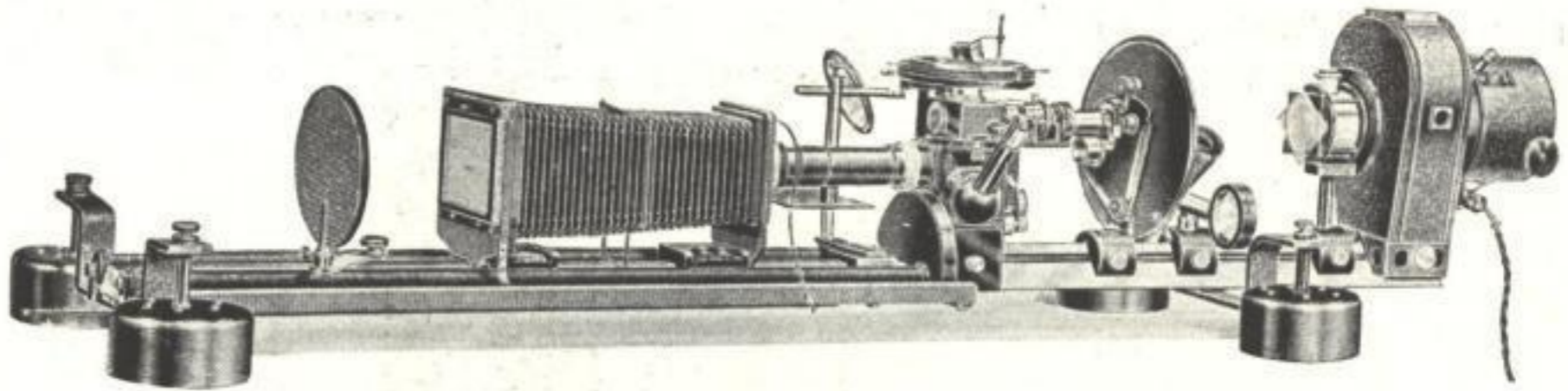


Fig. 153. Neophot für Mikrophotographie im Auflicht.

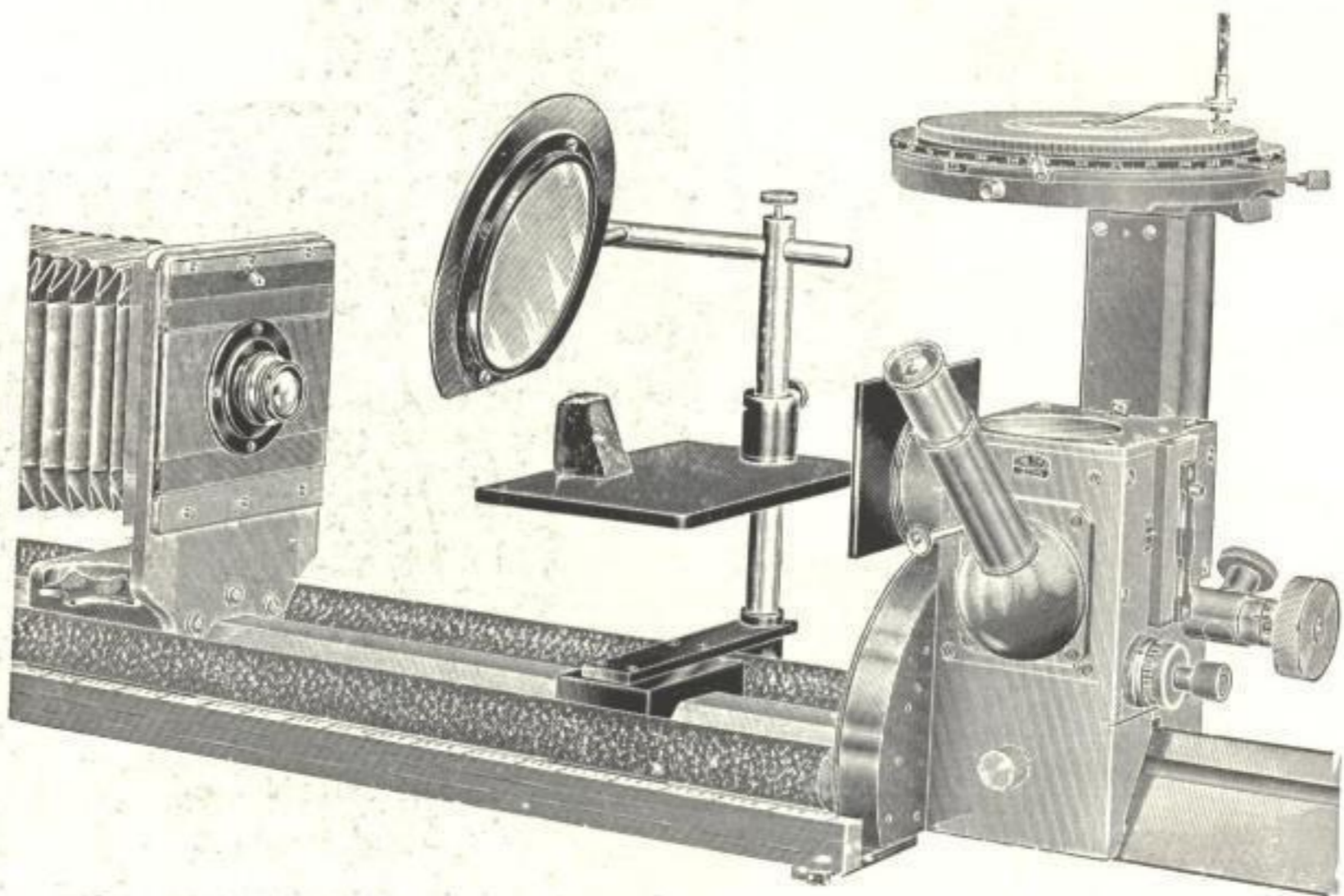


Fig. 154. Neophot für Makrophotographie im Auflicht.

von Abbildungsfehlern, die u. U. durch den Spiegel verursacht werden können. Das Mikroskop weist einen Doppeltubus auf, dessen einer Teil zur Beobachtung, der andere zur Photographie dient. Die Tuben sind so eingerichtet, daß entweder das Bild im Einblick-Okular zugleich mit dem Bild auf der Mattscheibe scharf ist, oder aber, daß nach Herausziehen des Okulartubus das subjektiv eingestellte Bild auf der Mattscheibe scharf ist. Die erste Einrichtung, die mit Hilfe eines

schwach versilberten Strahlenteilungs-Prismas ermöglicht wird, gestattet die Photographie lebender Objekte. Mit der zweiten Einrichtung kann man auch Objekte großer Dichte (oder im auffallenden Licht schwachen Reflexionsvermögens) bei genügender Helligkeit einstellen. Nach Ausschaltung des Einblick-Okulars fällt das gesamte Licht auf die photographische Platte.

Bei Durchlicht-Mikroskopie (vgl. Fig. 37) muß das Präparat mit dem Deckglas nach unten auf den Objektisch gelegt werden. Die Objektive befinden sich auf Schlitten, die von unten her in eine schräge Führung geschoben werden. Man vermeidet hierdurch, daß die Objektive beim Wechsel an das Objekt stoßen.

Für Mikroskopie im auffallenden Licht ist das Lampengehäuse an einem seitlichen Träger angebracht (Figur 155). Das Licht strahlt ohne Energieverlust durch Ablenkungsprismen zur Auflicht-Beleuchtungseinrichtung, die Hellfeld- und Dunkelfeld-Beleuchtung herzustellen gestattet.

In vielen Fällen erweist es sich als vorteil-



Fig. 155. Metaphot für Auflicht.

haft, die Länge des Kamerabalgens fest zu lassen, da dann mit der gleichen Optik stets dieselbe Vergrößerung erzielt wird, ohne daß man sich um die genaue Innehaltung der Balgenlänge zu kümmern hat. Soll jedoch die Mannigfaltigkeit der Vergrößerungen, die sich durch Kombination der Objektive und Okulare ergibt, noch erhöht werden, so schaltet man zwischen Okular und Bild das Vario-Okular ein (Fig. 156), das eine Veränderung der Vergrößerung bei gleichbleibender Scharf-

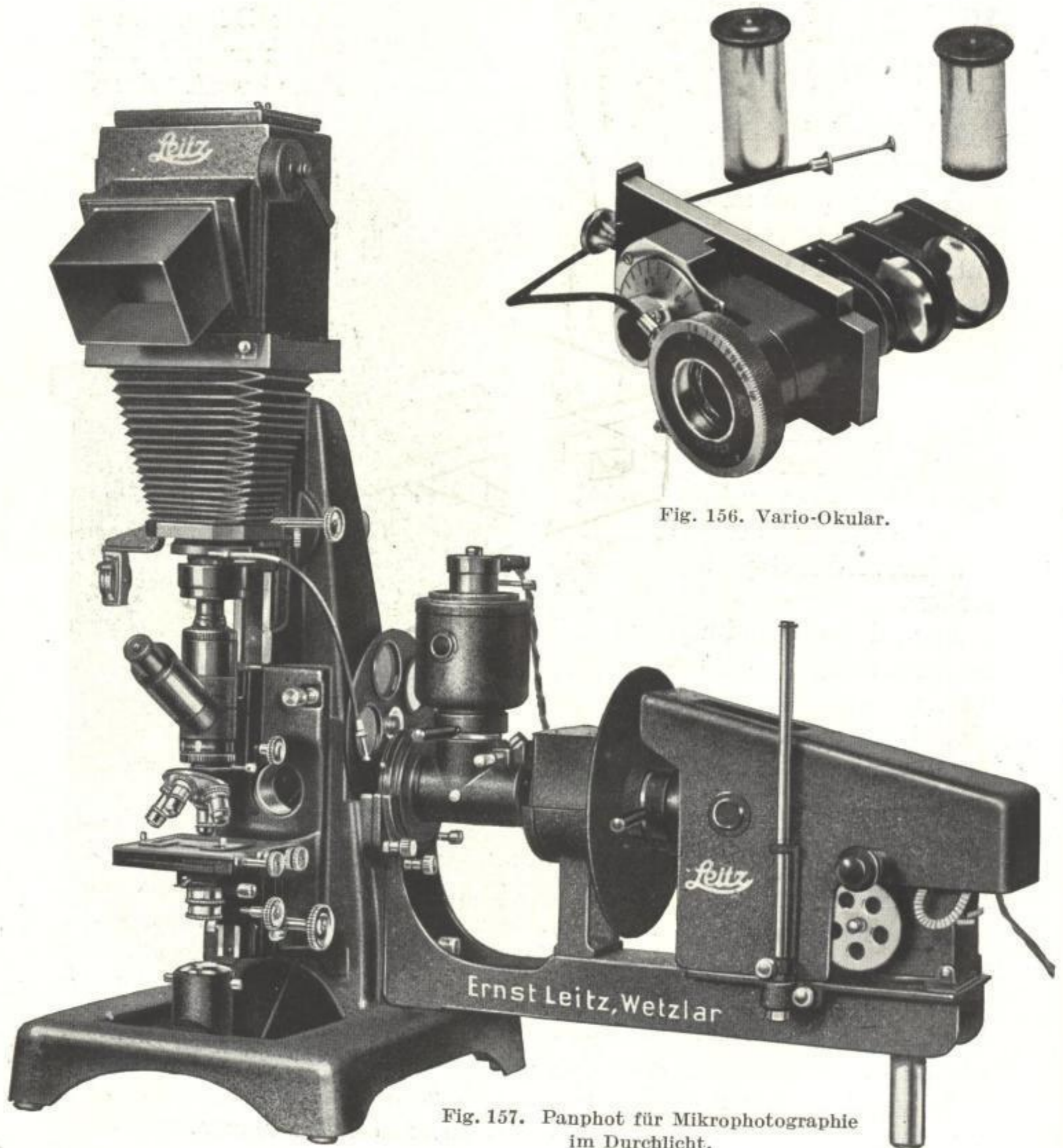


Fig. 156. Vario-Okular.

Fig. 157. Panphot für Mikrophotographie im Durchlicht.

einstellung gestattet. Durch Drehen an einem Knopf werden die Einzel-linsen des Okulars gegeneinander verschoben, so daß man optisch die Balgenlänge ändert, ohne dabei die Mattscheibenstellung zu verändern.

Im Gegensatz zum Metaphot ist beim *Panphot* das Mikroskop über dem Objekt angeordnet, so daß sich die Balgenkamera über dem Okular befindet (Fig. 157). Das Mikroskop, das wie das Metaphot einen

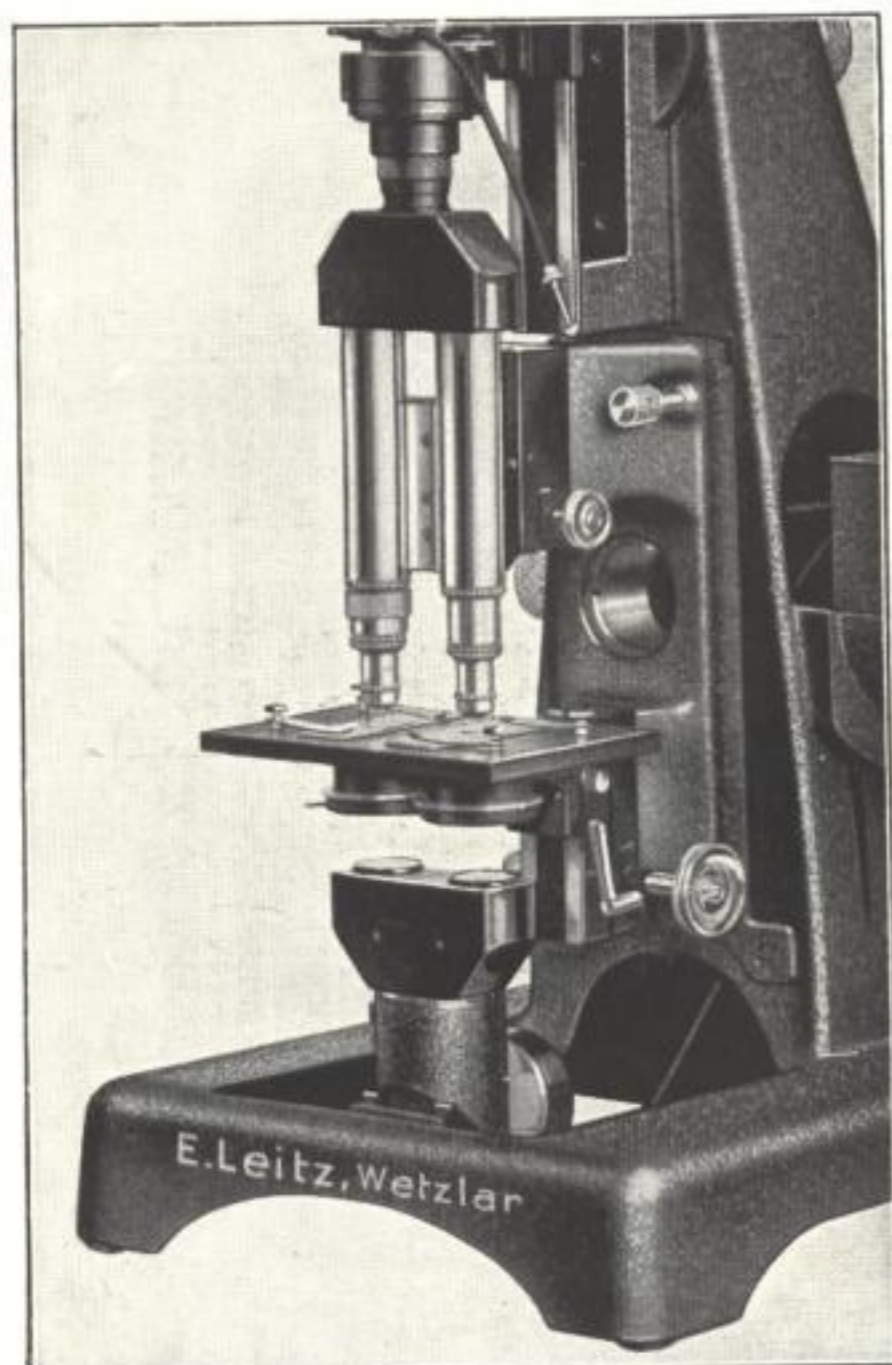


Fig. 158. Panphot als Vergleichsmikroskop.

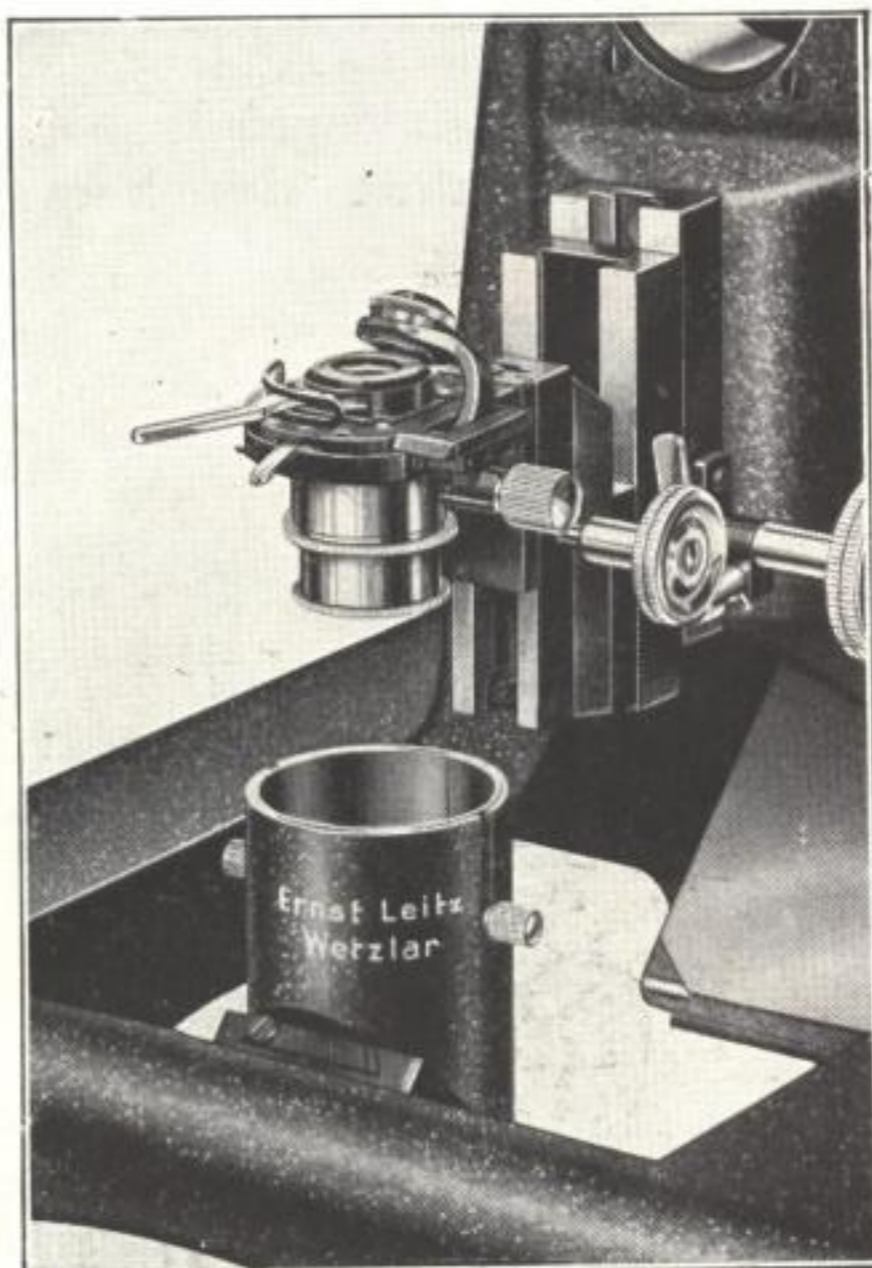


Fig. 159. Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung mit Zweiblenden-Kondensor.

Doppeltubus aufweist, ist an einer gußeisernen Säule befestigt, die zugleich Trägerin der Beleuchtungseinrichtung und des Kamerabalgens ist. Der Kamerabalgen, der beim Panphot in seiner Länge veränderlich ist, trägt in seinem oberen Teil eine Spiegelreflex-Einrichtung, mit deren Hilfe man das Bild auf einer Mattscheibe einstellt. Nach Ausschaltung des Spiegels ist das Bild auf der photographischen Platte scharf. Die Mattscheibe ist etwas geneigt, so daß der Beobachter im Sitzen das schräg über ihm liegende Bild erkennen kann.

Für Vergleichsaufnahmen kann ein Doppeltubus mit Vergleichsokular vorgesehen werden (Fig. 158).

Beim Panphot wird für Durchlichtbeleuchtung dieselbe Lichtquelle benutzt wie bei Auflichtbeleuchtung. Die Umschaltung von Durch-

licht- zu Auflichtbeleuchtung geschieht mit Hilfe eines drehbaren Spiegels. Als Lichtquellen dienen wahlweise Bogenlampe oder Glühlampe. Beide befinden sich auf einem gemeinsamen Träger. Der Wechsel von Glühlampen- zu Bogenlampenbeleuchtung geschieht durch Ausschalten eines Spiegels.

Neuartig ist beim Panphot der Zweiblenden-Kondensator (Fig. 159), bei dem Kondensator, Aperturblende und Gesichtsfeldblende in einem Teil zusammengefaßt sind. Durch Ausschalten des kurz-

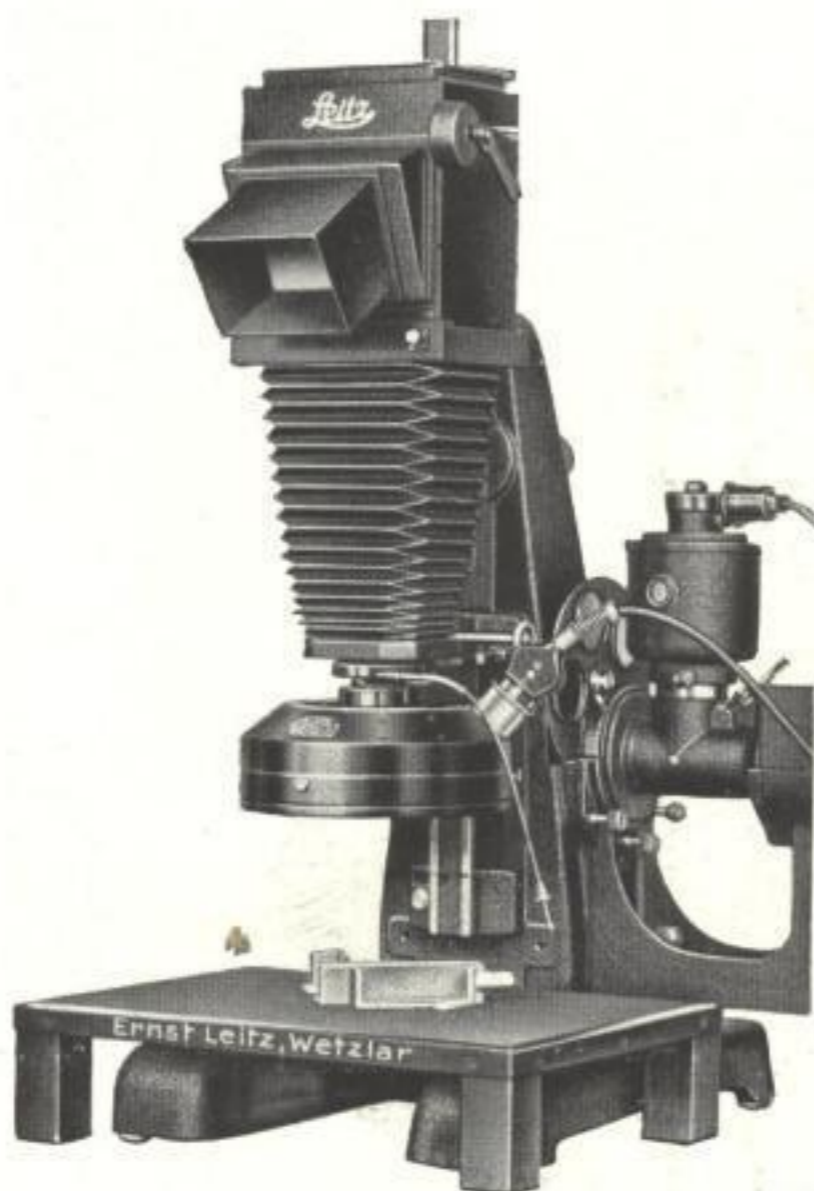


Fig. 160. Panphot für Makrophotographie mit Ringbeleuchtung.

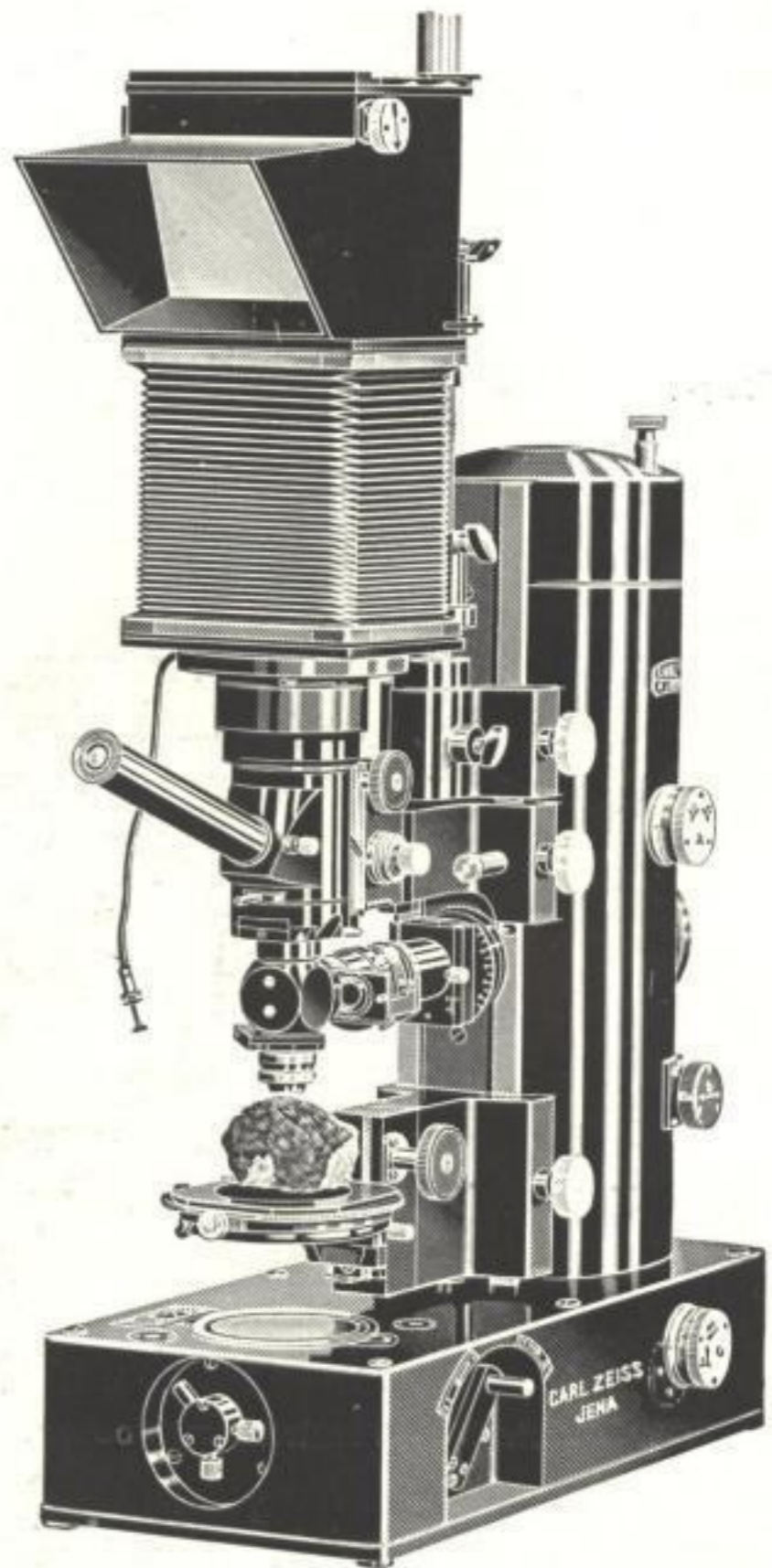


Fig. 161. Ultraphot für Mikrophotographie.

brennweitigen Vordersystems kann der Kondensator in Verbindung mit Objektiven von geringem Abbildungsmaßstab gebraucht werden. Die Gesichtsfeldblende des gesamten Systems wird hierbei Aperturblende, während die eigentliche Aperturblende wirkungslos wird.

Zur Auflichtbeleuchtung bei Übersichtsaufnahmen dient eine Ringbeleuchtungs-Anordnung, die aus zwölf Glühlämpchen besteht (vgl. Fig. 159). Mit Hilfe von Sektorblenden kann einseitige Beleuchtung erzielt werden (vgl. auch S. 89).

Das *Ultraphot* (Figur 161) weist, ähnlich dem Panphot, ein Mikroskop mit Balgenkamera und Spiegelreflex-Einrichtung über dem Objekt auf. Die Beleuchtungseinrichtung ist in der Tragsäule für Mikroskop und Kamera untergebracht. Besonderer Wert wurde hierbei auf die exakte Einhaltung des KÖHLERSchen Beleuchtungsprinzips gelegt.

Das Ultraphot ist, wie alle Kameramikroskope, außerordentlich vielseitig verwendbar, wie z. B. aus der in Fig. 162 gezeigten Verbindung von Ultraphot und Kinokamera hervorgeht.

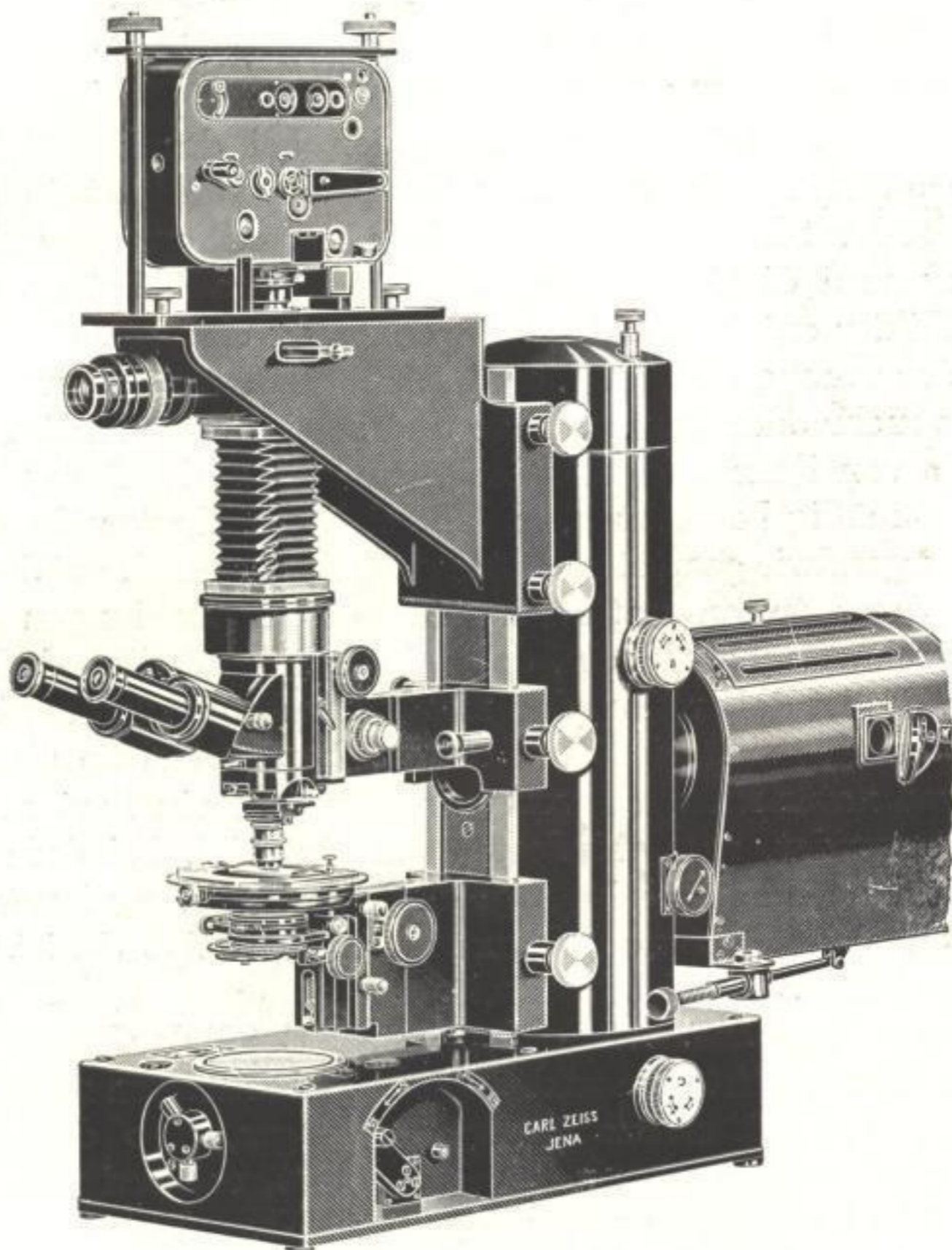


Fig. 162. Ultraphot als Mikro-Film-Kamera.

5. Kapitel.

Die photographische Aufnahme.

Die photographische Aufnahme eines nach den beschriebenen Methoden einwandfrei eingestellten mikroskopischen Präparates bietet

prinzipiell nicht die geringsten Schwierigkeiten mehr. Das Problem der Herstellung einer guten Mikrophotographie ist tatsächlich nur die richtige Einstellung und die richtige Auswahl an dem Präparat, so daß das fertige Bild das zeigt, was man darzustellen beabsichtigt. Jedoch angesichts der Fülle des zur Verfügung stehenden photographischen Materials und angesichts der Möglichkeit, durch die Behandlung der Schichten allerhand zu verderben, ist es vielleicht angebracht, die photographische Seite der Mikrophotographie etwas eingehender zu behandeln.

1. Das Aufnahmematerial.

Wie auf S. 34 erwähnt wurde, werden bei der Beobachtung die Kontraste stark vermindert. Der Grund hierfür liegt in den zahlreichen Glas-Luft-Flächen, die in einer mikroskopischen Apparatur vorkommen und die im günstigsten Falle etwa 6 betragen, so daß 15 Spiegelbilder entstehen. Selbst wenn man eine günstige Lage der Spiegelbilder voraussetzt, d. h. eine solche, daß sie sich nicht auf der Schicht als mehr oder weniger helle und ausgedehnte Kreise abbilden, sondern die von ihnen ausgehenden Strahlen das Bild und damit die Platte gleichmäßig beleuchten, so läßt sich die Kontrastherabsetzung durch kein irgendwie geartetes Mittel vermeiden. Auch bei der Dunkel-feldbeobachtung treten natürlich solche Überstrahlungen auf, und es kann durchaus möglich sein, daß feinere Einzelheiten dadurch verschwinden. Es ist daher klar, daß man für mikrophotographische Aufnahmen, sofern es sich nicht um extrem kontrastreiche Gegenstände handelt, was natürlich auch vorkommen kann, ein hart arbeitendes Material verwendet, zum mindesten ein Material, bei dem man die Möglichkeit hat, durch geeignet geleitete Entwicklung kontrastreiche Bilder zu erzielen, wozu noch kommt, daß derartige Schichten meist feinkörniger sind als weicher arbeitende.

Wegen der chromatischen Korrektur (siehe S. 29) der Mikroobjektive, die bei den gebräuchlicheren und billigeren Achromaten mehr in bezug auf das Empfindlichkeitsmaximum des Auges, also das gelbgrüne Spektralgebiet, erfolgt ist als für das Gebiet, das auf die photographische Schicht wirkt, das kürzerwellige Blau, Violett und Ultraviolett, ist es ratsam, wenn nicht andere Gründe dagegen sprechen (siehe S. 169), die Aufnahme auch mit dem Licht auszuführen, mit dem die visuelle Einstellung erfolgt ist und andersfarbiges Licht zu beseitigen. Hierfür ist von ZETNOW ein Filter folgender Zusammensetzung ausgearbeitet worden:

Kaliumbichromat	20 %	} je nach Bedarf verdünnen.
Kupferchlorid . .	8 %	

Das bedingt ein Aufnahmematerial, das gut orthochromatisch oder besser noch — denn dies erweitert den Anwendungsbereich — panchromatisch sensibilisiert ist. Es ist freilich nicht unbedingt notwendig, diese Regel zu befolgen: Man kann auch die Aufnahme mit kürzer- bzw. längerwelligem Lichte ausführen, als die Einstellung erfolgte, nur muß man dann durch geeignete Voruntersuchungen — das kann ein für allemal für bestimmte Filter geschehen — ermitteln, wo für diese Strahlen die größte Schärfenebene liegt, und das Mikroskop entsprechend verstellen (siehe S. 29). Sind diese Überlegungen für beste Konturenschärfe maßgebend, so spielt andererseits natürlich auch der Kontrast eine große Rolle, so daß man außerdem noch Licht wählen muß, bei dem die Kontraste des Gegenstandes — das gilt besonders für farbige Objekte — besonders hervorgehoben werden (siehe S. 169). Es ist daher wünschenswert, mit nicht zu weit ausgedehntem Spektralgebiet die Aufnahme durchzuführen, so daß einmal die chromatische Korrektur der Objektivselektion zur Geltung kommt und andererseits der Kontrast erhalten bleibt bzw. verstärkt wird. Erreichen kann man dies durch ein geeignetes Filter.

Schließlich muß noch eine Bedingung erwähnt werden, die an Material für mikrophotographische Aufnahmen zu stellen ist: Es muß unbedingt lichthoffrei sein. Da in vielen Fällen das Licht zwischen einzelnen Teilen des Objektes hindurchgeht, ist die Bildung von Reflexionslichthöfen sehr begünstigt, wodurch Feinheiten überstrahlt und somit verdeckt oder auch Konturen vorgetäuscht werden können, die gar nicht vorhanden sind. Häufig findet man nun die Ansicht vertreten, daß Filme auch ohne besondere Lichthofschutzschicht nicht so zur Bildung von Lichthöfen neigen. Das ist falsch, denn die Bildung von Lichthöfen hängt nur von der Differenz der Brechungsexponenten des Schichtträgers und der Luft ab, und diese ist für Glas und Celluloid praktisch gleich. Bei Filmen wird der Lichthof nur deshalb nicht so leicht wahrgenommen, weil er infolge der geringeren Dicke des Trägers (siehe Fig. 163 nach KÜSTER¹) dicht neben dem eigentlichen Bild liegt; aber gerade darum wirkt er mitunter noch störender als bei Platten. Die Vermeidung des Lichthofes ist nur durch eine gut wirkende Lichthofschutzschicht möglich. Eine solche besitzen heute fast alle im Handel befindlichen Schichten der bekannteren photographischen Firmen. Sollte in dem einen oder anderen Falle der Schutz nicht ausreichen [eine Prüfung kann mit dem von Zeiss-Ikon in den Handel gebrachten Lichthofprüfer oder nach der Methode von KÜSTER¹) geschehen], so läßt sich noch ein übriges dadurch tun, daß man die Rückseite der Platte (Filme

¹) A. KÜSTER, *Photogr. Korresp.* 71 (1935) 65; *Veröff. wiss. Zentrallabor, Agfa* 4 (1935) 69.

sind hierfür nicht besonders geeignet) mit Glycerin bestreicht und dann schwarzes Papier darauf andrückt, unter möglichst vollkommener Beseitigung aller Luftblasen, so daß für guten optischen Kontakt gesorgt ist. Bloßes Hinterlegen mit schwarzem Papier ist zwecklos; da dann zwischen Platte und schwarzem Papier stets eine, wenn auch sehr dünne Luftschicht liegt, so daß das Licht, das an der Grenze Glas-Luft reflektiert wird, gar nicht auf das schwarze Papier trifft, also auch nicht absorbiert werden kann. Durch Verringern der Belichtung läßt sich in der Mikrophotographie der Lichthof meist nicht vermeiden, da die Kon-

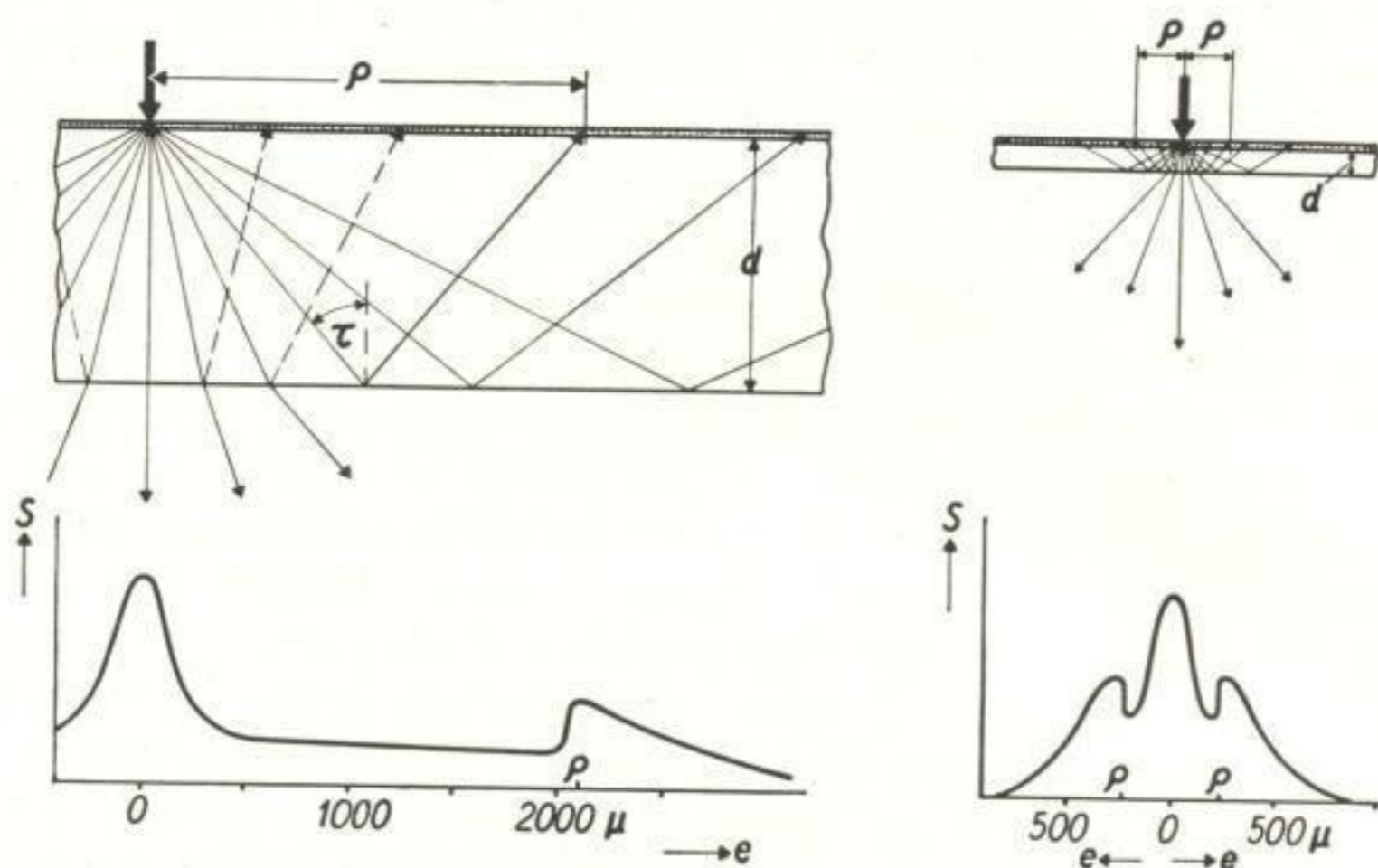


Fig. 163. Entstehung des Reflexionslichthofes bei Platten (links) und Filmen (rechts) und schematische Darstellung der Schwärzungsverteilung.

traste zwischen den glasklaren Stellen des Objektes (z. B. bei Ausstrichen) und dem eigentlichen Objekt vielfach zu groß sind.

Die Herstellung von infrarotempfindlichen Schichten hat auch zu Versuchen mit Infrarotaufnahmen in der Mikrophotographie Veranlassung gegeben, womit recht gute Erfolge erzielt worden sind¹⁾. Welches Material (es werden Platten und Filme mit verschiedenen Empfindlichkeitsbereichen hergestellt) für den einzelnen Fall in Frage kommt, muß durch Versuche festgestellt werden. Für UV-Aufnahmen ist kein besonderes Material notwendig, da die üblichen Schichten bis etwa $300\text{ m}\mu$ empfindlich genug sind.

Es wäre die Frage zu erörtern: Film oder Platte? Es kommen auch heute noch fast ausschließlich Platten zur Verwendung, selbst wenn

¹⁾ G. REINERT, Zeiss-Nachrichten II, 4 (1933) 13; P. KRAFT, Ber. VIII. Intern. Kongreß Photogr., Dresden 1931, S. 341; F. PAX, Zool. Anz. 106 (1934) 15; J. EGGERT, Veröff. wiss. Zentrallabor, Agfa 4 (1935) 115.

als Aufnahmekamera Kleinbildformate, wie z. B. die Contax oder der Leica-Aufsatz für Mikroskope, benutzt werden, und zwar wohl hauptsächlich, weil es sich um Einzelaufnahmen handelt. Für Serienaufnahmen wären Rollfilme sehr bequem, doch sind Apparate, bei denen als lichtempfindliches Material der Rollfilm dient, noch nicht gebaut. Solche Apparate wären durchaus möglich, etwa nach Art des Citophot oder des Panphot, bei denen dann vorausgesetzt werden muß, daß das Bild auf der Schicht dann scharf ist, wenn man es in dem Einstellokular bzw. in der Spiegelreflexeinrichtung scharf sieht, da eine Einstellmöglichkeit mit Lupen und Mattglasscheibe natürlich wegfiel. In bezug auf Bildschärfe werden Rollfilme bis 6×9 sowie Packfilme und Planfilme bis 9×12 cm den Platten nicht nachstehen, weil sich im Bildraum eine Verschiebung der Einstellebene um einen geringen Betrag, was bei nicht Planliegen des Filmes der Fall ist, nicht auf die Schärfe störend bemerkbar macht. Allerdings sind die Apparate für Platten ohne Zweifel voraussetzungsfreier, als die Apparate für Rollfilme es jemals sein werden, da man durch die Einstellmöglichkeit mit Mattscheibe und Lupe in der Lage ist, die lichtempfindliche Schicht ganz exakt an den Bildort zu bringen, sofern man mit sichtbarem Licht arbeitet. Eine bindende Regel läßt sich nicht geben, sondern man kann nur von Fall zu Fall entscheiden, was das Geeignete ist.

Die Frage nach der Art des Materials kann man auch kaum allgemein beantworten. Ohne den speziellen Anwendungszweck zu kennen, läßt sich nur soviel sagen, daß jede gute Schicht des Handels, und zwar pan- oder orthochromatisch oder auch unsensibilisiert (bei Aufnahmen mit blauem oder violetterm Licht), sofern sie nicht ausgesprochen grobkörnig ist oder zu weich arbeitet (Porträtplatten), gute Mikrophotographien herzustellen erlaubt. Hart arbeitende Schichten sind für viele Fälle vorzuziehen (siehe S. 14). Wegen ihrer sehr günstigen Gradation und ihrer Feinkörnigkeit und ihres guten Auflösungsvermögens (infolge der gelben Anfärbung der Schicht) hat sich vielfach die Silbereosinplatte von Perutz ausgezeichnet bewährt. Sehr geeignet würden auch die dünnen modernen Schichtfilme sein. Leider gibt es diese nur für Kleinbildformat, und Vergleichsversuche haben gezeigt, daß ein nachträgliches Vergrößern auf 9×12 einer direkten Aufnahme auf 9×12 nicht ganz gleichwertig ist. In bezug auf Körnigkeit und Auflösungsvermögen haben Reproduktionsschichten ähnliche Eigenschaften wie die Dünnschichtfilme, so daß man diese, falls genügend Licht zur Verfügung steht, verwenden kann.

Für farbige Aufnahmen, soweit sie auch direkt betrachtet werden sollen, kommen einmal die Farbrasterplatten bzw. Rasterfilme, und

zwar sowohl mit regelmäßigem als auch mit unregelmäßigem (Korn-) Raster in Frage, zum mindesten noch so lange, als die Verarbeitung der nach dem subtraktiven Verfahren (Kodachrom, Agfa-Color-Neu) hergestellten Aufnahmen noch von den Entwicklungsanstalten der betreffenden Firmen vorgenommen werden muß. Allerdings lohnen sich mit Rasterplatten nur Aufnahmen von größeren Flächen, da bei zu vielen feinen Details im Bild das Raster zu grob ist. Handelt es sich nur um Projektionsbilder und steht ein Dreifarbenprojektionsapparat zur Verfügung, so können farbige Mikroaufnahmen mit einer Dreifarbenkamera angefertigt werden. Diesen Weg wird man auch dann gern wählen, wenn die Bilder farbig reproduziert werden sollen, da bei Farbrasteraufnahmen die Auszüge nachträglich hergestellt werden müssen. Für viele Zwecke der Mikrophotographie werden auch Aufnahmen nach dem Zweifarben-Verfahren genügen, denn es ist, besonders wenn es sich um gefärbte Präparate handelt, nicht um naturgetreue Wiedergabe zu tun, sondern vor allem um Darstellung von Unterschieden, die im Schwarz-Weiß-Bild mitunter nur sehr unvollkommen möglich ist.

Für Kinoaufnahmen kommen von dem additiven Verfahren Farbrasterbilder nicht in Betracht, auch nicht solche mit regelmäßigem Raster, wohl aber können alle übrigen normalen Zwei- und Dreifarben-Verfahren Verwendung finden. In medizinischen Kreisen scheint eine gewisse Beachtung das Francitaverfahren gefunden zu haben, das sich natürlich auch für Mikrokinematographie anwenden läßt. (Für andere Verfahren siehe B. KLEIN, *Colour Cinematography* Chapman & Hall Ltd., London 1936.)

Es ist sehr wahrscheinlich, daß in Zukunft Farbverfahren, die auf subtraktiver Synthese beruhen, auch für die Mikrophotographie eine Rolle spielen werden; vor allem wohl das Agfa-Color-Neu-Verfahren und das Kodachrom-Verfahren; bei beiden sind die Schichten kornlos und zeigen ein gutes Auflösungsvermögen. Allerdings besteht — wie schon angedeutet — gegen eine weitverbreitete Anwendung vor allem für die Mikrophotographie nach diesem Verfahren ein wesentlicher Hinderungsgrund: die Bearbeitung. Es ist sehr unbequem, die Verarbeitung der Aufnahmen nur den Entwicklungsanstalten zu überlassen und erst nach einigen Tagen feststellen zu können, ob die Aufnahme gelungen ist oder nicht. Es wäre daher sehr zu begrüßen, wenn die Entwicklervorschriften bekanntgegeben werden — wie von der Agfa zugesichert ist —, damit jeder seine farbigen Aufnahmen selbst entwickeln kann. Das dürfte sehr dazu beitragen, daß dieses Verfahren sich weitgehend für Mikrophotographie durchsetzt. Als Aufnahme-material kommt zunächst die Kleinaufnahme 24×36 mm in Betracht;

doch werden wohl bald die betreffenden Schichten auch in größeren Formaten den Photographierenden zugänglich gemacht werden. Da in vermutlich absehbarer Zeit das Kopieren — vielleicht auch schon auf Papier — dieser Schichten möglich sein wird (Farbauszüge für Reproduktionszwecke können natürlich ohne Schwierigkeiten hergestellt werden), so dürften additive Verfahren kaum noch ernstlich konkurrieren.

2. Filter.

Häufig ist es durchaus nicht nötig, sofern nicht allzuviel Farben in dem Objekt vorkommen, daß man farbige Aufnahmen macht. Es genügt, die Unterschiede im Schwarz-Weiß-Bild darzustellen. Zu diesem Zwecke ist es wichtig, die richtigen Filter zu wählen und auch die richtige Einstellung. Man soll sich stets beim Vorschalten des Filters von dem Aussehen des Bildes überzeugen; bevor man die Aufnahme macht, muß man allerdings etwas Übung haben, die Farbwerte in Schwarz-Weiß-Werte zu übersetzen. Dienen als Aufnahmematerial nicht panchromatische Schichten, so kann man bei der Einstellung dem Auge behelfsweise die spektrale Empfindlichkeit des Materials dadurch verleihen, daß man für orthochromatisches Material ein schwaches Grünfilter und für nicht sensibilisiertes Material ein Blaufilter zusätzlich vorschaltet. Für Panchschichten ist ein zusätzliches Filter nicht nötig.

Bei dem Gebrauch von Filtern ist zu beachten, daß die Einstellung normalerweise *stets* mit Filter vorgenommen werden soll (siehe S. 29), eine Regel, die übrigens auch in der gewöhnlichen Photographie gilt; ferner muß man daran denken, daß die Achromate (siehe S. 29) chromatisch nur für die hauptsächlich auf das Auge wirksamen Strahlen korrigiert sind, daß aber die photographische Platte auf die kurzwelligen Strahlen besonders reagiert. Da deren Brennpunkt gegenüber dem der physiologisch wirksamen Strahlen differiert, so können scharf eingestellte Bilder unscharf erscheinen, wenn man nicht die blauen Strahlen weitgehend mit einem Gelbfilter wegnimmt. Das ist natürlich nur bei Lampen nötig, die viel kurzwelliges Licht ausstrahlen: Bogenlampen, Quecksilberlampen und auch nur bei Achromaten, nicht bei Achromaten.

Es ist für mikrographische Zwecke sehr nützlich, einen großen Satz Filter zu haben, mit denen man die verschiedenen Spektralgebiete ausblenden kann, um die Beleuchtung den Objekten anpassen zu können. Zur Erhöhung der Kontraste muß man Komplementärfilter verwenden; z. B. werden mit Fuchsin gefärbte Bakterien mit einem Grünfilter photographiert. Komplementärfilter für blaue Gegen-

stände sind gelb, und umgekehrt. Man kann sich diese Filter als einfache Gelatinefilter selbst herstellen, da man das Filter im Strahlengang ja da einschalten kann, wo Unebenheiten und Flecke nicht störend wirken (z. B. in Fig. 54a in der Nähe von A_1). Als Filterfarbstoffe, die von der I. G. Farbenindustrie A.-G. bezogen werden, kommen in Betracht: für Rot: Alizyrin, Bordeaux, Rose bengale, Rapid-Filterrot; für Orange: Naphtholorange; für Gelb: Tartrazin, Naphtholgelb, p-Nitrophenol in alkalischer Lösung; für Grün: Filtergrün, Naphtholgrün, Naphthalin-grün, Malachitgrün, Filterblaugrün; für Blau: Methylenblau, Viktoria-blau, Toluidinblau; für Violett: Methylviolett, Säureviolett, Gentiana-violett. Vor allem ist zu beachten — das gilt besonders, aber nicht ausschließlich für Gelatinefilter —, daß die Lichtquelle niemals auf dem Filter abgebildet wird, da diese sehr darunter leiden (Ausbleichen).

Man gießt sich auf gesäuberte 9×12 -Platten eine Reihe Filter verschiedener Dichten (auf eine 9×12 -Platte werden etwa 8 cm^3 einer Lösung gegossen, die 10% Gelatine und den Farbstoff in verschiedener Konzentration enthält), und zwar am besten von Dichten, die in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen, die man dann nach Bedarf bequem kombinieren kann. Ein Blaufilter, das kein Rot mehr hindurchläßt, kann man sich dadurch herstellen, daß man eine photographische Schicht gleichmäßig schwärzt und das Silberbild in ein Eisenblaubild überführt in folgenden Bädern: 10 cm^3 1proz. Kaliumferricyanidlösung, 5 cm^3 10proz. Eisenammoniakalaun (Ammoniumferrisulfat), 100 cm^3 Wasser, 1 cm^3 Salzsäure. Verschieden dichte Silberbilder ergeben dann verschieden dichte Filter. Ferner absorbiert auch Filterblaugrün recht gut im roten Gebiet. Man kann die Farbfilter auch fertig beziehen, und zwar Gelatinefilter von der I.G. Farbenindustrie, Agfa; Farbgläser von Schott und Genossen. Der Vorteil der Gelatinefilter liegt in der Mannigfaltigkeit, der der Farbgläser in der höheren Beständigkeit.

3. Bestimmung der Belichtung.

Die sicherste Methode zur Ermittlung der Belichtung ist die stufenweise Probelichtung, entweder mit einer Multiplikator-Kassette (Zeiss) oder einer gewöhnlichen Kassette, bei der man den Schieber am besten in nach geometrischer Reihe abgestuften Belichtungszeiten verschiebt. Als Behelf zur Belichtungsbestimmung kann man auf die Schicht durch den auf die Platte auftreffenden Lichtstrom — bei weggenommenem Objekt — einen neutralgrauen Stufenkeil kopieren. Aus der Sichtbarkeit der eben noch feststellbaren Schwär-

zung läßt sich dann mit ausreichender Genauigkeit die Belichtung ermitteln. Für den, der sehr häufig mikrographische Aufnahmen macht, lohnt sich ein einwandfreier Belichtungsmesser, den man sich zunächst an der Apparatur eichen muß. Es ist nicht empfehlenswert, diese Eichung mit jedem einzelnen Filter vorzunehmen, sondern nur mit weißem Licht und die Absorption der Filter ein für allemal getrennt zu ermitteln. Für genaue Bestimmung der Belichtungen eignen sich zwei Arten von Instrumenten: die Vergleichsphotometer, wie es z. B. von ZSCHAU¹⁾ angegeben worden ist, mit dem man die Leuchtdichten in den Schatten messen kann, und die photoelektrischen Belichtungsmesser.

Aus Bequemlichkeitsgründen wird man einen photoelektrischen Belichtungsmesser mit Sperrschichtzellen benutzen. Diese sind normalerweise nicht für mikrographische Aufnahmen dimensioniert und werden häufig in der Empfindlichkeit nicht ausreichen, um, an den Ort des Bildes gehalten, einen Ausschlag zu ergeben. Man tut deshalb nach einem Vorschlag von M. WEINLAND²⁾ gut, durch eine dazwischen geschaltete Linse den vom Okular austretenden Lichtstrom auf die Photozelle zu konzentrieren und so die mittlere Leuchtdichte des Bildes zu ermitteln. Man riskiert dabei allerdings, falls im Bild sehr helle, nicht bildwichtige Stellen sind, daß man eine zu kurze Belichtungszeit bestimmt oder bei dunklen, nicht bildwichtigen Stellen eine zu lange. Es wäre jedenfalls verkehrt, die Messung rein schematisch vorzunehmen und nicht auch die Erfahrung mitsprechen zu lassen.

Man kann — mit der nötigen Vorsicht — auch einen Stufenkeil aus Papier zur Ermittlung der Belichtungszeit verwenden: Man stellt sich diesen Keil durch stufenförmiges Übereinanderlegen von dünnem, durchsichtigem Papier her, bringt diesen an den Ort des Bildes auf die Klarglasscheibe und bestimmt die Stufe am Keil, bei der gerade keine Struktur des Objektes mehr erkennbar ist. Den Keil muß man natürlich empirisch durch Aufnahmen eichen, und die nötige Vorsicht bei der Verwendung besteht vor allem darin, für einen gleichmäßigen Adaptationszustand des Auges zu sorgen, z. B. nach der Scharfeinstellung des Bildes nicht in die Lichtquelle zu sehen und dann die Belichtung bestimmen zu wollen.

¹⁾ H. ZSCHAU, Diplomarbeit, Dresden 1936; vgl. auch A. J. DELLADAY, Solving the abnormal exposure problem, *The Brit. Journal Photographic Almanach* 1937, S. 127.

²⁾ M. WEINLAND, *Z. wiss. Mikrosk. u. mikrosk. Technik* 53 (1936) 183, referiert *Photographische Ind.* 35 (1937) 32.

4. Auflösungsvermögen.

Man wird oft in der bildmäßigen Photographie wie auch in der Mikrophotographie die Ansicht hören, daß die exakte Ermittlung der richtigen Belichtung nicht so bedenklich ist, wenn man nur Unterbelichtung vermeidet, da unsere photographischen Materialien einen großen Belichtungsspielraum haben. Diese Ansicht ist nur sehr bedingt richtig, unbedenklich überall da, wo man noch nicht an der Grenze

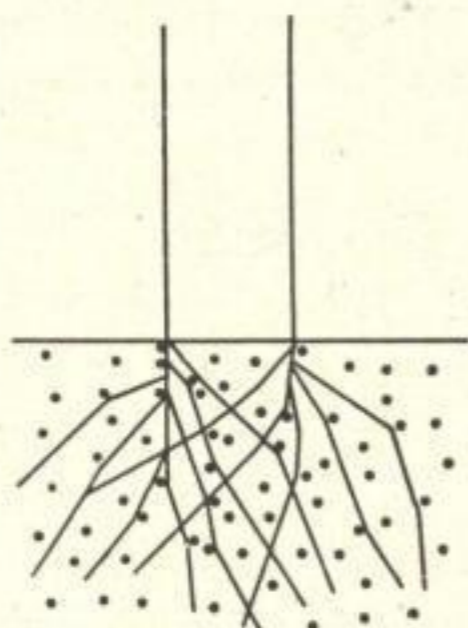


Fig. 164.

des Auflösungsvermögens der Schicht ist, und wo eine starke Okularvergrößerung (leere Vergrößerung) die Belichtung nicht zu sehr ausdehnt (bei veränderlichen Objekten!). Wenn es sich aber darum handelt, hier wirklich das Letzte herauszuholen, dann ist eine Überbelichtung ebenso zu vermeiden wie eine Unterbelichtung. Denn mit zunehmender Belichtung „sinkt“ das Bild von der Schichtoberfläche immer mehr in die Tiefe. Da zwischen dem Bromsilber und der Gelatine eine beträchtliche Differenz im Brechungsindex besteht ($\text{AgBr} = 2,25$; Gelatine = $1,53$; Differenz = $0,72$), so macht sich mit zunehmender Tiefe die

Streuung durch die Schicht, der sog. Diffusionslichthof, immer stärker bemerkbar. Sorgt man durch lange — bzw. intensive — Belichtung dafür, daß dieses Streulicht stark genug ist, um die Bromsilberkörner entwickelbar zu machen, so können Einzelheiten ineinander übergehen (siehe Fig. 164). Das läßt sich dann auch durch Abschwächen nicht mehr verbessern.

Es überlagern sich nun hierbei zwei Effekte: einerseits diffuse Reflexion und Brechung (evtl. auch Beugung) des Lichtes an den Bromsilberkristallen, die um so größer sind, je kurzwelliger das Licht ist, und andererseits die Absorption des Bromjodsilbers + Sensibilisators. Im Violett und weiter im nahen Ultraviolett ist diese Absorption bereits so stark, daß der größte Teil des einfallenden Lichtes schon von den Körnern an der Schichtoberfläche absorbiert wird, so daß die Intensität des zerstreuten Lichtes zu gering ist, um getroffene Körner entwickelbar zu machen und so durch Auftreten des Diffusionslichthofes das Auflösungsvermögen zu verschlechtern. Mit zunehmender Wellenlänge nimmt zunächst bei den jetzt üblichen Schichten die Absorption rascher ab als die Streuung: gestreutes Licht von genügender Intensität dringt in die tieferen Lagen ein und macht die Körner entwickelbar: das Auflösungsvermögen wird schlechter. Weiter nach dem Rot und Infrarot zu wird zwar die Absorption nicht oder kaum besser, die Streuung jedoch immer geringer (nach dem Gesetz von

RAYLEIGH ist die Streuung umgekehrt proportional λ^4), so daß die Güte des Auflösungsvermögens wieder zunimmt. Nach Versuchen von ROSS, SHEPPARD und MEES und G. L. DIMMICH¹⁾ ist das gelbgrüne Spektralgebiet um $550 \text{ m}\mu$ am ungünstigsten. Will man das Auflösungsvermögen der photographischen Schicht möglichst ausnutzen, so empfiehlt sich demnach die Verwendung kurzwelligeren Lichtes, allerdings bei Glasoptik nicht von Ultraviolett, da die Objektive in diesem Bereich (sie sind ja ohne weiteres noch bis $360 \text{ m}\mu$ durchlässig) nicht nur chromatisch, sondern auch sphärisch schlecht korrigiert sind. Überdies läßt bereits die Verwendung von violetterem Licht eine deutliche Verbesserung des Auflösungsvermögens erkennen.

Zur Aussonderung des Violett eignen sich Gelatinefilter, wobei man allerdings bei panchromatischem Material dafür sorgen muß, daß auch das Rot durch ein Filter (CuSO_4 -Flüssigkeitsfilter oder Eisenblaugelatinefilter oder Filterblaugrün-Filter) weggenommen wird. Die folgende Filterkombination ist gut brauchbar:

Kristallviolett 5 Hübl + Eisenblaugelatinefilter (S. 169)
(Methylviolett) (Filterblaugrün 2 Hübl).

In bezug auf die Schicht würde Rot die Auflösung nicht wesentlich verschlechtern, aber da die Mikroobjektive nicht gleichzeitig für Rot und Violett korrigiert sind, so würde in diesem Falle die unscharfe Abbildung durch die roten Strahlen (bei Einstellung auf Violett) die Verbesserung des Auflösungsvermögens zunichte machen.

Für Infrarotaufnahmen sind genügend Materialien mit Behandlungsvorschriften (das Filter darf nicht vergessen werden!) im Handel. Zu beachten ist dabei, daß die Mikroobjektive nicht für diese Strahlen korrigiert sind und daß daher das Scharfeinstellen Schwierigkeiten bereitet (siehe S. 130). Natürlich spielt bei Wahl des für die Photographie verwendeten Spektralgebiets die Verbesserung des Schichtauflösungsvermögens nicht die einzige Rolle, sondern auch die Absorptionsverhältnisse im Objekt, die es mit sich bringen, daß man u. U. weder Violett noch Ultraviolett noch Infrarot verwenden kann, weil Kontraste, die an und für sich im Objekt vorhanden sein können, verschwinden. Man muß häufig sogar grünes Licht bevorzugen zur Erhöhung der Kontraste oder zur Einstellung bei Achromaten (siehe S. 164). Will man in diesem Falle noch das beste sonst mögliche Auflösungsvermögen herausholen, so ist die Behandlung oder Wahl der Schichten

¹⁾ F. E. Ross, Trans. Faraday Soc. **19** (1923) 380; The physics of the developed photographic image (Eastman Kodak Co., Rochester 1924) 135 ff., und G. L. DIMMICK, Journ. Soc. Mot. Pict. Eng. **27** (1936) 168-178, referiert Photographische Ind. **34** (1936) 1413.

(siehe S. 169) entsprechend einzurichten. Gerade für dieses Spektralgebiet ist die Silbereosinplatte sehr geeignet. Es läßt sich jedenfalls nicht schematisch so arbeiten, daß man, nur um das Auflösungsvermögen der Schicht möglichst zu steigern, ausschließlich im kurzwelligen bzw. langwelligen Gebiet arbeitet, sondern es wird für jede vorliegende Aufgabe eine beste Lösung durch Überlegung und Probieren gefunden werden müssen, zumal in den meisten Fällen das Bild der vom Mikroobjektiv aufgelösten Struktur größer ist als der kleinste von der Platte aufgelöste Abstand.

5. Die Behandlung der Schichten.

Zur Entwicklung der Mikroaufnahmen kann normalerweise jeder gute Durchschnittsentwickler — Metol-Hydrochinon — dienen. Im allgemeinen liegt eine Notwendigkeit, besondere Feinkornentwickler zu verwenden, nicht vor. Das wird nur dann der Fall sein, wenn man die Negative nachträglich vergrößern muß, also z. B. bei Aufnahmen, die mit hoher Objektivapertur, aber nur kleiner Okularvergrößerung hergestellt werden mußten (z. B. Momentaufnahmen im Dunkelfeld). Es sollen darum im folgenden einige Rezepte für Feinkornentwickler gegeben werden. Zu beachten ist, daß bei Feinkornentwicklung das γ , d. h. die Neigung des geradlinigen Teiles der Schwärzungskurve¹⁾, nie so steil wird wie bei gewöhnlicher, daß also die Kontraste u. U. zu gering sind. Man kann sich dann, falls die Ausleuchtung in Ordnung war, so daß eine störende Abschattierung nach dem Rande nicht erfolgte, damit helfen, daß man die Bilder auf sehr hartes Papier abzieht, oder daß man die Kopie auf Positivmaterial — für Dias — härter macht, wobei allerdings darauf hingewiesen werden muß, daß Dias für Projektion nicht zu hart sein dürfen (siehe S. 184), da das Auge sonst nicht imstande ist, den dabei auftretenden Helligkeitsunterschied zu überwinden. Es ist jedenfalls ratsam, nicht mit einem Feinkornentwickler *weich* zu entwickeln und dann durch Umkopieren mittels Kontaktkopie ein härteres Duplikat herstellen zu wollen. Was an Feinkörnigkeit im 1. Negativ gewonnen wird, kann dabei sehr leicht durch vermindertes Auflösungsvermögen und erhöhte Körnigkeit im Duplikat infolge von Kopierlichthof verloren gehen. Der Kopierlichthof hat seine Ursachen in Rückreflexion zwischen Silber und Bromsilber der beim Kopieren aneinander liegenden Schichten. Er läßt

¹⁾ Die Schwärzungskurve, die S-förmig gekrümmt ist, gibt den Zusammenhang zwischen dem log der (beim Belichten) auffallenden Lichtmenge und der Schwärzung, die durch den log des Verhältnisses von auffallendem zu durchgehendem Licht (beim Messen) bestimmt wird, wieder.

sich durch optisches Kopieren vermeiden, also Abbilden der zu reproduzierenden Schichten in gleichem, größerem oder kleinerem Maßstabe.

Ein weiterer Weg, um die Kontraste eines Bildes zu erhöhen, besteht darin, daß man das Bild nachträglich verstärkt. Von den in der Photographie verwendeten Methoden der Verstärkung kommen vor allem solche in Frage, die das Korn nicht zu sehr vergrößern, also nicht Quecksilber. Uran-Verstärkung ist zwar geeignet, da die Braunfärbung des Bildes eine starke photographische (nicht so sehr visuelle) Verstärkung bedeutet, gibt aber oft Versager in den Händen von weniger Geübten, da sie peinlich sauberes Arbeiten voraussetzt. Eine gute Methode ist die Umwandlung des Silberbildes in ein Silberjodid- (Lsg. A 1) oder Silber-Kupfer-Rhodanidbild (Lsg. B 1) und Behandeln dieses Bildes mit rotem, orangenem oder gelbem Beizfarbstoff:

A 1:

Wasser	1000 cm ³
Kaliumferrocyanid	2,5 g
Jodkalium	5 g

A 2:

Gelb für Virage der Agfa	40 g
Eisessig	60 cm ³
Wasser	10 l

B 1:

Wasser	1000 cm ³
Kupfersulfat	20 g
Kaliumzitrat	60-100 g
Eisessig	30 cm ³
Ammoniumrhodamid (10% Lösung)	100 cm ³ 1)

B 2:

Essigsäure Lösung (1%) von 0,05-2 g/l folgender Farbstoffe: Für Rot: Fuchsin; für Orange: Acridinorange; für Gelb: Auramin, Thioflavin.

Schließlich ist es auch möglich, das Bild mit einem Entwickler zu behandeln, der gleichzeitig ein Farbstoffbild gibt, wobei allerdings möglichst zu vermeiden ist, daß dabei ein Gerbungsrelief entsteht. Man kann das Bild von vornherein farbig entwickeln oder aber das bereits entwickelte Bild wieder ausbleichen zu Bromsilber und dann farbig entwickeln. Geeignete Entwickler hierfür sind:

1) Ammoniumrhodamid ist unter Umrühren portionsweise hinzuzufügen, und zwar möglichst erst kurz vor Gebrauch. Wenn das Bad erschöpft ist, kann man neues Kupfersulfat und Ammoniumrhodamid zugeben, da die anderen Substanzen sich nicht verbrauchen.

Für Gelb: 2 g α -Chloracetessigester in 20 cm³ Aceton werden zu 2 g Diäthylparaphenylendiamin, 40 g Pottasche, 20 g Natriumsulfit (wasserfrei), 1000 cm³ Wasser gegeben.

Für Gelb-Rot: 1 g 2-Methylaminophenol, 1 g Pottasche, 1 g Natriumsulfit (wasserfrei), 200 cm³ Wasser.

Wie schon oben betont, soll man für die Mikrophotographie nicht gerade grobkörniges Material verwenden, denn auch Feinkornentwickler vermögen dann nicht mehr viel zu ändern. Es ist im Gegenteil erforderlich, für wirkliche Feinkörnigkeit sowohl eine feinkörnige Schicht als auch einen Feinkornentwickler zu benutzen. Wenschon es nicht schwierig ist, auch auf einer grobkörnigen Platte feine Körner hervorzurufen, so wirkt die Platte dann trotzdem grobkörnig, da die Lücken zwischen den Körnern so groß sind, daß trotz der tatsächlich feinen Silberkörner der Eindruck eines zerrissenen Bildes entsteht.

Als recht brauchbare Vorschriften für Feinkornentwicklung haben sich in der Praxis die folgenden bewährt:

Kodak D 76 (von CAPSTAFF)

Metol (bzw. p-Monomethylaminophenolsulfat)	2 g
Hydrochinon	5 g
Natriumsulfit, wasserfrei	100 g
Borax	2 g
Wasser auf	1 l

Notwendig ist, zuerst Metol bei 55° in möglichst wenig Wasser zu lösen; dann ein Viertel des Sulfits bei 75° und darin das Hydrochinon. Diese Lösung gießt man zum Metol; löst dann den Rest des Sulfits mit Borax, gießt zusammen und ergänzt mit Wasser auf 1 l.

Die Entwicklungszeit beträgt zwischen 15 und 25 Minuten bei 18° C. Die nach dieser Vorschrift entwickelten Schichten besitzen ein gutes Auflösungsvermögen.

Agfa 15

Entwicklungstemperatur wie üblich

Metol	8 g
Natriumsulfit, wasserfrei	125 g
Soda wasserfrei	12 g
Bromkalium	1,5 g
Wasser auf	1 l

Entwickler von SEASE

Paraphenylendiamin	10 g
Glyzin	6-12 g
Natriumsulfit, wasserfrei	90 g
Wasser auf	1 l

Entwicklungsdauer beträgt 15 Minuten bei etwa 18°. Die Feinkörnigkeit ist, falls das γ nicht größer als 0,7 beträgt, recht gut.

Metol-Sulfit

Metol	15 g
Natriumsulfit, wasserfrei.	150 g
Kaliumbromid	2 g
Wasser auf	1 l

Die Bilder werden um so feinkörniger, je höher der Sulfitgehalt ist. Die Gefahr ist, daß dichroitischer Schleier entsteht.

Die allgemeine Praxis bei der Entwicklung mikrophotographischer Aufnahmen wird die sein, daß man die Entwicklung in der Durchsicht kontrolliert, um im geeigneten Augenblick abzubrechen. Man kann natürlich ebenso wie bei Filmstreifen nach Zeit entwickeln, d. h. also eine Art Tankentwicklung vornehmen. Allerdings ist es dann empfehlenswert, gut während der Entwicklung zu bewegen, um Entstehung von Streifen und Auftreten des EBERHARDT-Effektes (d. h. Überbetonen von Konturen an den Grenzen großer Kontraste infolge Querdiffusion innerhalb der Schicht) zu vermeiden, der gerade bei Mikroaufnahmen falsche Strukturen des Objektes vortäuschen kann. Streifen und Schlieren sind bei geeigneten Entwicklern (z. B. Metol-Hydrochinon) ziemlich leicht zu vermeiden, während der EBERHARDT-Effekt nur durch ständige und intensive Bewegung verhindert werden kann.

Wenn man die kontrollierte Entwicklung verwendet, so erhebt sich die Schwierigkeit: wie verfährt man bei panchromatischen Schichten? Die von den Firmen beziehbaren Sicherheitsfilter, die — nehmen wir es an — wirklich sicher sind, verfehlen ihren Zweck insofern, als man bei ihrem Schein unmöglich die Dichte eines Negativs beurteilen kann. Sie sind viel zu dunkel. Hellere Filter pflegen bei unsachgemäßer Benutzung starke Schleier zu bewirken, allerdings nur bei unsachgemäßer. Man kann sie aber auch sachgemäß benutzen, indem man sich den Unterschied im Verhalten zwischen photographischer Schicht und dem Auge gegenüber dem Licht zunutze macht: Die Schicht reagiert auf Belichtung, d. h. die Schwärzung ist abhängig von dem Produkt aus Beleuchtungsstärke (E) und Zeit (t). Das Auge dagegen reagiert auf Beleuchtung (bzw. Beleuchtungsstärke E): Eine Lichtquelle von geringer Intensität, die auf das Auge auch bei weitgehender Adaptation nicht mehr wirkt, kann bei genügend langer Zeit einen Eindruck auf der Schicht hervorrufen. Andererseits kann dagegen eine ziemlich hohe Intensität, bei der das Auge deutlich wahrnimmt, auf die Schicht ohne Einfluß sein, wenn sie nur kurz genug einwirkt. Die Arbeitsweise ist dann folgende: Man entwickelt die Platte die ersten 2–3 Minuten im Dunkeln, nachdem man dafür gesorgt hat, daß das Auge sich durch etwa 10 Minuten langes Verweilen in der Dunkel-

kammer bereits weitgehend adaptiert, also seine Empfindlichkeit sehr gesteigert hat. Ist dann etwa auf der Platte schon in der Aufsicht das Bild nicht mehr zu erkennen, dann ist es sowieso hoffnungslos überbelichtet und für Mikroaufnahmen (siehe S. 172) nicht mehr zu gebrauchen. In den übrigen Fällen wird eine so lange Entwicklung nicht schaden. Man hält nun die Platte zwischen Lampe, die noch nicht brennt, und Auge, und knipst für 2–3 Sekunden das Licht der Lampe an, wobei man — durch Mattglas bzw. Milchglas — dafür sorgen muß, daß das Auge den Glühfaden der Lampe nicht sieht, da sonst Blendung und damit Herabsetzung der Empfindlichkeit eintritt. Die Zeit wird genügen, um den Fortgang der Entwicklung zu beurteilen, sie wird aber nicht genügen — falls das unten erwähnte Filter verwendet wird — um einen Schleier hervorzurufen. Man kann auf diese Weise während der Entwicklung unbedenklich fünf- bis sechsmal sehr kurze Zeit prüfen, zumal im Laufe der Entwicklung die dabei entstehenden Oxydationsprodukte die Schicht weitgehend desensibilisieren. Als Filter hat sich eins von folgender Zusammensetzung bewährt:

Filterblaugrün	2–4 Hübl
Tartrazin	10 Hübl
Naphthalingrün	2–4 Hübl.

Dieses Filter kann man auch für Infrarot verwenden, da das Filterblaugrün kein Rot mehr hindurchläßt. Man kann dies auch durch Eisenblau (s. S. 170) ersetzen.

Eine andere Möglichkeit der Entwicklung, ohne Schädigung durch Dunkelkammerlicht befürchten zu müssen, gibt folgende Methode:

Man badet zuerst die Schicht mindestens 3 Minuten in A und dann mindestens 4 Minuten in B.

Lösung A.

Metol	3,0 g
Hydrochinon	7,5 g
Kaliummetabisulfit	30,0 g
Pottasche	1,3 g
Kaliumbromid	2,0 g
Wasser auf	1000 cm ³

Lösung B.

Pottasche	100 g
Natriumsulfit (wasserfrei)	10 g
Kaliumbromid	2 g
Wasser auf	1000 cm ³ .

Man kann hierbei völlig im Dunkeln arbeiten, da ein Nachsehen während der Entwicklung unnötig ist, weil nicht mehr Silber

reduziert werden kann, als der Menge des aus A aufgenommenen Entwicklers entspricht. Eine Beeinflussung des Kontrastes ist trotzdem möglich, nur muß man *vor* der Entwicklung „einstellen“, welches γ man erreichen will. Je verdünnter A ist, um so flacher ist das γ . Die angegebene Konzentration ergibt rund 0,8 des maximal erreichbaren γ (d. h. γ_{∞}) bei Platten. Bei Filmen (wegen geringerer Schichtdicke) etwas weniger. Nimmt man für Lösung B an Stelle der Pottasche Ätzkali (etwa 8 g/100 cm³), so erreicht man annähernd γ_{∞} , d. h. den überhaupt höchsten Kontrast mit der betreffenden Schicht. Die Veränderung des Kontrastes soll man nur durch Verdünnen von A vornehmen, nicht von B; außerdem ist zu beachten, daß nach dem Verdünnen die Lösung gut durchgemischt, d. h. vollkommen homogen sein muß, da es sonst häßliche Flecke gibt. Die Körnigkeit der so entwickelten Schichten ist, sowohl nach Untersuchungen bei Kodak als auch nach eigenen Ergebnissen, etwa so gut wie die mit dem Kodak-D-76-Entwickler hervorgerufenen.

Eine dritte Möglichkeit, die Entwicklung zu kontrollieren, besteht darin, die Schichten vorher zu desensibilisieren. Es kommen jetzt eigentlich nur noch in Frage Pinakryptolgrün und Pinakryptolgelb. Da Pinakryptolgelb ziemlich farblos ist, wird es aus diesem Grunde — wenn zugänglich — dem -grün vorgezogen. Phenosaphranin wird hingegen, weil es die Schicht und Finger stark anfärbt, nicht mehr gebraucht, obwohl durch Wässern sich die Färbung leicht entfernen läßt. Pinakryptolgrün kann man als Zusatz zur Entwicklerlösung verwenden, -gelb, da es sich mit Sulfit nicht verträgt, dagegen nicht. Man muß dann die Schicht vorher im Desensibilisator baden. Ferner ist es nicht bei Schichten zu benutzen, die eine Lichthofschicht mit Braunstein (Braunsiegelplatte) haben. Vorschriften über den Ansatz und die Verwendung liegen den Packungen bei. Zu berücksichtigen ist schließlich, daß das latente Bild nicht ganz indifferent gegen die Desensibilisatoren ist, so daß man damit rechnen muß, daß das Bild etwas zurückgeht. Es ist also ratsam, etwas reichlicher zu belichten.

Noch eine Entwicklungsmethode ist für Mikrophotographie empfehlenswert: Die Umkehrentwicklung, und zwar aus dem Grund, weil bei dieser die Körnigkeit geringer und außerdem das Auflösungsvermögen besser ist als bei der gewöhnlichen Entwicklung mit anschließender Kopie. Das kommt daher, daß bei der Erstbelichtung die empfindlicheren, gröberen Körner getroffen werden, die dann im Umkehrbad herausgelöst werden, und daß ferner der Kopierlichthof, der durch Verbreiterung der Konturen das Auflösungsvermögen verschlechtert, bei dem Umkehrprozeß nicht auftritt.

Durch geeignete Zusätze zum Umkehrentwickler (z. B. Hexamethylentetramin, Ammoniak, Rhodanid) in passender Menge kann man das Auflösungsvermögen noch verbessern, muß sich allerdings hüten, hierbei des guten zuviel zu tun, da durch den Nachbareffekt („EBERHARDT-Effekt“) unter Umständen die Konturen überbetont werden können.

Leider ist es nicht möglich, allgemein gültige Entwicklervorschriften zu geben. Für einige der im Handel befindlichen Umkehremulsionen, die allerdings wohl nur in Form von Schmalfilm zu haben sind, mit hin nur für Mikrokinematographie gebräuchlich sind, gibt es zwar von den Firmen ausgearbeitete Vorschriften; doch nicht für die üblichen photographischen Negativmaterialien. Man muß daher selbst ausprobieren und einige Untersuchungen anstellen, ob der Entwickler sich für die betreffende Schicht eignet, d. h. ob er genügend herausholt, und ob auch die Schwärzungskurve nicht zu sehr „verbogen“ ist und auf diese Weise die Helligkeitswerte im Verhältnis zueinander zu stark verfälscht sind. Bei dem Umkehrverfahren läßt sich durch die Zusammensetzung des Entwicklers die Form der Schwärzungskurve viel stärker beeinflussen als bei der gewöhnlichen Negativentwicklung. Einige Umkehrrezepte sollen angegeben werden, die aber zunächst nur für spezielle Umkehrfilme ausgearbeitet worden sind, auf Grund deren Zusammensetzung man allerdings durch geeignete Änderung zu brauchbaren Vorschriften für dieses oder jenes Material gelangen kann¹⁾. Die Änderung der Kurvenform erfolgt weniger durch Änderung des Gehaltes an Entwicklersubstanz als vielmehr durch Änderung des Gehaltes an Alkalicarbonat, KBr, Bromsilberlösungsmittel (Kaliumrhodanid, Natriumthiosulfat, Ammoniak, Triäthanolamin) und Natriumsulfit.

A. (Angabe von Perutz)

1. *Entwicklung*: 8 bis 9 Minuten

Wasser	1000 cm ³
Metol	1,5 g
Hydrochinon	1,5 g
Natriumsulfit, wasserfrei	8 g
Kaliumrhodanid	3 g
Kaliumbromid	3 g
Kaliumcarbonat (Pottasche)	20 g

2. *Wässern*: 5 Minuten fließendes Wasser

3. *Umkehren*: 3 bis 4 Minuten; gelbes Licht nach ca. 2 Minuten

Wasser	1000 cm ³	} 1:10 verd.
Kaliumbichromat	45 g	
Schwefelsäure konz.	90 cm ³	

¹⁾ Vergl. P. K. TURNER, Reversal processing, Brit. J. Photogr. 84 (1937) 435.

4. *Wässern*: 5 Minuten
 5. *Klären*: 5 Minuten
 Wasser 1000 cm³
 Kaliummetabisulfit oder Natriumbisulfit 20 g
 6. *Wässern*: 8 Minuten
 7. *Belichten*
 8. *Schwärzen*: 4 bis 7 Minuten
 Wasser 1000 cm³
 Metol 1 g
 Hydrochinon 6 g
 Natriumsulfit, wasserfrei 25 g
 Kaliumbromid 1 g
 Kaliumcarbonat (Pottasche) 40 g
 9. *Wässern*: 1 Minute

B. (Angabe von Agfa)

Brauchbar für: Agfa-Color-Platten, Filmpack, Leica-Film (Linsenraster) und Agfa-Umkehr-Schma film

1. *Entwicklung*: 3-5 Minuten bei 18°
 Wasser, 30-38° C 900 cm³
 Metol 13 g
 Natriumsulfit, wasserfrei
 (200 krist.) 100 g
 Bromkalium 5,5 g
 Abkühlen
 Ammoniak (0,91) 30 cm³
 Hydrochinon 4 g
 in Wasser 100 cm³ gelöst zugeben.
 Zum Gebrauch verdünnt 1:3.
 2. *Wässern*: 5-10 Minuten fließendes Wasser
 3. *Umkehren*: 2-4 Minuten bei 18°; gelbes Licht nach 2 Minuten
 Wasser 1000 cm³
 Kaliumbichromat 50 g
 Schwefelsäure (konz.) 100 cm³ } verd. 1:10
 4. *Wässern*: 5 Minuten fließendes Wasser
 5. *Klären*: 6 Minuten
 Wasser 1000 cm³
 Natriumsulfit, wasserfrei
 (200 krist.) 100 g
 6. *Wässern*: 8 Minuten
 7. *Belichten*: mit 100- bis 150-Watt-Lampe, Abstand 2 m, 5 Minuten (etwa 12 000 lxs.) oder zerstreutes Tageslicht 1 Minute
 8. *Schwärzen*: 5 Minuten bei 18° C
 Wasser 1000 cm³
 Metol 2 g
 Hydrochinon 4 g
 Natriumsulfit, wasserfrei
 (50 krist.) 25 g
 Natriumcarbonat (Soda), wasserfrei (50 krist.) 18,5 g
 Kaliumbromid 2 g
 9. *Wässern*: 1 Minute.

6. Hypersensibilisieren.

Die Empfindlichkeit — und dies gilt besonders für die weniger empfindlichen Schichten mit feinerem Korn und besserem Auflösungsvermögen — kann man durch Hypersensibilisieren erhöhen. Es kommen dafür zwei Methoden in Betracht: Die Behandlung in alkalischen Bädern und die Behandlung mit Quecksilberdämpfen.

Im ersten Falle wird die Empfindlichkeit bevorzugt im optischen Sensibilisierungsgebiet gesteigert, während die Eigenempfindlichkeit der Schicht (also im kurzwelligen Teil des Spektrums, im Blau und Violett) nicht sehr beeinflußt wird. Von den vielen Vorschriften, die hierfür angegeben sind, und von denen übrigens wie auch bei Entwicklervorschriften bei der Veröffentlichung immer Wunderdinge berichtet worden sind, haben sich im wesentlichen drei bewährt: Die eine ist Wässern der Schicht in kaltem, sauberem Leitungswasser (10–12° C) oder Baden in 6–8% Ammoniak bei niedriger Temperatur oder schließlich Behandeln in folgendem Bad:

50 cm ³ Wasser	oder auch	40 cm ³ Wasser
50 cm ³ Methylalkohol		40 cm ³ Methylalkohol
0,5 g Soda, wasserfrei		4 cm ³ Boraxlösung (4%)
4 cm ³ Ammoniak (etwa 25%)		6 cm ³ Ammoniak (25%).

Die Haltbarkeit der so behandelten Schichten ist wesentlich herabgesetzt, so daß es sich nicht lohnt, auf Vorrat zu hypersensibilisieren, sondern die Operation kurz vor der Verarbeitung vorzunehmen. Es soll noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Empfindlichkeitssteigerung um so geringer ist, je höher empfindlich die Ausgangsschicht an und für sich ist.

Bei der Hypersensibilisierung mit Quecksilberdampf¹⁾ tritt eine Empfindlichkeitssteigerung über das gesamte Spektralgebiet auf, ohne Veränderung der Gradation. Die Behandlung geht so vor sich, daß man in ein verschlossenes Gefäß (Blechsachtel) einen Tropfen Quecksilber (am besten in Fließpapier eingeschlagen) bringt und die Schichten hineinlegt. Die Dauer beträgt etwa 30–40 Stunden. Die Empfindlichkeitssteigerung ist nicht bei allen Schichten gleich und läßt sich nicht voraussagen. Sie beträgt etwa 50–75%, wenn die Behandlung vor der Belichtung erfolgt, und 100% und mehr, wenn sie nach der Belichtung erfolgt, wenn also gewissermaßen das latente Bild verstärkt wird. Die übersensibilisierten Schichten sind nicht sehr lange haltbar, aber nicht so, daß sie wie im ersten Falle durch Schleier unbrauchbar werden, sondern hier geht die Hypersensibilisierung allmählich im Verlauf von

¹⁾ F. DERSCH und H. DÜRR, J. Soc. Mot. Pict. Engrs. 28 (1937) 178.

etwa 4 Wochen völlig zurück. Die Körnigkeit wird nicht wesentlich beeinflußt.

7. Fixieren und Wässern.

Zum Fixieren verwendet man am besten ein — nicht zu — saures Fixierbad, evtl. ein Härte-Fixierbad. Bei dem meisten lighthof-freien Negativmaterial wird zwar der Lichthofschutz bereits im Entwickler herausgelöst — mit Ausnahme von Braunstein-Lichthofschutz, z. B. der Perutz-Braunsiegelplatte —, so daß von diesem Gesichtspunkte aus ein alkalisches oder neutrales Fixierbad durchaus verwendbar wäre; doch besteht dabei die Gefahr, daß die Entwicklung nicht rasch genug unterbrochen wird, und daß dann dichroitische Schleier — in Form von Flecken — auftritt. Von einem anderen Gesichtspunkte aus ist allerdings ein saures Fixierbad unerwünscht: Es kommt bei dem Wechsel der Bäder von sauer zu alkalisch ziemlich leicht zur Bildung von Runzelkorn infolge der verschiedenen Quellung der Gelatine. Man soll daher nach Möglichkeit den Unterschied der Bäder in bezug auf die Wasserstoffionenkonzentration nicht zu groß wählen und am besten dafür sorgen, daß im sauren Fixierbad der p_H -Wert etwa 4,5 ist (dies entspricht einem Zusatz von etwa 10 g Kaliummetabisulfit auf 1 l 20% Fixierbad), da bei $p_H = 4$ die Gelatine am stärksten aufquillt. Bei einer Änderung des p_H zwischen 11 und 4,5 ändert sich zwar auch die Quellung der Gelatine, sie geht aber nicht durch das Maximum hindurch. Noch schlimmer in dieser Hinsicht als die Änderung der Wasserstoffionenkonzentration wirkt sich Temperaturunterschied der Bäder aus. Es ist daher, wenn man Wert darauf legt, daß zu der normalen Körnigkeit des Negativs keine Zusatzstruktur tritt, die gerade bei Mikroaufnahmen sehr stören kann, gut darauf zu achten, daß die Badtemperaturen nicht sehr voneinander abweichen. Die größte Gefahr ist dabei das Wässern. Man läßt die Schichten im allgemeinen von einem Wasserstrom, der direkt aus der Leitung kommt, auswässern und bedenkt nicht, wie unterschiedlich oft die Temperatur des Leitungswassers ist, besonders wenn es einige Zeit läuft, gegenüber der Temperatur der photographischen Bäder (im allgemeinen 18–20°). Es ist daher viel ratsamer, unter häufigem Bewegen und öfterem Wechsel in nicht-fließendem Wasser auszuwässern. Sehr häufig sogar — sofern man nicht eine gut wirkende und gut temperierte Berieselungsanlage hat — ist dieser Weg der wirkungsvollere, da bei dem Wässern in fließendem Wasser oft das frisch zufließende Wasser zum großen Teil unausgenutzt wieder abläuft.

Die Neigung zur Bildung von Runzelkorn wird stark herabgesetzt, wenn man die Schichten vor dem Fixieren bzw. Wässern härtet oder

auch ein Härte-Fixierbad nimmt, dessen Haltbarkeit allerdings gegenüber einem normalen Bad wesentlich geringer ist. Bei diesen gehärteten Schichten braucht man auf p_H -Wechsel und Temperatur der Bäder nicht so sehr Rücksicht zu nehmen.

8. Trocknen.

Das Trocknen der Schicht geschieht am besten in mäßig bewegter Luft und ohne Änderung der Trocknungsbedingungen — Temperatur, Geschwindigkeit —, damit keine Trocknungsflecke entstehen. Vor allem ist zu beachten, daß man die Rückseite der Schicht gut abtrocknet, da Tropfen auf der Rückseite die Trocknungsgeschwindigkeit der Schicht beeinflussen (Abkühlen durch Verdampfen der Tropfen) und so Flecke hervorrufen. Sind doch Flecke aufgetreten und kann man das Negativ nicht noch einmal herstellen — das ist sonst das ratsamere und raschere Verfahren —, so lassen sich die Flecke völlig oder doch weitgehend beseitigen durch langes Aufweichen in Wasser, dem, wenn die Schicht stark gehärtet ist, 1–5 g Kaliumrhodanid oder Kaliumsulfosalicylat auf 1 l Wasser oder, wenn sie nicht gehärtet ist, etwa 0,25 bis 0,5 g zugesetzt werden. Man trocknet dann unter großer Vorsicht und wiederholt evtl. diesen Vorgang nochmals. Nach dieser Methode lassen sich auch leichte Schrammen und Kratzer zum Verschwinden bringen, natürlich nur, wenn nicht ganze Stücke des Bildes fehlen.

Die Mikrophotographien können vielfach direkt als Negativ verwandt werden. Sind Abzüge notwendig, so verwendet man nur glänzendes Papier, am besten Hochglanz, da dadurch bei geeigneter Betrachtung (keine Lichtquelle und keine weißen Flächen ins Auge spiegeln) am meisten Einzelheiten zu erkennen sind. Dabei ist allerdings dafür zu sorgen, daß die Papiere völlig glatt und nicht wellig sind, weil in diesem Falle reflektiertes Licht sehr stört. Werden die Papiere nicht glatt aufgezogen, so sind matte Papiere vorzuziehen. Bei der Anfertigung von Diapositiven ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß bei Projektion mit Kondensorapparaten die Härte zunimmt (CALLIER-Effekt), und zwar wird der Kontrast (im logarithmischen Maß) um etwa 50% vermehrt, d. h. ist bei Betrachtung des Diapositivs im zerstreuten Licht das Verhältnis von Licht zu Schatten etwa 1:10 ($\log = 1,0$), so wird es bei Projektion erhöht auf 1:32 ($\log = 1,5$). Man muß dies beachten, da es sonst vorkommen kann, daß man zu harte Dias bekommt, bei denen das Verhältnis von Licht zu Schatten zu groß wird, so daß das Auge es nicht mehr überbrücken kann.

6. Kapitel.

Literaturverzeichnis.

1. Kapitel.

1. Die Abbildung durch ein einfaches Linsensystem.

2. Geometrisch-optische Beziehungen zwischen Objekt und Bild.

Hierzu siehe Hand- und Lehrbücher der Physik. Die Art der Bezeichnung ist die in der Optik übliche (DIN-Normblatt 1935).

3. Schärfentiefe und physiologisches Auflösungsvermögen.

Ein Versuch, die Schärfentiefe des Mikroskops zu berechnen, wurde von J. GEORGI¹⁾ unternommen. Die von ihm gefundene Formel wurde von M. BEREK²⁾ richtiggestellt. Der Begriff der numerischen Apertur wurde von E. ABBE³⁾ eingeführt.

4. Physikalisches Auflösungsvermögen.

Nahezu gleichzeitig wurden die beiden Theorien zur Erklärung der Auflösungsgrenze der Mikroskope aufgestellt. H. HELMHOLTZ⁴⁾ vertrat die Auffassung, daß ein Objekt wie ein Selbstleuchter im Mikroskop abgebildet wird, während E. ABBE⁵⁾ das Objekt als nicht selbstleuchtend auffaßte. H. SIEDENTOPF⁶⁾ untersuchte das Auflösungs-

¹⁾ J. GEORGI, Z. Mikrosk. **36** (1919) 40.

²⁾ M. BEREK, Die Schärfentiefe des Mikroskops. Z. Mikrosk. **37** (1920) 120.

³⁾ O. LUMMER und F. REICHE, Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop von ERNST ABBE. Braunschweig: F. Vieweg und Sohn (1910).

⁴⁾ H. HELMHOLTZ, Die theoretische Grenze für die Leistungsfähigkeit der Mikroskope. Pogg. Ann., Jubelbd. (1874) 557 bzw. Wiss. Abhandl., Bd. 2. Leipz. 1883. S. 185.

⁵⁾ E. ABBE, Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung. Gesammelte Abhandlungen, Bd. 1, S. 45. G. Fischer, Jena 1904. — O. LUMMER und F. REICHE, Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop von ERNST ABBE. Braunschweig (1910).

⁶⁾ H. SIEDENTOPF, Z. Mikrosk. **32** (1915) 1.

vermögen der Mikroskope bei Hellfeld- und Dunkelfeldbeleuchtung gemäß der Nichtselbstleuchter-Theorie.

Durch praktische Versuche wurde verschiedentlich festgestellt, daß eine Abbildung gemäß den Vorschriften der Nichtselbstleuchter-Theorie nicht immer zu günstigen Resultaten führt¹⁾. Theoretische Untersuchungen über die Abbildung im Mikroskop, die sich auf bestimmte Grenzfälle bezogen, entschieden zugunsten der Selbstleuchter-Theorie²⁾, bis schließlich von M. BEREK³⁾ der Zusammenhang zwischen Selbstleuchter- und Nichtselbstleuchter-Theorie aufgedeckt wurde. Analytische Untersuchungen hierzu gaben G. STADE und M. HERZBERGER⁴⁾. Neuere Versuche von H. SIEDENTOPF⁵⁾ sollen beweisen, daß das im Gesichtsfeld des Mikroskopokulars sichtbare Bild durch Interferenz zustande kommt und damit die Merkmale der Nichtselbstleuchterabbildung trägt. Es wird hierbei jedoch übersehen, daß gerade die *Summe* aller von verschiedenen Aperturrichtungen der beleuchtenden Strahlen herrührenden Interferenzerscheinungen eine dem Selbstleuchter äquivalente Abbildung ergibt (vgl. S. 23). Die BEREKSche Theorie gibt diesen Zusammenhang zwischen Selbstleuchter- und Nichtselbstleuchterabbildung an. Die Frage, welche der beiden Abbildungsarten besser ist, hat die Praxis in den allermeisten Fällen zugunsten der Selbstleuchtertheorie entschieden.

¹⁾ R. SCHMEHLIK, Trugbilder, hervorgerufen durch unzureichende Beleuchtung. Z. Mikrosk. 33 (1916) 351. — M. BEREK, Betrachtungen zur Darstellung des Abbildungsvorganges im Mikroskop und zur Frage des Auflösungsvermögens im Hellfeld und Dunkelfeld. Z. Mikrosk. 41 (1924) 1. — C. BECK, The Microscope. London (1924). — LAKEMAN und GROOSMULLER, Demonstrationsversuche zur mikroskopischen Abbildung. Z. Physik 53 (1929) 628. — G. STADE und H. WETZLICH, Zur Erklärung der BECKschen Versuche über das Auflösungsvermögen des Mikroskops. Z. Physik 86 (1933) 373. — J. ELLENHORN, Zur Frage über eine rationelle Methode für die Untersuchung farbloser Objekte unter dem Mikroskop. Z. Mikrosk. 51 (1934) 518.

²⁾ LORD RAYLEIGH, On the theory of optical images with special reference to the microscope. Philos. Mag. (5) 42 (1896) 167 bzw. J. P. STRUTT, Sci. Pap. Cambridge 4 (1903) 235. — MANDELSTAM, Ann. Physik (4) 35 (1911) 881. — M. v. LAUE, ebenda 43 (1914) 165.

³⁾ M. BEREK, Über Kohärenz und Konsonanz des Lichtes. Z. Physik 36 (1926) 675, 824; 37 (1926) 387; 40 (1927) 420.

⁴⁾ G. STADE, Über die Gültigkeit der BEREKSchen Theorie bei der Abbildung im Mikroskop. Z. Physik 89 (1934) 286, und M. HERZBERGER, J. opt. Soc. America 26 (1936) 52 und 26 (1936) 196.

⁵⁾ H. SIEDENTOPF, Mikroskopische Beobachtungen an Strichgittern mit periodischem Teilungsfehler. Z. Physik 107 (1937) 251.

5. *Abbildungsmaßstab, Schärfentiefe, Auflösungsvermögen.*

Die Beziehungen zwischen Abbildungsmaßstab, Schärfentiefe und Auflösungsvermögen wurden von E. ABBE¹⁾ gefunden und von verschiedenen Autoren praktisch und theoretisch behandelt²⁾.

6. *Geometrische Fehler.*

Die Behandlung der geometrischen Fehler findet sich in allen Lehrbüchern der geometrischen Optik³⁾.

7–13. *Die Mikroskop-Objektive und Okulare.*

Eine zusammenfassende Darstellung der Entwicklung des Mikroskop-Objektivs und des Okulars wurde von H. BÖGEHOLD⁴⁾ gegeben. Die ersten brauchbaren achromatischen Mikroskop-Objektive wurden durch H. und J. VAN DEYL⁵⁾ hergestellt. Die Bedingung für die Konstruktion von Mikroskop-Objektiven, die aus zwei oder mehreren Achromaten bestehen, stellte J. J. LISTER⁶⁾ auf. Die halbkugelige Frontlinse für Objektive hoher Apertur wurde von AMICI⁷⁾ eingeführt. Auch der Einfluß der Deckglasdicke wurde von AMICI⁸⁾ entdeckt. Die

¹⁾ E. ABBE, The Relation of Aperture and Power in the Microscope. J. Roy. Micr. Soc. 2 (1882) 300 bzw. Ges. Abhdlg., Bd. 1, S. 375. G. Fischer, Jena 1901.

²⁾ H. BÖGEHOLD, Das zusammengesetzte Mikroskop, in: CZAPSKI-EPPENSTEIN, Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE. Joh. Ambr. Barth, Leipzig S. 487 (1924). — F. HAUSER, Über die Systemwahl beim Mikroskop. Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 2 (1928) 71. — J. FLÜGGE, Die Systemwahl bei der Mikrophotographie. Z. Mikrosk. 48 (1931) 367. — A. KÖHLER, Über die Beeinflussung der Tiefenschärfe durch kleine Erstaufnahmen und nachträgliche Vergrößerung. Zeiss-Nachrichten I, 10 (1936) 14. — G. STADE, Auflösung und Tiefenschärfe. Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 10 (1936) 24.

³⁾ M. v. ROHR, Die optischen Instrumente. Julius Springer, Berlin. 4. Aufl. (1930). — CZAPSKI-EPPENSTEIN, Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE. Joh. Ambr. Barth, Leipzig (1924). — MAX BEREK, Grundlagen der praktischen Optik. Walter de Gruyter und Co., Berlin-Leipzig (1930).

⁴⁾ H. BÖGEHOLD, Das zusammengesetzte Mikroskop, in: CZAPSKI-EPPENSTEIN, Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE. Joh. Ambr. Barth, Leipzig, S. 491 bzw. 576 (1924).

⁵⁾ P. HARTING, Das Mikroskop, Theorie, Gebrauch, Geschichte und gegenwärtiger Zustand desselben. Übersetzt von W. THEILE. Braunschweig, Vieweg und Sohn (1859).

⁶⁾ J. J. LISTER, On some properties in achromatic object-glasses applicable to the improvement of the microscope. Phil. Trans. Roy. Soc. London 1 (1830) 187.

⁷⁾ A. BRACHET, Court exposé du principe sur lequel reposent les meilleurs microscopes dioptriques composés achromatique du Professeur J. B. AMICI et du MARQUIS DE PANCIATICHI. Paris, B. Duprat (1858).

⁸⁾ AMICI, vgl. H. v. MOHL, Mikrographie oder Anleitung zur Kenntnis und zum Gebrauche des Mikroskops. Tübingen, L. F. Fues (1846).

Korrektionsfassungen führte A. ROSS¹⁾ ein. Über Kompensation der durch fehlerhafte Deckglasdicke hervorgerufenen Fehler schreibt neuerdings E. LIHOTZKY²⁾. Über neue Systeme für Mikrophotographie und Mikroprojektion, die vor allem für schwache Vergrößerungen ohne Okular brauchbar sind, berichtet A. KÖHLER³⁾. Die Verwendung normaler photographischer Anastigmaten für Aufnahmen bei schwachen Vergrößerungen beschreibt A. KLUGHARDT⁴⁾. Von J. FLÜGGE und P. RAMSTHALER⁵⁾ wird der Werdegang eines Mikro-Objektivs behandelt.

Die Immersions-Systeme führte AMICI⁶⁾ ein. Ein abschließendes Urteil über die Leistungsfähigkeit der Immersions-Systeme hoher Apertur gab E. ABBE⁷⁾. Die Achromate wurden von E. ABBE⁸⁾ berechnet. Monobromnaphthalin-Immersions-Systeme gab S. CZAPSKI⁹⁾ an.

Okulare wurden von HUYGENS¹⁰⁾ und RAMSDEN¹¹⁾ beschrieben. Die Kompensations-Okulare wurden von ABBE zu den Zeiss'schen Achromaten angegeben¹²⁾.

1) A. ROSS, An adjusting object-glass. Trans. of the Soc. of arts, manufact. and commerce 51, II (1838) 99.

2) E. LIHOTZKY, Z. Mikrosk. 46 (1929) 246.

3) A. KÖHLER, Z. Instrumentenkde 55 (1935) 407.

4) A. KLUGHARDT, Warum werden die unsymmetrischen Mikro-Photo-Objektive verkehrt gefaßt? Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 10 (1936) 12.

5) J. FLÜGGE u. P. RAMSTHALER, Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 3 (1929) 67, 78, 99.

6) P. HARTING, Das Mikroskop, Theorie, Gebrauch, Geschichte und gegenwärtiger Zustand desselben. Übersetzt von W. THEILE. Braunschweig, Vieweg und Sohn (1859).

7) E. ABBE, Die optischen Hilfsmittel der Mikroskopie. Bericht über die wissenschaftl. Apparate auf der Londoner Internationalen Ausstellung im Jahre 1876. Herausgegeben von A. W. HOFFMANN, Braunschweig 1878, S. 383. — Ges. Abh., Bd. 1, S. 119. G. Fischer, Jena 1904.

8) E. ABBE, Über neue Mikroskope. S.-B. der Jen. Ges. f. Med. u. Naturwiss. 1886, 107. — Über die Verwendung des Fluorits für optische Zwecke. Z. Instrumentenkde 10 (1890) 1. — Ges. Abh. 1, 450. — MORITZ v. ROHR, ERNST ABBES Achromate, Carl Zeiss-Jena.

9) S. CZAPSKI, Über ein System von der Apertur 1,60 (Monobromnaphthalin), hergestellt nach Rechnungen von Prof. ABBE in der optischen Werkstätte von Carl Zeiss. Z. wiss. Mikrosk. 6 (1889) 417.

10) HUYGENS, Christiani Hugenii opuscula postuma, quae continent dioptricam, commentarios de vitris figurandis, dissertationem de corona et parheliis, tractatum de motu, de vi centrifuga descriptionem automati planetarii. Lugd. Batav., C. Bontesteyn (1703). Wieder abgedruckt in Opera reliqua, Amsterdam, Jansson-Waesberg, 2. Band (1728).

11) RAMSDEN, A description of a new construction of eye-glasses for such telescopes as may be applied to mathematical instruments. Philos. Trans. Roy. Soc. London 73 (1783) 94.

12) Katalog Zeiss über Mikroskope und mikroskopische Hilfsapparate (1895).

Okulare mit teilweise geebnetem Bildfeld beschreibt C. METZ¹⁾. Über die Berechnung und Konstruktion der bildfeldebennenden Homale berichten H. BÖGEHOLD und A. KÖHLER²⁾.

Die Konstruktion des orthoskopischen Okulars mit einer dreiteiligen verkitteten Linse und einer darauffolgenden Sammellinse gab M. MITTENZWEY³⁾ an.

2. Kapitel.

1-7. Das Mikroskopstativ.

Die Ausführungsformen des Mikroskopstativs, des Objektisches, des Tubus, des Objektivträgers, des Okularstützens und der Lichtquellen erkennt man am besten aus den Prospekten der Hersteller. Verfasser beschränkt sich im Rahmen dieses Buches auf die Firmen E. Busch-Rathenow, E. Leitz-Wetzlar und C. Zeiss-Jena, ohne dabei ein Werturteil über nicht angeführte Firmen geben zu wollen: Busch: Großes Forschungsmikroskop R [M 53/II], Mikroskop-Stativ [Mikro 96/II], Studien-Mikroskop [Dr. 331/II]. — Leitz: Mikroskope [Mikro A Nr. 2458c und Mikro A Nr. 7767], Polarisations-Mikroskope und Zubehör [Mikro 52 Pol., d]. — Zeiss: Mikroskope und Nebenapparate [Mikro 1], Mikroskope [Mikro 423/IV].

Die Wirkungsweise der Feineinstellung ersieht man aus folgenden Patentschriften und Gebrauchsmustern: Busch: DRP. 569 885, DRGM. 1 350 713. — Leitz: DRP. 368 804, DRGM. 1 060 739. — Zeiss: DRP. 529 661, 574 890, 606 822.

8-16. Die Durchlichtbeleuchtungs-Anordnungen.

Über Hellfeldbeleuchtung im durchfallenden Licht bei schwachen Vergrößerungen schreiben A. KÖHLER⁴⁾ und W. SCHEFFER⁵⁾.

¹⁾ C. METZ, Neue Okulare zur Ebnung der Gesichtsfelder der Apochromate (Periplan-Okulare). Z. Mikrosk. **37** (1920) 49.

²⁾ H. BÖGEHOLD und A. KÖHLER, Das Homal, ein System, welches das mikrophotographische Bild ebnet. Z. Mikrosk. **39** (1922) 249.

³⁾ M. MITTENZWEY vgl. N. v. KONKOLY, Praktische Anleitung zur Himmelsphotographie nebst einer kurzgefaßten Anleitung zur modernen photographischen Operation und der Spektral-Photographie im Cabinet. W. Knapp, Halle, 1897. S. 305.

⁴⁾ A. KÖHLER, Mikrophotographie, Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt. II, Teil 2, S. 1793 und 1833, Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg (1934).

⁵⁾ W. SCHEFFER, Zur Objektbeleuchtung für die Mikrophotographie mit kurzbrennweitigen photographischen Objektiven. Z. Mikrosk. **32** (1915) 60.

Das KÖHLERSche Beleuchtungsprinzip beschreibt A. KÖHLER¹⁾. Zusammenfassend berichtet über Mikroskopie mit Objektiv und Okular H. ERFLE²⁾.

Die Schlierenmethode und ihre Anwendung in Verbindung mit der Mikroskopie wurde zum ersten Male von A. TOEPLER³⁾ beschrieben. Weitere Angaben über die Schlierenmethode finden sich bei S. CZAPSKI⁴⁾. Eine Anwendung der Schlierenmethode zur Untersuchung bei schwacher Vergrößerung beschreibt G. STADE⁵⁾.

Eine geschichtliche Darstellung über die Vorgeschichte der Spiegelkondensoren gibt H. SIEDENTOPF⁶⁾. Der Paraboloid-Kondensor zur Dunkelfeldbeleuchtung wurde 1856 von WENHAM vorgeschlagen, aber erst 1908 von SIEDENTOPF zu einem brauchbaren Instrument entwickelt⁷⁾. Aplanatische Zweiflächen-Spiegelkondensoren berechneten v. IGNATOWSKI⁸⁾ und H. SIEDENTOPF⁹⁾.

¹⁾ A. KÖHLER, Ein neues Beleuchtungsverfahren für mikrographische Zwecke. *Z. Mikrosk.* 10 (1883) 433; *Mikrophotographie. Hdb. d. Biol. Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN)*, Abt. II, Teil 2, S. 1815. Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg (1931). Übersicht über die optische Einrichtung des Projektions-Mikroskops. *Z. Mikrosk.* 39 (1922) 225.

²⁾ H. ERFLE, Die Mikrokondensoren und die Mikroprojektion, in: CZAPSKI-EPPENSTEIN, *Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE*. Joh. Ambr. Barth, Leipzig, 3. Aufl. 1924. S. 530.

³⁾ A. TOEPLER, Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode: Ein Beitrag zur Experimental-Physik. M. Cohen & Sohn, Bonn (1864), und: Über die Methode der Schlierenbeobachtung als mikroskopisches Hilfsmittel nebst Bemerkungen zur Theorie der schiefen Beleuchtung. *Pogg. Ann.* 127 (1866) 557.

⁴⁾ S. CZAPSKI, Einige neue optische Apparate von Prof. ABBE. I. Instrument für die Aufsuchung von Schlieren. *Z. Instrumentenkde* 5 (1885) 117. — W. KRAEMER, Anwendung der Schlierenmethode zur Dunkelfeldbeleuchtung. *Z. Mikrosk.* 43 (1926) 390.

⁵⁾ G. STADE, Anwendungen der Schlierenmethode. *Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente* 9 (1935) 65.

⁶⁾ H. SIEDENTOPF, *Z. Mikrosk.* 24 (1907) 382.

⁷⁾ H. SIEDENTOPF, Paraboloid-Kondensor, eine neue Methode für die Dunkelfeldbeleuchtung zur Sichtbarmachung und zur Moment-Mikrophotographie lebender Bakterien etc., insbesondere auch für *Spirochaeta pallida*. *Z. Mikrosk.* 24 (1907) 104. — O. HEIMSTÄDT, Spiegelkondensor und Paraboloid. *Z. Mikrosk.* 25 (1908) 188. — H. SIEDENTOPF, Über Spiegelkondensoren. Erwiderung an Herrn O. HEIMSTÄDT. *Z. Mikrosk.* 25 (1908) 195.

⁸⁾ v. IGNATOWSKI, Ein neuer Spiegelkondensor. *Z. Mikrosk.* 25 (1908) 64; Einige Neuerungen am Leitzschen Spiegelkondensor. *Z. Mikrosk.* 26 (1909) 387; Eine Notiz zum Leitzschen Spiegelkondensor. *Z. Mikrosk.* 28 (1911) 50.

⁹⁾ H. SIEDENTOPF, Über ultramikroskopische Abbildung. *Z. Mikrosk.* 26 (1909) 391; Über bispärige Spiegelkondensoren für Ultramikroskopie. *Ann. Physik* (4) 39 (1912) 1175.

Das Ultramikroskop beschrieben H. SIEDENTOPF und R. ZSIGMONDY¹⁾. Eine zusammenfassende Darstellung über Schlierenmethode, Dunkelfeld- und Ultramikroskopie findet sich bei H. ERFLE²⁾. Die Abbildung eines ultramikroskopischen Objektes im rotationssymmetrischen Störungsfeld durch ein Mikroskop beliebiger Apertur im Dunkelfeld berechnet M. BEREK³⁾.

Das Mikropolychromar von Zeiss dient nur zur subjektiven Beobachtung. Es wird daher hier auf die einschlägige Literatur verwiesen⁴⁾.

17-22. Auflichtbeleuchtungs-Anordnungen.

Über Hellfeldbeleuchtung bei schwacher Vergrößerung im Auflicht berichten A. KÖHLER⁵⁾ und F. HAUSER⁶⁾.

Die Vertikal-Illuminatoren beschreiben A. KÖHLER⁷⁾ und P. RAMSTHALER⁸⁾.

Dunkelfeldeinrichtungen bei schwacher Vergrößerung behandeln F. HAUSER und L. MOHR⁹⁾.

¹⁾ H. SIEDENTOPF und R. ZSIGMONDY, Über Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser. *Ann. Physik* (4) **10** (1903) 139; H. SIEDENTOPF, Über die physikalischen Prinzipien der Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen. *Berl. Klin. Monatsschr.* **32** (1904). S.-A. Berlin; Über einen neuen Fortschritt in der Ultramikroskopie. *Verh. dtsh. physik. Ges.* **12** (1910) 6.

²⁾ H. ERFLE, Die Beleuchtungseinrichtungen für Mikroskopie, Mikroprojektion und Mikrophotographie, in: CZAPSKI-EPPENSTEIN, *Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente*, 3. Aufl. Leipzig, Joh. Ambr. Barth 1924. S. 537.

³⁾ M. BEREK, *Ann. Physik* (5) **4** (1930) 285.

⁴⁾ G. G. REINERT, Das Zeiss-Mikropolychromar und seine Wirkungsweise, *Zeiss-Nachrichten I*, **7** (1934) 27. — A. BÜNNING, Einige Beobachtungen über die Körnchenstörung in den Staubfadenhaaren von *Tradescantia*. Nebst Bemerkungen über die Verwendbarkeit des Mikropolychromars bei zellphysiologischen Studien. *Z. Mikrosk.* **42** (1935) 156. — V. FEISSLER, Über eine Einrichtung zweifarbiger Beobachtung ungefärbter Präparate. *Z. Mikrosk.* **41** (1934) 251.

⁵⁾ A. KÖHLER, *Mikrophotographie*. ABDERHALDEN, *Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden*, Abt. II, Teil 2, S. 1849, Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg (1931).

⁶⁾ F. HAUSER, *Grundlinien der Beleuchtung mit auffallendem Licht*. *Zeiss-Nachrichten I*, **1** (1932) 14.

⁷⁾ A. KÖHLER, *Mikrophotographie*. ABDERHALDEN, *Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden*, Abt. II, Teil 2, S. 1851. Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg (1931).

⁸⁾ P. RAMSTHALER, Ein neuer Vertikal-Illuminator. *Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente* **4** (1930) 12.

⁹⁾ F. HAUSER u. L. MOHR, Über Beleuchtungseinrichtungen für opake Objekte. *Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente* **3** (1929) 93; Über die Beleuchtung opaker Objekte. *Z. Mikrosk.* **36** (1929) 196; Eine universelle Beleuchtungsanordnung für Übersichtsaufnahmen opaker Objekte. *Z. Mikrosk.* **36** (1929) 392. — F. HAUSER, Über zwei Anordnungen zur Beleuchtung opaker mikroskopischer Objekte mit schräg auffallendem Licht. *Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente* **4** (1930) 73.

Auflicht-Beleuchtungs-Einrichtungen für Dunkelfeld bzw. Wechsel von Hell- und Dunkelfeld bei mikroskopischen Objekten werden von H. HEINE¹⁾ und F. HAUSER²⁾ beschrieben. Vorrichtungen für kombinierte Auf- und Durchlicht-Beleuchtung behandeln F. HAUSER und L. MOHR³⁾ sowie G. STADE⁴⁾.

3. Kapitel.

1. Stereo-Mikrophotographie.

Ausführlich werden die Erscheinungen des stereoskopischen Sehens bei M. v. ROHR⁵⁾, A. KÖHLER⁶⁾ und R. SCHMEHLIK⁷⁾ dargestellt. Über Mikroskope und Doppelokulare für binokulare und stereoskopische Beobachtung berichtet E. LIHOTZKY⁸⁾.

Die einzelnen Arten, mikrostereoskopisch zu beobachten bzw. Stereo-Mikro-Photographien herzustellen, beschrieben: S. CZAPSKI und W. GEBHARDT⁹⁾ und L. DRÜNER¹⁰⁾.

Die stereoskopische Wippe behandelt W. SCHEFFER¹¹⁾.

Mikro-Stereographie durch Verschieben des Objektes beschreiben F. SKELL¹²⁾ und H. NAUMANN¹³⁾.

¹⁾ H. HEINE, Der Ultrapak. Z. Mikrosk. 38 (1931) 450.

²⁾ F. HAUSER, Der Busch-Univertor. Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 5 (1931) 57; Ders., Neue Geräte für die Beleuchtung mikroskopischer Objekte mit auffallendem Licht. Zeiss-Nachrichten I, 2 (1932) 1; I, 3 (1933) 1.

³⁾ F. HAUSER, Z. Metallkde 21 (1929) 237. — F. HAUSER und L. MOHR, Über gleichzeitige Anwendung von auffallendem und durchfallendem Licht (Beiträge zur Wahl der Beleuchtung mikroskopischer und makroskopischer Objekte. I.) Zeiss-Nachrichten I, 4 (1933) 30.

⁴⁾ G. STADE, Kombiniertes Auf- und Durchlicht im Mikroskop. Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 9 (1935) 33.

⁵⁾ M. v. ROHR, Die binokularen Instrumente, 2. Aufl. Berlin, Julius Springer (1920). Ders., Das Sehen, in: S. CZAPSKI und O. EPPENSTEIN, Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE, 2. Aufl., 1924. S. 384.

⁶⁾ A. KÖHLER, Mikrophotographie. Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt. II, Teil 2, S. 1949. Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg (1924).

⁷⁾ R. SCHMEHLIK, Stereoskopische Arbeitsmethoden. Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN) Abt. II, Teil 2. Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg (1928). — ⁸⁾ E. LIHOTZKY, Z. Mikrosk. 41 (1924) 305.

⁹⁾ S. CZAPSKI und W. GEBHARDT, Das stereoskopische Mikroskop nach GREENOUGH und seine Nebenapparate. Z. Mikrosk. 14 (1897) 289.

¹⁰⁾ L. DRÜNER, Über Mikro-Stereoskopie und eine neue vergrößernde Stereoskopkamera. Z. Mikrosk. 17 (1900) 281. — ¹¹⁾ W. SCHEFFER, Beiträge zur Mikro-Stereophotographie. Z. Mikrosk. 19 (1922) 300.

¹²⁾ F. SKELL, Stereo-Mikrophotographie bei stärkerer Vergrößerung und ein Mikrostereo-Optanigraph. Mikrokosmos 17 (1923/24).

¹³⁾ H. NAUMANN, Stereo-Mikrophotographie. Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 8 (1934) 33.

Über Stereoskopie durch Änderung der Beleuchtungsrichtung handelt W. GEBHARDT¹⁾. Eine Anweisung zur Herstellung von Stereo-Aufnahmen mit dem gewöhnlichen mikrographischen Apparat gibt die Druckschrift Mikro 386 von C. Zeiss-Jena. Konstruktionen zur Erzeugung tiefenrichtiger Stereobilder sowie ein Meßverfahren zur Ermittlung der Tiefe eines Objektes entwickeln L. C. MARTIN und F. R. WILKINS²⁾.

2. Photographie im polarisierten Licht.

Zusammenfassende Darstellungen über Polarisations-Mikroskopie finden sich bei A. KÖHLER³⁾ und F. RINNE und M. BEREK⁴⁾.

Den Ausgleich des Astigmatismus bei Tubusanalytoren beschreibt S. BECHER⁵⁾.

Über Kompensatoren berichtet A. KÖHLER⁶⁾. Die Anwendung polarisierten Lichtes zur Vermeidung von Reflexen bei Auflicht-Mikroskopie beschreiben E. HEISE⁷⁾ und G. STADE⁸⁾. Eingehende Untersuchungen über die Verwendung polarisierten Lichtes bei der Gefügeuntersuchung von Eisen und Stahl wurden von P. SCHAFMEISTER und G. MOLL⁹⁾ angestellt.

Die dichroitischen Kristalle und ihre Verwendung für Polarisationsfilter behandelt M. HAASE¹⁰⁾.

¹⁾ W. GEBHARDT, Mikrostereogramme bei starker Vergrößerung. Photogr. Rdsch. 11 (1897).

²⁾ L. C. MARTIN u. F. R. WILKINS, An Examination of the Principles of the Orthostereoscopic Photomicrography and Some Applications. J. opt. Soc. America 27 (1937) Nr. 10, 340.

³⁾ A. KÖHLER, Die Verwendung des Polarisations-Mikroskops für biologische Untersuchungen. Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt. II, Teil 2, S. 907. Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg 1926.

⁴⁾ F. RINNE und M. BEREK, Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisations-Mikroskop. Leipzig, Dr. Max Jänecke (1934).

⁵⁾ S. BECHER, Über den Astigmatismus des Nikols und seine Beseitigung im Polarisations-Mikroskop. Ann. Physik (4) 47 (1915) 285.

⁶⁾ A. KÖHLER, Untersuchungen über das Verhalten einiger Kompensatoren bei einfarbigem und gemischtem Licht. Z. Mikrosk. 38 (1921) 209.

⁷⁾ E. HEISE, Über Anwendung von polarisiertem Licht zur Erzielung von Reflexfreiheit bei Auflicht-Beleuchtung. Zeiss-Nachrichten, I, 7 (1934) 1.

⁸⁾ G. STADE, Untersuchungen rauher Objekte im auffallenden Hellfeld. Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 9 (1935) 62.

⁹⁾ P. SCHAFMEISTER u. G. MOLL, Arch. Eisenhüttenwesen 10 (1936/37) 155.

¹⁰⁾ M. HAASE, Zeiss-Nachrichten II, 2 (1936) 55 und Zeiss-Nachrichten II, 2 (1936) 64.

3. Ultraviolett-Mikroskopie.

Die Entwicklung des Ultraviolett-Mikroskops beruht im wesentlichen auf den Arbeiten von A. KÖHLER¹⁾. Die Monochromaten berechneten M. v. ROHR und A. KÖHLER²⁾. Ein anderer Monochromat-Typ wurde von T. SMITH³⁾ gefunden. Über Arbeiten mit dem Ultraviolett-Mikroskop berichten O. WALKHOFF⁴⁾, J. E. BARNARD und W. J. ELFORD⁵⁾, S. H. SCOTT⁶⁾. Weitere Literaturangaben über Arbeiten mit ultraviolettem Licht findet man in den oben erwähnten Veröffentlichungen von A. KÖHLER. Über Herstellung von photographischen Platten für Photographie im ultravioletten Licht schreiben V. SCHUMANN⁷⁾, E. v. ANGERER⁸⁾ und K. ROSS⁹⁾.

4. Infrarot-Mikroskopie.

Ein Infrarot-Sensibilisator wurde zum ersten Male von G. SCHEIBE¹⁰⁾ hergestellt. Über die Anwendung der endgültigen Infrarotplatten berichten K. ROSS⁹⁾ und J. EGGERT¹¹⁾, in deren Abhandlungen weitere Literaturhinweise gegeben sind. Die Technik der Infrarot-Mikroskopie wird von P. KRAFT¹²⁾, G. G. REINERT¹³⁾ und H. NAUMANN¹⁴⁾ erläutert.

¹⁾ A. KÖHLER, Mikrophotographische Untersuchungen im ultravioletten Licht. *Z. Mikrosk.* **21** (1904) 129, 273; Neuerungen auf dem Gebiet der Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht. *Naturwiss.* **21** (1933) 165.

²⁾ M. v. ROHR und A. KÖHLER, Eine mikrophotographische Einrichtung für ultraviolettes Licht. *Z. Instrumentenkde* **24** (1904) 341.

³⁾ T. SMITH, A large aperture aplanatic lens not corrected for colour. *Trans. opt. Soc. London* **24** (1922/23) 22.

⁴⁾ O. WALKHOFF, Darstellung feinsten Strukturen durch ultraviolettes Licht. *S.-B. Ges. Morph. u. Physiol. Münch.* **33** (1922) 7; Ein Beitrag zur Kenntnis der Leistungen der Mikro-Photographie in sichtbarem und ultraviolettem Licht. *Dtsch. Mschr. Zahnheilkde* **48** (1930) 1201.

⁵⁾ J. E. BARNARD and W. J. ELFORD, The causative organism in infections ectromelia. *Proc. Roy. Soc. London (B)* **109** (1931) 360.

⁶⁾ S. H. SCOTT, Topographic similarities between materials revealed by ultraviolet light photomicrography of living cells and by micro-incineration. *Science* **76** (1932) 148. — ⁷⁾ V. SCHUMANN, *Ann. Physik* (4) **5** (1901) 349.

⁸⁾ E. v. ANGERER, *Wissensch. Photographie*. Leipzig 1931. S. 57.

⁹⁾ K. ROSS, Zur Photographie mit ultraviolettem und infrarotem Licht. *Zeiss-Nachrichten I*, **4** (1933) 19.

¹⁰⁾ G. SCHEIBE, Dissertation, Erlangen (1918).

¹¹⁾ J. EGGERT, Fortschritte und Grenzleistungen in der Infrarot-Photographie. *Wiss. Veröff. d. Agfa* **4** (1935) 101.

¹²⁾ P. KRAFT, Bericht über den VIII. Int. Kongr. f. Photogr., Dresden 1931. S. 341. — ¹³⁾ G. G. REINERT, Die Mikrophotographie mit langwelligem Licht. *Z. Mikrosk.* **50** (1933) 344; *Zeiss-Nachrichten I*, **4** (1933) 13.

¹⁴⁾ H. NAUMANN, Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente **7** (1933) 38.

5. *Lumineszenz-Mikroskopie.*

Lumineszenz-Mikroskope für Durchlicht wurden zum ersten Male von O. HEIMSTÄDT¹⁾ beschrieben. Durch Änderung und Verbesserung in der Beleuchtungseinrichtung wurden die heute verwendeten Lumineszenz-Mikroskope geschaffen²⁾.

Ein Lumineszenz-Mikroskop für Auflicht bei Hellfeldbeleuchtung wurde von ELLINGER-HIRT angegeben³⁾. Lumineszenz-Mikroskopie bei Auflicht-Dunkelfeld-Beleuchtung wurde in der Liste Mikro D Nr. 7310 (1933) von E. Leitz sowie in den Zeiss-Nachrichten II. Folge, 1 (1936) beschrieben⁴⁾.

Zusammenfassende Darstellungen über Lumineszenz-Mikroskopie finden sich im Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden⁵⁾ und bei P. W. DANKWORTT⁶⁾.

In diesen Darstellungen finden sich weitere Literaturhinweise, vor allen Dingen Hinweise auf Einzelbeobachtungen an pflanzlichen und tierischen Objekten.

6-7. *Profil- und Oberflächenuntersuchungen.*

Über Form, Aussehen und Prüfung von Gewinden schreibt G. BERNDT⁷⁾. Eingehende Untersuchungen über die Güte einer bear-

¹⁾ O. HEIMSTÄDT, Das Fluoreszenz-Mikroskop. Z. wiss. Mikrosk. 28 (1911) 330.

²⁾ G. KÖGEL, Über die neuesten Verbesserungen des Lumineszenz-Mikroskopes. Mikrochem. 7 (1929) 305. — H. NAUMANN, Eine Einrichtung zur Beobachtung von Fluoreszenz-Erscheinungen. Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 3 (1929) 21. — M. HAITINGER, Ein lichtstarkes Fluoreszenz-Mikroskop. Mikrochem. 8 (1930) 81; 9 (1931) 430 und Z. Mikrosk. 48 (1931) 238.

³⁾ ELLINGER-HIRT, Eine Methode zur Beobachtung lebender Organe mit stärksten Vergrößerungen im Lumineszenz-Licht (Intravital-Mikroskopie), Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt. V, Teil 2. Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg (1930).

⁴⁾ F. HAUSER, Der Epi-Kondensor W als Hilfsmittel der Lumineszenz-Mikroskopie. — M. SCHOCHARDT, Zur Praxis der Lumineszenz-Mikroskopie mit dem Epi-Kondensor W; Zur Lumineszenz-Mikroskopie der Steinkohle. — H. HELLSTRÖM, Über die Anwendung des Epi-Kondensors W in der biologischen Lumineszenz-Mikroskopie.

⁵⁾ Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg: G. KÖGEL, Die äquimensurable Ultraviolett- und Fluoreszenz-Photographie. Abt. II, Teil 2 (1928). — M. HAITINGER, Die Methoden der Fluoreszenz-Mikroskopie, Abt. II, Teil 3 (1934). — K. FRANKE, Die Technik der photographischen Aufnahmen bei mikroskopischen und fluoreszenz-mikroskopischen Lebendbeobachtungen, Abt. V, Teil 10 (1935).

⁶⁾ P. W. DANKWORTT, Lumineszenz-Analyse im filtrierte ultravioletten Licht. Ein Hilfsbuch beim Arbeiten mit den Analysen-Lampen. 3. Aufl. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1934.

⁷⁾ G. BERNDT, Die Gewinde. Berlin, Julius Springer (1925).

beiteten Oberfläche wurden von G. SCHMALTZ¹⁾ angestellt. In dessen Buch finden sich eingehende Erläuterungen zur Anwendung des Lichtschnittverfahrens (S. 71 ff.). Das Mikrointerferometer nach LINNIK beschreibt W. KINDER²⁾.

8. Mikro-Kinematographie.

Zusammenfassende Darstellungen über Mikro-Kinematographie finden sich bei: W. SCHEFFER³⁾, F. SCHEMITZKY⁴⁾ und H. NAUMANN⁵⁾.

Spezielle Geräte zur Verbindung einer Schmalfilmkamera mit einem Mikroskop beschreiben: F. SCHEMITZKY und S. KANN⁶⁾, W. R. HESS⁷⁾ und H. NAUMANN⁸⁾.

¹⁾ G. SCHMALTZ, Techn. Oberflächenkunde. Berlin, Julius Springer (1936).

²⁾ W. KINDER, Zeiss-Nachrichten II, 3 (1937) 91.

³⁾ W. SCHEFFER, Die Mikro-Kinematographie. Hdb. d. Mikrobiolog. Arbeitsmethoden, Bd. 2. Kraus & Uhlenhuth (1923).

⁴⁾ F. SCHEMITZKY, Mikro-Kinematographie. Photogr. Praktikum (A. HAY) 1930. S. 336.

⁵⁾ H. NAUMANN, Kinematographie als Forschungsmittel. Kinotechn. Rdsch. 63 (1926) 40.

⁶⁾ F. SCHEMITZKY und S. KANN, Verwendbarkeit des Pathé-Schmalfilmes für wissenschaftliche Zwecke, besonders für Mikrokinoaufnahmen, Beschreibung einiger neuer Hilfsapparate für die wissenschaftliche Mikrokinematographie. Z. Mikrosk. 45 (1928) 11.

⁷⁾ W. R. HESS, Die Verwendung des Schmalfilms für biologische Zwecke. Hdb. d. Biolog. Arbeitsmethoden (ABDERHALDEN), Abt. II, Teil 2. Berlin-Wien, Urban & Schwarzenberg (1929).

⁸⁾ H. NAUMANN, Mikrokinematographie. Blätter f. Untersuchungs- und Forschungsinstrumente 8 (1934) 9.

Namen- und Sachverzeichnis.

A

Abderhalden 189, 190, 191, 192, 193, 195.
Abbe, E. 17, 19, 23, 65, 185, 187, 188.
 Abbildungsfehler, geometrischer 27ff.
 Abbildungsmaßstab 2, 3, 24ff., 39, 40, 41, 70, 71, 147.
 —, kleinst nutzbarer, förderlicher, toter 25.
 Abbildungstheorie Abbes 17, 19, 20, 21.
 — Berek's 22, 23.
 Achromatisches System 29.
 Achsenbild 124, 125.
 Achsenkreuz 124.
 Achsenschnitt eines Gewindebolzens, siehe Gewindebolzen.
Agfa-Color-Neu-Verfahren 168.
 Ähnlichkeit der Bilder 22.
Ahrens 119.
Ahrens-Prisma 119.
 Akkomodation des Auges 100.
 Aktive Kristalle 125.
Amici 34, 187.
Amicis Halbkugellinse 34, 65.
 Amplitude der Wellen 17, 115ff.
 Analysator 113ff.
 —, Anastigmatischer Tubus- 120.
 Anastigmat, Photographischer 32, 33, 47, 60ff., 72ff., 82ff., 89ff.
 Anisotropes Medium 114ff.
v. Angerer, E. 194.
 Aperturblende 2, 8, 12, 13, 21, 52.
 Apertur, Numerische, der Beleuchtung 19.
 —, Numerische, des Objektivs 8, 15, 19, 20, 24, 25, 26, 39, 62, 64, 70, 71.
 Apochromat 29.
 Astigmatismus 31ff., 42, 43.
 Auflösungsvermögen, Geometrisches 30ff.
 —, Photographisches 172ff.
 —, Physikalisches 10ff., 24ff., 30, 41, 70, 71, 125ff., 131, 147.

Auflösungsvermögen, Physiologisches 9, 24ff., 41, 70, 71, 147.
 Aufnahmematerial 164ff.
 Aufsetzkamera 105, 149ff.
 Auge, Netzhaut des 5, 99.
 —, Stäbchen und Zäpfchen des 5, 9.
 Augendrehpunkt 99.
 Augenlinse des Okulars 38, 42, 43.
 Augenpupille 99.
 Außerordentlicher Strahl 114ff.
 Austrittspupille 42, 146.

B

Balgenlänge 40, 41, 101.
 Balgenauszug, siehe Balgenlänge.
Barnard, J. E. und *Elford, W. J.* 194.
Becher, S. 193.
Beck, C. 186.
 Beleuchtungsapparat 44.
 —, Abbes 65ff.
 — für Auflicht 51, 82ff.
 — für Durchlicht 65ff.
 Belichtung 170ff.
 Belichtungsmesser 171.
 —, Photolektrischer 171.
Berek, M. 22, 185, 186, 191.
 —, siehe *Rinne, F.* und *Berek, M.*
 Bergkristall-Prisma 127.
 — -Objektträger 133.
Berndt, G. 195.
Bertrandsche Hilfslinse 122ff.
 Beugung siehe Licht.
 Beugungsmaximum 18, 22.
 Bildfeldwölbung 31ff., 33, 35, 42, 43.
 Bildweite 2.
Bögehold, H. 187.
 — und *Köhler, A.* 189.
 Bogenlampe 54ff.
 —, Automatische 56, 57.
 — für Handregulierung 56.
 —, Uhrwerk- 56.
Brachet, A. 187.
 Brechungsexponent 6ff.

Brechungsexponent, Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes 27.
 Brechungsgesetz, Snelliussches 7, 11, 12.
 Brennpunkt 3.
 Brennweite 3, 8.
 Brillenglaskondensator 60, 66.
Bünning, A. 191.
Busch, E. 189.

C

Callier-Effekt 184.
 Citophot-Kamera 154, 167.
 Contax-Kamera 167.
Czapski, S. 188, 190.
Czapski-Eppenstein 187, 190, 191, 192.
Czapski, S. und *Gebhardt, W.* 192.

D

Dankwortt, P. W. 195.
 Deckglasdicke, Korrektur der 34, 35.
Dersch, F. und *Dürr, H.* 182.
 Desensibilisieren 179.
Van Deyl, H. und *J.* 187.
 Diffusionslichthof, siehe Lichthof.
Dimmick, G. L. 173.
 Direktes Sehen, siehe Sehen.
 Dochkohle 55, 132.
 Doppelbrechung des Lichtes, siehe Licht.
 Drehtisch 46, 47, 120.
 —, Zentrierung des 46, 47.
 Druckraster, Reproduktion auf 25.
Drüner 106, 192.
 —, Stereoskopkamera nach 106.
 Dunkelfeldbeleuchtung im auffallenden Licht 89ff.
 — im durchfallenden Licht 21, 59, 77ff.
 Dunkelfeldkondensator 78ff.
Dürr, H. siehe *Dersch, F.* und *Dürr, H.*

E

Eberhardt 177.
Eberhardt-Effekt 177, 180.
Eggert, J. 166, 194.
 Eigenvergrößerung 39, 40.
 Einachsiger Kristall 114.
 Einblickfernrohr 146, 150.
 Einfallebene des Lichtstrahles, siehe Lichtstrahl.
 Einschlußmedium 36.
 Einstellupe 69.

Einwendellampe 52, 53.
Elford, W. J., siehe *Barnard, J. E.* und *Elford, W. J.*
Ellenhorn, J. 186.
Ellinger-Hirt 195.
 Entwicklung panchromatischer Schichten 177ff.
 — photographischer Schichten 174ff.
Eppenstein, siehe *Czapski-Eppenstein*.
Erfle, H. 190, 191.
 Euphos-Glas 133.

F

Fadenokular, siehe Okular.
 Farbenempfindlichkeit 164, 165.
 Farbfehler 27ff., 33, 34, 41ff., 164.
 — der Brennweiten 28, 42.
 — der Randstrahlen 30.
 — der Schnittweiten 27, 28, 29.
 —, Korrektur des 28.
 Farbvergrößerungsfehler, siehe Farbfehler der Brennweiten.
 Farbfilter 29, 169ff.
 — für Violett 173.
 — für UV 57.
 —, Komplementär- 169, 170.
 — von Zettnow 164.
 Farbglas 170.
 Farbrasterplatte 167, 168.
 Feinkornentwickler 176ff.
 Feinkörnigkeit 164, 176ff.
 Feinverstellung, siehe Mikrometerschraube.
Feissler, V. 191.
 Feldlinse des Okulars 38, 42.
 Filterfarbstoff 170.
 Fischauge 69.
 Fixierbad, Neutrales 183.
 —, Saures 183.
 Fixieren 183, 184.
 Flintglas 29.
Flügge, J. 187, 188.
 — und *Ramsthaler, P.* 188.
 Fluoritsystem, siehe Halbapochromat.
 Fluorochrom 134.
 Francitaverfahren 168.

G

Gebhardt, W. 193.
 — siehe *Czapski, S.* und *Gebhardt, W.*
Georgi, J. 185.

Gesichtsfeldbescheidung 37.
 Gesichtsfeldblende 2, 65.
 Gesichtswinkel 39.
 Gewindebolzen, Achsenschnitt eines 137.
 —, Exakte Abbildung eines 137ff.
 —, Senkrechtschnitt eines 138.
 Gewindeflanke 138.
 Gitterkonstante 18.
 Gitter, Optisches 17.
Greenough 105, 192.
Greenough-Mikroskop 105.
 Grobverstellung, siehe Trieb.
Groosmuller, siehe *Lakeman* und *Groosmuller*.

H

Haase, M. 193.
Haitinger, M. 195.
 Halbapochromat 29.
 Halbmondblende 107.
 Härtefixierbad 184.
Harting, P. 187, 188.
 Hauptschnitt 114, 124, 125.
Hauser, F. 94, 187, 191, 192.
 — und *Mohr, L.* 191.
Hauserscher Dunkelfeldkondensator 94.
Heimstädt, O. 195.
Heine, H. 192.
Heise, E. 193.
 Hellfeldbeleuchtung im auffallenden Licht 82ff.
 — im durchfallenden Licht 59ff.
Hellström, H. 195.
Helmholtz, H. 185.
 Herapathit-Filter 119.
Herzberger, M. 186.
Hess, W. R. 196.
Hirt, siehe *Ellinger-Hirt*.
 Homal, siehe Okular.
Huygens, C. 11, 12, 38, 188.
Huygenssches Okular, siehe Okular.
Huygens, Prinzip von 11, 12.
 Hypersensibilisieren 182ff.

I

v. Ignatowski 190.
 Immersion, Homogene 36.
 —, Scharfstellen mit der Öl- 51.
 Immersionssystem 16, 34, 35ff.

Immersion, Wasser- 35, 37.
 Indikatrix 114.
 Indirektes Sehen, siehe Sehen.
 Infrarotempfindliches Aufnahmematerial 166, 173.
 Infrarotes Licht, siehe Licht.
 Interferenz des Lichtes 18, 22.
 Interferometer 142, 143.
 Interferometer, Mikro- 142ff.
 Isotropes Medium 114.

K

Kadmium-Funkenstrecke 127.
 Kameramikroskope 67, 156ff.
Kann, S., siehe *Schemitzki, F.* und *Kann, S.*
 Kaustik 30.
Kinder, W. 196.
 Kinematographie, Mikro- 145ff.
Klein, B. 168.
Klughardt, A. 188.
 Kodachrom-Verfahren 168.
Kögel, G. 195.
Köhler, A. 59, 189, 190, 191, 192, 193, 194.
 —, siehe *Bögehold, H.* und *Köhler, A.*
 —, siehe *v. Rohr, M.* und *Köhler, A.*
 Köhlersche Beleuchtung 59, 60, 64, 65, 85, 136, 143.
 Kollektor 52, 53, 59.
 Kombinierte Auf- und Durchlichtbeleuchtung 97ff.
 Kompensationsokular, siehe Okular.
 Kompensator 118.
 Komplementärfilter, siehe Farbfilter.
 Kondensator 21, 23, 65, 66.
 —, Achromatischer 66.
 —, Pankratischer 69.
 —, Mikroskop- 65ff.
 —, Mikroskopobjektiv als 67.
v. Konkoly, N. 189.
 Konoskopische Beobachtung 122ff.
Kraft, P. 166, 194.
 Kreuztisch 45, 46.
 —, Behandlung des 36.
 Kronglas 29.
 Kugelfläche 27.
 Kugelwelle 10, 11.
Küster 165.
 Küvette 57.

L

- Lakeman* und *Groosmuller* 186.
 Lampengehäuse 52, 53.
 Längsaberration, chromatische, siehe
 Farbenfehler der Schnittweiten.
v. Laue, M. 186.
Le Chatelier 155.
Le Chatelier-Mikroskop 155, 157.
Leitz, E. 189, 195.
 Licht, Beugung des 12ff., 17, 18, 78,
 81, 87.
 —, Doppelbrechung des 114.
 —, Geschwindigkeit des 12, 114.
 —, Infrarotes 129ff.
 —, Polarisation des 112ff.
 —, Schwingungsebene des 112, 113,
 119, 125.
 —, Ultraviolettes 125ff.
 —, Wellenbewegung des 10.
 —, Wellenlänge des 10, 15, 16, 19, 20,
 24, 26.
 Lichtdichte Verbindung zwischen
 Mikroskop und Kamera 68, 69.
 Lichthof 165, 166, 172.
 Lichthofschuttschicht 165, 166, 183.
 Lichtquelle 51ff.
 Lichtschnitt 140ff.
 Lichtstrahl, Einfallsebene des 113.
Lieberkühn-Spiegel 93.
Lihotzki, E. 188, 192.
Linnik 142, 196.
Lister, J. J. 187.
 Lukenwirkung, siehe Gesichtsfeld-
 beschneidung.
 Lumineszenz 131ff.
Lummer, O. und *Reiche, F.* 185.
 Lupe, Mattscheiben- 69.

M

- Mandelstam* 186.
Martin, L. C. und *Wilkins, F. R.* 193.
Mees, C. E. K. 173.
 Medium, gelbes = Realgar (As_2S_2) 36.
 Metaphot 157ff.
Metz, C. 189.
Mifilmca 152, 167.
 Mikroiinterferometer siehe Interfero-
 meter.
 Mikrometerschraube 44, 50, 51.
 Mikroskop, Einstellen des 67ff.
 Mikroskopobjektiv, siehe Objektiv.

- Mikroskopobjektiv als Kondensator 67.
 Mikroskopstativ 44.
Mittenzwey, M. 189.
v. Mohl, H. 187.
Mohr, L., siehe *Hauser, F.* und *Mohr, L.*
Moll, G., siehe *Schafmeister, P.* und
Moll, G.
 Monobromnaphthalin 37.
 Monochromat 126.
 Multiplikator-kassette 131, 170.

N

- Naumann, H.* 192, 194, 195, 196.
 Neophot 155.
 Netzhaut, siehe Auge.
 Nichtselbstleuchter 17, 21ff.
 Nickeldochtkohle 132.
Nicol 118.
Nicolsches Prisma 118.
 Niedervoltlampe 52, 53, 54, 92.

O

- Oberflächenprofil, Photographie des
 Objektiv 1. [139ff.]
 Objektivgewinde 47.
 Objektiv, Mikroskop- 33ff.
 — -Revolver 47, 48.
 — -Schlitten 48.
 — -träger 44, 47.
 —, Übersichts- 32, 33, 47.
 — -Zentrierzange 49.
 Objektführer 45.
 Objektisch 44ff.
 Objektweite 2.
 Öffnung des Objektivs, Relative 8, 62.
 Öffnungsblende, siehe Aperturblende.
 Okular 37ff., 41ff.
 —, Fadenkreuz- 67.
 —, Homal 32, 43, 106.
 —, *Huygenssches* 38, 42.
 —, Kompensations- 42.
 —, Orthoskopisches 43, 189.
 —, Periplan- 42.
 —, Projektar 43.
 —, Projektions- 44.
 —, *Ramsdenssches* 38, 43, 134.
 Okularrohr 44, 47, 49.
 Ölimmersion, siehe Immersionssysteme.
 Opalglaslampe 67.
 Optische Achse 1.

Ordentlicher Strahl 114ff.
 Orthochromasie 165.
 Orthoskopische Beobachtung 122.
 Orthoskopisches Okular, siehe Okular.

P

Panchromasie 165.
Panciatichi, Marquis de 187.
 Panphot 161, 167.
 Paraboloidkondensator 78, 79.
Pax, F. 166.
 Periplanokulare, siehe Okular.
 Phasendifferenz der Wellen 17, 115, 143.
 Photographischer Abzug 184.
 — Film 167.
 Photographische Platte 167.
 Polarisation des Lichtes 112ff.
 — durch gespanntes Glas 120.
 Polarisationsfilter 119, 120.
 Polarisationskondensator 119ff.
 Polarisationsmikroskop 119ff.
 Polarisationsprisma 118, 119, 120.
 Polarisationspektrum 117.
 Polarisator 113, 115, 118ff.
 Profile, Photographie von 134ff.
 Projektar, siehe Okular.
 Projektionsokular siehe Okular.
 Projektionsröhrenlampe 52.
 Pseudoskopischer Effekt 103, 110, 111.
 Punktlichtlampe 58.

Q

Quarzoptik 126ff.
 Quecksilberdampf Lampe 144.

R

Ramsden 38, 188.
 — -sches Okular, siehe Okular.
Ramsthaler, P. 191.
 —, siehe *Flügge, J.* und *Ramsthaler, P.*
 Rauchglas 58.
Rayleigh Lord 173, 186.
 Reflexe an Linsenflächen, Verschlechterung der Bilder durch 34, 164.
 — an Objektoberflächen 35.
 Reflexionslichthof, siehe Lichthof.
Reiche, F., siehe *Lummer, O.* und *Reiche, F.*
Reinert, G. G. 166, 191, 194.
 Reproduktionsschicht 167.

Ringbeleuchtung 89, 162.
Rinne, F. und *Berek, M.* 193.
v. Rohr, M. 187, 188, 192.
 — und *Köhler, A.* 194.
Ross, A. 188.
Ross, K. 173, 194.
 Runzelkorn 183.

S

Sammellinse 1.
 Satzachromat 33.
Schafmeister, P. und *Moll, G.* 193.
 Schärfentiefe 5ff., 24ff., 41, 70, 71, 135ff.
Scheffer, W. 189, 192, 196.
Scheibe, G. 194.
Schemitzky, F. und *Kann, S.* 196.
 Schichtfilm 167.
 Schiefe Durchlicht-Beleuchtung 72ff.
 Schlierenmethode, siehe Schiefe Durchlicht-Beleuchtung.
Schmaltz, G. 141, 196.
 — -sches Profilmikroskop 141.
Schmehlik, R. 185, 192.
Schochardt, M. 195.
 Schräglichtilluminator 93.
 Schwarzglas-Filter 132.
 Schwingungsebene des Lichtes, siehe Licht.
Schumann, V. 194.
Scott, S. H. 194.
 Sehen, Direktes 99ff.
 —, Indirektes 99.
 Sehweite, Deutliche 9, 24, 39.
 Selbstleuchter 17, 21ff.
 Senkrechtschnitt eines Gewindebolzens, siehe Gewindebolzen.
 Sensibilisator 129, 164, 165, 182.
Sheppard 173.
Siedentopf, H. 78, 185, 186, 190.
Siedentopf-Zsigmondy 81, 191.
 Sinusbedingung 30ff., 34.
Skell, F. 192.
Smith, T. 194.
Snellius 7.
 Soffittenbeleuchtung 153.
 Soffittenrahmen 89.
 Spektrum 27.
 —, Sekundäres 29.
 Sperrfilter 129.
 Sphärische Abweichung 30ff., 33, 34.

Sphärio-chromasie, siehe Farbfehler der Randstrahlen.
 Stäbchen, siehe Auge.
Stade, G. 186, 190, 192, 193.
 — und *Wetzlich, H.* 186.
 Standard-Kamera 153.
 Steigungswinkel eines Gewindes 138.
 Stereo-Mikrophotographie 99ff.
 — durch Abblendung 106, 107.
 — durch Änderung der Beleuchtungs-Richtung 107.
 — durch Ankippen des Objektes 108.
 — durch Schwenken der Kamera 109.
 — durch Verschieben des Objektes 108.
 Stereoskopisches Betrachtungsgerät 104.
 Stereoskopkamera nach *Drüner*, siehe *Drüner*.
Strutt, J. P. 186.
 Stufenkeil 171.
 Subtraktives Farbenverfahren 168.

T

Theile, W. 187.
 Tiefenmessung 104.
 Tiefenvorstellung 100, 101.
 Tiefenwahrnehmung 101ff.
Toepler, A. 190.
 Trichterblende 80.
 Trieb 44, 50, 51.
 Trocknen photographischer Schichten 184.
 Tubus 44, 47, 49.
 Tubuslänge, Mechanische 47.
 —, Optische 39, 47.
Turner, P. K. 180.

U

Ultramikroskopie 81ff.
 Ultraphot 163.
 Ultraviolett empfindliches Aufnahme-material 166.

Ultraviolettes Licht, siehe Licht.
 Umkehrentwicklung 179ff.
 Uviolglas 133.

V

Vario-Okular 160.
 Vergrößerung 3, 39, 40.
 Verstärken photographischer Schichten 175.
 Vertikal-Illuminator 83ff.
 Verzeichnung 32, 43.

W

Walkhoff, O. 194.
 Wärmeschutzglas 57.
 Wässern photographischer Schichten 183, 184.
Weinland, M. 171.
 Wellenfront 10, 11.
 Wellenlänge 10, 15.
 — des Lichtes, siehe Licht.
Wenham 190.
Wetzlich, H., siehe *Stade, G.* und *Wetzlich, H.*
Wilkins, F. R., siehe *Martin, L. C.* und *Wilkins, F. R.*
 Wölbung, siehe Bildfeldwölbung.

Z

Zäpfchen, siehe Auge.
 Zedernholzöl 36.
Zeiss, C. 141ff., 188, 189.
 Zeitlupe 145, 148.
 Zeitraffer 145, 148.
 Zentralblende 75, 76, 78.
 Zentrierzange, siehe Objektivzentrierzange.
Zettnow 164.
 — -Filter, siehe Farbfilter.
Zschau, H. 171.
Zsigmondy, siehe *Siedentopf-Zsigmondy*.
 Zweiflächen-Spiegelkondensator 79.
 —, Zentrieren des — 80.
 Zweiwendellampe 54.
 Zwischenbild 39.

FORTSCHRITTE DER PHOTOGRAPHIE

(*Ergebnisse der angewandten physikalischen Chemie, Band 5*)

Herausgegeben von **E. Stenger**, Berlin.

unter besonderer Mitwirkung von **H. Staude**, Berlin.

Leipzig. 1938. XIV, 415 Seiten, mit 78 Abbildungen. Preis RM. 33.—, Lw. RM. 35.—

AUS DEM INHALT:

- Das latente Bild.** Von W. Meidinger, Berlin. I. Die Photolyse in den Alkali-Halogenid-Kristallen. — II. Die Photolyse in Silber-Halogenid-Kristallen. — III. Die Photolyse des Bromsilbers in Halogen-Silber-Gelatineschichten. — IV. Theorien des latenten Bildes.
- Fortschritte der Emulsionstechnik.** Von H. Socher, München. I. Die Herstellung der Emulsion: 1. Chemische Reifung. 2. Haltbarkeit der Emulsionen. 3. Mischung und erste Reifung der Emulsion. 4. Sensibilisierung. — II. Überblick über die Eigenschaften des handelsüblichen Negativmaterials.
- Die Behandlung photographischer Schichten.** Von H. Staude, Berlin. I. Entwicklung: A. Die Zusammensetzung der Entwickler und die Rolle der einzelnen Substanzen. B. Arten der Entwickler. C. Die Praxis der Entwicklung. D. Die Umkehrentwicklung. E. Die Theorien der Entwicklung. — II. Hypersensibilisierung. — III. Desensibilisierung. — IV. Fixieren, Wässern, Trocknen.
- Die optischen Sensibilisatoren.** Von K. Meyer, Berlin-Zehlendorf. I. Arten der Sensibilisierung. — II. Die Konstitution der Cyanine. — III. Nomenklatur. — IV. Die Darstellung der Cyaninfarbstoffe. — V. Entwicklung der Sensibilisierungsschemie bis zum Jahre 1930. — VI. Ausbau der Cyaninchemie seit 1930. — VII. Die Patentlage. — VIII. Allgemeine Eigenschaften und Verwendung der Cyanine. — IX. Die Cyanine und ihre photographischen Eigenschaften: A. Monomethincyanine, bei denen $Y = Y'$ ist. B. Monomethincyanine, bei denen Y und Y' verschieden sind. — X. Trimethincyanine: A. Chinocarbo-cyanine. B. Benzthiocarbo-cyanine. C. Benz-selenocarbo-cyanine. D. Indocarbo-cyanine. E. Benzoxocarbo-cyanine. F. Unsymmetrische Carbo-cyanine. — XI. Pentamethincyanine. — XII. Heptamethincyanine. — XIII. Nona- und Undecamethincyanine. — XIV. Cyaninfarbstoffe mit einfachen heterocyclischen Kernen. — XV. Sensibilisatoren, die nicht den Cyaninen angehören.
- Photographische Papiere und ihre Bewertung.** Von W. Falta, Berlin. I. Aufbau und Herstellung von photographischen Papieren. — II. Behandlung photographischer Papiere. — III. Eigenschaften der photographischen Papiere und Meßmethoden. — IV. Besondere Positivverfahren.
- Chemie der farbenphotographischen Verfahren.** Von F. Lührig, Berlin-Zehlendorf. I. Chromogene Entwicklung mit Farbbildnern in der Emulsion. — II. Chromogene Entwicklung mit Farbbildnern im Entwickler. — III. Diffusionsverhinderung in Mehrschichtenmaterial. — IV. Farbstoffzerstörende Verfahren. — V. Beizverfahren. — VI. Kolloidgerbungsverfahren. — VII. Farbrasterverfahren.
- Einiges zur Optik der Farbenverfahren.** Von K. Rantsch, Jena. I. Einteilung der Farbenverfahren. — II. Direkte technische Farbenverfahren: A. Additive Farbsynthese. B. Subtraktive Farbsynthese. C. Vervielfältigung. — III. Indirekte technische Farbenverfahren: A. Strahlenbegrenzung. B. Herstellung der Teilbilder. C. Vervielfältigung und Lichtbedarf.
- Belichtungsmesser.** Von W. Petzold, Braunschweig. I. Belichtungsmessung: Photographische und lichttechnische Grundlagen. — II. Belichtungsmesser für die Aufnahme. — III. Belichtungsmesser an der Aufnahmekamera. — IV. Belichtungsmesser für Kopie und Vergrößerung.
- Diazotypiepapiere und -filme.** Von M. P. Schmidt, Wiesbaden-Biebrich. I. Die wichtigsten Grundstoffe. — II. Diazotypiepapiere. — III. Diazotypiefilme. — Namenregister. — Sachregister.

Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig

WISSENSCHAFTLICHE PHOTOGRAPHIE

Einführung in Theorie und Praxis

VON

Dr. E. v. Angerer

a. o. Professor an der Technischen Hochschule in München

1931. VIII, 185 Seiten mit 98 Abbildungen im Text und 1 Titelbild

Preis RM. 11.—, Lw. RM. 12.80

Inhalt: Vorbemerkungen über Lichtwellenlängen. 1. Anwendungsgebiete der Photographie. 2. Die photographische Platte. 3. Der photographische Apparat. 4. Das Negativ. 5. Die Auswertung des Negatives. 6. Korrektur des Negatives. 7. Positivverfahren. — Anhang 1. Becquerel-Herschel-Clayden-Effekt. Anhang 2. Farbenphotographie.

Das Buch bringt eine kurze Darstellung des Gebietes der sogenannten „wissenschaftlichen Photographie“: Theorien des latenten Bildes, Schwärzungskurven, Entwicklung usw., ferner ausgewählte Kapitel aus der „Geometrischen Optik“ und dem Positiv-Verfahren. Es wendet sich nicht speziell an Photochemiker oder Physiker, sondern *allgemein an Naturwissenschaftler*, denen auch viele eingestreute Hinweise über die *experimentelle Technik* wertvoll sein dürften. Bei der großen Bedeutung, die die photographische Fixierung wissenschaftlicher Befunde auf allen Gebieten erlangt hat, wird dieses gründliche Werk eines *erfahrenen Praktikers* jedem, der wissenschaftlich photographiert, von großem Nutzen sein.

FLUORESCENZ- MIKROSKOPIE

Ihre Anwendung in der Histologie und Chemie

VON

Max Haitinger, Wien

1938. VIII, 108 Seiten mit 36 Abbildungen im Text und auf 4 mehrfarb. Tafeln

Preis kart. RM. 10.80

Inhalt: I. Das Fluoreszenzmikroskop. — II. Die Vor- und Nachbehandlung histologischer Objekte für fluoreszenzmikroskopische Beobachtungen. — III. Beobachtung der Eigenfluoreszenz. — IV. Sekundäre Fluoreszenz. — V. Beispiele sekundärer Fluoreszenzerzeugung in pflanzlichen Objekten. — VI. Beispiele sekundärer Fluoreszenzerzeugung in tierischen Objekten. — VII. Beispiele sekundärer Fluoreszenzerzeugung an Bakterien. — VIII. Fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen an chemischen und technischen Produkten. — IX. Verfolgung biologischer Vorgänge mit dem Fluoreszenzmikroskop. Intravitalmikroskopie. — X. Schluß und Ausblicke.

Mit der vorliegenden Monographie, die Technik, Ausführung und Anwendung der Fluoreszenzmikroskopie zusammenfassend schildert, wird Biologen, Histologen, Medizinern und Chemikern aller Arbeitsrichtungen ein Hilfsmittel zur Verfügung gestellt, das sich *bei der Forschungsarbeit in zunehmendem Maße als unentbehrlich* erweisen wird. Die Fluoreszenzmikroskopie stellt eine höchst einfache und zeitsparende Methode mit überraschenden Effekten dar, die große Vorteile gegenüber der Tageslichtmikroskopie bietet. Es ist zu erwarten, daß die Methode darüber hinaus die Forschung zu neuen Erkenntnissen führen wird.

Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig

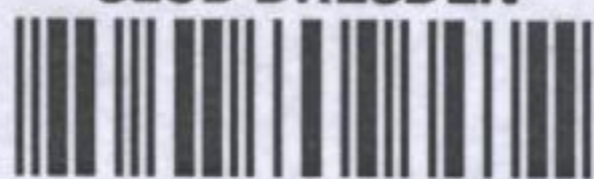
Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

Second block of faint, illegible text in the middle of the page.

19. 10. 8f

Geschenk von:		Preis:
AK-Hinw.		
Fach <i>1 Techn. Be.</i>		
Bio K	Bild K	
SWK <i>Mikro-Photographie</i>		
Mag.-Stdnr. <i>12. 8. 9740</i>	zu:	
GHLK Sonder-Aufst. <i>16</i>	Ausl.-V. <i>/</i>	zu:

SLUB DRESDEN



3 2375126

