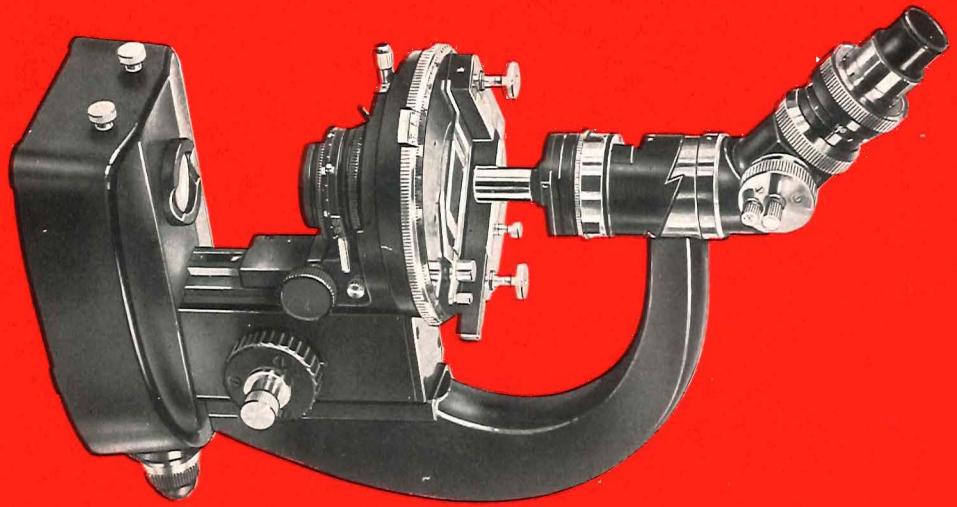
Gebrauchsanleitung

Polarisations-Arbeitsmikroskop „Polmi A“



CARL ZEISS JENA

Polarisations-Arbeitsmikroskop „Polmi A“

Gebrauchsanleitung

Polarisations-Arbeitsmikroskop „Polmi A"

Gebrauchsanleitung

Bei der Entwicklung der technischen Verfeinerungen spielt in fast allen Bereichen die Mikroskopie eine entscheidende Rolle. Trotz der Fortschritte mit dem Elektronenmikroskop und den Röntgenstrahlen verliert die Mikroskopie mit gewöhnlichem Licht keineswegs an Bedeutung. Mit besonderen Methoden wird im Gegenteil ihr Anwendungsgebiet stetig vergrößert. Dies trifft in erheblichem Maß für die mikroskopische Untersuchung mit polarisiertem Licht zu, die gegenwärtig immer weitere Anwendung in der Biologie und Medizin findet. Durch dieses Verfahren lassen sich dabei sogar wichtige Rückschlüsse auf den submikroskopischen Feinbau und die Anordnung organischer Strukturelemente ziehen, so daß das Polarisationsmikroskop heutzutage als Forschungsmittel aus den biologischen Gebieten nicht mehr wegzudenken ist.

Daß die Bedeutung des Polarisationsmikroskops in seinen „alten" Gebieten (Mineralogie, Geologie, Chemie, Physik und Technik) nicht geringer geworden ist, beweisen die häufigen Nachfragen von Forschung und Industrie nach diesem Gerät.

Auf die Wichtigkeit der Beobachtung mit polarisiertem Licht in der Auflichtmikroskopie (Erzmikroskopie, Metallographie) für die Grundstoffindustrien soll nur hingewiesen werden.

1. Bauweise

Die Form der Polarisationsmikroskope weicht in charakteristischer Weise von der der gewöhnlichen Mikroskope ab. Die durch die zusätzlichen Teile bedingten Bauprinzipien sind dabei für alle Herstellerfirmen lange Zeit dieselben gewesen. Erst in neuerer Zeit haben die meisten Hersteller die modernen Forderungen im Mikroskopbau auch an den Polarisationsmikroskopen berücksichtigt. So vereinigt auch das „Polmi A" alte, bewährte Einrichtungen der Polarisationsmikroskopie mit baulichen Neuerungen in möglichst harmonischer Weise. Dabei wird die Form des Gerätes durch seine Ausrüstung mit der neuartigen Planoptik maßgebend beeinflußt.

2. Beschreibung

2.1 Bauelemente

2.11 **Das Stativ** zeichnet sich durch besondere Standsicherheit aus, die der gewichtige Stativfuß gewährleistet (*8* Bild 1). In diesem sind die Mikroskopierleuchte und der Umlenkspiegel staubgeschützt untergebracht. Die Leuchtfeldblende wird mit dem Rändelring (*30* Bild 2) betätigt. An dem fest mit dem Fuß verbundenen Triebkasten befinden sich die beiderseits koaxial angeordneten Triebknöpfe (*6* Blld 1) in einer für die Betätigung günstigen Lage. Der größere Rändelring (*39* Bild 5) bewirkt die Grobverstellung* des Tubusträgers, während der Feintrieb *(40)* - kleinerer Triebknopf - auf den Tisch wirkt. Eine mit dem Feintrieb bewegte Skale gestattet, die durch ihn ausgeführte Höhenverstellung abzulesen (1 Intervall = 0,002 mm).

2.12 **Der Polarisationskondensor e** (*11* Bild 1) ist dreilinsig. Seine Frontlinse (*42* Bild 6) läßt sich mit dem Hebel *(44)* ein- und ausschalten. Der Kondensor ist abnehmbar, wenn die Klemmschraube (*13* Bild 1) gelöst wird. Beim Wiederansetzen ist darauf zu achten, daß der Kondensor in seiner Lagerung nach unten aufliegt. Vor dem Herausnehmen bringt man den Kondensor mit seinem Triebknopf *(5)* in die tiefste Stellung. Unter den Kondensorlinsen befindet sich die mit dem Rändelring (*43* Bild 6) zu bedienende Aperturblende. Zur Kondensorgruppe gehören ferner der mit dem Hebelgriff *(45)* aus- und einschwenkbare Polarisator (*28* Bild 2), der mit der Feder (*12* Bild 1) einrastet, und eine mattierte Zusatzlinse (*29* Bild 2), die ebenfalls in den Strahlengang eingeschwenkt werden kann.

2.13 **Der Objekttisch M** (*15* Bild 1) ist ein kugelgelagerter Drehtisch mit Gradteilung und Nonius (Ablesung 0,1°). Er ist mit Schnellwechsel in den festen Tischträger einsetzbar. Dabei drückt ihn eine federnde Klemme *(14)* mit immer gleichbleibender Kraft an die Gegenlager, so daß er jeweils in die gleiche Lage gelangt, da Nut und Stift an seiner Unterseite eine horizontale Drehung verhindern. Die Tischdrehung läßt sich mit einer Arretierschraube (*27* Bild 2) im Bedarfsfall abstellen. Mit der Schraube *(33)* wird die Rasteinrichtung des Tisches, die nach je 45° ± 0,1° eine Raststelle besitzt, betätigt. Die Rastung ist bei jeder Tischstellung einschaltbar; das Lösen soll

* Die Gängigkeit des Grobtriebes läßt sich im Bedarfsfall ändern, indem man die mit Löchern versehene Bremsscheibe neben dem rechten Grobtriebknopf mit dem Stiftschlüssel (*61* Bild 11) verstellt.

dagegen nur in einer Raststellung geschehen. Zur vollständigen Ausrüstung des Objekttisches ist ein aufschraubbarer Objektführer (*16* Bild 1) vorgesehen, dessen Verschiebungen an Skalen mit Nonius auf 0,1 mm genau ablesbar sind.

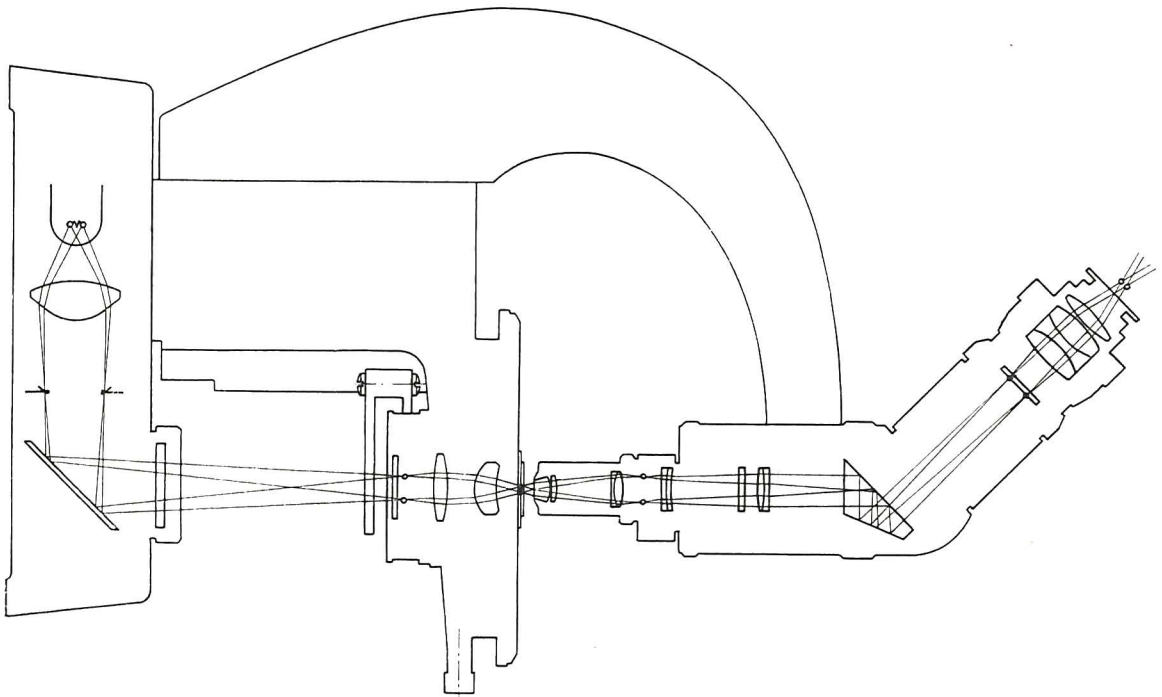
2.14 Der Zwischentubus Pol (*19* Bild 1) wird mit Schrägschlittenführung an den Tubusträgerkopf (*2* Bild 1 und Bild 4) angesetzt. Im Zwischentubus ist der Filteranalysator (*25* Bild 4) so eingebaut, daß er sich schnell aus dem Strahlengang ausschwenken läßt. Dazu ist er noch durch einen Hebel mit Index (*35* Bild 4) um 90° horizontal drehbar, so daß alle gewünschten Stellungen bis zur Parallelstellung der Polarisatoren erreicht werden können. Direkt unter dem Analysator ist die Lagerstelle für die Kompensatoren Rot I. Ordnung und $^1/_4\ \lambda$ (Bild 9), während für die anderen Kompensatoren, wie Quarzkeile (Bild 9) oder Drehkompensatoren (Bild 10), ein Tubusdurchbruch SO-NW vorgesehen ist. Diesen Durchbruch hält bei Nichtbenutzung der Staubschutzring (*37* Bild 4) geschlossen. In eine entsprechende Führung wird an den Zwischentubus unten der zentrierbare Objektivschlitten (*18* Bild 1 und Bild 4) geschoben. Zum Zentrieren des darin eingeschraubten Objektivs *(17)* dienen die mittels Steckschlüssels (*53* Bild 11) zu betätigenden Zentrierschrauben (*38* Bild 4).

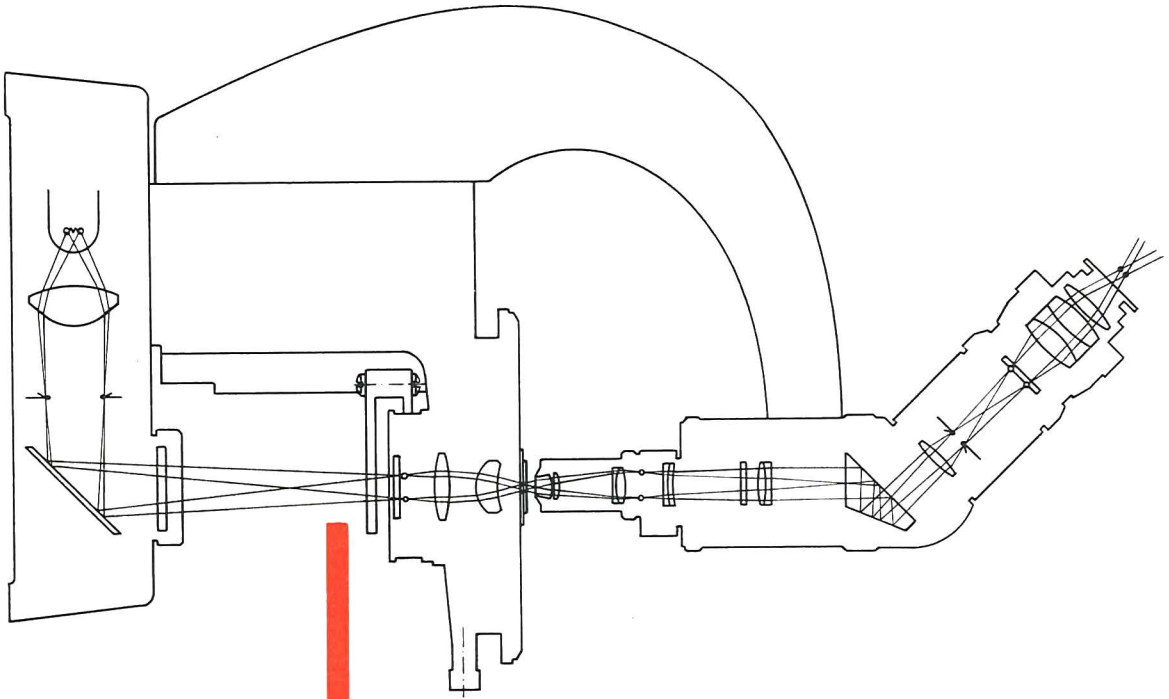
2.15 Zur gewöhnlichen Beobachtung ist das Gerät mit dem **Schrägtubus Pol** (*20* Bild 1) ausgerüstet, der eine ungezwungene und deshalb nicht ermüdende Körperhaltung des Mikroskopierenden erlaubt. Der Tubus läßt sich mit Schnellwechsel in den Tubusträgerkopf einsetzen. Eine Justierschraube, die in eine Nut des Trägerkopfes paßt, gewährleistet immer die gleiche Stellung. Außer dem Umlenkprisma sind noch die Bertrand-Linse, die Tubusirisblende und die Tubuslängenverstellung (*22* Bild 1) in den Tubus eingebaut. Das Okular *(23)* wird orientiert in den Tubus eingesetzt. Dies ist durch Nuten im oberen Tubusrand und eine entsprechende Nase am Okular erreicht. Die Nuten sind so angebracht, daß das Okularstrichkreuz entweder in Orthogonal- oder in Diagonalstellung (45°-Stellung) benutzt werden kann.

2.2 Strahlengang und Optik

2.21 Der orthoskopische Strahlengang (Schema I, S. 6) im „Polmi A" ist im Grunde genommen der gleiche wie in jedem gewöhnlichen Mikroskop. Ein unwesentlicher Unterschied besteht

orthoskopisch





Strahlengang **konoskopisch**

nur darin, daß sich einige für das Polarisationsmikroskop notwendige Teile zusätzlich im Strahlengang befinden. Dies sind vor allem die beiden Polarisatoren und die Telezlinsen des Zwischentubus Pol. Die Linsen bewirken im Zwischentubus einen parallelen Strahlengang, so daß sich hier der Analysator und die unterschiedlichen Kompensatoren in den Strahlengang bringen lassen, ohne eine Verlagerung der Zwischenbildebene zu bewirken. Verfolgt man den Strahlengang von der Lichtquelle aus, so sieht man, wie das erst horizontal verlaufende Lichtbündel durch den mit zwei Justierschrauben (9 Bild 1) verstellbaren Spiegel in die vertikale Richtung umgelenkt wird. Es durchsetzt dann die Glasplatte des Filterhalters *(10)*, die gleichzeitig als Staubschutz für den darunterliegenden Spiegel dient. Den Filterhalter soll man deshalb nicht unnötig aus dem Fuß herausnehmen. Das Licht tritt nun durch den Polarisator hindurch und wird dabei in linear polarisiertes Licht verwandelt. Es geht durch den Kondensor in die Objektebene. In dieser bildet sich bei richtiger Einstellung die Leuchtfeldblende der Beleuchtungseinrichtung scharf ab. Nachdem das Licht das Objektiv durchlaufen hat, tritt es durch die untere Telezlinse, die telezentrischen Strahlengang herstellt, durch den Analysator und durch die obere Telezlinse. Die letztere bewirkt, daß in der Bildebene des Okulars, in der auch die Strichkreuzplatte ihren Ort hat, das Bild des Objektes entsteht. Dieses Bild wird mit dem Planokular betrachtet.

2.22 Den **konoskopischen Strahlengang** (Schema II, S. 7) erhält man durch Einschalten der im Tubusinnern geschützt untergebrachten Bertrand-Linse mittels Schaltknopfes (*1* Bild 1). Es ist nun nicht mehr das Objektbild selbst sichtbar, sondern nur die Wirkung des Objektes auf die abbildenden Strahlen als Interferenzerscheinung in der hinteren Brennebene des Objektivs. Dabei bildet die Bertrand-Linse mit dem Okular zusammen ein Hilfsmikroskop, mit dem man die hintere Brennebene des Objektivs betrachtet. Da bei den verschiedenen Objektiven die Brennebene auch unterschiedliche Lage hat, ist es nötig, durch Verlängerung des Tubus *(22)* das Hilfsmikroskop auf größtmögliche Schärfe der Interferenzerscheinungen einzustellen. Eine gestochene Schärfe ist allerdings bei diesen Interferenzerscheinungen im „weißen" Licht nicht zu erwarten, da die verschiedenen Wellenlängen bei der Interferenz ineinander übergehen oder sich überlagern. Eine Verstärkung des Kontrastes und eine Verbesserung des Bildes erreicht man, indem man nur die mittleren Strahlenbündel benutzt. Deshalb ist es nötig, die Tubusirisblende *(21)* soweit zu schließen, bis die Interferenzerscheinung am kontrastreichsten wird. **Bei der Scharfstellung der Interferenzbilder ist unbedingt darauf zu achten, daß nicht der Grob- oder der Feintrieb des Mikroskops, sondern nur der Rändelring der Tubusverlängerung betätigt werden darf.** Denn nur dadurch ist eine Einstellung des Hilfsmikroskops zu erreichen. Sind die Präparate

verhältnismäßig dick, wie das bei Achsenbildpräparaten öfters der Fall ist, so läßt sich die Ausleuchtung der hinteren Objektivöffnung mitunter durch Heben des Kondensors erreichen.
Beim Übergang zur orthoskopischen Beobachtung ist der Tubus wieder auf seine normale Länge (Skalenteil 160 auf Indexstrich) einzustellen!

2.23 **Der Polarisationskondensor e** (Bild 6) besitzt drei Linsen, die zusammen eine n. A. von 1,2 erreichen. Schaltet man die Frontlinse *(42)* aus, so bleibt für die restlichen zwei Linsen 0,6 n. A. Die zweite Linse *(41)* ist ausschraubbar. Mit der bleibenden einen Linse besitzt der Kondensor 0,25 n. A. Da das Ausschrauben der Linse nur mit einigem Zeitverlust geschehen kann, der beim Vergrößerungswechsel immer sehr störend empfunden wird, ist eine mattierte Zusatzlinse *(29)* vorhanden, die diese Manipulation überflüssig macht. In den Strahlengang eingeschaltet, bewirkt die Zusatzlinse, daß auch die großen Objektfelder der schwachen Vergrößerungen ausgeleuchtet werden, ohne daß man die zweite Kondensorlinse ausschraubt und aus dem Strahlengang nimmt. Die Aperturblende des Kondensors läßt sich mit dem Rändelring *(43)* betätigen.

2.24 Als Objektive sind die **Planachromate Pol 2,5/0,07; 6,3/0,16; 16/0,32 und 40/0,65** vorgesehen. Als Zusatzobjektive stehen die Planachromate Pol 10/0,25 und H.I. 100/1,25 zur Verfügung. Die Objektive werden in gravierte, zentrierbare Schlitten eingeschraubt und mit diesen am Zwischentubus Pol angesetzt. Da der Objekttisch fest am Stativ sitzt, sind die Objektive nach ihm zu zentrieren. Dies geschieht in üblicher Weise dadurch, daß man die Mitte des Objektstrichkreuzes (*55* Bild 11) mit der Mitte des Okularstrichkreuzes im Mikroskop zur Deckung bringt und nun den Objekttisch dreht. Gewöhnlich beschreibt der eingestellte Objektpunkt einen Kreis. Durch mehrmaliges Drehen stellt man die größte Entfernung des Punktes von der Bildmitte fest und rückt von dieser Stellung aus den Punkt durch Objektverschiebung zur Hälfte der Strecke auf die Bildmitte (Okularstrichkreuzmitte) zu. Über die zweite Hälfte wird der Einstellpunkt durch Verstellen des Objektivschlittens mit seinen Stellschrauben (*38* Bild 4) mit Hilfe der Steckschlüssel (*53* Bild 11) in Bildmitte gebracht. Nun kontrolliert man durch mehrere volle Drehungen des Objekttisches, ob der eingestellte Punkt in der Fadenkreuzmitte bleibt. Ist dies der Fall, so ist das Objektiv zentriert. Ist die Zentrierung nicht ganz gelungen, so ist der beschriebene Vorgang sinngemäß zu wiederholen, bis das Ziel erreicht ist. Bei all diesen Arbeiten muß man sich immer wieder überzeugen, daß der Objektivschlitten sowie der gesamte Zwischentubus Pol bis zum Anschlag angeschoben sind. Diese Kontrolle ist ebenfalls grundsätzlich bei jedem Objektivwechsel auszuführen.

Planachromate zeigen gegenüber den sonst allgemein in der Polarisationsmikroskopie gebräuchlichen achromatischen Objektiven gewisse Vorteile.

Es wird sehr häufig behauptet, daß die beim Mikroskopieren mit Achromaten auftretende lästige Bildfeldwölbung nicht störend sei, da sie durch Verstellung des Feintriebs schnell beseitigt werden könnte. Im Zeitalter des technischen Fortschrittes erscheint es höchst unbefriedigend, wenn man dem Praktiker zumutet, sich mit diesem wenig erfreulichen Zustand in der Mikroskopie abzufinden. Es wurden von unserem Werk in Jena durch Boegehold zuerst Wege angegeben, wie man bildebnende Objektive mit entsprechenden Okularen berechnen und herstellen kann. Solche Objektivtypen bezeichnet man seither als Planachromate und Planapochromate. In der Praxis der Mikrophotographie standen schon lange Optiken mit weitgehend geebneten Bildfeldern zur Verfügung, und es sei hier an die bekannten Objektiv-Projektivzusammenstellungen Apochromate und Homale erinnert. Bekanntlich sind diese Kombinationen wegen der Lage der Austrittspupille für den subjektiven Gebrauch nicht geeignet. Die hier erörterten Kombinationen hingegen sind gleich gut für den subjektiven Gebrauch wie für die Zwecke der Mikrophotographie zu empfehlen. Es mag allerdings nicht unerwähnt bleiben, daß bestimmte mikrophotographische Einrichtungen wegen der kürzeren Projektionsentfernung auch Spezialprojektive (vgl. Abschn. 6) benutzen.

Neben diesem Vorteil sind die großen Sehfeldzahlen unserer Okulare beachtenswert. Die Zahlen stellen bekanntlich die Maßzahl des Felddurchmessers dar, wenn er in mm gemessen wird. Die großen Sehfelder sind für den Praktiker bei Beurteilung von Übersichten und in der Gefügeanalyse von Vorteil, insbesondere im Hinblick auf die Tatsache, daß sich bei gleicher Vergrößerung ein größeres Sehfeld als mit normalen Objektiven erzeugen läßt.

Größere und geebnete Sehfelder stellen daher das charakteristische Merkmal unseres Polarisationsmikroskops dar.

Im übrigen sind die von uns empfohlenen Objektive sorgfältig auf „Polarisationsfreiheit" geprüft, womit gesagt sein soll, daß sie so ausgewählt werden, daß ihre Anwendung für die üblichen Arbeiten am Polarisationsmikroskop ausreichend gesichert ist. Wir empfehlen sie hingegen nicht für polarisationsoptische Untersuchungen in der Biologie, sofern **geringste** Gangunterschiede mit dem Polarisationsmikroskop zu messen sind. Für derartige Untersuchungen kommen besonders ausgesuchte Spezialtypen von mikroskopischen Objektiven in Frage.

Unsere Objektive sind in den dafür vorgesehenen zentrierbaren Schlitten in einer bestimmten Stellung befestigt und immer in dieser Stellung zu benutzen. Die Forderung trägt von vornherein der bekannten Tatsache Rechnung, daß das Objektiv im Gebrauch tunlichst in der Stellung benutzt werden soll, die die beste Auslöschung bei gekreuzten Polarisatoren gewährleistet. Im übrigen sind alle Objektive unter-

einander abgeglichen und besitzen, sofern die freien Objektabstände gering sind, eine federnde Fassung.

2.25 Als letzte Gruppe der optischen Ausrüstung sind die **Planokulare** K 10×/w Pol (*58* Bild 11) mit fest eingebautem, justiertem Strichkreuz und K 16×/w Pol *(54)* mit demselben Strichkreuz zu erwähnen. Diese Okulare sind natürlich stellbar, so daß das Strichkreuz gleichzeitig mit dem Objektbild scharf gesehen wird. Die Ausrichtung der Strichkreuze zum gesamten Gerät ist dadurch gewährleistet, daß ein Vorsprung des Okularrings in eine Nut des Tubusrandes eingreift. Außer der Orthogonalstellung, in der die Nase des Okularrings in die auf den Benutzer zu gerichtete Nut eingreift, ist noch eine Diagonalstellung vorhanden durch eine um 45° gegen die erste versetzte Nut. Für Längenmessungen gehört weiter das Okular K 12,5× stellbar *(56)*, das mit dem Zwischenstück *(60)* in den Tubus einzusetzen ist, zur vollen Ausrüstung. Die Planoptik ergibt gut geebnete Sehfelder, die bei der Kombination K 10×/w und Planachromat 2,5/0,07 einen Durchmesser von 8 mm besitzen. Es ist damit leicht, sich einen schnellen Überblick über ein Präparat zu verschaffen oder eine bestimmte Objektstelle wiederzufinden. Wie bereits erwähnt, ist für die Ausleuchtung dieses Sehfeldes das Einschalten der Kondensorzusatzlinse erforderlich. Auch bei den Kombinationen K 16×/w mit Planachromat 2,5/0,07 und K 10×/w mit Planachromat 6,3/0,16 ist diese Maßnahme noch nötig, während man sie für alle stärkeren Kombinationen zu unterlassen hat. Bei der Benutzung des Planachromaten 40/0,65 und stärkerer Systeme ist die Kondensorfrontlinse (*42* Bild 6) in den Strahlengang einzuschalten.
Die zweckmäßige Beleuchtung (nach Köhler) läßt sich beim „Polmi A" schnell und leicht erreichen, da man das Bild der fast geschlossenen Leuchtfeldblende symmetrisch um die Okularfadenkreuzmitte einstellt. Bei den schwachen Kombinationen ist dabei die mattierte Kondensorzusatzlinse aus dem Strahlengang zu entfernen. Die vorgeschriebene Abbildung der Lampenwendel auf der geschlossenen Aperturblende wird durch Drehen der Fokussiereinrichtung (*32* Bild 2) erreicht.

2.3 Polarisatoren und Kompensatoren

Das „Polmi A" ist mit sogenannten Filterpolarisatoren ausgerüstet. Sie bestehen aus je einer dichroitischen Folie, die zwischen zwei Glasplatten gekittet ist. Diese Polarisatoren sind für unsere Mikroskope mit einer besonders hergestellten Polarisationsfolie versehen, die in gekreuzter Stellung mit einem dunklen neutralen Grau auslöscht und in ihrer Wirkung bezüglich der Interferenzfarben

subjektiv der der Kalkspatpolarisatoren gleichkommt. Auch die Beobachtungen an pleochroitischem Material mit dem Filterpolarisator allein entsprechen nach unserer Erfahrung denen mit Kalkspatpolarisatoren.

2.31 Der **Polarisator** ist in seiner Ringfassung drehbar und rastet nach je 90° ein. Der **Analysator** läßt sich ebenfalls mit seinem Hebel drehen, aber nur im ganzen um 90° (Skale von 5° zu 5°). In den Ausgangslagen (Index mit 0° der Skalen übereinstimmend) sind Polarisator und Analysator in gekreuzter Stellung, d. h., ihre Schwingungsrichtungen stehen senkrecht zueinander. Durch Drehen des Analysators um 90° erreicht man die Parallelstellung der Schwingungsrichtungen. In ihrer gekreuzten Stellung laufen die Schwingungsrichtungen der Polarisatoren den Okularfadenkreuzrichtungen parallel und parallel bzw. senkrecht zur Symmetrieebene des Mikroskops.

2.32 Direkt unter dem Analysator ist die Lagerstelle für die **Kompensatoren Rot I. Ordnung und** $^1/_4\lambda$. Diese Kompensatoren besitzen doppelbrechende Plättchen, die zwischen den gekreuzten Polarisatoren einen bestimmten Gangunterschied hervorrufen, der bei Rot I 551 $m\mu \pm 20\ m\mu$ und bei $^1/_4\lambda$ 138 $m\mu \pm 20\ m\mu$ beträgt. Die Plättchen werden orientiert in ihrer Fassung eingekittet, so daß ihr größerer Brechungsindex $n\gamma$ mit der auf die Fassung gravierten Richtung parallel verläuft. Stellt man den Hebel der Fassung in seine Normallage unter 0° der Analysatorskale, so befindet sich $n\gamma$ in der Diagonallage (45°-Stellung) zu den Schwingungsrichtungen der beiden Polarisatoren. In dieser Stellung wird der Kompensator den Gangunterschied eines ebenfalls in 45°-Stellung befindlichen doppelbrechenden Objektes entweder erhöhen (Additionsstellung), wenn $n\gamma$ des Kompensators und $n\gamma'$ des Objektes parallel laufen, oder erniedrigen (Subtraktionsstellung), wenn $n\gamma$ des Kompensators und $n\gamma'$ des Objektes senkrecht zueinander stehen. Durch Einschalten der 45°-Rastung des Objekttisches läßt sich das Objekt schnell aus der Additions- in die Subtraktionsstellung überführen, ohne die sonst nötige und zeitraubende Ablesung und Rechnung vornehmen zu müssen.

Außer dieser Möglichkeit ist noch eine zweite vorhanden, wenn der Kompensator selbst um 90° gedreht und damit sein $n\gamma$ ebenfalls um den gleichen Betrag geschwenkt wird. Bringt man den Kompensatorhebel unter die 45°-Marke der Analysatorskale, so ist die Wirkung der Kompensatorplatte aufgehoben, da nun die Schwingungsrichtungen dieser Platte mit denen der Polarisatoren parallel verlaufen („Auslöschungsstellung der Kompensatorplatte").

2.33 Zu den verbreitetsten **Kompensatoren mit veränderlichem Gangunterschied** gehört der Quarzkeil I. bis III. Ordnung, bei dem die zunehmende Keildicke auch eine kontinuierliche Erhöhung der Gangunterschiede bedingt. Sein größerer Brechungsindex n_γ verläuft senkrecht zur langen Keilkante (parallel zur Keilschneide) und ist auf der Fassung graviert. Der Keil ist, um richtig wirksam zu werden, natürlich mit seinem n_γ in 45°-Stellung zu den Schwingungsrichtungen der beiden Polarisatoren zu benutzen. Dies wird zwangsläufig durch seine Führung im Zwischentubus Pol bewirkt. Zur Kompensation einer Objektstelle bringt man das Objekt selbst zuerst in die sogenannte „Auslöschungsstellung", seine dunkelste Stellung, und dann mit der 45°-Tischrastung in die 45°-Stellung. Nun ist der Quarzkeil in seine Tubusführung zu stecken und so lange zu verschieben, bis die beobachtete Objektstelle dunkel (kompensiert) wird. Tritt keine Kompensation ein, so dreht man das Objekt durch zweimaliges Rasten des Objekttisches um 90°. Kann auch in dieser Stellung keine Kompensation erreicht werden, so ist entweder der Gangunterschied des Objektes geringer als der der Keilschneide oder höher als der des dicken Keilendes des Kompensators. In den beiden letzteren Fällen ist dann entweder ein Kompensator zum Messen kleiner Gangunterschiede (z. B. Glimmerkompensator nach Sénarmont oder nach Brace-Köhler) oder ein Kompensator mit großem Meßbereich (z. B. Drehkompensator nach Ehringhaus mit Kalkspatdoppelplatte) zu benutzen.

3. Kurze Einführung in die polarisationsoptischen Grundlagen

Die folgenden Ausführungen sollen in der herkömmlich anschaulichen Weise eine Erklärung der Vorgänge geben, wie sie sich im Lauf ihrer geschichtlichen Entwicklung schließlich ergeben haben. Die nach neuesten Erkenntnissen bestehenden Verhältnisse lassen sich nur mathematisch erfassen.

3.1 Polarisiertes Licht

Polarisiertes Licht ist Licht bestimmter Schwingungsform. Während gewöhnliches Licht in allen möglichen Richtungen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung schwingt, ist dies beim polarisierten Licht nicht der Fall. Im allgemeinsten Fall schwingt das polarisierte Licht in einer elliptischen Bahn. Als

Grenzfälle sind das kreisförmig schwingende „zirkular polarisierte" und das in einer Ebene (parallel zur Fortpflanzungsrichtung) schwingende „linear polarisierte" Licht anzusehen (Bild 12). Je nach dem Drehsinn unterscheidet man dabei rechts oder links elliptisch bzw. zirkular polarisiertes Licht. In der Polarisationsmikroskopie wird vor allem linear polarisiertes Licht angewendet, da es für die Beobachtung wie auch für die Messung die übersichtlichsten Verhältnisse bietet.

3.2 Linear polarisiertes Licht und seine Veränderung beim Durchgang durch ein doppelbrechendes Medium

3.21 Unter **doppelbrechenden Medien** versteht man Stoffe, die auf Grund ihres Aufbaus oder besonderer Eigenheiten (Spannung, Form) die Fähigkeit besitzen, das durch sie hindurchgehende Licht in charakteristischer Weise zu verändern. Die Ausbreitung des Lichtes geht hierbei nicht wie bei amorphen Stoffen oder isometrischen (kubischen) Kristallen in allen Richtungen gleichmäßig vor sich, sondern in zwei richtungsabhängigen Strahlenflächen. Da diese Beziehungen zuerst an Kristallen entdeckt und gedeutet worden sind und die entsprechenden Begriffe auf diese Untersuchungen zurückgehen, sollen sie auch hier darauf bezogen werden.

Stellt man sich nach Bild 13 vor, daß in der Mitte eines Kalkspatkristalls ein Lichtblitz erzeugt würde, so breitet sich das Licht einmal erwartungsgemäß in Form einer Kugelwelle in allen Richtungen gleich schnell aus. Die zweite entstehende Welle würde dagegen die Form eines Ellipsoides bilden, das in seiner Achse dieselbe Ausbreitungsgeschwindigkeit zeigte wie die Kugelwelle, während sie senkrecht zu dieser Richtung der Kugelwelle vorauseilen würde. Die Richtung, in der beide Wellen gleiche Geschwindigkeit haben, heißt die „optische Achse" des Kristalls. Die Lichtstrahlen, die die kugelförmige Strahlenfläche bilden, nennt man die „ordentlichen Strahlen" (o), die der Bildung des Ellipsoides dienenden Strahlen „die außerordentlichen" (a). Die beiden Strahlensorten unterscheiden sich nun nicht nur in ihren Fortpflanzungsgeschwindigkeiten und damit natürlich auch in ihren Brechzahlen, sondern weiterhin in ihren Schwingungsrichtungen, die immer senkrecht zueinander liegen. Bild 14 stellt einen Ausschnitt aus einem durchsichtigen, senkrecht zu seiner optischen Achse (OA) durchstrahlten Kristall dar. Das auf den Kristall auffallende Licht wird nur in den beiden senkrecht aufeinanderstehenden Schwingungsrichtungen des ordentlichen und des außerordentlichen Strahles hindurchgelassen. Dabei eilt der außerordentliche Strahl (a) etwas voraus, so daß beim Übertritt in Luft ein gewisser „Gangunterschied" der beiden Strahlen vorhanden ist. Wie aus Bild 13 leicht zu ersehen ist, hängt der Gangunterschied - und auch die Doppelbrechung - wesentlich von der Richtung ab, in der der Kristall durchstrahlt wird. Während in Richtung der optischen Achse der

Gangunterschied Null ist, wächst dieser mit jeder Winkeländerung, bis er senkrecht zur optischen Achse seinen Höchstwert erreicht. Die Werte in Richtung und senkrecht zur optischen Achse bezeichnet man als „Hauptlichtgeschwindigkeiten". Alle Kristalle, die wie der Kalkspat eine Richtung haben, in der der ordentliche und der außerordentliche Strahl gleiche Geschwindigkeit besitzen, bezeichnet man als „optisch einachsig". Allerdings gibt es auch optisch einachsige Kristalle, bei denen die Strahlenfläche des außerordentlichen Strahles, das Ellipsoid, von der Kugelfläche des ordentlichen Strahles eingehüllt wird, d. h., die Geschwindigkeit des außerordentlichen Strahles nimmt vom Wert der optischen Achse bis zu einem geringsten Wert senkrecht dazu ab. Diese Art Kristalle heißen „optisch positiv einachsig", während die dem Kalkspat gleichenden als „optisch negativ einachsig" bezeichnet werden. Außer den optisch einachsigen Kristallen gibt es auch optisch zweiachsige. Solche Kristalle besitzen drei unterschiedliche „Hauptlichtgeschwindigkeiten", die ein dreiachsiges Ellipsoid ergeben. Durch dieses können zwei Kreisschnitte gelegt werden, deren Normalen die Richtung der beiden optischen Achsen darstellen. Auch hier sind wieder optisch positive und optisch negative zweiachsige Kristalle zu unterscheiden. Die Einteilung der Kristalle in optisch isotrope, optisch einachsige und optisch zweiachsige ist ein wichtiges diagnostisches Hilfsmittel, das entsprechend auch auf doppelbrechende Körper der Organismen übertragen wird.

3.22 Die Untersuchung der Objekte mit dem Polarisationsmikroskop geschieht hauptsächlich mit Polarisator und Analysator in gekreuzter Stellung (Schwingungsrichtungen senkrecht zueinander), so daß ohne Objekt kein Licht durch den Analysator gelangt. Auch beim Betrachten optisch isotroper Medien kommt kein Licht durch den Analysator, da das aus dem Polarisator kommende linear polarisierte Licht keine Veränderung durch das Objekt erfährt. Ein doppelbrechendes Medium wird dagegen das linear polarisierte Licht im allgemeinen so ändern, daß wenigstens ein Lichtanteil durch den Analysator hindurchtritt. Das aus dem Polarisator auf den Kristall auftreffende Licht kann diesen nur in den beiden senkrecht aufeinanderstehenden Schwingungsrichtungen (a und b) passieren (Bild 15). Dabei spaltet sich der auftreffende Vektor in zwei linear polarisierte Anteile gemäß dem Parallelogramm der Kräfte auf. Diese treffen nach dem Durchtritt durch den Kristall auf den Analysator, auf dessen Schwingungsrichtung sie wiederum nach dem Kräfteparallelogramm überführt werden. In den zwei dargestellten Lagen des Kristallschnittes zur Schwingungsrichtung der beiden Polarisatoren ist zu erkennen, daß die größte Intensität des Lichtes in der 45°-Stellung (Bild 15b) der Schwingungsrichtungen des Kristalls zu denen der Polarisatoren vorhanden ist. Laufen jedoch die Schwingungsrichtungen des Kristalls und die der Polarisatoren parallel, so tritt kein Licht durch den Analysator hindurch. Es herrscht „Auslöschungs-

stellung". Bei einer vollständigen Horizontaldrehung des Objektes (360°) erreicht man somit viermal Auslöschungsstellungen, die wiederum allmählich mit Stellungen größter Helligkeit abwechseln.

3.23 Der Dichroismus (Zweifarbigkeit) ist an doppelbrechenden, gefärbten Kristallen oder an anderen doppelbrechenden Gebilden zu erkennen, wenn man linear polarisiertes Licht durch sie hindurchschickt, ohne einen Analysator zu benutzen. Trifft linear polarisiertes Licht parallel zur Richtung der optischen Achse (OA) auf einen gefärbten Kristall auf (Bild 16), so wird es ziemlich ungehindert als außerordentlicher Strahl durch den Kristall hindurchgelassen (helle Farbe). Kommt das linear polarisierte Licht dagegen senkrecht zur optischen Achse an, so durcheilt es den Kristall als ordentlicher Strahl und erleidet dabei eine mehr oder minder starke Absorption, so daß eine dunklere Farbe zu erwarten ist. Im gewöhnlichen Licht zeigt der Kristall eine Mischfarbe aus diesen beiden Komponenten. Die Stärke und die Art des Dichroismus sind ebenfalls wichtige Merkmale zur Bestimmung gefärbter doppelbrechender Kristalle.

4. Interferenzerscheinungen

4.1 Interferenzerscheinungen im orthoskopischen Strahlengang

Rein formal könnte es nach den Bildern 15a und 15b so erscheinen, als ob sich die beiden auf die Analysatorschwingungsrichtung projizierten Anteile gegenseitig aufheben müßten. Das ist aber selbst bei Verwendung von monochromatischem Licht nicht der Fall, da ja, wie bereits dargestellt, die beiden den doppelbrechenden Kristall verlassenden Strahlen einen gewissen Gangunterschied aufweisen. Dieser Gangunterschied wird sich natürlich mit der Dicke der durchstrahlten Schicht erhöhen (Bild 14), da doch der ordentliche Strahl immer mehr hinter dem außerordentlichen zurückbleibt. Bei Übertritt in Luft bleibt der erreichte Gangunterschied erhalten, weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dann für beide Strahlen gleich ist. Wenn man statt der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten die Brechzahlen der beiden Strahlen ansetzt, ergibt sich folgende Beziehung:

$$\Gamma_{\lambda} = \frac{d}{\lambda}(n_2 - n_1)$$

Γ = Gangunterschied in λ
d = Dicke des Objektes
$n_2 - n_1$ = Doppelbrechung aus den Brechzahlen der beiden Strahlen
λ = Wellenlänge des benutzten Lichtes

Daraus erkennt man, daß der Gangunterschied wächst, wenn die Dicke oder die Doppelbrechung zunehmen. Außerdem ist der Gangunterschied (gemessen in λ) abhängig von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes. (Für größer werdendes λ nimmt der Gangunterschied ab.)

4.11 Zu den **Interferenzerscheinungen im monochromatischen Licht** ist folgendes zu bemerken: Die aus dem doppelbrechenden Medium austretenden senkrecht zueinander schwingenden Anteile werden vom Analysator auf die gleiche Schwingungsrichtung gebracht und können dann interferieren. Die Interferenz ist vom Gangunterschied abhängig. Bei gekreuzten Polarisatoren interferieren im monochromatischen Licht alle sich um volle λ (0, 1 λ, 2 λ, ...) unterscheidenden Anteile zu Null. Wenn also eine doppelbrechende Kristallplatte so dick ist, daß sie für den ordentlichen und den außerordentlichen Strahl den Gangunterschied 1 λ, 2 λ oder x λ bewirkt, so wird völlige Dunkelheit herrschen, auch wenn man das Objekt horizontal um 360° dreht.
Bringt man die Schwingungsrichtungen der Polarisatoren in Parallelstellung, so interferieren die ordentlichen und außerordentlichen Strahlen bei einem Gangunterschied von 1/2 λ, 3 · 1/2 λ, 5 · 1/2 λ usw. zu Null.

4.12 Reizvoller und wichtiger sind **Interferenzerscheinungen,** die **im „weißen Licht"** auftreten. Die bereits angeführte Beziehung

$$I'_{\lambda} = \frac{d}{\lambda}(n_2 - n_1)$$

bleibt auch hier in vollem Umfang bestehen. Da sich aber das weiße Licht aus allen Wellenlängen des sichtbaren Gebietes (etwa 400 bis 800 mμ) zusammensetzt, so interferieren die verschiedenen Wellenlängen an unterschiedlichen Stellen zu Null, während gerade an diesen Stellen andere Wellenlängen mittlere Stärke oder ein Maximum zeigen, so daß ihre Interferenzfarbe sichtbar wird (Bild 17). Es ist also im weißen Licht so, daß die Interferenzfarben anderer Wellenlängen immer die Stelle, an der eine Wellenlänge zu Null interferiert, überlagern. Eine lückenlose Aufeinanderfolge der Interferenzfarben ist besonders gut an einem Quarz- oder Gipskeil sichtbar (Bild 22). Jeder bestimmten Stelle des Keiles entspricht ein bestimmter Gangunterschied und damit auch eine bestimmte Interferenzfarbe, so daß man auf Grund dieser Farbe den Gangunterschied abschätzen oder ihn an einer Skale direkt ablesen kann. Die Aufeinanderfolge der Interferenzfarben ist durch regelmäßig wiederkehrende rote Farbtöne in Abschnitte unterteilt, die als Farbordnungen bezeichnet werden. Man unterscheidet der Reihe nach die I., II., III. usw. Ordnung.

Jede Ordnung umfaßt 551 mμ Gangunterschied, so daß Rot I. Ordnung dem Gangunterschied 551 mμ, Rot II. Ordnung 1102 mμ, Rot III. Ordnung 1653 mμ usw. entspricht. (An der Stelle des Rot I. Ordnung interferieren die grünen Lichtwellen des konventionellen Schwerpunktes des weißen Lichtes zu Null, während Rot stark hervortritt.) Man findet nun in jeder Ordnung bestimmte charakteristische Farben. So kommen in der I. Ordnung nur graue, weißliche, gelbe und orange Farbtöne vor, die mit dem Rot I. Ordnung enden, während die zweite Ordnung von Violett über Blau, Grün und Gelb schließlich zum Rot II. Ordnung übergeht. Diese letzte Anordnung wiederholt sich immer wieder in den folgenden Ordnungen. Dabei werden die Farben aber stetig blasser, da sich immer mehr Wellenlängen überlagern, so daß von der V. bzw. VI. Ordnung an wieder Weiß (daß sog. „Weiß höherer Ordnung") auftritt. Für die III. Ordnung ist das besonders prächtige und kräftige „Grün III. Ordnung" bezeichnend.

Interferenzfarben, wie sie der Quarz- und Gipskeil aufweisen, nennt man normal. Es gibt aber eine Anzahl von Kristallen, die eine von der normalen abweichende Folge der Interferenzfarben zeigen. Dabei gilt folgende Faustregel:

Als „übernormale Interferenzfarben" bezeichnet man solche, die bereits in der I. Ordnung Farbtöne aufweisen, die normal erst in der II. Ordnung auftreten sollten, also gewissermaßen ein Zusammendrängen der Interferenzfarben nach der Keilschneide zu. „Unternormal" sind Interferenzfarben, wenn die Farbtöne, die normal der I. Ordnung angehören, in der zweiten Ordnung erscheinen, also einer Ausweitung von der Keilschneide her entsprechen. Die anormalen Interferenzfarben sind spezifisch für einzelne Kristallarten und bilden ein wichtiges Erkennungsmerkmal für diese.

4.2 Interferenzerscheinungen im konoskopischen Strahlengang

4.21 Im monochromatischen Licht hängen **die Interferenzerscheinungen** in der hinteren Brennebene des Objektivs von den Eigenschaften des durchstrahlten doppelbrechenden Mediums ab. Sie sind somit Ausdruck der anisotropen Struktur des Objektes. Damit läßt sich verstehen, daß sich die Erscheinungen mit der Durchstrahlungsrichtung des Objektes verändern. Bevorzugt werden die Interferenzerscheinungen beobachtet, die bei der Durchstrahlung in Richtung der optischen Achse optisch einachsiger Kristalle oder in Richtung der I. Mittellinie optisch zweiachsiger Kristalle auftreten. Man bezeichnet sie in herkömmlicher Weise als Achseninterferenzbilder. Sie bestehen bei optisch einachsigen Kristallen unter Verwendung monochromatischen Lichtes aus den dunklen kreuzförmigen Hauptisogyren und den ebenfalls dunklen ringförmigen Isochromaten,

die die Interferenzstellen der beiden zu Null interferierenden Strahlen darstellen (Bild 18). Die Entfernung der ringförmigen Isochromaten vom Kreuzmittelpunkt hängt von der angewendeten Lichtwellenlänge ab; sie vergrößert sich, wenn die Wellenlänge erhöht wird. Die ringförmigen Interferenzstreifen rücken nach außen zu immer mehr zusammen. Die Ursache hierfür ist darin zu erkennen, daß die das Objekt konoskopisch durchstrahlenden, in sich aber parallelen Lichtbündel nach außen zu immer geringere Winkelzunahme brauchen, um die nächste Gangunterschiedsdifferenz von 1 λ zu erreichen.

Bei dünnen Objekten oder solchen mit geringer Doppelbrechung liegen deshalb die Isochromaten weit auseinander, bei dicken Objekten oder hoher Doppelbrechung enger zusammen (Bild 19). Zum Erzielen guter, charakteristischer Interferenzbilder ist deshalb allgemein die Beobachtung bei hoher Apertur zu empfehlen. Nötigenfalls sind Immersionsobjektive zu benutzen. Das Interferenzbild der optischen Achse bleibt bei optisch einachsigen Kristallen beim horizontalen Drehen des Objektes unverändert.

Bei optisch zweiachsigen Kristallen zeigt sich bei konoskopischen Beobachtungen im monochromatischen Licht die Interferenzfigur des Bildes 20. Hier sind die Hauptisogyren verschieden dick. Die horizontale Hauptisogyre stellt gleichzeitig die Richtung der Achsenebene dar. Die Austrittspunkte der optischen Achsen sind die Mittelpunkte der beiden „Augen". Die übrigen Isochromaten haben hier eine lemniskatenähnliche Form. Diese wird besonders deutlich, wenn das Kristallpräparat horizontal gedreht wird. Dabei spalten sich die beiden Hauptisogyren zu zwei Hyperbelästen auf, die in der Diagonalstellung symmetrisch durch die Achsenaustrittspunkte laufen. Bei Kristallschnitten, die schräg zur optischen Achse hergestellt sind, erscheinen die Interferenzbilder nur in entsprechenden Teilen des Achseninterferenzbildes, z. B. nur Isochromaten oder ein Teil einer Hauptisogyre. Ist der Schnitt jedoch parallel zur optischen Achse angelegt, so zeigt sich im monochromatischen Licht ein symmetrisches Interferenzbild der Form des Bildes 21.

4.22 Häufiger werden **die Interferenzerscheinungen im „weißen" Licht** beobachtet. Führt man die konoskopische Beobachtung auf diese Weise durch, so bleiben die Hauptisogyren, die ja den Schwingungsrichtungen der gekreuzten Polarisatoren parallel laufen, ebenfalls dunkel, während sonst die Newtonschen Interferenzfarben von der Mitte des Interferenzbildes nach außen in ansteigender Folge hervorgerufen werden. Gleiche Interferenzfarben zeigen gleichen Gangunterschied an. Die entstehenden Kurven sind Isochromaten. Bild 23 zeigt das farbige Achseninterferenzbild eines optisch einachsigen Kristalls, Bild 24 das eines optisch zweiachsigen (in Diagonalstellung).

Wie bereits erwähnt wurde, unterscheidet man sowohl bei den optisch einachsigen wie auch bei

den optisch zweiachsigen Kristallen positiven oder negativen Charakter. Diese Entscheidung ist am farbigen Achseninterferenzbild mit Hilfe des Kompensators Rot I. oder $^1/_4\,\lambda$ sehr schnell zu treffen. Schaltet man nämlich bei eingestelltem Achseninterferenzbild eines optisch einachsigen Kristalls den Kompensator Rot I. ein, so erscheinen direkt am Kreuzmittelpunkt zwei gegenüberliegende Ecken gelb, die anderen beiden blau. Läuft nun die gedachte Verbindungslinie der beiden gelben Ecken der gravierten Richtung n_γ des Kompensators parallel, so hat der Kristall optisch negativen Charakter (Bild 25); läuft sie dagegen senkrecht zu n_γ des Kompensators, so ist der optische Charakter positiv. Genauso verhält es sich bei Benutzung des Kompensators $^1/_4\,\lambda$, nur daß hierbei statt der gelben Ecken dunkle Punkte auftreten. Die Bestimmung des optischen Charakters der optisch zweiachsigen Kristalle geschieht in entsprechender Weise. Dazu ist jedoch der Kristallschnitt in seine Orthogonalstellung (optische Achsenebene horizontal gerichtet) zu bringen. Bei der Benutzung des Kompensators Rot I. ist es allerdings in diesem Fall besser, sich nach dem auftretenden dunklen Interferenzstreifen (kleiner Bogen) zu richten, während für $^1/_4\,\lambda$ die dunklen Punkte maßgebend bleiben (Bild 26). Das Achseninterferenzbild des optisch einachsigen Quarzes weist noch eine Besonderheit auf. Quarz ist optisch aktiv, d. h., er besitzt die Eigenschaft, die Ebene des linear polarisierten Lichtes, das in Richtung seiner optischen Achse hindurchtritt, zu drehen. Diese Drehung ist abhängig von der Dicke der Kristallplatte und weist für verschiedene Lichtwellenlängen unterschiedliche Werte auf (Rotationsdispersion; z. B. für $\lambda = 589{,}3\ m\mu$ 21,7° bei 1 mm Plattendicke). So ist es erklärlich, daß dickere Achsenbildpräparate von Quarz in der Mitte des Bildes ein farbiges Feld zeigen, während weiter nach außen die Kreuzarme wieder in Erscheinung treten (Bild 27). In dünnen Präparaten, z. B. in Gesteinsdünnschliffen, ist die Drehung des linear polarisierten Lichtes so gering, daß das Achsenkreuz auch in der Mitte noch abgeschwächt sichtbar bleibt und der optische Charakter mit Hilfe der Kompensatoren Rot I. oder $^1/_4\,\lambda$ sicher festgestellt werden kann.

5. Zusatzgeräte

Zum Polarisationsmikroskop gehören traditionsgemäß eine Anzahl von Zusatzgeräten, die für bestimmte Untersuchungen an Kristallen erforderlich sind. Ihre Wirkungsweise ist im allgemeinen nur im Zusammenhang mit dem Polarisationsmikroskop sinnvoll, und sie dienen vorwiegend zur Feststellung bestimmter physikalischer Eigenschaften, insbesonders an mikroskopisch kleinen Kristallen. Die Ausbildung solcher Geräte richtet sich im übrigen nach den mit ihnen zu lösenden Aufgaben. Solche Aufgaben liegen in den verschiedenen Zweigen der allgemeinen Mineralogie und Petrographie vor, wie in der technischen Gesteinskunde, der Gesteinshüttenkunde, in der Metallhütten-

kunde, in der Glastechnik, in der Keramik und in der Mikrochemie. Es werden daher diese Zusatzgeräte gleichermaßen in den erwähnten Disziplinen benutzt, wobei es passieren kann, daß sie mitunter besonderen Gegebenheiten anzupassen sind. Für das "Polmi A" ist daher auch eine Anzahl solcher Zusatzgeräte vorgesehen, teils sind sie bereits gefertigt, teils für eine spätere Fertigung in Erwägung gezogen.

5.1 Gerader Tubus

Obwohl es heute allgemein üblich ist, Schrägeinblicktuben am Polarisationsmikroskop zu benutzen, so gibt es doch einige Untersuchungsanordnungen, die das Vorhandensein eines Geradsichttubus für das Polarisationsmikroskop zweckmäßig erscheinen lassen. Das Anbringen einer mikrophotographischen Einrichtung mit Kleinbildkamera z. B. ist an einem Mikroskop mit Schrägeinblicktubus schlecht durchführbar. Hierbei sollte außerdem mit Recht der Wunsch erfüllbar sein, im konoskopischen Strahlengang ebenfalls Mikrophotographien herstellen zu können. Selbstverständlich ist ein solcher Tubus auch gut geeignet zur Aufnahme einer mikrophotometrischen Einrichtung bzw. eines Mikrospektroskops. Der für das „Polmi A" vorgesehene geradsichtige Tubus ist in Bild 8 zusammen mit dem Mikroskop dargestellt. Er besteht aus zwei Elementen, die sich durch Schnellwechsel zusammensetzen lassen. Das Unterteil sitzt mit seiner Rundschwalbe im Tubusträger und wird dort mit einer Rändelschraube festgeklemmt. In diesem Teil untergebracht sind die Amici-Bertrand-Linse *(60)* sowie eine Irisblende *(49)*, die über einen Rändelring einstellbar ist. Der oberhalb des letzteren sitzende Rändelring *(48)* dient zur Einstellung des Bildes bei konoskopischer Betrachtungsweise. Der in dem eben geschilderten Tubusunterteil eingesetzte Okularstutzen *(46)* wird mit der Klemme *(47)* befestigt. In diesen Okularstutzen paßt eine Zwischenhülse, um in ihm auch Okulare mit dem Durchmesser 23,2 mm zu benutzen. Er ist sowohl gegen ein Zwischenstück für die mikrophotographische Einrichtung *(66* Bild 11) als auch gegen das Wrightsche Okular (Bild 29) austauschbar, die zum Zweck der Anpassung mit einem Schnellwechselmechanismus ausgerüstet sind. Dieser besteht aus einer Ringschwalbe und einer Aufnahme, die mit einer Klemme versehen ist.

5.2 Wrightsches Okular

Das Wrightsche Okular (Bild 29) ist ein einstellbares Okular mit 10facher Lupenvergrößerung. Es wird so in den Schnellwechsel eingesetzt, daß der auf seiner Fassung aufgetragene Indexstrich *(76)* mit dem entsprechenden in der Aufnahme zusammenfällt. In dem dann unter 45° zu den Schwingungs-

richtungen der Polarisatoren stehenden Schlitz *(75)* lassen sich Stauroskope und Schlittenkompensatoren einführen, beispielsweise Keilkompensatoren oder drehbare Glimmerkompensatoren. Oberhalb des Schlitzes befindet sich eine stellbare Irisblende *(74)*, deren Stellung an einer empirisch eichbaren Skale abzulesen ist. Der in das Okular eingebaute Analysator ist ein- und ausschaltbar und zu diesem Zweck auf einem Schlitten *(73)* angeordnet; außerdem läßt er sich um 360° drehen. Die Drehwinkel sind ebenfalls an einer Skale ablesbar. Das für die Untersuchungen erforderliche Fadenkreuz befindet sich in der Zwischenbildebene und kann mit dem Okular scharf eingestellt werden. Bild 28 zeigt das Wrightsche Okular mit eingeschobenem Kompensator auf dem Geradsichttubus befestigt. Für die eben erwähnten Drehkompensatoren werden Sonderbeschreibungen herausgegeben.

5.3 Universaldrehtisch 4achsig

Ein Universaldrehtisch (nach Fedorow) läßt sich auf dem kugelgelagerten Mikroskoptisch justierbar aufsetzen (Bild 30). Das Operieren daran ist dadurch besonders begünstigt, daß unser „Polmi A" grundsätzlich von der Tischseite her bedient wird. Diese Arbeitsstellung macht alle erforderlichen Ablesungen bequem an den dafür vorgesehenen Teilungen durchführbar. Die lästige Ablesung an den Wrightschen Bügeln ist durch eine günstigere Ablesung auf Zylinderflächen ersetzt worden. An Spezialobjektiven ist zunächst folgender Satz vorgesehen: 5/0,15 160 S ohne Iris, 10/0,25 160 S und 20/0,35 160 S, beide mit Iris. Später wird für die Drehkonoskopie nach Schumann ein stärkeres Objektiv höherer Apertur verfügbar sein. Die Segmentpaare, die wir zum U-Tisch liefern, besitzen folgende Brechungszahlen: $n_D = 1{,}516$, $n_D = 1{,}556$ und $n_D = 1{,}649$. Spezielle Bedienungsvorschriften für diesen Tisch sind in Vorbereitung.

5.4 Integrationstisch

Die seit Jahren in der Polarisationsmikroskopie üblichen quantitativen Bestandteilanalysen in Dünnschliffen und Anschliffen werden neuerdings mit Integrationstischen ausgeführt, die nach dem Glagoleff-Prinzip arbeiten. Man bezeichnet sie auch als „Point counter". Sie arbeiten mit einem Mechanismus, der es erlaubt, das Objekt in verschieden großen Schritten am Fadenkreuzschnittpunkt vorbeizuführen, wobei sie für jeden Bestandteil für sich sowie auf den durchmessenen Gesamtweg gezählt bzw. aufgezeichnet werden. Für derartige Integrationsmethoden können wir an unserem „Polmi A" den vom VEB Rathenower Optische Werke nach dem Point-counter-Prinzip hergestellten „Eltinor" nach Vereinbarung anpassen. Ein von Hand aus zu bedienender Integrationstisch ist außerdem vorgesehen. Bedienungsvorschriften für diese Einrichtung bereiten wir vor.

5.5 Heiztische

Das Studium von Kristallen bei höheren Temperaturen ist zum Zweck der Feststellung von Schmelzpunkten sowie von Umwandlungspunkten insbesondere mit Hilfe eines Polarisationsmikroskops unter Umständen von besonderem Interesse. Von einem Zusatzgerät dieser Art kann man kaum erwarten, daß höchste Temperaturen erreicht werden. Der von uns in Vorbereitung befindliche Heiztisch erlaubt, Temperaturen zu erreichen, die zwischen 800° und 1100° liegen und sich nach dem verwendeten Heizdrahtmaterial richten.

Für die Doppelvariationsmethode ist später ein heizbarer Objektträger vorgesehen, wobei das monochromatische Licht mit Hilfe von Interferenzfiltern erzeugt werden soll.

Spezielle Bedienungsvorschriften hierfür sind in Vorbereitung.

5.6 Einrichtung für Untersuchungen im auffallenden Licht (Auflichtkondensor)

Polarisationsoptische Untersuchungen werden auch mit Vorteil in der Auflichtmikroskopie durchgeführt. Diese Methode ist insbesondere bei erzmikroskopischen Untersuchungen üblich, weshalb man auch solche Einrichtungen heute allgemein als Erzmikroskope bezeichnet. Der am „Polmi A" anzuwendende Auflichtkondensor ist in den Bildern 32 und 33 dargestellt. Er läßt sich mit Hilfe eines Schlittens *(88)* an Stelle des Zwischentubus für durchfallendes Licht an den Tubusträgerkopf *(2* Bild 1) ansetzen. Dabei ist darauf zu achten, daß der Tubusträger in seiner ganzen Länge nach oben ausgefahren und der Analysator ausgeschaltet wird.* Der Auflichtkondensor ist so an das Stativ anzusetzen, daß sich die Leuchte *(100* Bild 33) auf der rechten Seite des Beobachters befindet. Er wird nach dem Einschieben mit Hilfe einer Rändelschraube *(96)* befestigt. Grundsätzlich ist es üblich, für Beobachtungen im auffallenden polarisierten Licht mit einem dreifach reflektierenden Prisma zu arbeiten. Es ist aber heute schon vielfach üblich, mit Plangläsern als reflektierendem Element im Vertikalilluminator zu arbeiten, wobei zur Erhöhung des reflektierten, zum Objekt führenden Lichtanteils die Plangläser mit Spezialbelägen versehen werden. Obwohl sich der Polarisationszustand des ursprünglich linear schwingenden einfallenden Lichtes dadurch so verändert, daß es nach Reflexion am Planglas schwach elliptisch polarisiert ist, nehmen manche Benutzer diesen Nachteil, der sich bei der Beobachtung von Erzen mit schwachen Anisotropieeffekten nachteilig auswirken könnte, gern in Kauf, weil man damit dem Nachteil der Aperturbeschränkung und

* Bei neuen Modellen nicht mehr erforderlich.

der Vignettierung beim Benutzen eines Prismas aus dem Wege geht. * An unserem Auflichtkondensor sind sowohl das dreifach reflektierende Prisma als auch das Planglas vorhanden, die man wahlweise durch je einen Schieber *(91, 92* Bild 32) in den Strahlengang bringen kann. Oberhalb des reflektierenden Elementes ist der Analysator ebenfalls auf einem Schieber *(90)* ein- und ausschaltbar angeordnet. Er ist um 90° drehbar, und der Drehwinkel läßt sich an einer Skale *(94* Bild 33) mit Hilfe eines Index ablesen. Die anzuwendenden Kompensatoren $^1/_4\,\lambda$ und Rot I *(103)* schiebt man unterhalb des Analysators ein und kann sie in zwei um 90° voneinander entfernt liegenden Anschlagstellungen benutzen. Die Schwingungsrichtung der langsamsten Welle ist durch gravierte Striche angegeben. Die zur Beobachtung vorgesehenen Objektive sind auf unendliche Tubuslänge und ohne Deckglas korrigiert. Eine erforderliche Tubuslinse gibt dem Auflichtkondensor den Faktor 0,63, der auf seine Stirnseite deutlich sichtbar graviert ist.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß dieser Faktor nur dann exakt erreicht ist, wenn die Tubusverlängerung 19 Pol *(87* Bild 32) zwischen Tubusträgerkopf und Tubus eingesetzt wird. Außerdem ist die Tubusverlängerung nötig, damit die darauf bezogene Abgleichlänge der Objektive stimmt. Praktisch muß also zur Berechnung der effektiven Vergrößerung nach der Multiplikation der Maßstabszahl des Objektivs mit der Lupenvergrößerung des Okulars noch der Faktor 0,63 berücksichtigt werden.

Kompensations-Okular für Planobjektive Pol	Planachromat 4×/0,10 ∞/-	Planachromat 10×/0,20 ∞/0	Planachromat 25×/0,50 ∞ 0	Planachromat 63×/0,80 ∞/0	Planachromat H.I. 100×/1,30 ∞/0
PK10×/w Pol Sehfeldzahl 20	(25×)	(63×)	(160×)	400×	630×
PK 16×/w Pol Sehfeldzahl 12	(40×)	100×	250×	630×	1000×
PK 25×/w Pol Sehfeldzahl 8	63×	160×	400×	(1000×)	(1600×)

Die eingeklammerten Werte liegen weit außerhalb der Grenzen der förderlichen Vergrößerung.

Die Objektive werden mit Hilfe eines zentrierbaren Schlittens *(93)* angesetzt. Die Zentrierung in der Längsrichtung geschieht durch Verstellen der Anschlagschraube *(105* Bild 33) mit Steckschlüssel *(53* Bild 11) und in der Richtung senkrecht dazu durch Betätigen des Exzenterrings *(104* Bild 33).

* Eingehende Erläuterungen dieser Probleme sind in Rinne-Berek [6] auf Seite 294 ff. in ausgezeichneterWeise aufgeführt.

Es sind folgende Objektive vorgesehen:

Planachromat 4×/0,10 ∞/-	20 mm freier Objektabstand
Planachromat 10×/0,20 ∞/-	2,8 mm freier Objektabstand
Planachromat 25×/0,50 ∞/0	3,1 mm freier Objektabstand
Planachromat 63×/0,80 ∞/0 *	0,7 mm freier Objektabstand
Planachromat H.I. 100/1,30 ∞/0*	0,35 mm freier Objektabstand

Für Dunkelfeldbeobachtung steht Planachromat 63×/0,65 ∞/0 mit 0,97 mm freiem Objektabstand zur Verfügung. Schwache Ölimmersionen sind in Vorbereitung.

In dem rechtsseitig angebrachten Beleuchtungsansatz befindet sich nächst dem Grundkörper ein Ausbruch *(97)*, in den Einhänger eingesetzt werden; für Hellfeldbeobachtungen besteht der Einhänger *(101)* im wesentlichen aus einer zentrierbaren Irisblende mit drehbarem Polarisator *(102)*. Außerdem ist ein Schlitz zur Aufnahme von Filtern *(98)* vorgesehen, der - für den Fall, daß solche nicht benutzt werden - sich mit einer drehbaren Ringblende verschließen läßt. Bei der Beobachtung mit polarisiertem Licht ist zur Schonung des Filterpolarisators immer die Einschaltung des Wärmeschutzglases (BG 17) zu empfehlen. Eine Fassung *(100)*, die Kollektor und Lampe enthält, ist am Beleuchtungsansatz mit einer Überwurfmutter *(99)* befestigt.

Obwohl es in der Erzmikroskopie bisher weniger üblich war, mit einem Auflichtkondensor auch Beobachtungen im Dunkelfeld durchzuführen, so glauben wir, auf diese Beobachtungsart nicht verzichten zu können, da die Eigenfarben von Mineralien nach diesem Verfahren viel deutlicher hervortreten als bei gekreuzten Polarisatoren. Um das Verfahren durchzuführen, wird der Hellfeldeinhänger durch den Dunkelfeldeinhänger ersetzt und auf dem Objektivschlitten ein jeweils für das gerade gebrauchte Objektiv bestimmter Hohlspiegelkondensor aufgeschraubt.

Für die Ausrichtung der Auflichtobjekte ist eine Schliffpresse erforderlich.

Die maximale Höhe der mit der beschriebenen Einrichtung zu untersuchenden Objekte beträgt 15 mm. Sind solche größeren Ausmaßes zu untersuchen, so muß ein Stativ mit versenkbarem Tisch benutzt werden. (Nähere Einzelheiten bringt eine in Vorbereitung befindliche Sonderdruckschrift.)

6. Zusatzeinheiten für die Mikrophotographie

Das „Polmi A" ist sowohl für die Mikrophotographie mit der Aufsetzkamera - Formate (in mm) 24×36 und 65×90 - als auch mit der Balgenkamera geeignet. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden.

* Nur für Hellfeldbeobachtung.

daß sich unsere Aufsetzkamera - die Mikrophotographische Einrichtung „MF" - und unsere Vertikalkamera „Standard" in ihrer jetzigen Ausführung nur mit einigen Einschränkungen einsetzen lassen. Auf Grund dieser Vorbehalte ergeben sich folgende Anwendungsmöglichkeiten unserer mikrophotographischen Einrichtungen:

6.1 Mikrophotographische Einrichtung „MF"

6.11 Der Anwendungsbereich der Einrichtung ergibt sich aus ihrer Bauweise, die neben der hohen Einstellgenauigkeit den Vorteil bietet, auch während der Aufnahme eine Beobachtung des Objektes zu gestatten, was besonders bei lebenden Objekten günstig erscheint. Zu diesem Zweck ist in den Grundkörper ein Strahlenteilungssystem eingebaut, das etwa 80% des auftreffenden Lichtes ungehindert zur Filmebene durchläßt und etwa 20% zum Einstellsystem reflektiert. Die Strahlenteilung wird durch teildurchlässige Mehrfachschichten bewirkt; diese haben jedoch gleichzeitig die Eigenschaft, dem einfallenden natürlichen Licht eine Vorzugsschwingungsrichtung zu geben, d. h., sie wirken als partielle Polarisatoren. Diese Eigenschaft des Strahlenteilungssystems kann sich bei der Mikrophotographie im polarisierten Licht so störend bemerkbar machen, daß unter Umständen eine völlig objektungetreue Aufnahme entsteht. Die Fehlerquelle läßt sich jedoch ausschalten, wenn man nach folgender Justiervorschrift arbeitet:

6.111 Bei der **Aufnahme pleochroitischer Mineralien** mit einem Polarisator schalte man nicht, wie gewohnt, den Analysator, sondern den Polarisator aus und orientiere den Analysator so, daß seine Schwingungsrichtung senkrecht zur optischen Achse des Einstellsystems der Mikrophotographischen Einrichtung „MF" verläuft. Diese Bedingung ist am „Polmi A" automatisch dann erfüllt, wenn die optische Achse des Einstellsystems parallel zur Symmetrieebene des Mikroskops steht (Bild 31) und der Index des Analysators auf 0 weist. Nur bei derartiger Einstellung entspricht das beobachtete und photographierte Bild den tatsächlichen Absorptionsverhältnissen im Objekt. Würde man zum Photographieren des Pleochroismus nicht den Analysator, sondern den Polarisator benutzen, so würde das Bild nicht die reinen Absorptionsfarben, sondern infolge der polarisierenden Wirkung des Teilungswürfels je nach Stellung des Polarisators die Interferenzfarben der parallelen oder gekreuzten Nicols zeigen.

6.112 Bei **Aufnahmen mit parallelen und gekreuzten Polarisatoren** verfährt man nach der gleichen Justierung wie unter 6.111. Der Analysator bleibt also stets in der Null-Stellung, und die Mikrophotographische Einrichtung „MF" wird wieder so aufgesetzt, daß die optische Achse ihres

Einstellsystems parallel zur Symmetrieebene des Mikroskops verläuft. Man achte daher darauf, die Parallelstellung der Polarisatoren lediglich durch Drehen des Polarisators - nicht etwa des Analysators - zu erzielen.
Eine mikrophotographische Einrichtung „MF" Pol, die unabhängig von obigen Justiervorschriften arbeitet, ist in Vorbereitung.

6.12 Bei der **Durchführung einer Mikrophotographie** verfährt man wie folgt: Der monokulare Schrägtubus des „Polmi A" wird entfernt und gegen den monokularen geraden Tubus Pol *(65* Bild 31) ausgetauscht. Er ist so in den Schnellwechsler einzusetzen, daß die Arretierungsschraube an der Ringschwalbe in die entsprechende Nut des Schnellwechslers eingreift, und in dieser Stellung zu arretieren. Bei Aufnahmen im orthoskopischen Strahlengang stellt man den Schaltknopf der Bertrand-Linse *(50)* auf „Aus", den Teilstrich 160 des Rändelrings *(48)* auf den Indexstrich und öffnet die Tubusirisblende *(49)* vollkommen. Auf den monokularen geraden Tubus wird der „MF"-Tubus Pol *(66)* gesetzt und mit der Klemme arretiert. Dieser Tubus besitzt eine Aufnahme für die „MF"-Projektive und einen Schnellwechsler zum Aufsetzen der Mikrophotographischen Einrichtung „MF". Mit dem „Polmi A" werden wegen der Ausrüstung mit Planachromaten grundsätzlich nur die „MF"-Projektive mit Kompensationswirkung (K 2,5:1 bis K 6,3:1) angewendet. Über den Gebrauch und die Behandlung der Mikrophotographischen Einrichtung „MF" vergleiche man deren Beschreibung und Gebrauchsanleitung in Druckschrift 30 G605-1.
Zur Beleuchtung kann sowohl die eingebaute Mikroskopierleuchte 6 V 15 W als auch eine lichtstärkere Zusatzleuchte, z. B. unsere Mikroskopierleuchte 12/100 F, benutzt werden. Bei Gebrauch dieser Leuchte tausche man den Filtereinsatz des „Polmi A" *(10* Bild 1) gegen den Beleuchtungsspiegel *(67* Bild 31) aus und justiere die Leuchte wie üblich nach dem Köhlerschen Beleuchtungsprinzip.

6.2 Vertikalkamera „Standard"

6.21 Der **Anwendungsbereich** der Vertikalkamera „Standard" ist wegen der neuartigen Konstruktion des „Polmi A" (im Fuß eingebaute Beleuchtung) beschränkt. Die an der Kamera angebaute Leuchte ist nicht verwendbar. Sollen Aufnahmen mit dem „Polmi A" in Verbindung mit der Vertikalkamera durchgeführt werden, so ist an Stelle dieser angebauten Leuchte eine Zusatzleuchte vom Typ 12/100 F erforderlich, deren Licht über den Beleuchtungsspiegel zum Objekt gelangt.

6.22 Bei der **Durchführung einer Mikrophotographie** verfährt man wie folgt: Das „Polmi A" ist mit dem monokularen geraden Tubus Pol *(65* Bild 11) und dem Okularstutzen für engen oder

weiten Okulardurchmesser *(46)* auszurüsten. Über den Okularstutzen wird der Lichtschutz geschoben und darauf das gewählte Okular in den Tubus eingesetzt. Man setze das „Polmi A" so auf die Grundplatte der Vertikalkamera, daß seine optische Achse mit der Kameraachse zusammenfällt, und schiebe die Lichtschutzmanschette der Kamera so über den Lichtschutz des Tubus, daß eine lichtdichte Verbindung zwischen Mikroskop und Kamera entsteht. Der Filterhalter des „Polmi A" wird gegen den Beleuchtungsspiegel *(67* Bild 31) ausgetauscht und die Mikroskopierleuchte zum Mikroskop justiert. Der gewünschte Abbildungsmaßstab läßt sich durch Verändern des Balgenauszugs erreichen. Man wählt dazu am besten als Objekt ein Mikrometer mit einer Teilung von 1:100 (1 mm in 100 Teile) und mißt den Abbildungsmaßstab auf der Mattscheibe der Kamera mit einer Schieblehre.
Näheres über die Arbeitsmethoden ist aus unserem Sonderdruck 30-S093-1 ersichtlich.

Hinweise für die Behandlung des Polarisationsmikroskops und seiner optischen Teile

Jedes **Polarisationsmikroskop** besserer Ausführung ist ein **Meßgerät** und deshalb entsprechend **sorgfältig** zu behandeln.

1. Besonderer Wert ist wie bei allen Mikroskopen auf den **Schutz vor Verstaubung** zu legen. Es ist deshalb empfehlenswert, das Gerät während jeder Arbeitspause mit einer Folienhaube zu bedecken und bei längerer Nichtbenutzung im Aufbewahrungsschrank unterzubringen. Der sich trotzdem ansetzende Staub ist von Zeit zu Zeit zu beseitigen. Dies geschieht mit einem nichtfasernden Tuch (alte, gewaschene Leinewand, Waschleder od. ä.) am Stativ, während die zugänglichen Optikteile zuerst mit einem sauberen, weichen Pinsel oder einer Puste vom Staub befreit werden; unter Umständen ist es auch möglich, diese Teile vorsichtig mit einem weichen Lappen zu säubern.
2. Beim Polarisationsmikroskop ist besonders darauf zu achten, die Optikteile, die zwischen Polarisator und Analysator liegen, d. h. Kondensor und Objektive, vor stärkerer mechanischer Beanspruchung, wie **Stoß, Schlag, Fall und Druck- sowie Zugeinwirkung,** zu bewahren. Eine Änderung der optischen Isotropie des Glases wird zwischen gekreuzten Polarisatoren durch Aufhellung, d. h. bewirkte Doppelbrechung, deutlich, wenn man z. B. einen kleinen Glaswürfel dem Druck der Fingerspitzen aussetzt.
3. **Wärmestrahlung** wirkt ebenfalls **schädlich** auf die optischen Einheiten, weshalb man sie nicht direkter Sonneneinstrahlung aussetzen oder nahe an einen Heizkörper bringen soll.

4. Für die erwähnten Optikteile werden von vornherein spannungsarme Gläser ausgesucht, damit an den fertigen Einheiten der polarisationsoptische Zustand gut ist, d. h. die **Spannungsdoppelbrechung** praktisch gleich Null. Infolge des Vorhandenseins von sphärischen Flächen an den Linsen tritt eine teilweise Depolarisation des benutzten linear polarisierten Lichtes ein. Diese macht sich zwischen gekreuzten Polarisatoren in einer Aufhellung der Quadranten bemerkbar, während die senkrecht aufeinanderstehenden Schwingungsrichtungen der Polarisatoren als dunkles Kreuz erscheinen. Sie ähneln dem Mittelteil des Achsenbildes eines optisch einachsigen Kristalls (konoskopischer Strahlengang!).

   Geringe Restspannungsdoppelbrechung kann durch Drehen des Objektivs um seine Achse kompensiert werden. Das geschlossene Polarisationskreuz in der Austrittspupille des Objektivs stellt in polarisationsoptischer Hinsicht die günstigste Stellung des Objektivs dar (optimale Stellung!). Um den besten Nutzeffekt zu gewährleisten, sind die Planachromate des „Polmi A" alle in einem entsprechend gekennzeichneten Schlitten so justiert, daß sie sich, wenn sie bis zum Anschlag eingeschraubt sind, in der optimalen Stellung befinden.

   Es ist deshalb immer darauf zu achten, daß jeder Planachromat in dem ihm zugeordneten Objektivschlitten angewendet wird. Vor allem ist jeder Austausch von Objektivschlitten bzw. Objektiven zwischen den einzelnen Polarisationsmikroskopen zu vermeiden!

Schrifttum

Geräte

[1] Weinschenk, E. — Das Polarisationsmikroskop. Freiburg i. B. 1925

[2] Reinhard, M. — Universaldrehtischmethoden. Basel: Wepf 1931

[3] Ehringhaus, A. — Mineralogische Apparate. In: Handwörterb. Naturwiss. 2. Aufl. (1932) Bd. VI, S. 1013 ff.

[4] Burri, C. — Das Polarisationsmikroskop. Basel: Birkhäuser 1950

[5] Kästner, F. — Einführung in den Gebrauch des Polarisationsmikroskops. Leipzig: Fachbuchverl. 1953

[6] Rinne-Berek — Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop. Stuttgart: Schweizerbart 1953

[7] Hallimond, A. F. Manuel of the Polarizing Microscope. York (Engl.): Cooke, Troughton & Simms

Methodik

[8] Schmidt, W. J. Die Bausteine des Tierkörpers in polarisiertem Licht. Bonn 1924

[9] Ambronn, H.u.Frey,A. Das Polarisationsmikroskop. Seine Anwendung in der Kolloidforschung und in der Färberei. Leipzig: Akad. Verl.-Ges. 1926

[10] Schneiderhöhn, H. u. Ramdohr, P. Lehrbuch der Erzmikroskopie. Bd. II, Berlin 1931; Bd. I 1933

[11] Schmidt, W. J. Polarisationsoptische Analyse des submikroskopischen Baues von Zellen und Geweben. Abderhalden, Handb. biol. Arb.-Meth., Abt. V, Tl. 10 (1934)

[12] Ehringhaus, A. Drehkompensator mit Kombinationsplatte aus Kalkspat. Z. Kristallographie (A) **102** (1939) S. 85-111

[13] Pfeiffer, H. H. Das Polarisationsmikroskop als Meßinstrument in Biologie und Medizin. Braunschweig: Viehweg 1949

[14] Hartshorne, N. H. u. Stuart, A. Crystals and the Polarizing Microscope. 2. Aufl. London: Arnold 1950

[15] Winchell, A. N. Elements of optical Mineralogy. P. II: Descriptions of minerals (An introduction to microscopic petrography). New York, London 1951

[16] Wachromejew, S. A. Erzmikroskopie. Berlin: Technik 1954

[17] Scharf, J. H. Zur Mikro- und Makrophotographie in polarisiertem Licht. Naturwiss. Rdsch. (1954) S. 431-435

Mineralogie und Kristallographie

[18] Linck, G. Grundriß der Kristallographie. Jena: Fischer 1923

[19] Correns, C. W. Einführung in die Mineralogie. Berlin: Springer 1949

[20] Kleber, W. Einführung in die Kristallographie. Berlin: Technik 1956



Bildanhang „Polmi A“

CARL ZEISS
JENA

1 Schaltknopf für Bertrand-Linse
2 Tubusträgerkopf
3 Tubusträger
4 Triebkasten
5 Triebknopf zur Kondensoreinstellung
6 Koaxialer Grob- und Feintrieb
7 Lampenfassung
8 Mikroskopfuß mit eingebauter Beleuchtung
9 Justierschrauben für Umlenkspiegel
10 Filteraufnahme
11 Polarisationskondensor e
12 Rastfeder des Polarisators
13 Klemmschraube für Kondensor
14 Klemmschraube für Tischbefestigung
15 Objekttisch M
16 Objektführer
17 Planachromat
18 Objektivschlitten
19 Zwischentubus Pol (mit Telezlinsen)
20 Schrägtubus Pol
21 Rändelring der Tubusirisblende
22 Rändelring zur Tubuslängenänderung
23 Planokular

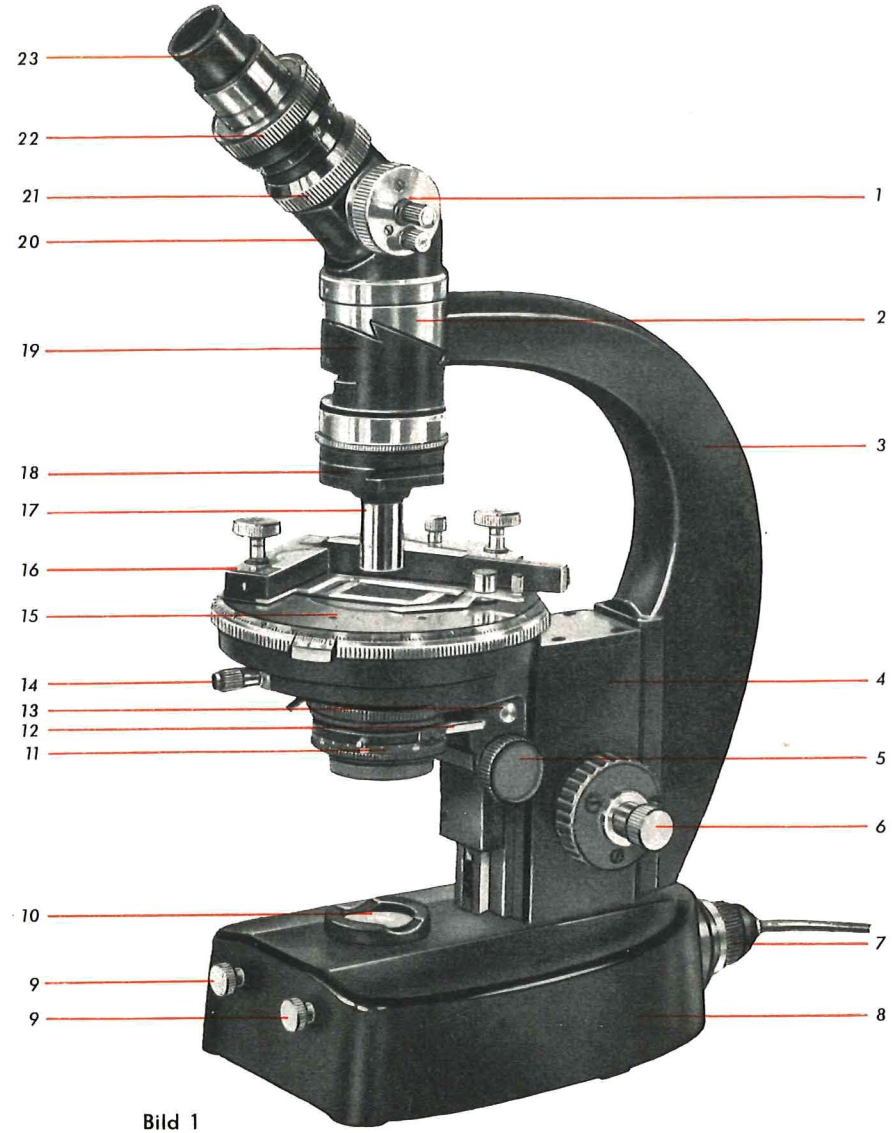


Bild 1

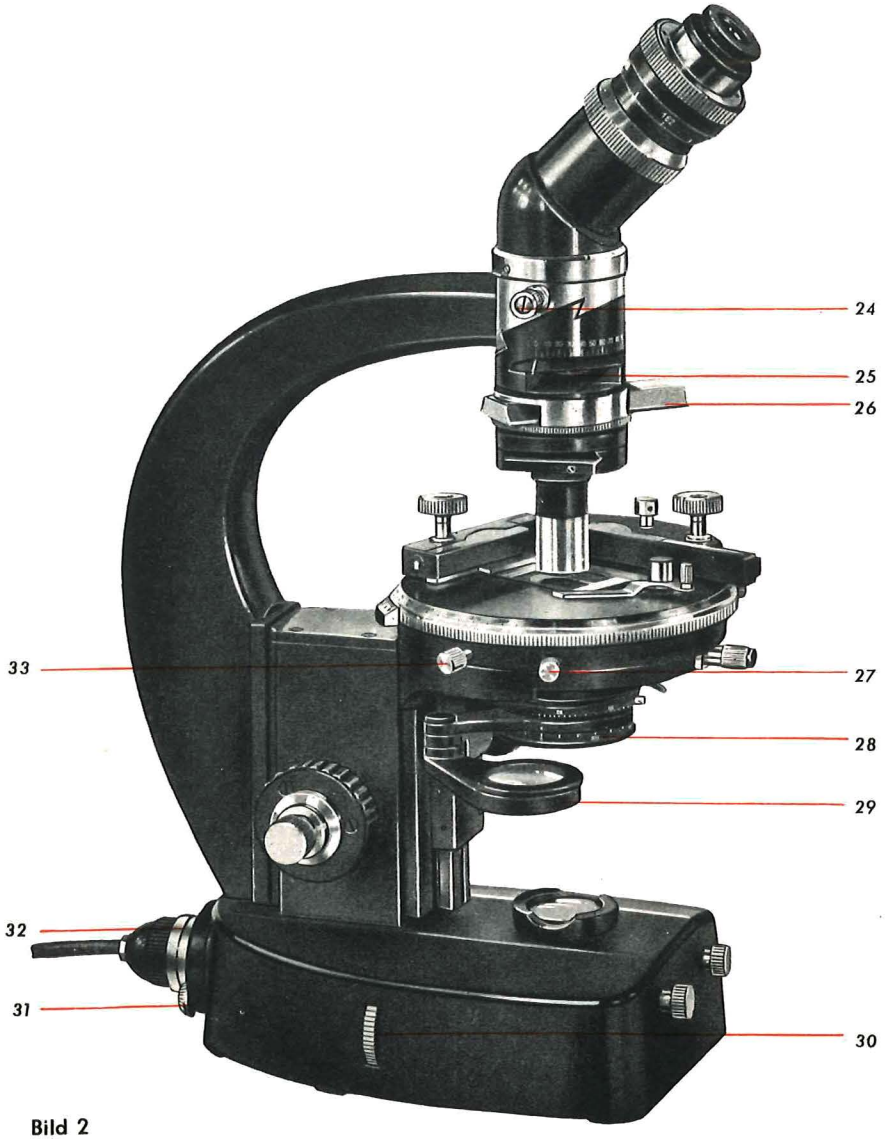


Bild 2

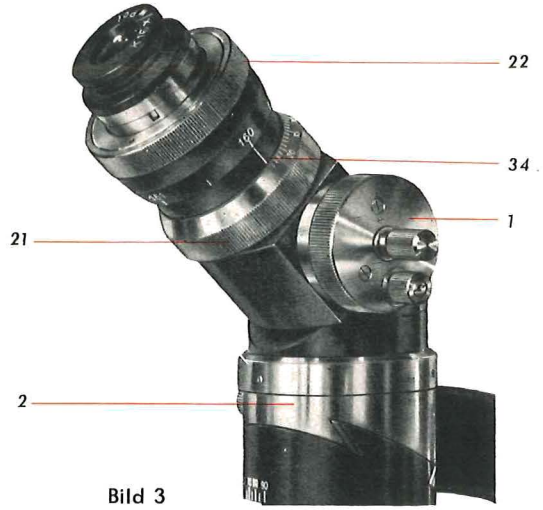


Bild 3

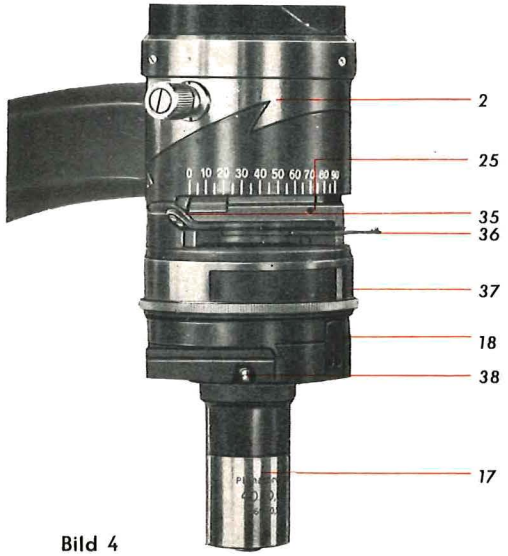


Bild 4

Bild 2

24 Klemmschraube zur Tubusbefestigung
25 Analysator
26 Quarzkeil I. bis III. Ordnung, in den Tubusdurchbruch eingeschoben
27 Arretierschraube für Tischdrehung
28 Polarisator
29 Zusatzlinse zum Kondensor, ausgeschwenkt
30 Rändelring zum Betätigen der Leuchtfeldblende
31 Schaltknopf für Mattscheibe
32 Fokussiereinrichtung für Lampenfassung
33 Rändelknopf für 45°-Rastung des Objekttisches M

Bild 3

22 Rändelring zur Tubuslängenänderung
34 Indexstrich für Tubuslängenverstellung
1 Schaltknopf für Bertrand-Linse
2 Tubusträgerkopf
21 Rändelring der Tubusirisblende

Bild 4

2 Tubusträgerkopf
25 Analysator
35 Drehhebel des Analysators
36 Kompensator
37 Staubschutzring für Tubusdurchbruch
18 Objektivschlitten
38 Zentrierschraube
17 Planachromat

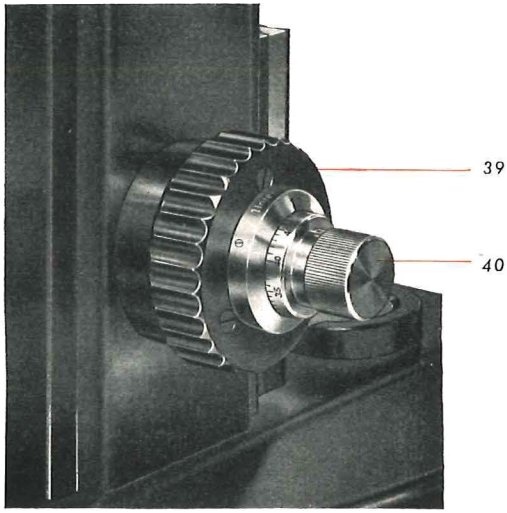


Bild 5

Bild 5

Koaxialer Grob- und Feintrieb

39 Triebknopf der Grobverstellung

40 Triebknopf der Feinbewegung mit Meßtrommel

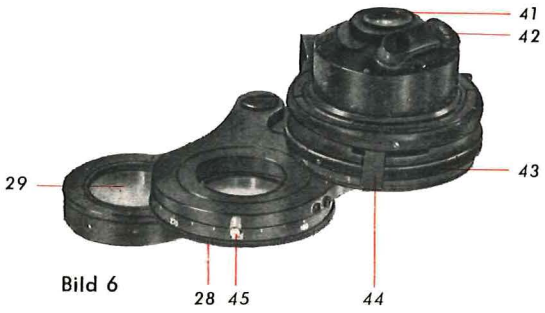


Bild 6

Bild 6

Polarisationskondensor e

41 Obere Linse des zweilinsigen Kondensors

42 Frontlinse, mit Hebel *(44)* einschaltbar

43 Irisblendenring

44 Hebel zum Einschalten der Frontlinse

45 Hebel zum Ausschwenken des Polarisators

28 Polarisator mit Ringskale

29 Mattierte Kondensorzusatzlinse

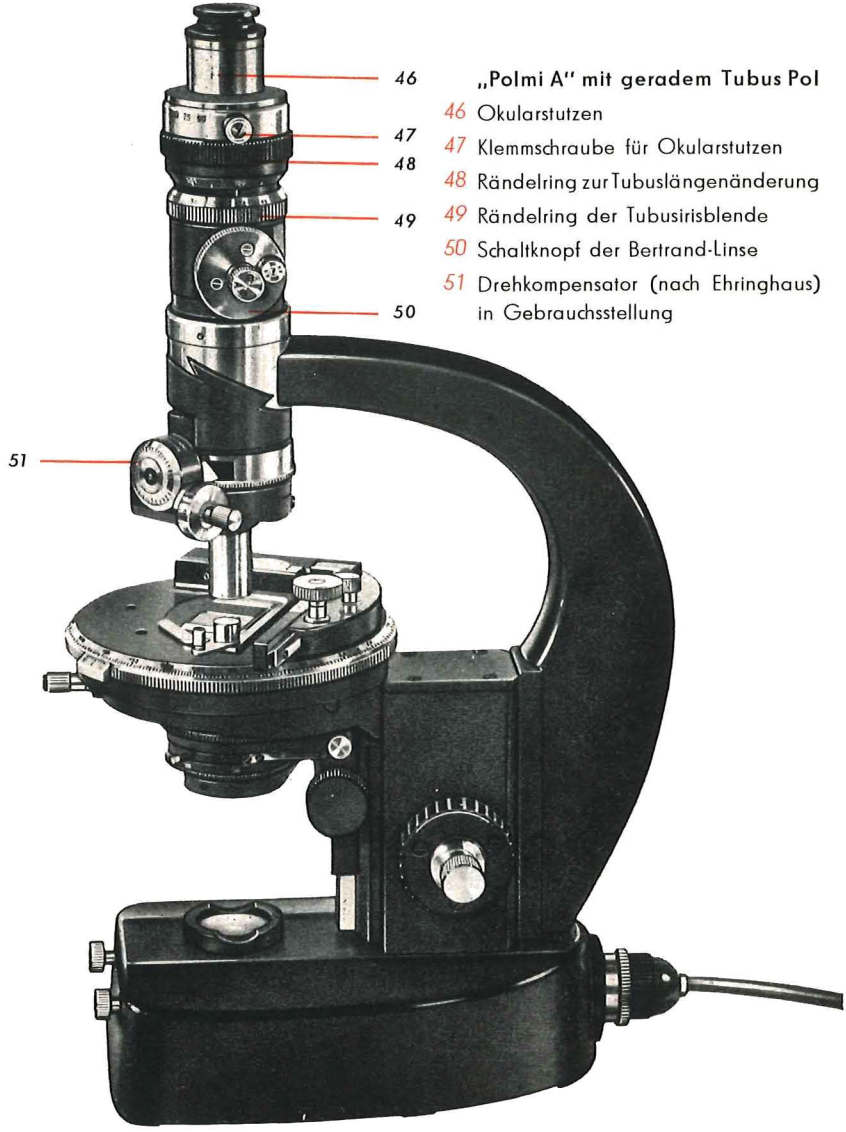
„Polmi A“ mit geradem Tubus Pol

Bild 7

Planachromate Pol	2,5/0,07	160/-
	6,3/0,16	160/0,17
	16/0,32	160/0,17
	40/0,65	160/0,17



Bild 7



„Polmi A" mit geradem Tubus Pol

46 Okularstutzen
47 Klemmschraube für Okularstutzen
48 Rändelring zur Tubuslängenänderung
49 Rändelring der Tubusirisblende
50 Schaltknopf der Bertrand-Linse
51 Drehkompensator (nach Ehringhaus) in Gebrauchsstellung

Bild 8

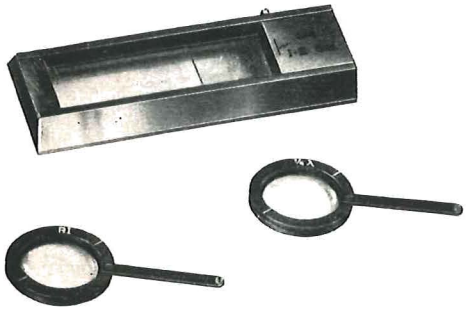


Bild 9

Bild 9
Kompensatoren
Rot I. Ordnung (vorn links)
¼ λ (rechts)
Quarzkeil I. bis III. Ordnung (hinten)

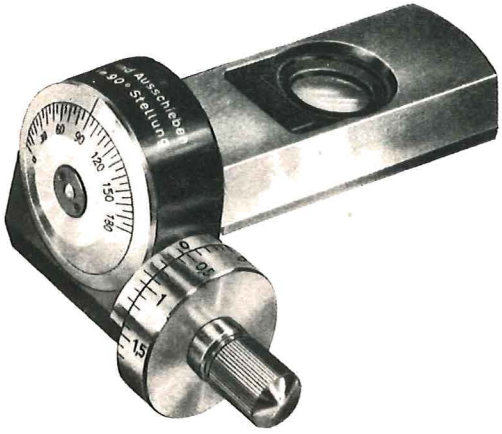


Bild 10

Bild 10
Drehkompensator mit Kalkspat-doppelplatte (nach Ehringhaus)

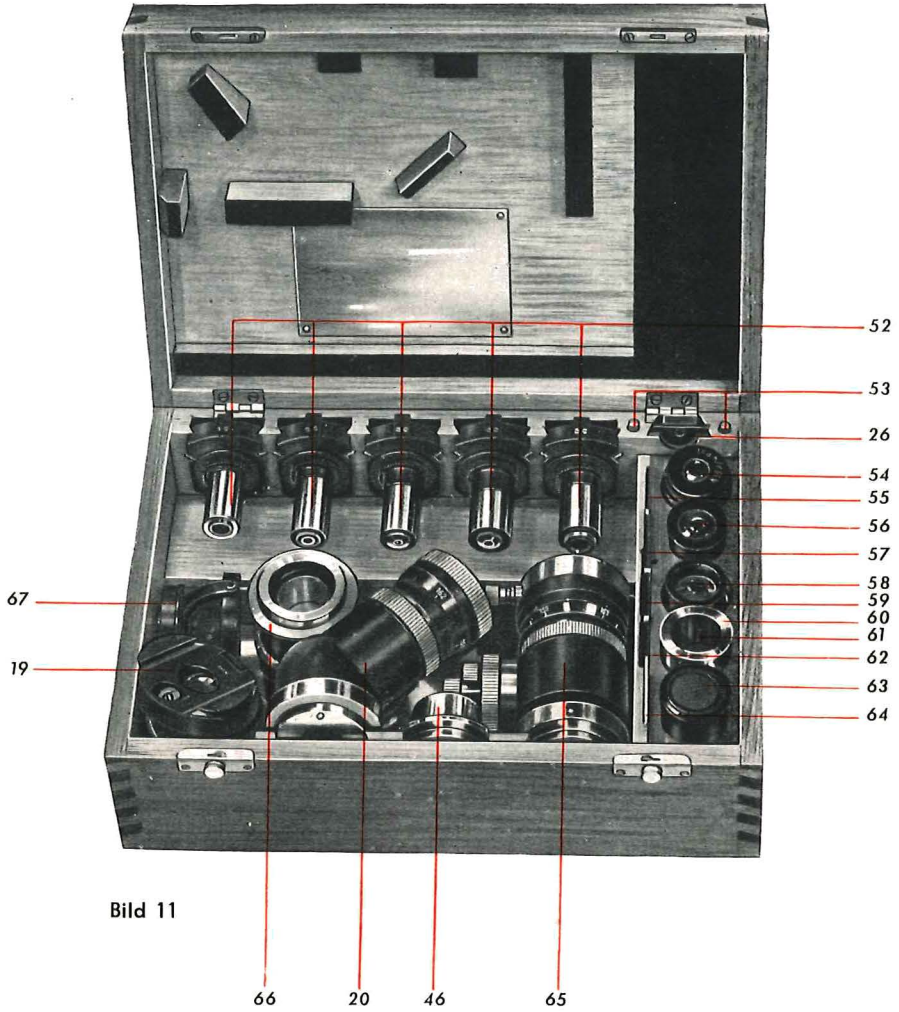


Bild 11

Bild 11

Behälter für Einzel- und Zusatzteile zum „Polmi A"

52 Planachromate in Objektivschlitten
53 Steckschlüssel für Zentrierschrauben
26 Quarzkeil
54 Okular K 16×/w Pol
55 Tischzentrierkreuz
56 Meßokular K 12,5× stellbar
57 Tageslichtfilter
58 Okular K 10×/w Pol
59 Kompensator Rot I
60 Zwischenhülse 23,2/30
61 Stiftschlüssel zur Einstellung der Gängigkeit des Grobtriebs
62 Kompensator $^1/_4\lambda$
63 Staubschutzkappe für Tubus
64 Steckschlüssel für Kondensortrieb
65 Gerader Tubus Pol
46 Okularstutzen zum geraden Tubus
20 Schrägtubus Pol
66 „MF"-Tubus Pol
19 Zwischentubus Pol
67 Beleuchtungsspiegel „Polmi A"

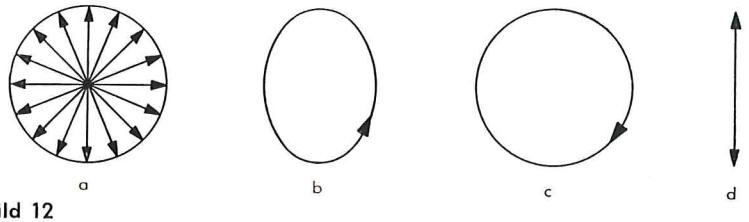


Bild 12

Fortpflanzungsrichtung des Lichtes senkrecht zur Papierebene auf den Beobachter zu

a) gewöhnliches Licht, b) links elliptisch-polarisiertes Licht, c) rechts zirkular-polarisiertes Licht, d) linear-polarisiertes Licht

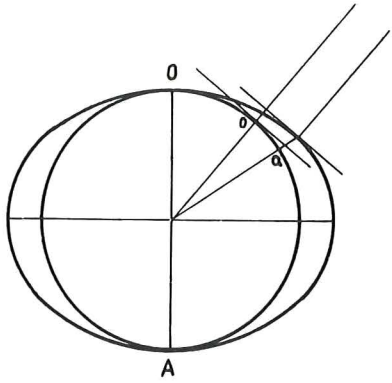


Bild 13

Strahlengeschwindigkeitsflächen eines optisch negativen einachsigen Kristalls (Kalkspat in einem Hauptschnitt) nach G. Linck
OA = Richtung der optischen Achse
o = ordentlicher Strahl
a = außerordentlicher Strahl

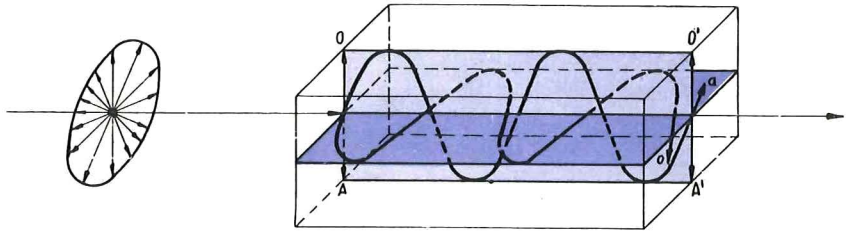


Bild 14

Doppelbrechender Kristall OA und O'A' = Richtung der optischen Achse
o = ordentlicher Strahl
a = außerordentlicher Strahl

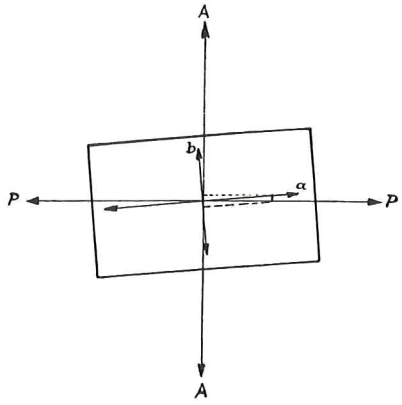
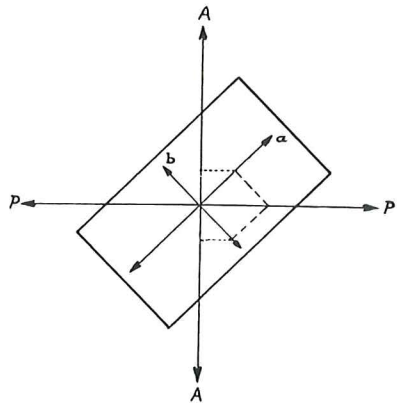


Bild 15 a



b

Geringe und maximale Hellstellung einer doppelbrechenden Platte zwischen Polarisatoren

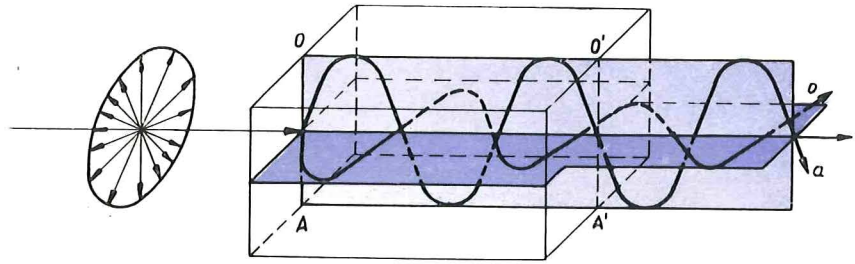


Bild 16

Turmalin OA und O'A' = Richtung der optischen Achse
o = ordentlicher Strahl
a = außerordentlicher Strahl

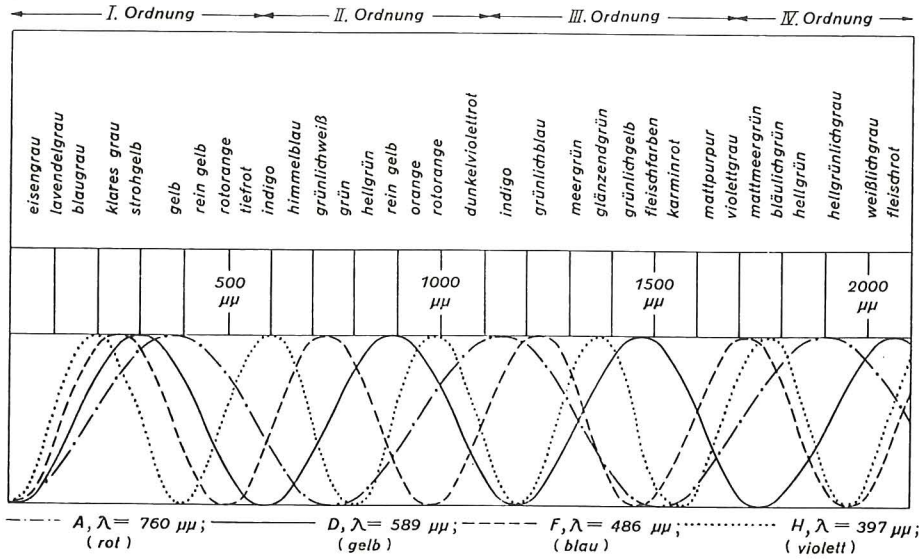


Bild 17

Bild 17

Veranschaulichung der Entstehung der Interferenzfarben zwischen gekreuzten Nicols nach Michel-Lévy aus Burri: Das Polarisationsmikroskop [4]. Die Intensitäten (Ordinate) des aus dem Analysator austretenden Lichtes sind für eine Anzahl von Wellenlängen in Funktion des Gangunterschiedes des Präparates (Abszisse) aufgetragen. Die so erhaltenen Intensitätskurven sind Sinoiden verschiedener Periode. Sie gestatten für jeden Gangunterschied abzulesen, welche Wellenlängen dominieren bzw. nur geschwächt auftreten oder ganz ausfallen, woraus sich die resultierende Interferenzfarbe ergibt.

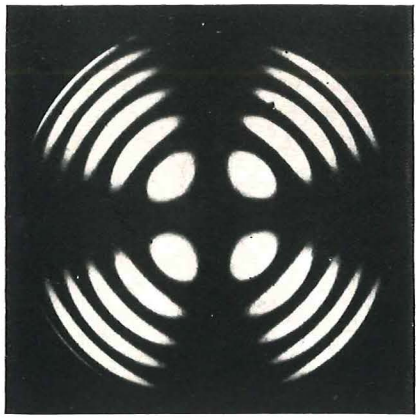


Bild 18
Achseninterferenzbild eines einachsigen Kristalls in monochromatischem Licht (geringe Anzahl von Ringisochromaten)

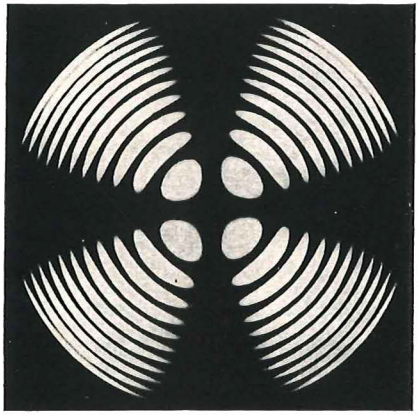


Bild 19
Achseninterferenzbild des optisch einachsigen Kalkspates (monochromatisches Licht)

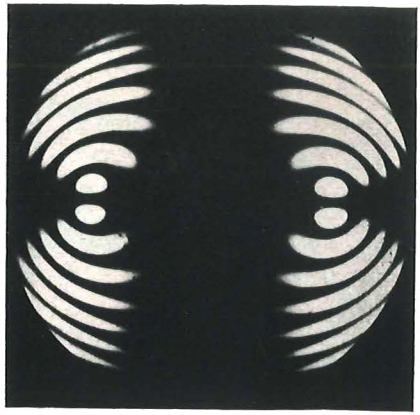


Bild 20
Achseninterferenzbild des optisch zweiachsigen Glimmers (Muscovit) in Orthogonalstellung (monochromatisches Licht)

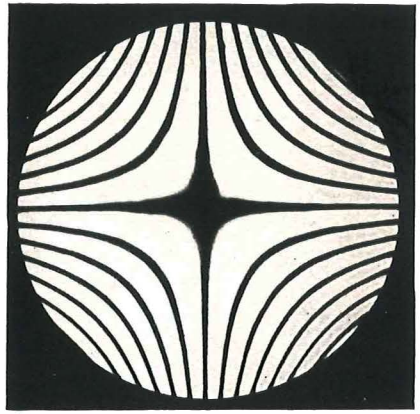


Bild 21
Interferenzbild eines Kristallschnittes parallel zur optischen Achse im monochromatischen Licht

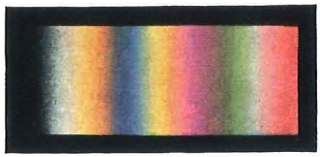


Bild 22

Bild 22
Interferenzfarben des Quarzkeils 0. bis III. Ordnung

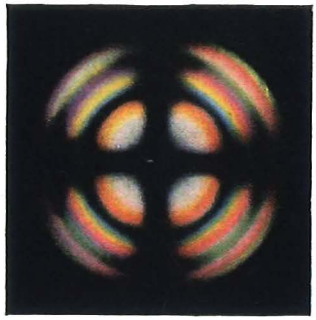


Bild 23

Bild 23
Achseninterferenzbild eines optisch einachsigen Kristalls im „weißen" Licht



Bild 24

Bild 24
Achseninterferenzbild eines optisch zweiachsigen Kristalls in Diagonalstellung im „weißen" Licht

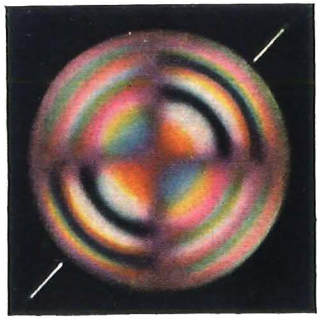


Bild 25

Bild 25
Achseninterferenzbild eines optisch einachsigen Kristalls, zur Feststellung des optischen Charakters mit Kompensator Rot I überlagert
(hier: optisch negativer Charakter)



Bild 26

Bild 26
Achseninterferenzbild eines optisch zweiachsigen Kristalls, zur Feststellung des optischen Charakters mit Kompensator Rot I überlagert
(hier: optisch negativer Charakter)

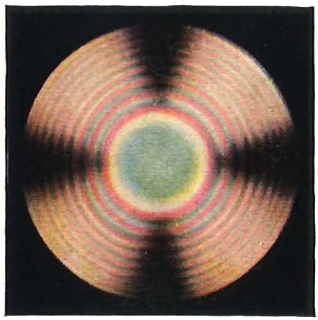


Bild 27

Bild 27
Achseninterferenzbild von Quarz im „weißen" Licht (Platte 8,8 mm dick). Das farbige Mittelfeld ist auf die Rotationsdispersion des Quarzes zurückzuführen.

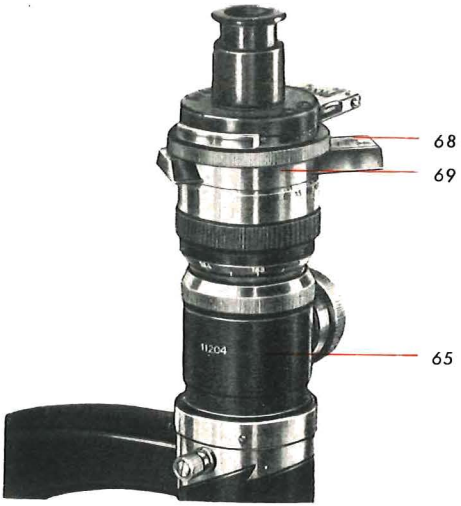


Bild 28

Bild 28

Gerader Tubus mit Wrightschem Okular

68 Kompensator auf Schlitten, in Schlitz *(75)* eingeschoben

69 Ansatzstück des Wrightschen Okulars mit Ringschwalbe zum Ansetzen am geraden Tubus Pol

65 Gerader Tubus Pol

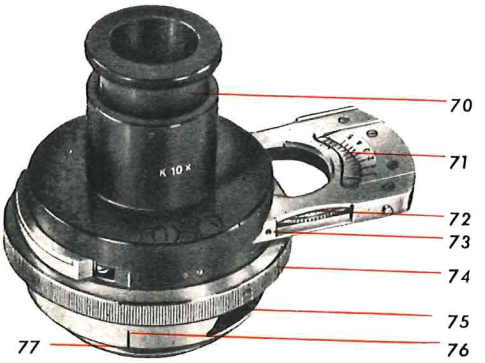


Bild 29

Bild 29

Wrightsches Okular

70 Stellbares Okular K 10×

71 Analysatorgradteilung mit Nonius

72 Rändelring zur Drehung des Analysators

73 Schieber mit Analysator

74 Stellring der Irisblende

75 Schlitz zur Aufnahme von Kompensatoren, Stauroskopplatten usw.

76 Indexstrich zur Orientierung des Okulars

77 Ringschwalbe zum Ansetzen am geraden Tubus Pol

„Polmi A" mit Universaldrehtisch
(nach Fedorow)

78 Spezialobjektiv mit Blende zum Gebrauch am U-Tisch

79 U-Tisch, auf dem Mikroskoptisch aufgesetzt und mit Schrauben *(80)* befestigt

80 Befestigungsschrauben

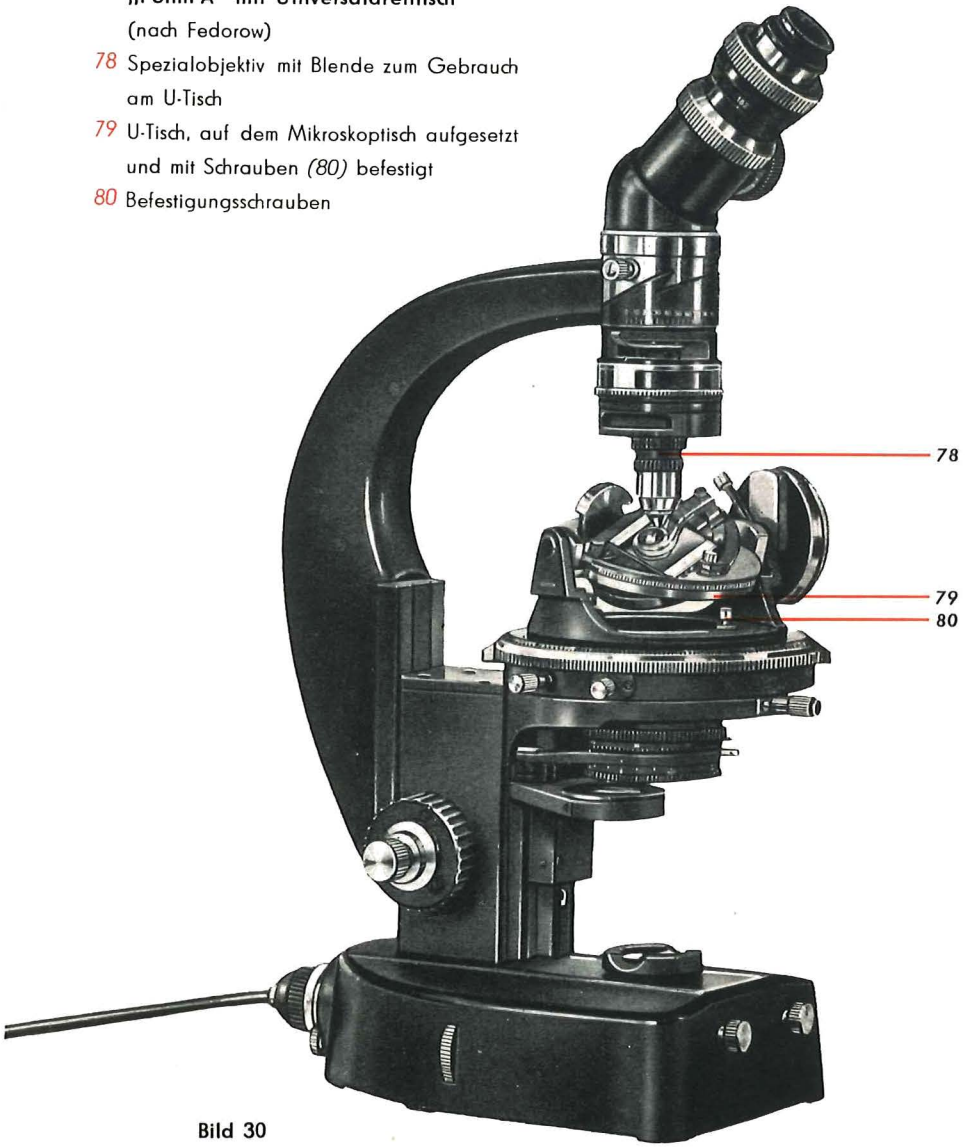


Bild 30

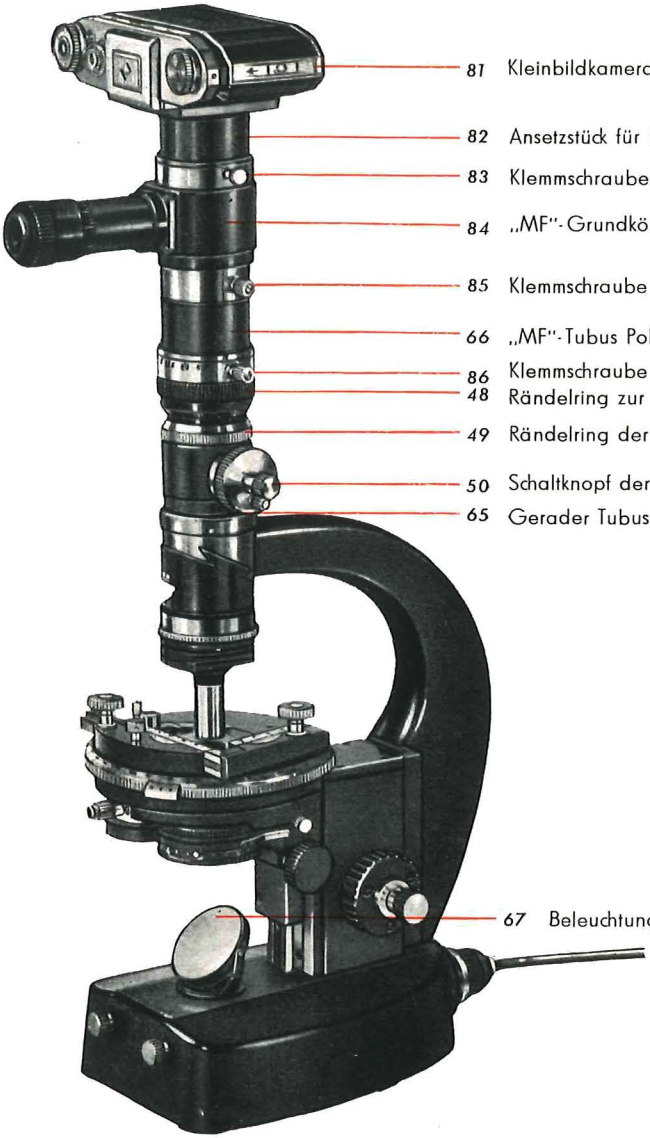


Bild 31

„Polmi A" mit Mikrophotographischer Einrichtung „MF"

„Polmi A“ als Auflichtmikroskop mit dem Auflichtkondensor Pol



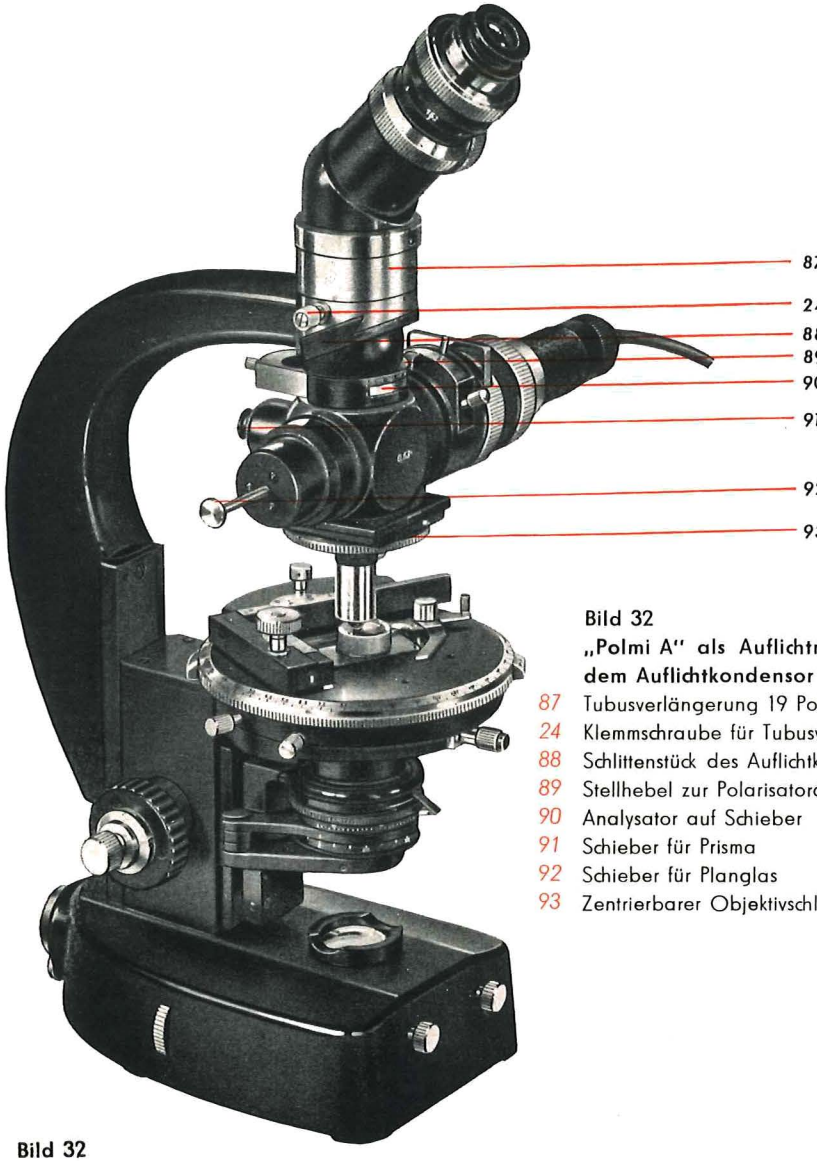


Bild 32
„Polmi A" als Auflichtmikroskop mit dem Auflichtkondensor Pol

87 Tubusverlängerung 19 Pol
24 Klemmschraube für Tubusverlängerung
88 Schlittenstück des Auflichtkondensors
89 Stellhebel zur Polarisatordrehung
90 Analysator auf Schieber
91 Schieber für Prisma
92 Schieber für Planglas
93 Zentrierbarer Objektivschlitten

Bild 32

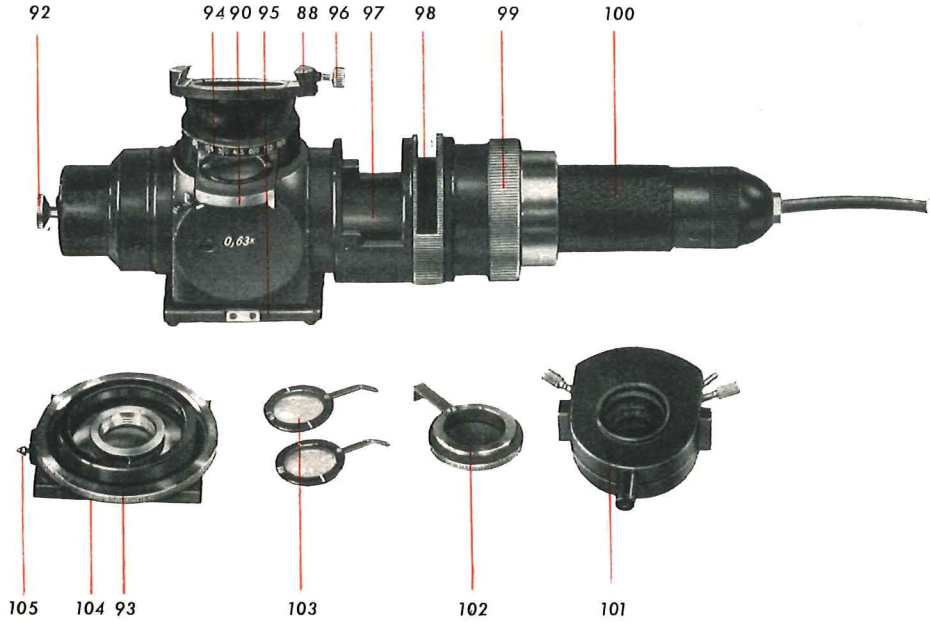


Bild 33

Bild 33
Auflichtkondensor Pol

92 Schieber für Planglas
94 Winkelteilung für Analysatordrehung
90 Analysator auf Schieber
95 Schlittenaufnahme für Objektivschlitten
88 Schlittenstück des Auflichtkondensors
96 Klemmschraube für Auflichtkondensor
97 Ausbruch zur Aufnahme des Hellfeldeinhängers
98 Schlitz zur Aufnahme von Filtern
99 Überwurfmutter zum Befestigen der Leuchte
100 Lampengehäuse
101 Hellfeldeinhänger
102 Polarisator mit Stellhebel *(89)*
103 Kompensatoren Rot I und $^1/_4\ \lambda$
93 Zentrierbarer Objektivschlitten
104 Exzenterring
105 Anschlagschraube



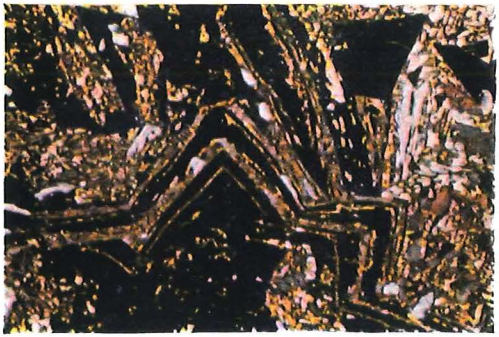
Norit von Bamle (Norwegen)
Dünnschliff, gekreuzte Polarisatoren, im Original 16:1, vergrößert auf etwa 32:1



Feldspatbasalt vom Ölberg (Siebengebirge)
Dünnschliff, gekreuzte Polarisatoren, im Original 50:1, vergrößert auf etwa 80:1



Monchiquit vom Kahlenberg bei Dečin
Dünnschliff, gekreuzte Palarisatoren, im Original 10:1, vergrößert auf etwa 16:1



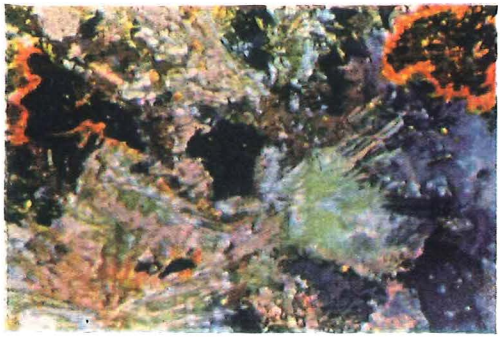
Chloanthit im Nickelkies vom Schneeberg (Erzgebirge)
Anschliff, gekreuzte Polarisatoren, im Original 63 : 1, vergrößert auf etwa 100 : 1



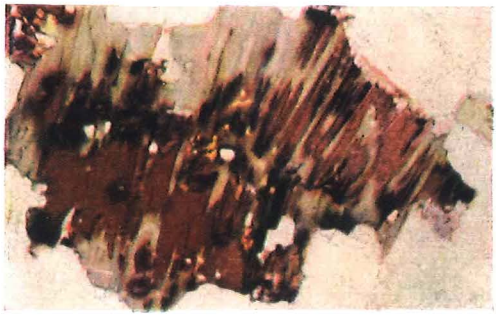
Antimonglanz von Oberböhmsdorf bei Schleiz
Anschliff, gekreuzte Polarisatoren, im Original 25 : 1, vergrößert auf etwa 50 : 1



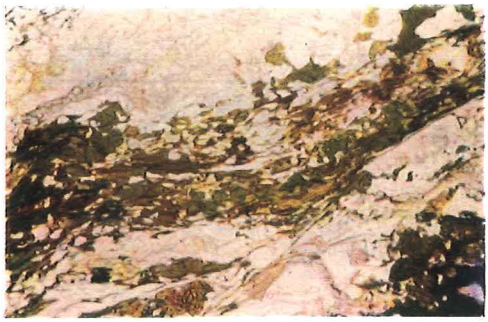
Zinn, elektrolytisch poliert
Anschliff, gekreuzte Polarisatoren, im Original 20 : 1, vergrößert auf etwa 32 : 1



Azurit mit Malachit und Ziegelerz von Cobrizos (Bolivien)
Anschliff, gekreuzte Polarisatoren im Original 25 : 1, vergrößert auf etwa 50 : 1



Biotitgranit von Bobritzsch (Sachsen)
Dünnschliff, 1 Polarisator, im Original 20 : 1, vergrößert auf etwa 32 : 1



Hornblendegneis
diluviales Geschiebe, Dünnschliff,
1 Polarisator, im Original 5 : 1, vergrößert
auf etwa 10 : 1



Wie oben,
jedoch gekreuzte Polarisatoren

Die Bilder sind nicht in allen Einzelheiten für die Ausführung der Geräte maßgebend. Für wissenschaftliche Veröffentlichungen stellen wir Druckstöcke der Bilder oder Verkleinerungen davon — soweit sie vorhanden sind — gern zur Verfügung. Die Wiedergabe von Bildern oder Text ohne unsere Zustimmung ist nicht gestattet. Das Recht der Übersetzung ist vorbehalten.

VEB Carl Zeiss JENA Vertriebsabteilung Mikroskope

Drahtwort: Zeisswerk Jena · Fernsprecher: Jena 7042 · Fernschreiber: Jena 058 622

Druckschriften-Nr. **30 – G 531 – 1**

FÖRSTER & BORRIES III/29/1 Ag 10/0676/58