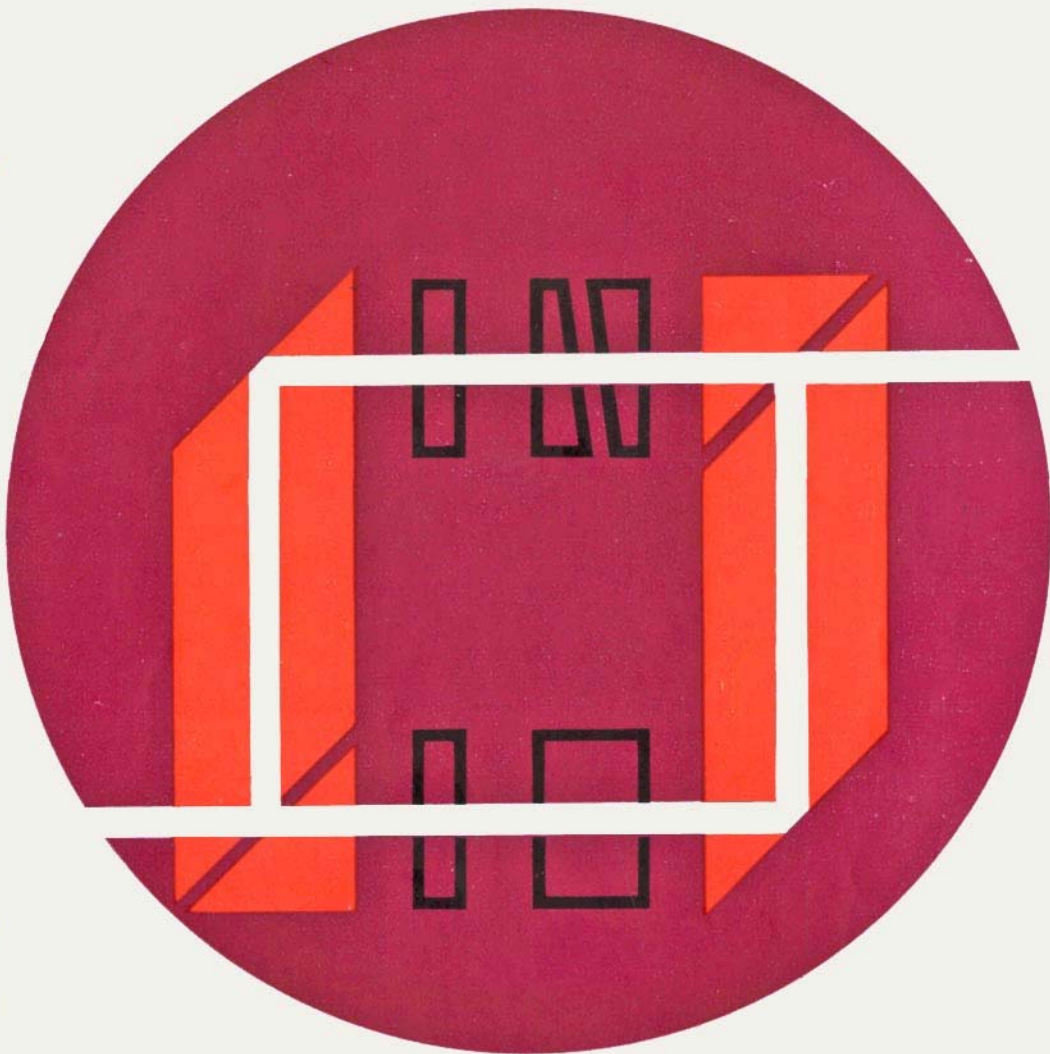


Interferenzeinrichtung „Interphako“ für Durchlicht



CARL ZEISS
JENA

Interphako

Interferenz- und universelle Phasenkontrastmikroskopie im Durchlicht

Anwendung normaler Hellfeldobjektive bis zu den höchsten Aperturen

Zusatzeinrichtung für normales Durchlichtstativ

Polarisiertes Licht und polarisierende Elemente sind nicht erforderlich

Ausgezeichnete Bildqualität

Höchste Meßgenauigkeit

Shearing-Verfahren mit kontinuierlich veränderbarer Bildaufspaltung

Interphako-Verfahren für genaue Gangunterschiedsmessungen ohne Bildaufspaltung

Große Variabilität

Schneller Übergang zu den verschiedenen Meß- und Beobachtungsverfahren

Einfache Justierung und Bedienung

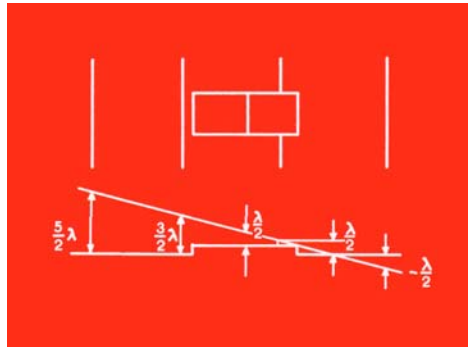


Bild 1

Allgemeines

Um den immer stärker erhobenen Forderungen nach einer Einrichtung zur Durchführung genauer Gangunterschiedsmessungen an mikroskopischen Objekten nachzukommen, wurde in unserem Werk die Interferenzeinrichtung „Interphako“ entwickelt. Besonderer Wert wurde dabei auf die Wiedergabe und Vermessung kleinster Objekte bei ausgezeichneter Bildqualität gelegt. Damit ist es z. B. möglich, auch an kleinsten Zellbestandteilen bis herunter zu $0,5 \mu\text{m}$ Brechzahlbestimmungen durchzuführen, um aus der Brechzahl Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Zelle oder des entsprechenden Zellbestandteiles ziehen zu können. Jedoch können auch an großflächigen Objekten bequem und sicher genaue Gangunterschiedsmessungen durchgeführt werden. Man denke dabei an Glas- und Kunststoffasern, Aufdampfschichten, Schnittdickenbestimmungen, Ätzgruben in Kristalloberflächen usw.

Für großflächige Objekte wurde und wird auch heute noch vorwiegend die Streifenmethode angewendet, d. h. die nach Bild 1 durch ein Phasenobjekt relativ zur Umgebung hervorgerufene Versetzung der Interferenzstreifen, die durch Interferenz zweier etwas gegeneinander geneigter, kohärenter, also von der gleichen Lichtquelle herrührender Wellenfronten entstehen.

Die damit erreichbare Genauigkeit ist nicht sehr hoch. Ihre Genauigkeitsgrenze liegt in der Praxis unter günstigsten Bedingungen bei $\lambda/30$ bis $\lambda/50$. Bei sehr kleinen Objekten kann diese Streifenmethode jedoch nicht angewendet werden.

Da aber in der Mikroskopie gerade die kleinsten Objekte das größte Interesse beanspruchen, müssen andere Methoden unter Benutzung von Objektiven höchster Apertur angewandt werden. Man geht vom Streifenverfahren zum Interferenzkontrast über. Durch Verringerung der

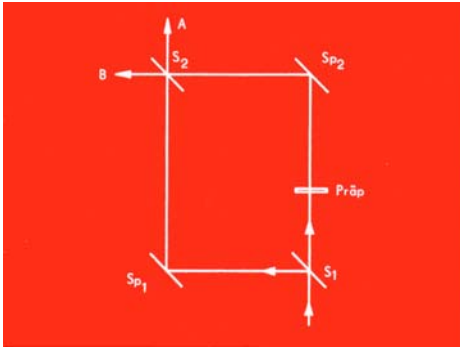


Bild 2

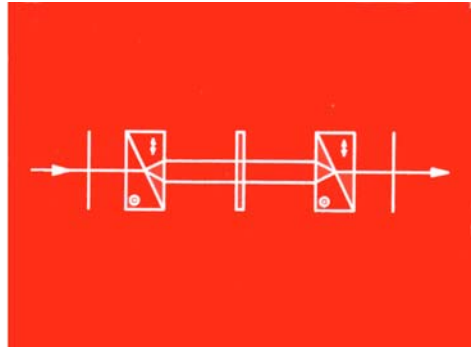


Bild 3

Neigung beider kohärenter Wellenfronten werden der Abstand und damit auch die Breite der Interferenzstreifen so weit vergrößert, bis das ganze Feld in gleicher Helligkeit oder Farbe erscheint und sich die Phasenobjekte dagegen kontrastiert abheben, wenn die auftretenden Phasendifferenzen groß genug sind. Durch Einführung eines zusätzlichen, meßbar veränderlichen Gangunterschiedes zwischen den interferierenden Wellenfronten kann man nacheinander Objekt und Umgebung auf den gleichen Helligkeits- oder Farbwert einstellen und so den Gangunterschied zwischen Objekt und Umgebung messen. Auf diese Weise wird in der Praxis bei günstigen Objekten ohne Schwierigkeiten eine Meßgenauigkeit von $\lambda/100$ erreicht. Bei der Realisierung dieser Meßmethode muß man zwei Typen unterscheiden. Der eine arbeitet mit einer Aufspaltung des Strahlenganges vor dem Objekt (Bild 2). Dazu gehören die Mach-Zehnder-Anordnung im Durchlicht und die Michelson-Anordnung im Auflicht. Die Hauptschwierigkeit liegt in dem möglichst exakten optischen Abgleich zwischen Objekt- und Vergleichsstrahlengang. Beim zweiten Typ erfolgt die Aufspaltung des Strahlenganges hinter dem Objekt. Bei den bisher bekannt gewordenen Geräten der letzten Art ist stets eine laterale oder axiale Bildaufspaltung erforderlich, die mit polarisationsoptischen Mitteln durchgeführt wird (Bild 3). Die Methode mit lateraler Bildaufspaltung ist unter der Bezeichnung „Shearing-Verfahren“ bekannt geworden.

Ein wesentlicher Nachteil sind die durch die polarisationsoptischen Elemente bedingte Einschränkung der Beleuchtungsapertur und Minderung der Bildqualität sowie der erhebliche Lichtverlust. Außerdem muß immer im polarisierten Licht gearbeitet werden, was unter Umständen die Untersuchung doppelbrechender Objekte erschwert.

Die neue Interphako-Interferenzeinrichtung arbeitet mit einer Aufspaltung des Strahlenganges hinter dem Objektiv im natürlichen Licht, jedoch wahlweise mit oder ohne laterale Bildaufspaltung.

Shearing-Verfahren

Bei der lateralen Bildaufspaltung wird nach Bild 8 ein in der Kondensorbrennebene gelegener verstellbarer Spalt S_p mit Hilfe von Kondensor 1, Objektiv 2, der Tubuslinse 3 und eines Zwischenabbildungssystems 5 innerhalb eines kleinen Mach-Zehnder-Interferometers, bestehend aus den Doppelprismen 6 und 7, abgebildet. (Die Strahlenteilung erfolgt bei S_1 , die Wiedervereinigung bei S_2). In einem der beiden im Interferometer gelegenen Bilder des Spaltes S_p wird bei S_p'' ein Drehkeil 10 angeordnet. Dieser Drehkeil besteht aus 2 Einzelkeilen, die, zueinander gegensinnig, um die optische Achse gedreht werden können. Hierdurch wird die Keilwirkung, d. h. die Ablenkung des einen Teilstrahlenganges von der ursprünglichen Richtung, kontinuierlich verändert. Diese Richtungsablenkung im Spaltbild S_p'' entspricht einer von 0 bis 4 mm kontinuierlich veränderbaren Bildaufspaltung in der Zwischenbildebene O'' . Es ist also sowohl die differentielle als auch die totale Bildaufspaltung möglich (Bilder 4 und 5). Erstere liegt in der Größenordnung der Auflösungsgrenze und bewirkt einen Reliefeffekt, der wegen der möglichen Variation der Bildaufspaltung den Objekteigenschaften optimal angepaßt werden kann. Sie kann außerdem zur Messung von Brechzahlgradienten bzw. der Neigung von Flächen verwendet werden. Letztere ist größer als das Objekt und ermöglicht mit Hilfe des als schwachen Keil ausgebildeten Phasenschiebers 8 genaue Gangunterschiedsmessungen, indem nacheinander Objekt und Umgebung auf gleiche Helligkeit oder Farbe eingestellt werden. Die auf diese Weise erreichbare Meßgenauigkeit liegt bei etwa $\lambda/200$. 9 und 11 sind Kompensationskeile, 12 ein ein- und ausschiebbares Prisma zur Mikrofotografie und 13 eine ebenfalls ein- und ausschiebbare Bertrand-Linse zur Beobachtung der Pupille, 4 ein verschiebbares Prisma zum Ausgleich der unterschiedlichen Pupillenlagen der Objekte.

Zur Verbesserung der Meßgenauigkeit auf $\lambda/500$ ist eine in das erste Zwischenbild bei O' einsetzbare Halbschattenplatte vorgesehen. Sie stellt im wesentlichen eine Phasenstufe (Bild 7) dar, die quer durch das Zwischenbild des zu vermessenden Objekts gelegt wird. Sie teilt Ob-

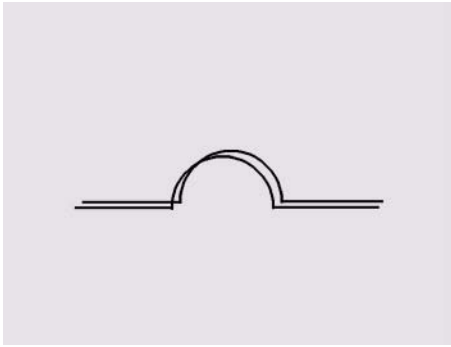


Bild 4

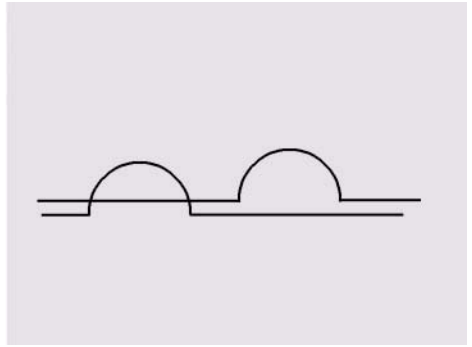


Bild 5

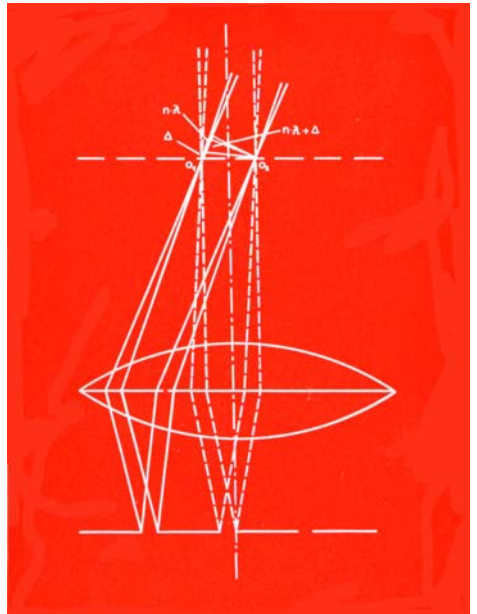
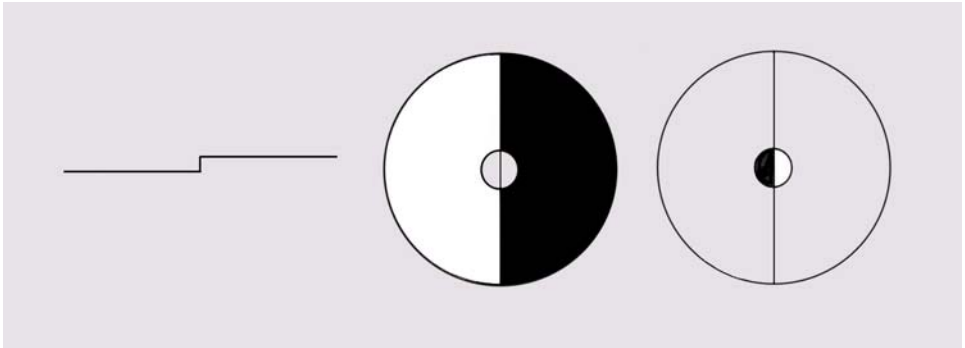


Bild 6



7 a, b, c

jekt und Umgebung in 2 Bereiche. Als Einstellkriterium dient nach Bildern 7 b und c der nacheinander durchgeführte Helligkeitsabgleich im Objekt und in der Umgebung.

Zur Durchführung der Streifenmethode werden die beiden Keile 8 und 9, deren Drehachsen senkrecht zur Zeichenebene stehen, gegensinnig um kleine Beträge gedreht, was eine Pupillenaufspaltung bewirkt. Die beiden nebeneinanderliegenden Pupillenbilder entsprechen kohärenten Lichtquellen und erzeugen nach Bild 1 in der Bildebene ein System paralleler Interferenzstreifen, die durch Streifenversetzung die Größe des Gangunterschiedes direkt anzeigen. Auch hier kann die Meßgenauigkeit unter Zuhilfenahme des Phasenschiebers 8, d.h. durch Kompensation des Gangunterschiedes wesentlich erhöht werden.

Bei relativ großen Bildaufspaltungen muß zur Sicherung eines guten Kontrastes die Beleuchtungsapertur stark eingeschränkt werden, weshalb der verstellbare Beleuchtungsspalt vorgezogen ist. In Bild 6 entspräche die Strecke O_1O_2 der auf die Objektebene bezogenen Bildaufspaltung. Die gezeichneten Parallelstrahlen sollen jeweils von einem Randpunkt des Beleuchtungsspalt ausgegangen sein und die Punkte O_1 und O_2 durchsetzen. Dann ist aus Kontrastgründen für den mittleren Beleuchtungsspalt zu fordern, daß der Abstand Δ zwischen O_1 und der Projektion von O_2 auf den etwas gegen die optische Achse geneigten Strahl nicht größer als $\lambda/4$ ist, d. h., daß für alle vom Spalt ausgehenden Strahlen diese Größe nur zwischen 0 und $\lambda/4$ variiert. Die Interferenzen werden aber nicht gestört, wenn man außerdem Beobachtungsbündel zuläßt, für die Δ von λ bis $5/4\lambda$ oder allgemein von $n\cdot\lambda$ bis $(n+1/4)\cdot\lambda$ variiert. Im monochromatischen Licht ist es also möglich, statt eines Beleuchtungsspalt ein Beleuchtungsgitter zu verwenden, da die Größe der Bildaufspaltung der Gitterkonstante des Beleuchtungsgitters genau angepaßt werden kann. Bei Verwendung bis zu 20 Gitterstrichen kann so die durch zu engen Beleuchtungsspalt geminderte Bildqualität wesentlich verbessert und die Bildintensität im monochromatischen Licht bis auf das 20fache erhöht werden. Das ist für die Praxis von außerordentlicher Bedeutung.

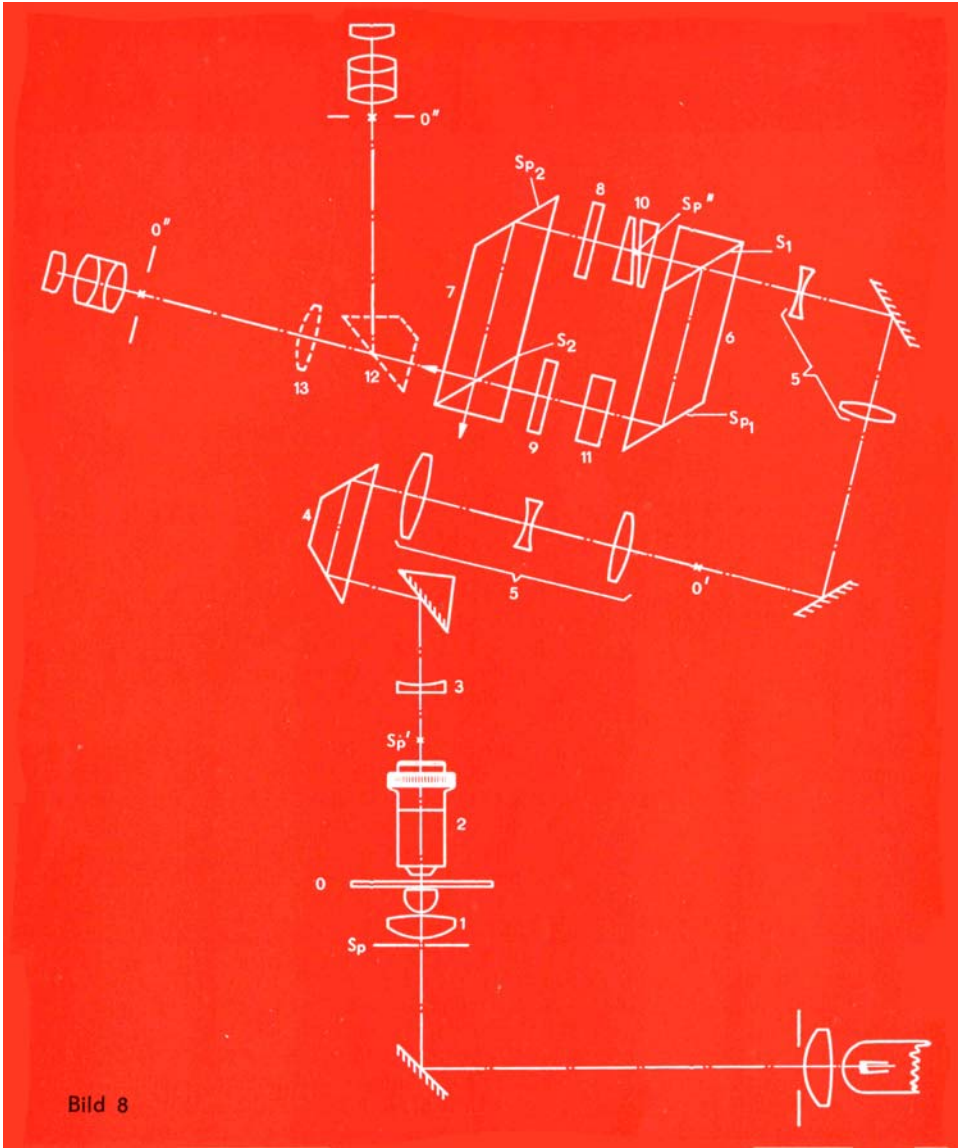


Bild 8

Interphako-Verfahren

Dieses Verfahren hat seinen Namen wegen der engen Verwandtschaft mit dem Phasenkontrastverfahren erhalten und ist besonders günstig für Gangunterschiedsmessungen an kleinsten Phasenobjekten bis zur Auflösungsgrenze. Seine Überlegenheit besteht vor allem in der ausgezeichneten Bildqualität, die ohne weiteres mit der von erstklassigen Phasenkontrasteinrichtungen erreichten vergleichbar ist, und der Möglichkeit des für jedes einzelne Objekt einstellbaren optimalen Kontrastes. Man kann es direkt als ein quantitatives Phasenkontrastverfahren bezeichnen. Seine Durchführung läßt sich anhand Bild 8 leicht erläutern.

Spalt S_p und Drehkeil 10 werden durch zueinander konjugierte Ringblenden ersetzt, wobei die an Stelle von S_p getretene genau der für Phasenkontrast entspricht. Das über S_1 - SP_1 - S_2 geleitete Teilbündel vermittelt eine im Rahmen der durch das abbildende System gegebenen Möglichkeiten vollständige Abbildung der Objektstrukturen. Die an die Stelle des Drehkeils 10 getretene Ringblende hält das gebeugte Licht zurück. Da das direkte Licht allein keinerlei Strukturen abbilden kann, liefert das über S_1 - SP_2 - S_2 geleitete Teilbündel im Zwischenbild O'' einen zu den Objektstrukturen kohärenten homogenen Untergrund, der in seiner Wirkung einer ebenen Vergleichswelle entspricht. Durch Betätigen des Phasenschiebers 8 können, wie beim Shearing-Verfahren beschrieben, genaue Gangunterschiedsmessungen durchgeführt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß keine Doppelbilder auftreten und die Beleuchtungsapertur nicht stärker beschränkt zu werden braucht, als es im Phasenkontrast der Fall ist. Auch die Justierung des Gerätes ist kaum schwieriger als die einer Phasenkontrasteinrichtung.

Die getrennte Beeinflussung von direktem und am Objekt gebeugtem Licht ist um so besser möglich, je kleiner das Produkt aus Objektgröße und Ringbreite ist. Deshalb werden, wie bei der Phasenkontrasteinrichtung Ph_v , zwei konzentrische Blendenringe unterschiedlicher Breite benutzt, von denen der breite wahlweise abgedeckt werden kann.

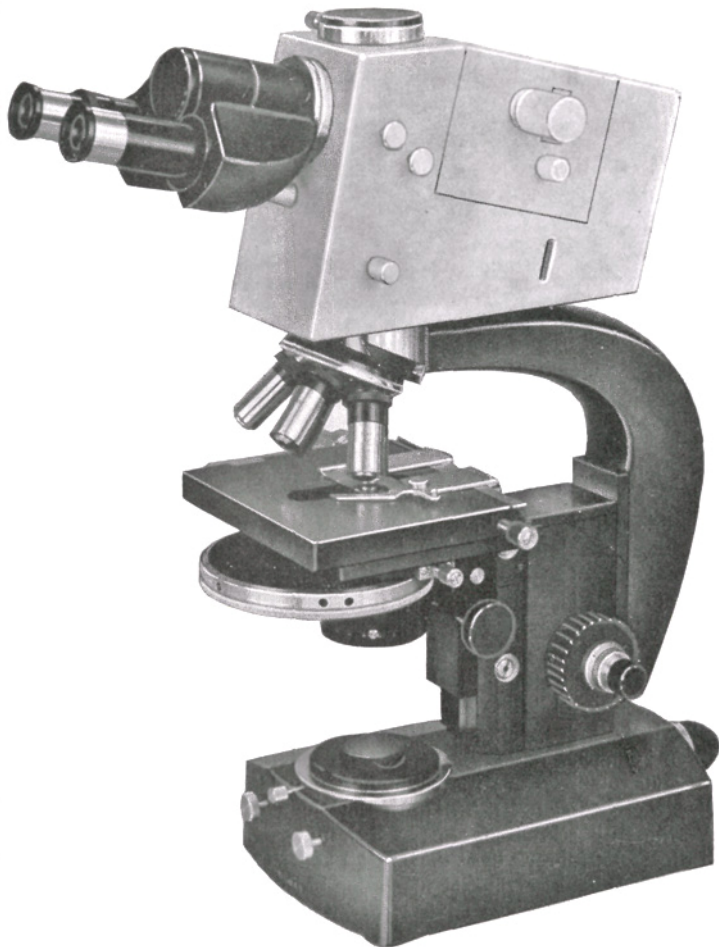


Bild 9

Vollständige Interferenzeinrichtung an einem
Nf-Stativ mit Planachromaten 6,3/0,16,
16/0,32, 40/0,65 und HI 100/1,25

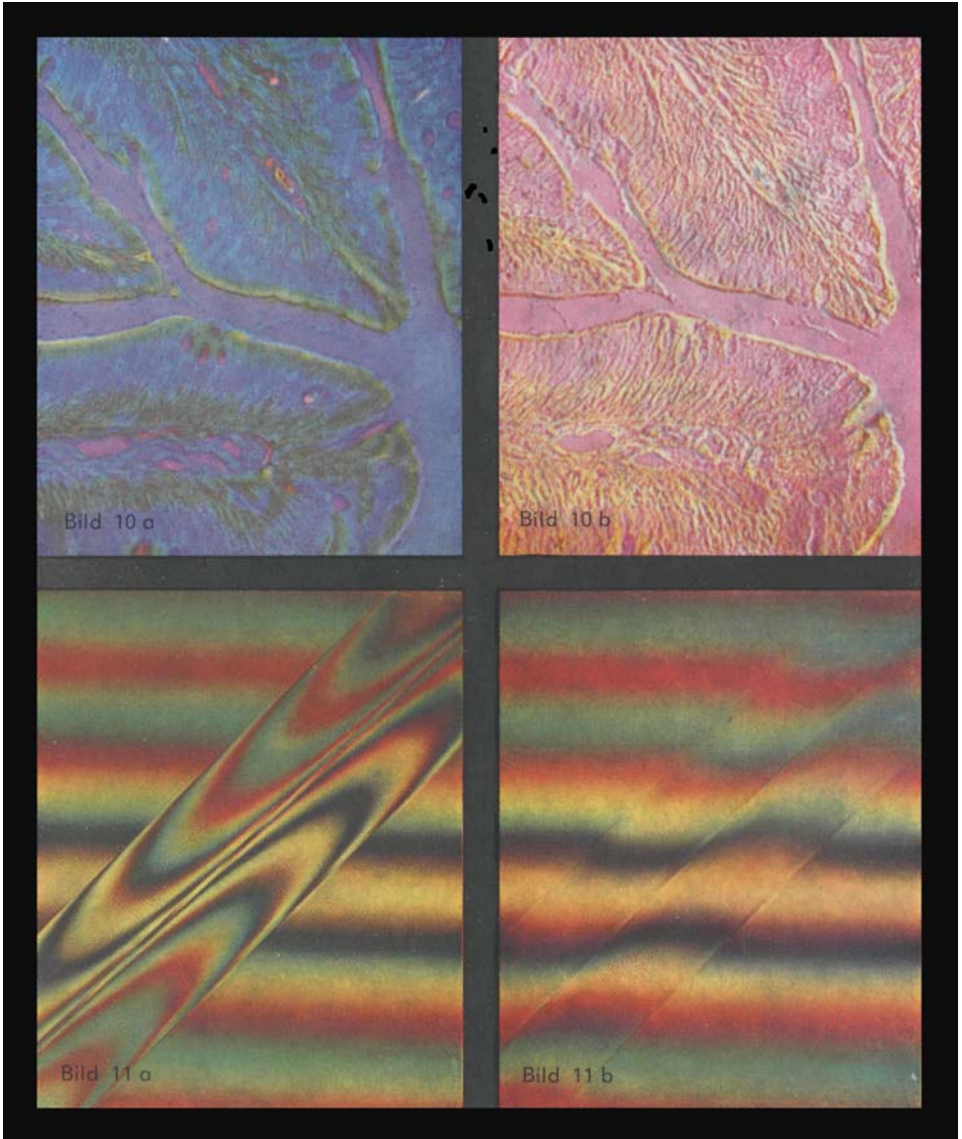


Bild 10: Teichmolch Darm quer
 a) Interphako; b) differentielle Aufspaltung
 Bild 11: eingebettete Kunststoffaser im Shearing-
 Verfahren unter Verwendung eines
 Polarisators im Beleuchtungsstrahlengang
 a) Schwingungsrichtung parallel
 b) senkrecht zur Faser

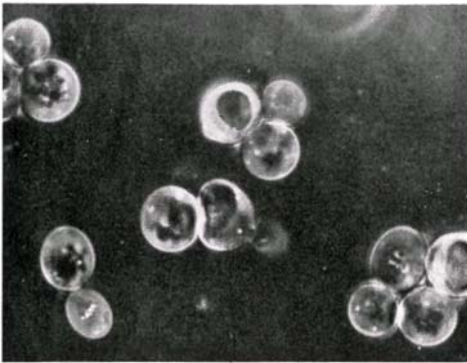
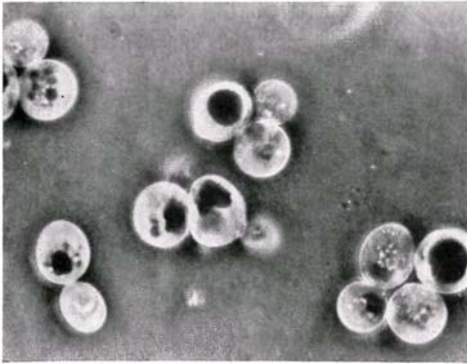


Bild 12 a, b, c:

Bäckerhefe im Interphako. Es wurde nacheinander in a, b, c auf größte Dunkelheit der Vakuden, der Umgebung und der Granula eingestellt.

M 1800:1

Universeller Phasenkontrast

Um aus dem Interferenzmikroskop ein universelles Phasenkontrastmikroskop zu machen, wird lediglich der Interferometereinsatz durch einen Einsatz ersetzt, der einen Revolver für die anzuwendenden Phasenringe trägt. Es wird also mit normalen Hellfeldobjektiven gearbeitet. Der Ringblendenrevolver bleibt dabei der gleiche und muß lediglich wegen der Ringblendengröße ausgetauscht werden, wenn eine andere Objektivserie benutzt werden soll. Der Phasenplättchenrevolver ist mit verschiedenen Plättchen für positiven, negativen und farbigen Phasenkontrast und zentrales Dunkelfeld ausgestattet, so daß nach Belieben unter Anwendung normaler Hellfeldobjektive die verschiedenen Kontrastverfahren durchgeführt werden können.

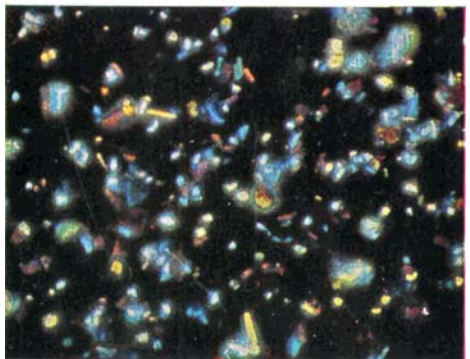
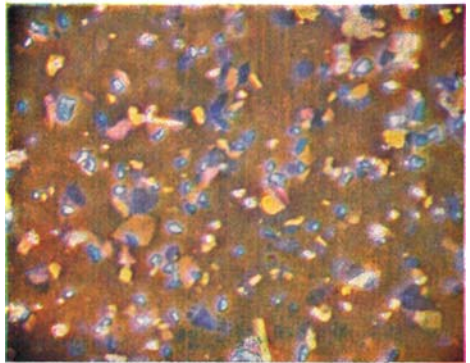
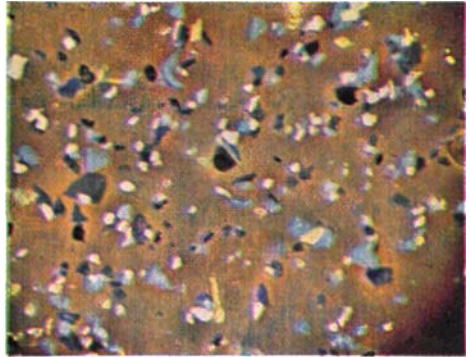
Die Bilder 13 bis 15 bringen dazu einige Anwendungsbeispiele aus der Mineralogie.

Mischpräparat aus Orthoklas, Quarz, Plagioklas, Biotit und Augit in Immersionsöl + Zimtaldehyd ($n_D = 1,550$)

Bild 13: normaler Phasenkontrast

Bild 14: farbiger Phasenkontrast

Bild 15: zentrales Dunkelfeld



Bestelliste

Benennung	Bestellnummer
Standardausrüstung	
Interphakomikroskop Nf, ausgerüstet für Interferenz	30-0-053 A
bestehend aus:	
Stativ Nf	30 10 42 C
Kondensortriebkasten W2	30 10 90 B
Tischträger Z	30 48 01 C
Objektstisch K2	30 53 10 B
Binokularem geradem Tubus 23,2/120	30 50 03 D
Objektivrevolver 5 X	30 52 06
Planachromat 6,3/0,16 160/—	30 21 13 C
Planachromat 16/0,32 160/0,17	30 21 15 C
Planachromat 40/0,65 160/0,17 mit Präparateschutz	30 21 17 C
Planachromat HI 100/1,25 160/0,17 mit Präparateschutz	30 21 19 A
2 Okularen PK 6,3 X	30 33 02 A
2 Okularen PK 10 X	30 33 03 B
Okular PK12,5X	303304:001.24
Okular PK12,5 X stellbar	303314:001.24
Strichplatte in Behälter	30 57 16
Okularmeßplatte 10 :100, in Behälter	305710:002.24
Interferenzfilter $\lambda = 551$ nm	32 81 61 AF
Gelbgrünfilter VG932 Ø/4	304755:042.00
Doppelflasche	30 87 20
10 cm ³ Immersionsöl n _D = 1,515	30 87 21
Lichtwurflampe T-P5/6V 15 W klar (Flachkernwendel)	TGL 10619 Blatt 3
Kleinspannungstransformator A 15 VA 220/6	ZN 5045
Behälter f. Zubehör Ng/Nf	30 96 70
Schrank mit Rolläden	30 90 18 B

Benennung	Bestellnummer
Beleuchtungslinse z. apl.achr. Kondensor 0,9Xe für Nf	304703:013.24
Behälter für Interphako	309683:002.24
Grundkörper In/Ph 160	305034:001.24
Einsatz In	305034:003.24
Halbschattenplatte In	304124:006.24
Ringblendenrevolver In/Ph 160	304124:016.24
Gitterblendenrevolver In	304124:021.24
Spaltblende In, stellbar	304124:024.24
Achromatisch aplanatischem Kondensor 0,9/X e	304394:001.24
Standardausrüstung	
Interphakomikroskop Nf, ausgerüstet für universellen Phasenkontrast	30-0-054 A
bestehend aus:	
Stativ Nf	30 10 42 C
Kondensortriebkasten W2	30 10 90 B
Tischträger Z	30 48 01 C
Objektstisch K 2	30 53 10 B
Binokularem geradem Tubus 23,2/120	30 50 03 D
Objektivrevolver 5 X	30 52 06
Planachromat 6,3/0,16 160/—	30 21 13 C
Planachromat 16/0,32 160/0,17	30 21 15 C
Planachromat 40/0,65 160/0,17 mit Präparateschutz	30 21 17 C
Planachromat HI 100/1,25 160/0,17 mit Präparateschutz	30 21 19 A
2 Okularen PK 6,3 X	30 33 02 A
2 Okularen PK 10 X	30 33 03 B
Gelbgrünfilter VG 932 Ø/4	304755:042.00
Doppelflasche	30 87 20
10 cm ³ Immersionsöl n _D = 1,515	30 87 21

Bestellliste

Benennung	Bestellnummer
Lichtwurf Lampe T-P5/6 V 15 W klar (Flachkernwendel)	TGL 10619 Blatt 3
Kleinleistungstrans- formator A 15 VA 220/6	ZN 5045
Behälter f. Zubehör Ng/Nf	30 96 70
Schrank mit Rolläden	30 90 18 B
Beleuchtungslinse z. apl.achr. Kondensator 0,9/Xe für Nf	304703:013.24
Behälter für Interphako	309683:002.24
Grundkörper In/Ph 160	305034:001.24
Einsatz Ph	305034:004.24
Revolver Ph positiv und negativ	304124:011.24
farbig und Dunkelfeld	304124:012.24
Ringblendenrevolver In/Ph 160/	304124:016.24
Achromatisch aplanati- schem Kondensator 0,9/X e	304394:001.24
Standardausrüstung	
Interphakomikroskop Nf, ausgerüstet für Inter- ferenz und universellen Phasenkontrast	30-0-055 A
bestehend aus:	
Stativ Nf	30 10 42 C
Kondensortriebkasten W2	30 10 90 B
Tischträger Z	30 48 01 C
Objektstisch K2	30 53 10 B
Binokularem geradem Tubus 23,2/120	30 50 03 D
Objektivrevolver 5 X	30 52 06
Planachromat 6,3/0,16 160/-	30 21 13 C
Planachromat 16/0,32 160/0,17	3021 15C
Planachromat 40/0,65 160/0,17 mit Präparateschutz	30 21 17 C

Benennung	Bestellnummer
Planachromat HI 100/1,25 160/0,17 mit Präparateschutz	30 21 19 A
2 Okularen PK 6,3 X	30 33 02 A
2 Okularen PK 10 X	30 33 03 B
Okular PK 12,5 X	303304:001.24
Okular PK 12,5 X stellbar	303314:001.24
Strichplatte in Behälter	30 57 16
Okularmeßplatte 10 :100 in Behälter	305710:002.24
Interferenzfilter $\lambda = 551 \text{ nm}$	32 81 61 AF
Gelbgrünfilter VG 932 Ø/4	304755:042.00
Doppelflasche	30 87 20
10 cm ³ Immersionsöl	30 87 21
Lichtwurf Lampe T-P5/6 V 15W klar (Flachkernwendel)	TGL 10619 Blatt 3
Kleinleistungstrans- formator A 15 VA 220/6	ZN 5045
Behälter f. Zubehör Ng/Nf	30 96 70
Schrank mit Rolläden	30 90 18 B
Beleuchtungslinse z. apl.achr. Kondensator 0,9/Xe für Nf	304703:013.24
Behälter für Interphako	309683:002.24
Grundkörper In/Ph 160	305034:001.24
Einsatz In	305034:003.24
Einsatz Ph	305034:004.24
Halbschattenplatte In	304124:006.24
Revolver Ph positiv und negativ	304124:011.24
farbig und Dunkelfeld	304124:012.24
Ringblendenrevolver In/Ph 160/	304124:016.24
Gitterblendenrevolver In	304124:021.24
Spaltblende In, stellbar	304124:024.24
Achromatisch aplanati- schem Kondensator 0,9/X e	304394:001.24

aus Jena

Präzision und Qualität von Weltruf

Durch ständige Weiterentwicklung unserer Erzeugnisse können Abweichungen von den Bildern und dem Text dieser Druckschrift auftreten. Die Wiedergabe - auch auszugsweise - ist nur mit unserer Genehmigung gestattet. Das Recht der Übersetzung behalten wir uns vor. Für Veröffentlichungen stellen wir Reproduktionen der Bilder, soweit vorhanden, gern zur Verfügung.

Text: Dr. H. Beyer • Gestaltung: F. Leiblich
Deutsche Demokratische Republik • V/1/16 666 1251 Ag 29/243/66

VEB Carl Zeiss JENA

Vertriebsabteilung Mikroskope

Fernsprecher: Jena 2 70 42 • Fernschreiber: Jena 058 8622

Druckschriften-Nr. **30-305a-1**

VERTRETUNG: