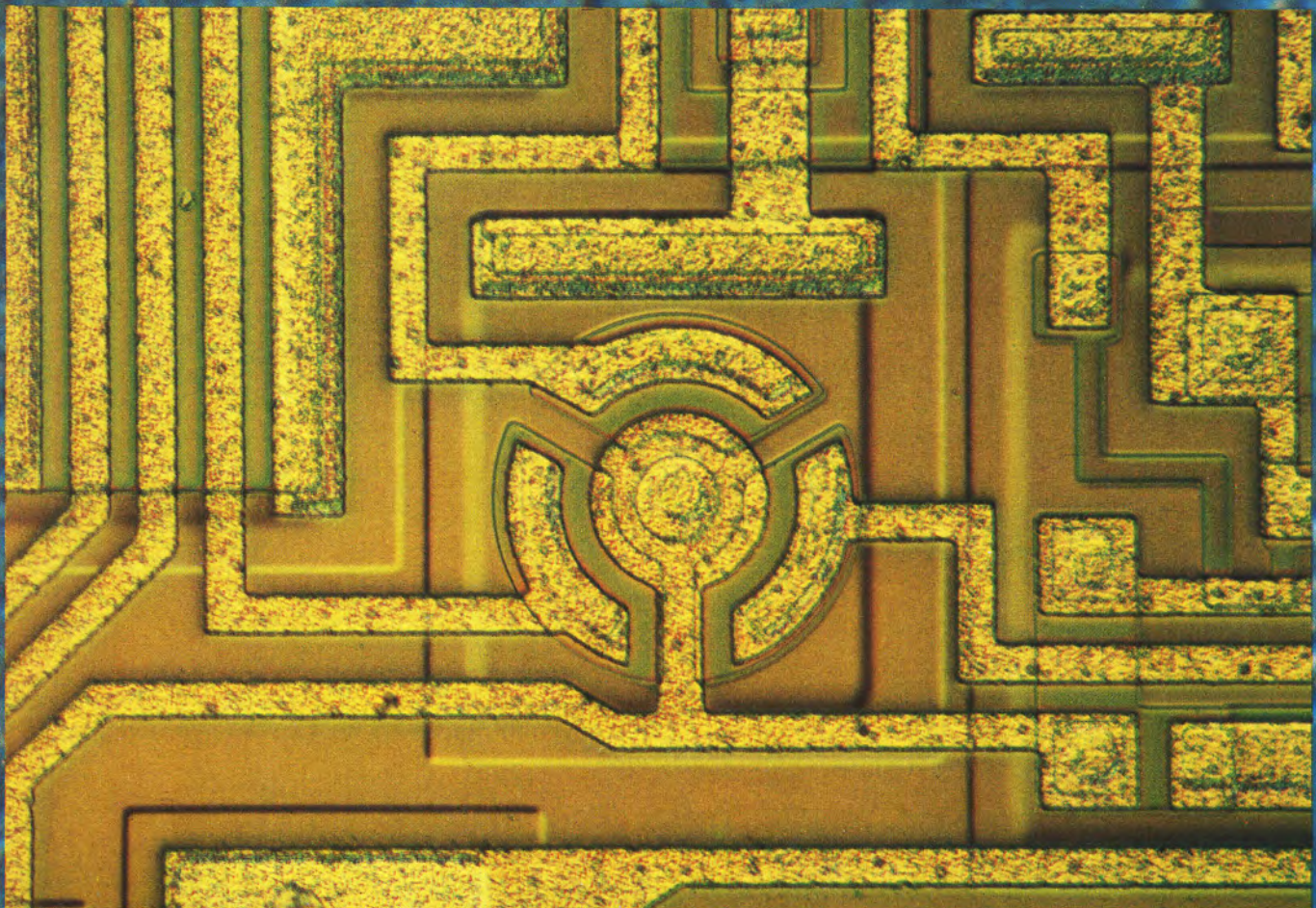


aus JENA

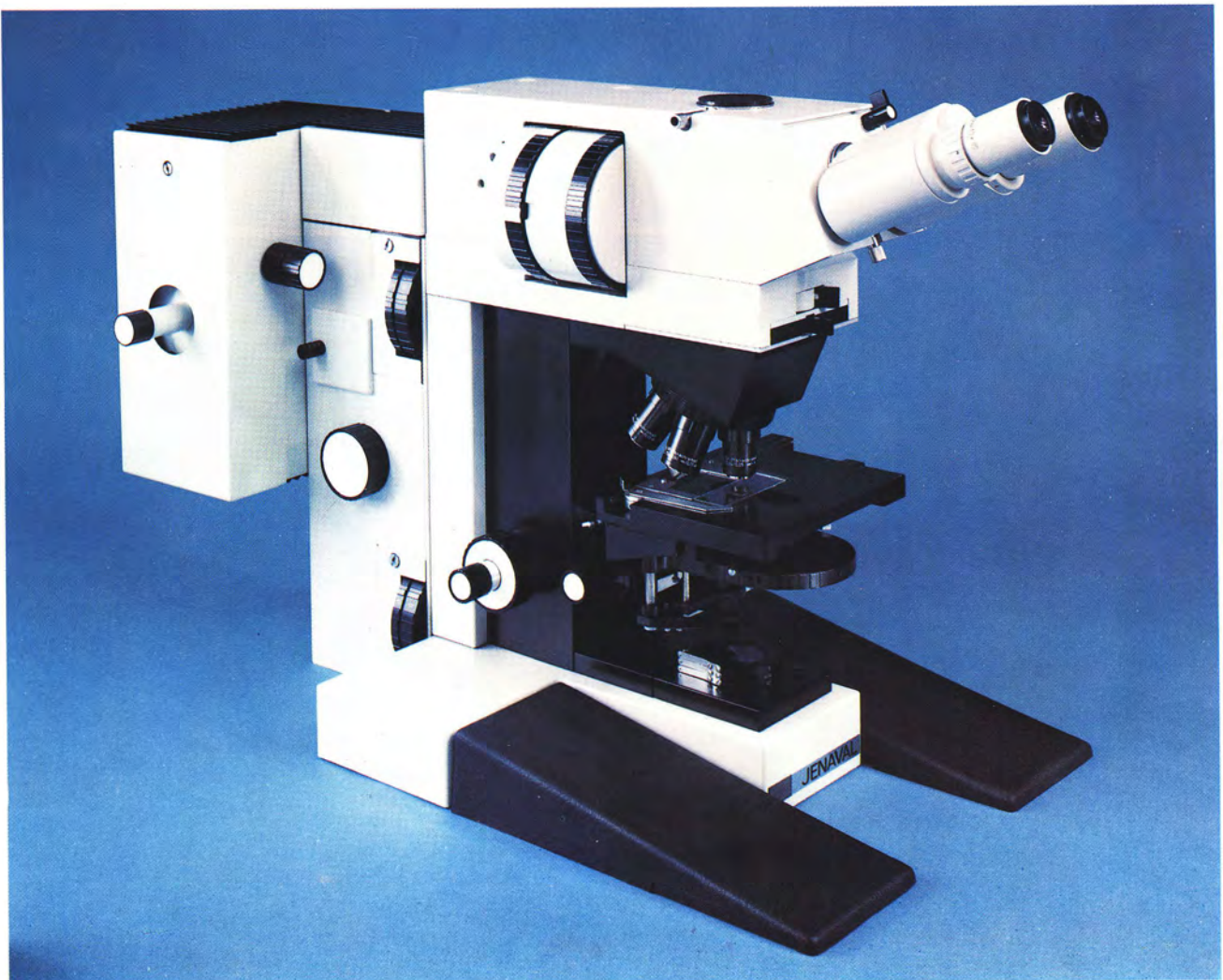
JENA
MIKROSKOPE
250-CF

Kontrastverfahren in der Mikroskopie



Titelbild:
Schaltkreis
Objektiv: GF-PA 25×/0,50 ∞/0
Differentieller Interferenzkontrast

Bild 1.
Durchlicht-Forschungsmikroskop
JENAVAL contrast



Prinzipien und Effekte der optischen Kontrastierungsverfahren

Lebende, ungefärbte biologische Materialien und viele technische Objekte aus der Mikrowelt stellen Phasenobjekte dar. Sie beeinflussen zum größten Teil nur die Phase des Lichtes, das sie durchstrahlt, und sind dem Beobachter nur dann als mikroskopisches Bild sichtbar, wenn sie durch geeignete Eingriffe in das Abbildungssystem optisch kontrastiert werden.

Die geläufigsten Verfahren dazu sind der Phasenkontrast, das Dunkelfeld und der differentielle Interferenzkontrast.

Die Bilder, die mit diesen Verfahren erzeugt werden, unterscheiden sich in ihrem Charakter.

Der Anwender ist daher oft unsicher, welche Kontrastierungsart für seinen speziellen Fall die richtige ist, d. h., welches Verfahren ihm maximale und zuverlässige Objektinformationen liefert.

Außerdem muß er den Informationsgehalt des Bildes aufschlüsseln, und zwar in den wahren Anteil, der vom Objekt herrührt, und in den artefiziellen Anteil, der verfahrensbedingt in das Bild gelangt. Die Kontrastierungsprinzipien sind bei Phasenkontrast und differentiellem Interferenzkontrast grundsätzlich verschieden.



Bild 2.

Anabaena variabilis, Vegetationsformen, lebend in Glycerin-Wasser
Präparat: Sektion Biologie der
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Objektiv: GF-PA 25×/0,50 ∞/0,17

Bild 2.1.

Hellfeld

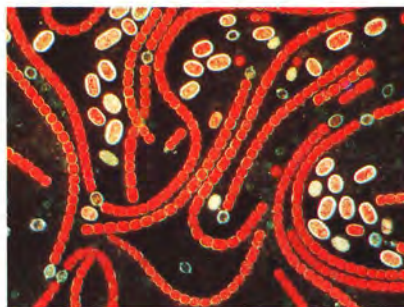


Bild 2.2.

Dunkelfeld

Bild 2.3.

Differentieller Interferenzkontrast

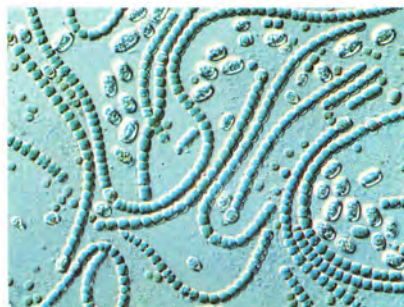
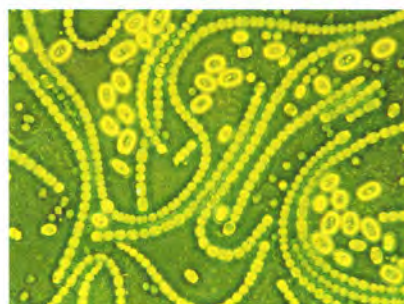
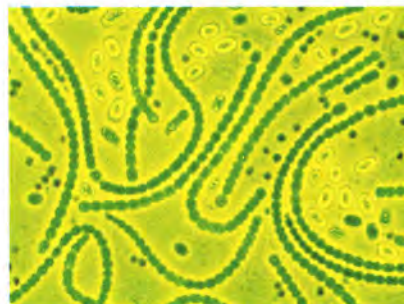


Bild 2.4.

Positiver Phasenkontrast

Bild 2.5.

Negativer Phasenkontrast



Nach ABBE enthält die Beugungsfigur in der hinteren Brennebene des Objektivs alle erreichbare Objektinformation. Beim Phasenkontrast wird insofern in diese Beugungsfigur eingegriffen, als die Phase des direkten Lichtes mittels eines ringförmigen Phasenmodulators gegenüber der Phase des gebeugten Lichtes gedreht wird. Dadurch erscheinen Objekte unterschiedlicher Brechzahl und Dicke im Bild unterschiedlich hell, d. h., das Objekt hebt sich mehr oder weniger kontrastreich von seiner Umgebung ab. Der Eingriff in die Beugungsfigur ist nicht in aller Strenge durchführbar, weil das direkte Licht nicht exakt getrennt vom gebeugten Licht beeinflusst werden kann. Als Folge erscheint im Bild die artifizielle Information: der Halo. Das sind helle Höfe, die sich um dunkel erscheinende Objekte legen, also Bildstrukturen, denen keine Objektstrukturen entsprechen. Im positiven Phasenkontrast erscheint das Objektbild dunkler als die Umgebung, wenn die Brechzahl des Objekts etwas größer ist als die Brechzahl des Einbettungsmediums. Der Halo äußert sich dann in seiner zum Objekt zunehmenden Aufhellung der unmittelbaren Umgebung des Objektes, in maximalem Kontrast an der Objektgrenze und in einer zur Objektmitte hin zunehmenden Aufhellung. Ein homogenes Objekt in einer homogenen Umgebung erscheint folglich mit inhomogener Helligkeit. Die Phasendrehung und Durchlässigkeit des Phasenmodulators können natürlich auch so dimensioniert werden, daß o. g. Objekte hell auf dunklem Untergrund abgebildet werden. In diesem Falle spricht man von negativem Phasenkontrast. Dieser hat den Vorteil, daß im Gegensatz zum positiven Phasenkontrast die Phasendrehung des Objektes größer sein kann, ehe eine Kontrastumkehr (Inversion) eintritt. Weiterhin sind kleine, bewegte (lebende) Objekte im negativen Phasenkontrast besonders gut aufzufinden und zu identifizieren. Der verfahrenstypische Halo-Effekt des Phasenkontrastes variiert mit der Gestalt des Phasenmodulators, der Gestalt der Aperturblende und der lateralen Ausdehnung des Objektes.

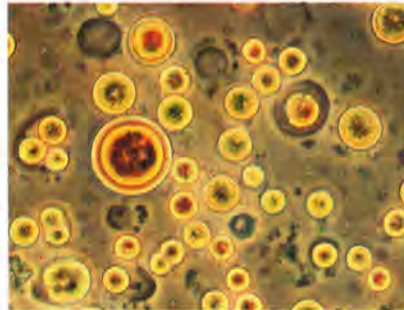


Bild 3.
Spongiocloris excernica in Mikro-
kultur
Präparat: Sektion Biologie der
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Objektiv: GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17
Positiver Phasenkontrast

Um der Anpassung an größere und kleinere Phasenobjekte besser gerecht zu werden, sind ein Teil unserer Phasenkontrastobjektive und Kontrasttubus-Phasenmodulatoren mit 2 Ringen unterschiedlicher Breite ausgerüstet. Diese Ringe sind so angeordnet, daß entweder beide Ringe gleichzeitig wirken, oder der große, breite Ring durch Zuziehen der Aperturblende abgedeckt wird, so daß nur der kleine, schmale Ring wirkt. Für die Untersuchung größerer Objekte ist der kleine Ring und für kleinere Objekte sind beide Ringe einzusetzen. Öffnet man die Aperturblende weit über den großen Ring hinaus, beginnt der Hellfeldanteil der Ringblende zu wirken. Das durch diese einfache Manipulation erzeugte „Quasi“-Hellfeld gestattet die rasche Identifizierung etwa vorhandener Amplituden-Objekte.

Dieser Vorteil der Flexibilität des variablen Phasenkontrastes führt aber auch dazu, daß an bestimmten Objekten Doppelsäume oder Pseudophasenstrukturen auftreten können. Deshalb hat auch der Phasenkontrast mit nur einem Ring seine Bedeutung. In Phasenkontrastobjektiven besitzt der Phasenring eine Transmission von 25 % und eine Phasendrehung von $+90^\circ$; damit ist ein maximaler Kontrast für Objekte mit relativer Phasendrehung von $26,5^\circ$ zu erzielen. Wird das Phasenkontrastverfahren durch ein Zwischenabbildungssystem erzeugt, bei dem am Ort der Pupille das Phasenplättchen angeordnet ist, so besteht hierbei die Möglichkeit, diesem eine Transmission von z. B. 10 % zuzuordnen. Bei diesem Phasenkontrast mit verstärkter Absorption tritt ein maximaler Kontrast bei einer relativen Phasendrehung des Objektes von $17,5^\circ$ ein.

Damit ist eine optimale Phasenkontrastierung für ein vorliegendes Objekt auch vom Transmissionsgrad des Phasenmodulators abhängig und kann beim Vorhandensein von Phasenmodulatoren unterschiedlicher Transmission an das Objekt angepaßt werden.

Differentieller Interferenzkontrast

Beim differentiellen Interferenzkontrast wird das mikroskopische Bild unabhängig vom Objekt in zwei kohärente Anteile aufgespaltet, die in gleicher Weise vom Objekt deformiert sind und schließlich um einen „differentiellen“ Betrag lateral verschoben miteinander interferieren. Auf diese Weise kommt der reliefartige Kontrast zustande, der für dieses Verfahren typisch ist. Das Reliefbild erweckt den Anschein einer bestimmten räumlichen Ausdehnung der Objektdetails. Der Anwender wird dazu verleitet, die Geometrie des Bildes als die des Objektes anzusehen. Das ist aber im allgemeinen unzulässig, weil das dargestellte Gangunterschiedsprofil sowohl von der Dicke des Objektes als auch von der Brechzahl Differenz zwischen Objekt und Umgebung herrührt. Darüber hinaus bedingt die Richtung der Bildaufspaltung, die das Interferometer vorgibt, eine nicht rotationssymmetrische Kontrastierung im Gegensatz zum Phasenkontrast. Kontrastmaxima sind nur in einer Vorzugsrichtung zu erwarten; linienförmige Strukturen, die in Aufspaltungsrichtung liegen und über das Sehfeld hinausgehen, können völlig unsichtbar bleiben.

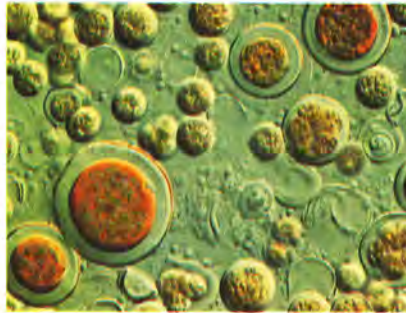


Bild 4.
Spongiochloris excernica in Mikro-
kultur
Präparat: Sektion Biologie der
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Objektiv: GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17
Differentieller Interferenzkontrast

Der Beobachter ist also gezwungen, die Untersuchung unter Drehen seines Präparates durchzuführen. Sind statistisch und dicht verteilte „punktförmige“ Objekte in der Größenordnung der Auflösungsgrenze wesentliche Strukturen des Präparates, kann die azimutale Abhängigkeit des Kontrastes zu einem „Moire“-Charakter des Bildes führen. Die Strukturen scheinen dann in Vorzugsrichtungen angeordnet zu sein, die nicht mit der Aufspaltungsrichtung übereinstimmen, aber zu dieser einen festen Bezug haben. Bei einer Drehung des Präparates bleibt die Richtung der „Pseudostrukturen“ erhalten.

In nachstehender Tabelle sind Vor- und Nachteile des Phasenkontrast- und differentiellen Interferenzkontrastverfahrens und deren Effekte gegenübergestellt.

Bewertung des Phasenkontrast- und differentiellen Interferenzverfahrens

Phasenkontrast

a) Vorteile

Rotationssymmetrische Kontrastierung (kein Azimut-Effekt). Sehr gute Kontrastierung bei geringen Objekt-Phasendrehungen.

b) Nachteile

Halo-Effekt.
Artefizielle Kontraständerung abseits von Phasengrenzen. Kleine Objektdetails in unmittelbarer Nachbarschaft von Phasengrenzen können im Halo verschwinden (besonders im Inneren von Objekten mit hohem Gangunterschied).
Kontastverlust bzw. Inversion bei Gangunterschieden $> \lambda/6$, Objekte mit großer Phasendrehung erfordern präparativen Brechzahlangleich mit der Umgebung („index matching“).
Bildstörung bei dicken Objekten. Sie führt zu Informationsverlust durch verminderte Bildqualität und verminderten Kontrast.
Aussagen zum Trockenmassegehalt biologischer Objekte nur für geringe Gangunterschiede möglich.

differentieller Interferenzkontrast

Kein Halo-Effekt.
Abbildung von Objektdetails in unmittelbarer Nähe von Phasengrenzen nicht behindert, Brechzahlangleich Objekt-Umgebung nur selten erforderlich.
Geringe Tiefenschärfe, dadurch „optisches Schneiden“ an dicken Objekten möglich.
Gute Kontrastierung bei großen Objekt-Phasendrehungen.
Aussagen zum Trockenmassegehalt biologischer Objekte auch bei hohen Gangunterschieden möglich.

Der Reliefeffekt verleitet zu Fehldeutungen des Bildes. Azimut-Effekt.
Nichtrotationssymmetrische Kontrastierung; lineare Strukturen werden nur dann kontrastiert, wenn sie nicht in Aufspaltungsrichtung liegen. Ausbildung artefizieller Pseudo-Texturen an speziellen Objekten. Geringe Kontrastierung bei sehr kleinen Phasendrehungen.

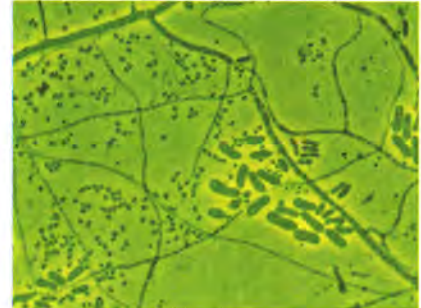


Bild 5.
Mikrobenpopulation in Mikrokultur
Präparat: Sektion Biologie der
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Bild 5.1.
Objektiv GF-PA 40 $\times$ /0,65 ∞ /0,17
Positiver Phasenkontrast

Bild 5.2.
GF-PApo 50 $\times$ /0,95 ∞ /0,17
Differentieller Interferenzkontrast

Dunkelfeld

Das Prinzip besteht darin, daß alles direkte, vom Objekt unbeeinflusste Licht nicht zur Abbildung beiträgt (dunkles Umfeld) und nur solches Licht in das Objektiv gelangt, das vom Objekt abgelenkt, d. h. gebrochen, gebeugt oder gestreut wurde (helles Objektbild). Die Umrißlinien von Phasenstrukturen, insbesondere von kleinen Objektdetails, erscheinen somit hell leuchtend auf dunklem Untergrund. Im Dunkelfeld werden sehr kleine isodiametrische oder fibrilläre Strukturen sichtbar, deren Größe auch unter der des lichtmikroskopischen Auflösungsvermögens liegen kann. Zur Erzeugung des Dunkelfeldes verwendet man

- spezielle Kondensoren, die zur Beleuchtung des Objektes nur Strahlenbündel zulassen, deren Apertur größer ist als die des jeweils verwendeten Objektivs. Dabei werden die unerwünschten Lichtanteile entweder durch geeignete Mittenblenden oder durch das lichtstärkere Kardiodprinzip ausgeschlossen.
- Mittenblenden, die üblichen Hellfeldkondensoren zugeordnet sind. Die Mittenblenden werden in der Nähe der Aperturblebenebene untergebracht.
- Einen Sonderfall stellt das zentrale Dunkelfeld dar. Hierbei wird anstelle des Phasenringes ein undurchsichtiger Ring benutzt, so daß nur noch gebeugtes Licht in die Zwischenebene gelangt.
Zum Unterschied der anderen Dunkelfeldverfahren gelangt auch direktes Licht ins Objektiv und wird erst in der Austrittspupille zurückgehalten. Der Vorteil des zentralen Dunkelfeldes besteht darin, daß von jedem Beleuchtungsbündel nach allen Seiten abgebeugtes Licht zur Bildentstehung beiträgt.

Dem steht der Nachteil des an den Linsenflächen entstehenden Streulichtes gegenüber, was zu einer geringen Aufhellung des Untergrundes führt. Das zentrale Dunkelfeld ist besonders in Verbindung mit der Farb-Immersion-Methode zur Klassifizierung von Mineralstaubgemischen geeignet.

Shearing- und Interphakoverfahren

Die bisher genannten Verfahren erzeugen von Phasenstrukturen kontrastreiche Bilder, Shearing- und Interphakoverfahren erlauben zusätzlich noch die Vermessung der dritten Dimension.

Hierzu muß eine vom Objekt unabhängige Aufspaltung des Strahlenganges erfolgen, damit in der Zwischenbildebene die Objektwellenfront mit einer dazu kohärenten Referenzwellenfront zur Interferenz gelangen kann. Quantitative mikroskopische Verfahren zur Messung der Brechzahl oder der Dicke werden deshalb mit sogenannten Interferenzmikroskopen möglich.

Beim Shearingverfahren wird die Strahlentrennung erst hinter dem Objektiv, also abbildungsseitig vorgenommen. Der etwas verschobenen Referenzwelle sind ebenfalls die Objektstrukturen aufgeprägt, so daß von jedem Objekt ein Doppelbild entsteht (totale Bildaufspaltung). Dieses Doppelbild wird dann zu Meßzwecken genutzt.

Das Interphakoverfahren arbeitet ohne Bildaufspaltung und gestattet die Verwendung relativ großer Beleuchtungsaperturen. Wegen seiner hohen Bildqualität ist das Verfahren besonders zur Messung und Untersuchung kleinster Objekte bis in die Nähe der Auflösungsgrenze geeignet. Dieses Verfahren ist ein vom Phasenkontrast abgeleitetes Interferenzverfahren, bei dem durch einen Eingriff in das Beugungsbild in einem Interferometerzweig eine nahezu ebene Referenzwelle erzeugt wird. Diese Welle wird mit der vom Objekt deformierten Wellenfront, die den anderen Interferometerzweig durchläuft, zur Interferenz gebracht. Neben der Messung erlauben beide Verfahren auch die Kontrastierung von Phasenobjekten. Das mikroskopische Bild des Shearingverfahrens mit differentieller Bildaufspaltung ergibt die gleichen plastischen Bilder wie die Bilder der Polarisationsinterferometers mit Wollaston-Prisma (differentieller Interferenzkontrast). Das Interphakoverfahren liefert farbige „Phasenkontrastbilder“, wobei gleiche Farben im Prinzip gleicher optischer Dicke entsprechen.

Kontrastverfahren mit den JENA-MIKROSKOPEN 250-CF Der Kontrasttubus



Bild 6.
Der bildseitige Modulatorrevolver und
die Modulatoren des Kontrasttubus
zum JENAVAL

Mit den konventionellen Kontrasteinrichtungen sind die notwendigen Kontrolluntersuchungen, auf die im vorangegangenen Abschnitt hingewiesen wurde, zwar durchführbar, aber für den Anwender mit zeitraubenden Umbau- und Justierarbeiten verbunden. Auch die bisher bekannt gewordenen Zwischenabbildungssysteme, die die Objektivaustrittspupille in eine für die Durchführung optischer Kontrastierungsverfahren zugänglichen Ebene abbilden, stellen keine universelle Lösung des Kontrastierungsproblems dar.

Das NOMARSKI-Verfahren, das die Verwendung fast uneingeschränkter Beleuchtungsaperturen gestattet, kann prinzipiell nicht mit den bisher auf dem Markt angebotenen Zwischenabbildungssystemen durchgeführt werden.

Das NOMARSKI-Verfahren erfordert Wollastonprismen in der Eintritts- und Austrittspupille des Mikroskops und linear polarisiertes Licht am Ort der Eintritts- und Austrittspupille bzw. des Pupillenbildes.

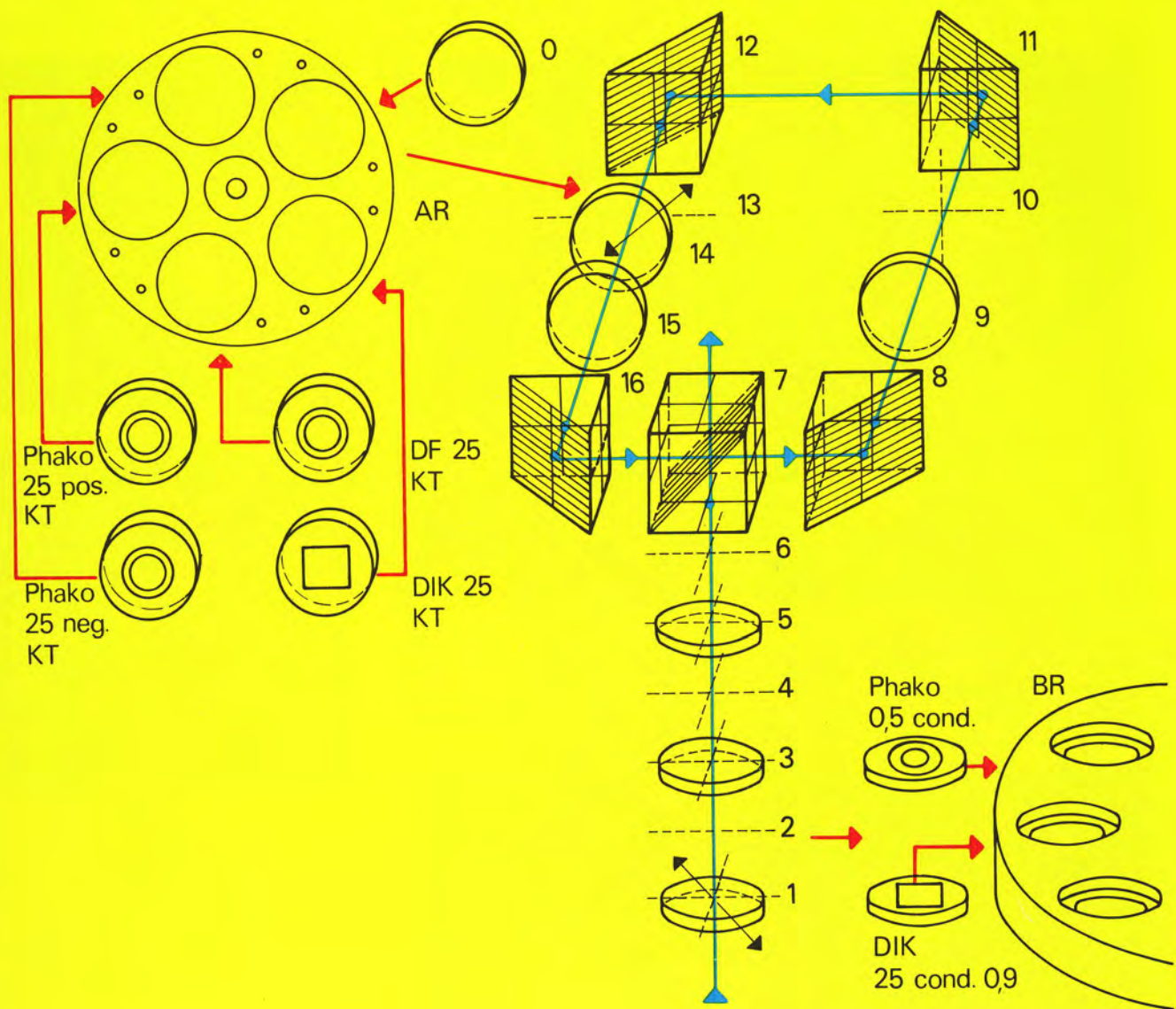
Mit dem Kontrasttubus des JENA-Systems wurde erstmalig ein Zwischenabbildungssystem geschaffen, das der Grundbedingung für polarisationsoptischen Interferenzkontrast hinreichend genügt.

Damit lassen sich Sehfelder bis zur Feldzahl 32 in guter Qualität kontrastieren, d. h. die Rest-Elliptizität ist so gering, daß sie praktisch nicht stört. Am Ort des Pupillenbildes befindet sich ein Revolver, der wahlweise mit Wollastonprismen, mit Phasenplättchen für positiven und negativen Phasenkontrast und mit Ringblenden für zentrales Dunkelfeld vom Anwender bestückt werden kann. Das zugeordnete Gegenstück dieses „Modulatorrevolvers“, der beleuchtungsseitige Revolver, wird in die Brennebene des

Kondensors eingesetzt. Der Kontrasttubus des JENA-Systems versetzt den Mikroskopierenden somit in die Lage, alle wichtigen optischen Kontrastierungsverfahren, wie positiver Phasenkontrast, negativer Phasenkontrast, zentrales Dunkelfeld und polarisationsoptischen Interferenzkontrast mit derselben Einrichtung durchzuführen. Gewechselt werden nur die Modulatoren in den Pupillen. Der Wechsel erfolgt bequem und rasch. Das Objektiv und damit der Bildstand bleiben dabei unverändert.

Bild 7.
Prinzipschema des Kontrasttubus mit
Ausführungsbeispiel für die durch-
führbaren optischen Kontrastierungs-
verfahren mit dem GF-PA 25×/0,50
 $\infty/0,17$

- 1 Polarisator
 - 2 Kondensorbrennebene
 - 3 Kondensor
 - 4 Objekzebene
 - 5 Objektiv
 - 6 Austrittspupille
 - 7 Würfel
 - 8, 11, 12, 16 Umlenkelemente
 - 9 Zwischenabbildungsoptik
 - 10 Zwischenbild
 - 13 Bild der Austrittspupille (6)
 - 14 Analysator
 - 15 Vergrößerungswechsler (Stufen 0,8×; 1,0×; 1,25×)
- BR Beleuchtungsseitiger Modulatorrevolver
AR Abbildungsseitiger Modulatorrevolver



Die „kleinen“ Einrichtungen der konventionellen Kontrastverfahren

Für all diejenigen Anwender unserer Mikroskope, die für die Untersuchung ihrer speziellen Phasenobjekte nur eine Vergrößerung brauchen, wäre die Anschaffung einer kompletten Phasenkontrast- bzw. Interferenzkontrasteinrichtung natürlich nicht wirtschaftlich.

Aus diesem Grunde bieten wir die „kleinen Einrichtungen“ für Phasenkontrast und Interferenzkontrast an.

Eine „kleine Einrichtung Phasenkontrast“ funktioniert mit einem Phasenobjektiv mit passender Ringblende und einer Einzelblendenaufnahme. Soll die Einrichtung um ein Phasenobjektiv erweitert werden, ist nur die Bestellung des Phasenobjektivs mit der entsprechenden Ringblende als eigentlich „kleine Einrichtung“ erforderlich.

Beide Einheiten sind in der Bestellliste zusammengefaßt.

Analog dazu besteht die „kleine Einrichtung Interferenzkontrast“ aus einem Zwischenring DIK d, der das dem Objektiv angepaßte Wollastonprisma enthält, und dem passenden beleuchtungsseitigen Wollastonprisma. Die einmalige funktionsnotwendige Bestellung umfaßt dagegen eine Einzelblendenaufnahme, einen Polarisator DIK d, einen Analysatorschieber DIK d und einen „leeren“ Zwischenring für vergleichende Phasenkontrast-Untersuchungen.

Der differentielle Interferenzkontrast nach NOMARSKI ist auch für Auflicht geeignet. Gegenüber Durchlicht ist hier nur noch ein Wollastonprisma erforderlich, weil dieses zweimal durchsetzt wird und deshalb gleichzeitig die Funktionen des beleuchtungs- und abbildungsseitigen Prismas übernimmt.

Unsere Einrichtungen für differentiellen Interferenzkontrast am JENA-VERT bestehen aus dem Polarisator DIK a, dem Zwischenring DIK a und der Aufnahme DIK a, die den zum jeweiligen Objektiv gehörenden Prismenschieber DIK a trägt, sowie dem Analysator orientierend a und dem Kompensator λ a. Der differentielle Interferenzkontrast bewährt sich bei der Untersuchung von Oberflächenstrukturen von Metallen,

Erzen, Gläsern, Keramik, Kristallen usw. sowie bei der Prüfung von Wafern der Halbleiterindustrie.

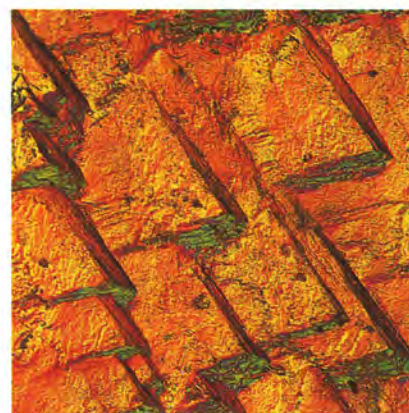
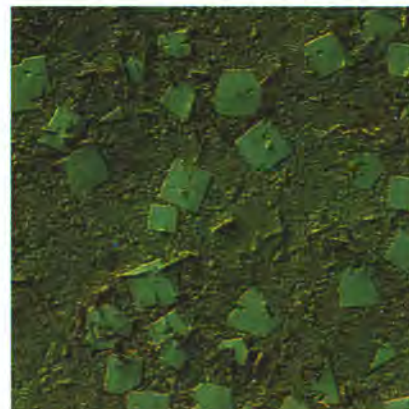


Bild 8.

Lagerweißmetall WM 10, metallographische Schliffpräparation
Präparat: Sektion Metallurgie der Bergakademie Freiberg
Objektiv: GA-PA 25 $\times$ /0,50 ∞ /0
Differentieller Interferenzkontrast

Bild 9.

Ätzfiguren am KDP-Kristall
Objektiv: GF-PA 12,5 $\times$ /0,25 ∞ /—
Differentieller Interferenzkontrast

Die „kleinen“ Einrichtungen der konventionellen Kontrastverfahren

Für all diejenigen Anwender unserer Mikroskope, die für die Untersuchung ihrer speziellen Phasenobjekte nur eine Vergrößerung brauchen, wäre die Anschaffung einer kompletten Phasenkontrast- bzw. Interferenzkontrasteinrichtung natürlich nicht wirtschaftlich.

Aus diesem Grunde bieten wir die „kleinen Einrichtungen“ für Phasenkontrast und Interferenzkontrast an.

Eine „kleine Einrichtung Phasenkontrast“ funktioniert mit einem Phasenobjektiv mit passender Ringblende und einer Einzelblendenaufnahme. Soll die Einrichtung um ein Phasenobjektiv erweitert werden, ist nur die Bestellung des Phasenobjektivs mit der entsprechenden Ringblende als eigentlich „kleine Einrichtung“ erforderlich.

Beide Einheiten sind in der Bestellliste zusammengefaßt.

Analog dazu besteht die „kleine Einrichtung Interferenzkontrast“ aus einem Zwischenring DIK d, der das dem Objektiv angepaßte Wollastonprisma enthält, und dem passenden beleuchtungsseitigen Wollastonprisma. Die einmalige funktionsnotwendige Bestellung umfaßt dagegen eine Einzelblendenaufnahme, einen Polarisator DIK d, einen Analysatorschieber DIK d und einen „leeren“ Zwischenring für vergleichende Phasenkontrast-Untersuchungen.

Der differentielle Interferenzkontrast nach NOMARSKI ist auch für Auflicht geeignet. Gegenüber Durchlicht ist hier nur noch ein Wollastonprisma erforderlich, weil dieses zweimal durchsetzt wird und deshalb gleichzeitig die Funktionen des beleuchtungs- und abbildungsseitigen Prismas übernimmt.

Unsere Einrichtungen für differentiellen Interferenzkontrast am JENA-VERT bestehen aus dem Polarisator DIK a, dem Zwischenring DIK a und der Aufnahme DIK a, die den zum jeweiligen Objektiv gehörenden Prismenschieber DIK a trägt, sowie dem Analysator orientierend a und dem Kompensator λ a. Der differentielle Interferenzkontrast bewährt sich bei der Untersuchung von Oberflächenstrukturen von Metallen,

Erzen, Gläsern, Keramik, Kristallen usw. sowie bei der Prüfung von Wafern der Halbleiterindustrie.

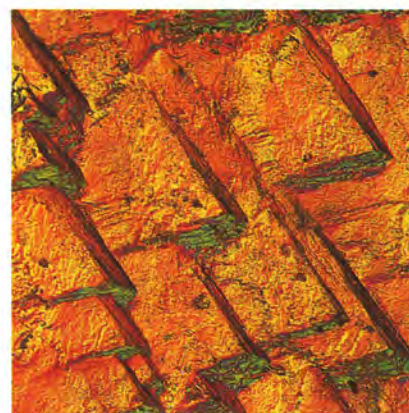
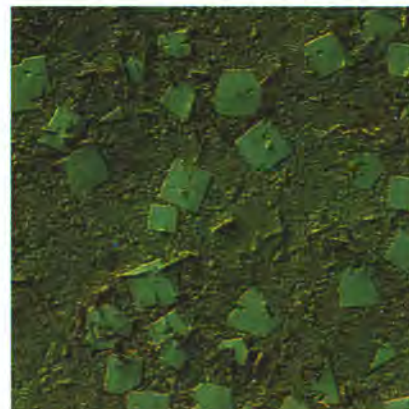


Bild 8.

Lagerweißmetall WM 10, metallographische Schliffpräparation
Präparat: Sektion Metallurgie der Bergakademie Freiberg
Objektiv: GA-PA 25 $\times$ /0,50 ∞ /0
Differentieller Interferenzkontrast

Bild 9.

Ätzfiguren am KDP-Kristall
Objektiv: GF-PA 12,5 $\times$ /0,25 ∞ /—
Differentieller Interferenzkontrast

Dunkelfeldverfahren (im Durchlicht)

Speziell für das Dunkelfeld wird der DF-Kondensor 0,12-0,6 als Trockenkondensor und der DF-Kondensor 1,2 als Immersionskondensor angeboten. Ersterer besitzt einen Mittenblenden-zoom, der zweite eine integrierte Ringlinse.

Als Mittelblenden für unsere Hellfeldkondensoren werden die Blendenschieber DF 10, DF 20, und DF 40 für JENAMED angeboten.

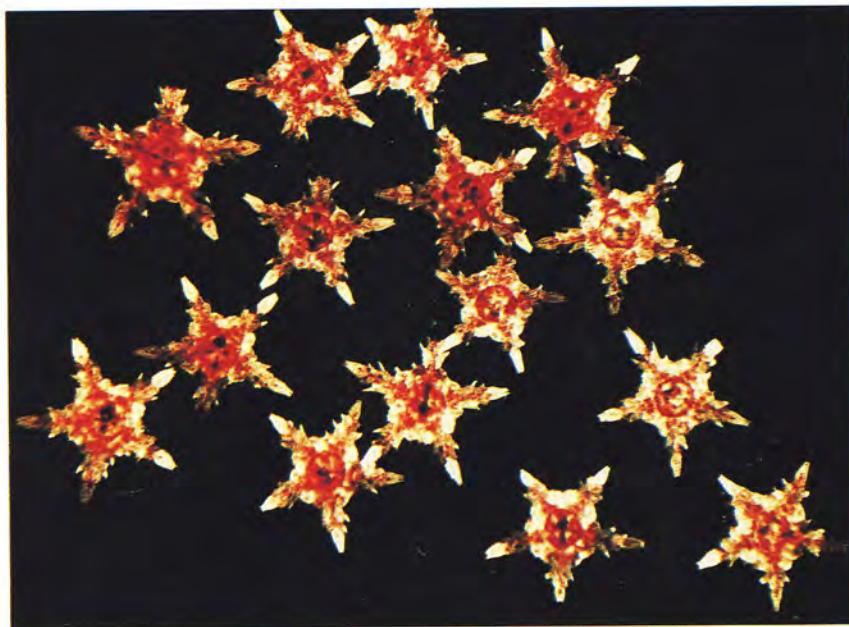


Bild 10.
Seesternlarven; Dunkelfeld
Präparat: Sektion Biologie der
Friedrich-Schiller-Universität Jena

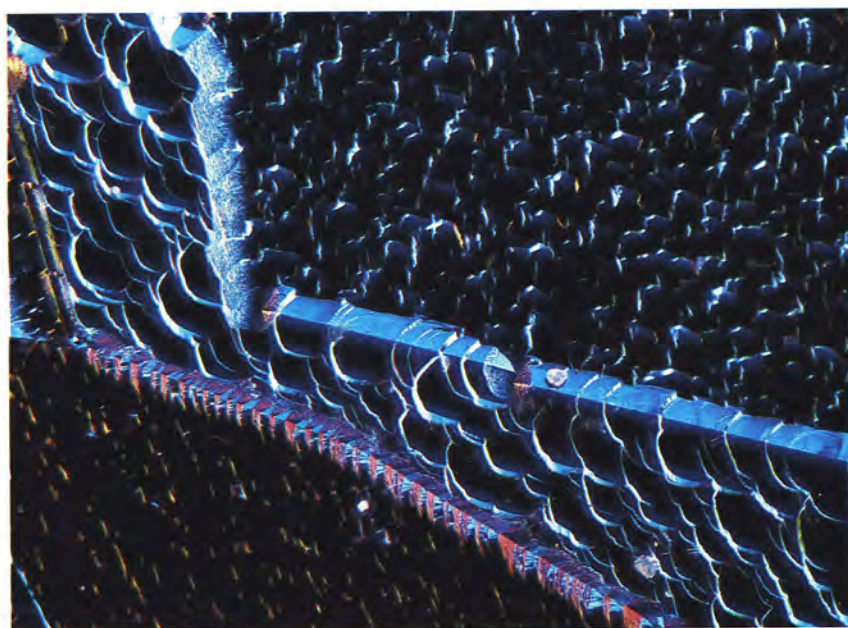


Bild 11.
Polykristall
Objektiv: GF-PA 12,5×/0,25 ∞/-
Dunkelfeld

aus JENA

JENOPTIK JENA GmbH
Deutsche Demokratische Republik
DDR 6900 Jena, Carl-Zeiss-Str.1
Telefon: 830 Telex: 5886122

Satz: Druckhaus Aufwärts Leipzig
Druck: Elbe-Saale-Druckerei Naumburg
Betrieb der VOB Aufwärts
Ag 29-142-85 7.0 (3768)

Druckschriften-Nr. 30-0540-1

Bestellliste	Bestellnummer
Kontrastmikroskopie mit JENA-MIKROSKOPEN 250-CF 1. Kontrastmikroskope 1.1. Kontrastmikroskope für Durchlicht-Hellfeld, positiven und negativen Phasenkontrast, differentiellen Interferenzkontrast (DIK) sowie zentralem Dunkelfeld im schnellen Wechsel JENAVAL contrast, GF-PA 300430:762.20/6 JENAVAL contrast, GF-PA/Xe 300430:782.20/1 JENAVAL contrast, GF-PApo 300430:862.20/1 Details siehe Druckschrift JENAVAL 30-0020-1. 1.2. Kontrastmikroskope für Auf- und Durchlichtfluoreszenz, Hellfeld, positiven und negativen Phasenkontrast, differentiellen Interferenzkontrast (DIK) sowie zentralem Dunkelfeld im schnellen Wechsel. Kontrastverfahren simultan oder alternativ zur Fluoreszenz. JENALUMAR contrast 300431:865.20/5 Details siehe Druckschrift JENALUMAR 30-0050-1. Eine nachträgliche Anpassung des Kontrasttubus an das JENAVAL bzw. JENALUMAR ist nicht möglich.	
2. Kontrasteinrichtungen für JENA-MIKROSKOPE 250-CF 2.1. Phasenkontrasteinrichtungen 2.1.1. für JENAMED variant und JENAMED 2 außer JENAMED 2 histology Einrichtung Phasenkontrast R mit Achromaten ph¹⁾ 2) 300470:211.21/1 bestehend aus: Objektiv A 10×/0,25 ∞/-A ph 302231:332.26/8 Objektiv A 20×/0,45 ∞/0,17 A ph 302232:335.26/2 Objektiv A 40×/0,65 ∞/0,17 A ph 302239:333.26/1 Objektiv A HI 100×/1,25 ∞/0,17 A ph 302236:332.26/3 Immersionsöl n_D = 1,515 308721:020.24/2 Ringblendenschieber 0,2–0,25 304128:441.24/2 Ringblendenschieber 0,45–0,56 304128:443.24/2 Ringblendenschieber 0,65–0,80 304128:444.24/3 Ringblendenschieber 0,9–1,4 304128:445.24/4 Behälter 309701:031.24/1 ¹⁾ nicht anwendbar in Verbindung mit JENAMED variant W. F. (Weitfeld) bzw. JENAMED 2 Weitfeld-Ausrüstungen	
Einrichtung Phasenkontrast R mit Planachromaten phv²⁾ 300470:311.21/5 bestehend aus: Objektiv PA 10×/0,20 ∞/A ph 302313:331.26/5 Objektiv PA 20×/0,40 ∞/0,17-A phv 302323:331.26/3 Objektiv GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17-A phv 302538:331.26/6 Objektiv PA HI 100×/1,30 ∞/0,17-A phv 302326:333.26/2 Immersionsöl n_D = 1,515 308721:020.24/2 Ringblendenschieber 0,2 304128:421.24/5 Ringblendenschieber 0,4 304128:422.24/6 Ringblendenschieber 0,65 304128:424.24/8 Ringblendenschieber 0,95–1,4 304128:425.24/0 Behälter 309701:032.24/2	

Bestellliste	Bestellnummer
Kleine Phasenkontrasteinrichtungen R²)	
1. Objektiv PA 10×/0,20 ∞/-A ph	302313:331.26/5
Ringblendenschieber 0,20	304128:421.24/5
2. Objektiv PA 20×/0,40 ∞/0,17 A phv	302323:331.26/3
Ringblendenschieber 0,40	304128:442.24/6
3. Objektiv GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17 A phv	302538:331.26/6
Ringblendenschieber 0,65	304128:424.24/8
4. Objektiv PA HI 100×/1,30 ∞/0,17 phv	302326:333.26/2
Ringblendenschieber 0,95–1,40	304128:425.24/0
5. Objektiv Apo 25×/0,65 ∞/0,17 A phv	302272:331.26/7
Ringblendenschieber 0,65	304128:424.24/8
6. Objektiv Apo 50×/0,9 ∞/0,17 A phv	302271:332.26/6
Ringblendenschieber 0,95–1,40	304128:425.24/0
7. Objektiv Apo HI 100×/1,40 ∞/0,17 A phv	302270:332.26/1
Ringblendenschieber 0,95–1,40	304128:425.24/6
²) Hinweise Zur Ringblendenzentrierung noch erforderlich, falls kein Fototubus mit Bertrandlinse vorhanden ist: Hilfsmikroskop P	
	303207:003.24/5
Zur Verwendung des Hilfsmikroskops am Binokulartubus W. F.:	
Reduzierstück 30/23,2	305018:041.24/0
2.1.2. für JENAMED fl, JENAMED 2 fl und zur Einrichtung Auflichtfluoreszenz R	
Phasenkontrasteinrichtungen wie 2.1.1.	
besonders empfohlen: Kleine Einrichtungen mit Apochromaten phv (Pkt. 5–7)	
2.1.3. für JENAVAL ohne Kontrasttubus	
Einrichtung Phasenkontrast GF-PA	300464:600.21/3
bestehend aus:	
Ringblendenrevolver GF-PA	304128:032.26/6
Objektiv GF-PA 12,5×/0,25 ∞/-A ph	302512:331.26/7
Objektiv GF-PA 25×/0,50 ∞/0,17 A phv	302533:331.26/2
Objektiv GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17-A phv	302538:331.26/6
Objektiv GF-PA HI 100×/1,25 ∞/0-A phv	302536:331.26/8
Immersionsöl n _D = 1,515	308721:020.24/8
Grünfilter V 232 Dmr 32	304755:232.00/7
Grünfilter V 233 Dmr 32	304755:233.00/8
Behälter	309701:001.24/4

Bestellliste	Bestellnummer
Kleine Einrichtungen Phasenkontrast GF-PA³⁾	
1. Objektiv GF-PA 12,5×/0,25 ∞/-A ph Ringblende 0,20–0,25 cond 0,9	302512:331.26/7 304128:201.24/2
2. Objektiv GF-PA 25×/0,50 ∞/0,17 A phv Ringblende 0,50 cond 0,9	302533:331.26/2 304128:203.24/4
3. Objektiv GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17-A phv Ringblende 0,65–0,80 cond 0,9	302538:331.26/8 304128:204.24/5
4. Objektiv GF-PA HI 100×/1,25 ∞/0,17-A phv Ringblende 1,2–1,4 cond 0,9	302536:331.26/8 304128:206.24/7
- ³⁾ Hinweis: Für Ringblenden aus Pkt. 1–4 noch erforderlich: Einzelblendenaufnahme	304128:011.24/5
Einrichtung Phasenkontrast GF-PA für LD Kondensor 0,6⁴⁾ bestehend aus:	300464:660.21/6
Modulatorenrevolver LD 0,6 Ringblende 0,20–0,25 cond 0,6 Ringblende 0,50 cond 0,6 Ringblende 0,65–0,8 cond 0,6 Ringblende 0,9–1,4 cond 0,6 Objektiv GF-PA 12,5×/0,25 ∞/-A ph Objektiv GF-PA 25×/0,50 ∞/0,17 A phv Objektiv GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17 A phv Objektiv GF-PA HI 100×/1,25 ∞/0,17-A phv Immersionsöl $n_D = 1,515$ Grünfilter V 232 Dmr 32 Behälter	304128:022.24/8 304128:230.24/7 304128:232.24/0 304128:233.24/1 304128:234.24/2 302512:331.26/7 302533:331.26/2 302538:331.26/6 302536:331.26/8 308721:020.24/6 304755:232.00/7 309701:001.24/8
⁴⁾ geeignet zur Anwendung am JENAVAL mit Heiz- und Kühltisch ab Bestell-Nr. 300462:305.21/7 bzw. mit LD Kondensor 0,6 nach Bestell-Nr. 304314:033.24/0. In Verbindung mit JENAVAL contrast, GF-PA können Objektive ph/phv aus dieser Phasenkontrasteinrichtung entfallen.	
2.1.4. für JENAPOL Einrichtung Phasenkontrast PA für JENAPOL	300464:300.21/0
bestehend aus: Ringblendenrevolver PA/0,95 bestückt Objektiv PA 10×/0,20 ∞/-A phv Objektiv PA 20×/0,40 ∞/0,17-A phv Objektiv GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17-A phv Objektiv PA HI 100×/1,30 ∞/0,17-A phv Objektivrevolver 5×/25 EZ Immersionsöl $n_D = 1,515$ Behälter	304128:036.26/1 302313:331.26/5 302323:331.26/3 302538:331.26/6 302326:333.26/2 305222:041.24/5 308721:020.24/2 309701:001.24/8
Kleine Einrichtung Phasenkontrast PA³⁾	
1. Objektiv PA 10×/0,20 ∞/-A ph Ringblende 0,2 cond 0,95 2. Objektiv PA 20×/0,40 ∞/0,17-A phv Ringblende 0,4 cond 0,95 3. Objektiv GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17-A phv Ringblende 0,65 cond 0,95 4. Objektiv PA HI 100×/1,30 ∞/0,17-A phv Ringblende 1,3 cond 0,95	302313:331.26/5 304128:191.24/6 302323:331.26/3 304128:192.24/8 302538:331.26/6 304128:193.24/0 302326:333.26/2 304128:194.24/1
Einrichtung Phasenkontrast PA für LD Kondensor 0,6 pol⁵⁾ bestehend aus:	300464:360.21/3
Modulationsrevolver LD 0,6 unbestückt Ringblende 0,2–0,25 cond 0,6 Ringblende 0,32–0,40 cond 0,6 Ringblende 0,65–0,8 cond 0,6	304128:022.24/8 304128:230.24/7 304128:231.24/8 304128:233.24/1

Bestellliste	Bestellnummer
Ringblende 0,9–1,4 cond 0,6 Objektiv PA 10×/0,20 ∞/-A ph Objektiv PA 20×/0,40 ∞/0,17-A phv Objektiv GF-PA 40×/0,65 ∞/0,17-A phv Objektiv HI 100×/1,30 ∞/0,17-A phv Immersionsöl $n_D = 1,515$ Grünfilter V 232 Dmr 32 Behälter 5) geeignet zur Anwendung mit Heiz- und Kühltisch pol ab Bestell-Nr. 300462:365.21/1 dazu wird zusätzlich empfohlen: Objektivrevolver 5×/25 EZ	304128:234.24/2 302313:331.26/5 302323:331.26/3 302538:331.26/6 302326:333.26/2 308721:020.24/6 304755:232.00/7 309701:001.24/8 305222:041.24/5
2.1.5. für JENALUMAR a sowie a/d ohne Kontrasttubus sowie in Verbindung mit Fluoreszenzeinrichtungen a und d zum JENAVAL Kleine Einrichtungen Phasenkontrast wie 2.1.3. Kleine Einrichtungen für JENAVAL	
2.2. Einrichtungen für differentiellen Interferenzkontrast (DIK) 2.2.1. für JENAMED variant mit Planachromaten und JENAMED 2/PA · WF Einrichtung DIK d/R-PA bestehend aus: Prismenschieber DIK 10 cond Prismenschieber DIK 20 cond Prismenschieber DIK 40 cond Prismenschieber DIK 100 cond Prismenschieber DIK 10/20 Obj. Prismenschieber DIK 40 Obj. Prismenschieber DIK 100 Obj. Kompensator DIK λ Kompensatorschieber DIK $\lambda/4$ Analysatorschieber DIK Behälter	300470:400.21/6 304128:431.24/7 304128:432.24/8 304128:433.24/0 304128:434.24/1 304130:101.24/4 304130:102.24/5 304130:103.24/6 305952:213.24/2 305952:211.24/0 305952:201.24/7 309701:042.24/4
Kleine Einrichtungen DIK d/R-PA⁶⁾ 1. Prismenschieber DIK 10 cond Prismenschieber DIK 10/20 obj. 2. Prismenschieber DIK 20 cond Prismenschieber DIK 10/20 obj. 3. Prismenschieber DIK 40 cond Prismenschieber DIK 40 obj. 4. Prismenschieber DIK 100 cond Prismenschieber DIK 100 obj. 6) Hinweis: Zu Prismenschieber Pkt. 1–4 noch erforderlich: Kompensator DIK λ Kompensatorschieber DIK $\lambda/4$ Analysatorschieber DIK	304128:431.24/7 304130:101.24/4 304128:432.24/8 304130:101.24/4 304128:433.24/0 304130:102.24/5 304128:434.21/1 304130:103.24/6 305952:213.24/2 305952:211.24/0 305952:201.24/7
2.2.2. Für JENAVAL ohne Kontrasttubus Einrichtung DIK d, GF-PA (anwendbar nur am JENAVAL mit GF-Planachromaten) bestehend aus: Prismenrevolver GF-PA 2 Prismen DIK 12,5/25 obj. Prisma DIK 40 obj. Prisma DIK 100 obj. 2 Zwischenringe DIK-d Polarisator DIK-d Analysator DIK-d Behälter	300464:700.21/7 304128:042.26/8 304130:012.24/3 304130:013.24/4 304130:014.24/5 304130:001.10/3 305952:051.24/0 305952:053.24/2 309701:011.24/6

Bestellliste	Bestellnummer
Kleine Einrichtungen DIK d-GF-PA⁷⁾ (anwendbar nur am JENAVAL mit GF-Planachromaten)	
1. Prisma DIK d 12,5 cond 0,9	304128:302.24/7
Prisma DIK d 12,5/25 obj.	304130:012.24/3
2. Prisma DIK d 25 cond 0,9	304128:304.24/0
Prisma DIK d 12,5/25 obj.	304130:012.24/3
3. Prisma DIK d 40/50 cond 0,9	304128:305.24/1
Prisma DIK d 40 obj.	304130:013.24/4
4. Prisma DIK d 100 cond 0,9	304128:306.24/2
Prisma DIK d 100 obj.	304130:014.24/5
⁷⁾ Hinweis: Zu den Prismen Pkt. 1–4 noch erforderlich:	
Polarisator DIK d	305952:051.24/0
Analysator DIK d	305952:053.24/2
Einzelblendenaufnahme	304128:011.24/5
Empfehlenswert je Ausrüstung 2 Zwischenringe DIK d	
	304130:001.10/3
Einrichtung DIK d, GF-PApo (anwendbar nur am JENAVAL mit GF-Planapochromaten) bestehend aus:	
	300464:760.21/1
Prismenrevolver bestückt	304128:042.26/8
Prisma DIK 12,5/25 GF-PAobj.	304130:012.24/3
Prisma DIK 25 PApo obj.	304130:024.24/7
Prisma DIK 50 PApo	304130:025.24/8
Prisma DIK fl 50/100 PApo	304130:026.24/0
2 Zwischenringe DIK/d	304130:001.10/3
Polarisator DIK d	305952:051.24/0
Analysator DIK d	305952:053.24/2
Behälter DIK d	309701:011.24/6
2.2.3. für JENAMULAR a sowie – a/d ohne Kontrasttubus	
Kleine Einrichtungen DIK d⁸⁾	
1. Prisma DIK 12,5 obj. Apo	304130:020.24/2
Prisma DIK 12,5 cond 0,9	304128:302.24/7
2. Prisma DIK 25 obj. PApo	304130:024.24/2
Prisma DIK 25 cond 0,9	304128:304.24/0
3. Prisma DIK fl 50/100 PApo	304130:026.24/0
Prisma DIK 40/50 cond 0,9	304128:305.24/1
4. Prisma DIK fl 50/100 PApo	304130:026.24/0
Prisma DIK 100 cond 0,9	304128:306.24/2
⁸⁾ Hinweise: Für Prismen Pkt. 1–4 noch erforderlich:	
Polarisator DIK d	305952:051.24/0
Analysator fl	305952:054.24/3
Analysatoraufnahme fl	304785:021.24/1
⁹⁾ Analysatoraufnahme nur am JENALUMAR a erforderlich	
Einzelblendenaufnahme	304128:011.24/5
Empfehlenswert je Ausrüstung 2 Zwischenringe DIK d	
	304130:001.10/3

Bestellliste	Bestellnummer
2.2.4. Für JENAVERT	
Einrichtung DIK a für JENAVERT mit Planachromaten für Hellfeld bestehend aus:	300464:800.21/2
Prismenschieber 10	304130:060.24/2
Prismenschieber 20	304130:061.24/3
Prismenschieber GF-PA 50/100 $\times/0,90$	304138:063.24/5
3 Aufnahmen DIK-A/M25	304130:051.24/1
2 Zwischenringe DIK-A M25	304130:052.24/2
Polarisator DIK-A	305952:052.24/1
Analysator orientierend-A	305952:044.24/1
Kompensator λ/A	305952:066.24/7
Behälter DIK/A	309701:051.24/5
Einrichtung DIK a für JENAVERT mit GF-Planachromaten und GF-Planapochromaten für Hellfeld bestehend aus:	300464:820.21/6
Prismenschieber DIK a 5/GF 6,3–25	304130:062.24/4
Prismenschieber DIK a 50 PApo	304130:065.24/7
Prismenschieber DIK a 100 PApo	304130:066.24/8
5 Aufnahmen DIK-A/M25	304130:051.24/1
Analysator orientierend	305952:044.24/1
Polarisator DIK-A	305952:052.24/1
Kompensator λ/A	305952:066.24/7
Behälter DIK/A	309701:051.24/5
Einrichtung DIK a für JENAVERT mit GF-Planachromaten und GF-Planapochromaten für Hell- und Dunkelfeld bestehend aus:	300464:840.21/1
Prismenschieber DIK a HD 5/GF 6,3–25	304130:111.24/6
Prismenschieber DIK a HD 50 PApo	304130:112.24/7
Prismenschieber DIK a HD 100 PApo	304130:113.24/8
5 Aufnahmen DIK-A M30	304130:053.24/3
Analysator orientierend	305952:044.24/1
Polarisator DIK-A	305952:052.24/2
Kompensator λ	305952:066.24/7
Behälter DIK-A (M30)	309701:061.24/7
2.3. Zubehör für Dunkelfeldmikroskopie	
2.3.1. für JENAMED variant und JENAMED 2 mit Planachromaten und JENAMED fl mit Apochromaten, bzw. Einrichtung fl a/R mit Apochromaten	
Blendenschieber DF 10 (für PA 10 $\times$ und Apo 6,3)	304128:412.24/4
Blendenschieber DF 20 (für PA 20 $\times$ und Apo 12,5 $\times$)	304128:413.24/5
Blendenschieber DF 40 (für GF-PA 40 $\times$ und Apo 25 $\times$)	304128:414.24/6
2.3.2. für JENAVAL und JENAMULAR bzw. für Fluoreszenzeinrichtungen zum JENAVAL (sofern noch nicht in den Standardausrüstungen enthalten)	
Trocken-Dunkelfeldkondensor 0,12–0,65	304313:011.26/0
Immersions-Dunkelfeldkondensor 1,2	304313:021.26/2
2.4. Zubehör für schiefe Beleuchtung	
2.4.1. für alle JENAMED und JENAMED 2 Varianten außer histology-Ausrüstung	
Azimutblendenschieber	304128:091.24/3
2.4.2. für JENAVAL und JENALUMAR	
Azimutblende	304128:081.24/1