



AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 02 B / 295 976 8

(22) 06.11.86

(44) 27.01.88

(71) VEB Carl Zeiss JENA, Carl-Zeiss-Straße 1, Jena, 6900, DD

(72) Ludwig, Manfred, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Rudolph, Frank, Dipl.-Phys.; Fonfara, Kersten, Dipl.-Phys., DD

(54) Optische Anordnung und Verfahren zur lichtelektrischen Entfernungseinstellung

(55) Entfernungseinstellung, Mattscheibe, Einstellebene, matrixförmige Empfängeranordnung, Mikroskop, Kontrastmittelwert

(57) Optische Anordnung und Verfahren zur lichtelektrischen Entfernungseinstellung, insbesondere für Operationsmikroskope. Bei Verschiebung der Objektebene wird die Zeile maximalen mittleren Kontrasten einer matrixförmigen Empfängeranordnung ermittelt wird, die Lageveränderung dieser Zeile ermittelt und aus Richtung und Betrag der Auswanderung ein Steuersignal für eine motorische Steuerung der Fokussierung ermittelt.

Anwendbar bei optischen Beobachtungs-, Aufnahme- und Meßgeräten im Nahbereich. Fig. 7

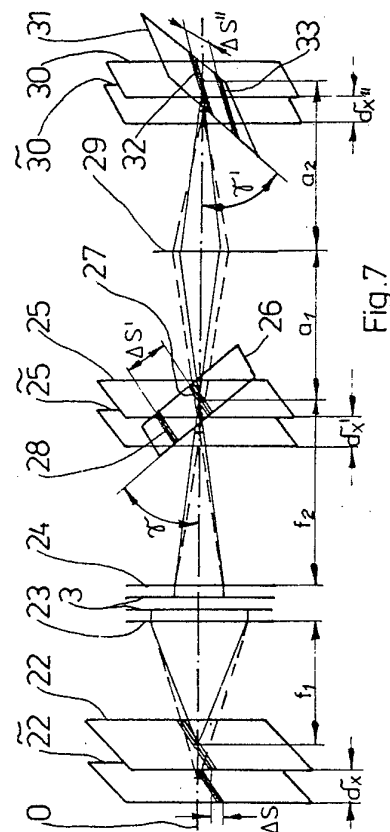


Fig. 7

Patentansprüche:

1. Optische Anordnung zur lichtelektrischen Entfernungseinstellung, insbesondere für Operationsmikroskope, wobei einer Objektebene eine erste abbildende Optik nachgeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens eine erste, der ersten abbildenden Optik nachgeordnete und zu ihrer optischen Achse geneigte Einstellebene vorgesehen ist, in der eine Mattscheibe angeordnet ist, einer zweiten abbildenden Optik mindestens eine zweite Einstellebene nachgeordnet ist, wobei die erste Einstellebene über die zweite abbildende Optik in die zweite Einstellebene abgebildet wird und in der zweiten Einstellebene mindestens ein matrixförmiger, ortsauflösender fotoelektrischer Empfänger vorgesehen ist, dessen Zeilen parallel zur Schnittlinie der ersten Einstellebene mit der Bildebene der ersten abbildenden Optik ausgerichtet sind, die gegenseitige Lage von erster und zweiter Einstellebene der Scheimpflugbedingung genügt, in dem jedem Punkt der ersten Einstellebene ein Punkt der zweiten Einstellebene konjugiert ist, und für jede Zeile des matrixförmigen Empfängers über einen Rechner eine Kontrastmittelwertbildung erfolgt.
2. Anordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei zueinander geneigte Mattscheiben in zwei zueinander geneigten ersten Einstellebenen, deren Schnittlinien auf der optischen Achse liegt, sowie zwei zueinander geneigte Empfängeranordnungen in zwei zueinander geneigten und der ersten Einstellebene konjugierten zweiten Einstellebenen vorgesehen sind.
3. Anordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß drei Mattscheiben sowie drei Empfängeranordnungen vorgesehen sind.
4. Anordnung nach Punkt 1, **gekennzeichnet durch** die Kaskadierung von n Mattscheiben, in mehreren Paaren von Einstellebenen, denen eine matrixförmige Empfängeranordnung zugeordnet ist.
5. Anordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein rasterförmiges Lichtquellenmuster im nicht sichtbaren Wellenlängenbereich über einen Strahlenteiler in die Objektebene abgebildet und mit dem Objekt in die erste und zweite Einstellebene abgebildet wird.
6. Anordnung nach Punkt 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf das Objekt ein schmaler Spalt abgebildet wird, wobei die matrixförmige Empfängeranordnung durch eine parallel zu dem Spalt angeordnete Empfängerzeile ersetzt wird.
7. Verfahren zur lichtelektrischen Entfernungseinstellung, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Verschiebung der Objektebene die Zeile maximalen mittleren Kontrastes der matrixförmigen Empfängeranordnung ermittelt, die Lageveränderung der Zeile maximalen mittleren Kontrastes ermittelt und aus Richtung und Betrag der Auswanderung ein Steuersignal für eine motorische Steuerung der Fokussierung gebildet wird.
8. Verfahren zur lichtelektrischen Entfernungseinstellung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch die Auswertung der Lage von mindestens zwei Streifen maximalen mittleren Kontrastes auf den Empfängern eine Neigung der Objektebene gegen die optische Achse der ersten abbildenden Optik bestimmt wird sowie eine Steuerung der Neigung des optischen Beobachtungs- oder Meßgerätes zur Objektebene erfolgt.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung ist bei optischen Beobachtungs-Aufnahme- und Meßgeräten im Nahbereich, d. h. Objektentfernung entspricht Objektivbrennweite, insbesondere bei Operationsmikroskopen sowie Inspektionsmikroskopen, anwendbar.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die bekannten technischen Lösungen lassen sich prinzipiell in 3 Hauptverfahrensgruppen einteilen.

- a) Basisentfernungsmesser
- b) Bestimmung der Lage der Bildebene aus der Messung des Maximalkontrastes
- c) Laufzeitmessungen

Bei Basisentfernungsmessern wird das von (meist) zwei Punkten in der Objektentfernung, die räumlich um einen bestimmten Betrag voneinander getrennt sind (Basisbreite), erreichbare Winkelauflösungsvermögen für die Entfernungseinstellung genutzt. Die Genauigkeit dieses Verfahrens ist abhängig von dem verwendeten Prinzip (Ultraschall [Laufzeit], IR, Licht) und von der Basisbreite, die im allgemeinen nicht größer als die äußeren Geräteabmessungen ist. Dadurch ist der erreichbaren Genauigkeit eine geräte- und anwendungstechnische Grenze vorgegeben. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß nicht das entstehende Bild selbst zur Entfernungseinstellung benutzt wird, sondern ein vorher fest vorbestimmter Wert durch die Geometrie der Basispunkte und der Objektebene. Für räumlich ausgedehnte oder stark zerklüftete Objekte bzw. bei schrägstehender Objektachse ist die Einstellebene nicht automatisch definierbar. Die Auswertung von Laufzeitunterschieden oder Phasendifferenzen im Nahbereich erfordern einen hohen elektronischen Aufwand (sehr kurze Laufzeiten). Die Lagebestimmung der Bildebene aus der Messung des Maximalkontrastes kann auf zweierlei Art geschehen:

- Auswertung des objekteigenen und
- Auswertung eines künstlich erzeugten Kontrastes.

Diese Verfahren besitzen bei großen Tiefenschärfenbereichen, die das angestrebte Ziel bei der Beobachtung im Nahbereich sind, ebenfalls keine hohe Genauigkeit, da ein ausgedehnter Bereich relativ hohen Kontrastes auf großer Breite bzw. Tiefe vorliegt. Zur Bestimmung der Richtung der Fokusablage muß wie im Falle der Basisentfernungsmesser ein erhöhter technischer und elektronischer Aufwand erfolgen. Bei sehr großen Fokusablagen (Kontrast minimal, Abweichung größer 10% der Objektentfernung) bedarf es besonderer Mittel zur Bestimmung des Vorzeichens der Richtungsabweichung.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Vermeidung der geschilderten Nachteile, insbesondere die Erhöhung der Genauigkeit bei automatischer Funktion.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anordnung und ein Verfahren zu realisieren, welche die Forderung nach kleiner Bauweise, unbewegten Bauteilen und hinreichender Genauigkeit und Anspruchsempfindlichkeit bei großer Fokusablage erfüllen und auch bei schwach strukturierten und kontrastarmen Objekten funktionstüchtig sind. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine optische Anordnung zur lichtelektrischen Entfernungseinstellung, insbesondere für Operationsmikroskope, wobei einer Objektebene eine erste abbildende Optik nachgeordnet ist dadurch gelöst, daß mindestens eine erste, der ersten abbildenden Optik nachgeordnete und zu ihrer optischen Achse geneigte Einstellebene vorgesehen ist, in der eine Mattscheibe angeordnet ist, einer zweiten abbildenden Optik mindestens eine zweite Einstellebene nachgeordnet ist, wobei die erste Einstellebene über die zweite abbildende Optik in die zweite Einstellebene abgebildet wird und in der zweiten Einstellebene mindestens ein matrixförmiger, ortsauflösender, fotoelektrischer Empfänger vorgesehen ist, dessen Zeilen parallel zur Schnittlinie der ersten Einstellebene mit der Bildebene der ersten abbildenden Optik ausgerichtet sind, die gegenseitige Lage von erster und zweiter Einstellebene der Scheimpflugbedingung genügt, indem jedem Punkt der ersten Einstellebene ein Punkt der zweiten Einstellebene konjugiert ist, und für jede Zeile des matrixförmigen Empfängers über einen Rechner eine Kontrastmittelwertbildung erfolgt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen bestehen darin, daß zwei zueinander geneigte Mattscheiben in zwei zueinander geneigten ersten Einstellebenen, deren Schnittlinie auf der optischen Achse liegt, sowie zwei zueinander geneigte Empfängeranordnungen in zwei zueinander geneigten und den ersten Einstellebenen konjugierten zweiten Einstellebenen vorgesehen sind, bzw. daß drei Mattscheiben sowie drei Empfängeranordnungen vorgesehen sind, oder in der Kaskadierung von n Mattscheiben in mehreren Paaren von Einstellebenen, denen eine matrixförmige Empfängeranordnung zugeordnet ist.

Weiterhin ist es möglich, daß ein rasterförmiges Lichtquellenmuster im nicht sichtbaren Wellenlängenbereich über einen Strahlenteiler in die Objektebene abgebildet und mit dem Objekt in die erste und zweite Einstellebene abgebildet wird, bzw. daß auf das Objekt ein schmaler Spalt abgebildet wird, wobei die matrixförmige Empfängeranordnung durch eine parallel zu dem Spalt angeordnete Empfängerzeile ersetzt wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren besteht darin, daß bei Verschiebung der Objektebene die Zeile maximalen mittleren Kontrastes der matrixförmigen Empfängeranordnung ermittelt, die Lageveränderung der Zeile maximalen mittleren Kontrastes ermittelt und aus Richtung und Betrag der Auswanderung ein Steuersignal für eine motorische Steuerung der Fokussierung gebildet wird, wobei es vorteilhafterweise möglich ist, daß durch die Auswertung der Lage von mindestens zwei Streifen maximalen mittleren Kontrastes auf den Empfängern eine Neigung der Objektebene gegen die optische Achse der ersten abbildenden Optik bestimmt wird sowie eine Steuerung der Neigung des optischen Beobachtungs- oder Meßgerätes zur Objektebene erfolgt.

Das Wesen der Erfindung besteht in der Auswertung der Ortsabhängigkeit des Maximalkontrastes und der Detektion, d.h. der Auswertung der Lage maximalen Kontrastes auf einer Sensorfläche. Dabei wird mit Hilfe einer zusätzlichen Abbildung nach der Scheimpflugbedingung zwischen geneigten Mattscheiben und Kontrastdetektoren dieses ortsabhängige Signal zur Ansteuerung eines Fokussiermotors gewonnen. Die Vorteile dieses Verfahrens und der Anordnung bestehen in der Unkompliziertheit der Justierung. Exemplarfehler der Sensoren spielen eine untergeordnete Rolle, wodurch sich die mechanischen Toleranzforderungen gering halten lassen. Die erreichbare Genauigkeit ist dabei ausreichend, um stets ein scharfes Bild bei visueller Beobachtung sowie bei Foto/Filmdokumentation zu erhalten.

Ausführungsbeispiel

Erfindungsgedanke und Funktion von erfindungsgemäßen Vorrichtungen werden nachstehend anhand von schematischen Darstellungen erläutert.
Es zeigen.

- Fig. 1: schematischer optischer Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung (einfachster Fall)
 Fig. 2: Ausführung mit zwei Mattscheiben und zwei Empfängern (spezieller Fall)
 Fig. 3: Ausführung mit zwei Mattscheiben und zwei Empfängern (allgemeiner Fall)
 Fig. 4: Ausführung mit drei Mattscheiben und drei Empfängern (allgemeinster Fall)
 Fig. 5: Kaskadierung von n Mattscheiben mit einem Sensor
 Fig. 6: Vorrichtung für kontrastarme Objekte (einfachster Fall)
 Fig. 7: schematische Darstellung des Funktionsprinzipes

In Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines allgemeinen Falles der Vorrichtung zur lichtelektrischen Entfernungsmessung dargestellt. Ein Objekt (1), senkrecht zur optischen Achse (0) angeordnet, wird durch ein Objektiv (2) ins Unendliche abgebildet. (3) bezeichnet ein optisches System mit der Gesamtbrechkraft Null zur Veränderung des Abbildungsmaßstabes (im allgemeinen ein Galilei-Fernrohrsystem oder ein pankratisches System).

Die Objektelebene (1) wird durch ein Tubusobjektiv (4) in eine Bildebene (5) abgebildet. Die Bildebene (5) wird auf der optischen Achse (0) durch eine geneigte feinkörnige Mattscheibe (6) geschnitten. (7) kennzeichnet die Lage maximalen Kontrastes im Bereich der Schärfentiefe des Tubusobjektivs (4) im Schnittpunkt der Ebenen (5) und (6). Mit Hilfe einer weiteren Abbildung mittels eines optischen Systems (8) unter Beachtung der Scheimpflugbedingung wird die Mattscheibenebene (6) in die Ebene eines opto-elektrischen Flächenempfängers (10) (CCD-Flächensensor) abgebildet. Mattscheibenebene (5), Ebene des optischen Systems (8) und Empfängerebene (10) müssen der Scheimpflugbedingung genügen, d. h. sie müssen eine gemeinsame Schnittpunktlinie besitzen. In der Bildebene (9) entsteht auf dem Sensor (10) das Bild der Mattscheibenebene (6) mit dem Ort des größten Kontrastes (11). Vorteilhafterweise sind die Zeilen des CCD-Sensors parallel zur Schnittlinie der Ebenen (9) und (10) bzw. (5) und (6) angeordnet, um die Signalauswertung zu erleichtern.

Fig. 2 und Fig. 3 zeigen eine weitere Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit modifizierten Formen von Mattscheiben und Empfängern. (12) und (13) stellen zwei zueinander geneigte Mattscheiben bzw. Empfänger mit den Orten größten Kontrastes (7') und (11') dar. In Fig. 2 ist die Objektelebene (1) senkrecht zur optischen Achse (0) orientiert, Fig. 3 zeigt einen allgemeinen Fall mit geneigter Objektelebene (1'), den Orten größten Kontrastes (7'') und (11'') und der Bildebene (5') und (9').

Fig. 4 stellt eine weitere Ausführung mit drei Mattscheiben (14) (90° zueinander geneigt) und drei Empfängern (15) (ebenfalls 90° zueinander geneigt) dar. Alle Teilanordnungen müssen in bekannter Weise der Scheimpflugbedingung genügen.

Fig. 5 zeigt die Möglichkeit einer Kaskadierung von n Mattscheiben sowie Empfänger (16) hintereinander, wodurch die Genauigkeit und das Auflösungsvermögen der Apparatur, bedingt durch die stetige Einengung des Bereiches maximalen Kontrastes in der Bildebene, gesteigert werden kann.

In Fig. 6 ist eine andere Ausführung der erfindungsgemäßen Vorrichtung für den Fall kontrastarmer Objekte angeführt. Ein Raster von IR-Sendediode(n) (17) wird durch ein Projektionssystem (18) über einen halbdurchlässigen IR-Spiegel (19) in die Objektelebene (1) abgebildet. Zusammen mit dem Objekt wird dieses IR-Diodenraster durch das schon beschriebene Abbildungssystem auf die Mattscheibe (20) und dann auf die Sensorfläche (21) abgebildet.

In Fig. 7 ist schematisch die Funktion einer erfindungsgemäßen Vorrichtung (z. B. Fig. 1) dargestellt.

Eine Objektelebene (22) in der Entfernung f_1 vom Objektiv (Objektbrennweite) (23) wird um den Betrag x in die Entfernung ($\delta x + f_1$) auf (22) verschoben. Ihr Bild (25) entsteht um den Betrag $\delta x'$ verschoben gegen 25 in der Entfernung ($f_2 - x'$) vom Tubusobjektiv (24). Der Betrag x' ergibt sich aus dem Tiefenabbildungsmaßstab α_1 :

$$\alpha_1 = \beta_1' = \left(\frac{f_2}{f_1} \cdot \Gamma \right)^2 \quad \text{d. h.}$$

$$\delta x' = \alpha_1 \cdot \delta x = \left(f_2 / f_1 \cdot \Gamma \right)^2 \cdot \delta x$$

Aufgrund der um den Winkel γ zur optischen Achse geneigten Mattscheibe (26) ergibt sich auf dieser eine Verlagerung der Schnittlinie mit der Bildebene um den Betrag $\Delta s'$ von (27) nach (28). (27) und (28) kennzeichnen den Bereich der Tiefenschärfe des Tubusobjektivs (24), der sich durch die Durchdringung der Mattscheibe mit der Bildebene ergibt. Rechnerisch ergibt sich für $\Delta s'$:

$$\Delta s' = \frac{\delta x'}{\cos \gamma} = \frac{\delta x}{\cos \gamma} \cdot \left(f_2 / f_1 \cdot \Gamma' \right)^2$$

Proportional zur Fokusablage ergibt sich also eine entsprechende Auswanderung eines Bereiches mit einem maximalen mittlerem Kontrast auf der Mattscheibe (26). Diese Mattscheibenebene wird über ein weiteres optisches System (29) mit f_3 , freie Öffnung d_3 , nach der bekannten optischen Abbildungsgleichung

$$\alpha' = \frac{\alpha f_3}{\alpha + f_3}$$

in die Ebene des CCD-Sensors (31) unter Beachtung der Scheimpflugbedingung abgebildet (Orte maximalen Kontrastes 32,33). Durch zeilenweises Auslesen der Einzeldiode j (Pixel) des CCD-Sensors und Berechnung gemäß

$$K_{ij} = \frac{U_{ij} - U_{ij+1}}{U_{ij} + U_{ij+1}}$$

sowie

$$\bar{K}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m K_{ij}$$

(U_{ij}-Intensität auf Pixel j in Zeile i)wird pro Zeile i ein mittlerer Kontrast K_i gebildet.

Aus dem Verlauf der Kontrastkurve läßt sich der Ort des maximalen mittleren Kontrastes und damit die Lage der Bild- und Fokusebene ermitteln.

Auf dem Sensor (31) kann nun die Lageveränderung s" des Bereiches mit einem maximalen mittleren Kontrast registriert werden, und aus drei Richtung und dem Betrag der Auswanderung kann ein genaues Steuersignal für einen Fokussiermotor elektronisch abgeleitet werden. Die Lageveränderung s" auf dem Sensor ergibt sich in bekannter Weise aus der Verschiebung der Bildebene (30) des optischen Systems (29) x":

$$\sigma x'' = \alpha_2 \cdot \sigma x' = \beta^2 \cdot \sigma x = \left(\frac{a'}{a}\right)^2 \cdot \sigma x' = \left(\frac{a'}{a}\right)^2 \cdot \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \cdot \Gamma'^2 \cdot \sigma x$$

$$\Delta s'' = \frac{\sigma x''}{\cos \gamma'} = \left(\frac{a'}{a} \cdot \Gamma' \cdot \frac{f_2}{f_1}\right)^2 \cdot \frac{\sigma x}{\cos \gamma'}$$

Die Empfindlichkeit des Systems ergibt sich aus dem Auflösungsvermögen des Empfängers (31) und aus dem Abbildungsmaßstab β. Das Auflösungsvermögen eines CCD-Sensors ist bestimmt durch den Abstand zweier benachbarter Einzelelemente Δx des Sensors. Aus dem empfängerseitigen Auflösungsvermögen (Unschärfenkreisdurchmesser ≙ Δx) errechnet sich mit der relativen Öffnung des optischen Systems (29) Ω

$$\Omega = \frac{d_3}{f_3}$$

ein Tiefenschärfebereich in der Bildebene (30):

$$\tilde{t}_{30}'' = \frac{\Delta x}{\Omega_0/2} = \frac{2 \Delta x}{d_3} \cdot f_3$$

Durch die Neigung des Sensors (31) gegen die optische Achse um den Winkel γ' verkleinert sich dieser Bereich:

$$t_{(30)}'' = \frac{2 \Delta x}{d_3} \cdot f_3 \cdot \sin \gamma'$$

Daraus folgt für die Tiefenschärfe in der Ebene (25) über den Tiefenabbildungsmaßstab α₂:

$$t_{(25)}' = \frac{1}{\alpha_2} t_{(30)}'' = \left(\frac{a'}{a}\right)^2 \cdot \frac{f_3}{d_3} \cdot 2 \Delta x \cdot \sin \gamma'$$

sowie für die Tiefenschärfe t₍₂₂₎ in der Objektebene (22):

$$t_{(22)} = \frac{1}{\alpha_1} \cdot t_{(25)}' = \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} \cdot t_{(30)}''$$

$$t_{(22)} = \left(\frac{f_1}{f_2} / \Gamma'\right)^2 \cdot \left(\frac{a'}{a}\right)^2 \cdot \frac{f_3}{d_3} \cdot 2 \cdot \Delta x \cdot \sin \gamma'$$

Dieser Wert entspricht der einstellbaren Genauigkeit der Fokusebene des Objektivs unter der Voraussetzung, daß eine Verschiebung der Lage des maximalen mittleren Kontrastes auf dem Sensor um einen Zeilenabstand (= Δx) detektierbar ist. Ein Vergleich mit dem Auge als optischen Empfänger zeigt (Auflösungsvermögen ≈ 0,15 mm in der deutlichen Sehweite 250 mm), daß mit der Anordnung des CCD-Sensors ein um mindestens um den Faktor 10 besseres Auflösungsvermögen erreicht wird. Am Auge ergibt sich als Hauptbestandteil der Tiefenschärfe bei der visuellen Beobachtung (bei „relativ“ geringen Vergrößerungen ca. 5...50x) die sogenannte Akkomodationstiefe, die durch Änderung der Brechkraft der Augenlinse erzielbare Tiefenschärfe, die auch den Hauptfehler bei der visuellen Einstellung eines scharfen Bildes darstellt.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur lichtelektrischen Entfernungseinstellung besteht darin, aus der Lage der Schnittlinien (11'') der Ebenen (9) und (13) (Fig. 3), die die örtliche Lage des maximalen mittleren Kontrastes auf den Sensorflächen (13) bestimmen, ein Signal abzuleiten, welches gestattet, das optische Gerät, in dem die Vorrichtung integriert ist, automatisch zur Objektebene auszurichten.

Bei geneigter Objektebene (1') sind die Bildebenen (5') und (9') ebenfalls unter einen bestimmten Winkel, der abhängig ist von der Objektebeneneigung, zur optischen Achse verkippt. Dadurch ergeben sich unterschiedliche örtliche Lagen (11'') des maximalen mittleren Kontrastes auf den Sensorflächen (13), deren Entfernung zu einem vorher festgelegten Punkt (Zeile) auf dem Sensor ein Maß für die Neigung der optischen Achse des Gerätes zur Objektebene darstellt.

Beispiel:

Abschätzung der Verhältnisse am Operationsmikroskop

$$\Delta x = 20 \text{ mm}$$

$$\gamma = \gamma' = 45^\circ$$

$$a' = a$$

$$f_3 = 50 \text{ mm}$$

$$f_2 = 100 \text{ mm}$$

$$f_1 = 200 \text{ mm}$$

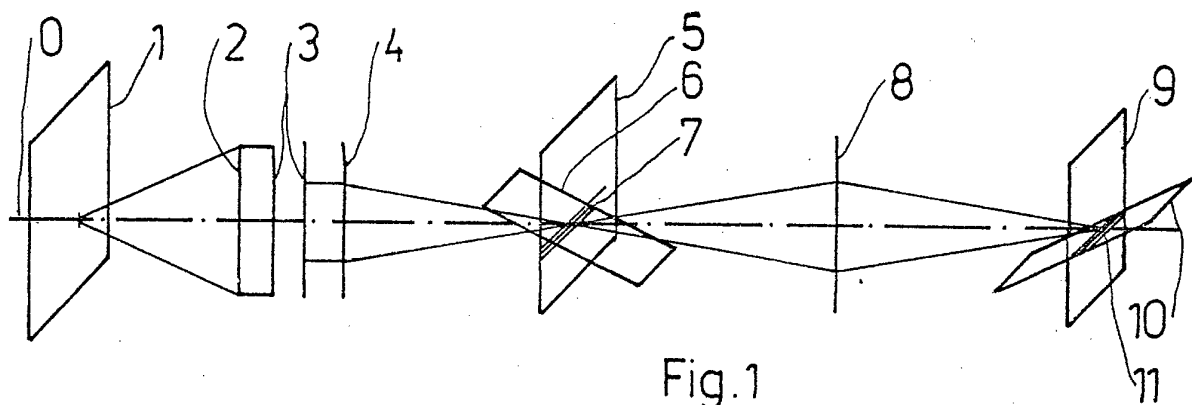
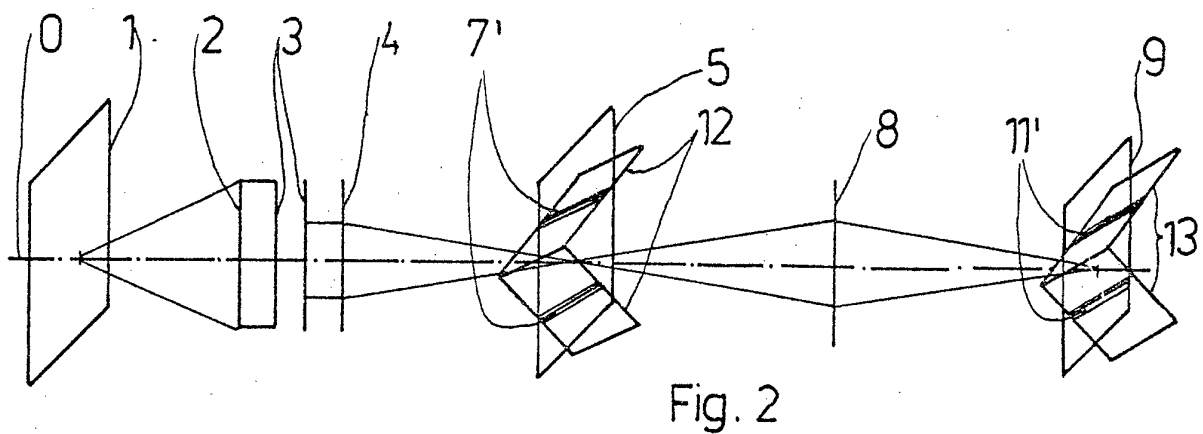
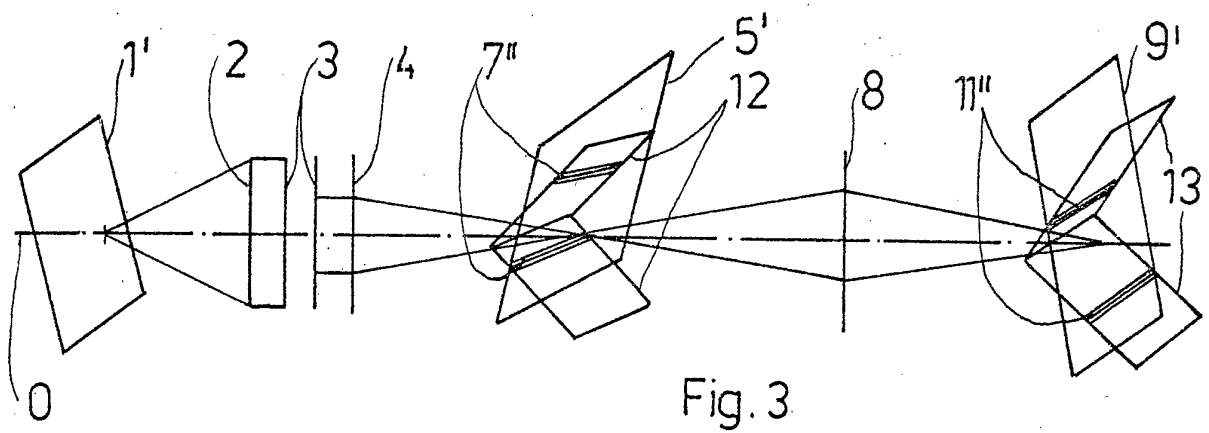
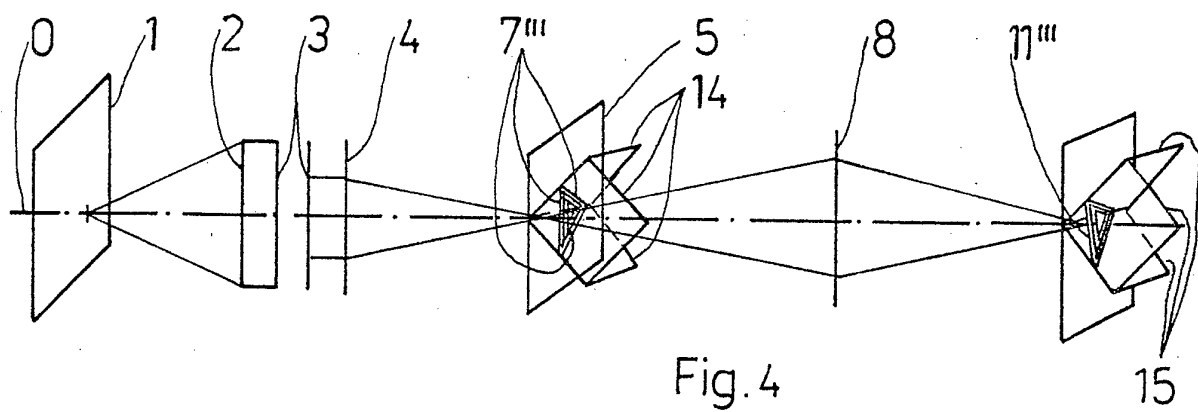
$$d_3 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Vergrößerungssystem } \Gamma = 1$$

Mit diesen Werten (angenähert) ergibt sich eine detektierbare Fokusabweichung in der Objektebene $t \cong 280 \mu\text{m}$

(zum Vergleich: die visuelle Schärfentiefe beträgt etwa $\approx 20 \text{ mm}$, wovon ca. 15 mm akkomodationsbedingt sind)

Für Geräte mit visueller Beobachtung (Operationsmikroskope, andere Mikroskope, optische Meßgeräte usw.) erfolgt die Abteilerung des Meßstrahlengangs (in den Fig. 1–7 im gestreckten Strahlengang dargestellt) in bekannter Weise durch 90° — halbdurchlässige Ablenkspiegel im parallelen Strahlengang zwischen Objektiv und Tubusobjektiv.



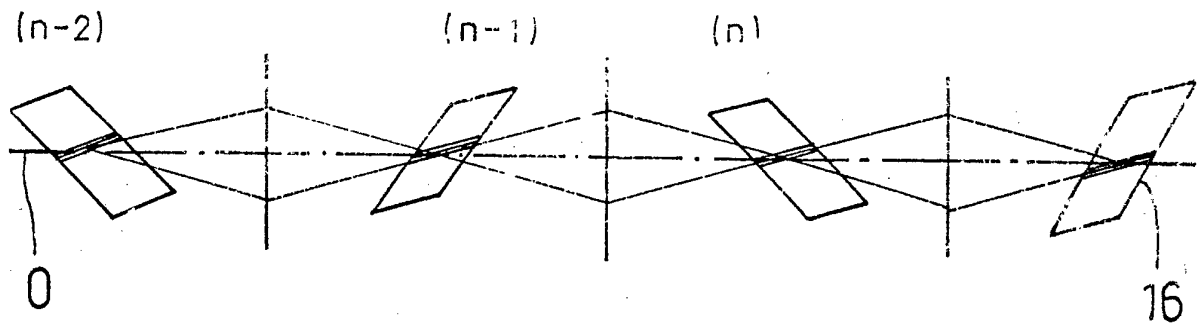


Fig. 5

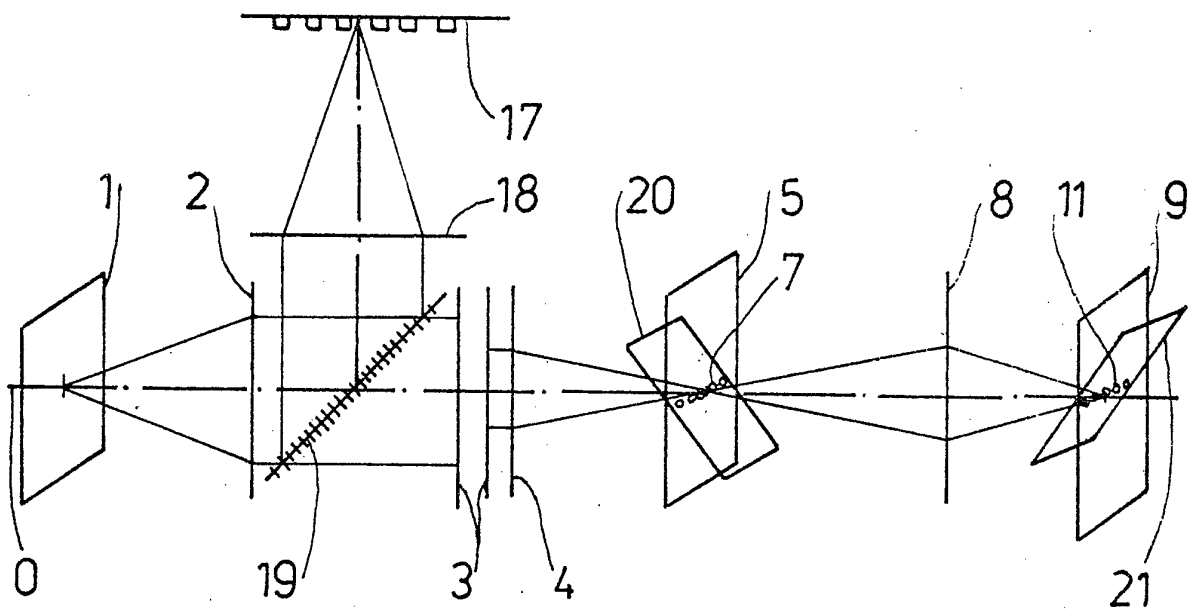


Fig. 6

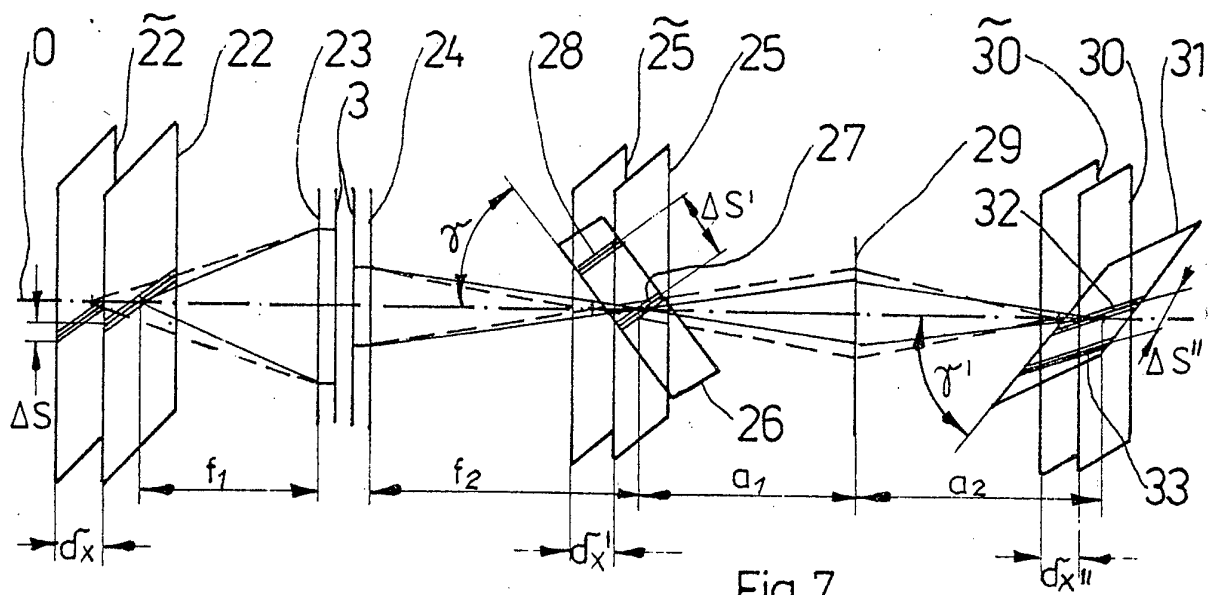


Fig. 7