



Republik  
Österreich  
Patentamt

(11) Nummer: **AT 393 172 B**

(12)

## PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 699/90

(51) Int.Cl.<sup>5</sup> : **G03B 41/00**

(22) Anmeldetag: 26. 3.1990

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 1.1991

(45) Ausgabetag: 26. 8.1991

(56) Entgegenhaltungen:

WO-A1-85/04266

DE-OS2809042

(73) Patentinhaber:

KUGLER ROBERT  
A-1120 WIEN (AT).

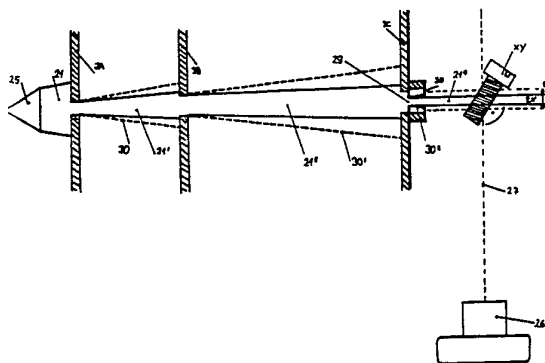
(54) PHOTOGRAPHISCHES SYSTEM ZUR ERZEUGUNG VON ABBILDUNGEN VON MAKROOBJEKTEN

(57) Das bereits bekannte Tiefenschärfedehnungssystem, bei welchem ein Makroobjekt entlang der optischen Achse durch die beleuchtete Schärfenebene gezogen wird, wird erfindungsgemäß hinsichtlich der Beleuchtungseinrichtung verbessert.

Während bisher monochromatisches Laserlicht zur Lichtwandlerzeugung bestenfalls Schwarz-Weiß-Abbildungen erzeugte, ermöglicht das neue Beleuchtungssystem zusammen mit der unabhängig vom Vorgangsmodell konstruierten speziell adaptierten Vorschubeinrichtung Abbildungen in Echtfarben, die für die wissenschaftliche Photographie natürlich eine wesentliche Weiterentwicklung darstellen.

Diese spezielle Beleuchtungseinrichtung besteht aus einer möglichst parallel strahlenden Weißlichtquelle und einer bestimmten Kombination von planen, wie auch gekrümmten, senkrechten Schlitzblenden, die eine schmale senkrecht stehende, waagrecht strahlende Lichtwand erzeugen, die im rechten Winkel auf die optische Achse stehend, durch 5 Spiegel vervielfacht, genau innerhalb der Schärfentiefezone des optischen Systems liegt und ausschließlich diese und alles, was sich in ihr befindet, beleuchtet.

Das durch ein eigens dafür konstruiertes Makrostativ + Haltevorrichtung fixierte Objekt wird mittels der Vorschubeinrichtung durch oben genannte Lichtwand hindurchbewegt und die so beleuchteten Objektdetails werden bei offenem Kameraverschluß auf dem Film zu einem kompletten durchgehend scharfen Bild zusammengesetzt.



AT 393 172 B

Schärfentiefe und Beugungsunschärfe sind wohl die für die optische Auflösung entscheidendsten Phänomene in der heutigen, herkömmlichen Makrophotographie. Beide hängen von der Öffnungsweite der Objektiveblende ab. Je kleiner der Objektiveblendendurchmesser, desto größer ist zwar die Schärfentiefe, desto stärker beeinflussen aber Beugungserscheinungen die optimale Schärfe. Wer also eine extrem scharfe Abbildung wünscht, der muß sich bei relativ geöffneter, unteroptimaler Blende, mit sehr geringer Tiefenschärfe begnügen.

Ein in einer photographischen Fachzeitschrift bereits zur Veröffentlichung gelangtes Makro-Abbildungssystem ermöglicht es nun, Abbildungen von beliebig großer Schärfentiefe herzustellen, die noch dazu eine bessere Optimalschärfe aufweisen, als Abbildungen in der herkömmlichen Makrophotographie. Um das zu bewerkstelligen, sind 2 entscheidende Schritte notwendig:

1) Es wird ausschließlich die Schärfentiefezone des optischen Systems, also auch des in ihr liegenden Makroobjekts beleuchtet.

2) Damit das gesamte Makroobjekt so scharf wie in der Schärfenebene das schmale Objektdetail abgebildet wird, muß es mit konstanter Geschwindigkeit komplett durch die beleuchtete Schärfentiefezone, exakt entlang der optischen Achse hindurchbewegt werden. Diese Bewegung heißt Vorschub. Bei permanent geöffnetem Kameraverschluß setzt sich durch diesen Vorschub auf dem Film kontinuierlich ein komplettes Objektbild zusammen, da sich jeder Objektpunkt einmal in dieser beleuchteten Schärfentiefezone befindet und abgebildet wird.

Prinzip der Beleuchtungseinrichtung:

Die Schärfentiefezone liegt genau senkrecht, im rechten Winkel auf die optische Achse, in einer bestimmten, konstanten Entfernung zur waagrecht montierten Kamera. Ausschließlich dieser Bereich darf beleuchtet werden, was durch eine schmale Lichtwand realisiert wird.

Diese Lichtwand hat folgende Merkmale:

a) Sie ist maximal so breit wie die Schärfentiefezone. b) Genau im rechten Winkel auf die optische Achse. c) Hohe Lichtintensität für kurze Belichtungszeiten und d) Weißlicht für natürliche Farbwiedergabe.

Die Erzeugung dieser Lichtwand erfolgt durch eine möglichst parallelstrahlende Weißlichtquelle (z. B. Diaprojektor mit Teleobjektiv - im alten System monochromatisches Laserlicht) und einer Kombination aus senkrechten Schlitzblenden, die entweder einen planen, seitlich betrachteten geraden Korpus aufweisen, oder einen ringförmigen Korpus besitzen, deren Schlitz, seitlich betrachtet, einen Kreis beschreibt. Diese Schlitzblendenkombination bewirkt, daß aus dem ursprünglichen Lichtkegel ein immer schmalerer, zentraler Lichtkeil mit fast parallelem Strahlengang herausgeschnitten wird, der dann als senkrecht stehende, waagrecht strahlende Lichtwand genau in die Schärfentiefezone justiert und dort fixiert wird. (vgl. Patentanspruch 1).

Damit diese Lichtwand nicht nur einseitig, waagrecht das Objekt bestrahlt, vervielfältigen 5 an einem Metallgerüst befestigte, oberflächenbeschichtete Spiegel die Beleuchtungsrichtung. Diese Spiegel sind in einer Parabel angeordnet und reflektieren das seitliche Hauptlicht auf das Objekt, das im Brennpunkt dieser Parabel liegt. Natürlich ist jeder Spiegel schwenk- und feinjustierbar, damit auch die reflektierte Lichtwand genau innerhalb der Schärfentiefezone zu liegen kommt.

Das Makroobjekt kann nun je nach Bedarf von 6 verschiedenen Seiten beleuchtet werden. (vgl. Patentanspruch 2).

Es sind 2 verschiedene Blendenkombinationen in Verwendung:

1) 3 senkrechte Schlitzblenden mit geradem Korpus, von denen die letzte, am weitesten von der Lichtquelle entfernte, die bereits fertige Lichtwand durch die Spiegel auf das Objekt reflektieren läßt. (Ausgenommen ist der oberste der 5 Spiegel, der den noch breiten Lichtkegel bereits vor der letzten Blende, also vor der Lichtwandentstehung bricht.)

2) 2 senkrechte Schlitzblenden mit geradem und eine Schlitzblende mit ringförmigem Korpus, die sich rings um das im Brennpunkt der Spiegelparabel fixierte Objekt befindet. Dabei wird der noch breite Lichtkegel zuerst von allen 5 Spiegeln reflektiert und erst danach die schmale Lichtwand durch den Schlitz in der Ringblende herausgeschnitten. (vgl. Patentanspruch 3).

Der Vorteil der jeweiligen Blendenvariante ergibt sich aus folgenden Überlegungen: Da selbst nach mehrfachem Hintereinanderreihen von Schlitzblenden die Lichtwand nicht absolut parallel ist, wird die Lichtwanddicke umso größer, je weiter sie von der letzten Blende entfernt ist.

Nach der Reflexion der bereits erzeugten Lichtwand (ad 1) ist deren Laufstrecke bereits oft mehr als doppelt so lang, wie die der direkten Hauptlichtquelle. Das bewirkt, daß die Lichtwanddicke des reflektierten Strahlengangs die Tiefenschärfe womöglich übertrifft, und somit auch unscharfe Zonen beleuchtet werden würden, was unscharfe Abbildungen zur Folge hätte.

Die Lösung hierfür bietet die Ringblende aus Variante 2, bei der die Lichtwand erst knapp vor dem Auftreffen auf das Objekt erzeugt wird, d. h. die Lichtwanddicke entspricht wegen der kurzen Laufstrecke ungefähr der Schlitzbreite, ist also extrem schmal. (Bisher erreichtes Minimum: ~ 0,2 mm)

Damit können selbst geringe Tiefenschärfen bei hohen Vorvergrößerungsmaßstäben bis etwa  $\beta = 3,5$  beleuchtet werden, ohne in den angrenzenden Unschärfebereich zu gelangen. Wegen der hohen Auflösung kann man ein Negativ bis zu 12-fach nachvergrößern, ohne daß das Bild im normalen Betrachtungsabstand unscharf wird. Dadurch entstehen durchgehend scharfe Abbildungen bis etwa 40-facher Vergrößerung im normalen

Betrachtungsabstand. Variante 1 hat jedoch Vorteile, wenn die Objekte größer als der Ringblendendurchmesser sind. Bei diesen Ausmaßen (> 2 cm) ist eine starke Vergrößerung jedoch meist nicht notwendig und man kann größere Lichtwanddicken in Kauf nehmen.

Das Prinzip des Vorschubs ist bereits bekannt, soll aber bezüglich der erfindungsgemäßen Konstruktion erläutert werden.

Wie bereits erwähnt, wird jeder Punkt, der innerhalb des Systems Lichtwand-Kamera beleuchtet wird, scharf abgebildet. Um nun ein gesamtes Makroobjekt abzubilden, muß man danach trachten, jeden aus der Kameraperspektive sichtbaren Objektpunkt einmal innerhalb der Lichtwand zu beleuchten.

Um Bewegungsunschärfen bei dieser Vorschubbewegung zu vermeiden, muß sie exakt entlang der optischen Achse erfolgen. Um eine gleichmäßige Belichtung zu erzielen, muß die Vorschubgeschwindigkeit konstant sein, was durch einen stark untersetzten Elektromotor bewerkstelligt wird, dessen Umdrehungszahl über einen elektrischen Regler variiert werden kann. Dies ist notwendig, da verschiedene Abbildungsmaßstäbe auch verschiedene Belichtungszeiten nach sich ziehen. Durchschnittliche Vorschubgeschwindigkeiten liegen bei etwa 0,05 mm/sec. Ein massiver Stahlblock als Bühne ermöglicht eine erschütterungsarme Vorschubbewegung.

Um die jeweiligen Makroobjekte durch die ringförmige Schlitzblende zu transportieren ohne sie zu berühren, ist eine spezielle Haltevorrichtung vonnöten, die in Form des eigens dafür entwickelten Makrostativs verwirklicht ist. Eine waagrechte, höhenregulierbare, in der Waagrechten verschiebbare Achse ist an einem Ende mit einem Gewinde versehen auf das man Objektbühnen bzw. Haltevorrichtungen aller Art aufschrauben kann, die notwendig sind, um die in Form, Konsistenz und Größe sehr variablen Makroobjekte in einer bestimmten Stellung zu fixieren. Objekt, Stativ und die Bühne der Vorschubeinrichtung bilden somit eine stabile Einheit, die sich mit konstanter Geschwindigkeit entlang der optischen Achse bewegen kann, und die Trägerachse mit dem Objekt durch die ringförmige Schlitzblende hindurchführt. (vgl. Patentanspruch 4).

Zur Halterung der abzubildenden Objekte findet eine Makropinzette Verwendung. Eine breite Pinzette mit in beliebigem Öffnungswinkel fixierbaren Schenkeln ermöglicht auch die Fixage von sehr fragilen, empfindlichen Makroobjekten, ohne sie zu quetschen.

Eine Fixierschraube+Fixierspitze wird fest auf das Gewinde der waagrecchten Stativstange geschraubt. Mit dieser Fixierspitze kann man durch Drehung der Stativachse (Einschrauben der Fixierschraube in den Pinzettenkorpus) den oberen, locker gelagerten Pinzettenschenkel in jeder beliebigen Stellung fixieren. (vgl. Patentanspruch 5).

Die Vorschubeinrichtung soll anhand der Fig. 9, 10 und 11 erläutert werden. Ein Elektromotor (3) ist mittels einer Eisenlasche (14) und einer Gummimanschette zur Vibrationsdämpfung an Korpus (17) und Fuß (12) befestigt, betreibt über einen Metall(5)-Gummi(5)-Kraftschluß ein Getriebe (4), das über eine Zahnradverbindung (6, 6) mit einer Gewindestange (7) gekoppelt ist, die einen fix (2 Sechskantmuttern) mit ihr verbundenen Schuh (18) und einen locker auf diesem Schuh aufliegenden Stahlblock (1) über 2 parallele auf den Korpus (17) aufgeschweißte Stahlschienen (2) zieht. Dieser Stahlblock stellt die erschütterungsarme Objektbühne dar, die das Objekt durch die Lichtwand (21'') bewegt. (Fig. 3a - e).

Zu Anfang und Ende der Vorschubstrecke sind 2 Schalter montiert, (8, 8) die bei Berührung des Stahlblocks die Stromzufuhr (15) sofort unterbrechen, um eine Kollision mit der Korpusbreite zu verhindern. Innerhalb einer senkrechten Führung (10) kann man die Kamerabühne (9) mit der Kameraanschrauböffnung (11) kontinuierlich über den zur Abbildung notwendigen Bereich bewegen und mit einer Rändelmutter (16) in gewünschter Stellung befestigen.

Die beidseitig parallel zum Korpus verlaufenden Stahlstangen (13) sind die Trägerachsen für den Korpus der Beleuchtungseinrichtung (Fig. 4, 5 Pkt. 1).

Die Beleuchtungseinrichtung wird anhand (Fig. 1, 2, 4, 5, 6, 8 + Fig. 12) beschrieben:

Der Hauptkorpus (1) ist über die Achsenlöcher (11) mit den Trägerachsen der Vorschubeinrichtung (s. o.) durch eine Feststellschraube (19) fixierbar verbunden.

Von einem höhenverstellbaren (13) Stützfuß (5) wird der Nebenkörper (2) getragen, an dem 2 fixe (4) und ein um etwa 110° schwenkbarer, über eine Schraube (12) fixierbarer Blendenschuh (6) montiert sind.

Das weiße, möglichst parallele, starke Licht (21) durchstrahlt zuerst 2 senkrechte Schlitzblenden mit rechteckigem Korpus (3), auswechselbar in den fixen Schuhen (4) steckend, und danach entweder eine weitere plane, senkrechte Schlitzblende (3'), (Variante 1) mit am oberen Ende 2-fach eingeschnittenem Korpus, um in das Spiegelträgergerüst (9) zwischen die beiden obersten Spiegel (7) zu passen, oder stattdessen eine Schlitzblende mit ringförmigem Korpus (Fig. 4/14, 20), (Fig. 6) (Variante 2), um eine extrem schmale Lichtwand zu erzeugen. Über eine Rändelmutter (10) kann das Spiegelträgergerüst (9) höhenreguliert werden, dessen Basis fest mit dem Hauptkorpus (1) verbunden ist.

Fig. 1 zeigt die Erzeugung der Lichtwand schematisch:

Die erste senkrechte Schlitzblende (3A), direkt vor der Lichtquelle (25), blendet beidseitig bereits den größten Teil des Strahlenkegels (21) ab. Die zweite Blende (3B) dient einerseits zur Begrenzung des durch Blende (3A) herausgeschnittenen Strahlenkegels (21') und andererseits der Abblendung der Beugung (30) von Blende (3A). Der Winkel des Strahlenkegels nach Blende (3B) (21'') ist bereits sehr spitz.

Die Beugung an Blende (3B) (30') wird nun von der geraden Schlitzblende (3C) abgeschirmt, die gleichzeitig hauptverantwortlich für die Lichtwanddicke ist (21'''). Der Strahlenkegel ist bereits nahezu parallel,

da praktisch nur mehr direkte, ungestreute Strahlen den letzten Schlitz (29) passieren können. Eventuelle Beugungserscheinungen (30'') können durch eine Zusatzblende (3D) beseitigt werden, die die Lichtwand (21''') selbst nicht mehr berührt, sondern nur einen Großteil der an Blende (3C) entstandenen seitl. Beugungsmaxima (30'') abschirmt, und damit eine scharfe Lichtwandbegrenzung ermöglicht, ohne die Lichtwand selbst noch einmal zu beugen.

Fig. 8 zeigt eine senkrechte Schlitzblende mit rechteckigem, seitlich betrachtet, geradem Korpus (3), in den in der Mitte ein relativ breiter Schlitz (3b) fast über die gesamte Länge eingefräst ist. Diese Fräseschlitzkanten überlappend, ist beidseitig dünnes Metallblech (3a) aufgeklebt, das in der Mitte stark angenähert, einen senkrechten, parallelen, schmalen Blendenschlitz (3C) ergibt. Auf die Art können verschiedenste Schlitzbreiten für verschiedenste Lichtwanddicken hergestellt werden.

Fig. 8 zeigt die Vorrichtung der Schlitzblende mit ringförmigem Korpus (14), dessen Justierschraube (15), den durch die Gelenksachse (16) waagrecht über 90° schwenkbaren Trägerteil (18) und den fix an das Spiegelträgergerüst (9) montierbaren, und um die Achse (24) schwenkbaren Trägerteil (17).

Aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in Abbildung 6 sondern in Fig. 2 enthalten:

Der zweite innere ringförmige Korpus (auch Fig. 4/20) (3D') mit knapp breiterem Schlitz als der äußere Korpus (3C'), um zwar den Hauptstrahl der Lichtwand (21''') unbeeinflusst passieren zu lassen, Beugungs- und Reflexionsstrahlen (30''), an der Schlitzkante des äußeren Korpus entstanden, aber abzuschirmen. Die Lichtwandentstehung der Ringblende entspricht also der der geraden Blenden (3C + 3D) (Abb. 1).

Fig. 12 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Spiegelhaltevorrückung. Der Spiegel (7) klebt an einem Stahlblech, das an eine Spiegelachse aus Metall (21) festgeschraubt ist. Diese Achse ist an beiden Enden abgerundet (22), um auch im leicht angewinkelten Zustand durch die beidseitigen Rändelschrauben (8) innerhalb des Gerüsts (9) fixiert werden zu können, damit die Lichtwand genau auf die Schärfentiefezone des Objekts reflektiert wird.

Fig. 7 zeigt das in Verbindung mit der Ringblende (Abb. 6) unumgänglich notwendige Makrostativ, das das Objekt, ohne die feinjustierte Ringblende (Fig. 6/15) zu berühren, durch die im Innenraum des Blendenkorpus entstehende Lichtwand hindurchschleust.

Der Fuß besteht aus einer Metallbodenplatte (1'), einer senkrechten Rohrführung (2') und einer dazupassenden, senkrechten, schwenk- und höhenregulierbaren Achse (4'), die durch die Stellschraube (3') fixiert werden kann. Entscheidendes Element ist die waagrechte, drehbare und waagrecht durch Achse (4') verschiebbare Objektachse (5'), mit einem seitlichen (6'') und einem endständigen Gewinde (6'), die durch Stellrad (8') fixiert werden kann. An das endständige Gewinde können nun verschiedenartigste Objektbühnen aufgeschraubt werden, indem man die Bühne + Objekt stationär waagrecht an das Gewinde hält und stattdessen die Objektachse (5') über Stellrad (7') dreht. Damit können heikle Objekte geschont werden.

Eine spezielle Objekthaltevorrückung soll gesondert hervorgehoben werden: Makropinzette.

Sie hat die Form einer breiten Pinzette, deren Schenkel (9', 10') ohne Spannung über eine waagrechte Achse (11') locker miteinander verbunden sind und mittels einer an der Basis des oberen Schenkels (15') ansetzenden Fixierschraube (14') samt Fixierspitze (13') in jedem beliebigen Öffnungswinkel, ohne das Objekt zu quetschen, fixiert werden können.

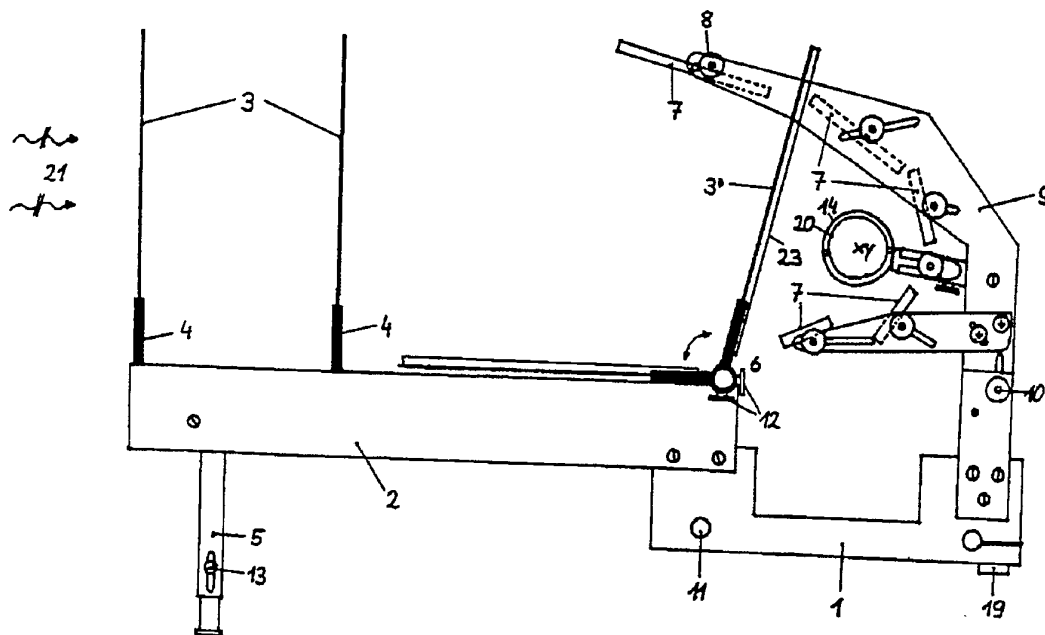
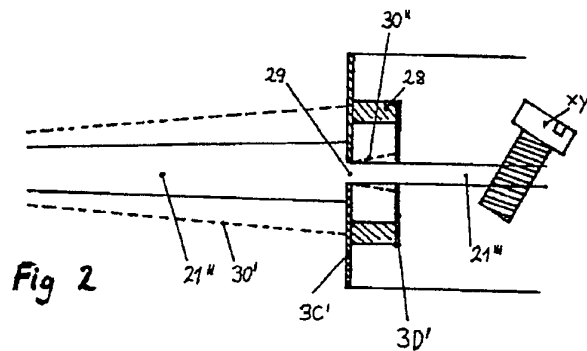
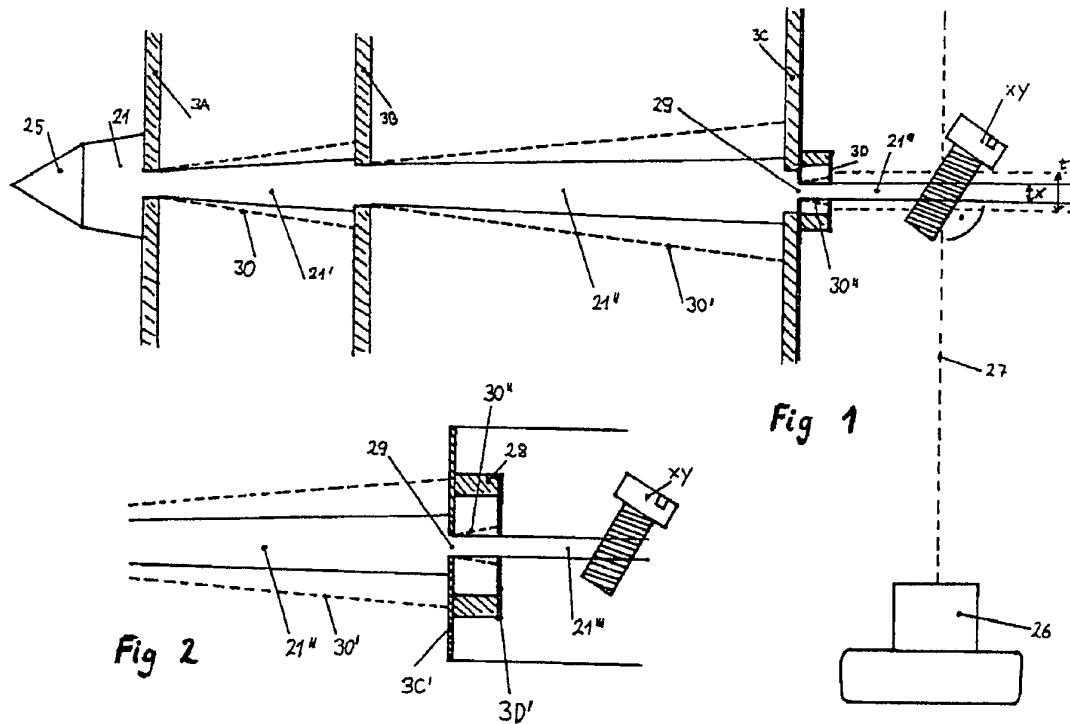
Fixierschraube (14') samt Fixierspitze (13') können extra an das Gewinde (6') geschraubt werden, sodaß nach Einführung der Fixierschraube in die Mutter (12') die Schenkelbasis (15') des oberen Schenkels (10') und somit jedes Objekt zwischen den Schenkeln, durch einfache Drehung der gesamten Achse (5') und die Berührung mit Fixierspitze (13') in jeder Lage fixiert werden kann.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Photographisches System zur Erzeugung von Abbildungen von Makroobjekten mit beliebig großer Tiefenschärfe und objektivspezifischer Optimalauflösung, wobei eine handelsübliche Spiegelreflexkamera bei geöffnetem Verschluss Makroobjekte abbildet, welche mittels einer Vorschubeinrichtung kontinuierlich durch eine schmale Lichtwand gezogen werden, die genau im rechten Winkel auf die optische Achse ausschließlich die Schärfentiefezone beleuchtet, dadurch gekennzeichnet, daß diese Lichtwand durch Projektion von intensivem, möglichst parallel strahlendem Weißlicht, welches eine wissenschaftlich verwertbare, natürliche Farbwiedergabe gewährleistet, auf hintereinander angeordnete senkrechte Schlitzblenden (3A, 3B, 3C) mit planem (3) bzw. ringförmigem Korpus (14) erzeugt wird.

2. Photographisches System nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine Reflexionseinrichtung als Teil der Vorrichtung zur Lichtwanderzeugung zwecks Vervielfachung der Beleuchtungsrichtung mit 5 oberflächenbeschichteten, an einem Metallgerüst (9) paraboloid angeordneten, justier- und fixierbaren Spiegeln (7), welche das fast parallele, einseitige Hauptlicht (21) umlenken, und damit das Objekt (XY), im Brennpunkt dieser Spiegelparabel befindlich, von 5 weiteren Richtungen aus beleuchten.
3. Photographisches System nach Anspruch 2, **gekennzeichnet durch** eine Vorrichtung zur allseitigen Distanzverringern zwischen der letzten Schlitzblende und dem im Brennpunkt der paraboloiden Reflexionseinrichtung befindlichen Makroobjekt, wobei 2 konzentrisch ineinanderliegende, senkrechte, ringförmige, das Objekt umgebende Schlitzblenden (14, 20) eine reflexions- und beugungsarme, scharf begrenzte, schmale Lichtwand erzeugen, die für hochauflösende Abbildungen notwendig ist.
4. Photographisches System nach Anspruch 3, **gekennzeichnet durch** ein Stativ zur Fixage von in Form und Struktur verschiedenartigen Makroobjekten, das die berührungsfreie Hindurchbewegung und allseitige Beleuchtung innerhalb der ringförmigen Schlitzblende ermöglicht, wobei eine waagrechte, höhenregulierbare, in der Waagrechten verschiebbare, drehbare Achse (5'), an einem Ende mit einem Gewinde (6') versehen, mit verschiedenen, aufschraubbaren Objektbühnen bzw. Haltevorrichtungen verbunden werden kann, die das Makroobjekt im Brennpunkt der Reflexionseinrichtung innerhalb der ringförmigen Schlitzblenden erschütterungsfrei in bestimmter Lage relativ zur Vorschubbühne (1) fixieren.
5. Photographisches System nach Anspruch 4, **gekennzeichnet durch** eine Haltevorrichtung in Form einer breiten Pinzette mit fixierbaren Schenkeln (9', 10'), wobei die beiden Schenkel ohne Spannung über eine waagrechte Achse (11') locker miteinander verbunden sind und mittels einer an einen Schenkel (10') ansetzenden Fixierschraube + Fixierspitze (14') in jedem beliebigen Öffnungswinkel fixiert werden können, ohne ein empfindliches Objekt zu quetschen.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen



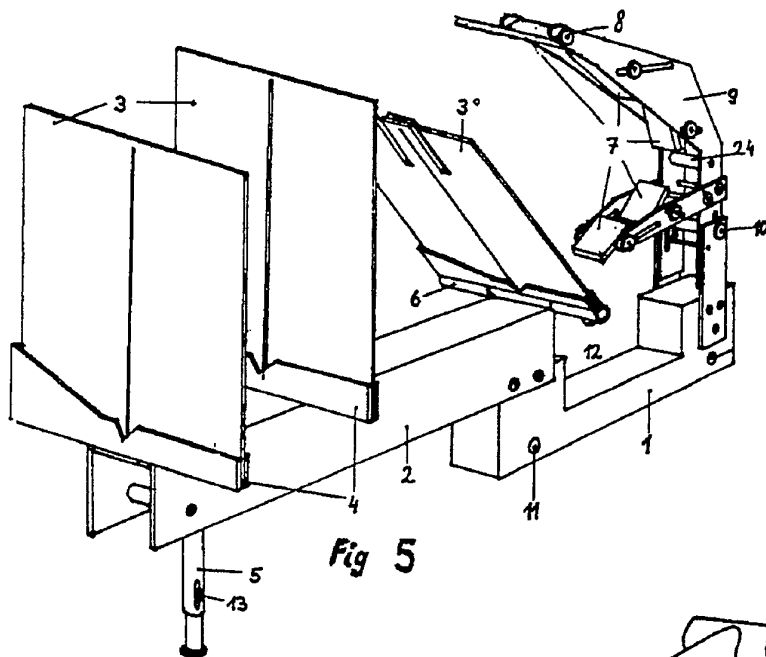


Fig 5

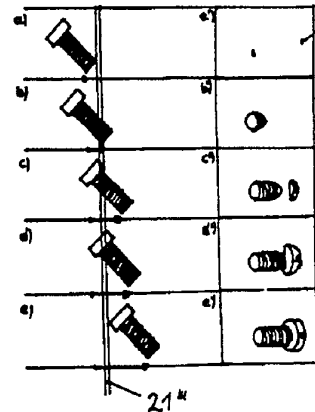


Fig 3

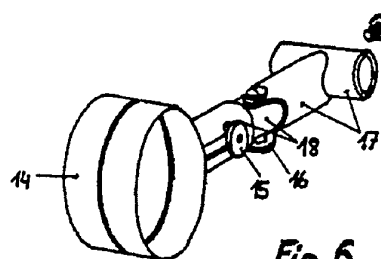


Fig 6

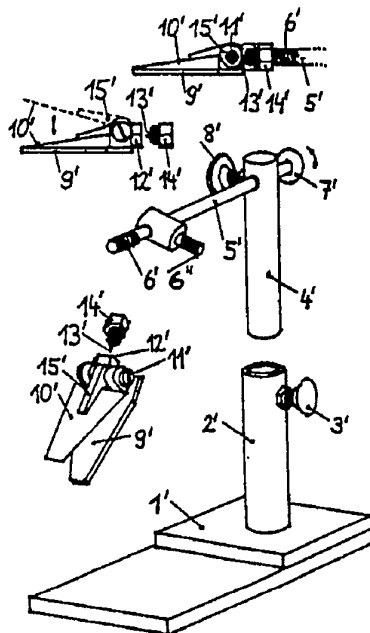


Fig 7

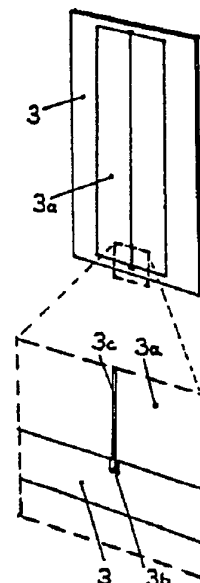


Fig 8

