



(10) **DE 10 2013 201 632 B4** 2020.10.08

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 201 632.8**

(22) Anmeldetag: **31.01.2013**

(43) Offenlegungstag: **31.07.2014**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **08.10.2020**

(51) Int Cl.: **G02B 21/02 (2006.01)**
G02B 21/22 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Leica Microsystems (Schweiz) AG, Heerbrugg, CH

(74) Vertreter:
**Kudlek Grunert & Partner Patentanwälte mbB,
80333 München, DE**

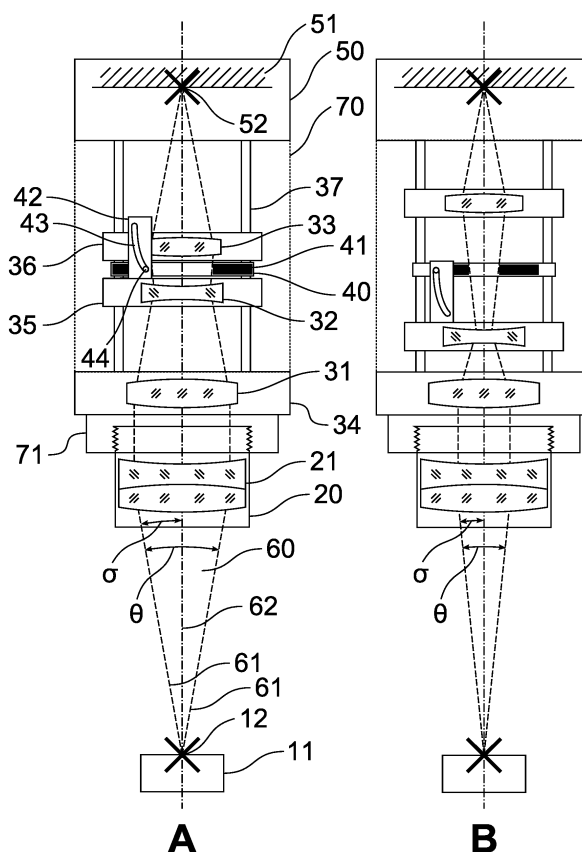
(72) Erfinder:
**Schnitzler, Harald, Dr., Lüdingen, CH; Heeb,
Rouven, Gams, CH**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DD	2 78 208	A1
JP	2007- 309 976	A

(54) Bezeichnung: **Mikroskop mit Zoom-Blenden-Kopplung und Zoomsystem für ein Mikroskop**

(57) Hauptanspruch: Mikroskop (1) mit wenigstens einem optischen Zoomsystem (30), das wenigstens eine Blende (41) mit verstellbarer Apertur und wenigstens eine bewegliche optische Gruppe (32, 33) aufweist, gekennzeichnet durch wenigstens eine mechanische Kopplungseinrichtung (42), die mit der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe (32, 33) bewegungsfest verbunden ist, und mittels derer eine Bewegung der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe (32, 33) in eine Verstellung der Apertur der Blende (41) umsetzbar ist, wobei die mechanische Kopplungseinrichtung (42) wenigstens eine mechanische Steuerkurve (43) aufweist, mittels derer wenigstens eine Verstell-einrichtung (44) der wenigstens einen Blende (41) mecha-nisch beaufschlagbar ist, wobei die wenigstens eine mecha-nische Steuerkurve (43) als Kulissenführung mit einem Lan-gloch, als wenigstens eine Führungsnut und/oder als we-nigstens eine Führungsschiene ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Mikroskop, das ein optisches Zoomsystem mit einer Blende mit verstellbarer Apertur aufweist, sowie ein entsprechendes Zoomsystem für ein Mikroskop.

Stand der Technik

[0002] Mikroskope mit optischen Zoomsystemen sind grundsätzlich bekannt. In derartigen Mikroskopen kann häufig eine physikalische Begrenzung des Strahlenbündels und damit eine Einstellung des Pupillendurchmessers bzw. der numerischen Apertur vorgenommen werden. Die hierzu verwendeten Einrichtungen können beispielsweise als starre Aperturblenden, Irisblenden und/oder Strahlbegrenzer an Linsen und Linsenfassungen ausgebildet sein.

[0003] Aus der DD 2 78 208 A1 ist eine Irisblendensteuerung für ein Mikroskopzoomobjektiv bekannt, die allgemein für die funktionelle Steuerung einer rotativen Bewegung durch eine andere rotative Bewegung angewandt werden kann. Hierbei wird ein Stift für die Variogliedverschiebung in einer Längsnut geführt, der gleichzeitig in eine Steuernut eingreift, die in einem mit dem Blendenmechanismus gekoppelten Rohr eingearbeitet ist.

[0004] Die JP 2007- 309 976 A betrifft eine Vorrichtung zur Bereitstellung einer variablen Vergrößerung, bei der ein Durchmesser von Aperturen entsprechend der Vergrößerung erhalten werden kann, und ein entsprechend ausgestattetes Mikroskop. Eine Welle, die mit einem Zoomknopf verbunden ist, ist dabei mit einem Stirnradgetriebe gekoppelt, das einen Teil eines Mechanismus zur Veränderung des Durchmessers einer zweiten Blende bildet. Auf der äußeren Umfangsfläche der Welle ausgebildete Nuten stehen mit Mitnehmern eines beweglichen Rahmens im Eingriff. Ein erster Mechanismus zur Veränderung des Blendendurchmessers steht mit dem nach außen vorstehenden Stirnrad in Eingriff. Wenn der Zoomknopf von einem Betrachter betätigt wird, werden ein zweiter und ein dritter Linsenrahmen bewegt und die Vergrößerung des Mikroskops sowie der Durchmesser der Öffnung einer Aperturblende variiert. Wenn das Stirnrad durch den Betrachter gedreht wird, wird der Durchmesser der Öffnung einer Aperturblende variiert.

[0005] Die numerische Apertur NA bzw. AN eines Mikroskops bestimmt die Auflösung, die Helligkeit und die Schärfentiefe des erhaltenen Bildes. Die maximale Auflösung $R_{\max}$ wird durch die Lichtbeugung begrenzt. Für eine Wellenlänge von $\lambda = 550 \text{ nm}$ gilt dabei vereinfacht $R_{\max} = 3\,000 \times \text{NA}$. Der erfasste Lichtkegel bestimmt die Helligkeit I . Ebenfalls vereinfacht gilt dabei $I = c \times \text{NA}^2$, wobei c eine Konstante darstellt. Gemäß einer weiteren vereinfachten Gleichung

kung kann die vom Öffnungswinkel des erfassten Lichtkegels abhängende Schärfentiefe bestimmt werden. Ihr Maximalwert $d_{\max}$ ergibt sich bei $\lambda = 550 \text{ nm}$ zu $d_{\max} = 1 / (3,64 \times \text{NA}^2)$.

[0006] Optische Zoomsysteme variieren den Maßstab der Abbildung Objekt/Bild, also die Vergrößerung des Mikroskops. Dabei sollte bei einer Verstellung des Zoomsystems auch die numerische Apertur mitgeführt werden können, um stets bestmögliche Auflösungs-, Helligkeits- und Schärfentiefewerte zu erhalten. Objektseitig wird durch die Steigerung der numerischen Apertur bei zunehmender Vergrößerung auch eine zunehmende Auflösung gewährleistet.

[0007] Besonders bei digitalen Bildaufnahmen (z.B. mittels CCD oder CMOS, nachfolgend allgemein als „Sensoren“ bezeichnet) ist eine gute Anpassung der Optik (Auflösung und Helligkeit) an die Auflösung und die Belichtungszeit des Bildsensors wichtig, da bei einer digitalen Bildaufnahme die Hell-Dunkel-Adaption, der dynamische Bereich, die Akkommodation, die Fokusslage und die Auflösung statisch bzw. nicht vorhanden sind. Zwar können Helligkeitsänderungen aufgrund sich ändernder numerischer Aperturen durch eine Anpassung der Belichtungszeit, der Verstärkung usw. teilweise elektronisch kompensiert werden, entsprechende Regelschleifen (z.B. in bekannten Autoexposure-Verfahren) arbeiten jedoch häufig langsam. Andere Veränderungen können schlecht oder gar nicht kompensiert werden und schlagen sich negativ in der Bildqualität nieder.

[0008] Digitalsysteme sind insgesamt in sehr viel geringerem Umfang anpassungsfähig als das menschliche Auge und vermögen Unterschiede schlechter auszugleichen. Daher sollte durch das Zoomsystem für die Auflösung des Sensors R_s idealerweise die Bedingung $R_s = 3000 \times \text{NAB}$ eingehalten werden, was bedeutet, dass die bildseitige numerische Apertur NAB ebenfalls konstant gehalten werden sollte.

[0009] Die eingangs erwähnten Einrichtungen wie starre Aperturblenden, Irisblenden und/oder Strahlbegrenzer an Linsen und Linsenfassungen sind passiv, d.h. sie besitzen eine statische, unveränderliche Größe oder sind allenfalls manuell oder durch elektromechanische Ansteuerung durch den Benutzer einstellbar. Durch geeignete Wahl und Platzierung dieser Einrichtungen, deren Axialbewegung gegebenenfalls auch mit der Zoombewegung gekoppelt werden kann, kann mit der Zunahme der Vergrößerung auch eine Erhöhung der numerischen Apertur verbunden werden. Allerdings sind derartige Möglichkeiten i.d.R. bei weitem nicht ausreichend. Während der Zoomverstellung verändert sich auch weiterhin die numerische Apertur, so dass sich die Helligkeit und Auflösung des empfangenen Bildes ebenfalls verändern. Aperturveränderungen um einen Faktor von zwei und

mehr sind die Regel (siehe beispielsweise H. Schnitzler und K.P. Zimmer, *Advances in Stereomicroscopy*, Proc. of SPIE 7100, 2008, **Fig. 6**).

[0010] Aus der DE 10 2004 006 066 B4 ist eine Blendenvorrichtung zur Steuerung der Apertur eines Mikroskops mit einstellbarem Vergrößerungsfaktor bekannt. Hierbei ist eine Erfassung von Beobachtungsparametern, insbesondere des Vergrößerungsfaktors, vorgesehen. Mittels einer Steuereinheit, die ein Apertursignal ausgeben kann, lässt sich eine einstellbare Aperturblende verstellen. Hierdurch lassen sich Transmissionsverläufe realisieren, die beispielsweise zu einer konstanten Helligkeit der Austrittspupille führen. Diese Anordnung erweist sich jedoch in ihrer Realisierung als sehr aufwendig und besitzt weitere Nachteile.

[0011] Auch die DE 10 2010 045 860 A1 adressiert das zuvor erläuterte Problem, die dort offenbarte Lösung erweist sich jedoch aufgrund der großen Anzahl verbauter Komponenten zumindest als ausgesprochen aufwendig.

[0012] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, die genannten Mängel aufgrund bildseitig variierender numerischer Aperturen auf einfache und zuverlässige Weise zu eliminieren.

Offenbarung der Erfindung

[0013] Vor diesem Hintergrund werden erfindungsgemäß ein Mikroskop, das ein optisches Zoomsystem mit einer Blende mit einstellbarer Apertur aufweist, sowie ein entsprechendes Zoomsystem für ein Mikroskop mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Bevorzugte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche und der nachfolgenden Beschreibung.

[0014] Erfindungsgemäß werden einerseits ein Mikroskop mit einem Zoomsystem und andererseits ein Zoomsystem für ein entsprechendes Mikroskop vorgeschlagen. Das Zoomsystem kann beispielsweise modular ausgebildet sein. Die nachfolgenden Erläuterungen betreffen daher Mikroskop und Zoomsystem in gleicher Weise.

Vorteile der Erfindung

[0015] Die vorliegende Erfindung schlägt ein Mikroskop vor, dessen Zoomsystem eine Blende mit verstellbarer Apertur aufweist. Unter einer Apertur wird dabei der Durchmesser einer Blendenöffnung verstanden, der den die Blende durchstrahlenden Anteil eines Lichtbündels definiert. Ein Beispiel für eine Blende mit verstellbarer Apertur ist insbesondere eine Irisblende. Auch LCD-Shutter, die einen zentralen transmittierenden Bereich mit einstellbarem Durch-

messer aufweisen, oder verschiebbare Lochblenden mit mehreren Öffnungen sind bekannt.

[0016] Das Mikroskop bzw. ein entsprechendes Zoomsystem weist ferner eine als Teil des Zoomsystems ausgebildete und mit zumindest einer beweglichen optischen Gruppe des Zoomsystems bewegungsfest verbundene mechanische Kopplungseinrichtung auf, mittels derer eine Bewegung der zumindest einen beweglichen optischen Gruppe des Zoomsystems mechanisch in eine Verstellung der Apertur der Blende umsetzbar ist.

[0017] Der Begriff „bewegungsfeste“ Verbindung meint dabei eine Verbindung, bei der eine Bewegung eines Verbindungspartners stets in einer gleichgerichteten und betragsmäßig identischen Bewegung des anderen Verbindungspartners resultiert. Die einzelnen Verbindungspartner sind dabei insbesondere direkt oder über ihrerseits bewegungsfest verbundene Teile miteinander verbunden, beispielsweise verschraubt oder verklebt.

[0018] Neben der erfindungsgemäß vorgesehenen mechanischen Kopplungseinrichtung können weitere Blenden auch auf andere Weise, beispielsweise elektronisch, verstellt werden, wobei auch beispielsweise eine Position wenigstens einer beweglichen Komponente des Zoomsystems ausgelesen und die Blenden gemäß einer abhängig hiervon berechneten Größe eingestellt werden können.

[0019] Gegenüber dem eingangs erläuterten Stand der Technik benötigt das erfindungsgemäße Mikroskop bzw. das Zoomsystem im einfachsten Fall keinerlei Erfassungseinrichtung und keine Steuereinheit. Die mechanische Kopplungseinrichtung kann als integraler Bestandteil des Zoomsystems ausgebildet werden und vergrößert den Raumbedarf eines entsprechenden Zoomsystems nicht oder nicht nennenswert.

[0020] Aufgrund der vollständig mechanisch ausbildbaren Kopplung zwischen der Bewegung der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe und der Verstellung der Apertur der Blende kann auf elektrische Komponenten vollständig verzichtet werden. Ein entsprechendes Mikroskop ist daher energiesparend, wartungsarm und weitgehend transportabel.

[0021] Die durch die Verstellung der Apertur der verstellbaren Blende mögliche Steuerung der bildseitigen numerischen Apertur kann damit als integraler mechanischer Bestandteil des Zoom- bzw. Teleskopsystems ausgebildet sein, so dass ein entsprechendes Mikroskop besonders kompakt ausgebildet werden kann. Ferner ergibt sich systembedingt stets eine optimale Bildwiedergabe ohne Erhöhung der Anwendungskomplexität. Dies ermöglicht den Erhalt optimal aufgelöster und ausgeleuchteter Bilder auch durch

ungeschultes Personal und erleichtert die Bedienung eines entsprechenden Mikroskops signifikant. Der kompakte und vollständig einbaufähige Aufbau und der Wegfall zusätzlicher Bedieneinheiten ermöglicht einen Einsatz eines entsprechenden Mikroskops beispielsweise auch in kontaminationskritischen Umgebungen wie Reinräumen oder Sterilbereichen.

[0022] Insbesondere gegenüber teilelektronischen Lösungen, wie sie beispielsweise in der DE 10 2004 006 066 B4 offenbart sind, ist die erfindungsgemäße Lösung auch äußerst kosteneffizient. Die Erfindung schafft insbesondere eine spezifisch auf die Digitalmikroskopie maßgeschneiderte Lösung ohne Zusatzkomponenten. Die Erfindung schafft ein Mikroskop mit einem optischen Zoomsystem, dessen einstellbare Blende je nach Zoomstellung automatisch derart eingestellt wird, dass die bildseitige numerische Apertur bei allen Zoomstellungen konstant ist. Ein Digitalsystem benötigt daher kein „Wissen“ bezüglich der Einstellungen des Mikroskops, was eine besonders einfache Modularisierung erlaubt, bei der in der Bildebene dennoch immer sowohl eine konstante Auflösung als auch eine konstante Bildhelligkeit erzielt wird.

[0023] Die konstante bildseitige Auflösung ist besonders vorteilhaft, weil hierdurch die Pixelschärfe des erhaltenen Bildes bei allen Zoomstellungen gleich bleibt, was für den Betrachter sehr angenehm ist und eine optimale Abstimmung von Optik und Auflösung des Bilddetektors ermöglicht.

[0024] Eine konstante bildseitige Helligkeit ist besonders vorteilhaft, weil hierdurch die Belichtungszeit bei elektronischer Bildaufnahme konstant bleibt und nicht beim Verstellen der Zoomstellung korrigiert werden muss. Dieser Regelvorgang beansprucht einerseits Zeit und verändert andererseits die Aufnahmeparameter, so dass die Bildaufnahmen nicht mehr unter identischen Bedingungen erfolgen und somit nicht ohne weiteres verglichen werden können. Beispielsweise können sich bei einer Veränderung der Belichtungszeit unterschiedliche Bewegungsunschärfefeffekte ergeben. Auch das Rauschen ist bei bekannten digitalen Bildsensoren häufig belichtungszeitabhängig, so dass unterschiedliche Belichtungseinstellungen zu unterschiedlich verrauschten Bildern führen können. Erfindungsgemäß werden hingegen stets identische Aufnahmebedingungen hergestellt.

[0025] Auch bei einem Mikroskop mit visuellem Einblick, bei dem ein Mikroskop-Zwischenbild mittels eines Okulars betrachtet wird, ist eine möglichst konstante augenseitige Apertur für einen verbesserten Betrachtungskomfort und bezüglich der erwarteten Bildschärfe wünschenswert.

[0026] Mit der vorliegenden Erfindung können sämtliche dieser Anforderungen auf technisch effiziente Art und Weise erfüllt werden.

[0027] Die mechanische Kopplungseinrichtung stellt insbesondere eine Zwangskopplung zwischen der Bewegung der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe und der Verstellung der Apertur der Blende bereit. Eingriffe durch den Benutzer sind nicht erforderlich und können gegebenenfalls auch vollständig unterbunden werden. Dies ermöglicht es, zu jedem Betrachtungszeitpunkt exakt definierte Beobachtungsbedingungen festzulegen, was insbesondere für Dokumentationszwecke in der Medizin oder Forensik vorteilhaft ist. Die Beobachtungsparameter sind also zu jedem Zeitpunkt fest vorgegeben und brauchen nicht, beispielsweise durch schriftliche Aufzeichnungen, zur Dokumentation festgehalten zu werden. In anderen Fällen kann es auch günstig sein, eine Entkopplungsmöglichkeit bereitzustellen, die die erwähnte Zwangskopplung aufhebt.

[0028] Besonders vorteilhaft ist es, wenn in einem entsprechenden Mikroskop bzw. einem entsprechenden Zoomsystem die mechanische Kopplungseinrichtung wenigstens eine mechanische Steuerkurve aufweist, mittels derer wenigstens eine Verstelleinrichtung der wenigstens einen Blende mechanisch beaufschlagbar ist. Bei der erwähnten Zwangskopplung erfolgt diese Beaufschlagung permanent, bei einer vorgesehenen Entkopplungsmöglichkeit kann diese aufgehoben werden. Mechanische Steuerkurven können besonders platzsparend ausgebildet werden, wobei eine Adaption an die räumlichen Beschränkungen des jeweils verwendeten Zoomsystems möglich ist.

[0029] Vorteilhafterweise kann dabei die wenigstens eine mechanische Steuerkurve als Kulissenführung mit wenigstens einem Langloch, wenigstens einer Führungsnut und/oder wenigstens einer Führungsschiene ausgebildet sein, wie im Detail in der Figurenbeschreibung erläutert.

[0030] Vorteilhafterweise ist dabei die Verstelleinrichtung der Blende mit wenigstens einem Eingriffselement ausgestattet, das mit der mechanischen Steuerkurve in Eingriff bringbar ist. Bei einer Entkopplungsmöglichkeit kann dieses beispielsweise zurückziehbar sein.

[0031] Die vorliegende Erfindung ist in allen Zoomsystemen vorteilhaft, welche eine physikalische Blendenposition besitzen. Entsprechende Zoomsysteme umfassen typischerweise drei oder vier optische Gruppen, von welchen wenigstens zwei beweglich sind. Die Erfindung ist daher bei zahlreichen Zoomsystemen einsetzbar.

[0032] Ein Beispiel ist in der **Fig. 2** dargestellt und zeigt ein Zoomsystem aus drei Gruppen, wobei die erste Gruppe (vom Objekt aus gesehen) feststeht und die zweite und die dritte Gruppe beweglich sind. Eine für die Linsendurchmesser vorteilhafte, kompakte Bauform ergibt sich, wenn die erfindungsgemäß einstellbare Blende etwa in der Mitte des Zoomsystems angeordnet ist, also zwischen der ersten und zweiten Gruppe oder zwischen der zweiten und dritten Gruppe, und/oder fest mit der zweiten oder dritten Gruppe verbaut ist.

[0033] Ein derartiges Zoomsystem kann objektseitig eine afokale Schnittstelle aufweisen und bietet somit ein Interface zum Anbringen und Austauschen unterschiedlicher Objektive. Bildseitig erzeugt das Zoomsystem aufgrund der erfindungsgemäßen Blendenverstellung ein Bild mit konstanter numerischer Apertur, das z.B. mit einem Sensor erfassbar ist. Der Einsatz der Erfindung ist auch bei beidseitig fokalen Zoommikroskopen möglich, wie beispielsweise Mikroskopen der Greenough-Klasse. Dieser Typ besitzt keine Wechselschnittstellen und erzeugt ohne weitere Optik direkt ein Bild eines Objekts.

[0034] Die Erfindung ist jedoch auch bei beidseitig afokalen Zoomteleskopen, wie sie beispielsweise in Stereomikroskopen vom Teleskoptyp oder in Makroskopen zum Einsatz kommen, einsetzbar. Beispiele hierfür sind in den **Fig. 3** und **Fig. 6** gezeigt. Entsprechende Zoomsysteme besitzen objekt- und bildseitig eine afokale Schnittstelle. Aufgrund der erfindungsgemäß vorgesehenen Blendeneinstellung wird hier ein konstanter Austrittspupillendurchmesser erzeugt, welcher durch einen gängigen nachgeschalteten Tubus zu einer konstanten bildseitigen numerischen Apertur führt.

[0035] Besonders vorteilhaft ist es, wenn mit der mechanischen Kopplungseinrichtung ein nichtlinearer Blendenverlauf realisiert werden kann. Dies bedeutet, dass aus einer ersten Distanz einer Bewegung der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe des Zoomsystems ein erster Verstellbetrag der Blende und aus einer zweiten Distanz einer Bewegung der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe des Zoomsystems, die betragsmäßig identisch zu der ersten Distanz ist, ein zweiter Verstellbetrag resultiert, der jedoch von dem ersten Verstellbetrag abweicht. Ein nichtlinearer Blendenverlauf kann beispielsweise mittels einer unregelmäßig verlaufenden mechanischen Steuerkurve erzielt werden.

[0036] Eine Steuerkurve verläuft dabei „unregelmäßig“, wenn ihr Verlauf beispielsweise mehrere Abschnitte mit unterschiedlicher Krümmung aufweist. Eine unregelmäßig verlaufende Steuerkurve kann auch zunächst eine Krümmung in einer ersten Richtung und anschließend eine Krümmung in einer zwei-

ten Richtung oder grade verlaufende Abschnitte aufweisen usw.

[0037] Ein wichtiger Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die oben beschriebene konstante Helligkeit und Schärfe über den gesamten Zoombereich. Ein weiterer Vorteil und eine Steigerung der Bildqualität, insbesondere für digitale Zoommikroskope, ist durch ein vignettierungsfreies optisches Design erzielbar, d.h. die optische Abbildung bei jeder Zoomstellung erzeugt auch außeraxial über das Bildfeld eine konstante numerische Apertur und somit eine konstante Helligkeit und Auflösung (vignettierungsfrei).

[0038] Ein vignettierungsfreies optisches Design erhält man, wenn die Strahlbegrenzung auch für die außeraxialen Bildpunkte nur genau an der einen aperturgebenden Blende erfolgt. Häufig werden die (schräg durch die Optik verlaufenden) außeraxialen Strahlenbüschel durch weitere optische Elemente (wie Linsendurchmesser) leicht beschnitten, was zur angesprochenen Vignettierung führt. Beschneidet man die außeraxialen Strahlenbüschel nicht, stellt dies höhere Anforderungen an das Optikdesign, da eine höhere Apertur naturgemäß einen höheren Korrektionsaufwand erfordert.

[0039] Dies ist bei gängigen Zoomsystemen im Allgemeinen nicht gegeben und wurde bisher auch nicht als zwingend angesehen, da ein visueller Betrachter sich i.d.R. auf die Bildmitte konzentriert und sich das menschliche Auge im Vergleich zur digitalen Bildaufnahme sehr tolerant gegenüber Helligkeitsvariationen verhält. Bei der digitalen Bildaufnahme ist diese Toleranz aber, wie erwähnt, nicht mehr gegeben. Die Erwartung an eine digitale Bildaufnahme ist eine homogene und konstante Bildqualität und -auflösung über das gesamte Bildfeld. Dem muss daher in herkömmlichen Systemen mit Shading-Korrekturen und anderen Algorithmen Rechnung getragen werden. Eine vignettierungsfreie Optik (d.h. ein Helligkeits- bzw. Aperturabfall am Bildrand unter 10%) stellt einen Mehrwert dar.

[0040] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung gegenüber dem Stand der Technik veranschaulicht und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt schematisch einen Strahlengang eines optischen Kanals eines Mikroskops, das mit einer erfindungsgemäßen Einrichtung ausgestattet werden kann, in zwei Zoomstellungen.

Fig. 2 zeigt schematisch die technische Realisierung des in **Fig. 1** gezeigten Strahlengangs in zwei Zoomstellungen.

Fig. 3 zeigt schematisch die technische Realisierung eines gegenüber **Fig. 1** modifizierten Strahlengangs in zwei Zoomstellungen.

Fig. 4 zeigt schematisch Möglichkeiten zur Verstellung einer Irisblende, die in einer erfindungsgemäßen Einrichtung realisiert sein können.

Fig. 5 veranschaulicht schematisch die nichtlineare Verstellung einer Irisblende, die in einer erfindungsgemäßen Einrichtung realisiert sein kann.

Fig. 6 zeigt eine Prinzipskizze eines Strahlengangs eines Stereomikroskops, das mit einer erfindungsgemäßen Einrichtung ausgestattet werden kann.

Fig. 7 zeigt die technische Umsetzung eines Stereomikroskops, das mit einer erfindungsgemäßen Einrichtung ausgestattet werden kann.

[0041] In den Figuren tragen einander entsprechende Elemente identische Bezugszeichen und werden der Übersichtlichkeit halber nicht wiederholt erläutert.

Ausführungsformen der Erfindung

[0042] **Fig. 1** zeigt schematisch einen Strahlengang eines optischen Kanals eines Mikroskops, das erfindungsgemäß ausgebildet werden kann, in zwei Zoomstellungen A und B. Die mit A bezeichnete Zoomstellung entspricht hier und in den nachfolgenden Figuren, falls anwendbar, einer höheren Vergrößerung, die mit B bezeichnete Zoomstellung einer niedrigeren Vergrößerung. Ein entsprechender Strahlengang ist in einem Stereomikroskop (vgl. **Fig. 6**) zumindest zum Teil paarweise vorgesehen.

[0043] Der Strahlengang umfasst ein Hauptobjektiv **21**. In einer Objektebene **12** des Hauptobjektivs **21**, die dessen vorderer Brennebene entspricht, ist ein zu betrachtendes Objekt **11** angeordnet. Ein betrachteter Punkt ist mit einem Kreuz X bezeichnet. Dem Hauptobjektiv **21** ist ein Zoomsystem **30** mit drei optischen Gruppen **31** bis **33** nachgeschaltet. Das Hauptobjektiv **21** und die drei optischen Gruppen **31** bis **33** sind stark schematisiert dargestellt und können in der Praxis insbesondere jeweils mehrere optische Linsen umfassen. Zoomsysteme **30**, wie sie im Rahmen der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommen können, sind beispielsweise in der US 6 816 321 A beschrieben.

[0044] Die erste optische Gruppe **31** des Zoomsystems **30** wirkt sammelnd und fokussiert damit einen zwischen dem Hauptobjektiv **21** und der ersten optischen Gruppe **31** des Zoomsystems **30** afokal verlaufenden Strahlengang. Wie bereits erwähnt, ist in gängigen Stereomikroskopen häufig ein entsprechender afokaler Strahlengang zwischen dem Hauptobjektiv **21** und den bildseitig hiervon vorgesehenen Kompo-

nenten realisiert. Die Erfindung eignet sich jedoch auch für Mikroskope ohne afokalen Strahlengang.

[0045] Im dargestellten Beispiel ist die erste optische Gruppe **31** des Zoomsystems **30** fest, d. h. nicht axial beweglich. Mit „axial“ ist im Rahmen dieser Anmeldung eine Richtung gemeint, die vom Brennpunkt des Hauptobjektivs **21** ausgehend senkrecht durch das Hauptobjektiv **21** verläuft. Die Axialrichtung wird damit durch das Hauptobjektiv **21** definiert. Sie entspricht in dem in **Fig. 1** dargestellten Beispiel der optischen Achse **62** des Strahlengangs.

[0046] Bildseitig der ersten optischen Gruppe **31** des Zoomsystems **30** ist eine zweite optische Gruppe **32** vorgesehen, die zerstreue Eigenschaften aufweist. Mittels der zweiten optischen Gruppe **32** des Zoomsystems **30** wird der durch die erste optische Gruppe **31** fokussierte und damit konvergent verlaufende Strahlengang aufgeweitet. Die zweite optische Gruppe **32** ist entlang der optischen Achse **62** (also in axialer Richtung) beweglich ausgebildet.

[0047] Weiter bildseitig ist eine dritte optische Gruppe **33** des Zoomsystems **30** vorgesehen. Diese wirkt erneut sammelnd und fokussiert den mittels der zweiten optischen Gruppe **32** zerstreuten Strahlengang erneut.

[0048] Im dargestellten Beispiel sind zwischen der dritten optischen Gruppe **33** des Zoomsystems **30** und einer Bildebene **52**, beispielsweise auf einem Sensor **51** einer digitalen Bilderfassungseinheit **50** (siehe unten), keine optischen Elemente mit Brechkraft, also beispielsweise Linsen, vorgesehen. Einrichtungen wie spektrale Filter oder sonstige Planoptikelemente wie beispielsweise Strahlenteiler können optional eingebracht werden. Die dritte optische Gruppe **33** des Zoomsystems **30** fokussiert den Strahlengang daher auf einen Punkt auf der Bildebene **52**, hier ebenfalls mit einem Kreuz X bezeichnet.

[0049] Auch die dritte optische Gruppe **33** des Zoomsystems **30** ist entlang der optischen Achse **62**, also in axialer Richtung, beweglich ausgebildet.

[0050] Zwischen der zweiten optischen Gruppe **32** und der dritten optischen Gruppe **33** des Zoomsystems **30** ist eine Blende **41** vorgesehen. Diese Blende **41** kann erfindungsgemäß gekoppelt mit der Bewegung der zweiten optischen Gruppe **32** oder der dritten optischen Gruppe **33** verstellt werden. Hierzu ist eine mechanische Kopplungseinrichtung vorgesehen, die in den nachfolgenden Figuren näher erläutert wird. Die Verstellung der Blende **41** ist also mit einer beweglichen Gruppe **32**, **33** des Zoomsystems **30** gekoppelt. In den nachfolgenden Beispielen ist eine Kopplung mit der zweiten optischen Gruppe **32** des Zoomsystems **30** dargestellt; wie erwähnt ist jedoch

in gleicher Weise auch eine Kopplung mit der dritten optischen Gruppe **33** des Zoomsystems **30** möglich.

[0051] In der mit B bezeichneten Zoomstellung wurde die zweite optische Gruppe **32** des Zoomsystems **30** in Axialrichtung nach unten bewegt. Gekoppelt hiermit erfolgte eine Bewegung der dritten optischen Gruppe **33** des Zoomsystems **30** axial nach oben. Auf diese Weise ergibt sich in dem dargestellten Zoomsystem eine Verringerung der Vergrößerung, also des Abbildungsmaßstabs zwischen dem Objekt **11** und dem erzeugten Bild. Wie ebenfalls dargestellt, wurde der wirksame optische Durchmesser der Blende **41** verringert. Damit wurde die numerische Apertur des Strahlengangs ebenfalls verringert, wie dies bei Verringerung der Vergrößerung zur Aufrechterhaltung einer z.B. konstanten Bildhelligkeit zweckmäßig ist.

[0052] Der Strahlengang ist in der **Fig. 1** durch eine schematische Darstellung der Randstrahlen **61** eines entsprechenden Lichtbündels **60** veranschaulicht. Die optische Achse ist, wie erwähnt, mit **62** angegeben. Die optischen Randstrahlen schließen aufgrund der Apertureinstellung mittels der Blende **41** in den mit A und B bezeichneten Zoomstellungen unterschiedliche Winkel θ ein. Der Winkel $\theta/2$ entspricht dem Aperturwinkel σ zwischen jeweils einem der Randstrahlen und der optischen Achse **62**.

[0053] In **Fig. 2** ist die technische Realisierung des in **Fig. 1** gezeigten Strahlengangs in den zwei Zoomstellungen A und B schematisch gezeigt. Die **Fig. 2** umfasst dabei sämtliche Elemente der **Fig. 1**.

[0054] Das Hauptobjektiv **21** ist hier in einer Objektivfassung **20** aufgenommen. Die Objektivfassung **20** kann in eine entsprechende Aufnahme **71** eines Mikroskopgehäuses **70** eingepasst, beispielsweise eingeschraubt, werden.

[0055] Die erste optische Gruppe **31** des Zoomsystems **30** ist in einer Linsenhalterung **34** aufgenommen. Auch die zweite optische Gruppe **32** des Zoomsystems **30** und die dritte optische Gruppe **33** des Zoomsystems **30** sind in entsprechenden Linsenhalterungen **35** und **36** aufgenommen. Die Linsenhalterungen **35** und **36** sind entlang von Führungen **37** axial beweglich. Die Bewegung entlang der Führungen **37** ist aus der Zusammenschau der mit A und B bezeichneten Zoomstellungen ersichtlich.

[0056] Dem Gehäuse **70** nachgeschaltet, oder in dieses integriert, ist eine Bilderfassungseinheit **50** vorgesehen, die ein Sensorgehäuse aufweisen kann. Die Bilderfassungseinheit **50** umfasst den zuvor erwähnten Bildsensor **51**, auf dessen Bildebene **52** ein scharfes Objektbild abgebildet werden kann.

[0057] In der **Fig. 2** sind ferner die Kopplungsmittel zur Verstellung der Blende **41** näher veranschaulicht. Die Blende **41** ist hier in einer Blendhalterung **40**, die vorteilhafterweise fix auf den Führungen **37** angeordnet ist, aufgenommen. Es kann auch vorgesehen sein, die Position der Blende **41** bzw. der Blendhalterung **40** durch die Verstellung der Linsenhalterungen **35** und **36** festzulegen. Die Blendhalterung **40** wird in diesem Fall an einer Position zwischen den Linsenhalterungen **35** und **36** eingeklemmt und so beispielsweise initial justiert.

[0058] Im dargestellten Beispiel ist mit der Linsenhalterung **35** eine als Kulissenführung ausgebildete mechanische Kopplungseinrichtung **42** bewegungsfest verbunden. Die Kulissenführung weist beispielsweise eine mechanische Steuerkurve **43** in Form eines Langlochs auf. In das Langloch greift eine Verstelleinrichtung **44** der Blende **41** ein. Wie aus der Zusammenschau der mit A und B bezeichneten Zoomstellungen ersichtlich, ergibt sich aufgrund der axialen Bewegung der Linsenhalterung **35** mit der hieran angebrachten Kopplungseinrichtung **42** eine radiale Verstellung der Verstelleinrichtung **44** der Blende **40**.

[0059] Wie mehrfach erläutert, kann die Kopplungseinrichtung **42** auch mit anderen beweglichen Komponenten, beispielsweise der dritten optischen Gruppe **33** bzw. einer entsprechenden Linsenhalterung **36** des Zoomsystems **30**, verbunden sein.

[0060] In **Fig. 3** ist die technische Realisierung eines gegenüber **Fig. 1** modifizierten Strahlengangs, ebenfalls in zwei Zoomstellungen A und B, gezeigt. Der Strahlengang unterscheidet sich von jenem, der in den **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt ist, dadurch, dass eine weitere Linse **38**, bzw. wiederum ein entsprechendes optisches System aus mehreren Linsen **38**, vorgesehen ist. Die Linse **38** wirkt zerstreuernd und setzt den objektseitig der Linse konvergent verlaufenden Strahlengang in einen afokalen Strahlengang bildseitig der Linse **38** um.

[0061] Hierdurch ergibt sich ein beidseitig afokales Zoomsystem, das insbesondere für eine modulare Kopplung mit unterschiedlichsten Komponenten bild- und objektseitig des Zoomsystems **30** geeignet ist.

[0062] Im dargestellten Beispiel kann eine Aufnahme **80** vorgesehen sein, an die, beispielsweise über eine entsprechende Schwalbenschwanzfassung **81**, derartige Komponenten angekoppelt werden können. Die Verstellung des Zoomsystems **30** mit der Blende **41** erfolgt wie zuvor erläutert. Man erkennt, dass bildseitig der Linse **38** jeweils ein afokaler Strahlengang mit identischem Pupillendurchmesser erhalten wird. Dieser führt in einem nachgeschalteten Tubus zu einer konstanten bildseitigen numerischen Apertur.

[0063] In **Fig. 4** sind Möglichkeiten zur Verstellung einer Irisblende, die in einem erfindungsgemäßen Mikroskop realisiert sein können, schematisch in den Ansichten A bis D veranschaulicht. Die Kopplungseinrichtung ist jeweils mit 42 bezeichnet. In den mit A und B gezeigten Blendenstellungen ist (A) ein großer Blendendurchmesser bzw. (B) ein geringerer Blendendurchmesser dargestellt. Die Ausbildung entsprechender Blenden ist grundsätzlich bekannt. Beispielsweise kann es sich bei einer verwendeten Blende 41 um eine Lamellenblende handeln, bei der der Blendendurchmesser durch eine radiale Verstellung einer Verstelleinrichtung 44 einstellbar ist. Die Blenden sind in den Teilfiguren A bis D jeweils in axialer Draufsicht gezeigt.

[0064] Die mit A und B gezeigten Blendenstellungen entsprechen beispielsweise jenen, die in den **Fig. 1** bis **Fig. 3** in den mit A und B bezeichneten Fokusstellungen vorliegen. Die mechanische Steuerkurve 43 ist hier beispielsweise als das zuvor bereits erwähnte Langloch ausgebildet. Die Verstelleinrichtung 44 der Blende 41 greift hier mittels eines Eingriffselements 45 in die mechanische Steuerkurve 43 ein. Das Eingriffselement 45 ist hier als Zapfen ausgebildet, der zu einer Entkopplung auch ggf. außer Eingriff mit der mechanischen Steuerkurve 43 gebracht werden kann.

[0065] Ein alternativer Verstellmechanismus hierzu ist in der mit C gezeigten Ansicht dargestellt. Die optische Steuerkurve 43 ist hier als längliche Führungsnut in der Kopplungseinrichtung 42 ausgebildet. Die Verstelleinrichtung 44 der Blende umfasst beispielsweise einen Kugelkopf als Eingriffselement 45, der in die Führungsnut eingreift. Der Kugelkopf der Verstelleinrichtung 44 kann federnd in der Verstelleinrichtung 44 gelagert sein, so dass sich Distanzunterschiede zu der als Nut ausgebildeten mechanischen Steuerkurve 43 ausgleichen lassen.

[0066] Eine weitere Ausführungsform ist in der mit D bezeichneten Ansicht dargestellt. Die mechanische Steuerkurve 43 ist hier als längliche Stabführung bzw. Führungsschiene ausgebildet, die in ein als Aussparung in der Verstelleinrichtung 44 ausgebildetes Eingriffselement 45 eingreifen kann.

[0067] Besonders vorteilhaft ist es, wenn mittels der erfindungsgemäßen Kopplungseinrichtung nicht nur lineare Blendenverläufe umsetzbar sind, sondern eine Verstellung einer entsprechenden Blende 41 in Abhängigkeit von den jeweils vorliegenden und gegebenenfalls nicht linear verlaufenden Aperturen möglich ist.

[0068] Eine Möglichkeit zur praktischen Umsetzung eines entsprechenden Blendenverlaufs ist in **Fig. 5** gezeigt. Erneut ist hier die mechanische Steuerkurve 43 als Langloch veranschaulicht, es können grund-

sätzlich jedoch auch andere, beispielsweise die in der **Fig. 4** gezeigten, Möglichkeiten zum Einsatz kommen. Durch eine axiale Verstellung der Linsenhalterung 36 ergibt sich eine abweichende Auslenkung in Abhängigkeit von der axialen Position der Linsenhalterung 36.

[0069] Wie bereits erläutert, kann die erfindungsgemäße Blendenkopplung vorteilhafterweise auch bei Stereomikroskopen vom Teleskoptyp zum Einsatz kommen. Ein Strahlengang eines derartigen Stereomikroskops ist in **Fig. 6** schematisch dargestellt. Entsprechende Stereomikroskope weisen beispielsweise ein gemeinsames Hauptobjektiv 21 auf, dem zwei identisch ausgebildete stereoskopische Kanäle L und R nachgeschaltet sind. Das in **Fig. 6** dargestellte Stereomikroskop ist dabei symmetrisch aufgebaut, was bedeutet, dass das Stereomikroskop 2 identische Stereokanäle L, R aufweist, die einander baulich entsprechen. Daher werden in der **Fig. 6** wahlweise die Elemente des linken Stereokanals L bzw. die Elemente des rechten Stereokanals R erläutert. Die Erläuterungen betreffen jedoch beide Stereokanäle L, R in gleicher Weise.

[0070] Die Erfindung ist jedoch auch mit besonderem Vorteil bei Stereomikroskopen einsetzbar, bei denen eines oder mehrere Elemente der beiden Stereokanäle L und R unterschiedlich zueinander ausgebildet sind, wie beispielsweise in der DE 10 2005 040 473 B4 beschrieben. In diesem Fall wird mittels einer geeignet ausgebildeten Kopplungseinrichtung in einem der beiden Kanäle eine um einen konstanten bzw. jeweils zoomstellungsabhängigen Betrag größere Apertur als in dem jeweils anderen Kanal erzeugt. In beiden Kanälen wird die bildseitige numerische Apertur jedoch konstant gehalten.

[0071] Dem Hauptobjektiv ist in beiden Stereokanälen L, R jeweils ein Zoomsystem 30 nachgeschaltet, das in seinem grundsätzlichen Aufbau bereits zuvor erläutert wurde. Die Zoomsysteme 30 der beiden stereoskopischen Kanäle L, R sind hier symmetrisch bildseitig des Hauptobjektivs 21 angeordnet. Sie sind als afokale Zoomsysteme ausgebildet, wie beispielsweise in der US 6 816 321 A beschrieben und zuvor erläutert.

[0072] Die Zoomsysteme 30 umfassen hier die Linsen 38, so dass im dargestellten Beispiel auch bildseitig der Zoomsysteme ein afokaler Strahlengang vorliegt. Bildseitig der Zoomsysteme 30 sind diesen jeweils Einblickeinheiten nachgeordnet, die beispielsweise einen Tubus 90 umfassen. Die Zoomsysteme 30 und die Einblickeinheiten können zum Teil in einem Gehäuse 70 angeordnet sein, an das das Hauptobjektiv 21 bzw. eine entsprechende Objektivhalterung 20 angeschraubt und/oder beispielsweise mittels einer Schwalbenschwanzaufnahme angebracht sein kann. Die Einblickeinheit, insbesondere der Tu-

bus **90**, kann ebenfalls mit einer entsprechenden Aufnahme an die Zoomsysteme **30** angebracht werden.

[0073] Der Tubus umfasst jeweils Tubuslinsen **91**, welche Zwischenbilder **95** erzeugen. Den Tubuslinsen **91** nachgeordnet sind Umkehrsysteme **92** zur Bildaufrichtung. Betrachterseitig schließen sich jeweils Okulare **96** an. Die Tubuslinsen **91** sind dazu ausgebildet, jeweils parallele Lichtbündel auf einem Punkt **94** in der Ebene der Zwischenbilder **95** zu fokussieren. Der Punkt **94** befindet sich im vorderen Brennpunkt der Okulare **96** und wird durch diese nach unendlich abgebildet, so dass er mit den Augen **97** eines Betrachters betrachtet werden kann.

[0074] Ein entsprechendes Stereomikroskop kann auch für eine digitaloptische Erfassung eines Objekts **11** ausgebildet sein, in welchem Fall zumindest ein Teil der Elemente der Einblickeinheiten in einer entsprechenden digitaloptischen Erfassungseinheit **50** angeordnet sein oder entfallen können. Beispielsweise sind die Umkehrsysteme **92** zur Bildaufrichtung bei der digitaloptischen Erfassung nicht erforderlich.

[0075] Optional können in bekannter Weise weitere Baugruppen in den Strahlengang eingebracht sein, beispielsweise Vorsatzlinsen, Filter, Polarisatoren, Auflichtbeleuchtungseinheiten und/oder Strahlteilersysteme. Die stereoskopischen Kanäle L und R sind hier parallel zu einer Mittelachse M angeordnet. Der Abstand B zwischen den optischen Achsen der stereoskopischen Kanäle L und R wird als Stereobasis bezeichnet. Die Stereobasis B definiert den Winkel W, unter dem jeder stereoskopische Kanal auf das Objekt blickt. Ein Durchmesser eines Strahlenbündels ist mit 39 bezeichnet.

[0076] In **Fig. 7** ist die praktische Umsetzung der erfindungsgemäßen Maßnahmen in einem Stereomikroskop veranschaulicht. Das Stereomikroskop ist insgesamt mit 1 bezeichnet.

[0077] Das Stereomikroskop umfasst einen Objektisch **10**, auf dessen Oberfläche **13** ein Objekt **11** angeordnet ist. Die Objektivhalterung **20** für das Hauptobjektiv wurde bereits zuvor erläutert. Die Zoomsysteme **30** sind in einem Gehäuse **70** angeordnet, das über entsprechende Einstellmittel **71**, beispielsweise zur Verstellung von Filtern und dergleichen, verfügen kann. Zur Zoomeinstellung der Zoomsysteme **30** ist eine Verstelleinheit **72** vorgesehen. Die Verstelleinheit **72** verstellt zumindest eine bewegliche optische Gruppe des Zoomsystems **30** und damit auch die Blende **41**. Zur Schärfeneinstellung ist eine Verstelleinheit **73** vorgesehen. Mittels der Verstelleinrichtung **73** ist das Stereomikroskop in seiner Höhe an einem Stativ **74** verstellbar. Dem Gehäuse **70** ist bildseitig der Tubus **90** nachgeordnet, in den Okulare **96** eingepasst sein können. Eine digitaloptische Erfassungseinheit **50** kann ebenfalls vorgesehen sein und von

einem Strahlengang beaufschlagt werden, der beispielsweise im Tubus **90** ausgekoppelt werden kann.

[0078] Die mechanische Kopplungseinheit **42** ist vollständig innerhalb des Gehäuses **70** angeordnet, was dessen äußere Abmessungen nicht verändert.

Patentansprüche

1. Mikroskop (1) mit wenigstens einem optischen Zoomsystem (30), das wenigstens eine Blende (41) mit verstellbarer Apertur und wenigstens eine bewegliche optische Gruppe (32, 33) aufweist, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine mechanische Kopplungseinrichtung (42), die mit der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe (32, 33) bewegungs fest verbunden ist, und mittels derer eine Bewegung der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe (32, 33) in eine Verstellung der Apertur der Blende (41) umsetzbar ist, wobei die mechanische Kopplungseinrichtung (42) wenigstens eine mechanische Steuerkurve (43) aufweist, mittels derer wenigstens eine Verstelleinrichtung (44) der wenigstens einen Blende (41) mechanisch beaufschlagbar ist, wobei die wenigstens eine mechanische Steuerkurve (43) als Kulissenführung mit einem Langloch, als wenigstens eine Führungsnut und/oder als wenigstens eine Führungsschiene ausgebildet ist.

2. Mikroskop (1) nach Anspruch 1, bei dem die wenigstens eine mechanische Kopplungseinrichtung (42) eine mechanische Zwangskopplung zwischen der Bewegung der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe (32, 33) und der Verstellung der Apertur der Blende (41) bereitstellt.

3. Mikroskop (1) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die wenigstens eine Verstelleinrichtung (44) wenigstens ein Eingriffselement (45) aufweist, das mit der mechanischen Steuerkurve (43) in Eingriff bringbar ist.

4. Mikroskop (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das optische Zoomsystem (30) wenigstens drei optische Gruppen (31, 32, 33) aufweist, von denen zumindest zwei optische Gruppen (32, 33) beweglich sind, wobei die mechanische Kopplungseinrichtung (42) mit einer der beweglichen optischen Gruppen (32, 33) bewegungs fest verbunden ist.

5. Mikroskop (1) nach Anspruch 4, bei dem das optische Zoomsystem (30) zwei bewegliche optische Gruppen (32, 33) aufweist, wobei die Blende zwischen den zwei beweglichen optischen Gruppen (32, 33) angeordnet ist.

6. Mikroskop (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, das einen beidseitig des Zoomsystems (30) fokalen, objektseitig des Zoomsystems (30) afoka-

len oder beidseitig des Zoomsystems (30) afokalen Strahlengang aufweist.

7. Mikroskop (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, das als Stereomikroskop vom Greenough-typ, als Stereomikroskop vom Teleskoptyp oder als Makroskop ausgebildet ist.

8. Mikroskop (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem mittels der wenigstens einen mechanischen Kopplungseinrichtung (42) bei unterschiedlichen Vergrößerungen eine konstante bildseitige numerische Apertur und/oder ein konstanter Austrittspupillendurchmesser bereitstellbar ist.

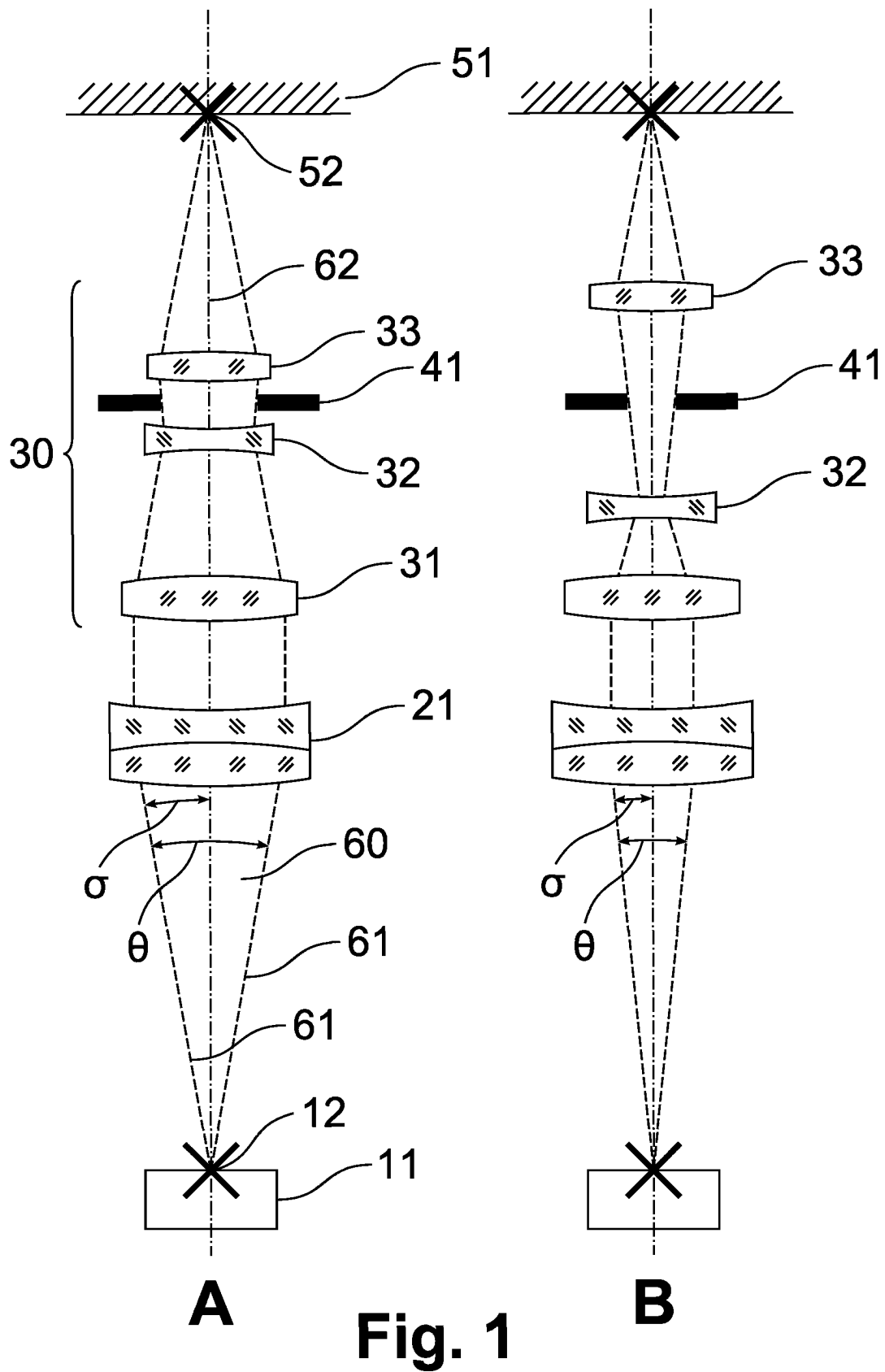
9. Mikroskop (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem mittels der wenigstens einen mechanischen Kopplungseinrichtung (42) eine nichtlineare Verstellung der wenigstens einen Blende (41) erzielbar ist.

10. Mikroskop (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, das wenigstens eine digitale Bilderfassungseinrichtung (50) aufweist.

11. Zoomsystem (30) für ein Mikroskop (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, das wenigstens eine Blende (41) mit verstellbarer Apertur und wenigstens eine bewegliche optische Gruppe (32, 33) aufweist, wobei das Zoomsystem (30) wenigstens eine mechanische Kopplungseinrichtung (42) aufweist, die mit der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe (32, 33) bewegungsfest verbunden ist, und mittels derer eine Bewegung der wenigstens einen beweglichen optischen Gruppe (32, 33) in eine Verstellung der Apertur der Blende (41) umsetzbar ist, und wobei die mechanische Kopplungseinrichtung (42) wenigstens eine mechanische Steuerkurve (43) aufweist, mittels derer wenigstens eine Verstelleinrichtung (44) der wenigstens einen Blende (41) mechanisch beaufschlagbar ist, wobei die wenigstens eine mechanische Steuerkurve (43) als Kulissenführung mit einem Langloch, als wenigstens eine Führungsnut und/oder als wenigstens eine Führungsschiene ausgebildet ist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



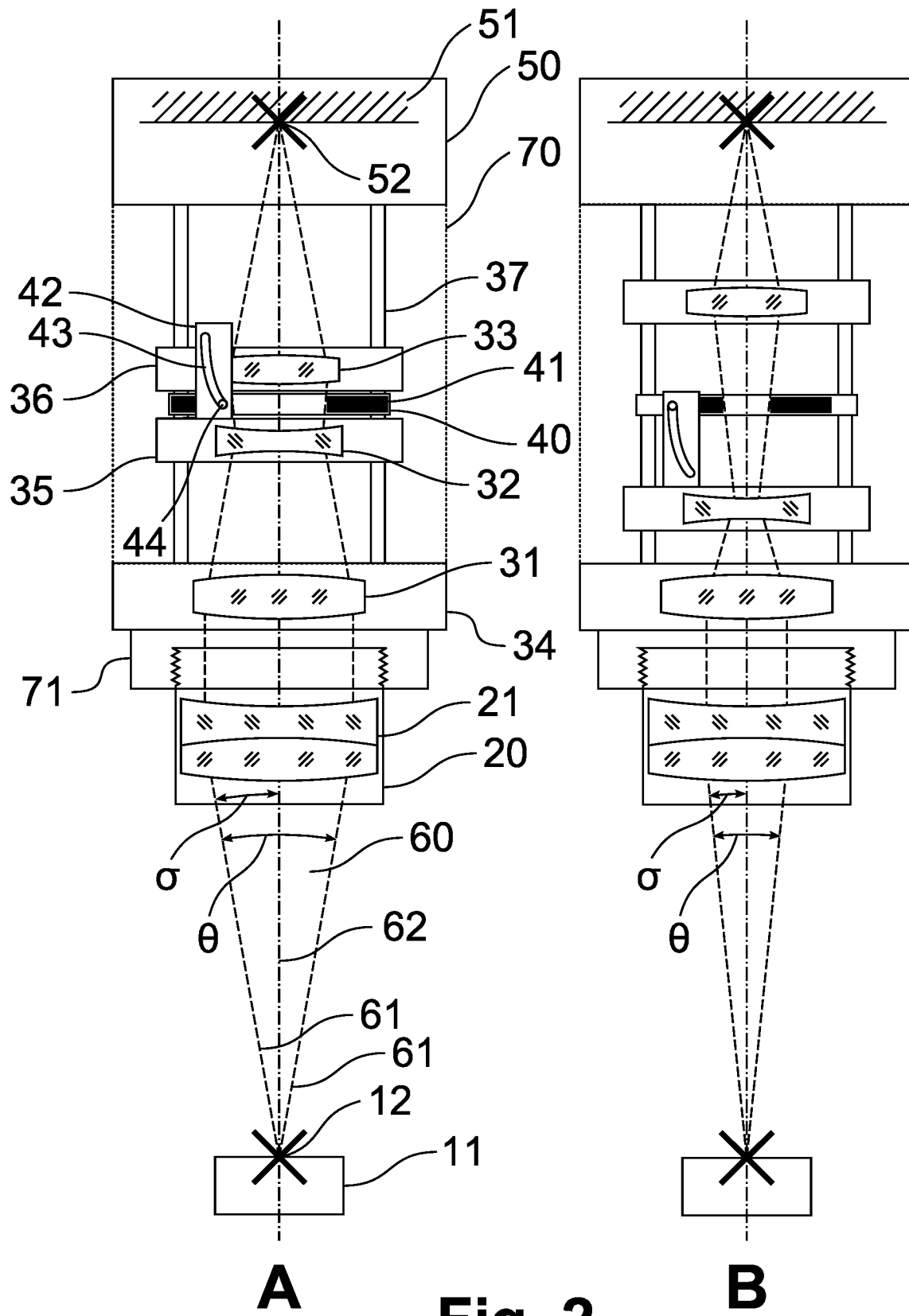
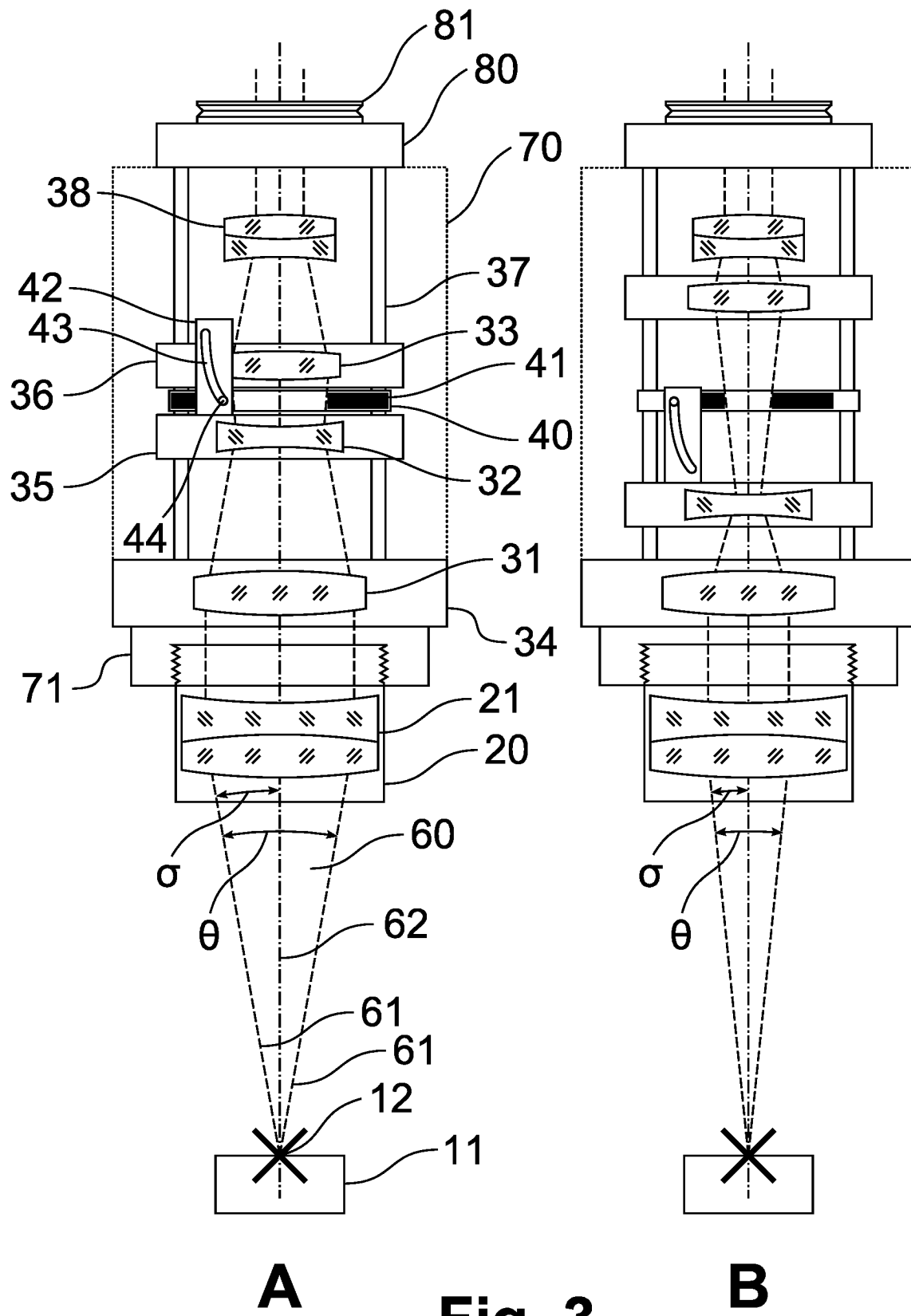


Fig. 2



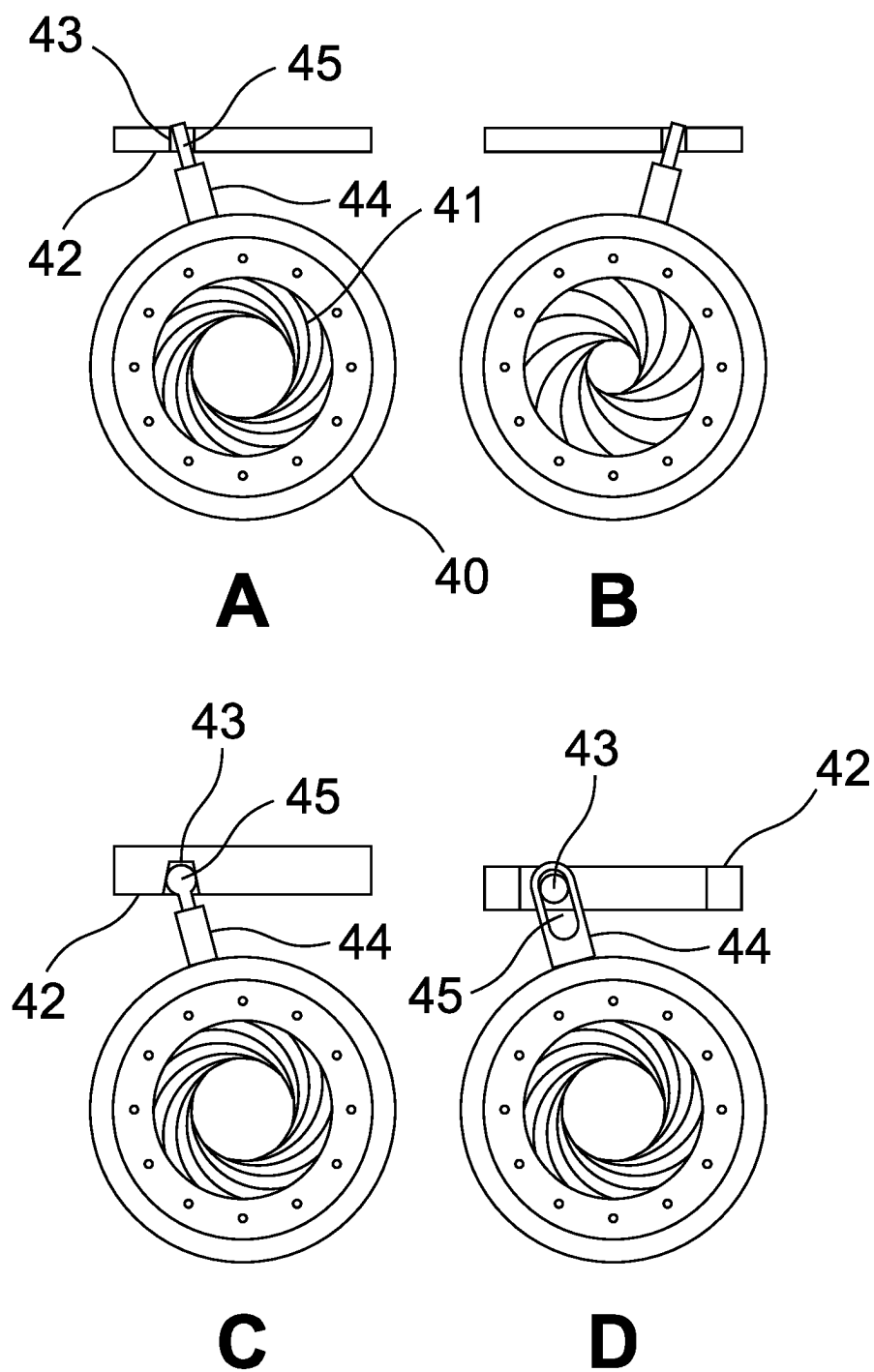


Fig. 4

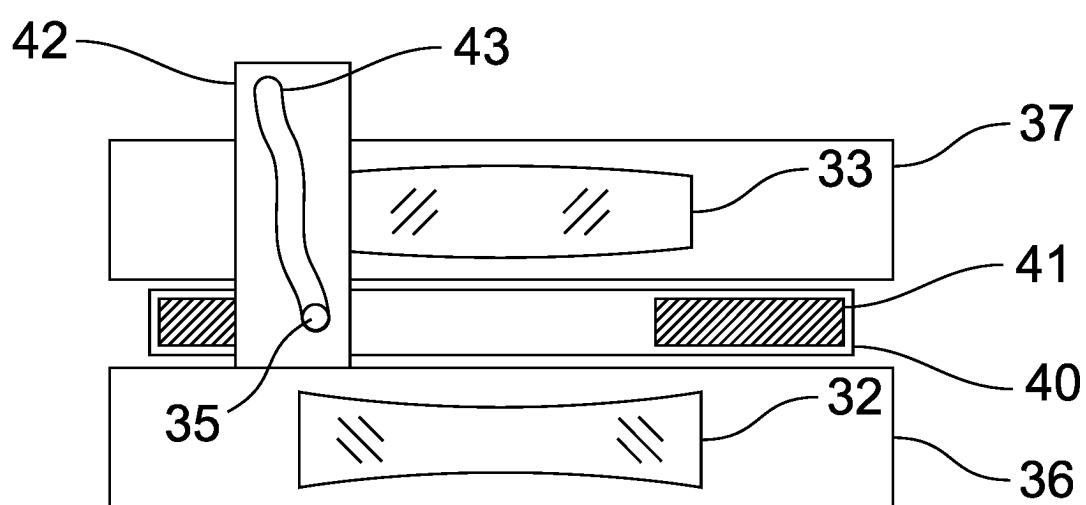


Fig. 5

