



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 030 346 B9** 2008.04.24

(12)

## Berichtigung der Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 030 346.3**

(22) Anmeldetag: **29.06.2005**

(43) Offenlegungstag: **04.01.2007**

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **03.01.2008**

(15) Korrekturinformation:  
**Berichtigung in Absatz  
 13,55,100,106,133,148,150,155, der Beschreibung  
 und in Anspruch 1,**

(48) Veröffentlichungstag der Berichtigung: **24.04.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 21/22** (2006.01)

(73) Patentinhaber:  
**Carl Zeiss Surgical GmbH, 73447 Oberkochen, DE**

(74) Vertreter:  
**Diehl & Partner GbR, 80333 München**

(72) Erfinder:  
**Obrebski, Andreas, Dr., 40489 Düsseldorf, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

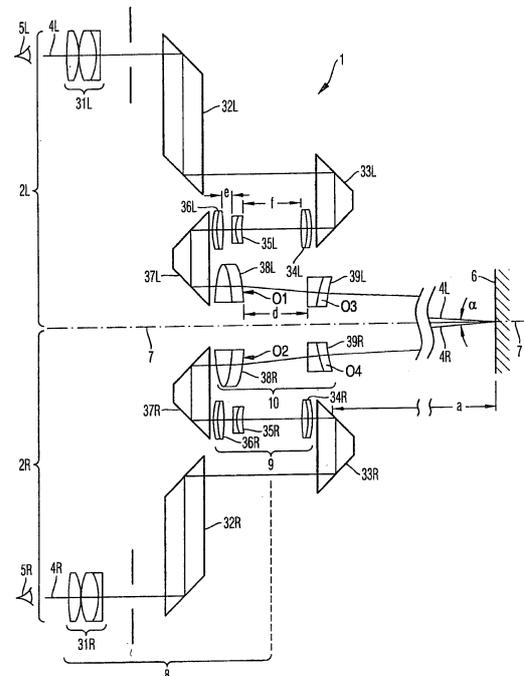
**DE 32 17 776 C2**  
**DE 21 59 093 C3**  
**DE-PS 20 21 864**  
**DE 101 34 896 A1**  
**US 63 69 954 B1**  
**US 58 15 233**  
**US 47 95 248**  
**US 47 83 155**  
**US 47 79 965**  
**US 35 82 180**  
**CA 23 68 553**

(54) Bezeichnung: **Stereoskopisches optisches System und Verfahren zur Herstellung eines stereoskopischen optischen Systems**

(57) Hauptanspruch: Stereoskopisches optisches System (1") zur Darstellung eines stereoskopischen Abbildes eines Objekts (6) über einen linken Strahlengang (4L) und einen rechten Strahlengang (4R), wobei das stereoskopische optische System (1) umfaßt:

eine Hauptoptik (10) mit einem von dem linken Strahlengang (4L) und dem rechten Strahlengang (4R) gemeinsam durchsetzten ersten optischen Element (38), welches eine optische Hauptachse (7) aufweist,  
 ein lediglich von dem linken Strahlengang (4L) durchsetztes linkes optisches Teilsystem (2L') mit einer Mehrzahl von optischen Elementen (31L, 32L, 33L, 34L, 35L, 36L, 37L), und  
 ein lediglich von dem rechten Strahlengang (4R) durchsetztes rechtes optisches Teilsystem (2R') mit einer Mehrzahl von optischen Elementen (31R, 32R, 33R, 34R, 35R, 36R, 37R),

wobei die Brechkraft wenigstens eines optischen Elements (34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R, 38, 39) der beiden Teilsysteme (2L', 2R') und/oder der Hauptoptik (10) und/oder die Brechkraft einer von mehreren optischen Elementen (34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R) der...



Die oben angegebenen bibliographischen Daten entsprechen dem aktuellen Stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Berichtigung.

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein stereoskopisches optisches System und ein Verfahren zur Herstellung eines stereoskopischen optischen Systems.

**[0002]** Ein stereoskopisches optisches System weist üblicherweise ein erstes optisches Teilsystem mit einer Mehrzahl von optischen Elementen zur Bereitstellung eines linken/ersten Strahlengangs und ein zweites optisches Teilsystem mit einer Mehrzahl von optischen Elementen zur Bereitstellung eines rechten/zweiten Strahlengangs auf.

**[0003]** Kennzeichnend für stereoskopische optische Systeme ist, daß die von den beiden Strahlengängen geführten Strahlenbündel miteinander in einem Fokussierungspunkt außerhalb des stereoskopischen optischen Systems einen Stereowinkel  $\alpha$  einschließen.

**[0004]** Da die beiden Strahlengänge üblicherweise dem linken bzw. rechten Auge eines Benutzers zugeordnet sind, werden die beiden Strahlengänge häufig auch als linker bzw. rechter Strahlengang bezeichnet.

**[0005]** Statt dem Auge eines Benutzers können die beiden Strahlengänge beispielsweise auch einem ersten bzw. einem zweiten photosensitiven ortsauflösenden Halbleiterelement zugeführt werden. Bei den ersten und zweiten Halbleiterelementen kann es sich beispielsweise um einen ersten und zweiten CCD-Chip handeln. In diesem Fall werden die beiden Strahlengänge in der Regel als erster bzw. zweiter Strahlengang bezeichnet.

**[0006]** Derartige stereoskopische optische Systeme werden beispielsweise als Stereokamera verwendet.

**[0007]** Ein Stereomikroskop, welches nach dem Greenough-System arbeitet, ist aus der Figur der Offenlegungsschrift DE-PS 2 021 864 bekannt. Dabei werden die beiden stereoskopischen Abbildungsstrahlengänge vollständig getrennt geführt. Weiter ist die Objektivlinse der beiden Abbildungsstrahlengänge jeweils parallel zu einer Beobachtungsebene ausgerichtet.

**[0008]** Die Patentschrift DE 21 59 093 C3 offenbart ein Stereomikroskop. Dabei sind gemäß der **Fig. 1** und **3** sowie der zugehörigen Beschreibung Spalte 2, Zeilen 1–6 sowie Zeilen 24–39 dieses Dokuments zwei relativ zu einer Mittelebene des Stereomikroskops nach außen versetzte Objektive mit einer parallel zu einer Objektebene des Stereomikroskops liegenden Hauptebene, sowie zwei gegenüber den Okularen nach innen versetzte Bildfeldblenden vorgesehen. Die Objektive werden durch zwei Objektivlinsen gebildet, die durch Entfernen eines peripheren

Abschnittes exzentrisch gemacht wurden und deren entfernte Abschnitte einander an der Mittelebene zugekehrt sind.

**[0009]** Aus der Patentschrift US 3,582,180 ist eine Stereokopflupe bekannt. Dabei offenbart Anspruch 1 dieses Dokuments eine Lateralverschiebung verschiedener optischer Komponenten als Mittel zur Bildstabilisierung.

**[0010]** Ein Stereomikroskop, bei dem die beiden stereoskopischen Abbildungsstrahlengänge vollkommen getrennt geführt werden, ist aus dem Dokument US 4,779,965 bekannt. In den Figuren und der Beschreibung Spalte 2, Zeile 26 bis Spalte 4, Zeile 24 dieses Dokuments wird offenbart, dass in den getrennten Abbildungsstrahlengängen asymmetrische Linsen angeordnet sind, welche jeweils in Umfangsrichtung verdreht werden können. Dabei wird vorgeschlagen, die Verdrehung der beiden asymmetrischen Linsen mechanisch über Riemen zu koppeln.

**[0011]** Ein Stereomikroskop, bei welchem die Hauptoptik der beiden stereoskopischen Abbildungsstrahlengänge jeweils zwischen einer Objektebene und einem Prisma angeordnet ist, ist aus den **Fig. 2** und **3** des Dokuments DE 32 17 776 C2 bekannt. Dabei können die beiden stereoskopischen Abbildungsstrahlengänge wahlweise eine gemeinsame Hauptoptik oder getrennte Hauptoptiken verwenden.

**[0012]** Die Patentschrift DE 101 34 896 A1 offenbart insbesondere in den **Fig. 1** und **3** sowie der zugehörigen Beschreibung Absätze [0028] bis [0041] ein stereoskopisches optisches System mit den Merkmalen des Oberbegriffes des unabhängigen Anspruches 1. Ein Strahlengang durch dieses vorbekannte stereoskopische optische System ist in **Fig. 9** dargestellt.

**[0013]** Das stereoskopische optische System **91** nach dem Stand der Technik weist zwei Okularsysteme **92** und ein gemeinsames Objektivsystem **93** auf. In **Fig. 9** sind Zentralstrahlen von in Strahlengängen **94L** und **94R** geführten Teilstrahlenbündeln dargestellt. Die von den Strahlengängen **94L** und **94R** geführten Zentralstrahlen werden durch das Objektivsystem **93** derart abgebildet, daß sie sich an einem zu betrachtenden Objekt **95** treffen und dabei miteinander einen Stereowinkel  $\alpha$  einschließen.

**[0014]** Das optische System **91** ist für die Zentralstrahlen der Strahlengänge **94L** und **94R** bezüglich einer gemeinsamen Mittelachse **96** des optischen Systems **91** symmetrisch aufgebaut. Die vom Objekt **95** kommenden Zentralstrahlen treten durch eine gemeinsame optische Haupteintrittslinse **97** in das Objektivsystem **93** des stereoskopischen optischen Systems **91** ein. Das Objektivsystem **93** ist somit für die beiden Zentralstrahlen der beiden Strahlengänge **94L** und **94R** gemeinsam vorgesehen.

**[0015]** Dabei werde die beiden Zentralstrahlen in dem gemeinsamen Objektivsystem **93** so geführt, daß sie sich nicht überlappen, sondern das gemeinsame Objektivsystem **93**, in unterschiedlichen Bereichen der verwendeten optischen Linsen **97** durchdringen.

**[0016]** Nach ihrem Austritt aus dem gemeinsamen Objektivsystem **93** treten die Zentralstrahlen jeweils in ein Okularsystem **92** ein, wobei jedem der beiden Strahlengänge **94L** und **94R** und damit jedem Zentralstrahl ein eigenes Okularsystem **92** zugeordnet ist.

**[0017]** Durch Änderung von Linsenabständen  $e$  und  $f$  bzw.  $d$  in dem stereoskopischen optischen System **91** ist die Bereitstellung einer variablen Vergrößerung (Zoomfunktion) des betrachteten Objekts **95** beziehungsweise eine Änderung des Arbeitsabstandes (Fokussierung) zur Anpassung an ein betrachtetes Objekt **95** möglich. Dabei stellt die Verwendung des gemeinsamen Objektivsystems **93** für die beiden Zentralstrahlen der beiden Strahlengänge **94L** und **94R** sicher, daß die beiden Zentralstrahlen auch nach einer Abstandsänderung (Fokussierung) durch Anpassung des Abstandes  $d$  sich in der Objektebene treffen und dabei immer einen Stereowinkel  $\alpha$  einschließen. Dies wird durch geeignete Wahl der optischen Oberflächen der optischen Linsen des gemeinsamen Objektivsystems **93** erreicht.

**[0018]** Bei dem vorstehend beschriebenen stereoskopischen System ist es nachteilig, daß das gemeinsame Objektivsystem ein sehr großes Gewicht aufweist. Der Grund ist, daß die beiden Zentralstrahlen in dem gemeinsamen Objektivsystem so geführt werden müssen, daß sie die optischen Linsen des gemeinsamen Objektivsystems zumindest teilweise in unterschiedlichen Bereichen durchdringen. Weiter müssen die optischen Linsen des Objektivsystems eine gewisse Verlagerung, Vergrößerung und/oder Verkleinerung des Durchdringungsbereiches der beiden Zentralstrahlen erlauben. In der Folge müssen die gemeinsam für die beiden Zentralstrahlen verwendeten optischen Linsen des gemeinsamen Objektivsystems sehr groß ausgebildet sein.

**[0019]** Bei Verwendung eines derartigen stereoskopischen Systems beispielsweise als Kopflupe hat das große Gewicht des Objektivsystems eine erhebliche Beeinträchtigung der Bewegungsfreiheit des Benutzers zur Folge. Außerdem führt das hohe Gewicht oft zu einer vorzeitigen Ermüdung des Benutzers und einer Verkrampfung der Nackenmuskulatur.

**[0020]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein stereoskopisches optisches System zur Verfügung zu stellen, welches ein Objektivsystem mit niedrigem Gewicht aufweist und auf einfache und kostengünstige Weise mit ausreichender Genauig-

keit hergestellt werden kann.

**[0021]** Weiter ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welches eine Herstellung eines stereoskopischen optischen Systems, das ein Objektivsystem mit einem niedrigen Gewicht aufweist, mit einfachen Mitteln auf kostengünstige Weise und mit der erforderlichen Genauigkeit ermöglicht.

**[0022]** Die vorstehende Aufgabe wird in einem stereoskopischen optischen System mit den Merkmalen des Oberbegriffes des unabhängigen Anspruchs 1 durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs gelöst. Weiter wird die vorstehende Aufgabe durch ein Verfahren mit der Kombination der Merkmale des unabhängigen Anspruchs 10 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen finden sich in den jeweiligen Unteransprüchen.

**[0023]** Die vorstehende Aufgabe wird durch ein stereoskopisches optisches System zur Darstellung eines stereoskopischen Abbildes eines Objekts über einen linken Strahlengang und einen rechten Strahlengang gelöst.

**[0024]** Dabei umfaßt das stereoskopische optische System eine von dem linken Strahlengang und dem rechten Strahlengang gemeinsam durchsetzte Hauptoptik mit (wenigstens) einem ersten optischen Element, welches eine optische Hauptachse aufweist, ein lediglich von dem linken Strahlengang durchsetztes linkes optisches Teilsystem mit einer Mehrzahl von optischen Elementen und ein lediglich von dem rechten Strahlengang durchsetztes rechtes optisches Teilsystem mit einer Mehrzahl von optischen Elementen. Dabei ist die Brechkraft wenigstens eines optischen Elements und/oder die Brechkraft einer von mehreren optischen Elementen gebildeten optischen Gruppe veränderbar, so daß sich Querschnitte des Abbildungsstrahlenbündels des linken Strahlenganges und des Abbildungsstrahlenbündels des rechten Strahlenganges in Abhängigkeit von der Veränderung der Brechkraft ändern.

**[0025]** Weiter weist dabei eine Gesamtfläche einer optischen Oberfläche des ersten optischen Elements der Hauptoptik einen Wert auf, welcher kleiner als das 1,8-fache des Maximalwerts der von den Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel auf der optischen Oberfläche des ersten optischen Elements der Hauptoptik eingenommenen Fläche ist.

**[0026]** Folglich ist bei dem erfindungsgemäßen stereoskopischen optischen System sichergestellt, daß das wenigstens eine erste optische Element der Hauptoptik eine hinsichtlich der maximalen Querschnitte der Abbildungsstrahlenbündel auf der optischen Oberfläche des jeweiligen ersten optischen Elements angepasste Bauform aufweist. Hierdurch

ist die Bereitstellung eines ersten optischen Elements mit minimaler Bauform und damit auch minimalem Gewicht möglich.

**[0027]** Gleichzeitig ist bei dem erfindungsgemäßen stereoskopischen optischen System sichergestellt, daß die Gesamtfläche der optischen Oberfläche des ersten optischen Elements ausreichend ist, wesentliche Teile der Abbildungsstrahlenbündel aufzunehmen und eine Fassung des ersten optischen Elements zu erlauben.

**[0028]** Gemäß einer Ausführungsform ist das wenigstens eine optische Element ein optisches Element variabler Brechkraft und ist die Brechkraft des wenigstens einen optischen Elements durch Ansteuern des optischen Elements veränderbar.

**[0029]** Linsen mit variabler und damit einstellbarer und änderbarer Brechkraft sind aus dem Stand der Technik, beispielsweise aus US 4,795,248 oder US 5,815,233, per se bekannt. Solche Linsen mit einstellbarer Brechkraft umfassen eine Flüssigkristallschicht, welche über eine Elektrodenstruktur ansteuerbar ist, um eine durch die Flüssigkristallschicht bereitgestellte optische Weglänge für einen die Schicht durchsetzenden Strahl ortsabhängig, das heißt über den Querschnitt der Linse, auf gewünschte Werte einzustellen, wodurch eine flexible Linsenwirkung erreichbar ist.

**[0030]** Alternativ kann es sich bei einem derartigen optischen Element variabler Brechkraft beispielsweise auch um eine Flüssigkeitslinse handeln. Eine Flüssigkeitslinse umfaßt typischerweise ein Gehäuse mit zwei Eintritts- bzw. Austrittsfenstern, zwischen welchen zwei vorzugsweise nicht wesentlich miteinander mischbare Flüssigkeiten mit unterschiedlichem Brechungsindex eingeschlossen sind. Das Gehäuse stellt für die beiden Flüssigkeiten eine bezüglich einer optischen Achse der Flüssigkeitslinse symmetrische konische Wand bereit, an der eine Grenzfläche zwischen den beiden Flüssigkeiten unter einem Kontaktwinkel anliegt. Eine Flüssigkeit ist elektrisch leitend, während die andere Flüssigkeit elektrisch im wesentlichen nichtleitend ist. Durch Anlegen einer Spannung kann der Winkel, den die Grenzfläche zwischen den beiden Flüssigkeiten mit der Wand einschließt, geändert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Brechungsindizes der beiden Flüssigkeiten ist damit eine Linsenwirkung der Linse für einen diese entlang der optischen Achse durchsetzenden Lichtstrahl änderbar.

**[0031]** Eine Flüssigkeitslinse kann beispielsweise von der Firma Varioptic, 69007 Lyon, Frankreich, bezogen werden.

**[0032]** Weitere Flüssigkeitslinsen, welche zur Änderung ihrer Brechkraft eine Änderung einer Form einer

Grenzfläche ausnutzen, sind aus US 6,369,954 B1, CA 2,368,553 und US 4,783,155 bekannt, deren Offenbarung in die vorliegende Anmeldung durch Inbezugnahme vollumfänglich aufgenommen wird.

**[0033]** Gemäß einer Ausführungsform wird die optische Gruppe durch wenigstens ein optisches Element der Hauptoptik und wenigstens ein optisches Element des linken und des rechten optischen Teilsystems gebildet und sind das wenigstens eine optische Element der Hauptoptik und/oder das wenigstens eine optische Element des linken und des rechten optischen Teilsystems zur Änderung der Brechkraft der Gruppe relativ zueinander verlagerbar.

**[0034]** Eine derartige Verlagerbarkeit wird üblicherweise zur Realisierung einer Zoomfunktion und/oder einer Fokussierfunktion bereitgestellt. Dabei kann die Zoomfunktion und/oder die Fokussierfunktion wahlweise durch die Hauptoptik und/oder das linke bzw. rechte optische Teilsystem realisiert sein. Auch eine kombinierte Realisierung durch das Hauptsystem und das linke bzw. rechte optische Teilsystem ist möglich.

**[0035]** Gemäß einer Ausführungsform weist die Gesamtfläche der optischen Oberfläche des ersten optischen Elements der Hauptoptik einen Wert auf, welcher kleiner als das 1,5-fache, vorzugsweise kleiner als das 1,3-fache, bevorzugt kleiner als das 1,2-fache und besonders bevorzugt kleiner als das 1,1-fache des Maximalwerts der von den Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel auf der optischen Oberfläche des ersten optischen Elements der Hauptoptik eingenommenen Fläche ist.

**[0036]** Gemäß einer Ausführungsform weist die Hauptoptik wenigstens ein zweites optisches Element auf, welches so angeordnet ist, daß das erste und zweite optische Element eine gemeinsame optische Hauptachse aufweisen. Dabei sind das erste optische Element und das zweite optische Element voneinander entlang der gemeinsamen optischen Hauptachse um einen Abstand beabstandet.

**[0037]** Um eine Änderung eines Arbeitsabstandes (Fokussierung) zur Anpassung des stereoskopischen optischen Systems an ein betrachtetes Objekt zu ermöglichen, kann es vorteilhaft sein, wenn das stereoskopische optische System weiter einen Aktuator umfaßt, um den relativen Abstand des ersten optischen Elements von dem zweiten optischen Element entlang der optischen Hauptachse zu ändern. Dabei stellt der erfindungsgemäße Aufbau bei geeigneter Wahl von optischen Oberflächen des ersten und zweiten optischen Elements sicher, daß der linke und rechte Strahlengang in einer Objektebene des stereoskopischen optischen Systems auch nach der Änderung des Arbeitsabstandes und damit nach einer Änderung des relativen Abstandes des ersten op-

tischen Elements von dem zweiten optischen Element automatisch immer einen Stereowinkel  $\alpha$  einschließen.

**[0038]** Gemäß einer Ausführungsform ist das erste und zweite optische Element jeweils eine optische Linse. Alternativ kann es sich bei dem ersten und/oder zweiten optischen Element jedoch beispielsweise um einen optischen Spiegel handeln.

**[0039]** Das stereoskopische optische System ist gemäß einer Ausführungsform eine an einem Kopf eines Benutzers befestigbare Kopflupe, da hier die mit dem erfindungsgemäßen Aufbau verbundene Gewichtersparnis besonders nutzbringend ist.

**[0040]** Alternativ kann das stereoskopische optische System beispielsweise ein Stereomikroskop, insbesondere ein Operationsmikroskop, sein.

**[0041]** Die vorstehende Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zur Herstellung eines stereoskopischen optischen Systems gelöst, welches umfaßt: Herstellen eines ersten optischen Elements, welches wenigstens eine zu einer Achse rotationssymmetrische optische Oberfläche aufweist. Herstellen eines zweiten optischen Elements, welches wenigstens eine zu einer Achse rotationssymmetrische optische Oberfläche aufweist. Trennen des ersten optischen Elements in ein erstes zentrales optisches Teilelement und zwei äußere optische Teilelemente durch zwei geradlinige Schnitte. Trennen des zweiten optischen Elements in ein zweites zentrales optisches Teilelement und zwei äußere optische Teilelemente durch zwei geradlinige Schnitte. Und Montieren des ersten zentralen optischen Teilelements und des zweiten zentralen optischen Teilelements an einem Fassungs-system derart, daß eine optische Oberfläche des ersten zentralen optischen Teilelements und eine optische Oberfläche des zweiten zentralen optischen Teilelements jeweils rotationssymmetrisch zu einer gemeinsamen optischen Achse angeordnet ist.

**[0042]** Durch das Trennen des ersten und zweiten optischen Elements in ein erstes bzw. zweites zentrales optisches Teilelement und jeweils zwei äußere optische Teilelemente, wobei lediglich das erste und zweite zentrale optische Teilelement in einem Fassungs-system des stereoskopischen optischen Systems montiert werden, wird auf besonders einfache Weise eine Reduzierung des Gewichts des stereoskopischen optischen Systems bewirkt.

**[0043]** In diesem Fall kann es vorteilhaft sein, wenn das erste zentrale optische Teilelement und das zweite zentrale optische Teilelement mit Abstand voneinander entlang der gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind.

**[0044]** Gemäß einer Ausführungsform umfaßt das

Fassungssystem einen Aktuator, um den Abstand des ersten zentralen optischen Teilelements von dem zweiten zentralen optischen Teilelement entlang der gemeinsamen optischen Achse zu ändern.

**[0045]** Damit ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren die Herstellung eines stereoskopischen optischen Systems, das eine Änderung des Arbeitsabstandes (Fokussierung) zur Anpassung an ein betrachtetes Objekt ermöglicht. Die Änderung des Arbeitsabstandes erfolgt durch eine Veränderung des relativen Abstandes des ersten und zweiten zentralen optischen Teilelements voneinander entlang der gemeinsamen optischen Achse. Dabei stellt der durch das erfindungsgemäße Verfahren erzielte Aufbau bei geeigneter Wahl der jeweiligen optischen Oberflächen des ersten und zweiten optischen Elements und damit des ersten und zweiten zentralen optischen Teilelements sicher, daß die optischen Teilelemente durchlaufende Zentralstrahlen eines linken und rechten Strahlenganges des stereoskopischen optischen Systems sich auch nach der Änderung des Arbeitsabstandes und damit nach einer Änderung des vorstehenden relativen Abstandes zwischen dem ersten und dem zweiten zentralen optischen Teilelement automatisch immer (d.h. innerhalb eines Verwendungsbereiches des stereoskopischen optischen Systems) unter Einschluss eines Stereowinkels  $\alpha$  in einer Objektebene des stereoskopischen optischen Systems schneiden.

**[0046]** Im einfachsten Fall kann das erste und/oder zweite optische Element eine optische Linse sein. Alternativ kann es sich bei dem ersten und/oder zweiten optischen Element beispielsweise jedoch auch um einen optischen Spiegel handeln.

**[0047]** Gemäß einer Ausführungsform ist das stereoskopische optische System eine an einem Kopf eines Benutzers befestigbare Kopflupe.

**[0048]** Alternativ kann es vorteilhaft sein, wenn das stereoskopische optische System ein Stereomikroskop, insbesondere ein Operationsmikroskop, ist.

**[0049]** Weiter offenbart dieses Dokument ein stereoskopisches optisches System, welches ein erstes optisches Teilsystem mit einer Mehrzahl von optischen Elementen zur Bereitstellung eines linken Strahlengangs des stereoskopischen optischen Systems und ein zweites optisches Teilsystem mit einer Mehrzahl von optischen Elementen zur Bereitstellung eines rechten Strahlengangs des stereoskopischen optischen Systems umfaßt. Dabei weist wenigstens ein erstes optisches Teilelement des ersten optischen Teilsystems eine erste optische Oberfläche auf und wenigstens ein zweites optisches Teilelement des zweiten optischen Teilsystems eine zweite optische Oberfläche auf. Dabei sind die erste und die zweite optische Oberfläche Teilflächen einer gemein-

samen mathematischen Fläche, welche rotations-symmetrisch zu einer gemeinsamen Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems ist.

**[0050]** Da die beiden optischen Oberflächen der beiden optischen Teilelemente Teilflächen einer zu einer gemeinsamen Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems rotationssymmetrischen mathematischen Fläche sind, wirken die beiden optischen Teilelemente wie ein für den linken und rechten Strahlengang gemeinsames optisches Element des stereoskopischen optischen Systems. Gleichwohl ist es bei dieser Lösung nicht erforderlich, für den linken und rechten Strahlengang gemeinsame optische Elemente zu verwenden. Dies erhöht die Flexibilität der Anordnung und ermöglicht beispielsweise eine bauliche Trennung der beiden Strahlengänge. Hierbei ist jedoch erforderlich, daß sich die beiden Strahlengänge im Bereich der optischen Teilelemente nicht überlappen.

**[0051]** Die vorstehend beschriebene Wahl der ersten bzw. zweiten optischen Oberflächen des ersten bzw. zweiten optischen Teilelements des linken bzw. rechten Strahlengangs des stereoskopischen optischen Systems ermöglicht es zudem, die beiden optischen Teilelemente durch Abtrennen aus einem einzigen optischen Element, welches vor dem Abtrennen die gemeinsame mathematische Fläche festlegt, zu bilden. Es ist somit lediglich erforderlich, ein rotationssymmetrisches optisches Element mit einer die gemeinsame mathematische Fläche festlegenden optischen Oberfläche mit hoher Genauigkeit herzustellen. Anschließend können die beiden optischen Teilelemente beispielsweise durch Absägen oder Abschneiden von einem derartigen optischen Element gebildet werden. Dadurch ist sichergestellt, daß die beiden optischen Oberflächen der beiden optischen Teilelemente die selbe Genauigkeit aufweisen. Folglich läßt sich das Objektivsystem des vorstehenden stereoskopischen Systems auf besonders einfache und damit kostengünstige Weise herstellen.

**[0052]** Weiter kann die erste und zweite optische Oberfläche der beiden optischen Teilelemente in der Summe bevorzugt eine Fläche aufweisen, die kleiner als die gemeinsame mathematische Fläche ist. Dies hat aufgrund der Materialeinsparung des ersten und zweiten optischen Teilelements gegenüber der Verwendung eines gemeinsamen optischen Elements für den linken und den rechten Strahlengang eine Verkleinerung der Bauform des stereoskopischen optischen Systems und eine Verringerung des Gewichtes des stereoskopischen optischen Systems zur Folge.

**[0053]** Gemäß einer Variante weist ein drittes optisches Teilelement des ersten optischen Teilsystems eine dritte optische Oberfläche und ein viertes optisches Teilelement des zweiten optischen Teilsystems

eine vierte optische Oberfläche auf. Dabei sind die dritte und die vierte optische Oberfläche Teilflächen einer gemeinsamen mathematischen Fläche, welche rotationssymmetrisch zu der Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems ist. Weiter sind das erste optische Teilelement und das dritte optische Teilelement voneinander entlang der Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems um einen Abstand beabstandet.

**[0054]** In diesem Fall kann es vorteilhaft sein, wenn das stereoskopische optische System weiter einen Aktuator umfaßt, um den Abstand des ersten optischen Teilelements von dem dritten optischen Teilelement entlang der Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems zu ändern.

**[0055]** Wie bereits ausgeführt sind die erste und zweite optische Oberfläche des ersten und zweiten optischen Teilelements und die dritte und vierte optische Oberfläche des dritten und vierten optischen Teilelements jeweils paarweise Teilflächen einer gemeinsamen, zur gemeinsamen Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems rotationssymmetrischen mathematischen Fläche. Daher hat eine Veränderung des Abstandes des ersten optischen Teilelements von dem dritten optischen Teilelement entlang der Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems automatisch auch eine Veränderung des Abstandes des zweiten optischen Teilelements von dem vierten optischen Teilelement entlang der Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems zur Folge.

**[0056]** Gemäß einer Variante sind das erste optische Teilelement und das dritte optische Teilelement des stereoskopischen optischen Systems in einem gemeinsamen Strahlengang des stereoskopischen optischen Systems angeordnet.

**[0057]** Ein derartiger Aufbau ermöglicht eine Änderung des Arbeitsabstandes (Fokussierung) zur Anpassung an ein betrachtetes Objekt, ohne daß für den linken und rechten Strahlengang gemeinsame optische Elemente verwendet werden müssen. Die Änderung des Arbeitsabstandes erfolgt durch eine Veränderung des Abstandes des ersten und zweiten optischen Teilelements von dem dritten und vierten optischen Teilelement entlang der Hauptachse des stereoskopischen optischen Systems. Dabei stellt der vorstehende Aufbau bei geeigneter Wahl der für das erste und zweite optische Teilelement bzw. für das dritte und vierte, optische Teilelement jeweils gemeinsamen mathematischen Fläche sicher, daß Zentralstrahlen des linken und rechten Strahlengangs in einer Objektebene des stereoskopischen optischen Systems auch nach der Änderung des Arbeitsabstandes und damit nach einer Änderung des vorstehenden Abstandes automatisch immer einen Stereowinkel  $\alpha$  einschließen.

**[0058]** Im einfachsten Fall sind das erste und zweite optische Teilelement sowie bevorzugt auch das dritte und vierte optische Teilelement jeweils eine optische Linse. Alternativ kann es sich bei dem ersten und zweiten und/oder dritten und vierten optischen Teilelement jedoch beispielsweise auch um einen optischen Spiegel handeln.

**[0059]** Weiter ist ein Verfahren zur Herstellung eines stereoskopischen optischen System offenbart, wobei das Verfahren umfaßt: Herstellen wenigstens eines ersten optischen Elements, welches wenigstens eine zu einer Achse rotationssymmetrische optische Oberfläche aufweist. Trennen des ersten optischen Elements in wenigstens ein erstes optisches Teilelement und ein zweites optisches Teilelement derart, daß das erste und das zweite optische Teilelement Teile der wenigstens einen optischen Oberfläche des ersten optischen Elements aufweisen. Und Montieren des ersten optischen Teilelements und des zweiten optischen Teilelements an einem Fassungs-system derart, daß die optische Oberfläche des ersten optischen Teilelements und die optische Oberfläche des zweiten optischen Teilelements rotationssymmetrisch zu einer gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind.

**[0060]** Die vorstehend beschriebene Herstellung der ersten und zweiten optischen Teilelemente durch Abtrennen von einem einzigen ersten optischen Element stellt sicher, daß die beiden optischen Oberflächen der beiden optischen Teilelemente die selbe Genauigkeit und Eigenschaft wie die optische Oberfläche des ersten optischen Elements aufweisen. Es ist somit lediglich erforderlich, die zu einer Achse rotationssymmetrische optische Oberfläche des ersten optischen Elements mit der gewünschten Genauigkeit herzustellen.

**[0061]** Die vorstehende Anordnung des ersten und zweiten optischen Teilelements an dem Fassungs-system stellt dabei sicher, daß die optischen Oberflächen des ersten und zweiten optischen Teilelements wie die optische Oberfläche eines bezüglich der gemeinsamen optischen Achse gemeinsamen optischen Elements wirken.

**[0062]** In der Folge ermöglicht das vorstehende Verfahren eine Herstellung des stereoskopischen optischen Systems mit einfachen Mitteln, auf kostengünstige Weise und mit der erforderlichen Genauigkeit.

**[0063]** Gemäß einer Variante ist eine Summe der Flächen der optischen Oberfläche des ersten optischen Teilelements und der optischen Oberfläche des zweiten optischen Teilelements kleiner als die optische Oberfläche des ersten optischen Elements vor dem Trennen.

**[0064]** Dies hat eine Verkleinerung der Bauform des stereoskopischen optischen Systems und eine Verringerung des Gewichtes des stereoskopischen optischen Systems zur Folge. Weiter können so aus dem ersten optischen Element gegebenenfalls mehrere Paare von ersten und zweiten optischen Teilelementen gebildet werden.

**[0065]** Gemäß einer Variante weist das Fassungs-system eine erste Fassungskomponente und eine zweite Fassungskomponente auf und umfaßt das Verfahren ferner ein Befestigen des ersten optischen Elements an der ersten Fassungskomponente vor dem Trennen. Dann umfaßt das Montieren des ersten optischen Teilelements und des zweiten optischen Teilelements an dem Fassungs-system nach dem Trennen bevorzugt ein Anbringen der ersten Fassungskomponente an der zweiten Fassungskomponente, wobei das erste und das zweite optische Teilelement an der ersten Fassungskomponente befestigt bleiben.

**[0066]** Da das erste und das zweite optische Teilelement auch nach dem Trennen des ersten optischen Elements an der ersten Fassungskomponente befestigt bleiben, ist bei geeigneter Wahl der wenigstens einen Trennlinie sichergestellt, daß die optische Oberfläche des ersten optischen Teilelements und die optische Oberfläche des zweiten optischen Teilelements nach dem Trennen automatisch rotationssymmetrisch zu einer gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind. Die Montage der ersten Fassungskomponente über die zweite Fassungskomponente in dem stereoskopischen optischen System vereinfacht das Montieren des ersten optischen Teilelements und des zweiten optischen Teilelements an dem Fassungs-system erheblich. Gleichzeitig wird hierdurch die Genauigkeit der relativen Anordnung des ersten und zweiten optischen Teilelements zueinander auf besonders einfache Weise erhöht.

**[0067]** Gemäß einer abgewandelten Variante weist das Fassungs-system ebenfalls eine erste Fassungskomponente und eine zweite Fassungskomponente auf. Dabei umfaßt das Verfahren vor dem Trennen ein Befestigen des ersten optischen Elements an einer Hilfsfassung. Weiter umfaßt das Verfahren nach dem Trennen ein Befestigen des ersten optischen Teilelements und des zweiten optischen Teilelements an der ersten Fassungskomponente, wobei das erste optische Teilelement und das zweite optische Teilelement an der Hilfsfassung befestigt bleiben. Nach dem Befestigen des ersten optischen Teilelements und des zweiten optischen Teilelements an der ersten Fassungskomponente erfolgt ein Lösen des ersten optischen Teilelements und des zweiten optischen Teilelements von der Hilfsfassung. Der Schritt des Montierens des ersten optischen Teilelements und des zweiten optischen Teilelements an dem Fassungs-system nach dem Trennen umfaßt ein Anbrin-

gen der ersten Fassungskomponente an der zweiten Fassungskomponente, wobei das erste und das zweite optische Teilelement an der ersten Fassungskomponente befestigt bleiben.

**[0068]** Die Verwendung einer Hilfsfassung, an der das erste optische Element vor dem Zertrennen befestigt wird, stellt sicher, daß die relative Position und Lage der durch das Trennen gebildeten optischen Teilelemente zueinander auch nach dem Trennen beibehalten wird. Gleichzeitig kann die Hilfsfassung so gewählt werden, daß ein Zerteilen des ersten optischen Elements in eine Mehrzahl von Paaren von optischen Teilelementen beispielsweise durch eine Säge leicht möglich ist. Da die optischen Teilelemente erst nach dem Befestigen an der ersten Fassungskomponente von der Hilfsfassung gelöst werden, ist zudem sichergestellt, daß die relative Position und Lage der optischen Teilelemente zueinander auch nach dem Umsetzen beibehalten wird. Die Montage der ersten Fassungskomponente über die zweite Fassungskomponente in dem stereoskopischen optischen System vereinfacht zudem das Montieren des ersten optischen Teilelements und des zweiten optischen Teilelements an dem Fassungssystem unter Sicherstellung einer hohen Genauigkeit erheblich.

**[0069]** Da die erste Fassungskomponente aufgrund der Verwendung einer Hilfsfassung nicht das ganze erste optische Element fassen und auch kein Zertrennen des ersten optischen Elements ermöglichen muß, kann die erste Fassungskomponente weiter eine besonders kompakte Bauform aufweisen.

**[0070]** Um eine Mehrzahl von stereoskopischen optischen Systemen herzustellen kann es besonders vorteilhaft sein, wenn das Trennen des ersten optischen Elements ein Trennen in eine Mehrzahl von Paaren optischer Teilelemente umfaßt und das Montieren ein Montieren eines jeden Paares optischer Teilelemente an jeweils einem separaten Fassungssystem umfaßt.

**[0071]** Somit können aus einem einzigen ersten optischen Element eine Vielzahl von Paaren optischer Teilelemente für eine Vielzahl von stereoskopischen optischen Systemen gebildet werden. Hierdurch können die Herstellungskosten für die stereoskopischen optischen Systeme erheblich reduziert werden.

**[0072]** In diesem Fall kann es vorteilhaft sein, wenn ein jedes der Mehrzahl von Fassungssystemen eine erste Fassungskomponente aufweist. Weiter umfaßt das Verfahren bevorzugt ferner ein Befestigen der ersten Fassungskomponente eines jeden der Mehrzahl von Fassungssystemen an dem ersten optischen Element vor dem Trennen. Das Verfahren umfaßt dann anschließend ein Separieren der ersten Fassungskomponenten der Mehrzahl von Fassungssystemen voneinander, wobei an einer jeden der ers-

ten Fassungskomponenten jeweils ein Paar der optischen Teilelemente befestigt bleibt.

**[0073]** Da an einer jeden der ersten Fassungskomponenten nach dem Trennen jeweils ein Paar der optischen Teilelemente befestigt bleibt, ist bei geeigneter Wahl der Trennlinien mit hoher Genauigkeit sichergestellt, daß die optischen Oberflächen der Paare der optischen Teilelemente nach dem Trennen automatisch rotationssymmetrisch zu einer gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind.

**[0074]** Gemäß einer Variante umfaßt das Verfahren ferner ein Herstellen eines zweiten optischen Elements, welches wenigstens eine zu einer Achse rotationssymmetrische optische Oberfläche aufweist. Weiter umfaßt das Verfahren ein Trennen des zweiten optischen Elements in wenigstens ein drittes optisches Teilelement und ein viertes optisches Teilelement derart, daß das dritte und das vierte optische Teilelement Teile der wenigstens einen optischen Oberfläche des zweiten optischen Elements aufweisen. Zudem umfaßt das Verfahren ein Montieren des dritten optischen Teilelements und des vierten optischen Teilelements an dem Fassungssystem derart, daß die optische Oberfläche des dritten optischen Teilelements und die optische Oberfläche des vierten optischen Teilelements rotationssymmetrisch zu der gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind.

**[0075]** Dabei kann es vorteilhaft sein, wenn das erste optische Teilelement und das dritte optische Teilelement mit Abstand voneinander entlang der gemeinsamen optischen Achse angeordnet sind.

**[0076]** Gemäß einer Variante umfaßt das Fassungssystem dann einen Aktuator, um den Abstand des ersten optischen Teilelements von dem dritten optischen Teilelement entlang der gemeinsamen optischen Achse zu ändern.

**[0077]** In der bevorzugten Variante ist es weiter vorteilhaft, wenn das erste optische Teilelement und das dritte optische Teilelement in einem gemeinsamen Strahlengang des stereoskopischen optischen Systems angeordnet sind.

**[0078]** Damit ermöglicht das vorstehende Verfahren die Herstellung eines stereoskopischen optischen Systems, das eine Änderung des Arbeitsabstandes (Fokussierung) zur Anpassung an ein betrachtetes Objekt ermöglicht. Die Änderung des Arbeitsabstandes erfolgt durch eine Veränderung des Abstandes des ersten und zweiten optischen Teilelements von dem dritten und vierten optischen Teilelement entlang der gemeinsamen optischen Achse. Dabei stellt der durch das vorstehende Verfahren erzielte Aufbau bei geeigneter Wahl der jeweiligen optischen Oberflächen des ersten und zweiten optischen Elements sicher, daß von den die optischen Elemente durch-

laufenden Zentralstrahlen in einer Objektebene des stereoskopischen optischen Systems auch nach der Änderung des Arbeitsabstandes und damit nach einer Änderung des Abstandes des ersten und zweiten optischen Teilelements von dem dritten und vierten optischen Teilelement automatisch immer ein Stereowinkel  $\alpha$  eingeschlossen wird.

[0079] Im folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. In den Zeichnungen sind gleiche oder ähnliche Elemente mit gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen. Dabei zeigt

[0080] [Fig. 1A](#) in schematischer Darstellung einen Strahlengang durch ein stereoskopisches System am Beispiel einer Kopflupe,

[0081] [Fig. 1B](#) in schematischer Darstellung einen Strahlengang durch ein erfindungsgemäßes stereoskopisches System am Beispiel eines Operationsmikroskops gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

[0082] [Fig. 2A](#) schematisch eine räumliche Darstellung von optischen Komponenten der in [Fig. 1A](#) gezeigten Kopflupe, sowie ein hindurchlaufendes Strahlenbündel,

[0083] [Fig. 2B](#) schematisch eine räumliche Darstellung von optischen Komponenten und ein hindurchlaufendes Strahlenbündel eines Teilsystems eines stereoskopischen optischen Systems gemäß einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

[0084] [Fig. 2C](#) schematisch eine räumliche Darstellung von optischen Komponenten der in [Fig. 1B](#) gezeigten Kopflupe, sowie ein hindurchlaufendes Strahlenbündel,

[0085] [Fig. 3A](#) schematisch eine Frontansicht eines ersten (bzw. zweiten) optischen Elements,

[0086] [Fig. 3B](#) schematisch eine Seitenansicht des ersten (bzw. zweiten) optischen Elements aus [Fig. 3A](#),

[0087] [Fig. 3C](#) schematisch eine Frontansicht eines optischen Elements gemäß der alternativen Ausführungsform,

[0088] [Fig. 3D](#) schematisch eine Frontansicht eines ersten (bzw. zweiten) optischen Elements gemäß der zweiten Ausführungsform,

[0089] [Fig. 4A](#) schematisch eine Frontansicht eines ersten (bzw. zweiten) optischen Elements, das an zwei ersten Fassungskomponenten zweier Fas-

sungssysteme befestigt ist,

[0090] [Fig. 4B](#) schematisch eine Rückansicht von [Fig. 4A](#),

[0091] [Fig. 4C](#) schematisch eine Seitenansicht von [Fig. 4A](#),

[0092] [Fig. 5](#) schematisch eine Frontansicht einer ersten Fassungskomponente, welche in [Fig. 4A](#) Verwendung findet,

[0093] [Fig. 6](#) schematisch eine Frontansicht eines ersten (bzw. zweiten) optischen Elements, das an einer Hilfsfassung befestigt ist,

[0094] [Fig. 7](#) schematisch eine Frontansicht einer ersten Fassungskomponente, welche in Verbindung mit der in [Fig. 6](#) gezeigten Hilfsfassung Verwendung findet,

[0095] [Fig. 8A](#) ein Flußdiagramm eines Verfahrens zur Herstellung eines stereoskopischen Systems,

[0096] [Fig. 8B](#) ein Flußdiagramm einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines stereoskopischen Systems, und

[0097] [Fig. 9](#) in schematischer Darstellung einen Strahlengang durch ein stereoskopisches System nach dem Stand der Technik.

[0098] In [Fig. 1A](#) ist schematisch ein Strahlengang durch ein stereoskopisches optisches System am Beispiel einer Kopflupe **1** dargestellt.

[0099] Das optische System der Kopflupe **1** ist für linke (erste) und rechte (zweite) Strahlengänge **4L** und **4R** bezüglich einer gemeinsamen Mittelachse **7** des optischen Systems symmetrisch aus einem linken (ersten) optischen Teilsystem **2L** und einem rechten (zweiten) optischen Teilsystem **2R** aufgebaut. In [Fig. 1A](#) werden der linke und rechte Strahlengang **4L** und **4R** durch die jeweiligen Zentralstrahlen der sie durchlaufenden Strahlenbündel repräsentiert.

[0100] Die Kopflupe **1** ist mittels Riemen am Kopf eines Betrachters derart befestigbar, daß ein linkes bzw. rechtes Auge **5L** und **5R** des Betrachters in jeweils ein linkes bzw. rechtes Austrittsokular **31L**, **31R** der Kopflupe **1** blickt. In [Fig. 1A](#) sind linke und rechte Zentralstrahlen von den linken bzw. rechten Strahlengang **4L** und **4R** durchlaufenden Teilstrahlenbündeln dargestellt, welche den Augen **5L**, **5R** des Betrachters von den Austrittsokularen **31L**, **31R** zugeführt werden. Die Zentralstrahlen werden durch Spiegel **32L**, **33L**, **37L** bzw. **32R**, **33R**, **37R** der Kopflupe **1** mehrfach gefaltet und durch das Objektivsystem **10**

derart abgebildet, daß sie sich an einem zu betrachtenden Objekt **6** treffen und dabei miteinander einen Stereowinkel  $\alpha$  einschließen. Die Kopflupe **1** bildet somit auf jedes Auge **5L**, **5R** des Betrachters ein Bild des Objekts **6** ab, wobei sich die Betrachtungswinkel der beiden Bilder um den Stereowinkel  $\alpha$  unterscheiden, so daß beim Betrachter ein stereoskopischer Raumeindruck für das betrachtete Objekt **6** entsteht. Die Größe des Stereowinkels  $\alpha$  hängt von dem jeweiligen Arbeitsabstand  $a$  des betrachteten Objekts **6** von dem Objektivsystem **10** der Kopflupe **1** ab.

**[0101]** Vom Objekt **6** kommend treten die Zentralstrahlen der beiden Strahlengänge **4L**, **4R** durch ein von zwei Paaren von optischen Teillinsen **38L**, **38R** und **39L**, **39R** gebildetes Objektivsystem **10** der Kopflupe **1** ein.

**[0102]** Dabei weist die erste optische Teillinse **38L** eine erste optische Oberfläche  $O_1$ , die zweite optische Teillinse **38R** eine zweite optische Oberfläche  $O_2$ , die dritte optische Teillinse **39L** eine dritte optische Oberfläche  $O_3$  und die vierte optische Teillinse **39R** eine vierte optische Oberfläche  $O_4$  auf. Hierbei sind sowohl die erste und zweite optische Oberfläche  $O_1$  und  $O_2$  als auch die dritte und die vierte optische Oberfläche  $O_3$  und  $O_4$  jeweils paarweise Teilflächen einer gemeinsamen mathematischen Fläche, welche rotationssymmetrisch zu der gemeinsamen Hauptachse **7** der Kopflupe **1** ist. In der Folge wirken diese Paare von optischen Teillinsen **38L**, **38R** und **39L**, **39R** jeweils wie eine für die linken und rechten Zentralstrahlen des linken und rechten Strahlenganges **4L** und **4R** gemeinsame optische Linse.

**[0103]** Wie aus [Fig. 1A](#) ersichtlich weisen die erste und zweite optische Oberfläche  $O_1$ ,  $O_2$  sowie die dritte und vierte optische Oberfläche  $O_3$ ,  $O_4$  der beiden Paare von optischen Teillinsen **38L**, **38R** und **39L**, **39R** in der Summe jeweils eine Fläche auf, die kleiner als eine Fläche  $O$  ist, die sich ergäbe, wenn die beiden Paare von optischen Teillinsen **38L**, **38R** und **39L**, **39R** jeweils durch eine gemeinsame optische Linse gebildet wären. Somit ergibt sich aufgrund des vorstehenden Aufbaus eine Ersparnis an Linsenmaterial und damit eine Gewichtersparnis für die Kopflupe **1**.

**[0104]** Die erste und die dritte optische Teillinse **38L**, **39L** und die zweite und vierte optische Teillinse **38R**, **39R** sind jeweils voneinander entlang der Mittelachse **7** der Kopflupe **1** um einen Abstand  $d$  beabstandet. Dabei sind das erste und das dritte optische Teilelement **38L**, **39L** sowie das zweite und das vierte optische Teilelement **38R**, **39R** in jeweils einem gemeinsamen Strahlengang **4L** bzw. **4R** der Kopflupe **1** angeordnet.

**[0105]** Mittels eines in den [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) dargestellten Motors (Aktuator) **11** kann dieser Abstand

$d$  in Abhängigkeit von einer Steuereinrichtung **12** der Kopflupe **1** eingestellt werden.

**[0106]** Durch Veränderung des Abstandes  $d$  entlang der Mittelachse mittels des Motors **11** wird eine Anpassung der Kopflupe **1** an den jeweiligen Arbeitsabstand  $a$  des betrachteten Objekts **6** und damit eine Fokussierung ermöglicht. Dabei stellt der vorstehende Aufbau bei geeigneter Wahl der für die erste und zweite optische Teillinse **38L**, **38R** bzw. für die dritte und vierte optische Teillinse **39L**, **39R** jeweils gemeinsamen mathematischen Fläche sicher, daß von Zentralstrahlen des linken und rechten Strahlenganges in der Objektebene **6** der Kopflupe **1** auch nach der Änderung des Arbeitsabstandes  $a$  und damit nach einer Änderung des Abstandes  $d$  automatisch immer ein Stereowinkel  $\alpha$  eingeschlossen wird.

**[0107]** Durch Änderung von Linsenabständen  $e$  und  $f$  in der Kopflupe **1** ist weiter eine einstellbare Vergrößerung (Zoomfunktion) des betrachteten Objekts **6** möglich.

**[0108]** Wie aus [Fig. 1A](#) gut ersichtlich werden die linken und rechten Zentralstrahlen **4L**, **4R** gemäß dieser Variante ausschließlich von getrennten linken optischen Elementen **31L**, **32L**, **33L**, **34L**, **35L**, **36L**, **37L**, **38L**, **39L** bzw. rechten optischen Elementen **31R**, **32R**, **33R**, **34R**, **35R**, **36R**, **37R**, **38R**, **39R** geführt. Alternativ kann im Bereich eines von den optischen Linsen **38L**, **38R**, **39L**, **39R** gebildeten Objektivsystems **10** jedoch zusätzlich auch wenigstens ein den linken und rechten Zentralstrahlen **4L**, **4R** gemeinsames optisches Element (nicht gezeigt) vorgesehen sein.

**[0109]** Nach ihrem Austritt aus dem Objektivsystem **10** treten die Zentralstrahlen **4L** und **4R** jeweils in ein Okularsystem **8** ein, wobei jedem der beiden Zentralstrahlen **4L**, **4R** separat ein eigenes Okularsystem **8** zugeordnet ist. Hierbei bildet das Objektivsystem **10** die von dem Objekt **6** ausgehenden Strahlenbündel nach Unendlich ab.

**[0110]** Zur Verdeutlichung des Aufbaus der Kopflupe **1** zeigt die [Fig. 2A](#) in räumlicher Darstellung ein in das linke Auge **5L** des Betrachters **3** eintretendes Teilstrahlenbündel **4L'**, dessen Zentralstrahl in [Fig. 1A](#) dargestellt ist.

**[0111]** Dabei zeigt [Fig. 2A](#) zusätzlich zwei erste Fassungskomponenten  $F_1$ ,  $F_2$ , an denen die optischen Teillinsen **38L**, **38R** bzw. **39L**, **39R** befestigt sind. Die beiden die optischen Teillinsen **38L**, **38R** bzw. **39L**, **39R** tragenden ersten Fassungskomponenten  $F_1$ ,  $F_2$  werden von zweiten Fassungskomponenten  $F_3$ ,  $F_3'$ ,  $F_3''$  eines Fassungs-systems der vorstehenden Kopflupe **1** getragen.

**[0112]** Dabei ist in [Fig. 2A](#) die zweite Fassungs-

komponente F3 mittels des Motors **11** in Abhängigkeit von der Steuereinrichtung **12** entlang der Mittelachse **7** der Kopflupe **1** verschiebbar. Hierdurch ist der Abstand  $d$  zwischen der die erste und zweite optische Teillinse **38L**, **38R** tragenden ersten Fassungskomponente F1 und der die dritte und vierte optische Teillinse **39L**, **39R** tragenden ersten Fassungskomponente F2 einstellbar. Folglich ist ein Arbeitsabstand  $a$  (siehe **Fig. 1**) zwischen der die dritte und vierte optische Teillinse **39L**, **39R** tragenden ersten Fassungskomponente F2 und einer Objektebene, in der die Abbildung des Objekts **6** scharf fokussiert auf die Augen **5L**, **5R** erfolgt, ebenfalls änderbar. Bei der hier beschriebenen Ausführung ist der Abstand  $d$  im Bereich zwischen 18,0 mm und 0,5 mm änderbar, was zu einer Änderung des Arbeitsabstands  $a$  im Bereich von 250 mm bis 500 mm führt.

**[0113]** Weiter ist in **Fig. 2A** die von den zweiten Fassungskomponenten F3', F3'' getragene erste Fassungskomponente F1, welche die erste und zweite optischen Teillinse **38L**, **38R** trägt, in Abhängigkeit von der Steuereinrichtung **12** mittels der zweiten Fassungskomponenten F3', F3'' in zwei Richtungen  $x$ ,  $y$ , die senkrecht zu der Mittelachse **7** der Kopflupe **1** stehen, verschiebbar. Diese laterale Versetzung der ersten Fassungskomponente F1 dient dazu, automatisch eine Vibration oder ein Wackeln der Kopflupe **1** auszugleichen. Hierfür ist die Steuereinrichtung **12** mit nicht gezeigten Aufnehmern für Vibrationen bzw. Lageänderungen der Kopflupe **1** verbunden.

**[0114]** Auch wenn die vorliegende Variante vorstehend am Beispiel einer Kopflupe **1** beschrieben wurde, kann das vorstehende stereoskopische optische System alternativ beispielsweise auch ein Stereomikroskop, insbesondere ein Operationsmikroskop, sein. Weiter ist es selbstverständlich möglich, von der in den **Fig. 1A** und **Fig. 2A** gezeigten Anzahl der optischen Elemente und Anzahl der optischen Teillinsen abzuweichen. Weiter kann es sich bei den optischen Elementen bzw. optischen Teillinsen des vorstehenden stereoskopischen Systems auch um aus zwei optischen Teillinsen mit unterschiedlichem Brechungsindex aufgebaute Kittglieder oder ähnliches handeln. Weiter ist es möglich, daß es sich bei einem oder bei mehreren der optischen Elemente des stereoskopischen optischen Systems um eine Linse variabler Brechkraft (z. B. eine Flüssigkeitslinse oder eine Flüssigkristalllinse (LC-Linse)) handelt. Anstelle der Verwendung von optischen Linsen ist auch die Verwendung von optischen Spiegeln als optische Elemente bzw. optische Teillinsen möglich.

**[0115]** Im folgenden wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 1A**, **Fig. 2A**, **Fig. 3A**, **Fig. 3B**, 4 bis **Fig. 7** und **Fig. 8A** eine bevorzugte Ausführung eines Verfahrens zur Herstellung der vorstehend beschriebenen Kopflupe **1** beschrieben. Selbstverständlich eignet sich dieses Verfahren auch zur Herstellung eines ste-

reoskopischen optischen Systems, welches keine Kopflupe sondern beispielsweise ein Stereomikroskop ist.

**[0116]** Gemäß des Verfahrens wird in einem ersten Schritt S1 wenigstens ein erstes optisches Element **13** mit wenigstens einer zu einer Achse A rotations-symmetrischen optischen Oberfläche O hergestellt. Wie in den **Fig. 3A** und **Fig. 3B** gezeigt, kann es sich bei dem ersten optischen Element **13** beispielsweise um eine als Kittglied ausgebildete optische Linse handeln. Alternativ kann es sich beispielsweise auch um einen optischen Spiegel handeln.

**[0117]** Im folgenden Schritt S2 erfolgt ein Befestigen des ersten optischen Elements **13** an einer ersten Fassungskomponente F1. Eine geeignete erste Fassungskomponente F1 ist in **Fig. 5** gezeigt.

**[0118]** In dieser bevorzugten Ausführung wird das optische Element **13** im Schritt S2 gleichzeitig an zwei um 90° gegeneinander verdrehten ersten Fassungskomponenten F1 und F1' befestigt. Dies ist in den **Fig. 4A**, **Fig. 4B** und **Fig. 4C** gezeigt. Dabei zeigt **Fig. 4A** schematisch eine Frontansicht des ersten optischen Elements **13**, das an zwei ersten Fassungskomponenten F1, F1' zweier Fassungs-systeme befestigt ist. **Fig. 4B** zeigt schematisch eine Rückansicht von **Fig. 4A** und **Fig. 4C** zeigt schematisch eine Seitenansicht von **Fig. 4A**.

**[0119]** Anschließend erfolgt ein Trennen S3 des ersten optischen Elements **13** in wenigstens eine erste optische Teillinse **38L** und eine zweite optische Teillinse **38R**. Das Trennen kann beispielsweise durch Sägen oder Schneiden erfolgen. In den **Fig. 4A**, **Fig. 4B** und **Fig. 4C** ist entsprechend der Zahl der ersten Fassungskomponenten F1 und F1' ein Trennen in zwei Paare von ersten und zweiten optischen Teillinsen **38L**, **38R** und **38L'**, **38R'** dargestellt. Alternativ ist jedoch auch ein Trennen in nur ein Paar oder eine größere Anzahl von Paaren von optischen Teillinsen möglich. Dabei kennzeichnen in den **Fig. 4A**, **Fig. 4B**, **Fig. 4C** die diagonal schraffierten Bereiche des ersten optischen Elements **13** optische Teillinsen, die nach dem Trennen verworfen werden.

**[0120]** Das Trennen erfolgt derart, daß die Paare von ersten und zweiten optischen Teillinsen **38L**, **38R** und **38L'**, **38R'** nach dem Trennen jeweils Teile der wenigstens einen optischen Oberfläche O des ersten optischen Elements **13** aufweisen. Folglich ist eine Summe der Flächen der optischen Oberflächen O1 und O2, und/oder O3 und O4 gleich der optischen Oberfläche O des ersten optischen Elements **13** vor dem Trennen.

**[0121]** Nach dem Trennen werden die beiden ersten Fassungskomponenten F1, F1' voneinander separiert, wobei an einer jeden der ersten Fassungskom-

ponenten F1 bzw. F1' jeweils ein Paar der optischen Teillinsen **38L**, **38R** bzw. **38L'**, **38R'** befestigt bleibt. Die beiden ersten Fassungskomponenten F1, F1' mit dem daran befestigten jeweiligen Paar optischer Teillinsen **38L**, **38R**, **38L'**, **38R'** können dann jeweils zur Herstellung einer Kopflupe **1** verwendet werden. Dies erfolgt durch Montage der jeweiligen ersten Fassungskomponente F1, F1' in dem jeweiligen Fassungs-system der jeweiligen Kopflupe **1**.

**[0122]** Anschließend wird die erste Fassungskomponente F1 in Schritt S4 an einer zweiten Fassungskomponente F3 bzw. F3', F3'' eines Fassungs-systems der Kopflupe **1** angebracht, wobei die erste und die zweite optische Teillinse **38L**, **38R** an der ersten Fassungskomponente F1 befestigt bleiben. In der Folge werden die erste und die zweite optische Teillinse **38L**, **38R** automatisch derart an dem Fassungs-system montiert, daß die optische Oberfläche O1 der ersten optischen Teillinse **38L** und die optische Oberfläche O2 der zweiten optischen Teillinse **38R** rotationssymmetrisch zu einer gemeinsamen optischen Achse **7** angeordnet sind.

**[0123]** Da es schwierig ist, die ersten Fassungskomponenten F1, F1' so auszubilden, daß aus dem ersten optischen Element **13** eine große Anzahl von Paaren von ersten und zweiten optischen Teillinsen **38L**, **38R**, **38L'**, **38R'** gebildet werden kann, ist in Abwandlung der vorstehend beschriebenen Ausführung auch die Verwendung einer Hilfsfassung F4 für den Trennvorgang möglich.

**[0124]** Gemäß dieser abgewandelten Variante erfolgt vor dem Trennen ein Befestigen des ersten optischen Elements **13** nicht an einer oder an mehreren ersten Fassungskomponenten F1, F1', sondern an der Hilfsfassung F4. Dies ist in [Fig. 6](#) gezeigt.

**[0125]** Nach dem Trennen und vor dem Montieren S4 der ersten und der zweiten optischen Teillinse **38L**, **38R** an dem Fassungs-system erfolgt gemäß dieser abgewandelten Ausführung ein Befestigen der ersten und der zweiten optischen Teillinse **38L**, **38R** an der ersten Fassungskomponente F1, F5. Da die erste Fassungskomponente F1, F5 in dieser Ausführung keine Befestigung und kein Trennen des ersten optischen Elements **13** ermöglichen muß, kann die erste Fassungskomponente F1, F5 ganz auf das Paar von erster und zweiter optischer Teillinse **38L**, **38R** abgestimmt werden. Dies ist in [Fig. 7](#) am Beispiel der ersten Fassungskomponente F5 gezeigt. Im Extremfall kann die erste Fassungskomponente auch einfach durch einen Steg (nicht extra gezeigt), der die erste und zweite optische Teillinse **38L**, **38R** starr verbindet und damit die Position und Lage der ersten und zweiten optischen Teillinse **38L**, **38R** relativ zueinander festlegt, gebildet sein.

**[0126]** Um sicherzustellen, daß die relative Position

und Lage der Paare von ersten und zweiten optischen Teillinsen **38L**, **38R** nicht durch das Umsetzen beeinträchtigt wird, bleiben die erste und die zweite optische Teillinse **38L**, **38R** während des Befestigens der ersten und der zweiten optischen Teillinse **38L**, **38R** an der ersten Fassungskomponente F1, F1' bevorzugt an der Hilfsfassung F4 befestigt. Erst anschließend erfolgt ein Lösen der ersten und der zweiten optischen Teillinse **38L**, **38R** von der Hilfsfassung F4.

**[0127]** Entsprechend der vorstehend beschriebenen Ausführung erfolgt auch bei dieser abgewandelten Ausführung das Montieren der ersten und der zweiten optischen Teillinse **38L**, **38R** an dem Fassungs-system durch Anbringen der ersten Fassungskomponente F1 bzw. F5 an der zweiten Fassungskomponente F3 bzw. F3', F3'' des Fassungs-systems, wobei die erste und die zweite optische Teillinse **38L**, **38R** an der ersten Fassungskomponente F1 bzw. F5 befestigt bleiben.

**[0128]** Für die Herstellung der in [Fig. 1A](#) gezeigten Kopflupe **1** ist es allgemein vorteilhaft, wenn das Verfahren ferner ein Herstellen eines zweiten optischen Elements, welches wenigstens eine zu einer Achse rotationssymmetrische optische Oberfläche aufweist, umfaßt. Da sich dieses zweite optische Element von dem ersten optischen Element **13** nur durch die Wahl der zu der Achse rotationssymmetrischen optischen Oberfläche unterscheidet, ist es in den Figuren nicht eigens dargestellt.

**[0129]** Weiter umfaßt das Verfahren vorzugsweise weiter ein Trennen des zweiten optischen Elements in wenigstens eine dritte optische Teillinse **39L** und eine vierte optische Teillinse **39R** derart, daß die dritte und die vierte optische Teillinse **39L**, **39R** Teile der wenigstens einen optischen Oberfläche des zweiten optischen Elements aufweisen. Anschließend werden die dritte optische Teillinse **39L** und die vierte optische Teillinse **39R** so an dem Fassungs-system montiert, daß die optische Oberfläche O3 der dritten optischen Teillinse **39L** und die optische Oberfläche O4 der vierten optischen Teillinse **39R** rotationssymmetrisch zu der gemeinsamen optischen Achse **7** der Kopflupe **1** angeordnet sind. Dabei werden die erste optische Teillinse **38L** und die dritte optische Teillinse **39L** wie in [Fig. 1A](#) gezeigt bevorzugt in einem gemeinsamen Zentralstrahl **4L** der Kopflupe **1** mit Abstand  $d$  voneinander entlang der gemeinsamen optischen Achse **7** angeordnet.

**[0130]** In der Folge ermöglicht das vorstehend beschriebene Verfahren eine Herstellung der Kopflupe **1** mit einfachen Mitteln auf kostengünstige Weise und mit der erforderlichen Genauigkeit. Weiter ermöglicht das Verfahren eine Verkleinerung der Bauform des Objektivsystems **10** der Kopflupe **1** und damit eine Verringerung des Gewichtes des stereoskopischen

optischen Systems.

**[0131]** Gleichzeitig stellt der durch das vorstehende Verfahren erzielte Aufbau bei geeigneter Wahl der jeweiligen optischen Oberflächen O des ersten und zweiten optischen Elements **13** und damit der optischen Oberflächen O1, O2, O3, O4 der optischen Teillinsen **38L**, **38R**, **39L**, **39R** sicher, daß in einer Objektebene **6** der Kopflupe **1** auch nach einer Änderung des Arbeitsabstandes und damit nach einer Änderung des Abstandes d zwischen der ersten und dritten bzw. zweiten und vierten optischen Teillinse **38L**, **39L** bzw. **38R**, **39R** von Zentralstrahlen der beiden Strahlengänge **4L**, **4R** automatisch immer ein Stereowinkel  $\alpha$  eingeschlossen wird.

**[0132]** Im folgenden wird unter Bezugnahme auf die [Fig. 2B](#), [Fig. 3A](#), [Fig. 3B](#), [Fig. 3C](#) und [Fig. 8B](#) eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer alternativen Kopflupe **1'** beschrieben. Bis auf die Ausgestaltung der optischen Elemente des Objektivsystems **10** weist die Kopflupe **1'** den in [Fig. 1A](#) gezeigten Aufbau auf. Auf die Beschreibung identischer Elemente wird daher im Folgenden weitgehend verzichtet.

**[0133]** Gemäß dieser Ausführungsform weist das Verfahren zur Herstellung der Kopflupe **1'** die folgenden Schritte auf:

Zunächst (S11) wird ein erstes optisches Element **13**, welches wenigstens eine zu einer Achse A rotationssymmetrische optische Oberfläche O aufweist, hergestellt. Anschließend oder gleichzeitig wird in Schritt S12 ein zweites optisches Element hergestellt, welches auch wenigstens eine zu einer Achse rotationssymmetrische optische Oberfläche aufweist. In der hier beschriebenen Ausführungsform sind das erste und das zweite optische Element **13** optische Linsen. Alternativ kann es sich jedoch auch beispielsweise um optische Spiegel handeln. Ein entsprechendes erstes bzw. zweites optisches Element **13** ist in den [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) gezeigt.

**[0134]** Im folgenden Schritt S13 erfolgt durch zwei geradlinige Schnitte ein Trennen des ersten optischen Elements **13** in eine erste zentrale optische Teillinse **38** und zwei äußere optische Teillinsen **38'**, **38''**. Anschließend oder gleichzeitig erfolgt durch zwei geradlinige Schnitte ein Trennen (S14) des zweiten optischen Elements in eine zweite zentrale optische Teillinse **39** und zwei äußere optische Teillinsen. Dies ist in [Fig. 3C](#) schematisch dargestellt. Dabei kennzeichnen die diagonal schraffierten Bereiche die äußeren optischen Teillinsen **38'**, **38''**.

**[0135]** Nach dem Trennen werden in Schritt S15 die erste zentrale optische Teillinse **38** und die zweite zentrale optische Teillinse **39** derart an einem Fassungs-system montiert, daß eine optische Oberfläche O1' der ersten zentralen optischen Teillinse **38** und

eine optische Oberfläche O2' der zweiten zentralen optischen Teillinse **39** jeweils rotationssymmetrisch zu einer gemeinsamen optischen Achse **7** der Kopflupe **1'** angeordnet sind. Die Montage erfolgt über ein Paar von ersten Fassungskomponenten F1' bzw. F2', an denen die erste bzw. zweite zentrale optische Teillinse **38** bzw. **39** befestigt sind. Dabei sind die erste zentrale optische Teillinse **38** und die zweite zentrale optische Teillinse **39** bevorzugt voneinander um einen Abstand d entlang der gemeinsamen optischen Achse **7** beabstandet. Die ersten Fassungskomponenten F1', F2' erlauben dabei eine Veränderung des Abstandes d entlang der gemeinsamen optischen Achse mittels eines Motors **11**.

**[0136]** In der in [Fig. 2B](#) gezeigten Ausführungsform werden die äußeren optischen Teillinsen **38'**, **38''** jeweils verworfen. Alternativ ist es jedoch auch möglich, die zentralen optischen Teillinsen **38**, **39** zu verworfen und die äußeren optischen Teillinsen **38'**, **38''** in der Kopflupe so zu montieren, daß eine optische Oberfläche einer ersten äußeren optischen Teillinse und eine optische Oberfläche einer zweiten äußeren optischen Teillinse jeweils rotationssymmetrisch zu einer gemeinsamen optischen Achse des stereoskopischen optischen Systems angeordnet ist.

**[0137]** Ersichtlich ist in [Fig. 2B](#) nur das linke optische Teilsystem der Kopflupe **1'** vollständig dargestellt. Es ist dem Fachmann jedoch bekannt (siehe [Fig. 9](#)), daß ein stereoskopisches optisches System für linke und rechte Zentralstrahlen **4L** und **4R** bezüglich der gemeinsamen Mittelachse **7** des optischen Systems symmetrisch aus einem linken und einem in [Fig. 2B](#) nicht vollständig gezeigten rechten optischen Teilsystem **2L**, **2R** aufgebaut ist.

**[0138]** Durch das Trennen des ersten und zweiten optischen Elements **13** in eine erste bzw. zweite zentrale optische Teillinse **38**, **39** und jeweils ein Paar äußere optische Teillinsen **38'**, **38''**, wobei lediglich die erste und zweite zentrale optische Teillinse **38**, **39** in dem Fassungs-system der Kopflupe **1'** montiert werden, wird auf besonders einfache Weise eine Reduzierung des Gewichts der Kopflupe **1'** bewirkt. Weiter ermöglicht das Verfahren eine Verkleinerung der Bauform der Kopflupe.

**[0139]** Gleichzeitig stellt der durch das erfindungsgemäße Verfahren erzielte Aufbau bei geeigneter Wahl der jeweiligen optischen Oberflächen O1', O2' des ersten und zweiten optischen Elements **13** und damit der ersten und zweiten zentralen optischen Teillinse **38**, **39** sicher, daß sich auch nach einer Änderung des relativen Abstandes zwischen den ersten und zweiten zentralen optischen Teillinsen **38**, **39** Zentralstrahlen des linken und rechten Strahlenganges **4L**, **4R** automatisch immer (d.h. über den ganzen Stellbereich der Kopflupe) unter Einschluss eines Stereowinkels  $\alpha$  in einer Objektebene **6** der Kopflupe

1 schneiden.

[0140] Es ist offensichtlich, daß auch diese Ausführungsform nicht auf Kopflupen beschränkt ist. Vielmehr kann es sich bei dem stereoskopischen optischen System beispielsweise auch um ein Stereomikroskop handeln.

[0141] Im folgenden wird unter Bezugnahme auf die [Fig. 1B](#), [Fig. 2C](#), [Fig. 3A](#), [Fig. 3B](#) und [Fig. 3D](#) am Beispiel eines Operationsmikroskops 1" der Aufbau eines stereoskopischen Systems gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Bis auf die Ausgestaltung der optischen Elemente des Objektivsystems 10 weist das Operationsmikroskop 1" einen Aufbau auf, der dem Aufbau der in [Fig. 1A](#) gezeigten Kopflupe 1 entspricht. Auf die Beschreibung identischer Elemente wird daher im Folgenden weitgehend verzichtet.

[0142] Wie in den [Fig. 1B](#) und [Fig. 2C](#) gezeigt, dient das Operationsmikroskop 1" zur Darstellung eines stereoskopischen Abbildes eines Objekts 6 über einen linken Strahlengang 4L und einen rechten Strahlengang 4R. In [Fig. 1B](#) werden der linke und rechte Strahlengang 4L und 4R jeweils durch die sie durchlaufenden Zentralstrahlen symbolisiert. In [Fig. 2C](#) wird der linke Strahlengang 4L durch das ihn durchlaufende Abbildungsstrahlenbündel 4L' symbolisiert.

[0143] Das hier gezeigte Operationsmikroskop 1" besitzt eine von dem linken Strahlengang 4L und dem rechten Strahlengang 4R gemeinsam durchsetzte Hauptoptik 10 mit einer ersten optischen Linse 38 und einer zweiten optischen Linse 39. Dabei sind die erste und zweite optische Linse 38, 39 so angeordnet, daß sie eine gemeinsame optische Hauptachse 7 aufweisen und voneinander entlang der gemeinsamen optischen Hauptachse 7 um einen Abstand d beabstandet sind.

[0144] Die Hauptoptik 10 entspricht dem Objektiv der vorangegangenen Ausführungsformen.

[0145] Weiter weist das Operationsmikroskop 1" ein lediglich von dem linken Strahlengang 4L durchsetztes linkes optisches Teilsystem 2L' mit einer Mehrzahl von optischen Elementen 31L, 32L, 33L, 34L, 35L, 36L, 37L und ein lediglich von dem rechten Strahlengang 4R durchsetztes rechtes optisches Teilsystem 2R' mit einer Mehrzahl von optischen Elementen 31R, 32R, 33R, 34R, 35R, 36R, 37R auf.

[0146] Bei den optischen Elementen 31L, 32L, 33L, 34L, 35L, 36L, 37L, 31R, 32R, 33R, 34R, 35R, 36R, 37R und den ersten und zweiten optischen Linsen 38, 39 kann es sich beispielsweise um einfache Linsen oder aus zwei optischen Teillinsen mit unterschiedlichem Brechungsindex aufgebaute Kittglieder oder ähnliches handeln. Weiter ist es möglich, daß es

sich bei einem oder bei mehreren der optischen Elemente des stereoskopischen optischen Systems um eine Linse variabler Brechkraft (z. B. eine Flüssigkeitslinse oder eine Flüssigkristalllinse (LC-Linse)) handelt. Linsen variabler Brechkraft werden zur Veränderung ihrer Brechkraft in der Regel nicht relativ zu anderen Linsen bewegt, sondern entsprechend angesteuert. Anstelle der Verwendung von optischen Linsen ist auch die Verwendung von optischen Spiegeln möglich. Selbstverständlich kann von der in den [Fig. 1B](#) und [Fig. 2C](#) gezeigten Anzahl an optischen Elementen und ersten und zweiten optischen Linsen abgewichen werden.

[0147] Wie in [Fig. 1B](#) durch die Abstände d, e und f angedeutet ist, sind wenigstens eine optische Linse 38, 39 der Hauptoptik 10 und ein optisches Element 34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R des linken und des rechten optischen Teilsystems 2L', 2R' relativ zueinander verlagerbar. Hierdurch ist eine Brechkraft einer durch die wenigstens eine optische Linse 38, 39 der Hauptoptik 10 und das wenigstens eine optische Element 34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R des linken und des rechten optischen Teilsystems 2L', 2R' gebildeten optischen Gruppe veränderbar, so daß sich Querschnitte eines Abbildungsstrahlenbündels 4L' des linken Strahlenganges 4L und eines Abbildungsstrahlenbündels 4R' des rechten Strahlenganges 4R in Abhängigkeit von der Veränderung der Brechkraft der Gruppe und damit der Verlagerung ändern. In der gezeigten Ausführungsform ist durch Änderung der Abstände e und f eine einstellbare Vergrößerung (Zoomfunktion) des betrachteten Objekts 6 und durch Änderung des Abstandes d eine Anpassung des Operationsmikroskops 1" an den jeweiligen Arbeitsabstand a des betrachteten Objekts 6 und damit eine Fokussierung möglich. Um den relativen Abstand d der ersten optischen Linse 38 von der zweiten optischen Linse 39 entlang der optischen Hauptachse 7 zu ändern, ist in dieser Ausführungsform ein Aktuator in Form eines Motors 11 vorgesehen.

[0148] Alternativ zu der vorstehend beschriebenen relativen Verlagerung von wenigstens einem optischen Element 38, 39 der Hauptoptik 10 und/oder wenigstens einem optischen Element 34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R des linken und des rechten optischen Teilsystems 2L', 2R' zur Veränderung der Brechkraft der so gebildeten Gruppe, ist auch die Verwendung wenigstens eines optischen Elements variabler Brechkraft möglich.

[0149] Bei dem wenigstens einen optischen Element variabler Brechkraft kann es sich beispielsweise um eine Flüssigkristalllinse oder eine Flüssigkeitslinse handeln, die in [Fig. 1B](#) beispielsweise jeweils die optischen Elemente 35L, 35R ersetzen kann.

[0150] Eine Brechkraft dieses optischen Elements variabler Brechkraft ist durch Ansteuern des opti-

schen Elements veränderbar, so daß sich auch hier Querschnitte eines Abbildungsstrahlenbündels **4L'** des linken Strahlenganges **4L** und eines Abbildungsstrahlenbündels **4R'** des rechten Strahlenganges **4R** in Abhängigkeit von der Veränderung der Brechkraft und damit der Ansteuerung ändern.

**[0151]** Wie in den [Fig. 1B](#), [Fig. 2C](#) und [Fig. 3D](#) gezeigt ist, ist eine äußere Form der ersten und zweiten optischen Linse **38**, **39** der Hauptoptik **10** so gewählt, daß eine jeweilige Gesamtfläche einer optischen Oberfläche  $O_1'$ ,  $O_2'$  der ersten bzw. zweiten optischen Linse **38**, **39** einen Wert aufweist, welcher kleiner als ein 1,8-faches eines Maximalwerts der von den jeweiligen Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel **4L'** max, **4R'** max auf der jeweiligen optischen Oberfläche  $O_1'$ ,  $O_2'$  der ersten bzw. zweiten optischen Linse **38**, **39** der Hauptoptik **10** eingenommenen Fläche ist.

**[0152]** Dies ist in [Fig. 3D](#) verdeutlicht. [Fig. 3D](#) zeigt schematisch eine Frontansicht einer optischen Linse **13**, welche zur Herstellung der ersten bzw. zweiten optischen Linse **38**, **39** geeignet ist. Die [Fig. 3B](#) zeigt eine Seitenansicht der optischen Linse **13**.

**[0153]** Wie in [Fig. 3D](#) gezeigt, werden die erste bzw. zweite optische Linse **38**, **39** bevorzugt durch Abtrennen von der optischen Linse **13** gebildet. Dies kann beispielsweise durch Sägen oder Schneiden erfolgen. Alternativ ist es auch möglich, die erste bzw. zweite optische Linse **38**, **39** durch Abtragen von Material der optischen Linse **13** (z. B. durch Schleifen, Hobeln oder Fräsen) zu bilden. Der diagonal schraffierte Bereich zeigt Teillinsen **38'**, **38''** (bzw. Bereiche) der optischen Linse **13**, welche verworfen werden. Weiter sind in [Fig. 3D](#) mit gepunkteten Linien Maximalwerte **4L'** max, **4R'** max und mit gestrichelten Linien Minimalwerte **4L'** min, **4R'** min der von den jeweiligen Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel **4L'**, **4R'** auf der optischen Oberfläche  $O_1'$  der ersten optischen Linse **38** der Hauptoptik **10** eingenommenen Flächen gezeigt. Der Maximalwert der von den jeweiligen Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel **4L'** max, **4R'** max eingenommenen Fläche hängt in der gezeigten Ausführungsform von den Abständen  $d$ ,  $e$  und  $f$  und der Anordnung der jeweiligen optischen Oberfläche  $O_1'$ ,  $O_2'$  ab und kann beispielsweise experimentell oder durch Berechnung ermittelt werden.

**[0154]** Ersichtlich ist die Formgebung der ersten optischen Linse **38** in [Fig. 3D](#) an den Maximalwert der von den jeweiligen Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel **4L'** max, **4R'** max eingenommenen Fläche angepasst. Zwischen den beiden die Abbildungsstrahlenbündel **4L'**, **4R'** führenden Bereichen der ersten optischen Linse **38** ist in der in [Fig. 3D](#) gezeigten Ausführungsform ein Steg **S** vorgesehen. Aufgrund des Steges **S** sind die beiden die Abbil-

dungsstrahlenbündel **4L'**, **4R'** führenden Bereiche hinsichtlich ihrer relativen Position und Lage festgelegt. Weiter kann der Steg **S** wahlweise zur Fassung der ersten optischen Linse **38** verwendet werden.

**[0155]** Vorzugsweise kann die Gesamtfläche einer jeweiligen optischen Oberfläche  $O_1'$ ,  $O_2'$  der ersten bzw. zweiten optischen Linse **38**, **39** der Hauptoptik **10** einen Wert aufweisen, welcher kleiner als ein 1,5-faches, vorzugsweise kleiner als ein 1,3-faches, bevorzugt kleiner als ein 1,2-faches und besonders bevorzugt kleiner als ein 1,1-faches eines Maximalwerts der von den Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel **4L'** max, **4R'** max auf der jeweiligen optischen Oberfläche  $O_1'$ ,  $O_2'$  der ersten bzw. zweiten optischen Linse **38**, **39** eingenommenen Fläche ist. Hierdurch können eine bezüglich der Abbildungsstrahlenbündel minimale Größe und ein minimales Gewicht der ersten bzw. zweiten optischen Linse **38**, **39** erzielt werden.

**[0156]** Anstelle von optischen Linsen können die erste und/oder zweite optische Linse **38** und/oder **39** beispielsweise auch durch optische Spiegel gebildet sein. Weiter kann der vorstehend beschriebene stereoskopische Aufbau anders als für ein Operationsmikroskop beispielsweise für eine Kopflupe oder ähnliches verwendet werden.

## Patentansprüche

1. Stereoskopisches optisches System (**1''**) zur Darstellung eines stereoskopischen Abbildes eines Objekts (**6**) über einen linken Strahlengang (**4L**) und einen rechten Strahlengang (**4R**), wobei das stereoskopische optische System (**1**) umfaßt:  
eine Hauptoptik (**10**) mit einem von dem linken Strahlengang (**4L**) und dem rechten Strahlengang (**4R**) gemeinsam durchsetzten ersten optischen Element (**38**), welches eine optische Hauptachse (**7**) aufweist, ein lediglich von dem linken Strahlengang (**4L**) durchsetztes linkes optisches Teilsystem (**2L'**) mit einer Mehrzahl von optischen Elementen (**31L**, **32L**, **33L**, **34L**, **35L**, **36L**, **37L**), und ein lediglich von dem rechten Strahlengang (**4R**) durchsetztes rechtes optisches Teilsystem (**2R'**) mit einer Mehrzahl von optischen Elementen (**31R**, **32R**, **33R**, **34R**, **35R**, **36R**, **37R**), wobei die Brechkraft wenigstens eines optischen Elements (**34L**, **35L**, **36L**, **34R**, **35R**, **36R**, **38**, **39**) der beiden Teilsysteme (**2L'**, **2R'**) und/oder der Hauptoptik (**10**) und/oder die Brechkraft einer von mehreren optischen Elementen (**34L**, **35L**, **36L**, **34R**, **35R**, **36R**) der beiden Teilsysteme (**2L'**, **2R'**) und/oder der Hauptoptik gebildeten optischen Gruppe veränderbar ist, so daß sich Querschnitte des Abbildungsstrahlenbündels (**4L'**) des linken Strahlenganges (**4L**) und des Abbildungsstrahlenbündels (**4R'**) des rechten Strahlenganges (**4R**) in Abhängigkeit von der Veränderung der Brechkraft ändern,

**dadurch gekennzeichnet**, daß zur Gewichtseinsparung der Hauptoptik (10) eine der optischen Oberflächen (O1'; O2') des von dem linken Strahlengang (4L) und dem rechten Strahlengang (4R) gemeinsam durchsetzten ersten optischen Elements (38, 39) der Hauptoptik (10) einen Flächenwert aufweist, welcher kleiner ist als das 1,8-fache des Maximalwerts der von den Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel (4L' max, 4R' max) auf dieser optischen Oberfläche (O1'; O2') des ersten optischen Elements (38, 39) der Hauptoptik (10) eingenommenen Fläche.

2. Stereoskopisches optisches System (1'') nach Anspruch 1, wobei das wenigstens eine optische Element (34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R, 38, 39) der beiden Teilsysteme (2L', 2R') und/oder der Hauptoptik (10) ein optisches Element variabler Brechkraft ist und die Brechkraft des wenigstens einen optischen Elements (34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R, 38, 39) durch Ansteuern des optischen Elements (34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R, 38, 39) veränderbar ist.

3. Stereoskopisches optisches System (1'') nach Anspruch 1, wobei die optische Gruppe durch wenigstens ein optisches Element (38, 39) der Hauptoptik (10) und wenigstens ein optisches Element (34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R) des linken und des rechten optischen Teilsystems (2L', 2R') gebildet wird, und das wenigstens eine optische Element (38, 39) der Hauptoptik (10) und/oder das wenigstens eine optische Element (34L, 35L, 36L, 34R, 35R, 36R) des linken und des rechten optischen Teilsystems (2L', 2R') zur Änderung der Brechkraft der Gruppe relativ zueinander verlagerbar ist.

4. Stereoskopisches optisches System (1'') nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, wobei die eine optische Oberfläche (O1'; O2') des von dem linken Strahlengang (4L) und dem rechten Strahlengang (4R) gemeinsam durchsetzten ersten optischen Elements (38, 39) der Hauptoptik (10) einen Flächenwert aufweist, welcher kleiner ist als das 1,5-fache, vorzugsweise kleiner ist als das 1,3-fache, bevorzugt kleiner ist als das 1,2-fache und besonders bevorzugt kleiner ist als das 1,1-fache des Maximalwerts der von den Querschnitten der Abbildungsstrahlenbündel (4L' max, 4R' max) auf dieser optischen Oberfläche (O1'; O2') des ersten optischen Elements (38, 39) der Hauptoptik (10) eingenommenen Fläche.

5. Stereoskopisches optisches System (1'') nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Hauptoptik (10) wenigstens ein zweites optisches Element (39) aufweist, welches so angeordnet ist, daß das erste und das zweite optische Element (38, 39) eine gemeinsame optische Hauptachse (7) aufweisen, und das erste optische Element (38) und das zweite optische Element (39) voneinander entlang der gemein-

samen optischen Hauptachse (7) um einen Abstand (d) beabstandet sind.

6. Stereoskopisches optisches System (1'') nach Anspruch 5, weiter umfassend einen Aktuator (11), um den Abstand (d) des ersten optischen Elements (38) relativ zu dem zweiten optischen Element (39) entlang der optischen Hauptachse (7) zu ändern.

7. Stereoskopisches optisches System (1'') nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das erste und das zweite optische Element (38, 39) jeweils eine optische Linse ist.

8. Stereoskopisches optisches System (1'') nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das stereoskopische optische System (1) eine an dem Kopf eines Benutzers befestigbare Kopflupe ist.

9. Stereoskopisches optisches System (1'') nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das stereoskopische optische System (1) ein Stereomikroskop, insbesondere ein Operationsmikroskop, ist.

10. Verfahren zur Herstellung eines stereoskopischen optischen Systems (1), umfassend:  
Herstellen (S11) eines ersten optischen Elements (13), mit einer rotationssymmetrischen optischen Oberfläche (O);  
Herstellen (S12) eines zweiten optischen Elements, mit einer rotationssymmetrischen optischen Oberfläche;  
Trennen (S13) des ersten optischen Elements (13) in ein zentrales Teilelement (38) und zwei äußere Teilelemente (38', 38'') durch zwei geradlinige Schnitte;  
Trennen (S14) des zweiten optischen Elements in ein zentrales Teilelement (39) und zwei äußere Teilelemente durch zwei geradlinige Schnitte; und  
Montieren (S15) des zentralen Teilelements (38) des ersten optischen Elements (13) und des zentralen Teilelements (39) des zweiten optischen Elements an einem Fassungssystem zur Gewichtseinsparung ohne die äußeren Teilelemente (38', 38'') wobei die Rotations-Symmetrieachsen der beiden zentralen Teilelemente (38, 39) zusammenfallen.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das erste zentrale Teilelement (38) und das zweite zentrale Teilelement (39) mit Abstand (d) voneinander entlang der gemeinsamen optischen Achse (7) angeordnet sind.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei das Fassungssystem einen Aktuator (11) umfaßt, um den Abstand des ersten zentralen Teilelements (38) von dem zweiten zentralen Teilelement (39) entlang der gemeinsamen optischen Achse (7) zu ändern.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei das erste und/oder zweite optische Ele-

ment (13) eine Linse ist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei das stereoskopische optische System (1) eine an einem Kopf eines Benutzers befestigbare Kopflupe ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei das stereoskopische optische System (1) ein Stereomikroskop, insbesondere ein Operationsmikroskop, ist.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

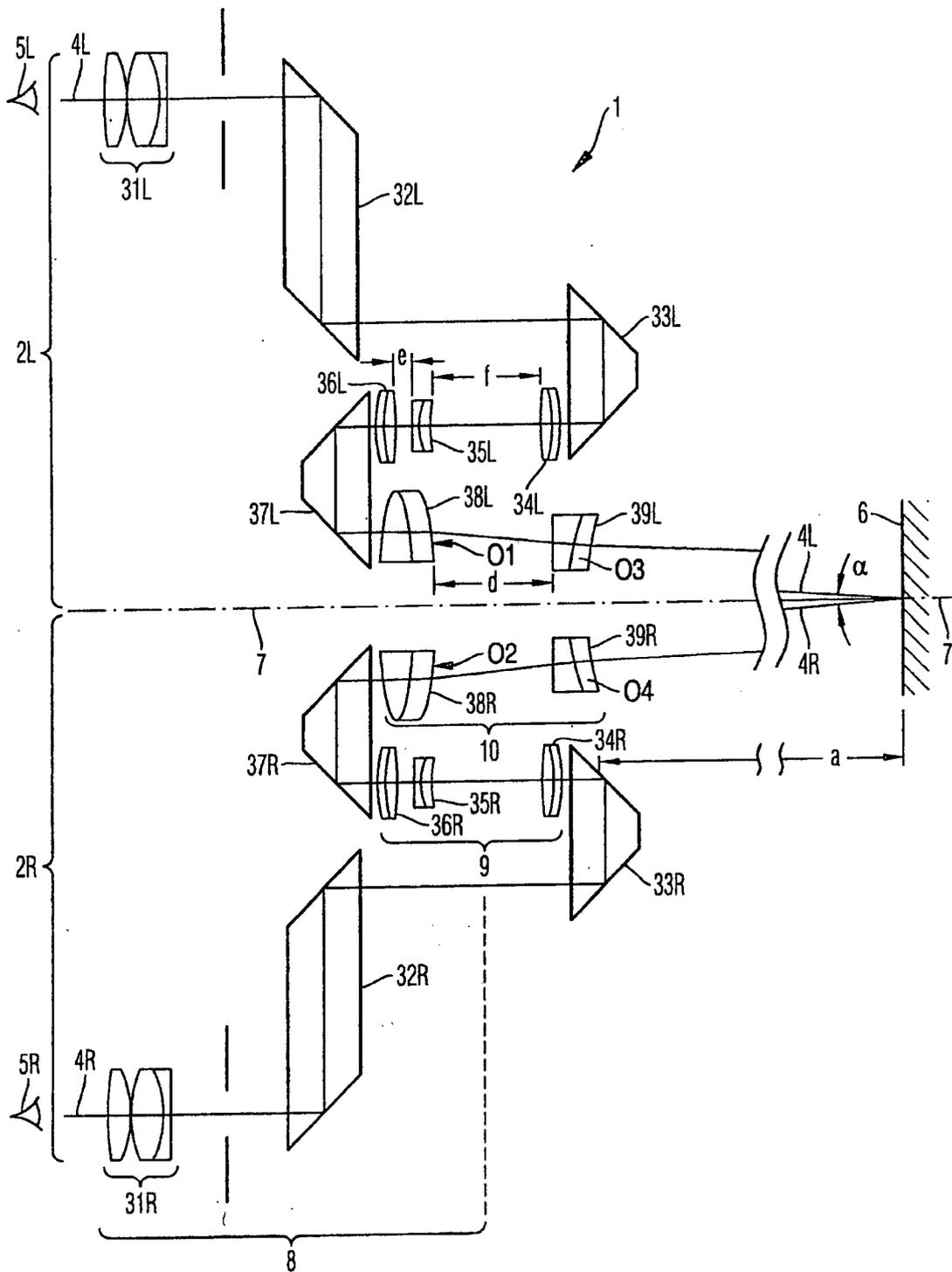


Fig. 1A

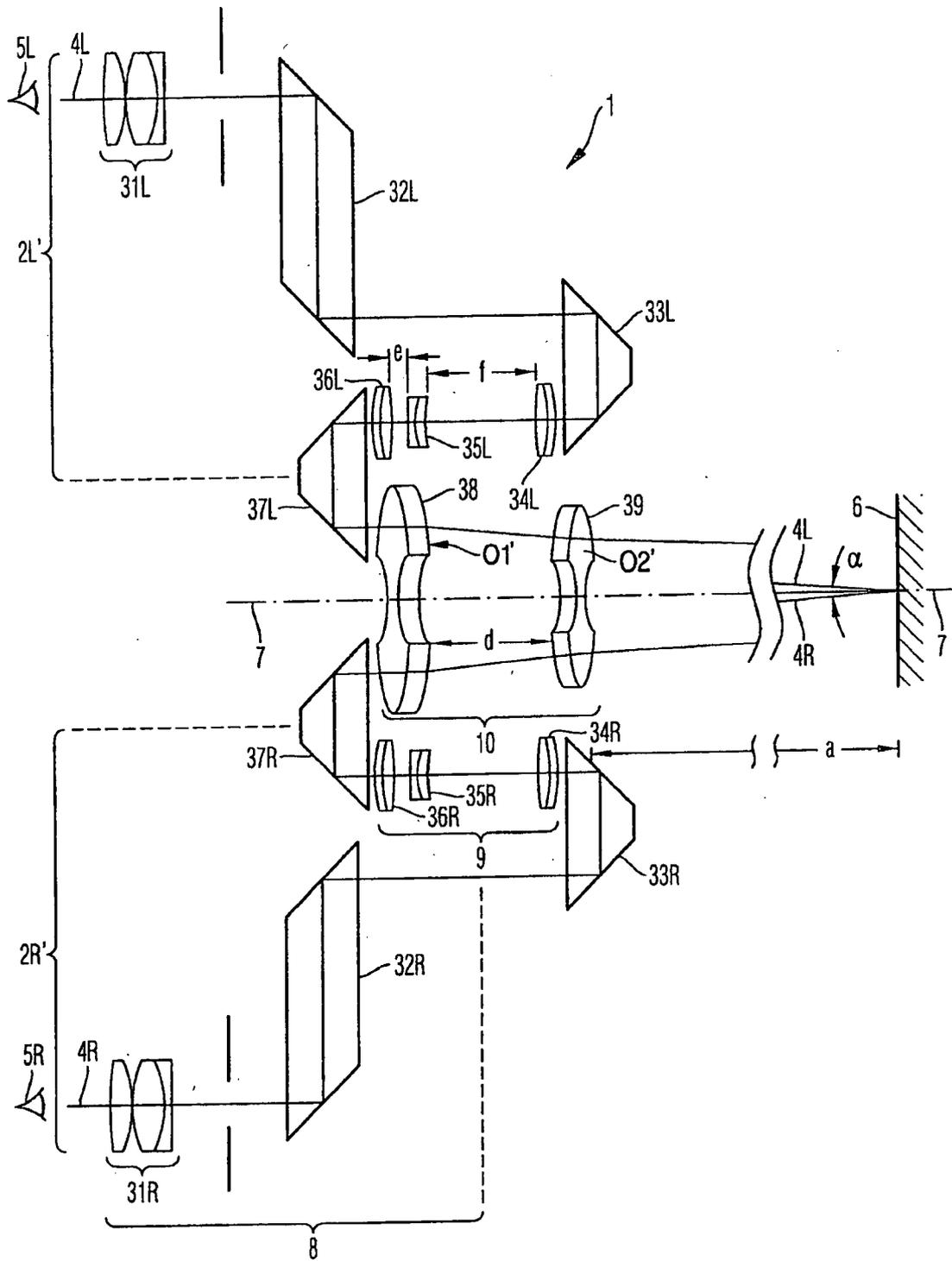


Fig. 1B

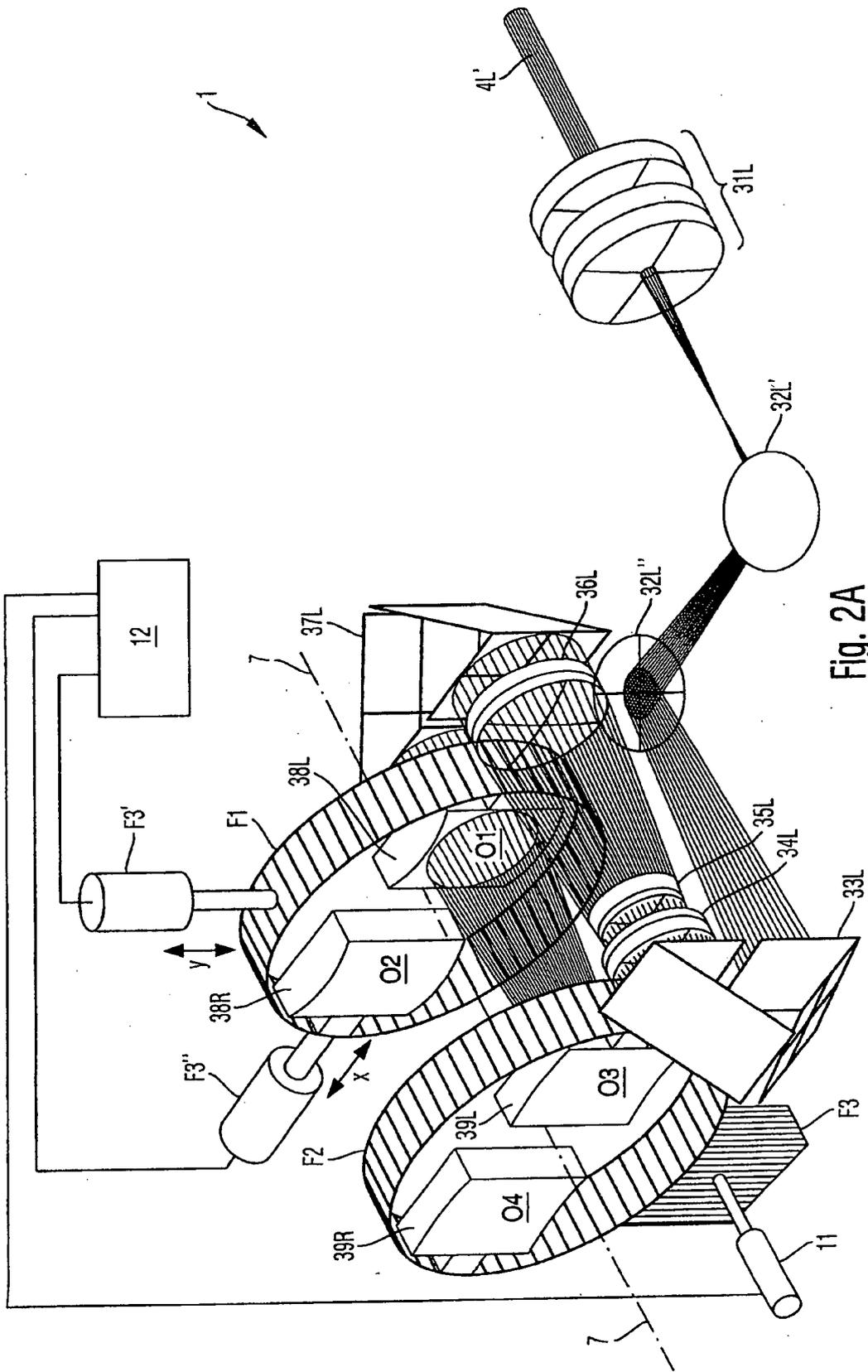


Fig. 2A

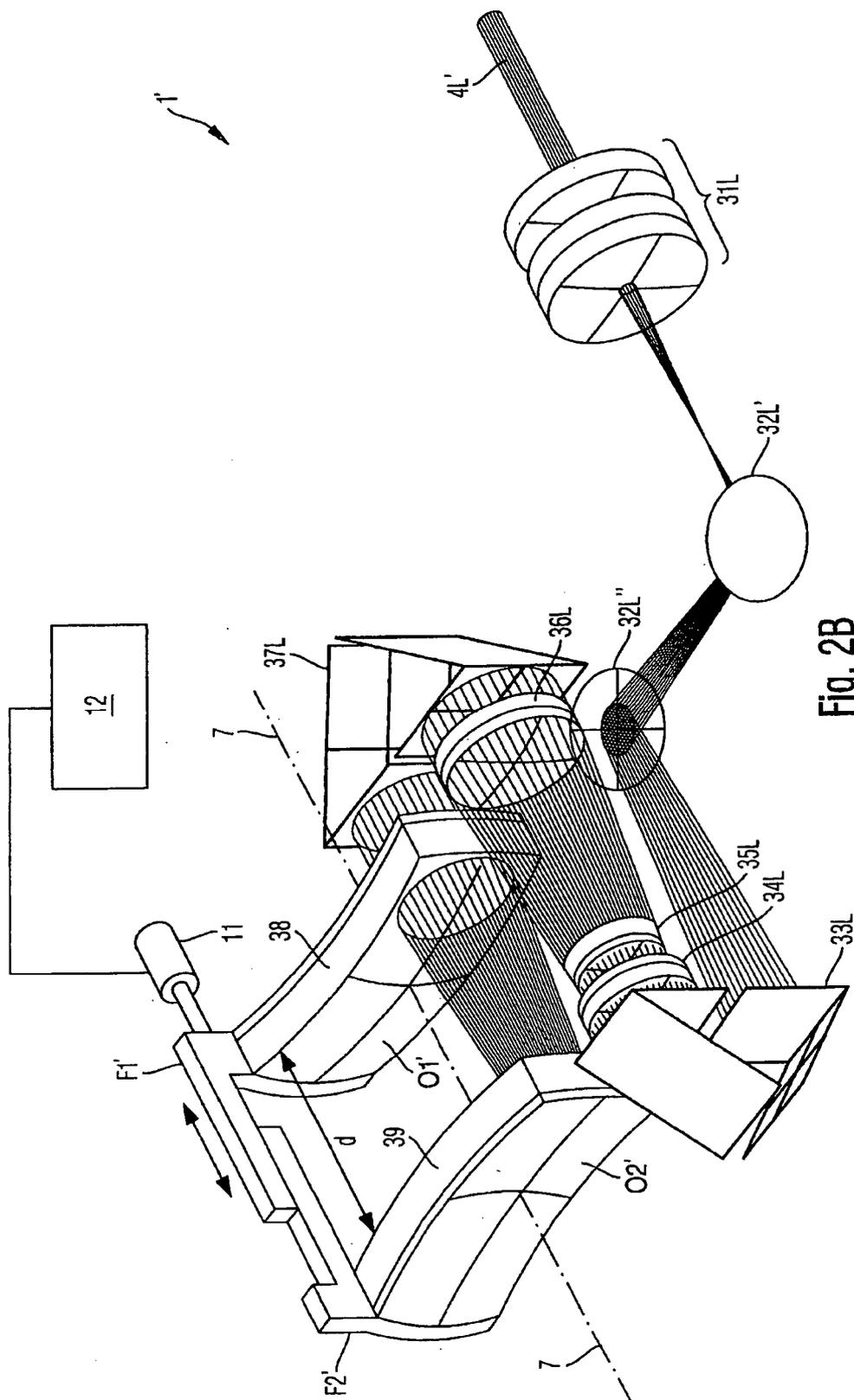


Fig. 2B

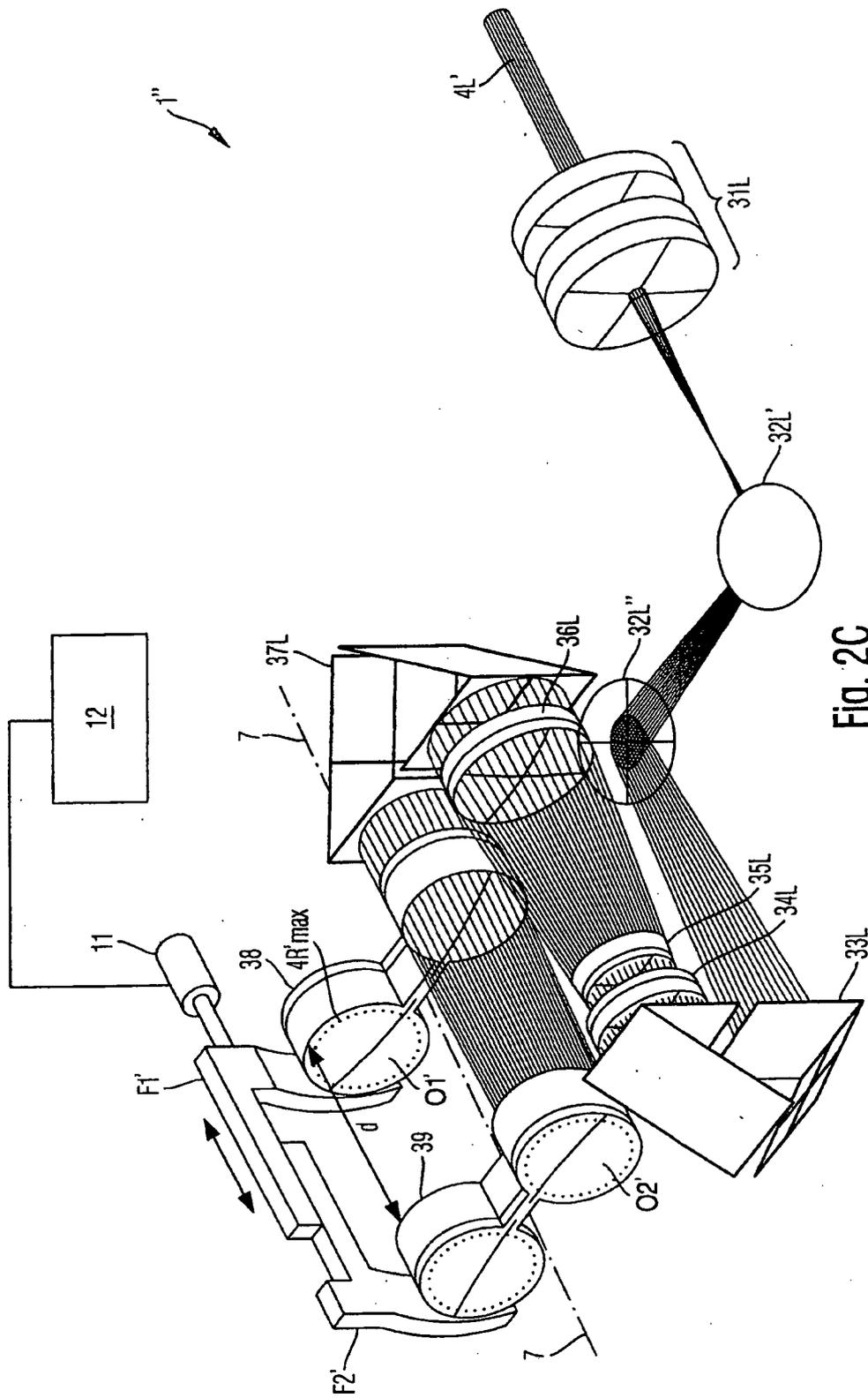


Fig. 2C

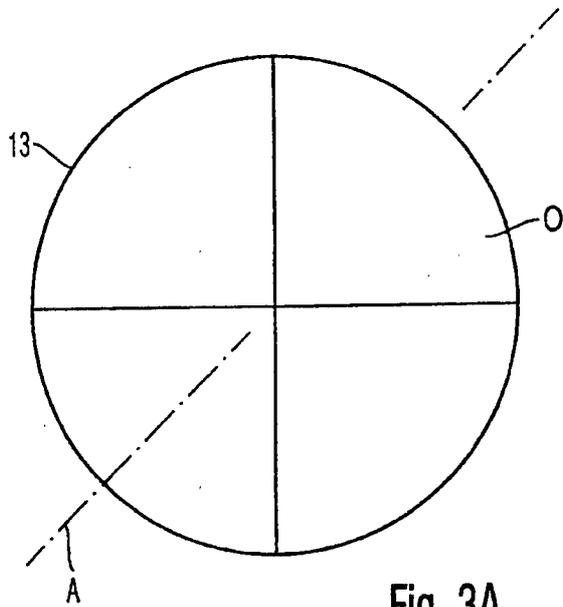


Fig. 3A

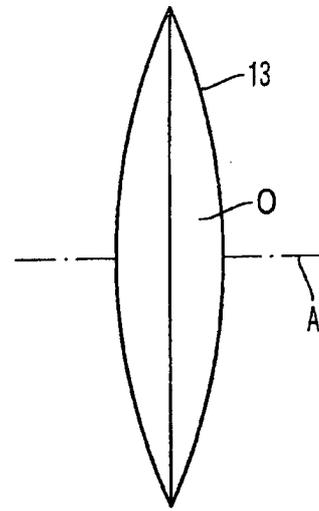


Fig. 3B

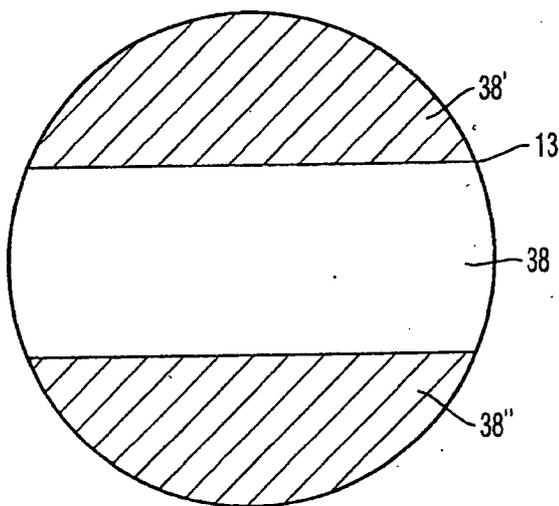


Fig. 3C

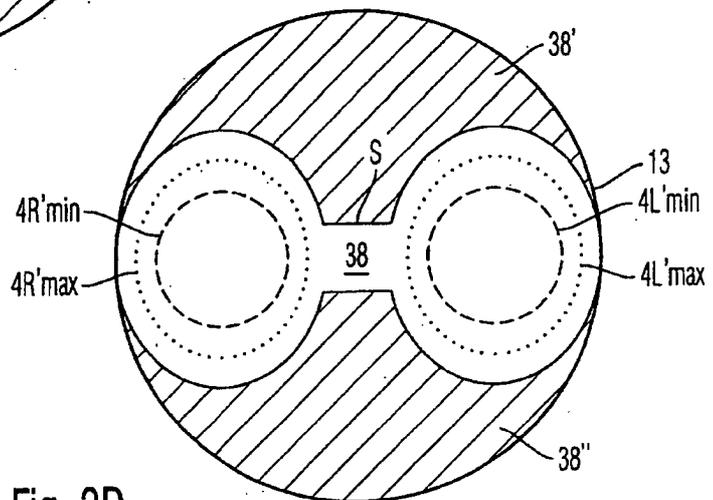


Fig. 3D

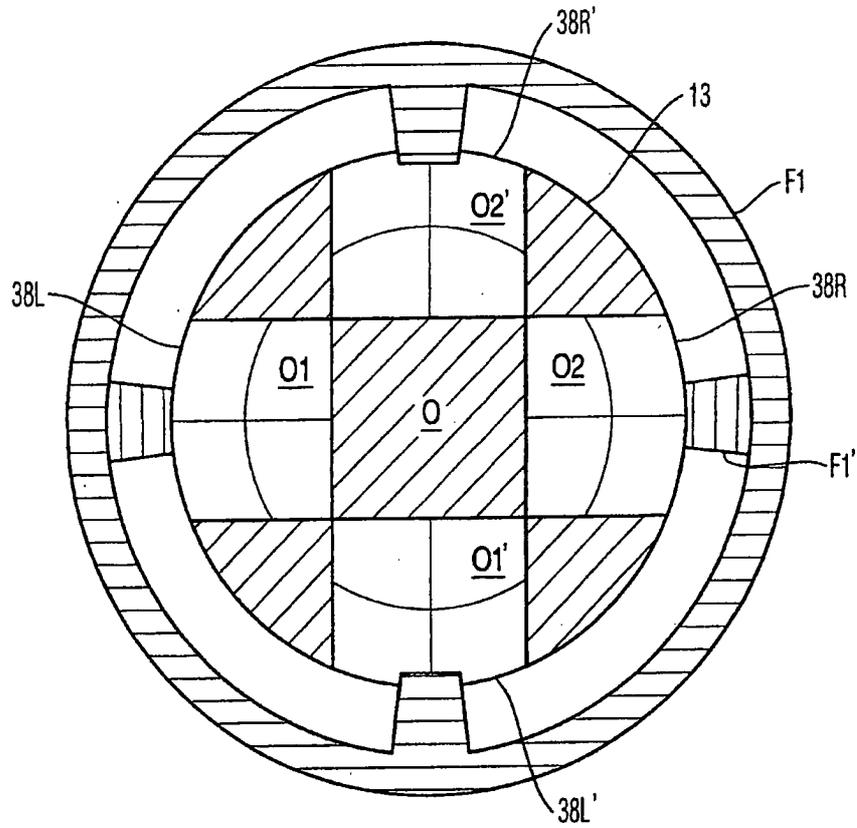


Fig. 4A

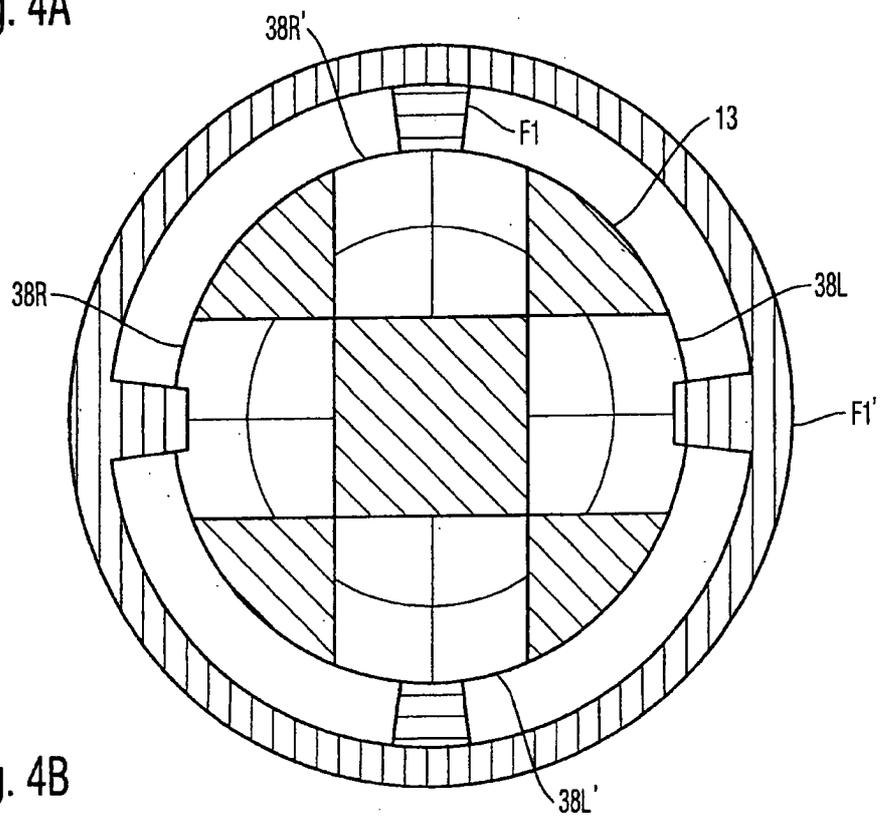


Fig. 4B

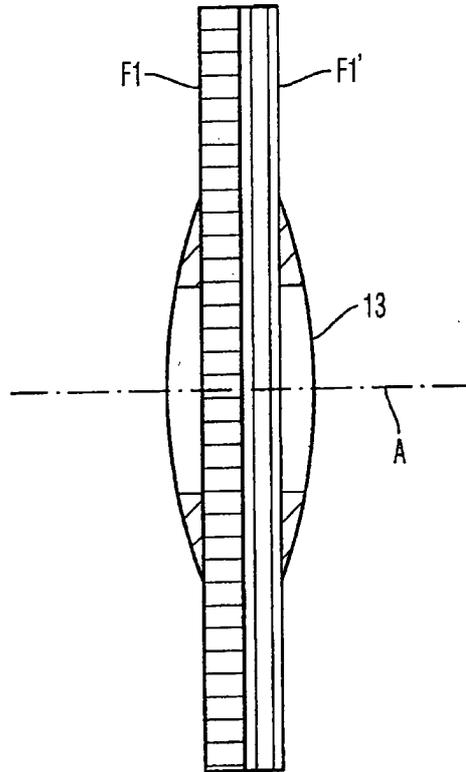


Fig. 4C

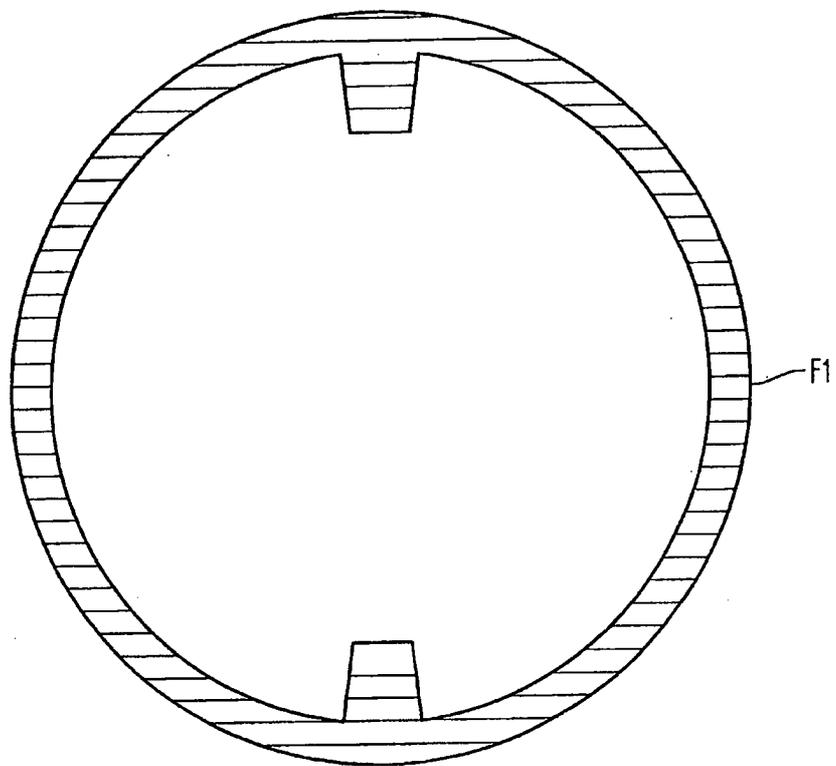


Fig. 5

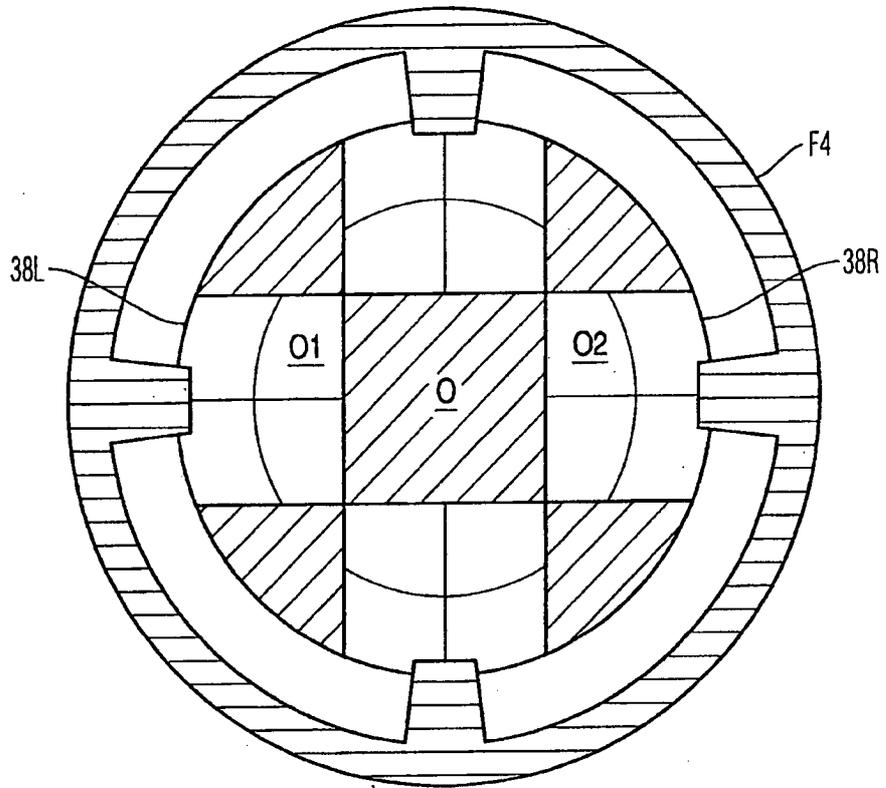


Fig. 6

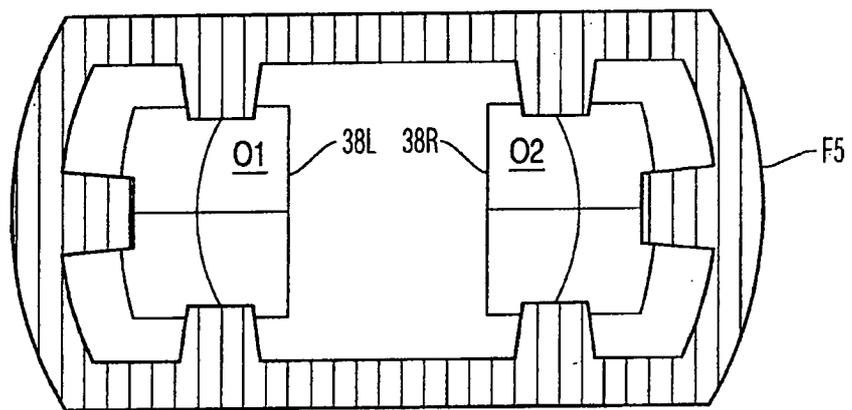


Fig. 7

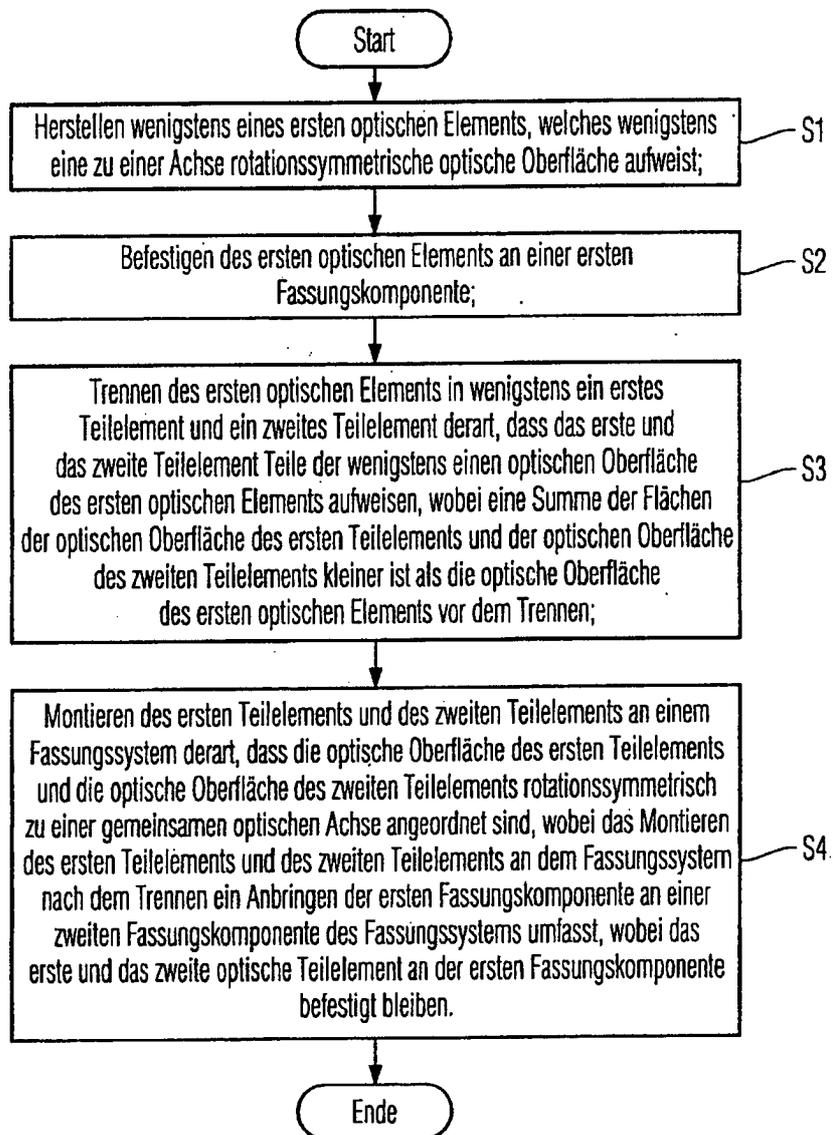


Fig. 8A

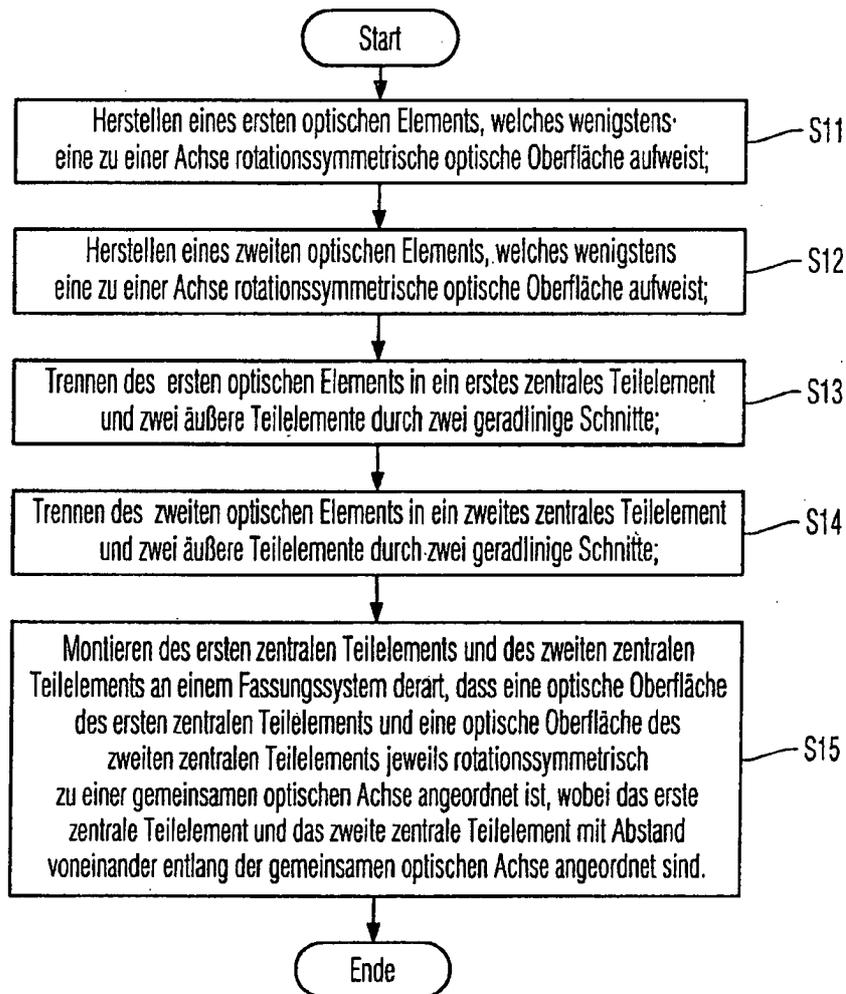


Fig. 8B

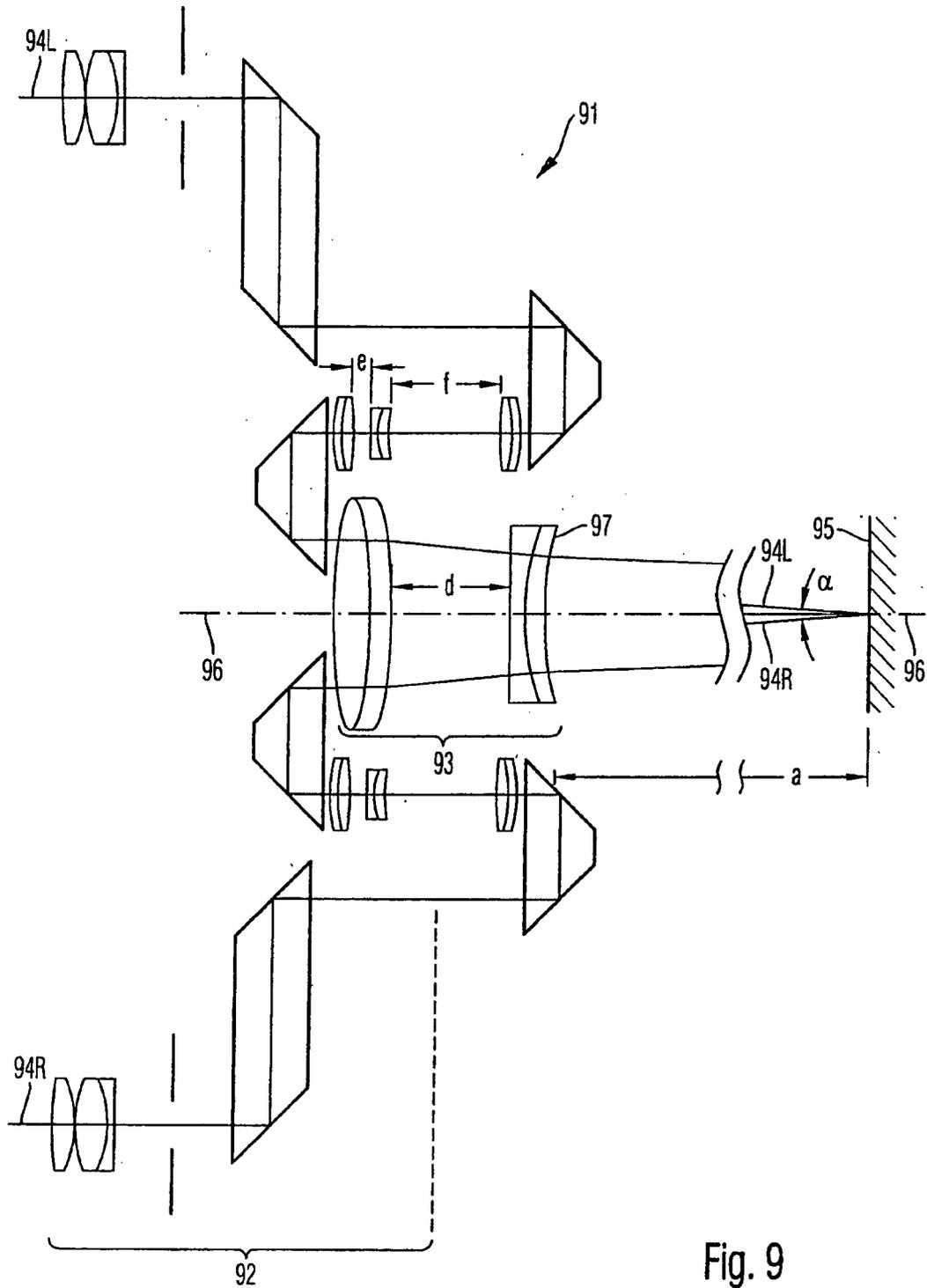


Fig. 9  
Stand der Technik