



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 34 638 T2** 2006.06.08

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 845 692 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 34 638.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 109 239.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **06.06.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.06.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **16.11.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 17/08** (2006.01)
G02B 27/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

31593096 27.11.1996 JP

(73) Patentinhaber:

Olympus Corporation, Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:

Weickmann & Weickmann, 81679 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Togino, Takayoshi, Hachioji-shi, Tokyo 192, JP

(54) Bezeichnung: **Optisches System mit einer rotationsasymmetrischen gewölbten Fläche**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Endoskop, welches ebenfalls als ein optisches System bezeichnet wird, und insbesondere ein dezentriertes optisches System, welches eine Brechkraft aufweist und welches eine dezentrierte Reflektionsfläche umfasst.

[0002] Es ist bisher ein kompaktes reflektierendes dezentriertes optisches System bekannt, wie in der japanischen Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift (KOKAI) Nr. 59-84201 offenbart. Dies ist eine Erfindung mit einer eindimensionalen Licht empfangenden Linse, welche eine zylindrische Reflektionsfläche umfasst; daher kann mit dem herkömmlichen optischen System kein zweidimensionales Abbilden erreicht werden. Die japanische Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift (KOKAI) Nr. 62-144127 offenbart ein optisches System, bei dem zum Bewirken einer Reflektion zweimal die identische zylindrische Fläche verwendet wird, um bei der oben erwähnten Erfindung die sphärische Aberration zu verringern. Die japanische Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift (KOKAI) Nr. 62-205547 offenbart die Verwendung einer asphärischen Reflektionsfläche als einer Reflektionsfläche, aber erwähnt nicht den Aufbau der Reflektionsfläche.

[0003] Die US-Patente Nr. 3,810,221 und 3,836,931 offenbaren beide ein Beispiel, bei dem ein rotationssymmetrischer asphärischer Spiegel und ein Linsensystem, welches eine Fläche aufweist, die nur eine Symmetrieebene hat, verwendet werden, um ein optisches Suchersystem einer Reflexkamera zu bilden. Bei diesem Beispiel wird allerdings die Fläche, welche nur eine Symmetrieebene aufweist zur Korrektur der Neigung eines virtuellen Bildes für eine Betrachtung verwendet.

[0004] Die japanische Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift (KOKAI) Nr. 1-257834 (US Patent Nr. 5,274,406) offenbart ein Beispiel, bei dem eine Fläche, welche nur eine Symmetrieebene aufweist, bei einem reflektierenden Spiegel verwendet wird, um eine Bildverzerrung bei einem Rückprojektions-Fernseher zu korrigieren. Bei diesem Beispiel wird allerdings ein Projektions-Linsensystem für eine Projektion auf einen Bildschirm verwendet, und die Fläche, welche nur eine Symmetrieebene aufweist, wird für eine Korrektur der Bildverzerrung verwendet.

[0005] Die japanische Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift (KOKAI) Nr. 7-333551 offenbart ein Beispiel eines dezentrierten optischen Systems vom Typ eines an der Rückseite beschichteten Spiegels, welches eine anamorphotische Fläche und eine torische Fläche verwendet, als ein optisches Beobachtungssystem. Bei dem dezentrierten optischen System sind allerdings Aberrationen, einschließlich einer Bildverzerrung, nicht ausreichend korrigiert.

[0006] Keines der oben beschriebenen Systeme des Standes der Technik verwendet eine Fläche, welche nur eine Symmetrieebene aufweist, als einen an der Rückseite beschichteten Spiegel, um einen zurückkehrenden optischen Weg zu bilden.

[0007] Bei den herkömmlichen rotationssymmetrischen optischen Systemen wird eine durchlässige rotationssymmetrische Linse, welche eine Brechkraft aufweist, verwendet, um die erforderliche Brechkraft auszuüben. Daher werden für eine Aberrationskorrektur viele Einzelelemente benötigt. Bei dem herkömmlichen dezentrierten optischen System wird allerdings eine abgebildete Figur oder dergleichen unerwünscht verzerrt und die korrekte Form kann nicht aufgezeichnet werden, falls Aberrationen des erzeugten Abbilds nicht vorteilhaft korrigiert werden, und insbesondere die rotationsasymmetrische Verzerrung nicht vorteilhaft korrigiert wird.

[0008] Bei einem rotationssymmetrischen optischen System, umfassend eine Refraktionslinse, welche aus einer Fläche gebildet ist, die um eine optische Achse rotationssymmetrisch ist, wird ein optischer Weg entlang einer geraden Linie gebildet. Daher verlängert sich das gesamte optische System unerwünscht in Richtung der optischen Achse, was zu einer unvorteilhaft langen Vorrichtung führt.

[0009] Im Hinblick auf die mit dem Stand der Technik assoziierten Probleme ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein kompaktes optisches System bereitzustellen, welches selbst bei einem breiten Feldwinkel ein klares Bild mit minimaler Verzerrung bereitstellen kann.

[0010] Das Dokument EP 0 730 183 A2 offenbart eine optische Systemvorrichtung, welche eine erste Fläche aufweist, die nur bezogen auf eine Symmetrieebene symmetrisch ist, und eine zweite Fläche, welche nur bezogen auf die Symmetrieebene symmetrisch ist, wobei die erste Ebene eine reflektive, konkave Fläche ist und

relativ zu einem Referenz-Achsenstrahl, der sich in der Symmetrieebene befindet, geneigt ist. Ferner ändert sich eine lokale Brechkraft der zweiten Fläche von einem positiven Wert zu einem negativen Wert.

[0011] Das Dokument US 5,005,957 offenbart ein Objektiv-Linsensystem für Endoskope, umfassend, in der Reihenfolge von der Objektseite, eine erste Linseneinheit, welche eine negative Brechkraft aufweist und eine zweite Linseneinheit, welche eine positive Brechkraft aufweist, wobei die erste Linseneinheit an der Bildseite eine konkave Fläche umfasst, und an der Objektseite eine asphärische Fläche umfasst.

Überblick über die Erfindung

[0012] Um die oben beschriebene Aufgabe zu lösen, stellt die vorliegende Erfindung ein Endoskop gemäß Anspruch 1 bereit, wobei ein dezentriertes optisches System wenigstens eine gekrümmte Fläche mit einem rotationsasymmetrischen Flächenaufbau umfasst, welche weder eine Achse der Rotationssymmetrie innerhalb noch außerhalb der Fläche aufweist, wobei rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung von der rotationsasymmetrischen Fläche korrigiert werden.

[0013] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein dezentriertes optisches System vorgesehen, umfassend wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche, welche weder eine Achse der Rotationssymmetrie innerhalb noch außerhalb der Fläche aufweist, wobei unter der Annahme, dass ein von der Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch die Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl als ein Hauptstrahl definiert ist, und eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der X-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und ein Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der XZ-Ebene an der Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'X$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'X$ geteilt wird, als FX bezeichnet wird, und die Brennweite in der X-Achsenrichtung dieses Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, durch FXn bezeichnet ist, die folgende Bedingung erfüllt ist, um rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung durch die rotationsasymmetrische Fläche zu korrigieren:

$$-1000 < FX/FXn < 1000 \quad (1-1)$$

[0014] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann ein dezentriertes optisches System bereitgestellt sein, umfassend wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche, welche weder eine Achse der Rotationssymmetrie innerhalb noch außerhalb der Fläche aufweist, wobei unter der Annahme, dass ein von der Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch die Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl als ein Hauptstrahl definiert ist, und eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der Y-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und ein Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der YZ-Ebene an der Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'Y$ bezeichnet wird, und wobei ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'Y$ geteilt wird, als FY bezeichnet wird, und die Brennweite in der Y-Achsenrichtung dieses Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, durch FYn bezeichnet ist, die folgende Bedingung erfüllt ist, um rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung durch die rotationsasymmetrische Fläche zu korrigieren:

$$-1000 < FY/FYn < 1000 \quad (2-1)$$

[0015] Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann ein dezentriertes optisches System vorgesehen sein, umfassend wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche, welche weder eine Achse der Rotationssymmetrie innerhalb noch außerhalb der Fläche aufweist, wobei unter der Annahme, dass ein von einer Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch eine Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um eine Mitte eines Bilds zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und dass eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht

schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der X-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und ein Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der XZ-Ebene an einer Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'X$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'X$ geteilt wird, als FX bezeichnet wird, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d von diesem entfernt in der Richtung der Y-Achse verläuft, dazu gebracht werden, in das optische System von der Eingangsseite desselben einzutreten, und ein Sinus eines Winkels, welcher an der Ausgangsseite des optischen Systems in der YZ-Ebene zwischen diesen beiden Strahlen gebildet ist, durch $NA'Y$ bezeichnet ist, und ein Wert, der durch Teilen des Abstands d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'Y$ erhalten wird, mit FY bezeichnet wird, die folgende Bedingung erfüllt ist, um rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung durch die rotationsasymmetrische Fläche zu korrigieren:

$$0,01 < |FY/FX| < 100 \quad (3-1)$$

[0016] Zunächst wird ein in der folgenden Beschreibung verwendetes Koordinatensystem erläutert. Es wird angenommen, dass ein durch die Mitte eines Objektpunkts und durch die Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, der die Mitte einer Bildebene erreicht, als ein axialer Hauptstrahl definiert ist. Es wird ebenfalls angenommen, dass eine durch eine gerade Linie, welche die erste Fläche des optischen Systems schneidet, definierte optische Achse als eine Z-Achse definiert ist, und dass eine Achse, welche die Z-Achse in der Dezentrierungsebene jeder Fläche, aus denen das optische System aufgebaut ist, orthogonal schneidet, als eine Y-Achse definiert ist, und dass ferner eine Achse, welche die optische Achse orthogonal schneidet und auch die Y-Achse orthogonal schneidet, als eine X-Achse definiert ist.

[0017] Ein Strahlverfolgungsverfahren wird durch ein Vorwärts-Strahlverfolgungsverfahren beschrieben, bei dem Lichtstrahlen von dem Objekt zu der Bildebene verfolgt werden.

[0018] Im Allgemeinen ist ein sphärisches Linsensystem, welches nur eine sphärische Linse umfasst, derart angeordnet, dass von sphärischen Flächen erzeugte Aberrationen, wie beispielsweise eine sphärische Aberration, Koma und Krümmung des Feldes, mit einigen Flächen dadurch korrigiert werden, dass die Aberrationen einander aufheben, wodurch die Gesamt-Aberrationen verringert werden. Andererseits werden asphärische Flächen und dergleichen eingesetzt, um eine Aberrationskorrektur vorteilhaft mit einer minimalen Anzahl von Flächen zu bewirken. Der Grund hierfür ist, dass verschiedene Aberrationen verringert werden, welche von sphärischen Flächen erzeugt würden.

[0019] Bei einem dezentrierten optischen System können allerdings rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung nicht durch ein rotationssymmetrisches optisches System korrigiert werden.

[0020] Die Anordnung und der Betrieb der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden beschrieben.

[0021] Die Grund-Anordnung der vorliegenden Erfindung ist wie folgt: Ein dezentriertes optisches System umfasst wenigstens eine gekrümmte Fläche mit einem rotationsasymmetrischen Flächenaufbau, welche weder eine Achse der Rotationssymmetrie innerhalb noch außerhalb der Fläche aufweist, und rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung werden durch die rotationsasymmetrische Fläche korrigiert.

[0022] Wenn ein rotationssymmetrisches optisches System dezentriert ist, treten rotationsasymmetrische Aberrationen auf, und es ist unmöglich, diese Aberrationen nur durch das rotationssymmetrische optische System zu korrigieren. Rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung umfassen Bildverzerrung, eine Krümmung des Feldes und astigmatische und komatische Aberrationen, welche selbst auf der Achse auftreten. [Fig. 54](#) zeigt eine von einem dezentrierten konkaven Spiegel M erzeugte Krümmung des Feldes. [Fig. 55](#) zeigt einen von einem dezentrierten konkaven Spiegel M erzeugten axialen Astigmatismus. [Fig. 56](#) zeigt eine von einem dezentrierten konkaven Spiegel M erzeugte axiale komatische Aberration. Gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine rotationsasymmetrische Fläche im optischen System angeordnet, um derartige rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung zu korrigieren.

[0023] Rotationsasymmetrische Aberrationen, welche von dem dezentrierten konkaven Spiegel M erzeugt sind, umfassen eine rotationsasymmetrische Krümmung des Feldes, wie die in [Fig. 54](#) gezeigte. Wenn zum Beispiel Lichtstrahlen von einem unendlich weit entfernten Objektpunkt auf den dezentrierten konkaven Spie-

gel M treffen, werden die Lichtstrahlen von dem konkaven Spiegel M reflektiert, um ein Abbild zu bilden. In diesem Fall beträgt die hintere Brennweite des Abschnitts des konkaven Spiegels M, auf den die Lichtstrahlen auftreffen, bis zur Bildfläche die Hälfte der Krümmung des Abschnitts, auf den die Lichtstrahlen auftreffen. Demzufolge wird eine Bildfläche gebildet, welche bezogen auf den axialen Hauptstrahl geneigt ist, wie in [Fig. 54](#) gezeigt. Es war bisher unmöglich, eine derartige rotationsasymmetrische Krümmung des Feldes durch ein rotationssymmetrisches System zu korrigieren. Die geneigte Krümmung des Feldes kann korrigiert werden, indem der konkave Spiegel M aus einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet wird, und, in diesem Beispiel, derart angeordnet wird, dass die Krümmung in der positiven Y-Achsenrichtung (der Richtung nach oben in der Figur) stark gemacht wird (die Brechkraft erhöht wird), während die Krümmung in der negativen Y-Achsenrichtung schwach gemacht wird (die Brechkraft verringert wird). Es ist ebenfalls möglich, mit einer minimalen Anzahl von Einzelflächen eine flache Bildfläche zu erhalten, indem eine rotationsasymmetrische Fläche, welche dieselbe Wirkung wie die oben beschriebene Anordnung hat, separat von dem konkaven Spiegel M in dem optischen System angeordnet wird.

[0024] Als nächstes wird rotationsasymmetrischer Astigmatismus erläutert. Ein dezentrierter konkaver Spiegel M erzeugt wie im obigen Fall selbst für axiale Strahlen Astigmatismus, wie in [Fig. 55](#) gezeigt. Der Astigmatismus kann wie im obigen Fall dadurch korrigiert werden, dass die Krümmung der rotationsasymmetrischen Fläche in der X-Achsenrichtung geeignet geändert wird.

[0025] Rotationsasymmetrisches Koma wird im Folgenden erläutert. Ein dezentrierter konkaver Spiegel M erzeugt, wie im obigen Fall, selbst für axiale Strahlen Koma, wie in [Fig. 56](#) gezeigt. Die Koma kann dadurch korrigiert werden, dass die Neigung der rotationsasymmetrischen Fläche geändert wird, entsprechend der Zunahme des Abstands vom Ursprung der X-Achse, und indem ferner die Neigung der Fläche geeignet entsprechend dem Vorzeichen (positiv oder negativ) der Y-Achse geändert wird.

[0026] Es wird bevorzugt eine plansymmetrische dreidimensionale Fläche, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass sie nur eine Symmetrieebene aufweist, als die oben beschriebene rotationsasymmetrische Fläche verwendet.

[0027] Der Begriff "dreidimensionale Fläche", wie bei der vorliegenden Erfindung verwendet, bedeutet eine Fläche, welche durch die folgende Gleichung definiert ist:

$$\begin{aligned}
 Z = & C_2 \\
 & + C_3y + C_4x \\
 & + C_5y^2 + C_6yx + C_7x^2 \\
 & + C_8y^3 + C_9y^2x + C_{10}yx^2 + C_{11}x^3 \\
 & + C_{12}y^4 + C_{13}y^3x + C_{14}y^2x^2 + C_{15}yx^3 + C_{16}x^4 \\
 & + C_{17}y^5 + C_{18}y^4x + C_{19}y^3x^2 + C_{20}y^2x^3 + C_{21}yx^4 + C_{22}x^5 \\
 & + C_{23}y^6 + C_{24}y^5x + C_{25}y^4x^2 + C_{26}y^3x^3 + C_{27}y^2x^4 + C_{28}yx^5 + C_{29}x^6 \\
 & + C_{30}y^7 + C_{31}y^6x + C_{32}y^5x^2 + C_{33}y^4x^3 + C_{34}y^3x^4 + C_{35}y^2x^5 + C_{36}yx^6 + C_{37}x^7 \dots
 \end{aligned} \tag{a}$$

wobei C_m (m ist eine ganze Zahl von 2 oder größer) Koeffizienten sind.

[0028] Im Allgemeinen weist die oben beschriebene dreidimensionale Fläche weder in der XZ- noch in der YZ-Ebene Symmetrieebenen auf. Bei der vorliegenden Erfindung wird eine dreidimensionale Fläche, welche nur eine Symmetrieebene parallel zur YZ-Ebene aufweist, dadurch erhalten, dass alle Terme mit ungeraden Potenzen von x auf Null gesetzt werden. Zum Beispiel werden bei der obigen Definitionsgleichung (a) die Koeffizienten der Terme C_4 , C_6 , C_9 , C_{11} , C_{13} , C_{15} , C_{18} , C_{20} , C_{22} , C_{24} , C_{26} , C_{28} , C_{31} , C_{33} , C_{35} , C_{37} , ... alle gleich Null gesetzt. Dadurch ist es möglich, eine dreidimensionale Fläche zu erhalten, welche nur eine Symmetrieebene parallel zur YZ-Ebene aufweist.

[0029] Eine dreidimensionale Fläche, welche nur eine Symmetrieebene parallel zur XZ-Ebene aufweist, wird erhalten, indem alle Terme mit ungeraden Potenzen von y auf Null gesetzt werden. Zum Beispiel werden bei der obigen Definitionsgleichung (a) die Koeffizienten der Terme C_3 , C_6 , C_8 , C_{10} , C_{13} , C_{15} , C_{17} , C_{19} , C_{21} , C_{24} , C_{26} , C_{28} , C_{30} , C_{32} , C_{34} , C_{36} , ... alle gleich Null gesetzt. Dadurch ist es möglich, eine dreidimensionale Fläche zu erhalten, welche nur eine Symmetrieebene parallel zur XZ-Ebene aufweist. Die Verwendung einer dreidimensionalen Fläche, welche eine derartige Symmetrieebene aufweist, ermöglicht es, die Produktivität zu verbessern.

[0030] Rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung können effektiv dadurch korrigiert

werden, dass eine dreidimensionale Fläche verwendet wird, welche entweder eine Symmetrieebene parallel zur YZ-Ebene oder eine Symmetrieebene parallel zur XZ-Ebene aufweist.

[0031] Es ist zu beachten, dass die obige Definitionsgleichung nur als ein Beispiel gezeigt ist, und dass die Besonderheit der vorliegenden Erfindung darin besteht, dass rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung durch eine rotationsasymmetrische Fläche korrigiert werden, welche nur eine Symmetrieebene aufweist. Daher kann dieselbe vorteilhafte Wirkung für jede andere Definitionsgleichung erzielt werden.

[0032] Es wird bevorzugt, dass die Symmetrieebene der rotationsasymmetrischen Fläche in einer Ebene angeordnet ist, welche annähernd mit der Dezentrierungsebene zusammenfällt, welche die Richtung der Dezentrierung jeder Oberfläche ist, aus denen das optische System gebildet ist.

[0033] Wenn die rotationsasymmetrische Fläche eine dreidimensionale Fläche ist, welche in dem dezentrierten optischen System angeordnet ist, und welche eine Symmetrieebene aufweist, die annähernd mit der Dezentrierungsebene jeder dezentrierten Fläche zusammenfällt, können beide Seiten der Symmetrieebene symmetrisch gemacht werden. Dies ermöglicht es, die Aberrationskorrektur vorteilhaft zu bewirken und die Produktivität um ein beträchtliches Ausmaß zu verbessern.

[0034] Es wird ebenfalls bevorzugt, die rotationsasymmetrische Fläche als eine Reflektionsfläche zu verwenden.

[0035] Wenn die oben beschriebene dreidimensionale Fläche als eine Reflektionsfläche gebildet ist, kann eine Aberrationskorrektur vorteilhaft durchgeführt werden. Wenn eine rotationsasymmetrische Fläche als eine Reflektionsfläche verwendet wird, tritt keine chromatische Aberration auf, im Gegensatz zu einem Fall, wobei sie als eine Transmissionsfläche verwendet wird. Weiterhin kann, selbst wenn die Neigung der Fläche klein ist, die Fläche Lichtstrahlen umlenken. Demgemäß ist der von der Fläche erzeugte zusätzliche Aberrationsbetrag ebenfalls klein. Mit anderen Worten ist, wenn dieselbe Brechkraft erhalten werden soll, der Aberrationsbetrag, der von einer Reflektionsfläche erzeugt wird, kleiner als bei einer Brechungsfläche.

[0036] In diesem Fall ist es erwünscht, dass die Reflektionsfläche eine Fläche ist, welche eine Totalreflektionswirkung oder eine Reflektionswirkung hat.

[0037] Wenn die Reflektionsfläche eine Totalreflektionsfläche ist, welche bezogen auf Lichtstrahlen geneigt ist, so dass die Lichtstrahlen darauf unter einem Winkel treffen, der den kritischen Winkel übersteigt, kann eine hohe Reflektivität erzielt werden. Die Reflektionsfläche ist vorzugsweise eine Reflektionsfläche, welche einen dünnen Metallfilm, z. B. Aluminium oder Silber, darauf gebildet hat, oder eine Reflektionsfläche, welche aus einem dielektrischen Mehrschichtfilm gebildet ist. Im Fall eines dünnen Metallfilms, welcher eine Reflektionswirkung hat, kann eine hohe Reflektivität einfach erzielt werden. Die Verwendung eines dielektrischen reflektierenden Films ist vorteilhaft in einem Fall, wenn ein reflektierender Film, welcher eine Wellenlängen-Selektivität oder eine minimale Absorption aufweist, gebildet werden soll.

[0038] Die rotationsasymmetrische Fläche, welche nur eine Symmetrieebene aufweist, kann ebenfalls als ein an der Rückseite beschichteter Spiegel verwendet werden.

[0039] Indem die oben beschriebene Reflektionsfläche aus einem an der Rückseite beschichteten Spiegel gebildet ist, kann die Feldkrümmung verringert werden. Der Grund dafür ist wie folgt: Wenn konkave Spiegel derselben Brennweite jeweils aus einem an der Rückseite beschichteten Spiegel und einem an der Oberfläche beschichteten Spiegel gebildet werden sollen, kann der an der Rückseite beschichtete Spiegel einen um einen dem Brechungsindex entsprechenden Betrag größeren Krümmungsradius aufweisen, und erzeugt daher einen kleineren Aberrationsbetrag, insbesondere bezogen auf die Feldkrümmung.

[0040] Unter der Annahme, dass ein von der Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch die Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um die Mitte eines Bildes zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und eine Y-Achse in der Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der X-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und ein Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der XZ-Ebene an der Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA \times X$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem

der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'X$ geteilt wird, als FX bezeichnet wird, und die Brennweite in der X-Achsenrichtung dieses Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, durch FXn bezeichnet ist, ist die folgende Bedingung vorzugsweise erfüllt:

$$-1000 < FX/FXn < 1000 \quad (1-1)$$

[0041] Die Brennweite jeder Fläche des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung wird nun beschrieben. Im Hinblick auf die Aberrationskorrektur ist es bevorzugt, dass die obige Bedingung (1-1) unter der Annahme erfüllt wird, dass, wie in [Fig. 57](#) gezeigt, die Dezentrierungsrichtung des optischen Systems S in der Y-Achsenrichtung angenommen wird, und dass ein Lichtstrahl der Höhe d in der YZ-Ebene, welcher parallel zu dem axialen Hauptstrahl des optischen Systems S verläuft, dazu gebracht wird, in das optische System S von der Objektseite einzutreten, und der Sinus eines Winkels, der zwischen dem parallelen Licht und dem axialen Hauptstrahl gebildet ist, wenn sie auf die YZ-Ebene projiziert werden, nachdem sie aus dem optischen System austreten, als $NA'Y$ bezeichnet wird, und dass ferner $d/NA'Y$ als die Brennweite FY in der Y-Achsenrichtung definiert ist, und eine Brennweite FX in der X-Achsenrichtung ähnlich definiert ist, und dass ferner die Brennweite in der X-Achsenrichtung des Abschnitts einer bestimmten rotationsasymmetrischen Fläche A gemäß der vorliegenden Erfindung, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, als FXn bezeichnet wird.

[0042] Wenn FX/FXn nicht größer als der untere Grenzwert der Bedingung (1-1) ist, d. h. -1000 , oder nicht kleiner als der obere Grenzwert ist, d. h. 1000 , wird die Brennweite der rotationsasymmetrischen Fläche jeweils auf der negativen Seite und auf der positiven Seite übermäßig kurz verglichen mit der Brennweite FX des gesamten optischen Systems. Demzufolge wird die Brechkraft der rotationsasymmetrischen Fläche übermäßig stark und durch die rotationsasymmetrische Fläche erzeugte Aberrationen können nicht durch eine andere Fläche korrigiert werden.

[0043] Es wird im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur besonders bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$-100 < FX/FXn < 100 \quad (1-2)$$

[0044] Indem die Bedingung (1-2) erfüllt wird, können rotationsasymmetrische Aberrationen noch vorteilhafter korrigiert werden.

[0045] Es wird im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur noch mehr bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$-10 < FX/FXn < 10 \quad (1-3)$$

[0046] Indem die Bedingung (1-3) erfüllt wird, können rotationsasymmetrische Aberrationen noch vorteilhafter korrigiert werden.

[0047] Unter der Annahme, dass ein von der Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch die Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um die Mitte eines Bildes zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der Y-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und ein Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der YZ-Ebene an der Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'Y$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'Y$ geteilt wird, als FY bezeichnet wird, und die Brennweite in der Y-Achsenrichtung dieses Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, durch FYn bezeichnet ist, ist die folgende Bedingung vorzugsweise erfüllt:

$$-1000 < FY/FYn < 1000 \quad (2-1)$$

[0048] Wenn FY/FYn nicht größer als der untere Grenzwert der Bedingung (2-1) ist, d. h. -1000 , oder nicht kleiner als der obere Grenzwert ist, d. h. 1000 , wird die Brennweite der rotationsasymmetrischen Fläche jeweils auf der negativen Seite und auf der positiven Seite übermäßig kurz verglichen mit der Brennweite FY des gesamten optischen Systems. Demzufolge wird die Brechkraft der rotationsasymmetrischen Fläche übermäßig

stark und durch die rotationsasymmetrische Fläche erzeugte Aberrationen können nicht durch eine andere Fläche korrigiert werden.

[0049] Es wird im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur besonders bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$-100 < FY/FY_n < 100 \quad (2-2)$$

[0050] Indem die Bedingung (2-2) erfüllt wird, können rotationsasymmetrische Aberrationen noch vorteilhafter korrigiert werden.

[0051] Es wird im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur noch mehr bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$-10 < FY/FY_n < 10 \quad (2-3)$$

[0052] Indem die Bedingung (2-3) erfüllt wird, können rotationsasymmetrische Aberrationen noch vorteilhafter korrigiert werden.

[0053] Es ist im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,01 < |FY/FX| < 100 \quad (3-1)$$

wobei F_x und F_Y die Brennweiten des gesamten optischen Systems sind.

[0054] Wenn $|FY/FX|$ nicht größer als der untere Grenzwert der Bedingung (3-1) ist, d. h. 0,01, oder nicht größer als der obere Grenzwert ist, d. h. 100, werden die Brennweiten in der X- und Y-Achsenrichtung des gesamten optischen Systems übermäßig unterschiedlich voneinander. Demzufolge wird es schwierig, eine Bildverzerrung vorteilhaft zu korrigieren, und das Bild wird unerwünscht verzerrt.

[0055] Es ist im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur besonders bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,1 < |FY/FX| < 10 \quad (3-2)$$

[0056] Indem die Bedingung (3-2) erfüllt wird, können rotationsasymmetrische Aberrationen noch vorteilhafter korrigiert werden.

[0057] Es wird im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur noch mehr bevorzugt, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,5 < |FY/FX| < 2 \quad (3-3)$$

[0058] Indem die Bedingung (3-3) erfüllt wird, können rotationsasymmetrische Aberrationen noch vorteilhafter korrigiert werden.

[0059] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann nur eine erste Reflektionsfläche umfassen, wobei Lichtstrahlen von der ersten Reflektionsfläche in eine Richtung reflektiert werden, welche sich von der Richtung, in der die Lichtstrahlen darauf auftreffen, unterscheidet. Wenn die erste Reflektionsfläche relativ zu dem axialen Hauptstrahl geneigt ist, werden Aberrationen aufgrund der Dezentrierung erzeugt, wenn Lichtstrahlen an der Fläche reflektiert werden. Rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung können zufriedenstellend korrigiert werden, indem die Reflektionsfläche aus einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet ist.

[0060] Wenn die Reflektionsfläche nicht aus einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet ist, wird ein großer Betrag von rotationsasymmetrischer Aberration erzeugt und die Auflösung verschlechtert sich. Ferner kann eine Aberrationskorrektur noch effektiver durchgeführt werden, indem die obigen Bedingungen (1-1) bis (3-3) erfüllt werden.

[0061] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine erste Reflektionsfläche und eine

erste Transmissionsfläche umfassen, wobei Lichtstrahlen, die durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und von der ersten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die erste Transmissionsfläche in einer Richtung auszutreten, welche sich von der Richtung unterscheidet, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche auftreffen. Durch Hinzufügen einer Transmissionsfläche kann die Petzval-Summe des optischen Systems verringert werden. Im Falle der Transmissions- und Reflektionsfläche mit positiver Brechkraft, heben die Petzval-Krümmungen einander auf. Demgemäß kann die Brechkraft aufgeteilt werden und die Petzval-Summe kann verringert werden. Daher wird es möglich, die Feldkrümmung zu korrigieren.

[0062] Im Hinblick auf die vorteilhafte Korrektur der Feldkrümmung wird bevorzugt, dass die erste Transmissionsfläche und die erste Reflektionsfläche in ihren Transmissions- und Reflektionsbereichen für den axialen Hauptstrahl Brechkraft mit demselben Vorzeichen aufweisen.

[0063] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine erste Reflektionsfläche, eine erste Transmissionsfläche und eine zweite Transmissionsfläche umfassen, wobei Lichtstrahlen in das optische System durch die erste Transmissionsfläche eintreten und von der ersten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die zweite Transmissionsfläche in einer Richtung auszutreten, welche sich von der Richtung unterscheidet, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche auftreffen. Durch Aufteilen der oben beschriebenen ersten Transmissionsfläche in zwei Flächen kann die Feldkrümmung noch vorteilhafter korrigiert werden.

[0064] Für einen Fall, dass die erste und die zweite Transmissionsfläche eine Transmissionslinse bilden, ist es möglich, eine Divergenz von Lichtstrahlen an der ersten Reflektionsfläche zu unterdrücken und es ist daher möglich, die Größe der ersten Reflektionsfläche zu verringern. Wenn das optische System derart angeordnet ist, dass Lichtstrahlen nacheinander durch die erste Transmissionsfläche, die erste Reflektionsfläche und die zweite Transmissionsfläche verlaufen, ist es möglich, die erste Reflektionsfläche aus einem an der Rückseite beschichteten Spiegel zu bilden. Wenn die erste Reflektionsfläche aus einem an der Rückseite beschichteten Spiegel gebildet ist, kann eine Feldkrümmung vorteilhafter verringert werden als im Fall eines an der Oberfläche beschichteten Spiegels. Wenn entweder eine oder beide der ersten und der zweiten Transmissionsfläche eine Brechkraft mit unterschiedlichem Vorzeichen von der Brechkraft der ersten Reflektionsfläche bekommen, kann die Feldkrümmung annähernd vollständig korrigiert werden. Wenn andererseits die Brechkraft der ersten und der zweiten Transmissionsfläche annähernd Null sind, können vorteilhafte Wirkungen bei chromatischen Aberrationen erzeugt werden. Das heißt, die erste Transmissionsfläche erzeugt theoretisch keine chromatischen Aberrationen, und es ist daher nicht notwendig, chromatische Aberrationen mit einer anderen Fläche zu korrigieren. Daher sind die Brechkraft der ersten und der zweiten Transmissionsfläche annähernd Null, so dass durch diese Flächen keine chromatische Aberration erzeugt wird. Dies ermöglicht es, ein optisches System zu konstruieren, welches in seiner Gesamtheit eine minimale chromatische Aberration aufweist.

[0065] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine erste Reflektionsfläche, eine zweite Reflektionsfläche und eine erste Transmissionsfläche umfassen, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten, von der ersten Reflektionsfläche reflektiert werden und dann von der zweiten Reflektionsfläche reflektiert werden, um durch die erste Transmissionsfläche aus dem optischen System auszutreten. Wenn das optische System ein Paar von ersten und zweiten Reflektionsflächen und eine erste Transmissionsfläche umfasst, kann die optische Achse durch die beiden Reflektionsflächen gefaltet sein. Dies ermöglicht eine Verringerung der Größe des optischen Systems. Da ferner eine Reflektion eine gerade Anzahl von Malen stattfindet, kann ein Abbild gebildet werden, das nicht umgekehrt ist. Ferner ist es möglich, die Brechkraft der beiden Reflektionsflächen abzuändern. Demgemäß kann der Hauptpunkt vor oder hinter dem optischen System positioniert werden, indem eine Kombination einer positiven Brechkraft mit einer negativen Brechkraft oder eine Kombination einer negativen Brechkraft mit einer positiven Brechkraft verwendet wird. Dies ermöglicht es ebenfalls, vorteilhafte Wirkungen auf die Feldkrümmung zu erzeugen. Ferner ist es ebenfalls möglich, die Feldkrümmung im Wesentlichen zu eliminieren, indem die zwei Reflektionsflächen aus an der Rückseite beschichteten Spiegeln gebildet sind.

[0066] Das optische System der vorliegenden Erfindung kann eine erste Reflektionsfläche, eine zweite Reflektionsfläche, eine erste Transmissionsfläche und eine zweite Transmissionsfläche umfassen, wobei Lichtstrahlen in das optische System durch die erste Transmissionsfläche eintreten, von der ersten Reflektionsfläche reflektiert werden und dann von der zweiten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die zweite Transmissionsfläche auszutreten. Wenn das optische System ein Paar von ersten und zweiten Reflektionsflächen und ein Paar von ersten und zweiten Transmissionsflächen umfasst, kann die optische Achse durch die zwei Reflektionsflächen gefaltet werden und das optische System kann daher, wie

oben festgestellt, mit einer kompakten Form konstruiert werden. Ferner ermöglicht das Vorhandensein von zwei Transmissionsflächen, noch vorteilhaftere Wirkungen auf die Position des Hauptpunkts und die Feldkrümmung zu erzeugen. Ferner kann eine noch vorteilhaftere Aberrationskorrektur-Leistungsfähigkeit dadurch erreicht werden, dass die zwei Reflektionsflächen aus an der Rückseite beschichteten Spiegeln gebildet sind.

[0067] Bei dem oben beschriebenen Fall kann das optische System derart angeordnet sein, dass der optische Weg Abschnitte aufweist, welche einander schneiden. Wenn einige Abschnitte des optischen Wegs einander schneiden, ist es möglich, das optische System mit einer kompakten Form zu konstruieren. Die Anordnung ermöglicht es, die Objekt- und Bildebenen annähernd senkrecht zueinander anzuordnen. Demgemäß können das optische System und eine Abbildungsvorrichtung oder dergleichen, welche an der Abbildungs-Entstehungsposition angeordnet ist, annähernd parallel zueinander angeordnet werden. Daher kann beispielsweise ein abbildendes optisches System mit einer niedrigen Höhe konstruiert werden.

[0068] Bei dem oben beschriebenen Fall kann das optische System derart angeordnet sein, dass der optische Weg keine Abschnitte aufweist, die einander schneiden. Wenn keine Abschnitte des optischen Wegs einander schneiden, kann ein Z-förmiger optischer Weg gebildet werden. Demzufolge kann der Dezentrierungswinkel an jeder Reflektionsfläche verringert werden, und der Betrag der Aberration aufgrund der Dezentrierung kann verringert werden. Daher ist die Anordnung im Hinblick auf die Korrektur von Aberrationen aufgrund der Dezentrierung vorteilhaft. Ferner können der optische Weg von dem Objekt zu dem optischen System und der optische Weg von dem optischen System zu der Bildebene annähernd parallel zueinander angeordnet werden. Insbesondere wenn das optische System als ein optisches Beobachtungssystem oder als ein optisches Okularsystem verwendet wird, sind die Richtung zur Beobachtung eines Objekts und die Richtung zur Beobachtung durch das optische System gleich. Demzufolge ist es möglich, Beobachtungen vorzunehmen, ohne dass ein verwirrendes Gefühl auftritt.

[0069] Bei dem oben beschriebenen Fall können die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche des optischen Systems die identische Fläche sein. Wenn die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind, ist die Anzahl der zu bildenden Flächen drei. Demgemäß erhöht sich die Produktivität des optischen Systems.

[0070] Bei dem oben beschriebenen Fall können die erste Reflektionsfläche und die zweite Transmissionsfläche des optischen Systems die identische Fläche sein. Wenn die erste Reflektionsfläche und die zweite Transmissionsfläche die identische Fläche sind, ist die Anzahl der zu bildenden Flächen drei. Demgemäß erhöht sich die Produktivität des optischen Systems.

[0071] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine erste Reflektionsfläche, eine zweite Reflektionsfläche, eine dritte Reflektionsfläche, eine erste Transmissionsfläche und eine zweite Transmissionsfläche umfassen, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und nacheinander von der ersten, der zweiten und der dritten Reflektionsfläche reflektiert werden, um durch die zweite Transmissionsfläche aus dem optischen System in einer Richtung auszutreten, welche sich von der Richtung unterscheidet, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche auftreffen. Wenn das optische System drei Reflektionsflächen und zwei Transmissionsflächen umfasst, erhöht sich der Freiheitsgrad weiter, was im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur vorteilhaft ist.

[0072] In diesem Fall können die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche des optischen Systems die identische Fläche sein. Alternativ können die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sein. Alternativ können die erste Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sein. Alternativ können die zweite Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sein. Dadurch, dass auf diese Art wenigstens zwei Flächen mit dem identischen Flächenaufbau gebildet sind, erhöht sich die Produktivität des optischen Systems.

[0073] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine erste Reflektionsfläche, eine zweite Reflektionsfläche, eine dritte Reflektionsfläche, eine vierte Reflektionsfläche, eine erste Transmissionsfläche und eine zweite Transmissionsfläche umfassen, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und nacheinander von der ersten, der zweiten, der dritten und der vierten Reflektionsfläche reflektiert werden, um durch die zweite Transmissionsfläche aus dem optischen System in einer Richtung auszutreten, welche sich von der Richtung unterscheidet, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche auftreffen. Wenn das optische System vier Reflektionsflächen und zwei Transmissionsflächen umfasst, erhöht sich der Freiheitsgrad weiter, was im Hinblick auf eine Aberrationskorrektur vorteilhaft ist.

[0074] In diesem Fall können die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche des optischen Systems die identische Fläche sein. Die zweite Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche können die identische Fläche sein. Die erste und die dritte Reflektionsfläche des optischen Systems können die identische Fläche sein. Die zweite und die vierte Reflektionsfläche des optischen Systems können die identische Fläche sein. Die erste Transmissionsfläche und die zweite und die vierte Reflektionsfläche des optischen Systems können die identische Fläche sein. Das optische System kann derart angeordnet sein, dass die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und dass die erste und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Das optische System kann derart angeordnet sein, dass die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und dass die zweite Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Das optische System kann derart angeordnet sein, dass die erste und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind und dass die zweite und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Das optische System kann derart angeordnet sein, dass die zweite und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind und dass die zweite Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Das optische System kann derart angeordnet sein, dass die erste Transmissionsfläche und die zweite und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und dass die zweite Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Das optische System kann derart angeordnet sein, dass die erste Transmissionsfläche und die zweite und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und dass die erste und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Das optische System kann derart angeordnet sein, dass die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und dass die zweite Transmissionsfläche und die erste und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Das optische System kann derart angeordnet sein, dass die zweite Transmissionsfläche und die erste und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Alternativ kann das optische System derart angeordnet sein, dass die erste Transmissionsfläche und die zweite und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und dass die erste und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind. Dadurch, dass auf diese Art wenigstens zwei Flächen mit dem identischen Flächenaufbau gebildet sind, erhöht sich die Produktivität des optischen Systems.

[0075] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann dadurch gebildet sein, dass zuerst eine rotationsasymmetrische Fläche hergestellt wird und dann eine rotationssymmetrische Fläche hergestellt wird. Wenn zuerst eine rotationsasymmetrische Fläche gebildet wird und dann eine rotationssymmetrische Fläche hergestellt wird, wird die Positionierung jeder Fläche vereinfacht und die Herstellungsgenauigkeit wird verbessert.

[0076] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann dadurch hergestellt werden dass eine optische Komponente, welche wenigstens eine daran gebildete rotationsasymmetrische Fläche aufweist, und eine optische Komponente, welche eine weitere daran gebildete Fläche aufweist, zusammen gekittet werden. Wenn ein dezentriertes optisches System durch Zusammenkitten einer optischen Komponente, welche eine daran gebildete rotationsasymmetrische Fläche aufweist, und einer optischen Komponente, welche eine andere daran gebildete Fläche aufweist, hergestellt wird, wird die rotationsasymmetrische Fläche durch Bearbeiten an einem ebenen, dünnen Element gebildet. Daher ist es möglich, eine Verschlechterung der Bearbeitungsgenauigkeit aufgrund einer Verzerrung oder dergleichen der optischen Komponente während des Bearbeitens zu vermeiden. Falls eine rotationsasymmetrische Fläche durch Spritzgießen gebildet wird, ist die optische Komponente vorzugsweise so dünn wie möglich. Je dünner die optische Komponente ist, desto mehr kann die Verzerrung des Harzes nach dem Spritzgießen verringert werden.

[0077] Wenn das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung als ein optisches Okularsystem angeordnet ist, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, kann eine Reflektionsfläche, welche den gefalteten optischen Weg bildet, eine Brechkraft aufweisen. Falls ein optisches Okularsystem unter Verwendung eines gefalteten optischen Weges verwendet wird, ist es möglich, einer Reflektionsfläche eine Brechkraft zuzuordnen, und eine Transmissionslinse kann weggelassen werden. Ferner kann das optische System mit einer kompakten Form konstruiert werden, indem der optische Weg gefaltet wird. Es ist ebenfalls möglich, einem Inversionsprisma eine Brechkraft zuzuordnen, was noch weiter bevorzugt ist.

[0078] Wenn das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung als ein bildgebendes optisches System angeordnet ist, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, kann eine den gefalteten optischen Weg bildende Reflektionsfläche eine Brechkraft aufweisen. Wenn ein bildgebendes optisches System unter Verwendung eines gefalteten optischen Weges konstruiert wird, ist es möglich, einer Reflektionsfläche eine Brechkraft zuzuordnen, und eine Transmissionslinse kann weggelassen werden. Weiterhin kann das optische System durch Falten des optischen Weges mit einer kompakten Form konstruiert werden. Es ist auch möglich, einem

Inversionsprisma eine Brechkraft zuzuordnen, was noch weiter bevorzugt ist.

[0079] Ein brennpunktloses optisches System kann aus einer Kombination des oben beschriebenen bildgebenden optischen Systems, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, mit einem optischen Okularsystem konstruiert werden. Zum Beispiel kann ein optisches Prismensystem zum Erhalten eines invertierten Bilds als ein bildgebendes optisches System angeordnet sein, indem ihm eine Brechkraft zugeordnet wird. Daher kann das optische System mit einer kompakten Form konstruiert werden. Es wird besonders bevorzugt, dass ein Objektivlinsensystem eines Echtbildsuchers bei einem optischen Suchersystem einer Kamera oder dergleichen von einem optischen System gebildet ist, welches eine bei einem Inversionsprisma verwendete rotationsasymmetrische Fläche aufweist. Dadurch ist es möglich, die Größe des Objektivlinsensystems zu verringern und die Struktur desselben zu vereinfachen.

[0080] Das brennpunktlose optische System kann angeordnet sein, um mit einer geraden Anzahl von Reflexionen ein aufrechtes Bild zu erhalten. Insbesondere wenn ein Mensch eine Beobachtung durchführt, wird die Leichtigkeit der Beobachtung durch Bereitstellen eines aufrechten Bildes deutlich verbessert.

[0081] Das brennpunktlose optische System kann aus einer Kombination eines bildgebenden optischen Systems und des oben beschriebenen optischen Okularsystems, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, gebildet sein. Eine derartige Kombination ermöglicht es, insbesondere die Größe eines brennpunktlosen optischen Systems mit einer kurzen Brennweite zu verringern, welches eine komplizierte Anordnung aufweist. Für den Fall eines optischen Okularsystems, welches eine Brennweite von 100 mm oder weniger aufweist, ist der Effekt der Größenverringern noch ausgeprägter.

[0082] In diesem Fall kann das brennpunktlose optische System ebenfalls angeordnet sein, um mit einer geraden Anzahl von Reflexionen ein aufrechtes Bild zu erhalten. Wenn insbesondere ein Mensch eine Beobachtung macht, wird die Leichtigkeit der Beobachtung durch Bereitstellen eines aufrechten Bildes deutlich verbessert.

[0083] Ein brennpunktloses optisches System kann aus einer Kombination des oben beschriebenen bildgebenden optischen Systems, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, und des oben beschriebenen optischen Okularsystems, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, konstruiert werden. Eine derartige Kombination ermöglicht es, ein brennpunktloses optisches System mit einer noch kompakteren Form zu konstruieren. Es wird noch weiter bevorzugt, eine rotationsasymmetrische Fläche bei einem Inversionsprisma zu verwenden, und dem optischen Prismensystem eine Brechkraft zuzuordnen, wodurch die Struktur einer Objektivlinse oder einer Okularlinse vereinfacht wird, oder diese weggelassen wird, und dadurch die Struktur des optischen Systems vereinfacht wird.

[0084] In diesem Fall kann das brennpunktlose optische System weiterhin angeordnet sein, um ein aufrechtes Bild durch eine gerade Anzahl von Reflexionen zu erhalten. Wenn insbesondere ein Mensch eine Beobachtung macht, wird die Leichtigkeit der Beobachtung durch das Bereitstellen eines aufrechten Bildes deutlich verbessert.

[0085] Wenn ein optisches System für ein Endoskop durch Verwenden des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung konstruiert wird, kann ein kompaktes optisches System gebildet werden, da der optische Weg gefaltet ist. Wenn ein anderes optisches System mit einer positiven Brechkraft zwischen dem optischen Endoskopsystem und der Abbildungs-Entstehungsposition angeordnet ist, ist es möglich, die Blendenposition in dem optischen System gemäß der vorliegenden Erfindung anzuordnen und die Austrittsblende an einer entfernten Position anzuordnen. Demgemäß ist es möglich, die Größe des optischen Prismensystems zu verringern, während auf der Bildseite die Telezentrität beibehalten wird. Wenn das optische Element mit positiver Brechkraft nicht vorgesehen ist, verschlechtert sich die Telezentrität und die Licht-Aufammel-Effizienz verringert sich bei einem Fall, bei dem beispielsweise eine CCD als eine Abbildungsvorrichtung verwendet wird. Falls eine Bildführung genutzt wird, verringert sich die Licht-Aufammel-Effizienz und es wird unmöglich, ein helles Bild zu beobachten, falls nicht ein optisches Faserbündel mit einer großen numerischen Apertur verwendet wird.

[0086] Bei einem Fall, bei dem das oben beschriebene positive optische System aus einer Linse mit positiver Brechkraft gebildet ist, erzeugt die positive Linse eine beträchtliche Bildverzerrung und eine laterale chromatische Aberration. Daher ist es im Hinblick auf die vorteilhafte Korrektur von Aberrationen bevorzugt, das System derart anzuordnen, dass von der positiven Linse erzeugte Aberrationen und von dem optischen Prismensystem gemäß der vorliegenden Erfindung erzeugte Aberrationen einander aufheben. Es ist im Hinblick auf eine

Verringerung der von der positiven Linse erzeugten Bildverzerrung bevorzugt, dass der Krümmungsradius auf der Seite der Abbildungs-Entstehungsebene der positiven Linse kleiner sein sollte als der Krümmungsradius an der Objektseite. Umgekehrt kann die positive Linse eine Krümmung an der Objektseite derselben aufweisen und eine flache Oberfläche auf der Seite der Abbildungs-Entstehungsebene und kann mit einer Abbildungsvorrichtung integriert sein. Dadurch kann die Produktivität des optischen Systems verbessert werden. Wenn die positive Linse aus einer rotationssymmetrischen Fläche gebildet ist, verbessert sich die Produktivität der Linse. Es ist ebenfalls möglich, die positive Linse aus einer rotationsasymmetrischen Fläche zu bilden. In diesem Fall ist es möglich, die Bildverzerrung noch vorteilhafter zu korrigieren. Wenn die positive Linse in Form eines optischen Beugungselements oder einer Fresnel-Linse hergestellt ist, ist es möglich, eine dünne Linse zu erhalten. Dies ist vorteilhaft, wenn es erwünscht ist, ein kompaktes optisches System zu konstruieren.

[0087] In diesem Fall kann das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem Endoskop angewendet werden, das eine Abbildungsvorrichtung verwendet. Wenn ein optisches System für ein Endoskop durch Verwendung des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung und einer zweidimensionalen Abbildungsvorrichtung konstruiert ist, kann ein kompaktes Endoskop erhalten werden. Der Grund hierfür ist, dass eine zweidimensionale Abbildungsvorrichtung eine elektrische Platine oder dergleichen umfasst, welche dünn ist und einen breiten Abbildungsbereich aufweist, und es wird daher bevorzugt, im Hinblick auf eine Verringerung der Gesamtgröße der Einrichtung die zweidimensionale Abbildungsvorrichtung unter einer Neigung bezogen auf eine optische Achse von Lichtstrahlen von einem Objekt anzuordnen.

[0088] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann bei einem optischen Endoskop-Objektivsystem verwendet werden. Dadurch ist es möglich, sowohl den Durchmesser als auch die Länge eines optischen Objektivsystems zu verringern, das in einem distalen Endabschnitt des Endoskops eingebaut ist. Daher ist es möglich, insbesondere das Problem zu lösen, dass der distale Endabschnitt des Endoskops dazu neigt, unerwünscht dick zu werden.

[0089] Eine transparente Schutzplatte kann an der Objektseite des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung angeordnet sein. Dadurch wird es möglich, das Entfernen von Staub und Wassertropfen von dem distalen Endabschnitt des Endoskops zu vereinfachen. Es wird bevorzugt, dass die transparente Schutzplatte eine transparente planparallele Platte ist.

[0090] Eine objektseitige Fläche des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine ebene Fläche sein. Dies ermöglicht es, das Entfernen von Staub und Wassertropfen von dem distalen Endabschnitt des Endoskops zu vereinfachen.

[0091] Eine bildseitige Fläche des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine ebene Fläche sein. Dies ermöglicht es, eine zweidimensionale Abbildungsvorrichtung und das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung genau relativ zueinander zu positionieren.

[0092] Die bildseitige Fläche des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung kann in enger Berührung mit einer Abbildungsvorrichtung platziert sein. Dadurch kann der einfache Zusammenbau von optischen Komponenten verbessert werden.

[0093] Ein optisches Faserbündel kann an der Abbildungs-Entstehungsebene des optischen Systems getrennt von dem optischen System angeordnet sein. Dadurch wird ein Ersatz des optischen Faserbündels vereinfacht.

[0094] Ein optisches Faserbündel kann in enger Berührung mit der bildseitigen Fläche des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung angeordnet sein. Dadurch wird es ermöglicht, ein kompaktes optisches Endoskop-Objektivsystem zu konstruieren.

[0095] Die objektseitige Fläche des optischen Systems kann aus einer transparenten Schutzplatte gebildet sein. Dadurch wird es möglich, das Entfernen von Staub und Wassertropfen von dem distalen Endabschnitt des Endoskops zu vereinfachen. Es wird bevorzugt, dass die transparente Schutzplatte eine planparallele Platte ist.

[0096] Die objektseitige Fläche des optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine ebene Fläche sein. Dies macht es möglich, das Entfernen von Staub und Wassertropfen von dem distalen Endabschnitt des Endoskops zu vereinfachen.

[0097] Eine erste Fläche in dem distalen Endabschnitt des Endoskops kann aus Glas oder einem kristallinen Material, z. B. Saphir, hergestellt sein. Dadurch wird es unwahrscheinlich, dass das optische System in dem distalen Endabschnitt des Endoskops beschädigt wird.

[0098] Die erste Fläche des optischen Endoskopsystems kann in das Gehäuse des Endoskops eingelassen sein. Dadurch wird verhindert, dass der distale Endabschnitt des optischen Systems durch Berühren eines beobachteten Objekts beschädigt wird.

[0099] Die erste Fläche des optischen Endoskopsystems kann von dem Gehäuse des Endoskops hervorste-
hen. Dies ermöglicht es, Wassertropfen von dem distalen Endabschnitt einfach zu entfernen.

[0100] Das optische System gemäß der vorliegenden Erfindung kann einen Kamera-Adapter für ein Endos-
kop umfassen, um ein Beobachtungsbild durch das optische System auf eine Abbildungsvorrichtung zu projie-
zieren. Die Verwendung einer rotationsasymmetrischen Fläche ermöglicht es, das optische System mit einer
kompakten Form zu konstruieren. Es ist zu beachten, dass eine CCD, ein Film, usw. als die Abbildungsvorrich-
tung verwendet werden kann.

[0101] In diesem Fall kann eine ebene Glasplatte vor oder hinter dem optischen System gemäß der vorlie-
genden Erfindung vorgesehen sein. Bei einer derartigen Anordnung ist es möglich zu verhindern, dass Staub
oder andere Fremdkörper in das optische System eindringen, wenn das optische Endoskop-Kamera-Adapter-
system abmontiert oder angebracht wird.

[0102] Es ist möglich, eine Vorrichtung zum Ändern des Abstands zwischen dem optischen System gemäß
der vorliegenden Erfindung und einem weiteren optischen System oder der Abbildungs-Entstehungsebene be-
reitzustellen. Mit einer derartigen Anordnung kann ein Fokussieren durchgeführt werden.

[0103] Die Anordnung kann derart ausgestaltet sein, dass die Gesamtsumme von im optischen System ge-
mäß der vorliegenden Erfindung und einem weiteren optischen System stattfindenden Reflektionen eine gera-
de Anzahl ist. Eine derartige Anordnung wird bevorzugt, da eine Abbildung gebildet werden kann, die nicht um-
gekehrt ist, und es daher für einen Beobachter möglich ist, eine Beobachtung vorzunehmen, ohne ein verwir-
rendes Gefühl zu verspüren.

[0104] Der Kamera-Adapter für ein Endoskop kann ein optisches System sein, bei dem die Gesamtsumme
von Reflektionen eine ungerade Anzahl beträgt, und eine elektrische Bildumkehrschaltung umfassen. In einem
Fall, bei dem die Anzahl von Reflektionen in dem optischen System eine ungerade Anzahl ist, wird es bevor-
zugt, das Bild durch elektrische Verarbeitung umzukehren, da hierdurch ein Beobachter eine Beobachtung
durchführen kann, ohne ein verwirrendes Gefühl zu verspüren.

[0105] Der Kamera-Adapter für ein Endoskop kann eine semitransparente Reflektionsfläche aufweisen, um
einen optischen Weg in zwei aufzuteilen. Wenn der optische Weg durch eine semitransparente Reflektionsflä-
che in zwei aufgeteilt wird, ist es möglich, einen optischen Beobachtungsweg und einen optischen Kameraweg
zu haben und es ist daher möglich, zu fotografieren, während eine Beobachtung durchgeführt wird.

[0106] Der optische Beobachtungsweg für einen Beobachter kann annähernd parallel zu einer optischen Ach-
se von Lichtstrahlen sein, welche von einem optischen Beobachtungssystem in den Endoskop-Kamera-Adap-
ter eintreten. Es wird bevorzugt, dass der optische Beobachtungsweg annähernd parallel zu einer optischen
Achse von Lichtstrahlen sein sollte, welche von einem optischen Beobachtungssystem in den Endoskop-Ka-
mera-Adapter eintreten. Der Grund hierfür ist, dass, wenn der Beobachtungsweg annähernd parallel zu der
optischen Achse ist, die Beobachtungsrichtung und die Richtung zum Steuern von Beobachtungs-Ausrüstun-
gen, wie beispielsweise einem Endoskop, zusammen fallen, wodurch es einem Beobachter ermöglicht wird,
eine Beobachtung durchzuführen, ohne ein verwirrendes Gefühl zu verspüren.

[0107] Weitere Aufgaben und Vorteile der Erfindung sind einenteils offensichtlich und werden anderenteils
aus der Beschreibung ersichtlich.

[0108] Die Erfindung umfasst demgemäß die Merkmale der Konstruktion, der Kombination von Elementen
und der Anordnung von Teilen, welche in der im folgenden beschriebenen Konstruktion beispielhaft dargestellt
werden, und der Rahmen der Erfindung wird in den Ansprüchen angezeigt.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- [0109] [Fig. 1](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 1 der vorliegenden Erfindung.
- [0110] [Fig. 2](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 2 der vorliegenden Erfindung.
- [0111] [Fig. 3](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 3 der vorliegenden Erfindung.
- [0112] [Fig. 4](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 4 der vorliegenden Erfindung.
- [0113] [Fig. 5](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 5 der vorliegenden Erfindung.
- [0114] [Fig. 6\(a\)](#), [Fig. 6\(b\)](#) und [Fig. 6\(c\)](#) illustrieren Beispiel der Strukturen von Flächen, welche in Beispiel 6 der vorliegenden Erfindung eine Reflektionswirkung aufweisen.
- [0115] [Fig. 7](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 7 der vorliegenden Erfindung.
- [0116] [Fig. 8](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 8 der vorliegenden Erfindung.
- [0117] [Fig. 9](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 9 der vorliegenden Erfindung.
- [0118] [Fig. 10](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 10 der vorliegenden Erfindung.
- [0119] [Fig. 11](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 11 der vorliegenden Erfindung.
- [0120] [Fig. 12](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 12 der vorliegenden Erfindung.
- [0121] [Fig. 13](#) ist eine Schnittansicht eines optischen Systems gemäß Beispiel 13 der vorliegenden Erfindung.
- [0122] [Fig. 14](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 14 der vorliegenden Erfindung.
- [0123] [Fig. 15](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 15 der vorliegenden Erfindung.
- [0124] [Fig. 16](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 16 der vorliegenden Erfindung.
- [0125] [Fig. 17](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 17 der vorliegenden Erfindung.
- [0126] [Fig. 18](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 18 der vorliegenden Erfindung.
- [0127] [Fig. 19](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 19 der vorliegenden Erfindung.
- [0128] [Fig. 20](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 20 der vorliegenden Erfindung.
- [0129] [Fig. 21](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 21 der vorliegenden Erfindung.
- [0130] [Fig. 22](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 22 der vorliegenden Erfindung.
- [0131] [Fig. 23](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 23 der vorliegenden Erfindung.

vorliegenden Erfindung.

[0132] [Fig. 24](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 24 der vorliegenden Erfindung.

[0133] [Fig. 25](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 25 der vorliegenden Erfindung.

[0134] [Fig. 26](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 26 der vorliegenden Erfindung.

[0135] [Fig. 27](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 27 der vorliegenden Erfindung.

[0136] [Fig. 28](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung eines optischen Systems gemäß Beispiel 28 der vorliegenden Erfindung.

[0137] [Fig. 29](#) ist ein Diagramm zur Beschreibung eines Bearbeitungsverfahrens zum Bilden eines optischen Systems gemäß Beispiel 29 der vorliegenden Erfindung.

[0138] [Fig. 30](#) ist ein Diagramm zur Beschreibung eines Herstellungsverfahrens zum Bilden eines optischen Systems gemäß Beispiel 30 der vorliegenden Erfindung.

[0139] [Fig. 31](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 31, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Okularsystem verwendet wird.

[0140] [Fig. 32](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung einer Anordnung, bei der ein weiteres optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei Beispiel 31 verwendet wird.

[0141] [Fig. 33](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 32, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Okularsystem verwendet wird.

[0142] [Fig. 34](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung einer Anordnung, bei der ein weiteres optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei Beispiel 32 verwendet wird.

[0143] [Fig. 35](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 33, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem brennpunktlosen optischen System verwendet wird.

[0144] [Fig. 36](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 34, bei dem ein anderes optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem brennpunktlosen optischen System verwendet wird.

[0145] [Fig. 37](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 35, bei dem noch ein anderes optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem brennpunktlosen optischen System verwendet wird.

[0146] [Fig. 38](#) zeigt schematisch die Anordnung eines Endoskops, welches ein bildführendes optisches Faserbündel und ein Relais-Linsensystem verwendet.

[0147] [Fig. 39](#) zeigt schematisch ein Video-Endoskop.

[0148] [Fig. 40\(a\)](#), [Fig. 40\(b\)](#) und [Fig. 40\(c\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 36, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0149] [Fig. 41\(a\)](#) und [Fig. 41\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 37, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0150] [Fig. 42\(a\)](#) und [Fig. 42\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 38, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endos-

kops verwendet wird.

[0151] [Fig. 43\(a\)](#) und [43\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 39, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0152] [Fig. 44\(a\)](#) und [Fig. 44\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 40, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0153] [Fig. 45\(a\)](#) und [45\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 41, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0154] [Fig. 46\(a\)](#) und [Fig. 46\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 42, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0155] [Fig. 47\(a\)](#) und [Fig. 47\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 43, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0156] [Fig. 48\(a\)](#) und [Fig. 48\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 45, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0157] [Fig. 49\(a\)](#) und [Fig. 49\(b\)](#) illustrieren jeweils eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 46, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen Objektivsystem eines Endoskops verwendet wird.

[0158] [Fig. 50](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 47, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem Kamera-Adapter für ein Endoskop verwendet wird.

[0159] [Fig. 51](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 48, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem Kamera-Adapter für ein Endoskop verwendet wird.

[0160] [Fig. 52](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 49, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem Kamera-Adapter für ein Endoskop verwendet wird.

[0161] [Fig. 53](#) illustriert eine optische Strahlenverfolgung von Beispiel 50, bei dem ein optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem Kamera-Adapter für ein Endoskop verwendet wird.

[0162] [Fig. 54](#) zeigt eine von einem dezentrierten konkaven Spiegel erzeugte Feldkrümmung.

[0163] [Fig. 55](#) zeigt von einem dezentrierten konkaven Spiegel erzeugten axialen Astigmatismus.

[0164] [Fig. 56](#) zeigt von einem dezentrierten konkaven Spiegel erzeugte axiale Koma.

[0165] [Fig. 57](#) ist ein Diagramm zum Beschreiben einer Brennweite bei einem optischen System gemäß der vorliegenden Erfindung.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0166] Im Folgenden werden Beispiele von optischen Systemen gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben, zusammen mit Beispielen von optischen Systemen von verschiedenen optischen Vorrichtungen, welche die optischen Systeme gemäß der vorliegenden Erfindung verwenden.

[0167] Zunächst werden Beispiele 1 bis 5 und Beispiele 7 bis 13 beschrieben, welche Beispiele von charakteristischen optischen Systemen sind, welche einzelne Parameter gemäß der vorliegenden Erfindung betreffen. Die vorliegende Erfindung ist allerdings nicht notwendigerweise auf diese Beispiele begrenzt. Es ist zu be-

achten, dass Beispiel 6 eine Oberfläche betrifft, welche eine Reflektionswirkung aufweist.

[0168] Bei den einzelnen Parametern von Beispielen 1 bis 5 (später beschrieben) ist ein Koordinatensystem wie folgt beschrieben: Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, ist die Mitte einer Blende (Apertur) **1** als der Ursprung eines optischen Systems definiert. Eine optische Achse **2** ist durch einen von der Mitte eines Objekts (nicht in der Figur gezeigt) ausgehenden und durch die Mitte der Apertur **1** verlaufenden Lichtstrahl definiert. Eine Richtung, in die der Lichtstrahl bis zu einer ersten Fläche eines optischen Systems **10** entlang der optischen Achse **2** verläuft, ist als eine Richtung einer Z-Achse definiert. Eine Richtung, die die Z-Achse senkrecht schneidet, und durch den Ursprung in einer Ebene, in der die optische Achse **2** von dem optischen System **10** umgelenkt wird, verläuft, ist als eine Richtung einer Y-Achse definiert. Eine Richtung, die sowohl die Z-, als auch die Y-Achse senkrecht schneidet und durch den Ursprung verläuft, ist als eine Richtung einer X-Achse definiert. Eine Richtung, die von dem Objektpunkt zur ersten Fläche des optischen Systems **10** verläuft, ist als eine positive Richtung der Z-Achse definiert. Die X-, Y- und Z-Achse bilden ein rechtshändiges orthogonales Koordinatensystem. In dem Koordinatensystem ist jede Flächentrennung entlang der Z-Achsenrichtung definiert. Eine durch die Flächentrennung gegebene Position wird der Ursprung eines neuen Koordinatensystems, das die Position der nachfolgenden Fläche definiert. Eine Verschiebung des Scheitelpunkts der Fläche in der Y-Achsenrichtung relativ zu dem neuen Ursprung wird als eine Y-Verschiebung angegeben. Ein Rotationsbetrag der Mittelachse eines Ausdrucks, der die Fläche definiert von der Z-Achsenrichtung wird als ein Neigungswinkel Θ angegeben. Auf ähnliche Art und Weise ist die nachfolgende Fläche bezogen auf das Koordinatensystem definiert, das die vorherige Fläche definiert. Das heisst, gemäß einem nach Dezentrierung jeder Fläche neu definierten Koordinatensystem wird eine Flächentrennung zwischen der Fläche und der nachfolgenden Fläche definiert. Es ist zu beachten, dass bezüglich des Neigungswinkels der Gegenuhrzeigersinn als eine positive Richtung definiert ist.

[0169] Bei den einzelnen Parametern von Beispielen 7 bis 13 (später beschrieben) ist ein Koordinatensystem wie folgt definiert: Wie in [Fig. 7](#) gezeigt, ist die Fläche Nr. **1** [umfassend eine Blende (Apertur) **1**] eines optischen Systems **10** als der Ursprung des optischen Systems definiert. Eine optische Achse **2** ist durch einen Lichtstrahl definiert, der von einer Mitte eines Objekts ausgeht (in der Figur nicht gezeigt), und durch die Mitte der Apertur **1** verläuft. Eine Richtung, in die der Lichtstrahl bis zu einer ersten Fläche eines optischen Systems **10** entlang der optischen Achse **2** verläuft, ist als eine Richtung einer Z-Achse definiert. Eine Richtung, die die Z-Achse senkrecht schneidet, und durch den Ursprung in einer Ebene, in der die optische Achse **2** von dem optischen System **10** umgelenkt wird, verläuft, ist als eine Richtung einer Y-Achse definiert. Eine Richtung, die sowohl die Z-, als auch die Y-Achse senkrecht schneidet und durch den Ursprung verläuft, ist als eine Richtung einer X-Achse definiert. Eine Richtung, die von dem Objektpunkt zur ersten Fläche des optischen Systems verläuft, ist als eine positive Richtung der Z-Achse definiert. Die X-, Y- und Z-Achse bilden ein rechtshändiges orthogonales Koordinatensystem. Betreffend jede Fläche, für die Y- und Z-Verschiebungen und ein Neigungswinkel Θ gezeigt sind, sind die Y- und Z-Verschiebungen jeweils eine Verschiebung der Position des Scheitelpunkts der Fläche bezogen auf die Fläche Nr. **1** [umfassend die Blende (Apertur) **1**] des optischen Systems, welche Ursprung des optischen Systems **10** ist, und der Neigungswinkel Θ ist ein Rotationsbetrag der Mittelachse eines Ausdrucks, der die Fläche definiert, von der Z-Achsenrichtung. Es ist zu beachten, dass bezogen auf den Neigungswinkel der Gegenuhrzeigersinn als eine positive Richtung definiert ist. Betreffend jede Fläche, für die eine Flächentrennung gezeigt ist, ist die Flächentrennung ein axialer Abstand zwischen der Fläche und der nachfolgenden Fläche.

[0170] Dreidimensionale Flächen sind polynomische Flächen, die durch die obige Gleichung (a) ausgedrückt sind. Es ist zu beachten, dass die Z-Achse der Definitionsgleichung (a) die Achse einer dreidimensionalen Fläche ist.

[0171] Der nicht rotationssymmetrische asphärische Aufbau jeder Fläche kann in dem die Fläche definierenden Koordinatensystem wie folgt ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned}
 Z = & [(x^2/R_x) + (Y^2/R_y)]/[1 + \{1 - (1 + K_x)(X^2/R_x^2) - (1 + K_y)(Y^2/R_y^2)\}^{1/2}] \\
 & + AR[(1 - AP)X^2 + (1 + AP)Y^2]^2 \\
 & + BR[(1 - BP)X^2 + (1 + BP)Y^2]^3 \\
 & + CR[(1 - CP)X^2 + (1 + CP)Y^2]^4 \\
 & + DR[(1 - DP)X^2 + (1 + DP)Y^2]^5
 \end{aligned} \tag{b}$$

wobei R_y der achsenparallele Krümmungsradius der Fläche in der YZ-Ebene (der Ebene der Figur) ist; R_x der achsenparallele Krümmungsradius in der XZ-Ebene ist; K_y der konische Koeffizient in der YZ-Ebene ist; AR, BR, CR und DR jeweils die asphärischen Koeffizienten 4., 6., 8. und 10. Ordnung sind, welche bezogen auf

die Z-Achse rotationssymmetrisch sind; und AP, BP, CP und DP jeweils die asphärischen Koeffizienten 4., 6., 8. und 10. Ordnung sind, welche bezogen auf die Z-Achse rotationsasymmetrisch sind.

[0172] Die Koeffizienten, welche in den einzelnen Parametern (später gezeigt) nicht gezeigte asphärische Oberflächen betreffen, sind Null. Der Brechungsindex eines Mediums, welches zwischen den Flächen liegt, wird durch den Brechungsindex für die spektrale d-Linie (Wellenlänge: 587,56 nm) ausgedrückt. Längen sind in Millimetern angegeben.

[0173] Dreidimensionale Flächen können ebenfalls durch Zernike-Polynome definiert sein. Das heisst, der Aufbau einer dreidimensionalen Fläche kann durch die folgende Gleichung (c) definiert sein. Die Z-Achse der Definitionsgleichung (c) ist die Achse des Zernike-Polynoms

$$\begin{aligned}
 x &= R \times \cos(A) \\
 y &= R \times \sin(A) \\
 Z &= D_2 \\
 &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\
 &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\
 &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) + D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\
 &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) + D_{16} R^4 \sin(4A) \\
 &+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) + \\
 &D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\
 &+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) + D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) + D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) + \\
 &D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) + D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots
 \end{aligned} \quad (c)$$

wobei D_m (m ist eine ganze Zahl von 2 oder mehr) Koeffizienten sind.

[0174] Beispiele von anderen Flächen, welche bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden können, umfassen diejenigen, welche von der folgenden Definitionsgleichung angegeben sind:

$$Z = \sum \sum c_{nm} X^m Y^n$$

[0175] Wenn beispielsweise angenommen wird, dass $k = 7$ (Polynom 7. Grads), kann die Gleichung, wenn ausgeschrieben, gegeben sein durch:

$$\begin{aligned}
 Z &= C_2 \\
 &+ C_3 Y + C_4 |X| \\
 &+ C_5 Y^2 + C_6 Y |X| + C_7 X^2 \\
 &+ C_8 Y^3 + C_9 Y^2 |X| + C_{10} Y X^2 + C_{11} |X^3| \\
 &+ C_{12} Y^4 + C_{13} Y^3 |X| + C_{14} Y^2 X^2 + C_{15} Y |X^3| + C_{16} X^4 \\
 &+ C_{17} Y^5 + C_{18} Y^4 |X| + C_{19} Y^3 X^2 + C_{20} Y^2 |X^3| + C_{21} Y X^4 + C_{22} |X^5| \\
 &+ C_{23} Y^6 + C_{24} Y^5 |X| + C_{25} Y^4 X^2 + C_{26} Y^3 |X^3| + C_{27} Y^2 X^4 + C_{28} Y |X^5| + C_{29} X^6 \\
 &+ C_{30} Y^7 + C_{31} Y^6 |X| + C_{32} Y^5 X^2 + C_{33} Y^4 |X^3| + C_{34} Y^3 X^4 + C_{35} Y^2 |X^5| + C_{36} Y X^6 + C_{37} |X^7|
 \end{aligned} \quad (d)$$

Beispiel 1:

[0176] **Fig. 1** ist eine Schnittansicht von Beispiel 1, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Brechungssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dezentrierten torischen Fläche gebildeten ersten Fläche **3** und einer von einer dezentrierten sphärischen Fläche gebildeten zweiten Fläche **4** besteht. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 24° und der vertikale Feldwinkel beträgt $16,7^\circ$. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter. Es ist zu beachten, dass Bezugszeichen **5** eine Bildebene bezeichnet. Dies gilt auch im Folgenden.

Beispiel 2:

[0177] **Fig. 2** ist eine Schnittansicht von Beispiel 2, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Brechungssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer anamorphotischen Fläche gebildeten ersten Fläche **3** und einer von einer dezentrierten sphärischen Fläche gebildeten zweiten Fläche **4** besteht. Einzelne Parame-

ter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 24° und der vertikale Feldwinkel beträgt $16,7^\circ$. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter.

Beispiel 3:

[0178] [Fig. 3](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 3, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Brechungssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dreidimensionalen Fläche gebildeten ersten Fläche **3** und einer von einer dezentrierten sphärischen Fläche gebildeten zweiten Fläche **4** besteht. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 24° und der vertikale Feldwinkel beträgt $16,7^\circ$. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter.

Beispiel 4:

[0179] [Fig. 4](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 4, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Brechungssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Fläche gebildeten ersten Fläche **3** und einer von einer dezentrierten sphärischen Fläche gebildeten zweiten Fläche **4** besteht. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 24° und der vertikale Feldwinkel beträgt $16,7^\circ$. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter.

Beispiel 5:

[0180] [Fig. 5](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 5, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Brechungssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten ersten Fläche **3** besteht. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 24° und der vertikale Feldwinkel beträgt $16,7^\circ$. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter.

Beispiel 6:

[0181] Dieses Beispiel betrifft die Struktur einer Fläche, welche eine Reflektionswirkung aufweist, und welche bei einem Fall angewendet werden kann, wenn eine rotationsasymmetrische Fläche gemäß der vorliegenden Erfindung als eine Reflektionsfläche verwendet wird, insbesondere als ein an der Rückseite beschichteter Spiegel. Wie in [Fig. 6\(a\)](#), [Fig. 6\(b\)](#) und [Fig. 6\(c\)](#) gezeigt, umfassen bei der vorliegenden Erfindung verwendbare Beispiele eine Struktur bei der, wie in [Fig. 6\(a\)](#) gezeigt, ein aus einem transparenten Material, wie beispielsweise einem Glas oder Plastikmaterial, hergestelltes transparentes Element **11** eine Aluminium-Beschichtungslage **12** aufweist, die an der Fläche desselben vorgesehen ist; und eine Struktur, bei der, wie in [Fig. 6\(b\)](#) gezeigt, ein transparentes Element **11** eine an seiner Fläche vorgesehene Silber-Beschichtungslage **13** aufweist; und eine Struktur, bei der, wie in [Fig. 6\(c\)](#) gezeigt, ein transparentes Element **11** eine teilweise an seiner Fläche vorgesehene Aluminium-Beschichtungslage **12** aufweist, um einen halbtransparenten Spiegel zu bilden. Es ist ebenfalls möglich, eine Reflektionsflächenstruktur zu verwenden, welche mit einem optischen Mehrschichtfilm versehen ist, um eine Reflektivität von 100% aufzuweisen, oder um einen halbtransparenten Spiegel zu bilden.

Beispiel 7:

[0182] [Fig. 7](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 7, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Reflektionssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten ersten Fläche **3**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten zweiten Fläche **4** und einer von einer Transmissionsfläche gebildeten dritten Fläche **6** besteht, wobei die erste und die dritte Fläche **3** und **6** zusammenfallen. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 24° und der vertikale Feldwinkel beträgt $16,7^\circ$. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter.

Beispiel 8:

[0183] [Fig. 8](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 8, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Reflektionssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten ersten Fläche **3**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten zweiten Fläche **4** und einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten dritten Fläche **6** besteht. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 24° und der vertikale Feldwinkel beträgt $16,7^\circ$. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter.

Beispiel 9:

[0184] [Fig. 9](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 9, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Reflektionssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten ersten Fläche **3**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten zweiten Fläche **4**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten dritten Fläche **6** und einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten vierten Fläche **7** besteht. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 24° und der vertikale Feldwinkel beträgt $16,7^\circ$. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter.

Beispiel 10:

[0185] [Fig. 10](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 10, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Reflektionssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten ersten Fläche **3**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten zweiten Fläche **4**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten dritten Fläche **6** und einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten vierten Fläche **7** besteht. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 40° und der vertikale Feldwinkel beträgt 30° . Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 2 Millimeter.

Beispiel 11:

[0186] [Fig. 11](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 11, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Reflektionssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten ersten Fläche **3**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten zweiten Fläche **4**, einer dritten Fläche **6**, welche eine Reflektionsfläche ist, die von einer für die erste und dritte Fläche **3** und **6** gemeinsamen Fläche gebildet ist, und einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten vierten Fläche **7** besteht. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 40° und der vertikale Feldwinkel beträgt 30° . Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 10 Millimeter.

Beispiel 12:

[0187] [Fig. 12](#) ist eine Schnittansicht von Beispiel 12, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Reflektionssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten ersten Fläche **3**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten zweiten Fläche **4**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten dritten Fläche **6** und einer vierten Fläche **7** besteht, welche eine Transmissionsfläche ist, die von einer für die zweite und die vierte Fläche **4** und **7** gemeinsamen Fläche gebildet ist. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 40° und der vertikale Feldwinkel beträgt 30° . Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 10 Millimeter.

Beispiel 13:

[0188] **Fig. 13** ist eine Schnittansicht von Beispiel 13, welche in der YZ-Ebene genommen ist, die die optische Achse **2** enthält. Das optische System gemäß diesem Beispiel ist ein dezentriertes optisches Reflektionssystem **10**, welches im Wesentlichen aus einer von einer dreidimensionalen Transmissionsfläche gebildeten ersten Fläche **3**, einer von einer dezentrierten dreidimensionalen Reflektionsfläche gebildeten zweiten Fläche **4**, einer von einer ebenen Reflektionsfläche gebildeten dritten Fläche **6**, einer vierten Fläche **7**, welche eine Reflektionsfläche ist, die von einer für die erste und die vierte Fläche **3** und **7** gemeinsamen Fläche gebildet ist, und einer fünften Fläche **8** besteht, welche eine Transmissionsfläche ist, die von einer für die zweite und die fünfte Fläche **4** und **8** gemeinsamen Fläche gebildet ist. Einzelne Parameter dieses Beispiels werden später gezeigt. In diesem Beispiel sind die Abbildungs-Feldwinkel wie folgt: Der horizontale Feldwinkel beträgt 40° und der vertikale Feldwinkel beträgt 30°. Der Eingangsblendendurchmesser beträgt 10 Millimeter.

[0189] Die einzelnen Parameter der obigen Beispiele 1 bis 5 und 7 bis 13 sind wie folgt:

Beispiel 1

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)
1	∞ (Blende)	5.000		
2	R _y 88.44333	3.000	1.51633	64.15
	R _x 95.45737		Y 0.000	θ -1.99°
3	-17.301	38.032	Y 0.069	θ -1.77°
4	∞ (Bildebene)		Y 3.119	θ 10.00°
CXn	0.01048			
CYn	0.01130			
FXn	184.8040			
FYn	184.8766			
FX	28.3607			
FY	27.8784			
FXn/FX	6.51620			
FYn/FY	6.63154			
FY/FX	0.98299			

Beispiel 2

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)
1	∞ (Blende)	2.273		
2	R _y 96.003	3.000	1.5163	64.15
	R _x 95.457		Y 0.000	θ 0.00°
	K _y 0			
	K _x 0			
	A R -8.9601×10^{-5}			
	A P -4.4886×10^{-1}			
3	-17.143	37.747	Y 0.094	θ -2.42°
4	∞ (Bildebene)		Y 4.240	θ 10.00°
CX _n	0.01048			
CY _n	0.01042			
FX _n	184.8767			
FY _n	185.9339			
FX	28.4495			
FY	28.1215			
FX _n /FX	6.49842			
FY _n /FY	6.61181			
FY/FX	1.01745			

Beispiel 3

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)	
1	∞ (Blende)	5.000			
2 (dreidimensionale Fläche)	(1)	3.000	1.5163	64.15	
			Y	0.000 θ 0.00°	
3	-11.903	37.119	Y	0.000 θ -1.42°	
4	∞ (Bildebene)		Y	1.436 θ 10.00°	
	(dreidimensionale Fläche)	(1)			
C _s	-1.6641×10 ⁻²	C ₇	-1.6675×10 ⁻²	C ₁₀	3.5664×10 ⁻⁴
CX _n	-0.03335				
CY _n	-0.03328				
PX _n	-58.0733				
FY _n	-58.1955				
PX	35.5619				
FY	35.2237				
PX _n /PX	-1.63302				
FY _n /FY	-1.65217				
FY/PX	0.99049				

Beispiel 4

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)	
1	∞ (Blende)	5.000			
2(dreidimensionale Fläche)	(1)	3.000	1.5163	64.15	
			Y 0.000	θ -2.57°	
3	-15.349	36.155	Y 0.089	θ -2.06°	
4	∞ (Bildebene)		Y 3.615	θ 10.00°	
	(dreidimensionale Fläche)	(1)			
C_s	-6.2923×10^{-3}	C_7	-6.1230×10^{-3}	C_{10}	1.0315×10^{-4}
CX_n	-0.01225				
CY_n	-0.01258				
FX_n	-158.10170				
FY_n	-153.95436				
FX	35.67606				
FY	35.81662				
FX_n/FX	-4.43159				
FY_n/FY	-4.29841				
FY/FX	1.00394				

Beispiel 5

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index	Abbe'sche Zahl
-------------------	----------------------	----------------------	---------------------	----------------

(Neigungs-
(Verschiebung) winkel)

1	∞ (Blende)	23.667				
2	(dreidimensionale Fläche) (1)	-33.473	Y	0.000	θ	-20.00°
3	∞ (Bildschirmebene)		Y	12.183	θ	-29.79°
(dreidimensionale Fläche) (1)						
C_5	-6.6312×10^{-3}	C_7	-7.3816×10^{-3}	C_9	1.3051×10^{-4}	
C_{10}	3.5104×10^{-4}	C_{12}	-1.7318×10^{-5}	C_{14}	1.4418×10^{-5}	
C_{16}	1.0842×10^{-5}	C_{17}	-2.2182×10^{-5}	C_{19}	-1.3828×10^{-5}	
C_{21}	-6.8971×10^{-5}					
CX_n	-0.01476					
CY_n	-0.01326					
FX_n	-33.87534					
FY_n	-37.70739					
FX	35.52397					
FY	35.37319					
FX_n/FX	-0.95359					
FY_n/FY	-1.06599					
FY/FX	0.99576					

Beispiel 7

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index	Abbe'sche Zahl (Neigungs- (Verschiebung) winkel)
1	∞ (Blende)			
2	(dreidimensionale Fläche) (1)		1.5163	64.15
		Y	0.000	θ -17.45°
		Z	17.611	
3	(dreidimensionale Fläche) (2)		1.5163	64.15
		Y	-0.529	θ -20.00°

		Z	22.611		
4	(dreidimensionale Fläche) (1)	Y	0.000	θ	-17.45°
		Z	17.611		
5	∞ (Bildebene)	Y	24.425	θ	-47.96°
		Z	-7.952		

(dreidimensionale Fläche) (1)

$$C_s = 1.8423 \times 10^{-2} \quad C_t = 3.2520 \times 10^{-2}$$

(dreidimensionale Fläche) (2)

$$C_s = 2.3788 \times 10^{-3} \quad C_t = 7.6150 \times 10^{-3}$$

(dreidimensionale Fläche) (2)

CXn	0.01523
CYn	0.00476
FXn	21.65092
FYn	69.27385
FX	28.80566
FY	28.36382
FXn/FX	0.75162
FYn/FY	2.44233
FY/FX	0.98466

Beispiel 8

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)
1	∞ (Blende)			
2	(dreidimensionale Fläche) (1)		1.5163	64.15
		Y	0.000	θ -11.28°
		Z	1.758	
3	(dreidimensionale Fläche) (2)		1.5163	64.15

		Y	-1.816	θ	-20.00°
		Z	28.620		
4 (dreidimensionale Fläche) (3)		Y	17.796	θ	-28.72°
		Z	1.758		
5	∞ (Bildebene)	Y	41.948	θ	-49.40°
		Z	-27.025		

(dreidimensionale Fläche) (1)

$$C_s = -2.9815 \times 10^{-2} \quad C_7 = 5.8788 \times 10^{-3} \quad C_{10} = -1.9434 \times 10^{-4}$$

(dreidimensionale Fläche) (2)

$$C_s = -5.6421 \times 10^{-3} \quad C_7 = 3.0794 \times 10^{-3} \quad C_{10} = -6.3954 \times 10^{-5}$$

(dreidimensionale Fläche) (3)

$$C_s = 2.7620 \times 10^{-3} \quad C_7 = 3.3894 \times 10^{-2} \quad C_{10} = 2.5637 \times 10^{-5}$$

(dreidimensionale Fläche) (2)

CX _n	0.00616
CY _n	-0.01128
FX _n	53.52979
FY _n	-29.23258
FX	33.52330
FY	34.95281
FX _n /FX	1.59679
FY _n /FY	-0.83634
FY/FX	1.04264

Beispiel 9

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)
1	∞ (Blende)			
2 (dreidimensionale Fläche) (1)			1.5163	64.15

	Y	0.000	θ	0.00°
	Z	10.000		
3 (dreidimensionale Fläche) (2)		1.5163		64.15
	Y	0.000	θ	-45.00°
	Z	20.000		
4 (dreidimensionale Fläche) (3)		1.5163		64.15
	Y	10.000	θ	45.00°
	Z	20.000		
5 (dreidimensionale Fläche) (4)	Y	10.000	θ	0.00°
	Z	10.000		
6 ∞ (Bildebene)	Y	10.000	θ	-13.68°
	Z	-10.000		

(dreidimensionale Fläche) (1)

C_5	-2.5583×10^{-3}	C_7	-1.1629×10^{-3}	C_9	3.6340×10^{-4}
C_{10}	0	C_{12}	3.2535×10^{-5}	C_{14}	3.1012×10^{-5}
C_{16}	8.2196×10^{-5}				

(dreidimensionale Fläche) (2)

C_5	-2.5807×10^{-3}	C_7	-5.9100×10^{-3}	C_9	-7.4253×10^{-6}
C_{10}	3.3196×10^{-5}	C_{12}	3.2466×10^{-7}	C_{14}	-3.5149×10^{-7}
C_{16}	1.9988×10^{-5}				

(dreidimensionale Fläche) (3)

C_5	-2.9513×10^{-3}	C_7	-4.5073×10^{-3}	C_9	-1.0598×10^{-4}
C_{10}	-1.0663×10^{-5}	C_{12}	-2.8568×10^{-6}	C_{14}	7.7238×10^{-7}
C_{16}	-9.1435×10^{-6}				

(dreidimensionale Fläche) (4)

C_5	-1.9093×10^{-2}	C_7	-1.9783×10^{-2}	C_9	-7.3494×10^{-4}
C_{10}	0	C_{12}	-9.6786×10^{-5}	C_{14}	-5.5417×10^{-5}
C_{16}	-4.5951×10^{-6}				

(dreidimensionale Fläche)

	(1)	(2)	(3)	(4)
CX _n	-0.00233	-0.01182	-0.00901	-0.03957
CY _n	-0.00512	-0.00516	-0.00590	-0.03819
FX _n	-831.2214	27.8970	36.5975	-48.9448
FY _n	-378.2706	63.9037	55.8887	-50.7134
FX	33.59086			
FY	31.39717			
FX _n /FX	-24.7455	0.8305	1.0895	-1.4571
FY _n /FY	-12.0479	2.0353	1.7801	-1.6152
FY/FX	0.9347			

Beispiel 10

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)	
1 (dreidimensionale Fläche)	(1)		1.5163	64.15	
2 (dreidimensionale Fläche)	(2)		1.5163	64.15	
			Y 0.000	θ -22.50°	
			Z 26.000		
3 (dreidimensionale Fläche)	(3)		1.5163	64.15	
			Y 14.000	θ -67.50°	
			Z 12.000		
4 (dreidimensionale Fläche)	(4)	2.000	Y -10.000	θ 90.00°	
			Z 10.000		
5	∞ (Bildebene)				
	(dreidimensionale Fläche)	(1)			
C _s	1.3733×10^{-2}	C _r	1.8225×10^{-2}	C _a	-9.4288×10^{-5}
C ₁₀	-1.3336×10^{-4}				

(dreidimensionale Fläche) (2)

$$C_5 = -7.9366 \times 10^{-4} \quad C_7 = -1.1721 \times 10^{-3} \quad C_8 = -2.5491 \times 10^{-5}$$

$$C_{10} = -5.6154 \times 10^{-5}$$

(dreidimensionale Fläche) (3)

$$C_5 = 2.8039 \times 10^{-3} \quad C_7 = -8.7180 \times 10^{-4} \quad C_8 = -7.6318 \times 10^{-5}$$

$$C_{10} = -1.4966 \times 10^{-4}$$

(dreidimensionale Fläche) (4)

$$C_5 = 8.4385 \times 10^{-3} \quad C_7 = -6.4925 \times 10^{-3} \quad C_8 = -2.7582 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} = 3.1268 \times 10^{-4}$$

(dreidimensionale Fläche)

	(1)	(2)	(3)	(4)
CXn	0.03645	-0.00234	-0.00174	-0.01299
CYn	0.02747	-0.00159	0.00561	0.01688
PXn	53.13432	140.9160	-189.5078	-149.0951
PYn	70.50404	207.3859	58.7778	114.7361
PX	49.19207			
PY	34.94060			
PXn/PX	1.0801	2.8646	-3.8524	-3.03087
PYn/PY	2.0178	5.9354	1.6822	3.28374
PY/PX	0.7102			

Beispiel 11

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)
1	∞ (Blende)			
2 (dreidimensionale Fläche) (1)			1.5163	64.15
			Y -22.988	θ -8.98°
			Z 50.530	
3 (dreidimensionale Fläche) (2)			1.5163	64.15

		Y	-1.449	θ	17.73°
		Z	76.977		
4 (dreidimensionale Fläche) (1)			1.5163		64.15
		Y	-22.988	θ	-8.98°
		Z	50.530		
5 (dreidimensionale Fläche) (3)		Y	-48.948	θ	-78.43°
		Z	67.306		
6	∞ (Bildebene)	Y	-58.973	θ	-45.00°
		Z	77.331		

(dreidimensionale Fläche) (1)

C_5	6.7120×10^{-4}	C_7	-1.1797×10^{-4}	C_8	0
C_{10}	2.1250×10^{-5}				

(dreidimensionale Fläche) (2)

C_5	-2.0716×10^{-3}	C_7	-3.2040×10^{-3}	C_8	0
C_{10}	1.8112×10^{-5}				

(dreidimensionale Fläche) (3)

C_5	1.3932×10^{-3}	C_7	1.2275×10^{-2}	C_8	0
C_{10}	6.8065×10^{-5}				

(dreidimensionale Fläche)

	(1)	(2)	(1)	(3)
CX _n	0.00076	-0.00641	-0.00024	0.02455
CY _n	0.00134	-0.00414	0.00134	0.00279
FX _n	2548.34984	51.44205	1373.93135	-78.8898
FY _n	1445.3327	79.6482	-246.07726	-777.80959
FX	66.22517			
FY	50.40322			
FX _n /FX	38.4801	0.7768	20.7464	-3.03087
FY _n /FY	28.6754	1.5802	1.6822	3.28374
FY/FX	0.7102			

Beispiel 12

Oberfläche Nr	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)
1	∞ (Blende)			
2 (dreidimensionale Fläche) (1)			1.5163	64.15
		Y	0.000	θ 4.56°
		Z	48.036	
3 (dreidimensionale Fläche) (2)			1.5163	64.15
		Y	0.781	θ 54.56°
		Z	76.770	
4 (dreidimensionale Fläche) (3)			1.5163	64.15
		Y	-28.138	θ 83.15°
		Z	85.930	
5 (dreidimensionale Fläche) (2)			0.781	θ 54.56°
		Z	76.770	
6	∞ (Bildebene)		Y 14.258	θ 50.00°
		Z	111.028	
		(dreidimensionale Fläche) (1)		
C_s	6.1734×10^{-3}	C_7	9.9567×10^{-3}	C_8 2.2653×10^{-5}
C_{10}	5.7752×10^{-5}			
		(dreidimensionale Fläche) (2)		
C_s	9.6423×10^{-4}	C_7	3.0939×10^{-3}	C_8 4.2479×10^{-6}
C_{10}	1.8481×10^{-5}			
		(dreidimensionale Fläche) (3)		
C_s	3.8994×10^{-3}	C_7	4.1772×10^{-3}	C_8 -4.2157×10^{-6}
C_{10}	1.7324×10^{-6}			
		(dreidimensionale Fläche)		

	(1)	(2)	(3)	(2)
CX _n	0.01991	0.00619	0.00835	0.00534
CY _n	0.01235	0.00193	0.00780	0.00134
FX _n	97.2750	-53.2704	39.4902	-362.6865
FY _n	156.8215	-170.8516	42.2748	-1445.3327
FX	55.61735			
FY	45.53734			
FX _n /FX	1.7490	-0.9578	0.7100	-6.52110
FY _n /FY	3.4438	-3.7519	0.9284	-31.7395
FY/FX	0.81876			

Beispiel 13

Oberfläche Nr.	Krümmungs- radius	Flächen- trennung	Brechungs- index (Verschiebung)	Abbe'sche Zahl (Neigungs- winkel)
1	∞ (Blende)			
2 (dreidimensionale Fläche)	(1)		1.5254	56.25
			Y 0.000	θ 0.00°
			Z 4.230	
3 (dreidimensionale Fläche)	(2)		1.5254	56.25
			Y 0.000	θ -53.34°
			Z 14.245	
4	∞		1.5254	56.25
			Y 47.807	θ 57.45°
			Z 28.564	
5 (dreidimensionale Fläche)	(1)		1.5254	56.25
			Y 0.000	θ 0.00°
			Z 4.230	
6 (dreidimensionale Fläche)	(2)		Y 0.000	θ -53.34°
			Z 14.245	

7 ∞ (Bildbene) Y 0.000 θ -19.11°
Z 26.296

(dreidimensionale Fläche) (1)

C_5 1.0924×10^{-3} C_7 7.2551×10^{-3} C_8 -1.1681×10^{-5}
 C_{10} 1.0202×10^{-5} C_{12} 1.0606×10^{-5} C_{14} -8.1164×10^{-7}
 C_{16} -5.8312×10^{-7} C_{17} -9.2779×10^{-9} C_{19} 1.0029×10^{-8}
 C_{21} 2.5790×10^{-8}

(dreidimensionale Fläche) (2)

C_5 -6.7102×10^{-4} C_7 3.6136×10^{-4} C_8 -1.3035×10^{-5}
 C_{10} -5.9967×10^{-5} C_{12} 2.8639×10^{-7} C_{14} 1.1362×10^{-6}
 C_{16} 1.4776×10^{-7} C_{17} 3.7664×10^{-9} C_{19} -3.4413×10^{-8}
 C_{21} -2.3892×10^{-7}

(dreidimensionale Fläche)

	(1)	(2)	(1)	(2)
CXn	0.01451	0.00070	0.01421	0.00075
CYn	0.00218	-0.00134	0.00586	-0.00171
FXn	133.4766	-471.0622	23.2050	-2582.3278
FYn	888.4155	246.0773	56.2702	1132.5999
FX	34.36426			
FY	31.49606			
FXn/FX	3.8842	13.7079	0.6753	75.1457
FYn/FY	28.2072	7.8130	1.7866	35.9601
FY/FX	0.9165			

[0190] Es folgt eine Beschreibung von Beispielen, welche die Anordnung von Flächen eines dezentrierten optischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung betreffen, welches wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche aufweist, die wenigstens eine der oben beschriebenen Bedingungen (1-1) bis (3-3) erfüllt. In der folgenden Beschreibung sind die Objektebene und die Bildebene aufeinander bezogen; es ist ersichtlich, dass die Objektebene und die Bildebene ausgetauscht werden können, um den optischen Weg umkehrbar zu nutzen.

Beispiel 14:

[0191] Wie in [Fig. 14](#) gezeigt, umfasst ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel, in der Reihenfolge, in der Lichtstrahlen von einem Objekt auftreten, eine erste Transmissionsfläche T1, eine erste Reflektionsfläche R1, eine zweite Reflektionsfläche R2, eine dritte Reflektionsfläche R3, eine vierte Reflektionsfläche R4 und eine zweite Transmissionsfläche T2. Die Lichtstrahlen treten durch die erste Transmissionsfläche T1 in das optische System ein und werden nacheinander von der ersten Reflektionsfläche R1, der zweiten Reflektionsfläche R2, der dritten Reflektionsfläche R3 und der vierten Reflektionsfläche R4 reflektiert. Die

reflektierten Lichtstrahlen treten durch die zweite Transmissionsfläche T2 aus dem optischen System in einer Richtung aus, die sich von einer Richtung unterscheidet, aus der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche T1 auftreffen, um die Bildebene zu erreichen. Die Bildebene kann durch die Objektebene ersetzt werden, um den optischen Weg umkehrbar zu nutzen.

Beispiel 15:

[0192] Wie in [Fig. 15](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Transmissionsfläche T1 und die zweite Reflektionsfläche R2 die identische Fläche sind.

Beispiel 16:

[0193] Wie in [Fig. 16](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die zweite Transmissionsfläche T2 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 17:

[0194] Wie in [Fig. 17](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Reflektionsfläche R1 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 18:

[0195] Wie in [Fig. 18](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die zweite Reflektionsfläche R2 und die vierte Reflektionsfläche R4 die identische Fläche sind.

Beispiel 19:

[0196] Wie in [Fig. 19](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Transmissionsfläche T1, die zweite Reflektionsfläche R2 und die vierte Reflektionsfläche R4 die identische Fläche sind.

Beispiel 20:

[0197] Wie in [Fig. 20](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Transmissionsfläche T1 und die zweite Reflektionsfläche R2 die identische Fläche sind, und die erste Reflektionsfläche R1 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 21:

[0198] Wie in [Fig. 21](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Transmissionsfläche T1 und die zweite Reflektionsfläche R2 die identische Fläche sind, und die zweite Transmissionsfläche T2 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 22:

[0199] Wie in [Fig. 22](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Reflektionsfläche R1 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind, und die zweite Reflektionsfläche R2 und die vierte Reflektionsfläche R4 die identische Fläche sind.

Beispiel 23:

[0200] Wie in [Fig. 23](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die zweite Reflektionsfläche R2 und die vierte Reflektionsfläche R4 die iden-

tische Fläche sind, und die zweite Transmissionsfläche T2 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 24:

[0201] Wie in [Fig. 24](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Transmissionsfläche T1 und die zweite Reflektionsfläche R2 die identische Fläche sind, und die zweite Transmissionsfläche T2 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 25:

[0202] Wie in [Fig. 25](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Transmissionsfläche T1, die zweite Reflektionsfläche R2 und die vierte Reflektionsfläche R4 die identische Fläche sind, und die erste Reflektionsfläche R1 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 26:

[0203] Wie in [Fig. 26](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Transmissionsfläche T1 und die zweite Reflektionsfläche R2 die identische Fläche sind, und die zweite Transmissionsfläche T2, die erste Reflektionsfläche R1 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 27:

[0204] Wie in [Fig. 27](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die zweite Reflektionsfläche R2 und die vierte Reflektionsfläche R4 die identische Fläche sind, und die zweite Transmissionsfläche T2, die erste Reflektionsfläche R1 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 28:

[0205] Wie in [Fig. 28](#) gezeigt, ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel gleich dem in [Fig. 14](#) gezeigten, außer dass die erste Transmissionsfläche T1, die zweite Reflektionsfläche R2 und die vierte Reflektionsfläche R4 die identische Fläche sind, und die zweite Transmissionsfläche T2, die erste Reflektionsfläche R1 und die dritte Reflektionsfläche R3 die identische Fläche sind.

Beispiel 29:

[0206] Dieses Beispiel betrifft ein Bearbeitungsverfahren, das bei einem Fall verwendbar ist, wenn ein dezentriertes optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung im Wesentlichen aus einer rotationsasymmetrischen Fläche und einer rotationssymmetrischen Fläche besteht. Wie in [Fig. 29](#) gezeigt, umfasst ein dezentriertes optisches System **10** gemäß diesem Beispiel, in der Reihenfolge, in der auftreffende Lichtstrahlen von einem Objekt verlaufen, eine erste Transmissionsfläche T1, eine erste Reflektionsfläche R1, eine zweite Reflektionsfläche R2 und eine zweite Transmissionsfläche T2. Die Lichtstrahlen treten durch die erste Transmissionsfläche T1 in das optische System ein und werden nacheinander von der ersten Reflektionsfläche R1 und der zweiten Reflektionsfläche R2 reflektiert. Die reflektierten Lichtstrahlen treten durch die zweite Transmissionsfläche T2 aus dem optischen System aus, in einer Richtung, die sich von der Richtung unterscheidet, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche T1 auftreffen, um eine Bildebene zu erreichen. Die zweite Transmissionsfläche T2 und die erste Reflektionsfläche R1 sind die identische Fläche. Falls die erste Transmissionsfläche T1 eine rotationssymmetrische Fläche ist, und die erste Reflektionsfläche R1 und die zweite Reflektionsfläche R2 rotationsasymmetrische Flächen sind, werden zuerst die rotationsasymmetrischen Flächen R1 und R2 bearbeitet, und danach wird die rotationssymmetrische Fläche T1 bearbeitet. Eine derartige Bearbeitungssequenz erleichtert das Positionieren jeder Fläche und die Herstellungsgenauigkeit wird verbessert.

Beispiel 30:

[0207] Dieses Beispiel betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines dezentrierten optischen Systems gemäß

der vorliegenden Erfindung derart, dass das dezentrierte optische System in Abschnitte unterteilt ist, welche eine rotationsasymmetrische Fläche und einige andere Abschnitte umfassen, und dass jeder Abschnitt zunächst bearbeitet wird, und danach die bearbeiteten Abschnitte zusammen gekittet werden, um ein dezentriertes optisches System zu bilden. Wie in [Fig. 30](#) gezeigt, umfasst das dezentrierte optische System **10** eine erste Transmissionsfläche T1, eine erste Reflektionsfläche R1, eine zweite Reflektionsfläche R2 und eine zweite Transmissionsfläche T2, wie im Fall von [Fig. 10](#). Die Lichtstrahlen treten durch die erste Transmissionsfläche T1 in das optische System ein und werden nacheinander von der ersten Reflektionsfläche R1 und der zweiten Reflektionsfläche R2 reflektiert. Die reflektierten Lichtstrahlen treten durch die zweite Transmissionsfläche T2 aus dem optischen System aus, in einer Richtung, die sich von der Richtung unterscheidet, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche T1 auftreffen, um eine Bildebene zu erreichen. Falls die erste Transmissionsfläche T1 eine rotationssymmetrische Fläche ist, während die erste Reflektionsfläche R1 und die zweite Reflektionsfläche rotationsasymmetrische Flächen sind, und die zweite Transmissionsfläche T2 eine rotationssymmetrische Fläche ist, ist das optische System in einen ersten Abschnitt **14**, welcher die erste Reflektionsfläche R1 umfasst, einen zweiten Abschnitt **15**, welcher die zweite Reflektionsfläche R2 umfasst, und einen dritten Abschnitt **16**, welcher sowohl die erste Transmissionsfläche T1 als auch die zweite Transmissionsfläche T2 umfasst, aufgeteilt. Nachdem Flächen jedes Abschnitts bearbeitet worden sind, werden die drei Abschnitte **14**, **15** und **16** zusammen gekittet, um das dezentrierte optische System **10** herzustellen. Bei einem derartigen Herstellungsverfahren werden rotationsasymmetrische Flächen durch Bearbeiten ebener, dünner Elemente gebildet. Demgemäß ist es möglich, eine Verschlechterung der Bearbeitungsgenauigkeit aufgrund von Verformungen von Komponenten oder dergleichen während der Bearbeitung zu vermeiden. Es ist zu beachten, dass, falls eine rotationsasymmetrische Fläche durch Spritzgießen hergestellt wird, die optische Komponente vorzugsweise so dünn wie möglich ist. Je dünner die optische Komponente, desto mehr kann die Verformung des Harzes nach dem Spritzgießen verringert werden.

Beispiel 31:

[0208] Wie in [Fig. 31](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel ein optisches Okularsystem, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, umfassend eine Reflektionsfläche M, wobei die Reflektionsfläche M von einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet ist, um eine Brechkraft aufzuweisen. Dadurch ist es möglich, bei dem optischen Okularsystem eine Transmissionslinse wegzulassen. Ferner ermöglicht der gefaltete optische Weg, dass das optische Okularsystem mit einer kompakten Form aufgebaut werden kann. Es ist zu beachten, dass ein Inversionsprisma bei einem optischen Okularsystem ebenfalls auf die gleiche Art wie oben mit Brechkraft versehen werden kann.

[0209] Ähnlich kann, wie in [Fig. 32](#) gezeigt, im Falle eines optischen Okularsystems, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, der zwei Reflektionsflächen M1 und M2 umfasst, wenigstens eine Reflektionsfläche M1 von einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet sein, um eine Brechkraft aufzuweisen.

Beispiel 32:

[0210] Wie in [Fig. 33](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel ein abbildendes optisches System, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, umfassend eine Reflektionsfläche M3, wobei die Reflektionsfläche M3 von einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet ist, um eine Brechkraft aufzuweisen. Dadurch ist es möglich, bei dem abbildenden optischen System eine Transmissionslinse wegzulassen. Ferner ermöglicht der gefaltete optische Weg, dass das abbildende optische System mit einer kompakten Form aufgebaut werden kann. Es ist zu beachten, dass ein Inversionsprisma bei einem abbildenden optischen System ebenfalls auf die gleiche Art wie oben mit Brechkraft versehen werden kann.

[0211] Ähnlich kann, wie in [Fig. 34](#) gezeigt, im Falle eines abbildenden optischen Systems, welches einen gefalteten optischen Weg aufweist, der zwei Reflektionsflächen M4 und M5 umfasst, wenigstens eine Reflektionsfläche M4 von einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet sein, um eine Brechkraft aufzuweisen.

Beispiel 33:

[0212] In diesem Beispiel wird, wie in [Fig. 35](#) gezeigt, ein abbildendes optisches System, wie das in [Fig. 34](#) gezeigte, als ein optisches Objektivsystem verwendet, und dies ist mit einem optischen Okularsystem **17** kombiniert, welches im Wesentlichen aus einer gewöhnlichen Transmissionslinse besteht, um ein brennpunktloses optisches System für ein Teleskop, einen Echtbild-Sucher, usw. zu bilden. Wenn ein optisches Objektivsystem dadurch gebildet ist, dass einem optischen Prismensystem eine Brechkraft zugeordnet ist, um beispielsweise ein invertiertes Bild zu erhalten, ist es möglich, ein kompaktes optisches System zu konstruieren. Wenn eine

Objektivlinse eines Echtbild-Suchers für eine Kamera aus einem optischen System aufgebaut ist, bei dem eine rotationsasymmetrische Fläche bei einem Inversionsprisma verwendet wird, ist es möglich, einen kompakten Kamerasucher zu erhalten, welcher eine einfache Struktur aufweist. Es ist zu beachten, dass, wie in [Fig. 35](#) gezeigt, ein aufrechtes Bild durch eine gerade Anzahl von Reflektionen erhalten werden kann.

Beispiel 34:

[0213] In diesem Beispiel wird, wie in [Fig. 36](#) gezeigt, ein optisches Okularsystem, wie das in [Fig. 32](#) gezeigt, mit einem abbildenden optischen System **18** kombiniert, welches im Wesentlichen aus einer gewöhnlichen Transmissionslinse besteht, welche als ein optisches Objektivsystem verwendet wird, um ein brennpunktloses optisches System für ein Teleskop, einen Echtbild-Sucher, usw. zu bilden. Daher wird es möglich, insbesondere die Größe eines brennpunktlosen optischen Systems mit kurzer Brennweite zu verringern, um dadurch ein kompaktes optisches System zu erhalten. Der Effekt der Größenverringern ist besonders ausgeprägt bei einem optischen Okularsystem, welches eine Brennweite von 100 mm oder weniger aufweist. Es ist zu beachten, dass mit einer geraden Anzahl von Reflektionen ein aufrechtes Bild erhalten werden kann, wie in [Fig. 36](#) gezeigt.

Beispiel 35:

[0214] In diesem Beispiel wird, wie in [Fig. 37](#) gezeigt, ein abbildendes optisches System, wie beispielsweise das in [Fig. 34](#) gezeigte, als ein optisches Objektivsystem verwendet, und dies wird mit einem optischen Okularsystem, wie beispielsweise das in [Fig. 32](#) gezeigte, kombiniert, um ein brennpunktloses System für ein Teleskop, einen Echtbild-Sucher, usw. zu bilden. Die Kombination ermöglicht es, eine noch weitergehende Größenverringern des brennpunktlosen optischen Systems zu erreichen. Es ist zu beachten, dass es, wenn eine rotationsasymmetrische Fläche bei einem Inversionsprisma verwendet wird, und daher dem optischen Prismensystem eine Brechkraft zugeordnet wird, möglich ist, die Struktur einer Objektivlinse oder einer Okularlinse zu vereinfachen, oder diese wegzulassen. In diesem Fall kann das brennpunktlose optische System weiterhin angeordnet sein, um durch eine gerade Anzahl an Reflektionen ein aufrechtes Bild zu erhalten.

[0215] Es folgt eine Beschreibung von Beispielen von optischen Systemen für verschiedene optische Vorrichtungen, welche dezentrierte optische Systeme verwendet, die wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche aufweisen, welche wenigstens eine der Bedingungen (1-1) bis (3-3) gemäß der vorliegenden Erfindung erfüllt.

Beispiel 36:

[0216] Es folgt eine Beschreibung von Beispielen, bei denen ein dezentriertes optisches System gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem Endoskop angewendet wird. In der folgenden Beschreibung bedeutet der Ausdruck "Endoskop" ein Endoskop **64**, welches ein Abbildungs-übertragendes optisches Faserbündel und ein Weiterleitungs-Linsensystem, wie in [Fig. 38](#) gezeigt, verwendet, und ein Video-Endoskop **71**, wie das in [Fig. 39](#) gezeigte, falls es nicht anders angegeben ist. Das in [Fig. 38](#) gezeigte Endoskop **64** weist auf: einen Einführungsteil **65**, welcher ein abbildendes optisches System und ein optisches Beleuchtungssystem (nicht gezeigt) enthält, eine Kamera **66**, einen Bildschirm **67** und eine Lichtquelleneinheit **68**. Das abbildende optische System ist, zusammen mit einer Lichtführung zum Leiten von Licht in Richtung des Gesichtsfeldes des abbildenden optischen Systems, in einen distalen Endabschnitt **69** des Einführungsteils **65** eingebaut. In dem Einführungsteil **65** ist ein Weiterleitungs-Linsensystem, welches ein Abbildungs-und-Blenden-Übertragungs-Linsensystem ist, nachfolgend zu dem abbildenden optischen System vorgesehen. Ein optisches Okularsystem (nicht gezeigt) ist in dem proximalen Abschnitt des Endoskops **64** angeordnet. Die Kamera **66**, welche als eine Abbildungsvorrichtung dient, kann an dem proximalen Endabschnitt des Endoskops **64** an einer Position nachfolgend zu dem optischen Okularsystem angebracht werden. Beleuchtungslicht von der Lichtquelleneinheit **68** wird durch ein Lichtleitungskabel **70** zugeführt und verläuft durch den proximalen Abschnitt, das Einführungsteil **65** und den distalen Endabschnitt **69**, um einen Bereich in Richtung des Gesichtsfeldes zu beleuchten.

[0217] Das in [Fig. 39](#) gezeigte Video-Endoskop enthält ein abbildendes optisches System und ein optisches Beleuchtungssystem. Dem Video-Endoskop **71** sind eine Lichtquelleneinheit **72** zur Zufuhr von Beleuchtungslicht, ein Videoprozessor **73** zum Durchführen einer Verarbeitung von dem Video-Endoskop **71** zugeordneten Signalen, ein Bildschirm **74** zum Anzeigen von von dem Videoprozessor **73** ausgegebenen Videosignalen, ein Videorekorder **75** und eine Video-Disk **76**, welche mit dem Videoprozessor **73** verbunden sind, um Videosignale und dergleichen aufzuzeichnen, und ein Videodrucker **77** zugeordnet, um Videosignale in Form von Bildern auszudrucken. Das Video-Endoskop **71** weist einen Einführungsteil **78** mit einem distalen Endabschnitt

79 auf. Ein abbildendes optisches System, eine Abbildungsvorrichtung und eine Lichtführung zum Leiten von Licht in Richtung des Gesichtsfeldes sind in den distalen Endabschnitt **79** eingebaut.

[0218] [Fig. 40\(a\)](#), [Fig. 40\(b\)](#) und [Fig. 40\(c\)](#) zeigen einige Beispiele, bei denen ein dezentriertes optisches System **10**, welches eine rotationsasymmetrische Fläche gemäß der vorliegenden Erfindung aufweist, bei den optischen Objektivsystemen, die in den distalen Endabschnitten dieser Endoskope vorgesehen sind, verwendet werden. [Fig. 40\(a\)](#) zeigt den distalen Endabschnitt eines seitlich beobachtenden Video-Endoskops. Ein dezentriertes optisches System **10** gemäß der vorliegenden Erfindung ist hinter einer Linse **80** angeordnet, welche auch als ein Schutzglas wirkt. Das dezentrierte optische System **10** umfasst eine erste Transmissionsfläche T1, eine erste Reflektionsfläche R1, eine zweite Reflektionsfläche R2 und eine zweite Transmissionsfläche T2, wobei wenigstens eine der vier Flächen von einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet ist. Die optische Achse wird durch das dezentrierte optische System **10** um annähernd 90° abgelenkt, und eine zweidimensionale Abbildungsvorrichtung **81** ist an der Bildebene des dezentrierten optischen Systems **10** angeordnet. Es ist selbstverständlich möglich, eine Endfläche eines optischen Faserbündels statt der zweidimensionalen Abbildungsvorrichtung **81** anzuordnen, um dadurch ein Endoskop zu konstruieren, wie das in [Fig. 38](#) gezeigte.

[0219] [Fig. 40\(b\)](#) zeigt den distalen Endabschnitt eines Endoskops, das ein optisches Faserbündel **82** zum Leiten eines Endoskopbilds verwendet. Dieses Endoskop ist angeordnet, um Beobachtung eines Objekts in einer Richtung diagonal nach vorne zu ermöglichen. Ein dezentriertes optisches System **10** gemäß der vorliegenden Erfindung ist hinter einer Linse **80** angeordnet, welche auch als ein Schutzglas dient. Das dezentrierte optische System **10** umfasst eine erste Transmissionsfläche T1, eine erste Reflektionsfläche R1, eine zweite Reflektionsfläche R2 und eine zweite Transmissionsfläche T2, wobei die erste Transmissionsfläche T1 und die zweite Reflektionsfläche R2 die identische Fläche sind, und wenigstens eine der vier Flächen von einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet ist. Die optische Achse wird durch das dezentrierte optische System **10** um mehrere zehn Grad abgelenkt, und eine Endfläche eines optischen Faserbündels **82** ist an der Bildebene des dezentrierten optischen Systems **10** vorgesehen.

[0220] [Fig. 40\(c\)](#) zeigt den distalen Endabschnitt eines Direktansicht-Video-Endoskops, in dem ein dezentriertes optisches System **10** gemäß der vorliegenden Erfindung, wie beispielsweise das in [Fig. 12](#) gezeigte, angeordnet ist. Das dezentrierte optische System **10** umfasst eine erste Transmissionsfläche T1, eine erste Reflektionsfläche R1, eine zweite Reflektionsfläche R2 und eine zweite Transmissionsfläche T2, wobei wenigstens eine der vier Flächen von einer rotationsasymmetrischen Fläche gebildet ist. Eine zweidimensionale Abbildungsvorrichtung **81** ist an einer Bildebene angeordnet, welche bezogen auf die optische Achse geneigt ist.

Beispiel 37:

[0221] Wie in [Fig. 41\(a\)](#) und [Fig. 41\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen, die ähnlich den in [Fig. 40\(a\)](#) und [Fig. 40\(b\)](#) gezeigten sind, wobei eine transparente Schutzplatte **83** an einer Eingangsseite des dezentrierten optischen Systems statt der Linse **80** angeordnet ist, welche auch als ein Schutzglas dient. [Es ist allerdings zu beachten, dass in [Fig. 41\(b\)](#) eine zweidimensionale Abbildungsvorrichtung **81** an der Bildebene des dezentrierten optischen Systems **10** angeordnet ist.]

Beispiel 38:

[0222] Wie in [Fig. 42\(a\)](#) und [Fig. 42\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen, die ähnlich den in [Fig. 40\(a\)](#) und [Fig. 40\(b\)](#) gezeigten sind, wobei die erste Transmissionsfläche T1 an der Eingangsseite des dezentrierten optischen Systems **10** eine ebene Fläche ist, und die Linse **80**, welche auch als ein Schutzglas dient, weggelassen ist. [In [Fig. 42\(a\)](#) und [Fig. 42\(b\)](#) sind eine zweidimensionale Abbildungsvorrichtung **81** oder ein optisches Faserbündel **82**, die an der Bildebene angeordnet sind, nicht gezeigt.]

Beispiel 39:

[0223] Wie in [Fig. 43\(a\)](#) und [Fig. 43\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen, die ähnlich den in [Fig. 41\(a\)](#) und [Fig. 41\(b\)](#) gezeigten sind, wobei die zweite Transmissionsfläche T2 an der Ausgangsseite des dezentrierten optischen Systems **10** eine ebene Fläche ist.

Beispiel 40:

[0224] Wie in [Fig. 44\(a\)](#) und [Fig. 44\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen, die ähnlich den in [Fig. 43\(a\)](#) und [43\(b\)](#) gezeigten sind, wobei die Bildebene des dezentrierten optischen Systems **10** mit der ebenen Fläche T2 an der Ausgangsseite des dezentrierten optischen Systems **10** zusammenfällt und eine zweidimensionale Abbildungsvorrichtung **81** in enger Berührung mit der Fläche T2 angeordnet ist.

Beispiel 41:

[0225] Wie in [Fig. 45\(a\)](#) und [45\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen, die ähnlich den in [Fig. 43\(a\)](#) und [43\(b\)](#) gezeigten sind, wobei die zweite Transmissionsfläche T2 an der Ausgangsseite des dezentrierten optischen Systems **10** eine ebene Fläche ist. Die Anordnungen unterscheiden sich von den in [Fig. 43\(a\)](#) und [43\(b\)](#) gezeigten darin, dass ein Ende eines optischen Faserbündels **82** an der Bildebene des dezentrierten optischen Systems anstelle der zweidimensionalen Abbildungsvorrichtung **81** angeordnet ist.

Beispiel 42:

[0226] Wie in [Fig. 46\(a\)](#) und [Fig. 46\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen, die ähnlich den in [Fig. 44\(a\)](#) und [Fig. 44\(b\)](#) gezeigten sind, wobei die Bildebene des dezentrierten optischen Systems **10** mit der ebenen Fläche T2 an der Ausgangsseite des dezentrierten optischen Systems **10** zusammenfällt. Bei diesem Beispiel ist ein Ende eines optischen Faserbündels **82** anstelle der zweidimensionalen Abbildungsvorrichtung **81** angeordnet.

Beispiel 43:

[0227] Wie in [Fig. 47\(a\)](#) und [Fig. 47\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen, die ähnlich den in [Fig. 42\(a\)](#) und [Fig. 42\(b\)](#) gezeigten sind, wobei die erste Transmissionsfläche T1 an der Eingangsseite des dezentrierten optischen Systems **10** eine ebene Fläche ist, und die Linse **80**, welche auch als ein Schutzglas dient, weggelassen ist. Bei diesem Beispiel ist ein Ende eines optischen Faserbündels **82** an der Bildebene des dezentrierten optischen Systems **10** angeordnet.

Beispiel 44:

[0228] Bei diesem Beispiel wird ein kristallines Material, z. B. Saphir, als die Schutzplatte **83** verwendet, die bei den in [Fig. 43\(a\)](#), [43\(b\)](#) usw. gezeigten Anordnungen an der Eingangsseite des dezentrierten optischen Systems **10** angeordnet ist,

Beispiel 45:

[0229] Wie in [Fig. 48\(a\)](#) und [Fig. 48\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen ähnlich den in [Fig. 41\(a\)](#) und [Fig. 41\(b\)](#) gezeigten, wobei die erste Fläche des optischen Endoskop-Objektivsystems (in diesem Fall, die vordere Fläche der transparenten Schutzplatte **83**) nach innen von dem Gehäuse des distalen Endes des Endoskops zurückgesetzt ist. Auch bei anderen Beispielen kann die erste Fläche des optischen Endoskop-Objektivsystems ähnlich nach innen von dem Gehäuse des distalen Endes des Endoskops zurückgesetzt sein.

Beispiel 46:

[0230] Wie in [Fig. 49\(a\)](#) und [Fig. 49\(b\)](#) gezeigt, betrifft dieses Beispiel Anordnungen ähnlich den in [Fig. 41\(a\)](#) und [Fig. 41\(b\)](#) gezeigten, wobei die erste Fläche des optischen Endoskop-Objektivsystems (in diesem Fall, die vordere Fläche der transparenten Schutzplatte **83**) nach außen von dem Gehäuse des distalen Endes des Endoskops hervorsteht. Auch bei anderen Beispielen kann die erste Fläche des optischen Endoskop-Objektivsystems ähnlich nach außen von dem Gehäuse des distalen Endes des Endoskops hervorsteht.

Beispiel 47:

[0231] Bei diesem Beispiel wird ein dezentriertes optisches System **10** gemäß der vorliegenden Erfindung bei einem optischen System eines Kamera-Adapters für ein Endoskop verwendet, welcher an einem Okularlinsenteil eines Endoskops angebracht ist, z. B. eines Soft-Endoskops, welches eine Okularlinse aufweist, um ein Endoskopbild auf eine Abbildungsvorrichtung zu projizieren. Wie in [Fig. 50](#) gezeigt, weist ein Endoskop ein optisches Beobachtungssystem **91** auf, und ein Kamera-Adapter **92** ist an der Beobachtungsseite des optischen

Beobachtungssystems **91** angebracht. Bei dem Kamera-Adapter **92** ist ein dezentriertes optisches System **10** gemäß der vorliegenden Erfindung angeordnet, welches in Form eines Penta-Prismas, umfassend wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche mit einer Brechkraft, angeordnet ist, und eine zweidimensionale Abbildungsvorrichtung **93** ist an der Bildebene des dezentrierten optischen Systems **10** angeordnet.

Beispiel 48:

[0232] Bei diesem Beispiel ist, wie in [Fig. 51](#) gezeigt, eine planparallele Platte **94**, welche als ein Schutzglas dient, an der Eingangsseite eines dezentrierten optischen Systems **10** bei einem Endoskop-Kamera-Adapter **92** vorgesehen, der wie in [Fig. 50](#) gezeigt angeordnet ist.

Beispiel 49:

[0233] Bei diesem Beispiel ist, wie in [Fig. 52](#) gezeigt, ein Endoskop-Kamera-Adapter **92**, der wie in [Fig. 50](#) gezeigt angeordnet ist, mit einem Mechanismus zum Einstellen des Abstands zwischen einem abbildenden dezentrierten optischen System **10** und einer zweidimensionalen Abbildungsvorrichtung **93** versehen, wodurch eine Fokus-Einstellung ermöglicht wird.

Beispiel 50:

[0234] In diesem Beispiel ist, wie in [Fig. 53](#) gezeigt, ein wie in [Fig. 50](#) gezeigt angeordneter Endoskop-Kamera-Adapter **92** derart abgeändert, dass die erste Reflektionsfläche eines Penta-Prismas, welches das dezentrierte optische System bildet, als eine den optischen Weg aufteilende Fläche **95** gebildet ist, d. h. ein Halbspiegel, wodurch es ermöglicht wird, dass ein Endoskopbild gleichzeitig mit dem Abbilden durch die zweidimensionale Abbildungsvorrichtung **93** direkt beobachtet wird. Bei diesem Beispiel sind eine optische Achse und ein Brechkraft-Korrekturelement **96** auf die den optischen Weg aufteilende Fläche **95** gesetzt, wodurch die Beobachtungsrichtung ungefähr parallel zur optischen Achse von Lichtstrahlen wird, welche von dem optischen Beobachtungssystem **91** in den Kamera-Adapter **92** eintreten.

[0235] Voranstehend wurden grundlegende Beispiele von dezentrierten optischen Systemen gemäß der vorliegenden Erfindung gegeben, Beispiele, welche die Anordnung von Flächen betreffen, und Beispiele der Anwendung der dezentrierten optischen Systeme bei verschiedenen optischen Elementen und optischen Vorrichtungen. Es ist allerdings zu beachten, dass die vorliegende Erfindung nicht notwendigerweise auf diese Beispiele begrenzt ist, und dass verschiedene Modifikationen daran vorgenommen werden können.

[0236] Die oben beschriebenen optischen Systeme gemäß der vorliegenden Erfindung können beispielsweise wie folgt angeordnet sein:

- [1] Ein dezentriertes optisches System, welches wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche umfasst, welcher weder innerhalb noch außerhalb der Fläche eine Achse der Rotationssymmetrie aufweist, wobei rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung durch die rotationsasymmetrische Fläche korrigiert werden.
- [2] Das optische System nach [1], wobei die rotationsasymmetrische fläche eine plansymmetrische dreidimensionale Fläche ist, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass sie nur eine Symmetrieebene aufweist.
- [3] Das optische System nach [2], wobei die Symmetrieebene der rotationsasymmetrischen Fläche in einer Ebene angeordnet ist, die annähernd mit der Dezentrierungsebene zusammenfällt, welche eine Richtung der Dezentrierung jeder das optische System bildenden Fläche ist.
- [4] Das optische System nach einem von [1] bis [3], wobei die rotationsasymmetrische Fläche als eine Reflektionsfläche verwendet wird.
- [5] Das optische System nach [4], wobei die Reflektionsfläche eine Fläche ist, welche eine Totalreflektionswirkung oder eine Reflektionswirkung aufweist.
- [6] Das optische System nach [2] oder [3], wobei die rotationsasymmetrische Fläche, welche nur eine Symmetrieebene aufweist, als ein an der Rückseite beschichteter Spiegel verwendet wird.
- [7] Das optische System nach einem von [1] bis [6], wobei unter der Annahme, dass ein Lichtstrahl, welcher von einer Mitte eines Objektpunkts ausgeht, und durch die Mitte einer Blende verläuft, um die Mitte eines Bilds zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, die rotationsasymmetrische Fläche bezogen auf den Hauptstrahl geneigt ist.
- [8] Das optische System nach einem von [1] bis [7], wobei unter der Annahme, dass ein von der Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch die Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um die Mitte eines Bilds zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und dass eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schnei-

det, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der X-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und der Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der XZ-Ebene an der Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'X$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'X$ geteilt wird, als FX bezeichnet wird, und die Brennweite in der X-Achsenrichtung dieses Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, durch FXn bezeichnet ist, die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$-1000 < FX/FXn < 1000 \quad (1-1)$$

[9] Das optische System nach [8], wobei FX und FXn die folgende Bedingung erfüllen:

$$-100 < FX/FXn < 100 \quad (1-2)$$

[10] Das optische System nach [8], wobei FX und FXn die folgende Bedingung erfüllen:

$$-10 < FX/FXn < 10 \quad (1-3)$$

[11] Das optische System nach einem von [1] bis [10], wobei unter der Annahme, dass ein von der Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch die Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um die Mitte eines Bildes zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der Y-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und der Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der YZ-Ebene an der Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'Y$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'Y$ geteilt wird, als FY bezeichnet wird, und die Brennweite in der Y-Achsenrichtung dieses Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, durch FYn bezeichnet ist, ist die folgende Bedingung vorzugsweise erfüllt:

$$-1000 < FY/FYn < 1000 \quad (2-1)$$

[12] Das optische System nach [11], wobei FY und FYn die folgende Bedingung erfüllen:

$$-100 < FY/FYn < 100 \quad (2-2)$$

[13] Das optische System nach [11], wobei FY und FYn die folgende Bedingung erfüllen:

$$-10 < FY/FYn < 10 \quad (2-3)$$

[14] Das optische System nach einem von [1] bis [13], wobei unter der Annahme, dass ein von einer Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch eine Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um eine Mitte eines Bilds zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und dass eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der X-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und der Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der XZ-Ebene an einer Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'X$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'X$ geteilt wird, als FX bezeichnet wird, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d von diesem entfernt in der Richtung der Y-Achse verläuft, dazu gebracht werden, in das optische System von der Eingangsseite desselben einzutreten, und der Sinus eines Winkels, welcher an der Ausgangsseite des optischen Systems in der YZ-Ebene zwischen diesen beiden Strahlen gebildet ist, durch $NA'Y$ bezeichnet ist, und ein Wert, der durch Teilen des Abstands d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'Y$ erhalten

wird, mit FY bezeichnet wird, die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,01 < |FY/FX| < 100 \quad (3-1)$$

[15] Das optische System nach [14], wobei FX und FY die folgende Bedingung erfüllen:

$$0,1 < |FY/FX| < 10 \quad (3-2)$$

[16] Das optische System nach [14], wobei FX und FY die folgende Bedingung erfüllen:

$$0,5 < |FY/FX| < 2 \quad (3-2)$$

[17] Das optische System nach einem von [1] bis [16], welches nur eine erste Reflektionsfläche umfasst, wobei Lichtstrahlen von der ersten Reflektionsfläche in eine Richtung reflektiert werden, die sich von einer Richtung, in der die Lichtstrahlen darauf auftreffen, unterscheidet.

[18] Das optische System nach einem von [1] bis [16], welches eine erste Reflektionsfläche und eine erste Transmissionsfläche umfasst, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und von der ersten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die erste Transmissionsfläche in einer Richtung auszutreten, die sich von einer Richtung, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche auftreffen, unterscheidet.

[19] Das optische System nach einem von [1] bis [16], welches eine erste Reflektionsfläche, eine erste Transmissionsfläche und eine zweite Transmissionsfläche umfasst, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und von der ersten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die zweite Transmissionsfläche in einer Richtung auszutreten, die sich von einer Richtung, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche auftreffen, unterscheidet.

[20] Das optische System nach einem von [1] bis [16], welches eine erste Reflektionsfläche, eine zweite Reflektionsfläche und eine erste Transmissionsfläche umfasst, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und von der ersten Reflektionsfläche und dann von der zweiten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die erste Transmissionsfläche auszutreten.

[21] Das optische System nach einem von [1] bis [16], welches eine erste Reflektionsfläche, eine zweite Reflektionsfläche, eine erste Transmissionsfläche und eine zweite Transmissionsfläche umfasst, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und von der ersten Reflektionsfläche und dann von der zweiten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die zweite Transmissionsfläche auszutreten.

[22] Das optische System nach [21], wobei ein optischer Weg des optischen Systems Abschnitte aufweist, die einander schneiden.

[23] Das optische System nach [21], wobei ein optischer Weg des optischen Systems keine Abschnitte aufweist, die einander schneiden.

[24] Das optische System nach [21], wobei die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[25] Das optische System nach [21], wobei die erste Reflektionsfläche und die zweite Transmissionsfläche die identische Fläche sind.

[26] Das optische System nach einem von [1] bis [16], welches eine erste Reflektionsfläche, eine zweite Reflektionsfläche, eine dritte Reflektionsfläche, eine erste Transmissionsfläche und eine zweite Transmissionsfläche umfasst, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und nacheinander von der ersten, der zweiten und der dritten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die zweite Transmissionsfläche in einer Richtung auszutreten, welche sich von einer Richtung unterscheidet, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche auftreffen.

[27] Das optische System nach [26], wobei die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[28] Das optische System nach [26], wobei die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[29] Das optische System nach [26], wobei die erste Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[30] Das optische System nach [26], wobei die zweite Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[31] Das optische System nach einem von [1] bis [16], welches eine erste Reflektionsfläche, eine zweite Reflektionsfläche, eine dritte Reflektionsfläche, eine vierte Reflektionsfläche, eine erste Transmissionsfläche

che und eine zweite Transmissionsfläche umfasst, wobei Lichtstrahlen durch die erste Transmissionsfläche in das optische System eintreten und nacheinander von der ersten, der zweiten, der dritten und der vierten Reflektionsfläche reflektiert werden, um aus dem optischen System durch die zweite Transmissionsfläche in einer Richtung auszutreten, welche sich von einer Richtung unterscheidet, in der die Lichtstrahlen auf die erste Transmissionsfläche auftreffen.

[32] Das optische System nach [31], wobei die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[33] Das optische System nach [31], wobei die zweite Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[34] Das optische System nach [31], wobei die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[35] Das optische System nach [31], wobei die zweite Reflektionsfläche und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[36] Das optische System nach [31], wobei die erste Transmissionsfläche, die zweite Reflektionsfläche und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[37] Das optische System nach [31], wobei die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[38] Das optische System nach [31], wobei die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die zweite Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[39] Das optische System nach [31], wobei die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die zweite Reflektionsfläche und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[40] Das optische System nach [31], wobei die zweite Reflektionsfläche und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die zweite Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[41] Das optische System nach [31], wobei die erste Transmissionsfläche, die zweite Reflektionsfläche und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die zweite Transmissionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[42] Das optische System nach [31], wobei die erste Transmissionsfläche, die zweite Reflektionsfläche und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[43] Das optische System nach [31], wobei die erste Transmissionsfläche und die zweite Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die zweite Transmissionsfläche, die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[44] Das optische System nach [31], wobei die zweite Reflektionsfläche und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die zweite Transmissionsfläche, die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[45] Das optische System nach [31], wobei die erste Transmissionsfläche, die zweite Reflektionsfläche und die vierte Reflektionsfläche die identische Fläche sind, und wobei die zweite Transmissionsfläche, die erste Reflektionsfläche und die dritte Reflektionsfläche die identische Fläche sind.

[46] Das optische System nach einem von [1] bis [45], wobei eine rotationsasymmetrische Fläche zuerst bearbeitet wird, und dann eine rotationssymmetrische Fläche bearbeitet wird.

[47] Das optische System nach einem von [1] bis [45], welches dadurch hergestellt ist, dass eine optische Komponente, welche wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche daran bearbeitet aufweist, und eine optische Komponente, welche eine andere Fläche daran bearbeitet aufweist, zusammen gekittet werden.

[48] Das optische System nach einem von [1] bis [47] welches als ein optisches Okularsystem mit einem gefalteten optischen Weg angeordnet ist, wobei eine Reflektionsfläche, welche den gefalteten optischen Weg bildet, eine Brechkraft aufweist.

[49] Das optische System nach einem von [1] bis [47] welches als ein abbildendes optisches System mit einem gefalteten optischen Weg angeordnet ist, wobei eine Reflektionsfläche, welche den gefalteten optischen Weg bildet, eine Brechkraft aufweist.

[50] Ein optisches System, das als ein brennpunktloses optisches System aus einer Kombination des abbildenden optischen Systems von [49] und eines optischen Okularsystems gebildet ist.

[51] Das optische System nach [50], wobei das brennpunktlose optische System angeordnet ist, um mit einer geraden Anzahl an Reflektionen ein aufrechtes Bild zu erhalten.

[52] Ein optisches System, das als ein brennpunktloses optisches System aus einer Kombination eines abbildenden optischen Systems und des optischen Okularsystems von [48] gebildet ist.

[53] Das optische System nach [52], wobei das brennpunktlose optische System angeordnet ist, um mit ei-

ner geraden Anzahl an Reflektionen ein aufrechtes Bild zu erhalten.

[54] Ein optisches System, das als ein brennpunktloses optisches System aus einer Kombination des abbildenden optischen Systems nach [49] und des optischen Okularsystems von [48] gebildet ist.

[55] Das optische System nach [54], wobei das brennpunktlose optische System angeordnet ist, um mit einer geraden Anzahl an Reflektionen ein aufrechtes Bild zu erhalten.

[104] Das optische System nach einem von [1] bis [55], welches in einem in einem Endoskop vorgesehenen optischen Mittel angeordnet ist.

[105] Das optische System nach [104], wobei das Endoskop eine Abbildungsvorrichtung verwendet.

[106] Das optische System nach [104], welches bei einem optischen Endoskop-Objektivsystem verwendet wird.

[107] Das optische System nach [106], wobei eine transparente Schutzplatte an der Objektseite des optischen Systems angeordnet ist.

[108] Das optische System nach [106], wobei eine objektseitige Fläche des optischen Systems eine ebene Fläche ist.

[109] Das optische System nach [106], wobei eine bildseitige Fläche des optischen Systems eine ebene Fläche ist.

[110] Das optische System nach [109], wobei die bildseitige Fläche des optischen Systems in enger Berührung mit einer Abbildungsvorrichtung angeordnet ist.

[111] Das optische System nach [104], wobei ein optisches Faserbündel an einer Bild-Entstehungsebene des optischen Systems separat von dem optischen System angeordnet ist.

[112] Das optische System nach [104], wobei ein optisches Faserbündel in enger Berührung mit einer bildseitigen Fläche des optischen Systems angeordnet ist.

[113] Das optische System nach [111], wobei eine objektseitige Fläche Fläche des optischen Systems von einer transparenten Schutzplatte gebildet ist.

[114] Das optische System nach [111], wobei eine objektseitige Fläche des optischen Systems eine ebene Fläche ist.

[115] Das optische System nach [104], wobei eine erste Fläche in einem distalen Endabschnitt des Endoskops aus Glas oder aus einem kristallinen Material, z. B. Saphir, hergestellt ist.

[116] Das optische System nach [104], wobei eine erste Fläche des optischen Endoskop-Objektivsystems von einem Gehäuse des Endoskops zurückgesetzt ist.

[117] Das optische System nach [104], wobei eine erste Fläche des optischen Endoskop-Objektivsystems von einem Gehäuse des Endoskops hervorsticht.

[118] Das optische System nach einem von [1] bis [55], welches in einem Kamera-Adapter für ein Endoskop angeordnet ist, um durch das optische Mittel ein Beobachtungsbild auf eine Abbildungsvorrichtung zu projizieren.

[119] Das optische System nach [118], wobei eine ebene Glasplatte vor oder hinter dem optischen System vorgesehen ist.

[120] Das optische System nach [118], welches Mittel zum Verändern eines Abstands zwischen dem optischen System und einem weiteren optischen System oder einer Bild-Entstehungsebene aufweist.

[121] Das optische System nach [118], wobei eine Gesamtsumme von in dem optischen System und einem weiteren optischen System stattfindenden Reflektionen eine gerade Zahl ist.

[122] Das optische System nach [118], wobei der Kamera-Adapter für ein Endoskop ein optisches System umfasst, bei dem eine Gesamtsumme von Reflektionen eine ungerade Zahl ist, und eine elektrische Bild-Umkehrschaltung umfasst.

[123] Das optische System nach [118], wobei der Kamera-Adapter für ein Endoskop eine halbtransparente Reflektionsfläche aufweist, um einen optischen Weg in zwei aufzuteilen.

[124] Das optische System nach [118], wobei ein optischer Beobachtungsweg für einen Beobachter annähernd parallel zu einer optischen Achse von Lichtstrahlen ist, die von einem optischen Beobachtungssystem in den Endoskop-Kamera-Adapter eintreten.

[0237] Wie aus der vorangehenden Beschreibung ersichtlich, stellt die vorliegende Erfindung ein optisches System bereit, welches verglichen mit rotationssymmetrischen optischen Transmissionssystemen kompakt ist und minimale Aberrationen aufweist.

[0238] Ein kompaktes optisches System kann selbst bei einem weiten Feldwinkel ein klares Bild mit minimaler Verzerrung bereitstellen. Das optische System ist ein dezentriertes optisches System (**10**). Gekrümmte Flächen (**3** und **4**), aus welchen das optische System gebildet ist, umfassen wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche, welche weder innerhalb noch außerhalb der Fläche eine Achse der Rotationssymmetrie aufweist. Um mit der rotationsasymmetrischen Fläche rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung zu korrigieren, wird die folgende Bedingung erfüllt:

$$-1000 < FX/FX_n < 1000$$

(1-1)

wobei FX die Brennweite in X-Richtung des optischen Systems ist, und F_{Xn} die Brennweite in X-Richtung des Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche ist, auf den ein axialer Hauptstrahl auftrifft.

Patentansprüche

1. Endoskop, welches in einem distalen Abschnitt desselben ein optisches Mittel (**10**) aufweist, um auf ein zweidimensionales Abbildungsgerät (**81**) oder eine Endfläche eines Bündels (**82**) von optischen Fasern abzubilden; **dadurch gekennzeichnet**, dass ein dezentriertes optisches System (**10**) als das optische Mittel vorgesehen ist, und dass das dezentrierte optische System wenigstens eine rotationsasymmetrische Fläche umfasst, welche weder eine Achse der Rotationssymmetrie innerhalb noch außerhalb der Fläche aufweist, um rotationsasymmetrische Aberrationen aufgrund der Dezentrierung zu korrigieren.

2. Endoskop nach Anspruch 1, wobei ein optisches Element (**80**), welches eine negative Brechkraft aufweist, an einer Objektseite der rotationsasymmetrischen Fläche angeordnet ist.

3. Endoskop nach Anspruch 1 oder 2, wobei das dezentrierte optische System (**10**) vier optische Flächen umfasst, wobei wenigstens eine der vier optischen Flächen eine rotationsasymmetrische Fläche ist, welche weder eine Achse der Rotationssymmetrie innerhalb noch außerhalb der Fläche aufweist; wobei eine erste Fläche, eine zweite Fläche, eine dritte Fläche und eine vierte Fläche der vier optischen Flächen derart angeordnet sind, dass ein Segment eines Hauptstrahls, der von der ersten Fläche (T1) zur zweiten Fläche (R1) verläuft, ein Segment des Hauptstrahls schneidet, der von der dritten Fläche (R2) zur vierten Fläche (T2) verläuft; und wobei der Hauptstrahl ein Strahl ist, der von einer Mitte einer Blende ausgeht, um eine Mitte einer Bildebene des dezentrierten optischen Systems zu erreichen.

4. Endoskop nach Anspruch 1, wobei das dezentrierte optische System (**10**) drei optische Flächen umfasst, wobei wenigstens eine der drei optischen Flächen eine rotationsasymmetrische Fläche ist, welche weder eine Achse der Rotationssymmetrie innerhalb noch außerhalb der Fläche aufweist; wobei eine erste Fläche der drei optischen Flächen als eine Transmissionsfläche (T1) dient, eine zweite Fläche der drei optischen Flächen als eine Transmissionsfläche (T2) und als eine Reflektionsfläche (R1) dient und eine dritte Fläche der drei optischen Flächen als eine Reflektionsfläche (R2) dient; wobei die erste, zweite und dritte Fläche derart angeordnet sind, dass Licht von einem Objekt durch die erste Fläche (T1) zur zweiten Fläche (R1) durchgelassen wird, und von der zweiten Fläche (R1) zur dritten Fläche (R2) reflektiert wird, und von der dritten Fläche (R2) zur zweiten Fläche (T2) reflektiert wird, und durch die zweite Fläche (T2) zu einer Bildebene des dezentrierten optischen Systems durchgelassen wird.

5. Endoskop nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei, unter der Annahme, dass ein von einer Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch eine Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um eine Mitte eines Bilds zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und dass eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der X-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und ein Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der XZ-Ebene an einer Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA \cdot X$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA \cdot X$ geteilt wird, als FX bezeichnet wird, was die Brennweite des optischen Systems in der X-Achsenrichtung ist, und eine Brennweite in der X-Achsenrichtung dieses Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, durch F_{Xn} bezeichnet ist, die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$-1000 < FX/FX_n < 1000$$

(1-1)

6. Endoskop nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei, unter der Annahme, dass ein von einer Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch eine Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um eine Mitte eines Bilds zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und dass eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als

eine Z-Achse definiert ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der Y-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und ein Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der YZ-Ebene an einer Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'Y$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'Y$ geteilt wird, als FY bezeichnet wird, was die Brennweite des optischen Systems in der Y-Achsenrichtung ist, und eine Brennweite in der Y-Achsenrichtung dieses Abschnitts der rotationsasymmetrischen Fläche, auf die der axiale Hauptstrahl auftrifft, durch FY_n bezeichnet ist, die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$-1000 < FY/FY_n < 1000 \quad (2-1)$$

7. Endoskop nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei, unter der Annahme, dass ein von einer Mitte eines Objektpunkts ausgehender und durch eine Mitte einer Blende verlaufender Lichtstrahl, um eine Mitte eines Bilds zu erreichen, als ein Hauptstrahl definiert ist, und dass eine Y-Achse in einer Dezentrierungsebene der Fläche gezogen ist, und eine X-Achse in einer Richtung gezogen ist, die die Y-Achse senkrecht schneidet, und ferner eine Achse, die zusammen mit der X- und der Y-Achse ein orthogonales Koordinatensystem bildet, als eine Z-Achse definiert ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d in Richtung der X-Achse verläuft, dazu gebracht werden, dass sie in das optische System von einer Eingangsseite desselben eintreten, und ein Sinus eines Winkels, der zwischen diesen beiden Strahlen in der XZ-Ebene an einer Ausgangsseite des optischen Systems gebildet ist, als $NA'X$ bezeichnet wird, und dass ferner ein Wert, welcher dadurch erhalten wird, indem der Abstand d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'X$ geteilt wird, als FX bezeichnet wird, was die Brennweite des optischen Systems in der X-Achsenrichtung ist, und dass ferner der Hauptstrahl und ein Lichtstrahl, der parallel zu dem Hauptstrahl mit einem kleinen Abstand d von diesem entfernt in der Richtung der Y-Achse verläuft, dazu gebracht werden, in das optische System von der Eingangsseite desselben einzutreten, und ein Sinus eines Winkels, welcher an der Ausgangsseite des optischen Systems in der YZ-Ebene zwischen diesen beiden Strahlen gebildet ist, durch $NA'Y$ bezeichnet ist, und ein Wert, der durch Teilen des Abstands d zwischen den parallelen Strahlen durch $NA'Y$ erhalten wird, mit FY bezeichnet wird, was die Brennweite des optischen Systems in der Y-Achsenrichtung ist, die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,01 < |FY/FX| < 100 \quad (3-1)$$

8. Endoskop nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die rotationsasymmetrische Fläche eine plansymmetrische dreidimensionale Fläche ist, welche nur eine Symmetrieebene aufweist.

9. Endoskop nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die rotationsasymmetrische Fläche als eine Reflektionsfläche verwendet wird, welche eine Totalreflektionswirkung oder eine Reflektionswirkung aufweist.

10. Endoskop nach Anspruch 9, welches nur eine erste Reflektionsfläche aufweist, wobei Lichtstrahlen von der ersten Reflektionsfläche in eine Richtung reflektiert werden, welche sich von der Richtung, in der die Lichtstrahlen darauf auftreffen, unterscheidet.

Es folgen 31 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

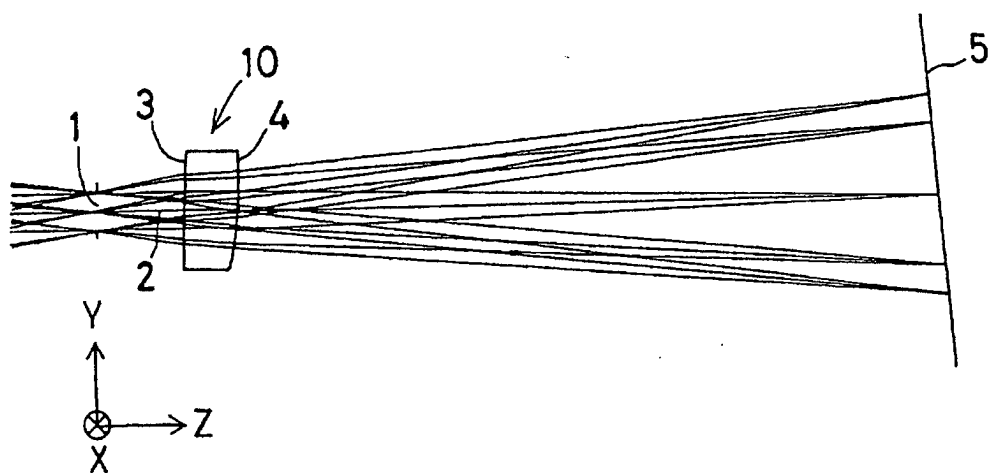


FIG. 2

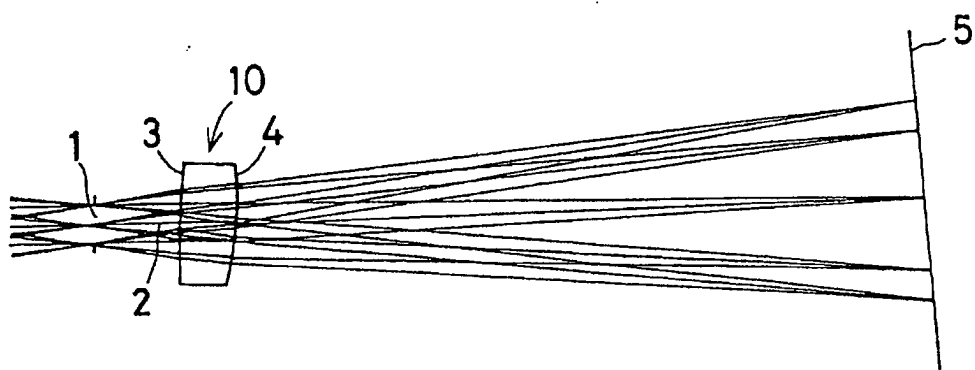


FIG. 3

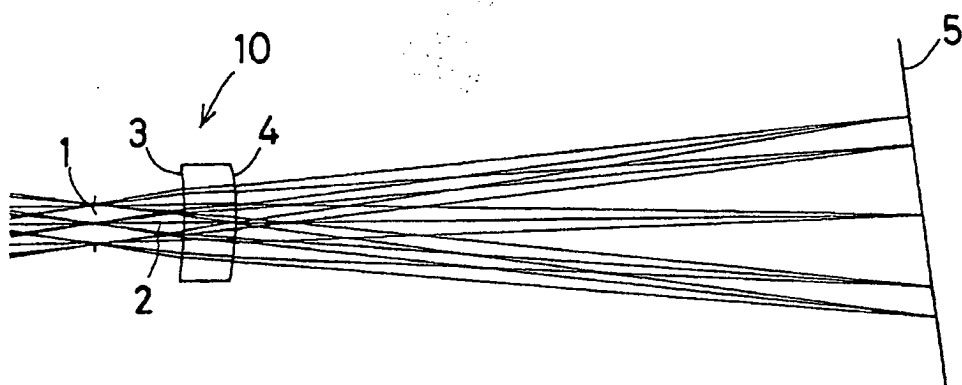


FIG. 4

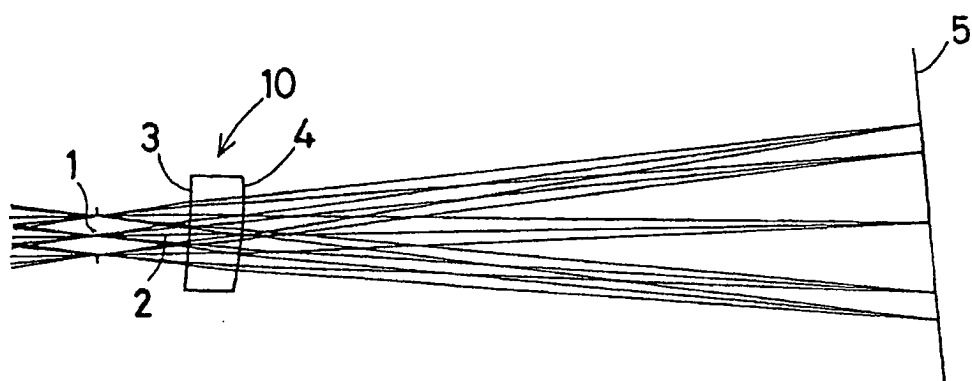
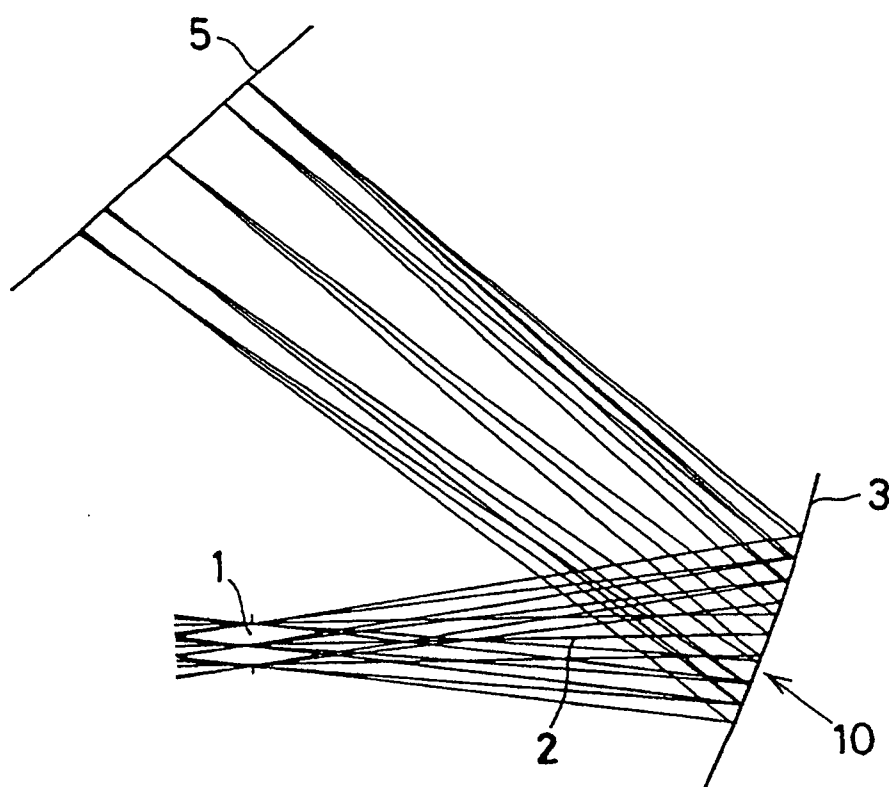


FIG. 5



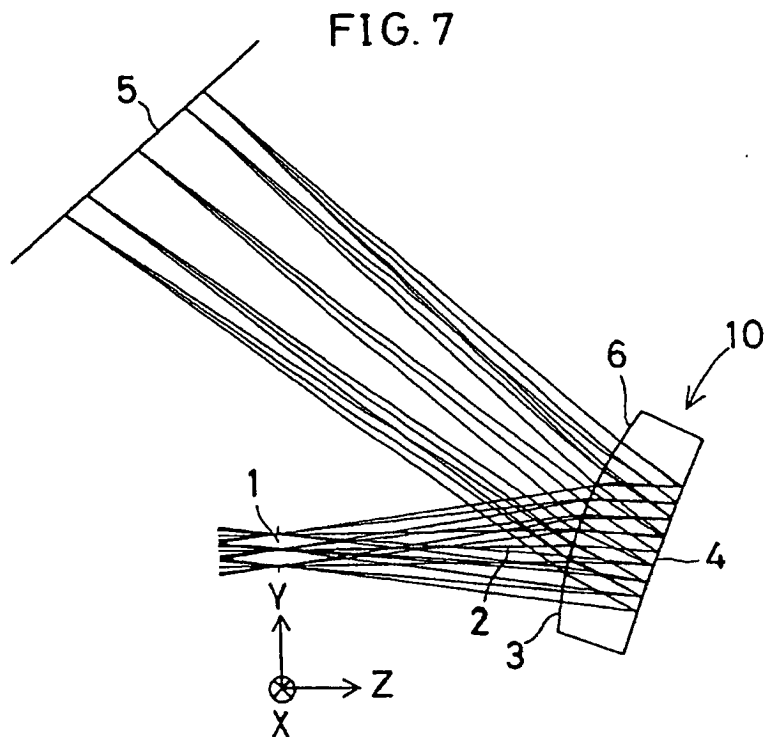
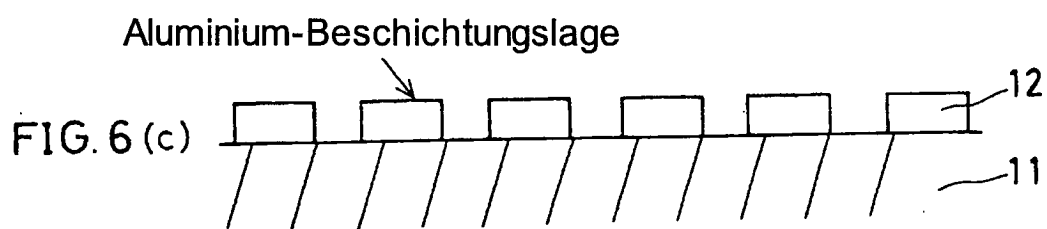
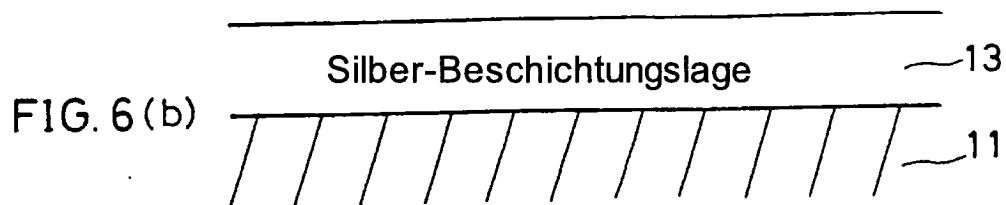
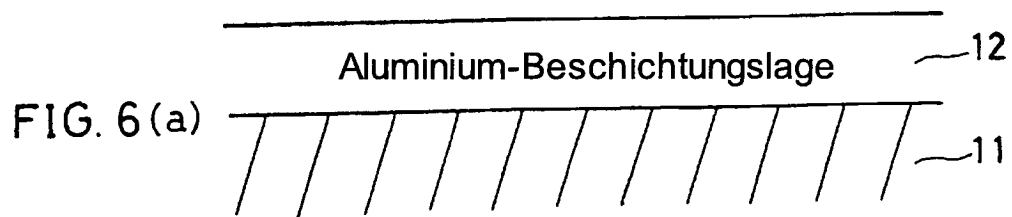


FIG. 8

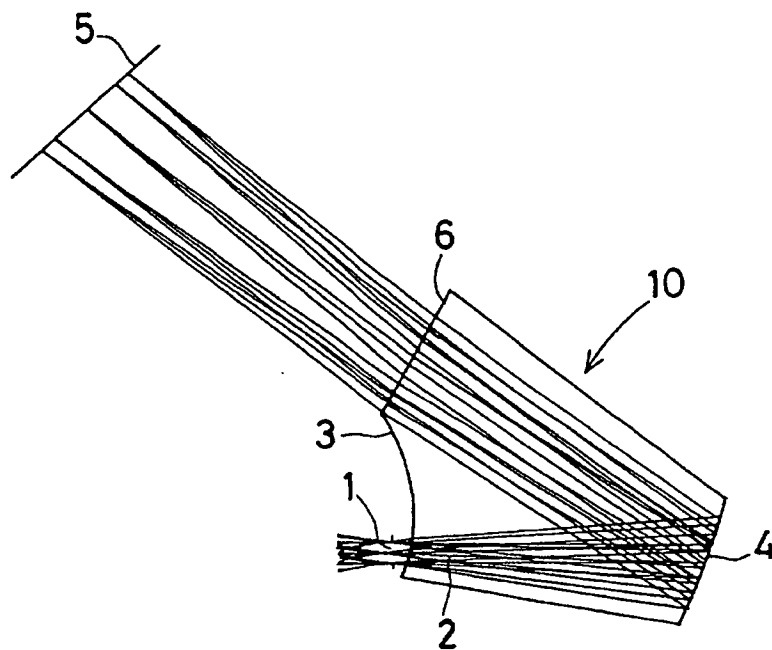


FIG. 9

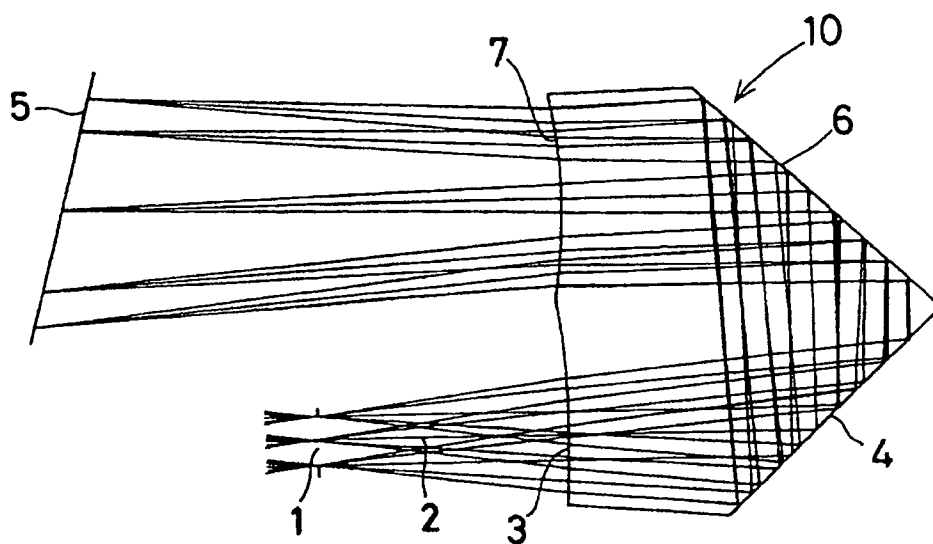


FIG. 10

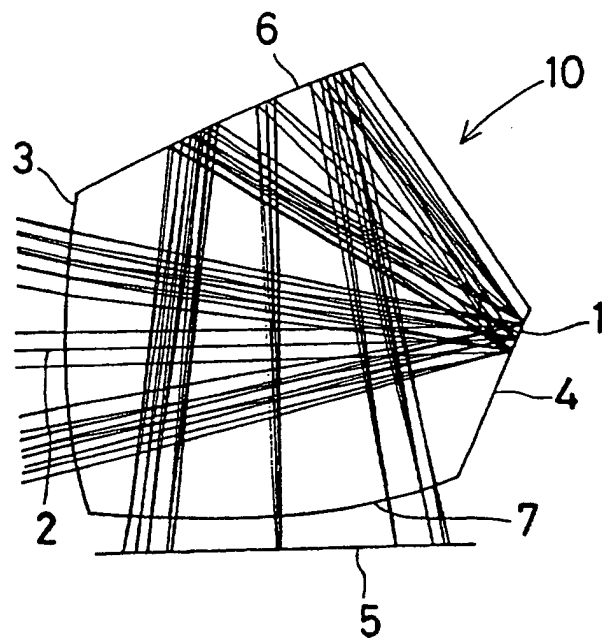


FIG. 11

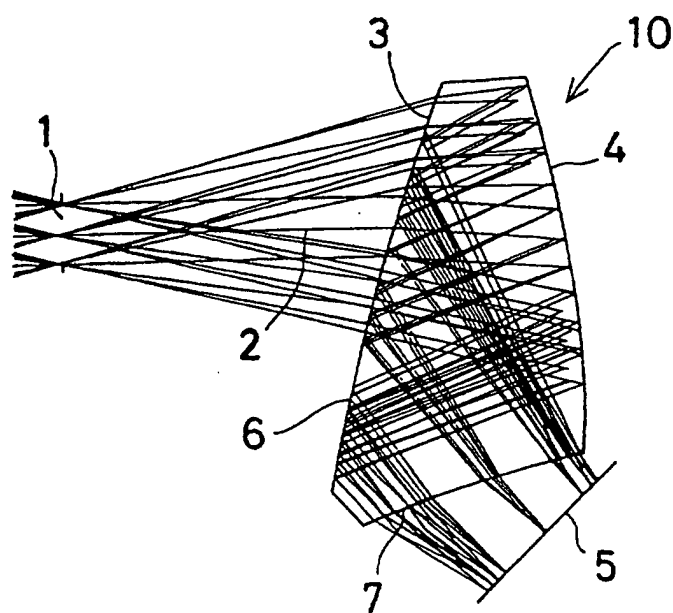


FIG. 12

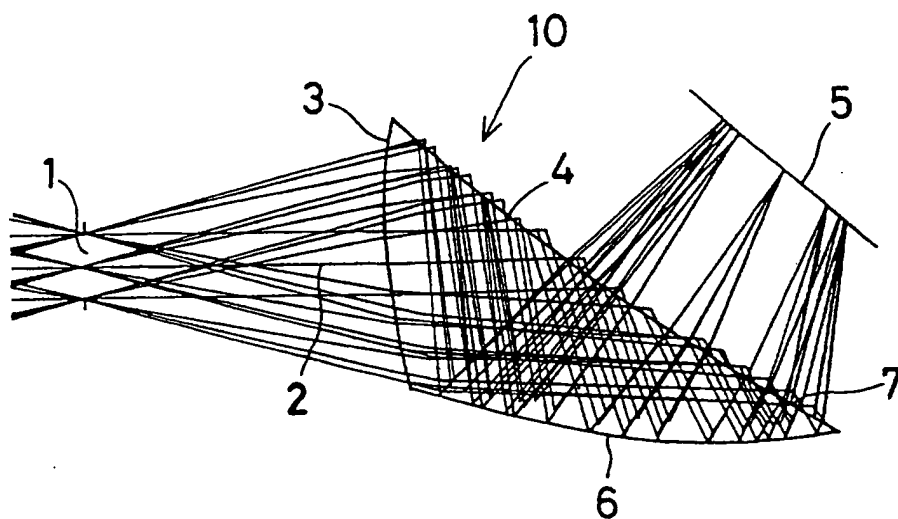


FIG. 13

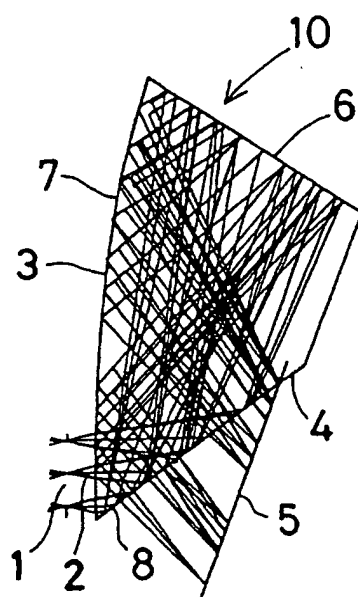


FIG. 14

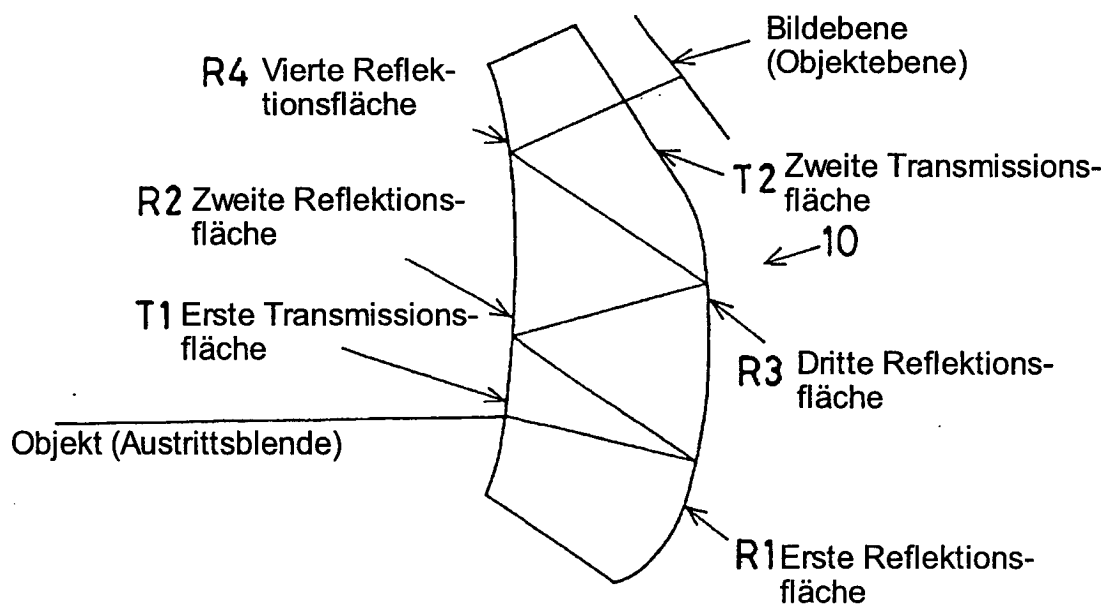


FIG. 15

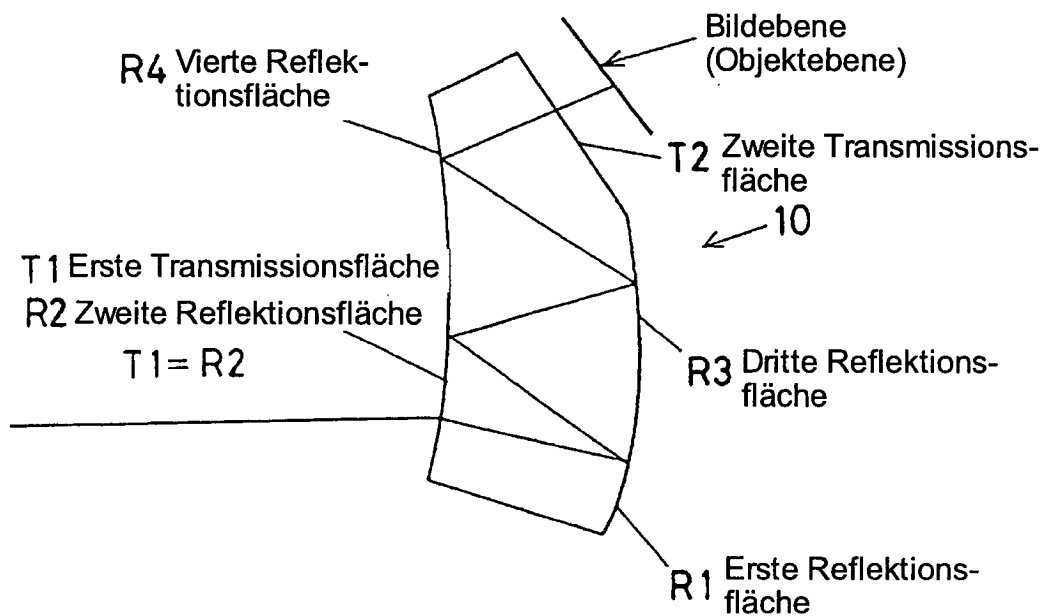


FIG. 16

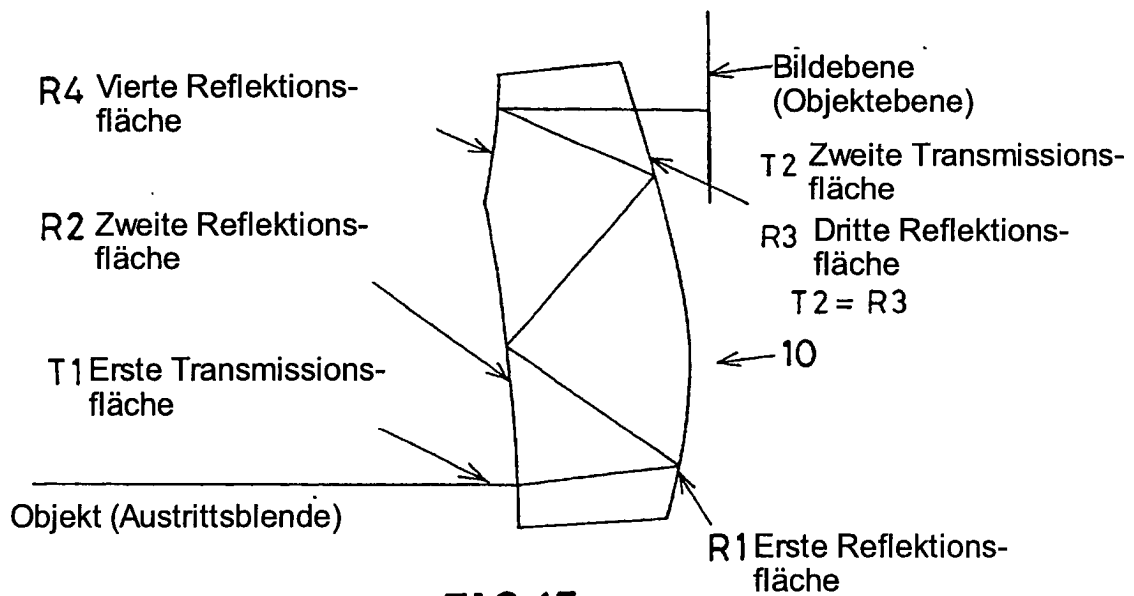


FIG. 17

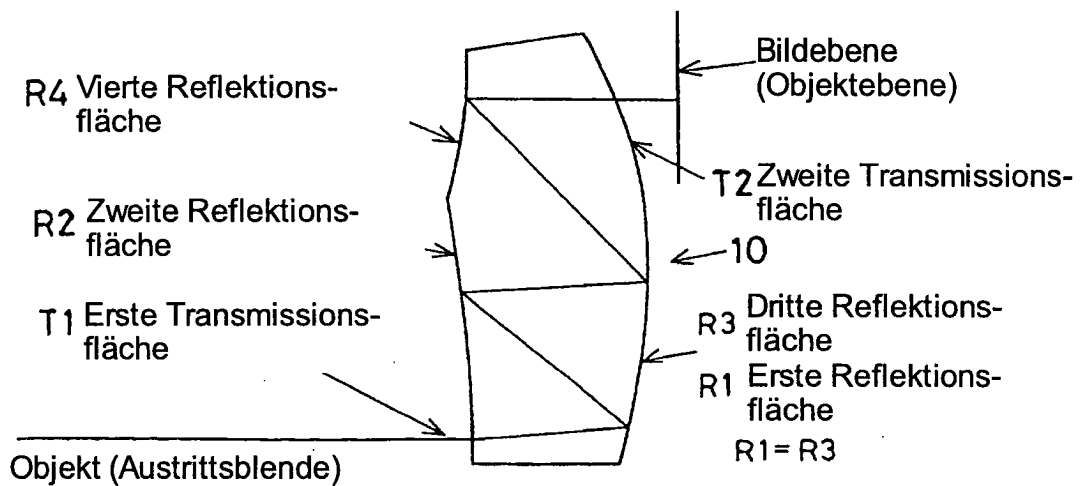


FIG. 18

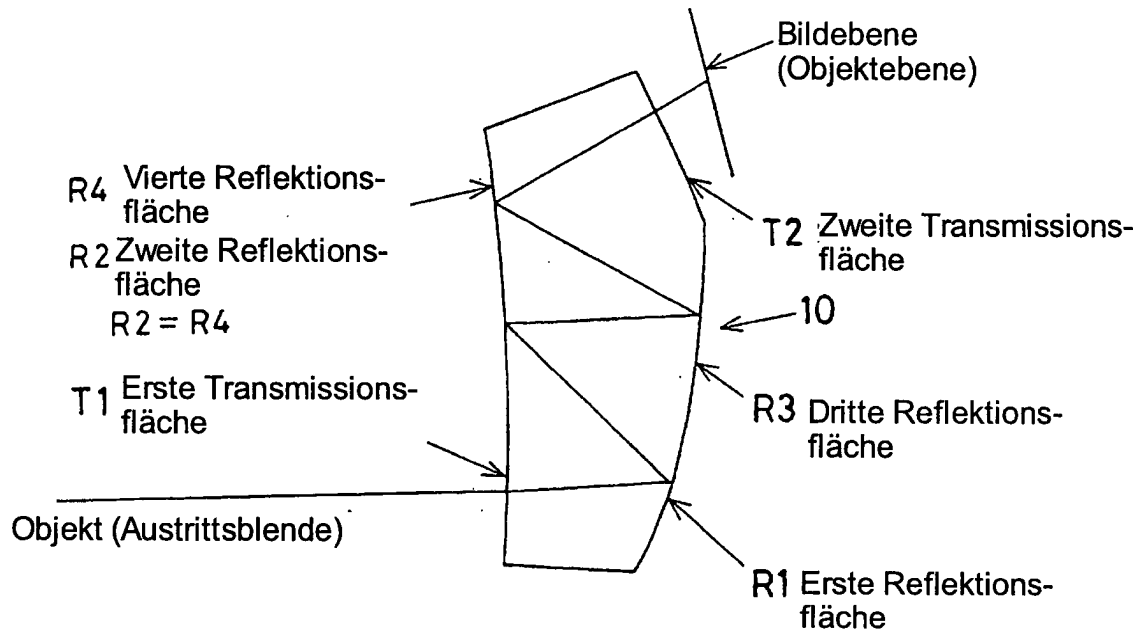


FIG. 19

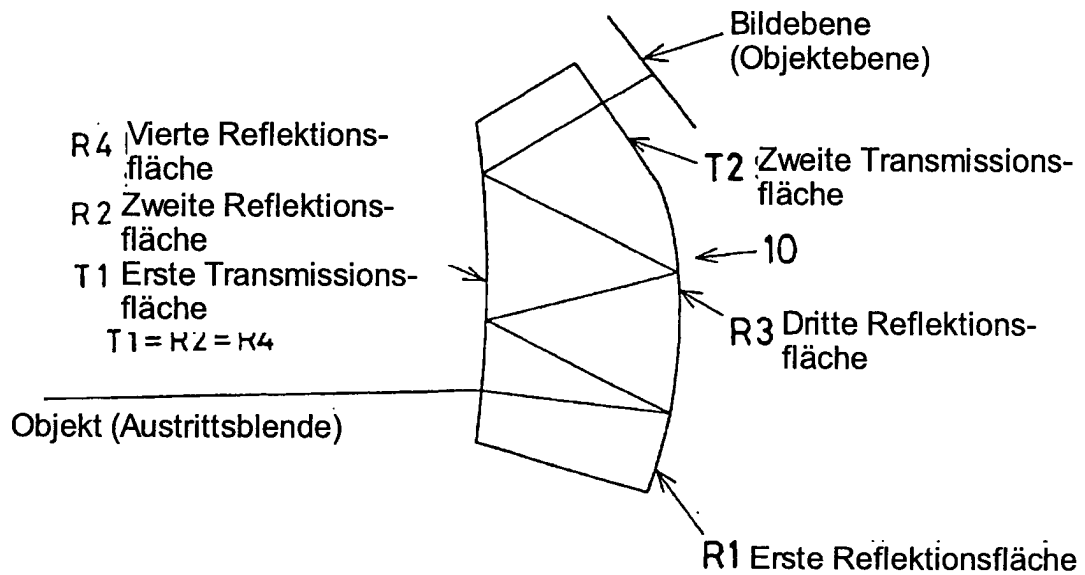


FIG. 20

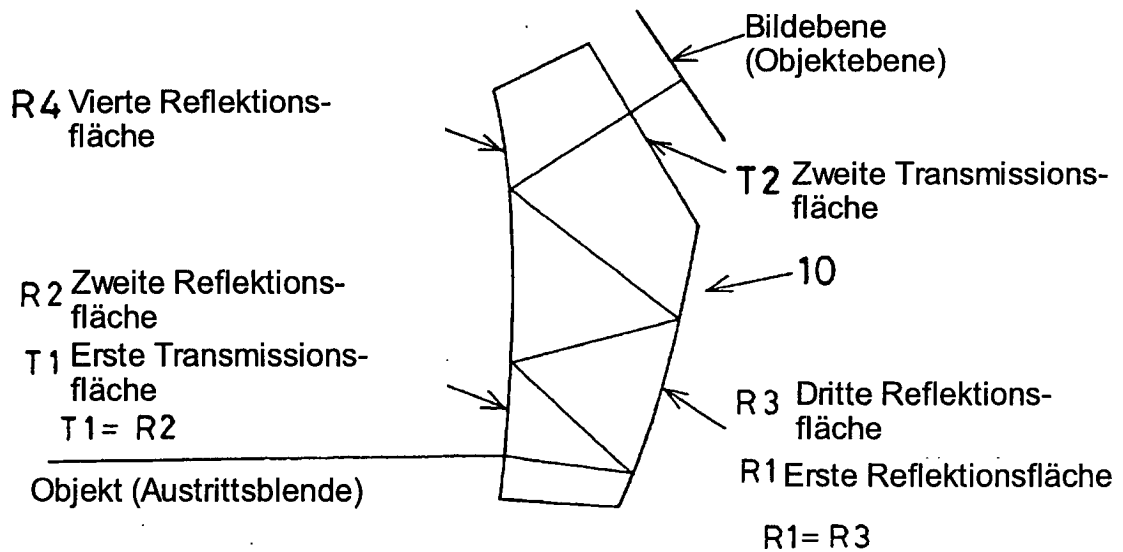


FIG. 21

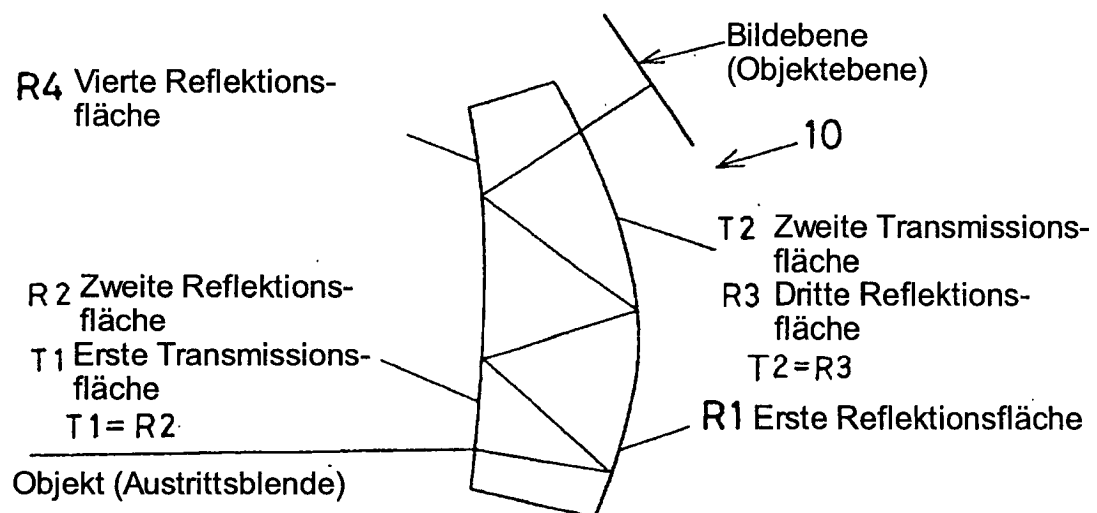


FIG. 22

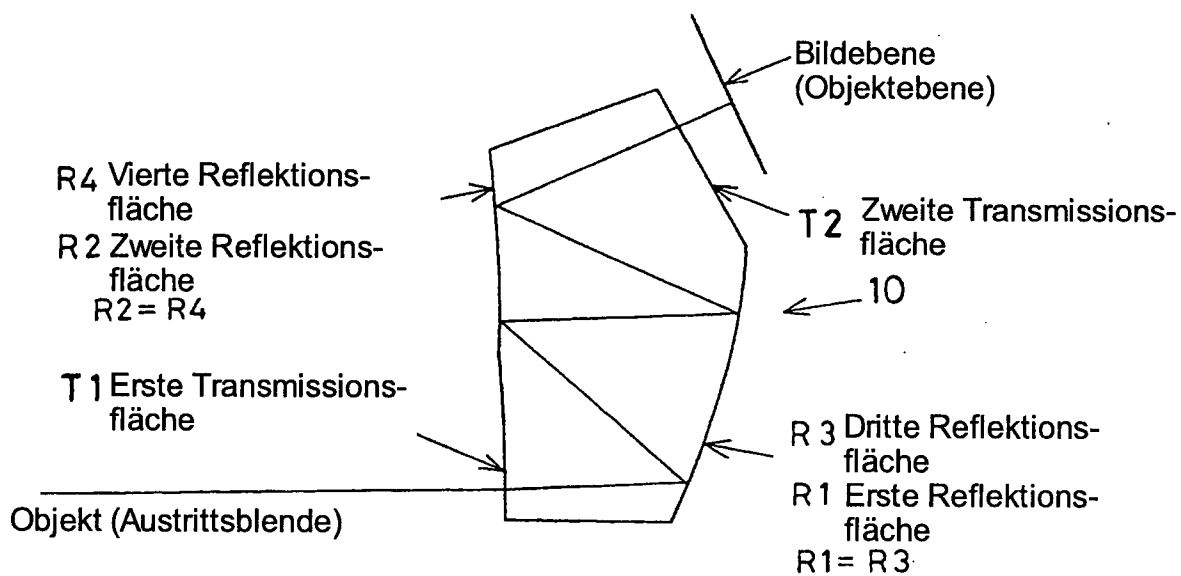


FIG. 23

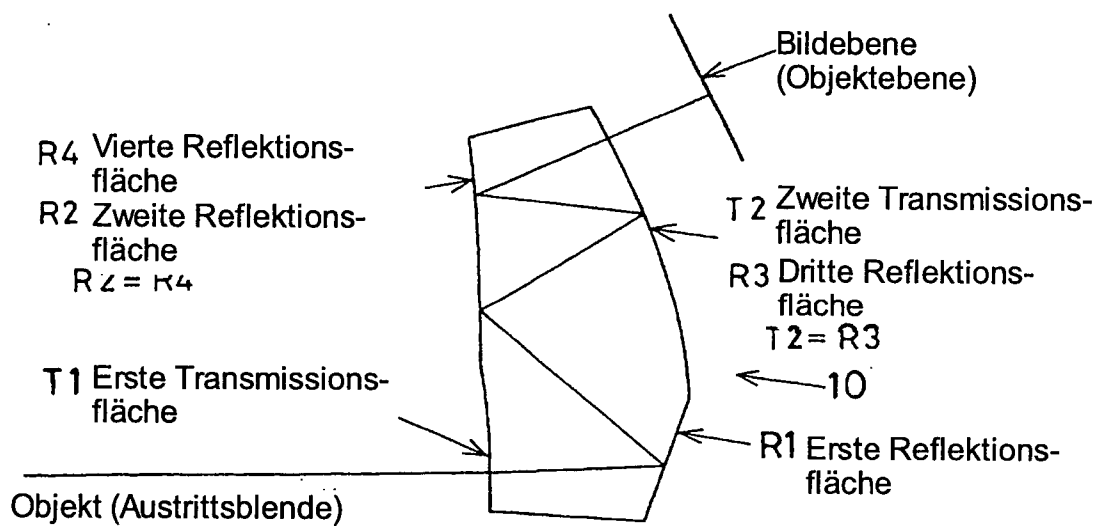


FIG. 24

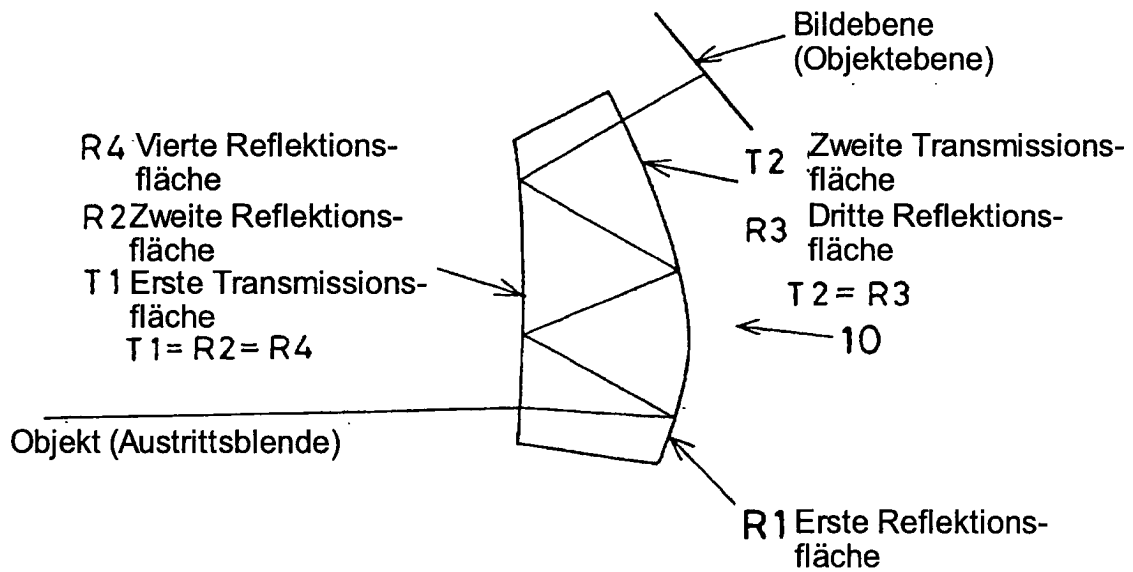


FIG. 25

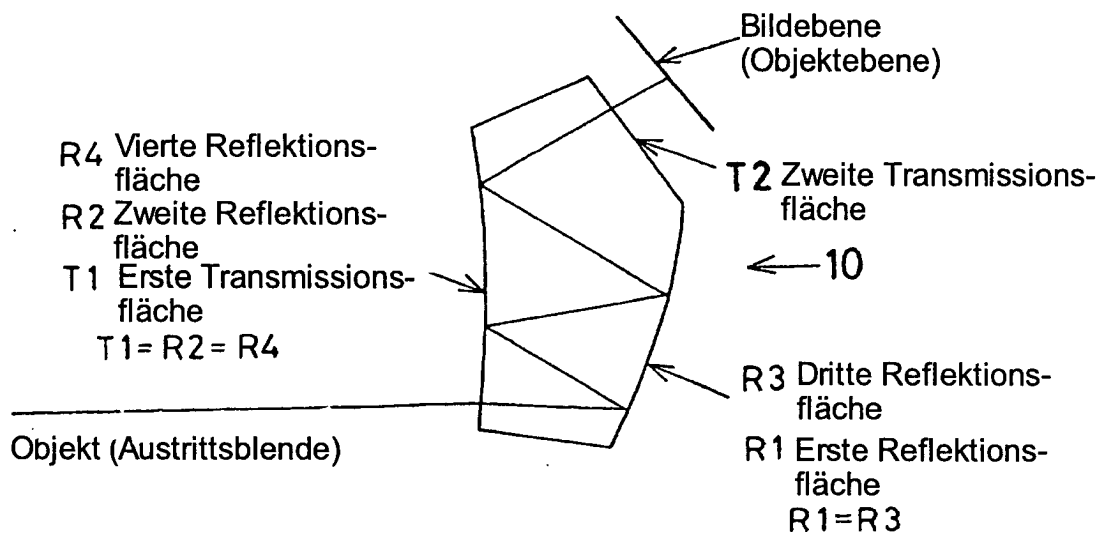


FIG. 26

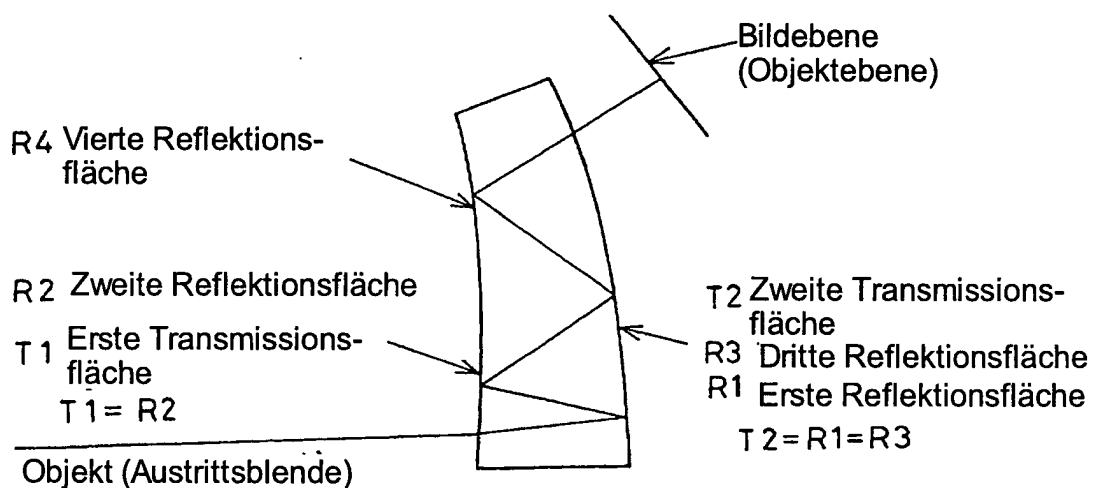


FIG. 27

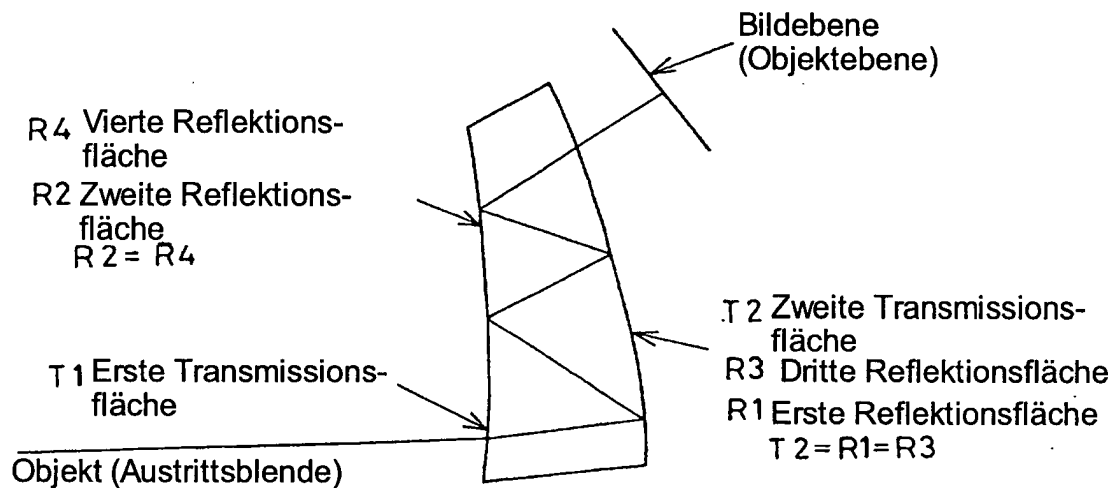


FIG. 28

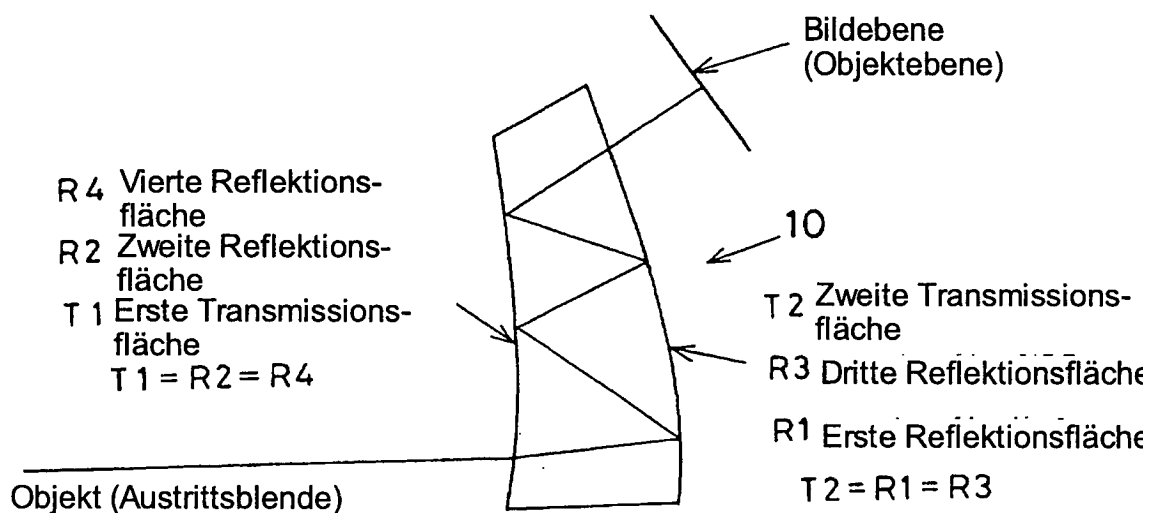


FIG. 29

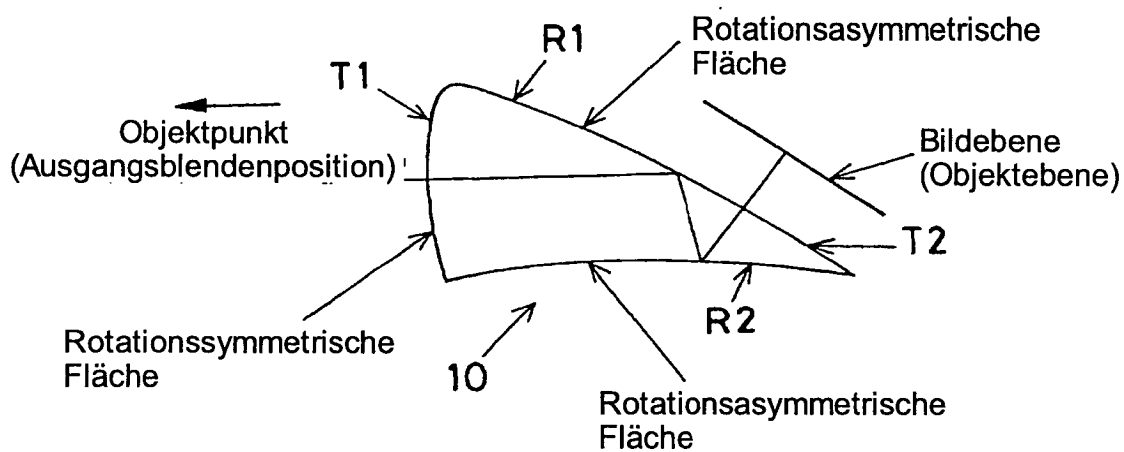


FIG. 30

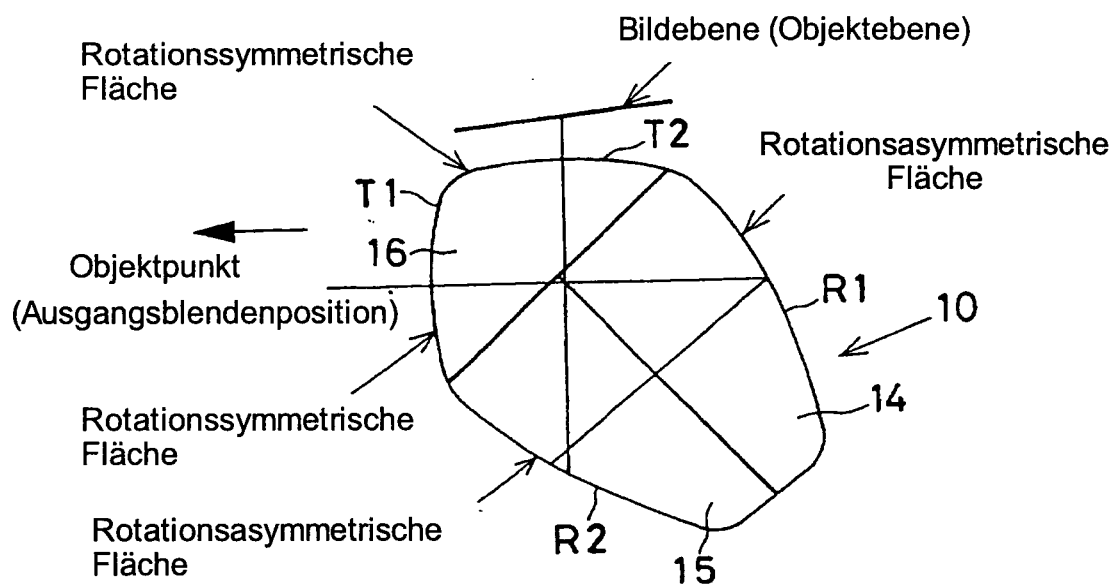


FIG. 31

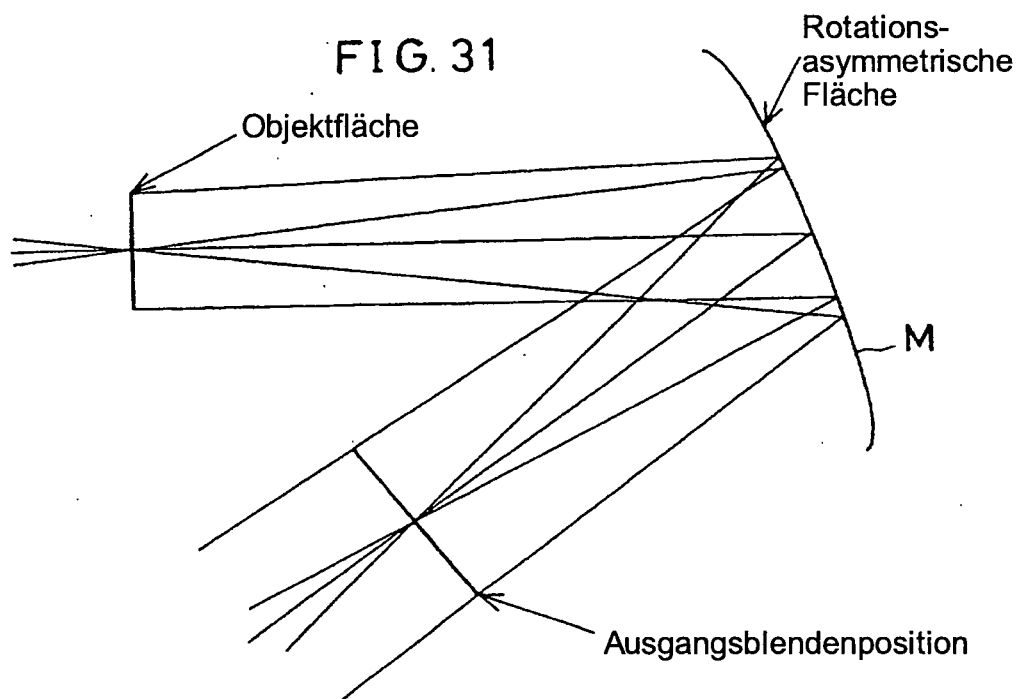


FIG. 32

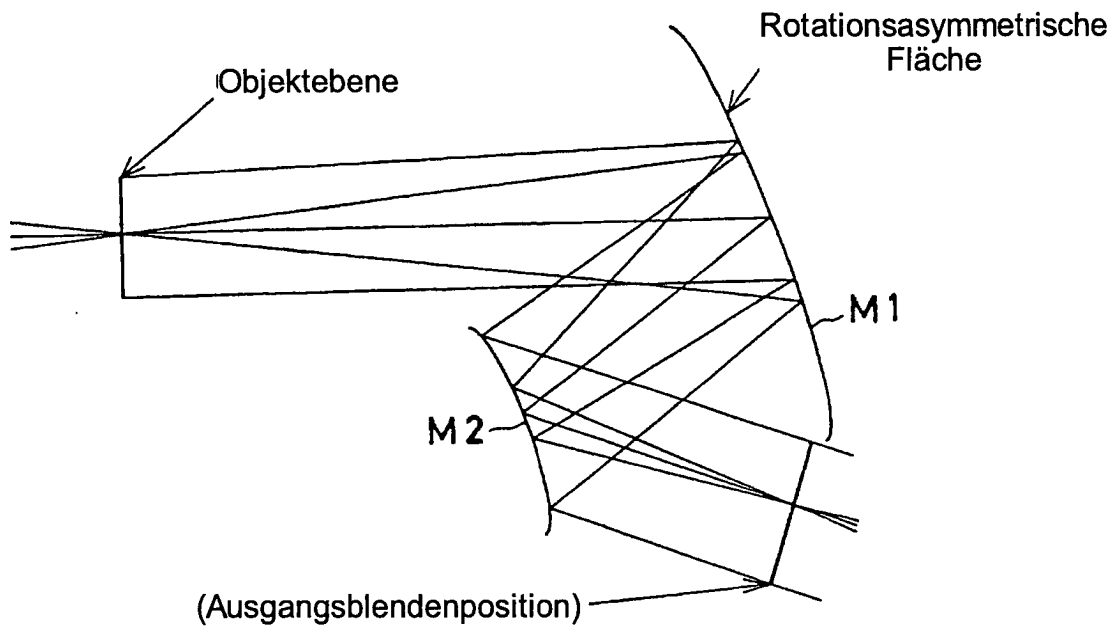


FIG. 33

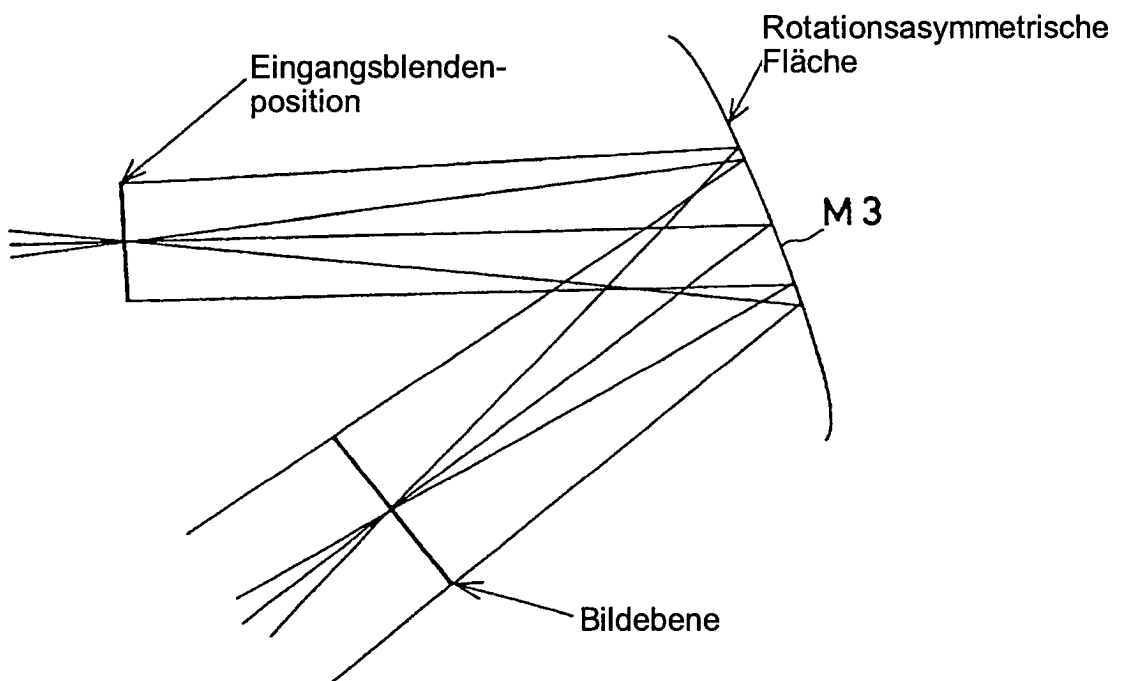


FIG. 34

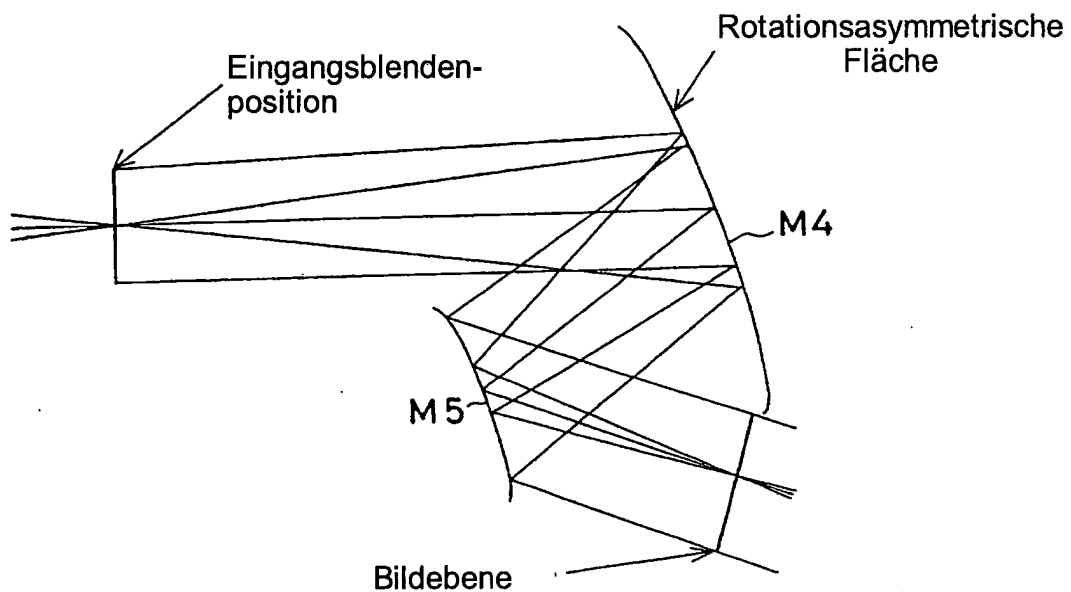


FIG. 35

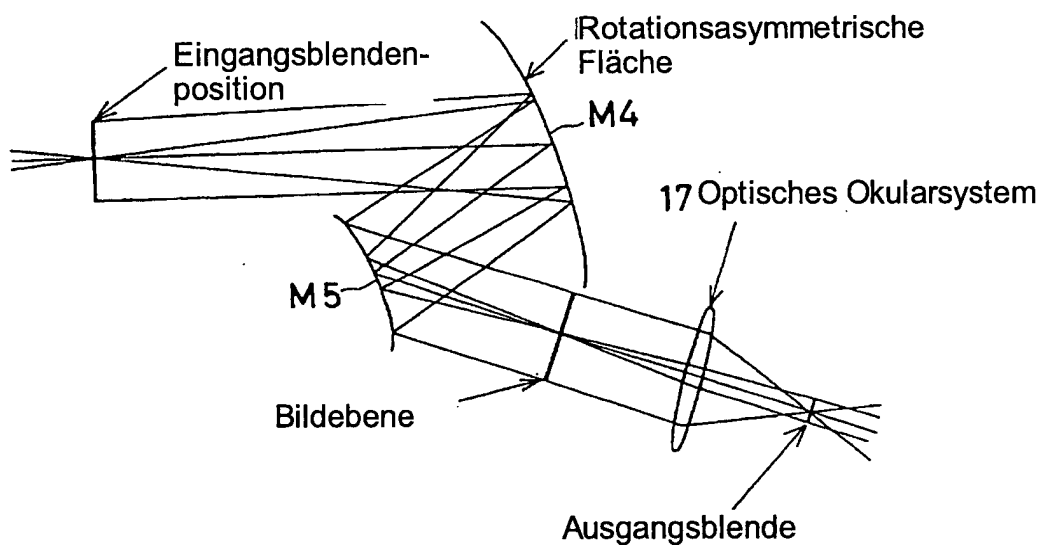


FIG. 36

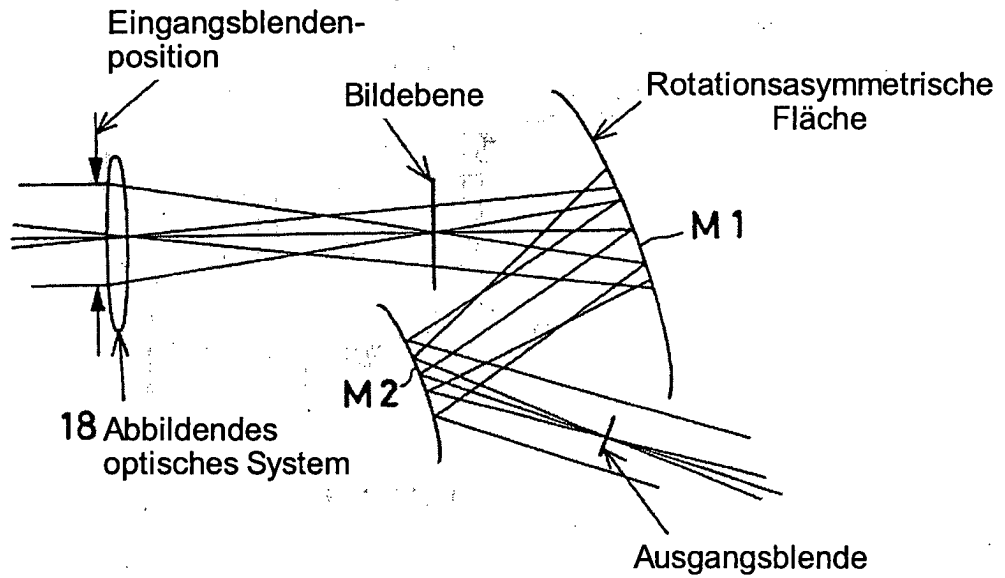


FIG. 37

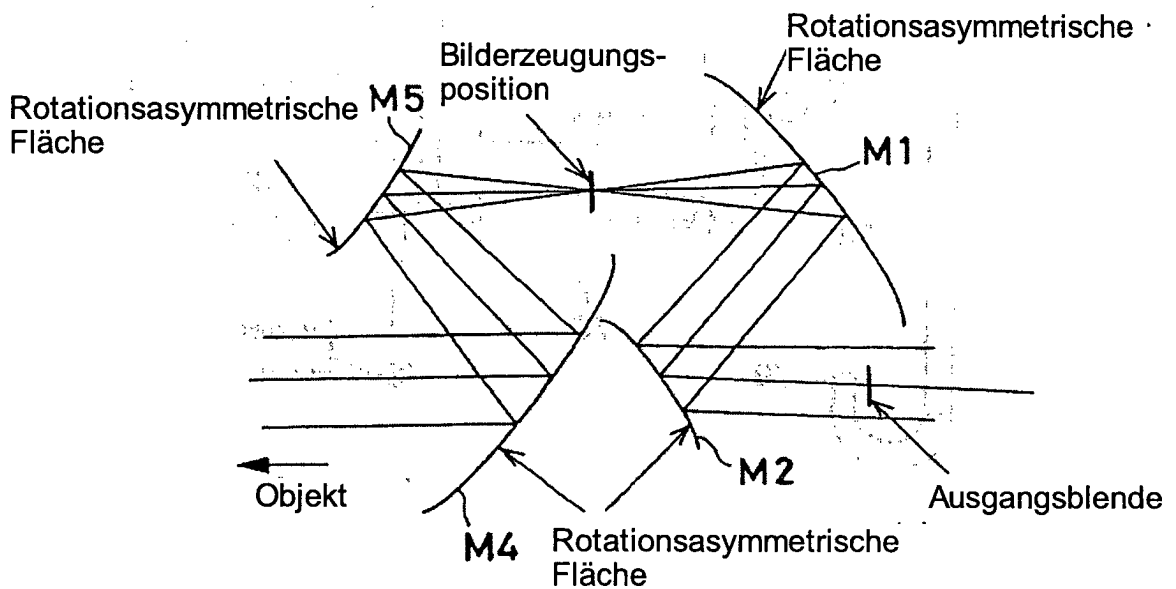


FIG. 38

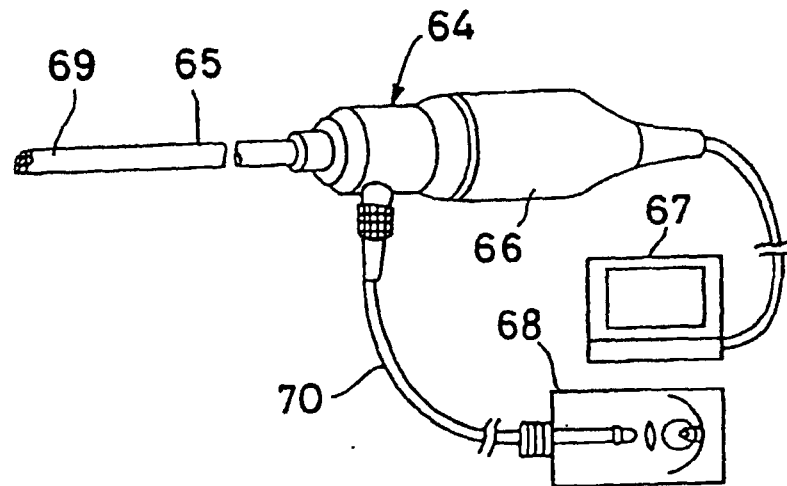
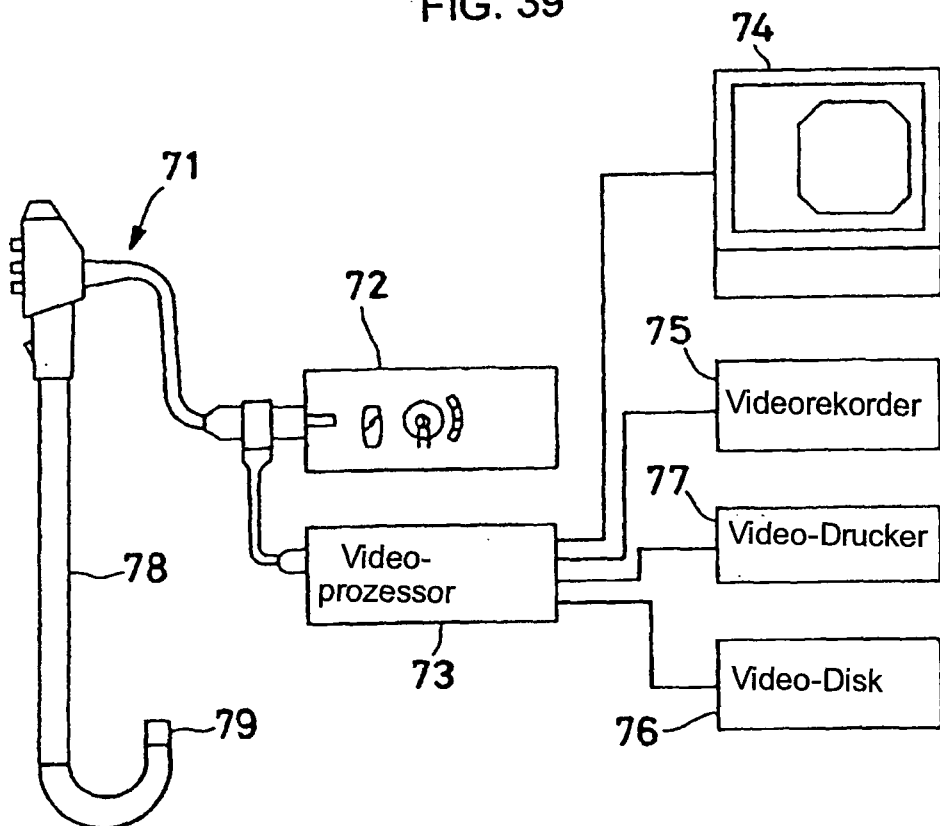
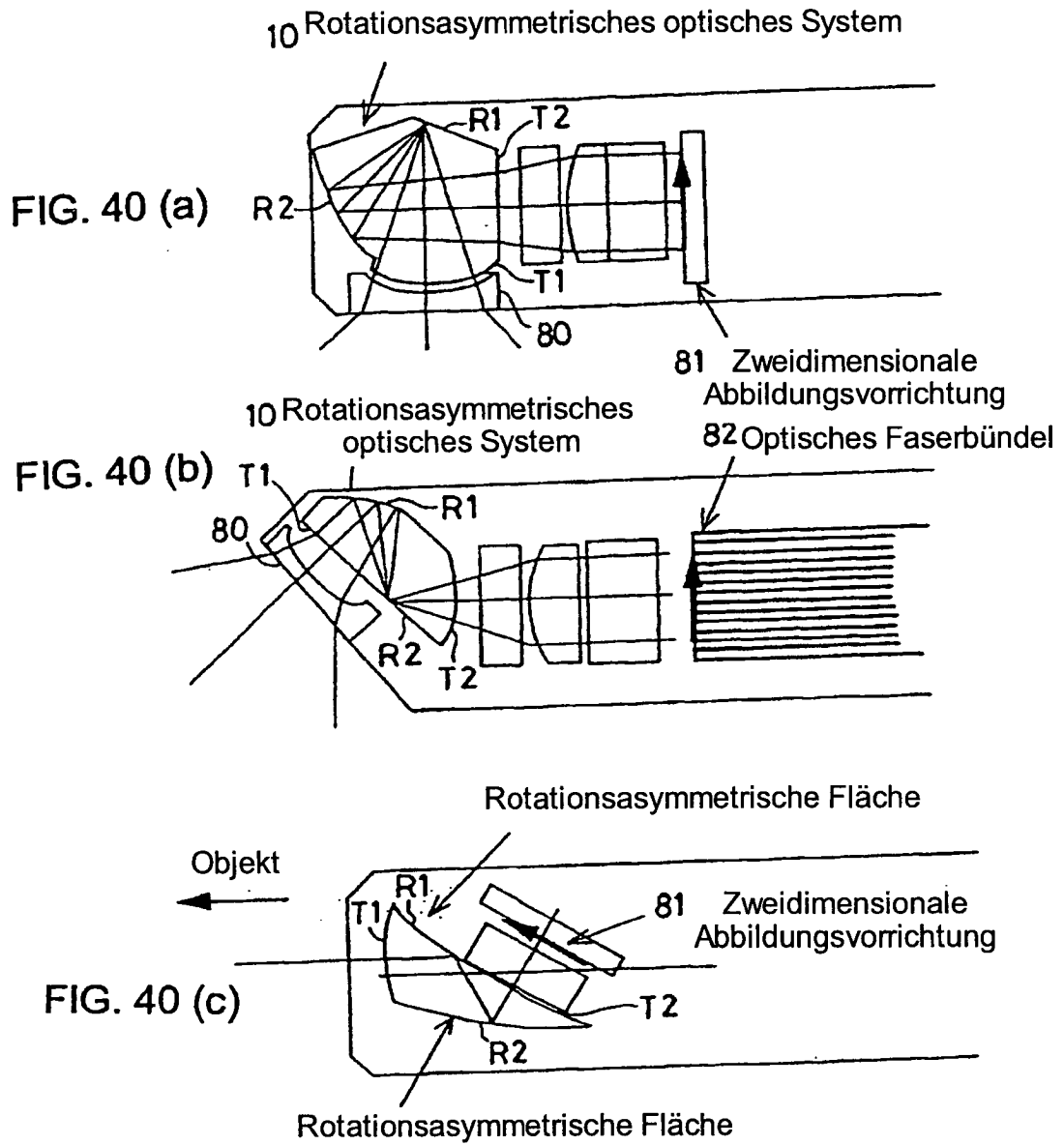
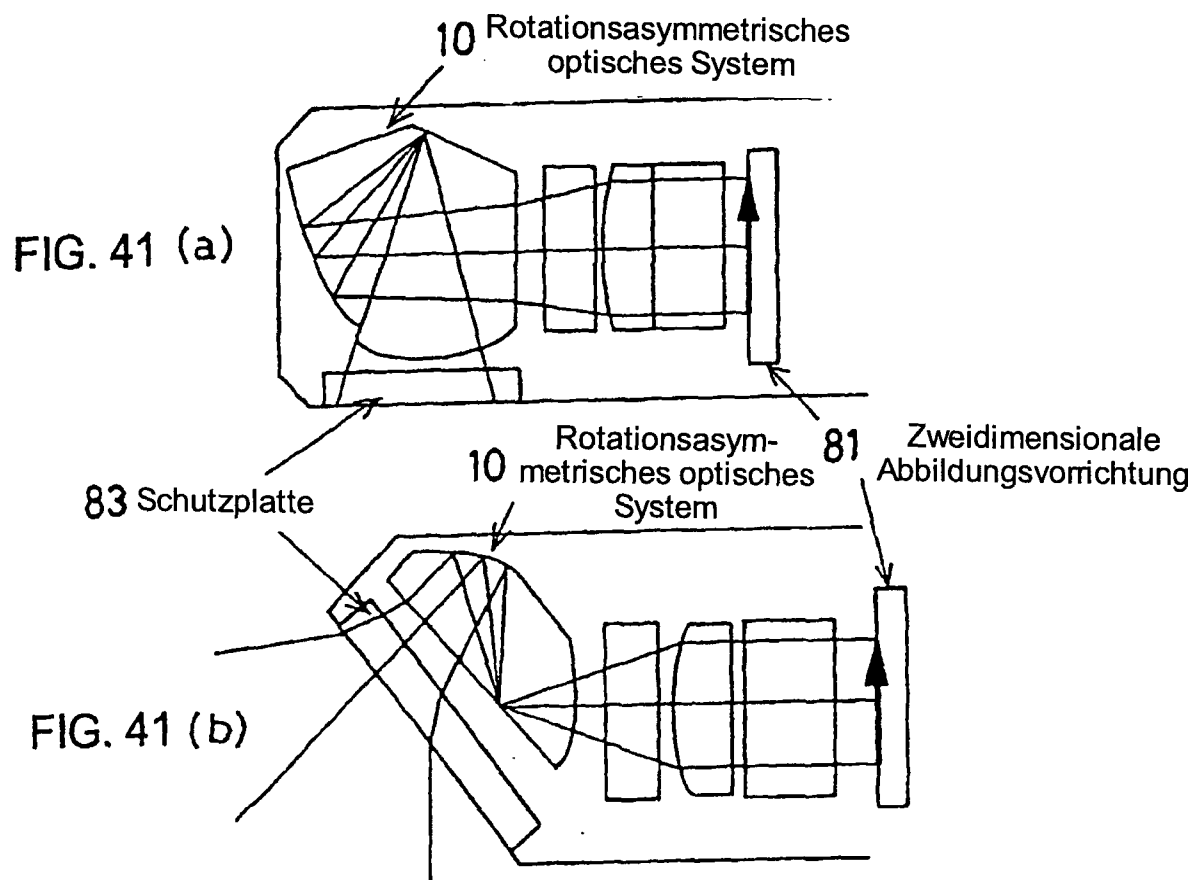


FIG. 39







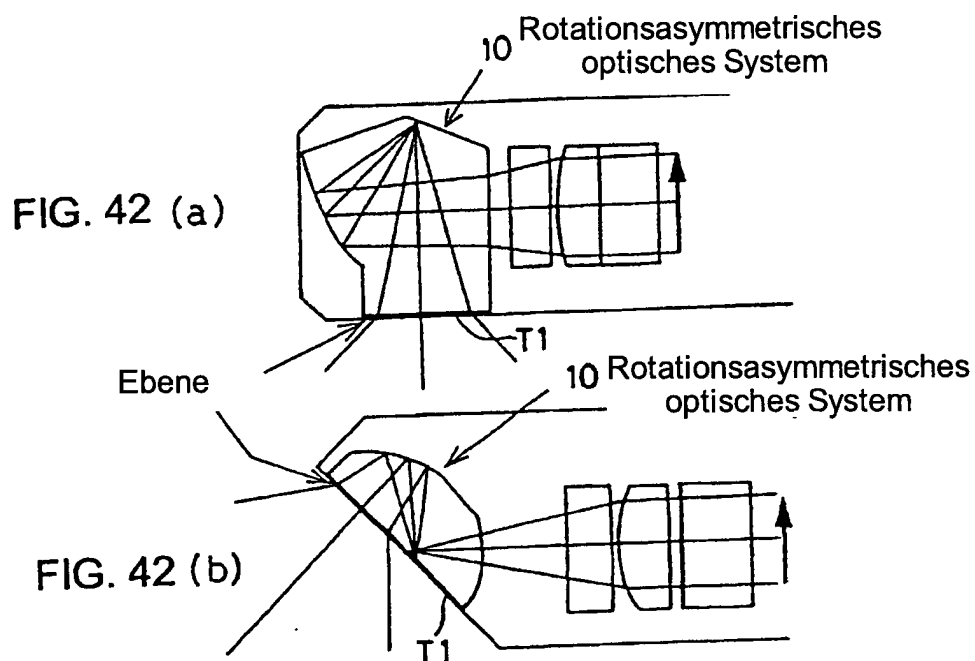
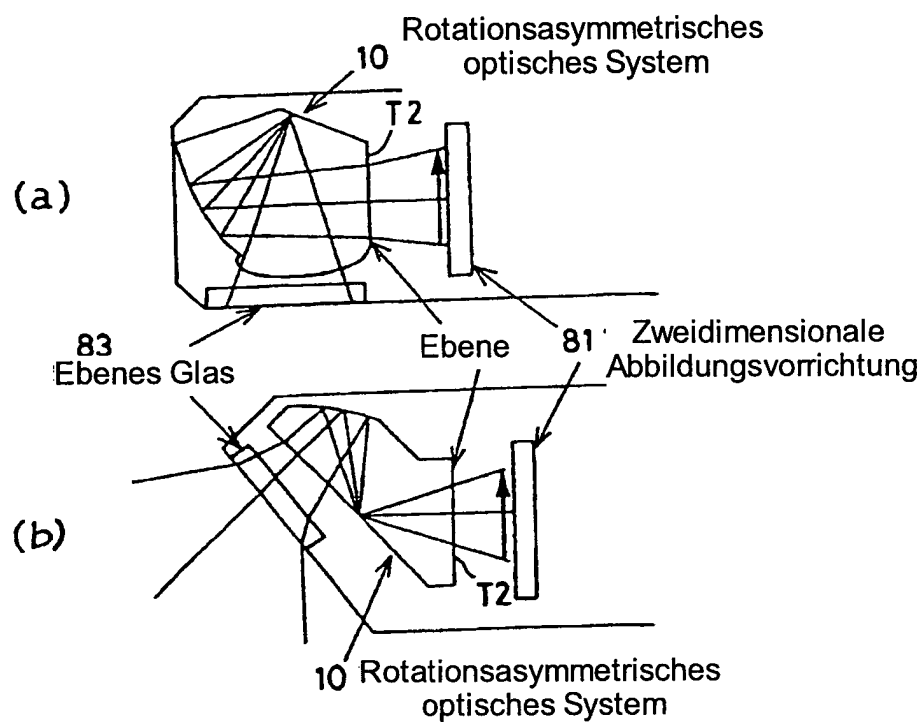


FIG. 43



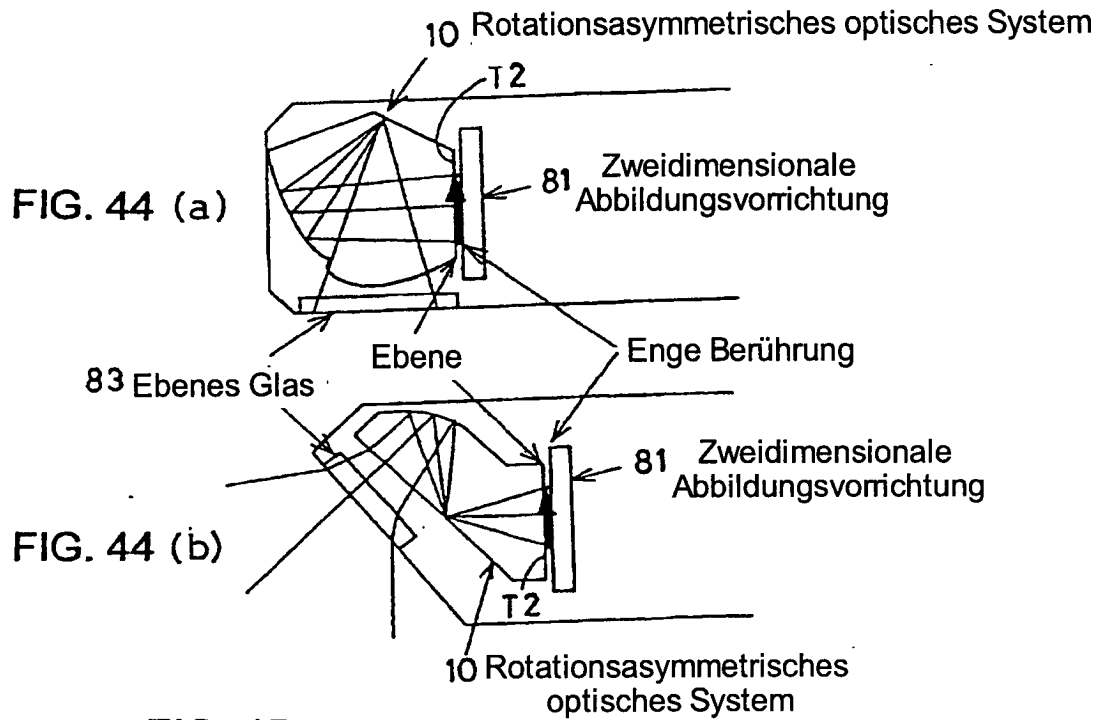
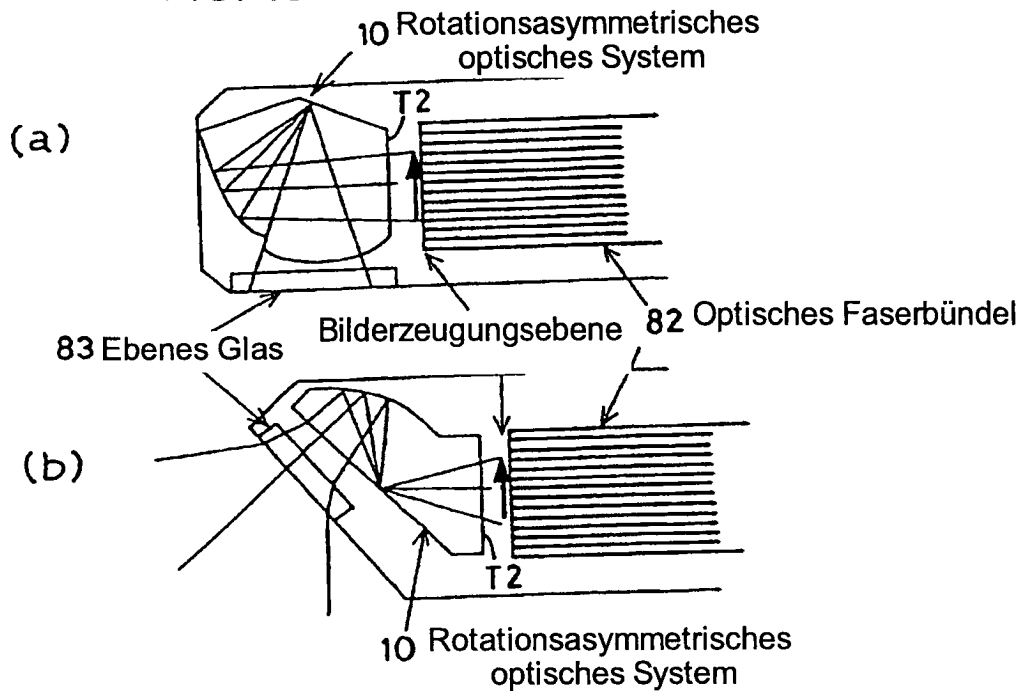
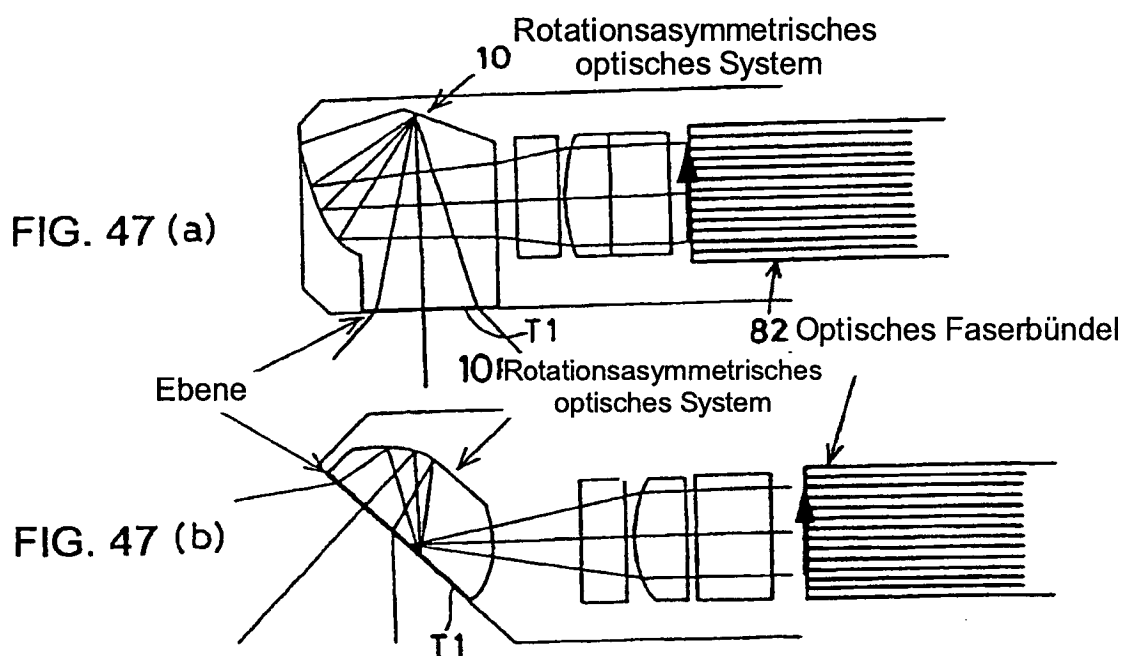
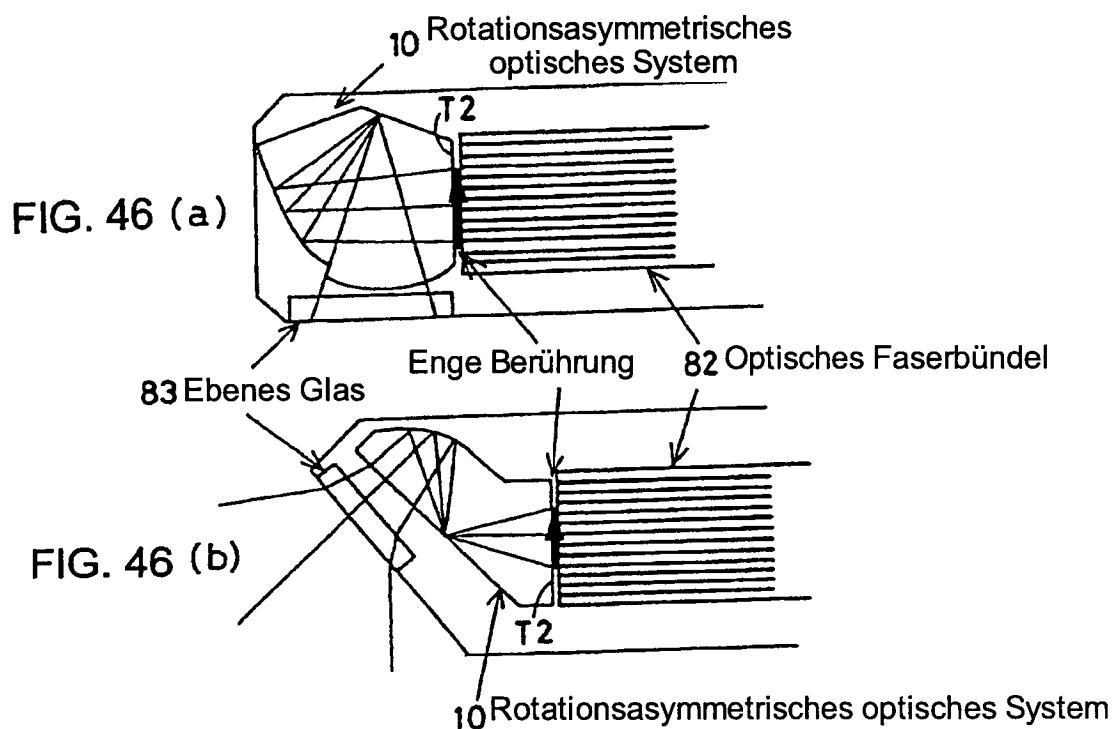


FIG. 45





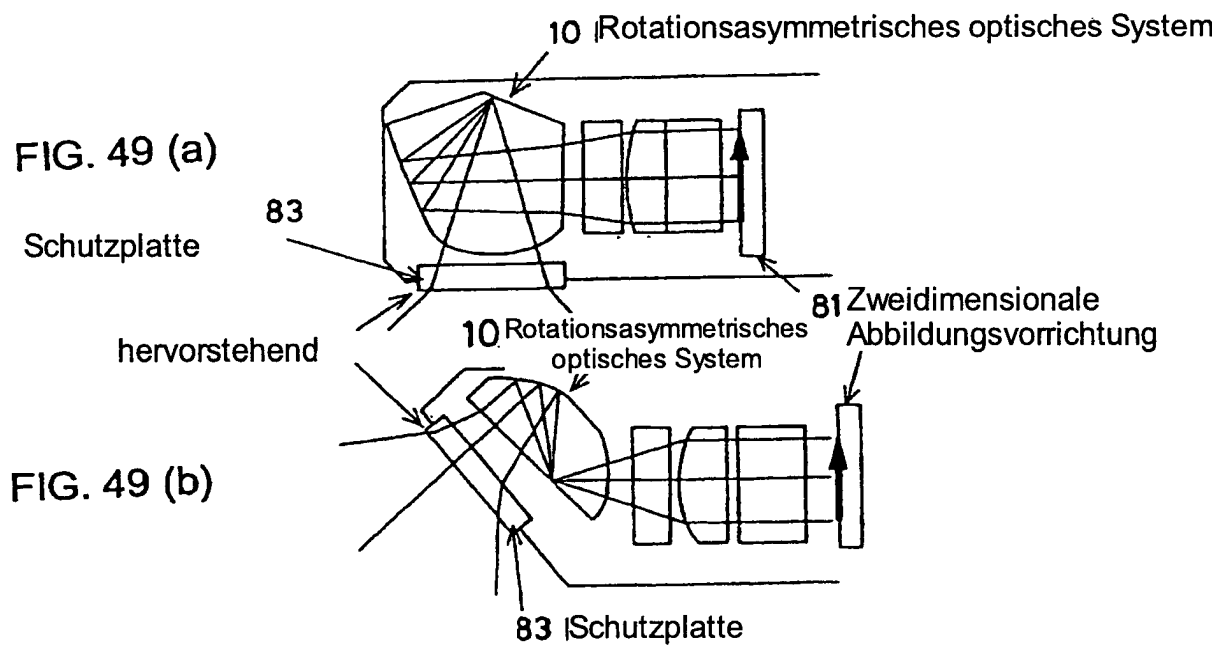
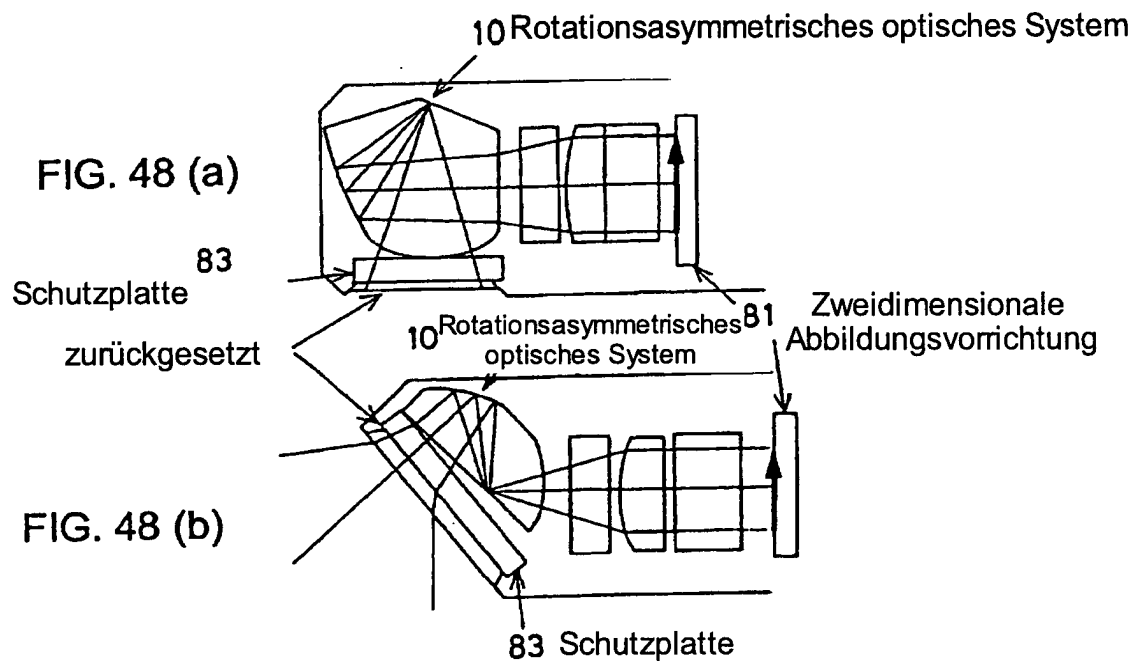


FIG. 50

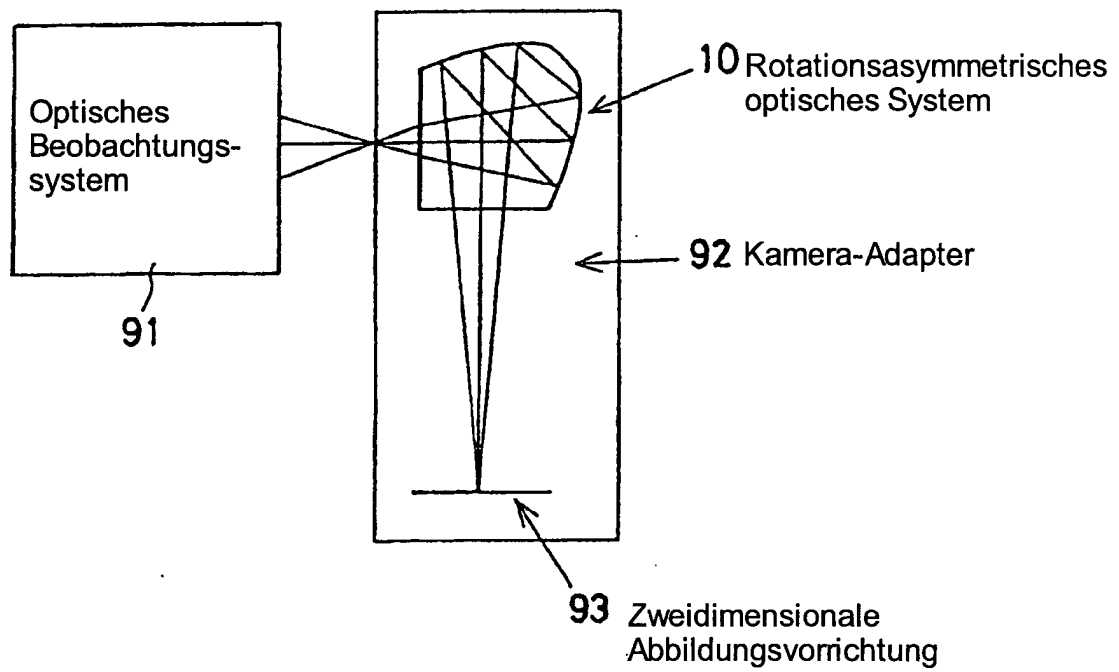


FIG. 51

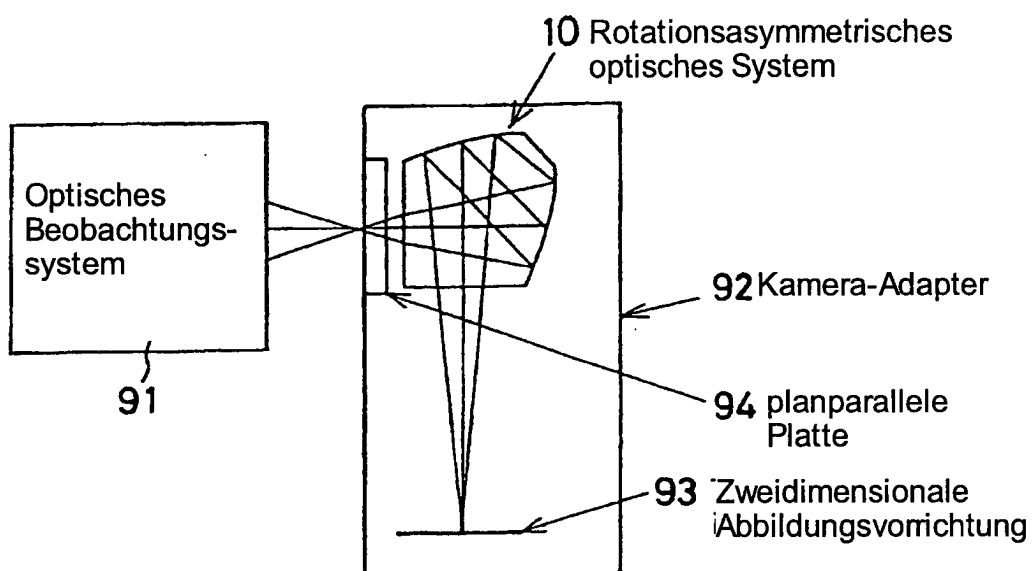


FIG. 52

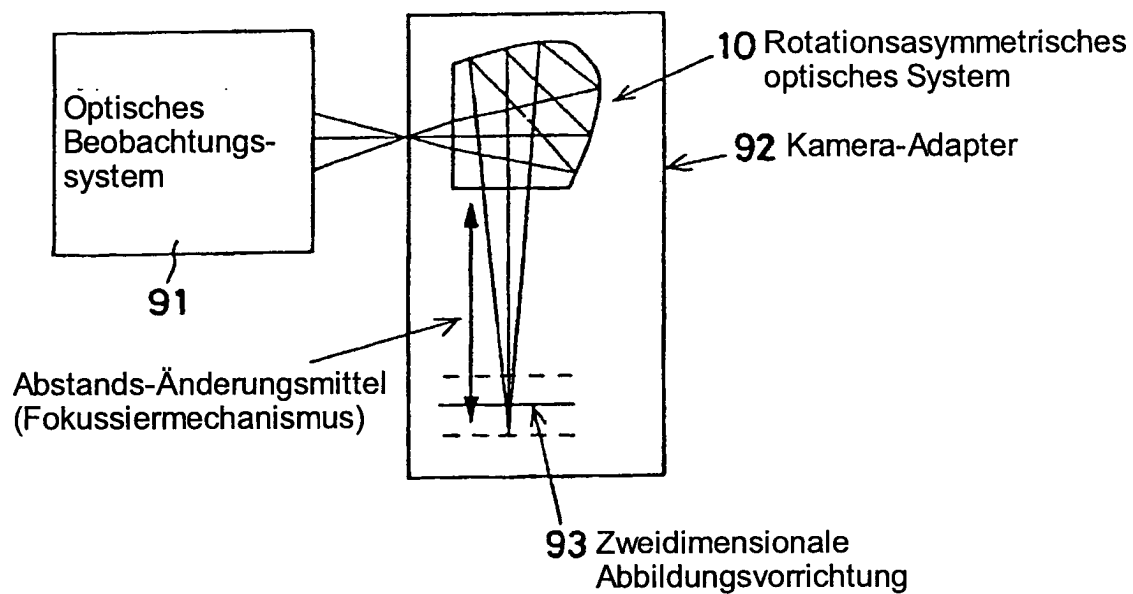


FIG. 53

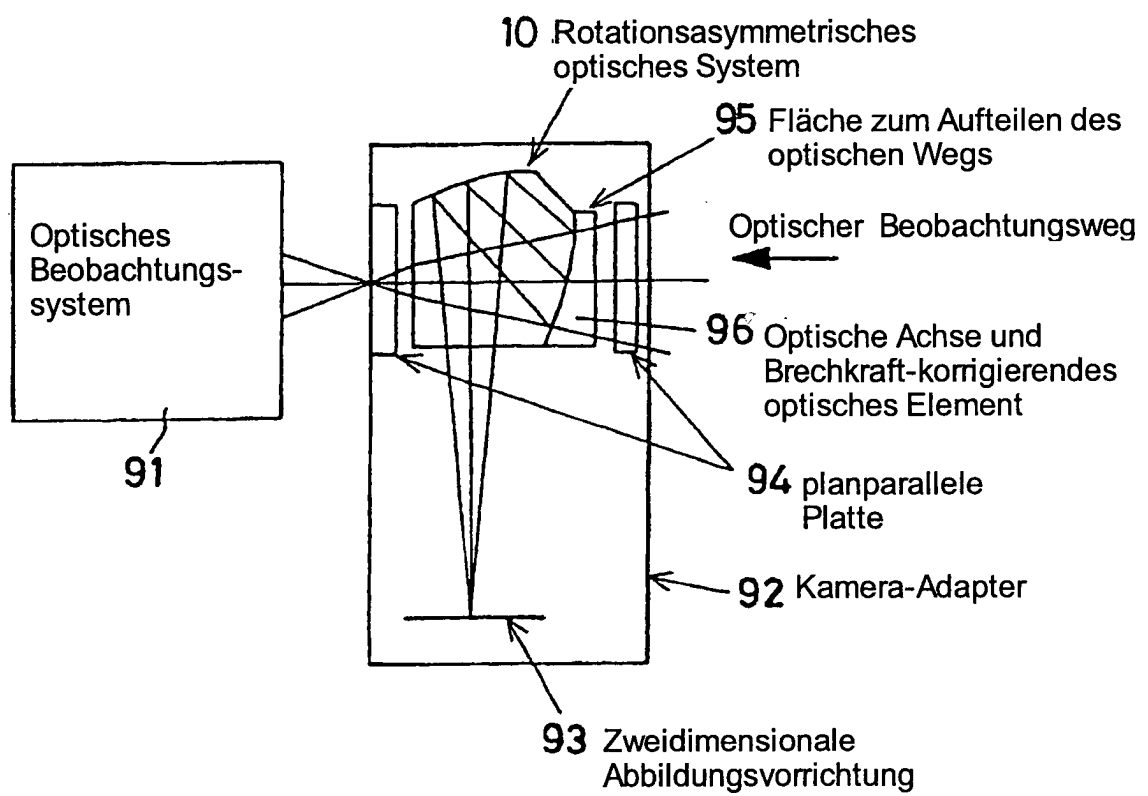


FIG. 54

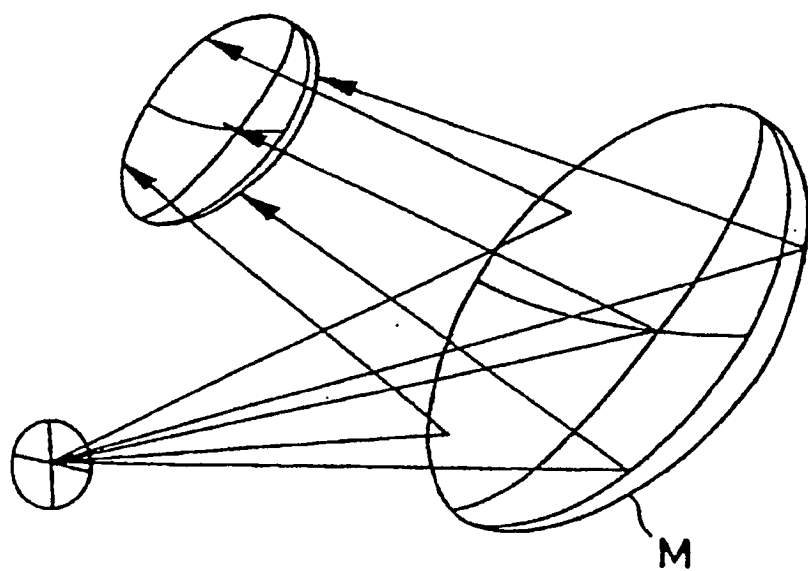


FIG. 55

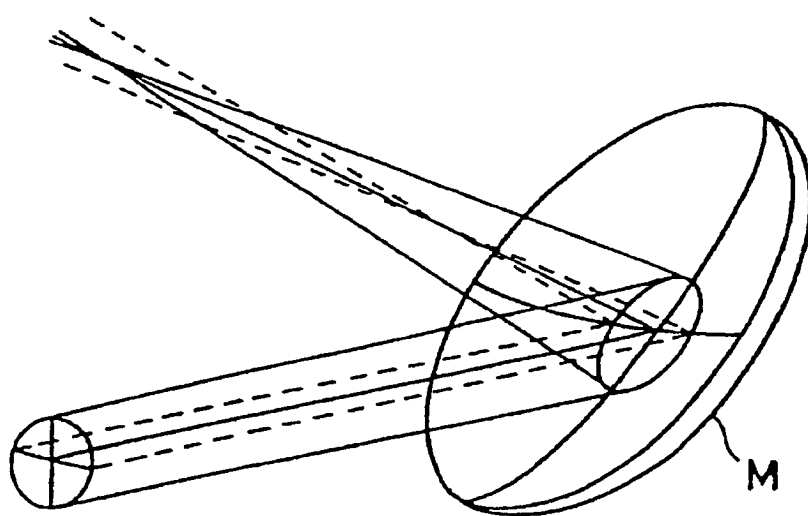


FIG. 56

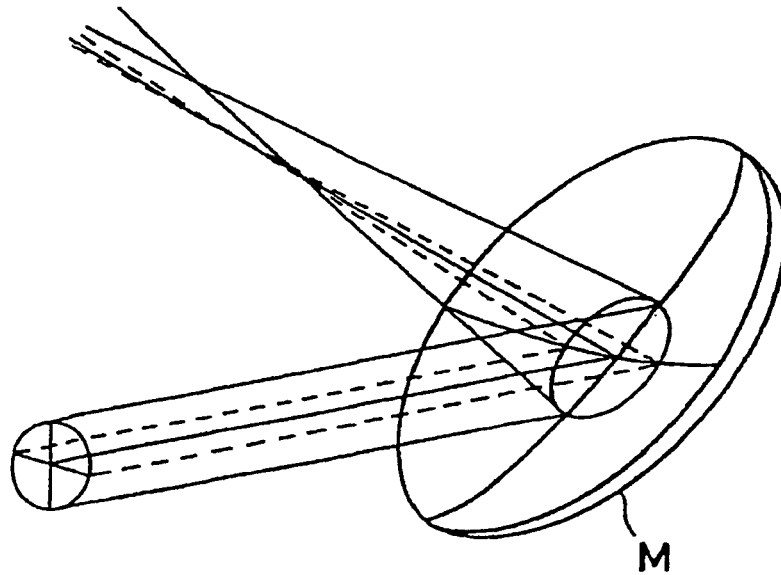


FIG. 57

