



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 30 833 T2** 2004.09.23

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 745 878 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 30 833.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 108 501.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **29.05.1996**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.12.1996**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **26.11.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.09.2004**

(51) Int Cl.7: **G02B 15/16**

G02B 15/167, G02B 15/173

(30) Unionspriorität:

13182295 30.05.1995 JP

10336896 29.03.1996 JP

(73) Patentinhaber:

Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:

**Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336
München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Hiroyuki, Hamano, Ohta-ku, Tokyo, JP

(54) Bezeichnung: **Varioobjektiv mit Fokussierung durch das hintere Linsenglied**

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

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Variobjektiv gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1, und im einzelnen ein hochwertiges Variobjektiv mit relativ großer Blendenöffnung mit Fokussierung durch das hintere Linsenglied, dessen variables Verstärkungsverhältnis etwa 10 und dessen F-Nummer beim Weitwinkelende etwa 1,8 beträgt, das für die Verwendung in fotografischen Kameras, Videokameras oder Fernsehkameras ausgelegt ist.

[0002] Für die Verwendung in fotografischen Kameras oder Videokameras gab es viele frühere Vorschläge für Variobjektive von einem Typ, bei welchem eine Linseneinheit, die sich von der Front- oder ersten Linseneinheit unterscheidet, bewegbar gemacht ist, um die Fokussierung zu bewirken; d. h., von einem Typ mit der sogenannten „Fokussierung durch das hintere Linsenglied“.

[0003] Im allgemeinen weist ein Variobjektiv mit Fokussierung durch das hintere Linsenglied im Vergleich zu einem Variobjektiv, dessen erste Linseneinheit bewegt wird, um eine Fokussierung zu bewirken, die Vorteile auf, dass der effektive Durchmesser der ersten Linseneinheit kleiner wird, um derart die kompakte Ausführung des gesamten Linsensystems auf einfache Weise zu verbessern, so dass eine Nahaufnahme, und im einzelnen eine sehr kurze Fokussierung, bequem durchgeführt werden kann, und so dass ferner ein schwächeres Antriebsdrehmoment ausreicht, um die Linseneinheit zu bewegen, und so dass von daher eine schnelle Einstellung der Fokussierung durchgeführt werden kann, da eine Linseneinheit, die zur Fokussierung verwendet wird, geringer in der Größe und leichter im Gewicht ist.

[0004] Solch ein Variobjektiv mit Fokussierung durch das hintere Linsenglied ist beispielsweise in der JP-A-62-24213 und JP-A-63-247316 offenbart, wobei das Variobjektiv in der Reihenfolge von einer Objektseite aus folgendes aufweist: eine erste Linseneinheit mit positiver Brechkraft, eine zweite Linseneinheit mit negativer Brechkraft, eine dritte Linseneinheit mit positiver Brechkraft und eine vierte Linseneinheit mit positiver Brechkraft, insgesamt vier Linseneinheiten, wobei die zweite Linseneinheit bewegt wird, um die Verstärkung zu variieren, und wobei die vierte Linseneinheit bewegt wird, um die Abbildungsverschiebung, die durch die Variation der Verstärkung hervorgerufen wird, zu kompensieren, und um die Fokussierung zu bewirken.

[0005] In der JP-A-4-43311 weist ein Variobjektiv in der Reihenfolge von einer Objektseite aus folgendes auf: eine erste Linseneinheit mit positiver Brechkraft, eine zweite Linseneinheit mit negativer Brechkraft, eine dritte Linseneinheit mit positiver Brechkraft und eine vierte Linseneinheit mit positiver Brechkraft, wobei die dritte Linseneinheit mit einer positiven Linse und einer negativen Linse in einer Gestalt des Teletypes konstruiert ist, um derart die Gesamtlänge der dritten und vierten Linseneinheit zu verkürzen.

[0006] In der JP-A-4-301612 weist ein Variobjektiv in der Reihenfolge von einer Objektseite aus folgendes auf: eine erste Linseneinheit mit positiver Brechkraft, eine zweite Linseneinheit mit negativer Brechkraft, eine dritte Linseneinheit mit positiver Brechkraft, eine vierte Linseneinheit mit positiver Brechkraft und eine fünfte Linseneinheit mit negativer Brechkraft, wobei die zweite und vierte Linseneinheit bewegt wird, um die Verstärkung zu variieren, und wobei die vierte Linseneinheit bewegt wird, um die Fokussierung zu bewirken, wobei die Gesamtlänge der dritten, vierten und fünften Linseneinheiten infolge der Verwendung der negativen fünften Linseneinheit gekürzt sind.

[0007] In den meisten Fällen erzeugt in dem Variobjektiv die Verwendung der Fokussierung durch das hintere Linsenglied die zuvor beschriebenen herausragenden Vorteile. Das heißt, die Gesamtheit des Linsensystems wird in der Masse und Größe minimalisiert. Eine rasche Fokussierung wird möglich. Ferner lässt sich eine Nahaufnahme leichter ausführen.

[0008] Hinsichtlich eines Variobjektivs, welches in der Reihenfolge von einer Objektseite aus eine erste Linseneinheit mit positiver Brechkraft, eine zweite Linseneinheit mit negativer Brechkraft, eine dritte Linseneinheit mit positiver Brechkraft und eine vierte Linseneinheit mit positiver Brechkraft aufweist, wird, wenn es versucht wird, die Gesamtlänge der dritten und vierten Linseneinheit durch Steigerung der Brechkraft der dritten Linseneinheit zu verkürzen, der Betrag der Bewegung der vierten Linseneinheit während der Fokussierung oder während der Variation der Verstärkung zu groß. Von daher entsteht bei einem Objekt bei der minimalen Entfernung ein Problem, dass sich die dritte und vierte Linseneinheit beim Zoomen zu dem Zwischenbereich der Brennweite gegenseitig mechanisch beeinträchtigen. Von daher muss der Luftspalt zwischen der dritten und vierten Linseneinheit in großem Maße verbreitert werden und die Gesamtlänge muss wesentlich länger werden.

[0009] Das in der JP-A-4-301612 (Mitglied der Patentfamilie der EP-A-0 506 108) offenbarte gewöhnliche Variobjektiv ist ein 5-Einheiten Variobjektiv, in welchem zusätzlich eine stationäre negative Linse an der Abbildungsseite der vierten Linseneinheit vorgesehen ist. In diesem Fall sind die dritten und vierten Linseneinheiten zu dem Teletyp ausgebildet, um derart die Gesamtlänge des gesamten Linsensystems zu verkürzen. Weil jedoch eine Blendenöffnung bzw. eine Apertur-Blende zwischen der zweiten und dritten Linseneinheit angeordnet ist, ist es notwendig, den Zwischenraum, wo ein Lichtbündel hinter der zweiten Linseneinheit stark divergiert, wesentlich zu verbreitern.

[0010] Weiterhin führt diese Anordnung zu einem Anwachsen der Variation von Aberrationen bzw. Abbildungsfehlern während der Variation der Verstärkung oder während der Fokussierung. Von daher ist es sehr

schwierig, gleichzeitig die Erfordernisse hinsichtlich des Erreichens von Verbesserungen der kompakten Ausführung und hinsichtlich des Beibehaltens einer guten Stabilität von hohem optischen Leistungsvermögen durchweg zu erfüllen.

[0011] Die JP-A-06 337 375 zeigt ein Variobjektiv, welches folgendes aufweist: eine erste Linseneinheit mit einer positiven Brechkraft, eine zweite Linseneinheit mit einer negativen Brechkraft, eine dritte Linseneinheit mit einer positiven Brechkraft, eine vierte Linseneinheit mit einer positiven Brechkraft und eine fünfte Linseneinheit mit einer negativen Brechkraft. Die zweite Linseneinheit ist zum Variieren der Verstärkung feststehend. Die dritte und die vierte Linseneinheit werden bewegt, um die Verstärkung zu variieren. Die vierte Linseneinheit ist bewegbar, um die Fokussierung zu bewirken. Eine Apertur-Blende ist in einem Zwischenraum zwischen der dritten Linseneinheit und der vierten Linseneinheit angeordnet.

[0012] Die US-A-4 094 586 zeigt, dass eine Apertur-Blende in einem Zwischenraum zwischen einer dritten Linseneinheit und einer vierten Linseneinheit angeordnet werden kann, aber auch hier bleibt zum Variieren der Verstärkung die dritte Linseneinheit stationär.

[0013] Von daher liegt eine Aufgabe der Erfindung darin, ein Variobjektiv mit Fokussierung durch das hintere Linsenglied anzugeben, wobei die Gesamtlänge des Gesamtsystems verkleinert ist, um die kompakte Ausführung zu verbessern, während weiterhin eine gute Stabilität hinsichtlich des optischen Leistungsvermögens auf einem hohen Niveau über den gesamten Zoom-Bereich und über den gesamten Fokussier-Bereich beibehalten wird.

[0014] Ein Variobjektiv gemäß der Erfindung ist im Patentanspruch 1 definiert. Die Erfindung verwendet das Verfahren der Fokussierung durch das hintere Linsenglied und vergrößert gleichzeitig die relative Apertur und den Zoom-Bereich.

[0015] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen festgelegt.

[0016] Der Gegenstand und Eigenschaften der Erfindung werden anhand der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen hiervon besser ersichtlich, welche unter Hinzunahme der beigefügten Zeichnungen dargelegt werden:

[0017] **Fig. 1** ist ein Linsen-Blockdiagramm der numerischen Beispiele 1 und 2 der Erfindung.

[0018] **Fig. 2** ist ein Linsen-Blockdiagramm eines numerischen Beispiels 3 der Erfindung.

[0019] **Fig. 3** ist ein Linsen-Blockdiagramm eines numerischen Beispiels 4 der Erfindung.

[0020] **Fig. 4(a)-1 bis 4(a)-4, Fig. 4(b)-1 bis 4(b)-4 und Fig. 4(c)-1 bis 4(c)-4** sind graphische Darstellungen der Aberrationen bzw. Abbildungsfehler des Variobjektivs des numerischen Beispiels 1.

[0021] **Fig. 5(a)-1 bis 5(a)-4, Fig. 5(b)-1 bis 5(b)-4 und Fig. 5(c)-1 bis 5(c)-4** sind graphische Darstellungen der Aberrationen bzw. Abbildungsfehler des Variobjektivs des numerischen Beispiels 2.

[0022] **Fig. 6(a)-1 bis 6(a)-4, Fig. 6(b)-1 bis 6(b)-4 und Fig. 6(c)-1 bis 6(c)-4** sind graphische Darstellungen der Aberrationen bzw. Abbildungsfehler des Variobjektivs des numerischen Beispiels 3.

[0023] **Fig. 7(a)-1 bis 7(a)-4, Fig. 7(b)-1 bis 7(b)-4 und Fig. 7(c)-1 bis 7(c)-4** sind graphische Darstellungen der Aberrationen bzw. Abbildungsfehler des Variobjektivs des numerischen Beispiels 4.

[0024] **Fig. 8** ist ein Linsen-Blockdiagramm der numerischen Beispiele 5 bis 7 der Erfindung.

[0025] **Fig. 9(a)-1 bis 9(a)-4, Fig. 9(b)-1 bis 9(b)-4 und Fig. 9(c)-1 bis 9(c)-4** sind graphische Darstellungen der Aberrationen bzw. Abbildungsfehler des Variobjektivs des numerischen Beispiels 5.

[0026] **Fig. 10(a)-1 bis 10(a)-4, Fig. 10(b)-1 bis 10(b)-4 und Fig. 10(c)-1 bis 10(c)-4** sind graphische Darstellungen der Aberrationen bzw. Abbildungsfehler des Variobjektivs des numerischen Beispiels 6.

[0027] **Fig. 11(a)-1 bis 11(a)-4, Fig. 11(b)-1 bis 11(b)-4 und Fig. 11(c)-1 bis 11(c)-4** sind graphische Darstellungen der Aberrationen bzw. Abbildungsfehler des Variobjektivs des numerischen Beispiels 4.

[0028] In den Darstellungen bezeichnet I die erste Linseneinheit, II die zweite Linseneinheit, III die dritte Linseneinheit, IV die vierte Linseneinheit und V die fünfte Linseneinheit.

[0029] In den graphischen Darstellungen steht ΔM für den meridionalen Abbildungsabschnitt, ΔS für den sagittalen Abbildungsabschnitt, d für die spektrale d-Linie und g für die spektrale g-Linie.

[0030] **Fig. 1** ist eine Längsschnittansicht, die die numerischen Beispiele 1 und 2 von Variobjektiven der Erfindung zeigt, in welchen die römische Zahl I die erste Linseneinheit mit positiver Brechkraft, die römische Zahl II die zweite Linseneinheit mit negativer Brechkraft, die römische Zahl III die dritte Linseneinheit mit positiver Brechkraft, die römische Zahl IV die vierte Linseneinheit mit positiver Brechkraft und die römische Zahl V die fünfte Linseneinheit mit negativer Brechkraft bezeichnen. Von den graphischen Darstellungen zeigen die Darstellungen von jeder Figurennummer mit dem Anhang (A), (B) oder (C) die Aberrationen bzw. Abbildungsfehler jeweils im Weitwinkel-Ende, in einer Zwischenbrennweiten-Position oder im Tele-Ende.

[0031] Während der Variation der Verstärkung vom Weitwinkel-Ende zum Tele-Ende wird zumindest die zweite Linseneinheit in Richtung der Abbildungsseite bewegt, wie es mittels des Pfeiles gezeigt wird, während simultan die vierte Linseneinheit bewegt wird, um die Verschiebung einer Abbildungsebene zu kompensieren, was durch die Variation der Verstärkung hervorgerufen wird.

[0032] Ferner wird, wenn eine Fokussierung durch das hintere Linsenglied verwendet wird, die vierte Linseneinheit entlang einer optischen Achse bewegt, um die Fokussierung zu bewirken. Für ein Objekt im Unendli-

chen oder bei der minimalen Entfernung wird in Übereinstimmung mit der Variation der Verstärkung vom Weitwinkel-Ende zum Tele-Ende die vierte Linseneinheit bewegt, um die Abbildungsverschiebung entlang eines geometrischen Ortes zu kompensieren, was jeweils mittels einer durchgezogenen Linie 4a oder mittels einer gestrichelten Linie 4b in **Fig. 1** dargestellt wird.

[0033] Es sei darauf hingewiesen, dass während der Variation der Verstärkung und während der Fokussierung die erste, dritte und fünfte Linseneinheit stationär verbleiben.

[0034] Ferner wird darauf hingewiesen, dass ebenso zumindest die erste Linseneinheit bewegt werden kann, um die Aufgabe, die die zweite Linseneinheit hat, zu verringern, nämlich Verstärkung zu variieren.

[0035] In der vorliegenden Ausführungsform ist es die vierte Linseneinheit, welcher nicht nur die Funktion des Kompensierens der Abbildungsverschiebung mit dem Zoomen sondern auch die Funktion der Fokussierung gegeben ist. Im einzelnen sind die geometrischen Orte der Bewegung der vierten Linseneinheit während der Variation der Verstärkung vom Weitwinkel-Ende zum Tele-Ende konvex zu der Objektseite gemacht, wie es mittels der Kurven 4a und 4b in **Fig. 1** gezeigt wird. Dieses stellt die effiziente Verwendung des Luftspaltes zwischen der dritten Linseneinheit und der vierten Linseneinheit sicher, wodurch in vorteilhafter Weise eine Verkürzung der Gesamtlänge des gesamten Linsensystems erzielt werden kann.

[0036] In der vorliegenden Ausführungsform wird mit der Einstellung beispielsweise im Tele-Ende die vierte Linseneinheit vorwärts bewegt, wenn von einem im Unendlichen angeordneten Objekt zu näheren Objekten fokussiert wird, wie es mittels einer geraden Linie 4c in **Fig. 1** gezeigt wird.

[0037] Ferner ist gemäß der Erfindung in dem Zwischenraum zwischen der dritten und vierten Linseneinheit eine Apertur-Blende SP zum Ermitteln der F-Nummer angeordnet, welche gemäß dem Stand der Technik in dem Zwischenraum zwischen der zweiten und dritten Linseneinheit angeordnet sein würde. Dieses führt zu einer effizienteren Verwendung des Zwischenraumes, wodurch die Feldkrümmung im Vergleich zu jener reduziert wird, die ansonsten aufgrund der Zunahme der Petzval-Summe erzeugt werden würde, wenn die Gesamtlänge der dritten bis fünften Linseneinheiten gekürzt wird.

[0038] Nachfolgend wird eine detailliertere Beschreibung hinsichtlich dieser Verwendung des Zwischenraumes gegeben. Um eine Minimierung des Zwischenraumes des Variobjektivs zu erreichen, ist es notwendig, den Gesamtbetrag der Bewegung der zweiten Linseneinheit während der Variation der Verstärkung mittels Verstärkung einer negativen Brechkraft der zweiten Linseneinheit so weit herabzusetzen, wie es das Problem der Aberrations- bzw. Abbildungsfehler-Korrektur zulässt. Dieses verursacht wiederum, dass die Divergenz des Lichtbündels von der zweiten Linseneinheit stärker wird. Um von daher die gesamte physikalische Länge der dritten bis fünften Linseneinheiten zu verkürzen, ist es effektiv, die Entfernung zwischen den Bildhauptpunkten der zweiten und dritten Linseneinheiten zu reduzieren. Im Gegensatz hierzu ist gemäß dem Stand der Technik die Apertur-Blende zwischen der zweiten und dritten Linseneinheit angeordnet, und von daher ist es notwendig, dort einen gewissen Zwischenraum für den Einbau eines Mechanismus für die Apertur-Blende sicherzustellen. Wenn es beabsichtigt ist, zwangsweise die physikalische Gesamtlänge der dritten bis fünften Linseneinheiten zu verkürzen, tritt in diesem Fall eine Notwendigkeit auf, das Tele-Verhältnis auf einen höheren Wert zu erhöhen. Aus diesem Zweck muss eine Brechkraft der negativen fünften Linseneinheit so viel stärker gemacht werden. Von daher wird die Petzval-Summe des gesamten Linsensystems, die aufgrund der Verstärkung der Brechkraft der zweiten Linseneinheit vergrößert wurde, im negativen Sinne weiter gesteigert. Daraus resultiert, dass es schwierig wird, die sagittale Feldkrümmung zu korrigieren.

[0039] Aus diesem Grund wird erfindungsgemäß die Apertur-Blende in dem Zwischenraum zwischen der dritten und vierten Linseneinheit angeordnet, um eine Verkleinerung des Zwischenraumes zwischen der zweiten und dritten Linseneinheit zu gestatten. Wiederum ist der Zwischenraum zwischen der dritten und vierten Linseneinheit verbreitert, um das negative Ansteigen der Petzval-Summe abzuschwächen, was von der Abnahme der Entfernung von der dritten Linseneinheit zur Abbildungsebene resultiert. Von daher wird die Feldkrümmung gut korrigiert, wenn die Gesamtlänge des Gesamtlinsensystems gekürzt wird.

[0040] Gemäß der Erfindung ist im einzelnen die folgende Bedingung als eine Beziehung zwischen einem Luftspalt D_{23} zwischen einer der Abbildungsseite der zweiten Linse am nächsten liegenden Linsenfläche und einer der Objektseite der dritten Linseneinheit am nächsten liegenden Linsenfläche für ein im Unendlichen angeordnetes Objekt im Tele-Ende und für eine Brennweite f_w des gesamten Variobjektivs erfüllt:

$$0,04 < D_{23}/f_w < 0,21 \quad (1)$$

[0041] Diese Bedingung gibt einen geeigneten Bereich für die Trennung zwischen zweiten und dritten Linseneinheit an, um die Verkürzung der Gesamtlänge des gesamten Variobjektivs zu ermöglichen.

[0042] Wenn der Zwischenraum zwischen der zweiten und dritten Linseneinheit die obere Grenze der Ungleichung der Bedingung (1) überschreitet, wird es schwierig, die gesamte physikalische Länge der dritten bis fünften Linseneinheiten zu verkürzen. Wenn im umgekehrten Fall die untere Grenze überschritten wird, steigt die Wahrscheinlichkeit unzulässig an, dass die Linsen bei der Nachführungseinstellung oder dergleichen miteinander kollidieren.

[0043] Ebenso fällt erfindungsgemäß die Entfernung D_s zwischen einer der Abbildungsseite der dritten Linseneinheit am nächsten liegenden Linsenfläche und der Apertur-Blende im Weitwinkel-Ende in den folgenden Bereich:

$$0,11 < D_s/f_w < 0,45 \quad (2)$$

[0044] Das Verkürzen der Gesamtlänge des gesamten Variobjektivs wird von daher effektiv durchgeführt, ohne dass die Operation der Membranblätter der Apertur-Blende beeinträchtigt werden.

[0045] Wenn die obere Grenze der Ungleichungen der Bedingung (2) überschritten wird, was bedeutet, dass die Separation zwischen der dritten Linseneinheit und der Apertur-Blende zu lang ist, wird die Entfernung von dem Frontscheitelpunkt der ersten Linseneinheit zu der Eintrittspupille größer, wodurch bewirkt wird, dass der Durchmesser des Frontlinsengliedes in unzulässiger Weise zunimmt.

[0046] Wenn im entgegengesetzten Fall die untere Grenze überschritten wird, liegen die Linsenfläche und die Apertur-Blende zu dicht beieinander, da eine Wahrscheinlichkeit des Auftretens der mechanischen Interferenzen der Apertur-Blende mit der Linsenoberfläche erzeugt wird, wenn die Membranblätter aus der Ebenheit bzw. Flachlage herausgenommen werden oder ähnliches Missgeschick auftritt. Von daher sollte dieses vermieden werden.

[0047] Für ein besseres Ergebnis wird in der vorliegenden Ausführungsform für ein Objekt im Unendlichen eine Verstärkung β_5 der fünften Linseneinheit derart ermittelt, dass sie die folgende Bedingung erfüllt:

$$1,2 < \beta_5 < 2,0 \quad (3)$$

[0048] Das optische Leistungsvermögen wird von daher beibehalten, während die Gesamtlänge des gesamten Variobjektivs verkürzt wird.

[0049] Wenn die Verstärkung der fünften Linseneinheit geringer als die untere Grenze der Ungleichungen der Bedingung (3) wird, kann der Effekt der hinreichenden Kürzung der Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs nicht erzielt werden.

[0050] Wenn im umgekehrten Fall die Verstärkung größer als die obere Grenze wird, ist dies günstig für die Verkürzung der Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs, jedoch wächst im negativen Sinne die Petzval-Summe zu stark an, so dass es schwierig wird, die Feldkrümmung zu korrigieren, und so dass die telezentrische Natur im beträchtlichen Maße zusammenbricht. Dieses ist für die Videokamera oder dergleichen kaum geeignet.

[0051] Um die Gesamtlänge der dritten bis fünften Linseneinheiten zu verkürzen, während gleichzeitig das optische Leistungsvermögen auf einem bestimmten Pegel gehalten werden kann, wird in bevorzugter Weise die folgende Bedingung erfüllt:

$$2,1 < f_3/f_w < 3,4 \quad (4)$$

, wobei f_3 die Brennweite der dritten Linseneinheit und f_w die Brennweite im Weitwinkel-Ende des gesamten Variobjektivs ist.

[0052] Die Ungleichungen der Bedingung (4) geben einen geeigneten Bereich für die Brennweite der dritten Linseneinheit an. Wenn die untere Grenze überschritten wird, was bedeutet, dass die Brechkraft der dritten Linseneinheit zu stark ist, passiert es in einigen Fällen, dass eine nicht hinreichende Korrektur der sphärischen Operation und Koma resultiert. In anderen Fällen wird es schwierig, die hintere bildseitige Brennweite sicherzustellen.

[0053] Wenn im umgekehrten Fall die obere Grenze überschritten wird, resultiert eine nicht hinreichende Verkürzung der Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs.

[0054] In der vorliegenden Ausführungsform verlässt sich ferner die Verkürzung der Gesamtlänge der dritten bis fünften Linseneinheiten auf die Minimierung der Bewegung der vierten Linseneinheit. In dieser Hinsicht wird in bevorzugter Weise die folgende Bedingung erfüllt:

$$1,5 < f_4/f_w < 3,1 \quad (5)$$

, wobei f_4 eine Brennweite der vierten Linseneinheit ist.

[0055] Die Ungleichungen der Bedingung (5) geben einen geeigneten Bereich für die Brennweite der vierten Linseneinheit an. Wenn die untere Grenze überschritten wird, was bedeutet, dass die Brechkraft der vierten Linseneinheit zu stark ist, resultiert eine große Variation der sphärischen Aberration während der Variation der Verstärkung. Wenn im umgekehrten Fall die obere Grenze überschritten wird, wird die Bewegung der vierten Linseneinheit um so viel länger, dass aufgrund der Notwendigkeit des Vergrößerns des Luftspaltes zwischen der dritten und vierten Linseneinheit ein hinreichender Effekt der Verkürzung der Gesamtlänge des vollständigen

gen Variobjektivs nicht erzeugt wird.

[0056] Auch leistet in dem Variobjektiv der vorliegenden Ausführungsform die Verkürzung der Linsenlänge eines Zoom-Abschnitts einen Beitrag für eine weitere Verkürzung der Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs. Aus diesem Grund wird in bevorzugter Weise die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,2 < |f_2/\sqrt{(f_w \cdot f_T)}| < 0,3 \quad (6)$$

, wobei f_2 eine Brennweite der zweiten Linseneinheit und f_T eine Brennweite im Tele-Ende des gesamten Variobjektivs ist.

[0057] Die Ungleichungen der Bedingung (6) hängen mit der Brechkraft der zweiten Linseneinheit zusammen und sie dienen einem Zweck, in vorteilhafter Weise ein bestimmtes variables Verstärkungsverhältnis derart zu erzielen, dass die Aberrationen bzw. Abbildungsfehler beim Zoomen stabil bleiben.

[0058] Wenn die untere Grenze überschritten wird, was bedeutet, dass die Brechkraft der zweiten Linseneinheit zu stark ist, wird es einfach, die kompakte e. Form des gesamten Linsensystems zu verbessern, jedoch wächst die Petzval-Summe in die negativen Richtung an. Somit resultiert eine starke Feldkrümmung. Darüber hinaus wird mit dem Zoomen die Variation von Aberrationen größer. Wenn, wie beim Überschreiten der oberen Grenze, die Brechkraft der zweiten Linseneinheit zu schwach ist, wird die Stabilität der Aberrationen über den gesamten variablen Verstärkungsbereich besser, jedoch wächst zum Erzeugen des bestimmten variablen Verstärkungsverhältnisses die erforderliche Totalzoombewegung an, wodurch die Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs in unzulässiger Weise zunimmt.

[0059] Die obig beschriebenen Bedingungen genügen, um das Variobjektiv der vorliegenden Ausführungsform zu erzielen. Jedoch ist es wichtig, die Dicke einer jeden Linseneinheit selber herabzusetzen, wenn die Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs verkürzt wird.

[0060] Demgemäß wird in der vorliegenden Ausführungsform die Anzahl der Linsenelemente herabgesetzt. Aus diesem Grund werden in bevorzugter Weise bei einigen der Linseneinheiten, im einzelnen bei der dritten und vierten Linseneinheit, asphärische Oberflächen eingeführt.

[0061] Im einzelnen ist es bevorzugt, dass die dritte Linseneinheit in der Gestalt einer einzelnen Linse konstruiert ist, die zumindest eine asphärische Oberfläche aufweist, und die vierte Linseneinheit wird mit einer negativen Meniskuslinse und einer positiven Linse, insgesamt zwei Linsen, aufgebaut.

[0062] Für die erste Linseneinheit ist es ebenso bevorzugt, dass eine negative Linse der ersten Linseneinheit unter Verwendung eines Glasmaterials hergestellt wird, dessen Abbe-Zahl v_{1N} innerhalb des folgenden Bereiches liegt

$$v_{1N} < 23$$

[0063] Dadurch wird der achromatische Effekt erhöht, um die Verringerung der Dicken der positiven Linsen der ersten Linseneinheit zu gestatten.

[0064] Als eine Regel ist die erste Linseneinheit aus einer Plus-Minus gefestigten Linse und einer positiven Meniskuslinse aufgebaut. Wie jedoch in dem numerischen Beispiel 3 gezeigt wird, kann die gefestigte Linse in einem gebrochenen Kontakt hergestellt sein. Der resultierende Luftspalt zwischen seiner positiven und negativen Linse verschiebt den hinteren Bildhauptpunkt der ersten Linseneinheit in Richtung der zweiten Linseneinheit, wodurch der Zwischenraum zwischen der ersten und zweiten Linseneinheit reduziert wird. Gerade dadurch ist es, wenn der maximale Feldwinkel erhöht wird, ebenso möglich, dass resultierende Anwachsen des Durchmessers des Frontlinsengliedes auf ein Minimum zu unterdrücken, vorausgesetzt, dass der reale Zwischenraum zwischen der ersten und zweiten Linseneinheit auf den gleichen beibehalten wird.

[0065] Ebenso kann, wie es in dem numerischen Beispiel 4 gezeigt wird, die gefestigte negative Linse der zweiten Linseneinheit in zwei Linsen oder negative und positive Linsen eingeteilt werden, um den Freiheitsgrad hinsichtlich der Aberrationskorrektur zu erhöhen.

[0066] Als nächstes werden die numerischen Beispiele 1 bis 4 der Erfindung gezeigt. In den Daten für die numerischen Beispiele 1 bis 4 ist, wenn von der Objekt-Seite gezählt wird, R_i der Krümmungsradius der i -ten Linsenoberfläche, D_i ist, wenn von der Objektseite gezählt wird, die i -te axiale Dicke oder Luftzwischenraum, und N_i und v_i sind jeweils der Brechungsindex und die Abbe-Zahl des Glases des i -ten Linsenelementes, wenn von der Objektseite gezählt wird.

[0067] Die Werte der Faktoren in den obig beschriebenen Bedingungen (1) bis (6) für die numerischen Beispiele 1 bis 4 sind in der Tabelle 1 aufgelistet.

[0068] In den numerischen Beispielen 1 bis 4 sei darauf hingewiesen, dass die letzten beiden Flächen eine ebene Platte oder ähnliches Glasmaterial definieren.

[0069] In Koordinaten mit einer X-Achse in axialer Richtung und einer H-Achse in Richtung senkrecht zur optischen Achse, jene Richtung, in welcher die Lichtausbreitung als positiv angenommen wird, wird die Formgebung der asphärischen Fläche durch die folgende Gleichung ausgedrückt:

$$X = \frac{(1/R_0)H^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)(H/R_0)^2}} + BH^4 + CH^6 + DH^8 + EH^{10}$$

, wobei R_0 der Radius der oskulierenden Ebene bzw. Sphäre, und K, B, C, D und E die asphärischen Koeffizienten sind.

[0070] In den Werten der asphärischen Koeffizienten bedeutet die Bezeichnung „e-0X“ 10^{-x} .

Numerisches Beispiel 1:

$f = 1-10.00$	$Fno = 1.85-2.92$	$2\omega = 61.7^\circ-6.8^\circ$	
R 1= 18.690	D 1= 0.17	N 1= 1.922862	v 1= 20.9
R 2= 4.029	D 2= 0.96	N 2= 1.804000	v 2= 46.6
R 3= -14.339	D 3= 0.04		
R 4= 3.086	D 4= 0.47	N 3= 1.834000	v 3= 37.2
R 5= 6.498	D 5= Variabel		
R 6= 5.981	D 6= 0.12	N 4= 1.882997	v 4= 40.8
R 7= 1.016	D 7= 0.46		
R 8= -1.218	D 8= 0.12	N 5= 1.719995	v 5= 50.3
R 9= 1.422	D 9= 0.46	N 6= 1.846659	v 6= 23.8
R10= -7.075	D10= Variabel		
R11= * 1.644	D11= 0.48	N 7= 1.583126	v 7= 59.4
R12= 73.171	D12= 0.24		
R13= Blende	D13= 1.04		
R14= 1.627	D14= 0.12	N 8= 1.922862	v 8= 20.9
R15= 0.947	D15= 0.60	N 9= 1.669100	v 9= 55.4
R16= *-4.871	D16= Variable		
R17= *-9.100	D17= 0.12	N10= 1.693501	v10= 53.2
R18= * 3.575	D18= 0.18		
R19= ∞	D19= 0.85	N11= 1.516330	v11= 64.2
R20= ∞			

*Asphärische Fläche

Variable Separation	Brennweite		
	1.00	4.94	10.00
D 5	0.18	2.10	2.64
D10	2.61	0.69	0.15
D13	1.04	0.57	1.04
D16	0.20	0.66	0.20

Asphärische Koeffizienten

R11: K=-1.45427e+00 B= 8.91569e-03 C=-4.15132e-03
 D= 7.13161e-03 E=-3.44434e-03
 R16: K=-8.98929e+01 B=-2.02245e-02 C= 9.71386e-02
 D=-1.70265e-01 E= 1.40666e-01
 R17: K=-8.05849e+01 B= 5.51375e-02 C= 2.95819e-02
 R18: K=-4.60478e+01 B= 1.59286e-01 C= 6.72773e-02
 D=-1.81626e-02

Numerisches Beispiel 2:

f= 1-10.00 Fno= 1.85-2.96 2 ω = 61.7°-6.8°
 R 1= 11.494 D 1= 0.17 N 1= 1.846659 v 1= 23.8
 R 2= 3.664 D 2= 1.05 N 2= 1.696797 v 2= 55.5
 R 3= -19.061 D 3= 0.04

R 4= 3.067 D 4= 0.53 N 3= 1.804000 v 3= 46.6
 R 5= 7.666 D 5= Variabel
 R 6= 6.899 D 6= 0.12 N 4= 1.882997 v 4= 40.8
 R 7= 0.916 D 7= 0.48
 R 8= -1.179 D 8= 0.12 N 5= 1.603112 v 5= 60.7
 R 9= 1.469 D 9= 0.42 N 6= 1.846659 v 6= 23.8
 R10= -18.570 D10= Variabel
 R11= * 1.443 D11= 0.54 N 7= 1.583126 v 7= 59.4
 R12= 14.480 D12= 0.17
 R13= Blende D13= 0.75
 R14= 1.605 D14= 0.12 N 8= 1.922862 v 8= 20.9
 R15= 0.906 D15= 0.77 N 9= 1.669100 v 9= 55.4
 R16= *-3.936 D16= Variabel
 R17= -9.235 D17= 0.12 N10= 1.669100 v10= 55.4
 R18= * 2.700 D18= 0.18
 R19= ∞ D19= 0.85 N11= 1.516330 v11= 64.2
 R20= ∞
 *Asphärische Fläche

Variable Separation	Brennweite		
	1.00	3.11	10.00
D 5	0.17	1.59	2.53
D10	2.46	1.04	0.15
D13	0.75	0.36	0.75
D16	0.17	0.56	0.17

Asphärische Koeffizienten:

R11: K=-2.31116e+00 B= 4.83193e-02 C=-4.74943e-03
 R16: K=-3.07809e+01 B= 4.77650e-02 C=-7.49379e-03
 R18: K=-6.41600e+01 B= 2.59340e-01 C=-2.45854e-01
 D= 2.99765e-02

Numerisches Beispiel 3:

$f = 1-10.00$ $F_{no} = 1.85-3.10$ $2\omega = 61.7^\circ-6.8^\circ$
R 1= 16.869 D 1= 0.17 N 1= 1.846659 v 1= 23.8
R 2= 4.043 D 2= 0.04
R 3= 4.223 D 3= 0.91 N 2= 1.696797 v 2= 55.5
R 4= -13.739 D 4= 0.04
R 5= 3.050 D 5= 0.54 N 3= 1.804000 v 3= 46.6
R 6= 8.666 D 6= Variabel
R 7= 7.481 D 7= 0.12 N 4= 1.882997 v 4= 40.8
R 8= 0.965 D 8= 0.48
R 9= -1.187 D 9= 0.12 N 5= 1.603112 v 5= 60.7
R10= 1.528 D10= 0.42 N 6= 1.846659 v 6= 23.8
R11= -34.635 D11= Variabel
R12= * 1.430 D12= 0.54 N 7= 1.583126 v 7= 59.4
R13= 14.198 D13= 0.17
R14= Blende D14= 0.72
R15= 1.662 D15= 0.12 N 8= 1.922862 v 8= 20.9
R16= 0.954 D16= 0.00
R17= * 0.950 D17= 0.76 N 9= 1.669100 v 9= 55.4
R18= *-3.568 D18= Variabel
R19= -10.330 D19= 0.12 N10= 1.669100 v 10= 55.4
R20= * 2.322 D20= 0.18
R21= ∞ D21= 0.85 N11= 1.516330 v 11= 64.2
R22= ∞
Asphärische Fläche

Variable Separation	Brennweite		
	1.00	3.11	10.00
D 6	0.17	1.59	2.53
D11	2.46	1.04	0.10
D14	0.72	0.34	0.72
D18	0.17	0.55	0.17

Asphärische Koeffizienten:

R12: K=-1.36277e+00 B= 1.70026e-02 C= 5.08443e-04
R17: K=-2.02067e-03 B=-3.69901e-02 C= 1.18705e-02
R18: K=-1.84083e+01 B= 1.52775e-02 C= 2.53454e-02
R20: K=-4.11618e+01 B= 3.02257e-01 C=-3.40681e-01
D= 1.61989e-01

Numerisches Beispiel 4:

f= 1-9.99 Fno= 1.85-2.86 2 ω = 61.7°-6.8°
R 1= 12.939 D 1= 0.17 N 1= 1.846659 v 1= 23.8
R 2= 3.198 D 2= 1.12 N 2= 1.772499 v 2= 49.6
R 3= -34.756 D 3= 0.04
R 4= 3.098 D 4= 0.54 N 3= 1.834000 v 3= 37.2
R 5= 7.669 D 5= Variable
R 6= 7.434 D 6= 0.12 N 4= 1.772490 v 4= 49.6
R 7= 0.938 D 7= 0.41
R 8= -1.654 D 8= 0.12 N 5= 1.696797 v 5= 55.5
R 9= 2.011 D 9= 0.21
R10= 2.401 D10= 0.28 N 6= 1.846659 v 6= 23.8
R11= 18.973 D11= Variable
R12= * 1.540 D12= 0.54 N 7= 1.583126 v 7= 59.4
R13= 106.655 D13= 0.17
R14= Blende D14= 0.75
R15= 1.628 D15= 0.12 N 8= 1.922862 v 8= 20.9
R16= 0.949 D16= 0.00
R17= * 0.958 D17= 0.76 N 9= 1.669100 v 9= 55.4
R18= *-3.722 D18= Variable
R19= -4.758 D19= 0.12 N10= 1.669100 v10= 55.4
R20= * 3.071 D20= 0.18
R21= ∞ D21= 0.85 N11= 1.516330 v11= 64.2
R22= ∞
Asphärische Fläche

Variable Separation	Brennweite		
	1.00	3.04	9.99
D 5	0.17	1.59	2.53
D11	2.46	1.04	0.10
D14	0.75	0.41	0.76
D18	0.17	0.52	0.17

Asphärische Koeffizienten:

R12: K=-1.27736e+00 B= 9.21876e-03 C= 1.00869e-03

R17: K= 4.28007e-02 B=-2.40038e-02 C= 1.08291e-02

R18: K=-3.57091e+01 B=-1.56404e-03 C= 6.45822e-02

R20: K=-6.28598e+01 B= 1.76148e-01 C=-1.28981e-01

D=-1.22038e-01

Tabelle 1

Bedingung	Numerisches Beispiel			
	1	2	3	4
D_{23}/f_w	0.146	0.0976	0.0976	0.0976
D_s/f_w	0.244	0.171	0.171	0.171
β_s	1.446	1.494	1.554	1.557
f_3/f_w	2.879	2.707	2.685	2.675
f_4/f_w	2.347	2.248	2.184	2.211
$ f_2/\sqrt{f_w \cdot f_T} $	0.274	0.262	0.262	0.262

[0071] Eine andere Ausführungsform der Erfindung wird als Verbesserung gegenüber der obig beschriebenen Ausführungsform beschrieben.

[0072] Unter Bezugnahme auf Fig. 8 weist ein Variobjektiv in der Reihenfolge von einer Objektseite aus folgendes auf: eine erste Linseneinheit L1 mit positiver Brechkraft, eine zweite Linseneinheit L2 mit negativer Brechkraft, eine dritte Linseneinheit L3 mit positiver Brechkraft, eine vierte Linseneinheit L4 mit positiver Brechkraft und eine fünfte Linseneinheit L5 mit negativer Brechkraft. Eine Apertur-Blende SP ist in dem Zwischenraum zwischen der dritten Linseneinheit L3 und der vierten Linseneinheit L4 angeordnet. FP steht für die Brennebene.

[0073] Während der Variation der Verstärkung vom Weitwinkel-Ende zum Tele-Ende, wird, wie es mittels des Pfeiles angezeigt ist, die zweite Linseneinheit axial in Richtung der Abbildungsseite bewegt, während die vierte Linseneinheit bewegt wird, um die aufgrund der Variation der Verstärkung verursachte Abbildungsverschiebung zu kompensieren. Die Fokussierung wird durch axiale Bewegung der vierten Linseneinheit durchgeführt. Das heißt, es wird eine Fokussierung durch das hintere Linsenglied verwendet.

[0074] Eine durchgezogene Kurve 4a und eine gestrichelte Kurve 4b zeigen in Fig. 8 die geometrischen Orte der Bewegung an, die erforderlich ist, um die Abbildungsverschiebung aufgrund des jeweiligen Zoomens auf ein Objekt im Unendlichen und auf die minimale Distanz zu kompensieren. Es sei darauf hingewiesen, dass

während der Variation der Verstärkung und während der Fokussierung die erste, dritte und fünfte Linseneinheit stationär verbleiben.

[0075] Im einzelnen wird in der vorliegenden Ausführungsform die Zoom-Bewegung der vierten Linseneinheit vom Weitwinkel-Ende zum Tele-Ende durchgeführt, um einen geometrischen Ort zu beschreiben, der, wie es durch die Kurven 4a und 4b in **Fig. 8** gezeigt wird, konvex in Richtung der Objektseite ist, da die vierte Linseneinheit zum Kompensieren der Abbildungsverschiebung mit dem Zoomen ebenso die Funktion der Fokussierung übernimmt. Der Zwischenraum zwischen der dritten und vierten Linseneinheit wird von daher effizient verwendet, um in vorteilhafter Weise eine Verkürzung der Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs zu erreichen.

[0076] In der vorliegenden Ausführungsform wird mit der Einstellung beispielsweise im Tele-Ende die vierte Linseneinheit vorwärts bewegt, wie es mittels einer geraden Linie 4c in **Fig. 8** gezeigt wird, wenn von einem im Unendlichen liegenden Objekt auf nähere Objekte fokussiert wird.

[0077] In Verbindung mit der vorliegenden Ausführungsform sollte darauf hingewiesen werden, dass auch die erste Linseneinheit derart ausgeführt sein kann, dass sie sich vorwärts bewegt, wenn das Zoomen vom Weitwinkel-Ende zum Tele-Ende geht. Wenn dies so ist, wird der Beitrag der zweiten Linseneinheit auf die Variation der Brennweite abgeschwächt, um bei der Aberrationskorrektur ein positives Ergebnis zu erzielen.

[0078] Dann wird in der vorliegenden Ausführungsform eine Bedingung für die Entfernung TD von der der Objektseite am nächsten liegenden, ersten Linsenfläche zu einer paraxialen Abbildungsebene wie folgt dargelegt:

$$0,8 \leq TD/f_T \leq 1,0 \quad (7)$$

, wobei f_T eine Brennweite im Tele-Ende des gesamten Variobjektivs ist.

[0079] Die technische Bedeutung der Bedingung (7) wird nachfolgend beschrieben.

[0080] Wenn es beabsichtigt ist, die Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs über die untere Grenze der Bedingung (7) zu verkürzen, resultiert eine zu große negative Petzval-Summe, so dass es schwierig wird, die Feldkrümmung zu korrigieren. Wenn im entgegengesetzten Fall die obere Grenze der Bedingung (7) überschritten wird, wird die Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs in ungünstiger Weise zu lang.

[0081] In der vorliegenden Ausführungsform ist die Apertur-Blende SP in dem Zwischenraum zwischen der dritten Linseneinheit L3 und der vierten Linseneinheit L4 angeordnet. Solch eine effiziente Verwendung des Zwischenraumes gestattet die Minimierung des erzeugten Betrages der Feldkrümmung, welcher andererseits aufgrund des Anwachsens der Petzval-Summe anwachsen würde, wenn die Gesamtlänge der dritten bis fünften Linseneinheit verkürzt wird.

[0082] Eine detaillierte Erklärung hiervon wird nachfolgend gegeben. Um eine Minimierung der Größe des Variobjektivs zu erzielen, ist es notwendig, die Total-Zoom-Bewegung der zweiten Linseneinheit durch Vergrößerung einer negativen Brechkraft der zweiten Linseneinheit herabzusetzen, und zwar so weit, wie es das Problem der Aberrationskorrektur zulässt. Jedoch verursacht solch ein Ansteigen der negativen Brechkraft der zweiten Linseneinheit ein Anwachsen der Divergenz des Lichtbündels von der zweiten Linseneinheit. Um die Gesamtlänge des dritten bis fünften Linseneinheiten zu verkürzen, wurde es von daher als vorteilhaft herausgefunden, den Zwischenraum zwischen den Bildhauptpunkten der zweiten und dritten Linseneinheiten zu reduzieren. Falls, wenn solch eine Situation nicht beachtet wird, die Apertur-Blende zwischen beispielsweise der zweiten und dritten Linseneinheit angeordnet ist, wird es notwendig, einen Zwischenraum zu erzeugen, den die Apertur-Blende zwischen der zweiten und dritten Linseneinheit besetzt.

[0083] Um die Gesamtlänge der dritten bis fünften Linseneinheiten unter solch einer Bedingung zu verkürzen, muss die negative Brechkraft der negativen fünften Linseneinheit so stark vergrößert werden, um das Tele-Verhältnis auf einen höheren Wert zu steigern. Die Petzval-Summe des gesamten Linsensystems, die aufgrund der Vergrößerung der Brechkraft der zweiten Linseneinheit angewachsen ist, wird dann ferner im negativen Sinne gesteigert. Als ein Ergebnis hiervon wird es schwierig, die Feldkrümmung, und im einzelnen die sagittale Feldkrümmung, zu korrigieren.

[0084] Aus diesem Grunde wird erfindungsgemäß die Apertur-Blende SP in dem Zwischenraum zwischen der dritten und vierten Linseneinheit angeordnet, um die Separation zwischen der zweiten und dritten Linseneinheiten zu reduzieren. Wiederum wird der Zwischenraum zwischen der dritten und vierten Linseneinheit erweitert, um das negative Anwachsen der Petzval-Summe herabzusetzen, die von der Abnahme der Entfernung von der dritten Linseneinheit zu der Abbildungsebene resultiert. Es wird von daher die Feldkrümmung gut korrigiert, wenn die Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs verkürzt wird.

[0085] Die Erfindung hat die Regeln zur Auslegung für die verschiedenen, wie obig beschriebenen Parameter dargelegt, um gleichzeitig die Anforderungen der Verbesserung der kompakten Form des gesamten Linsensystems und der Korrektur sämtlicher Aberrationen gut zu erfüllen. Um ein besseres optisches Leistungsvermögen sicherzustellen, wird in bevorzugter Weise zumindest eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllt:

(a1) Ein Luftzwischenraum DT_{23} für das Tele-Ende zwischen der zweiten Linseneinheit und der dritten Linseneinheit fällt innerhalb des folgenden Bereiches:

$$0,05 < DT_{23}/f_w < 0,2 \quad (8)$$

, wobei f_w eine Brennweite im Weitwinkel-Ende des gesamten Variobjektivs ist.

Wenn der Zwischenraum DT_{23} geringer als die untere Grenze der Bedingung (1) ist, dann wird es passieren, dass, wenn zur Einstellung oder aus ähnlichen Gründen die zweite Linseneinheit bewegt wird, sie versehentlich mit der dritten Linseneinheit kollidiert. Dies sollte somit vermieden werden. Wenn im entgegengesetzten Fall die obere Grenze überschritten wird, resultiert eine unzulässige Verkürzung der Gesamtlänge der dritten bis fünften Linseneinheiten.

(a2) Die erste Linseneinheit weist zumindest eine negative Linse auf, die die folgende Bedingung erfüllt:

$$v_{1N} < 23 \quad (9)$$

$$1,85 < N_{1N} \quad (10)$$

, wobei N_{1N} und v_{1N} jeweils ein Brechungsindex und eine Abbe-Zahl des Materials der negativen Linse der ersten Linseneinheit sind.

Unter Verwendung des Glasmaterials, welches die Bedingungen (9) und (10) der negativen Linse der ersten Linseneinheit erfüllt, wird der achromatische Effekt gesteigert, um eine Herabsetzung der Dicke von positiven Linsen, die in der ersten Linseneinheit enthalten sind, zu gestatten. Darüber hinaus wird die Petzval-Summe des gesamten Linsensystems verbessert, in dem sie anwächst wird, und im einzelnen in die negative Richtung auf einen hohen Wert.

(a3) Die Brennweite f_2 der zweiten Linseneinheit und die Verstärkung der Abbildungsbildung β_5 der fünften Linseneinheit liegen jeweils innerhalb der folgenden Bereiche:

$$0,2 < |f_2/\sqrt{(f_w \cdot f_T)}| < 0,3 \quad (11)$$

$$1,2 < \beta_5 < 2,0 \quad (12)$$

, wobei f_w und f_T jeweils die Brennweiten im Weitwinkel-Ende und im Tele-Ende des gesamten Variobjektivs sind.

Die Ungleichungen der Bedingungen (11) und (12) haben hauptsächlich dazu gedient, eine gute Stabilität des optischen Leistungsvermögens mit der Gesamtlänge des gekürzten vollständigen Linsensystems beizubehalten. Von diesen Bedingungen gibt die Bedingung (11) einen geeigneten Bereich für die Brechkraft der zweiten Linseneinheit an, und sie ist hauptsächlich so ausgelegt, ein bestimmtes variables Verstärkungsverhältnis in vorteilhafter Weise derart zu erzielen, dass die Variation der Aberrationen beim Zoomen minimalisiert wird. Wenn die untere Grenze überschritten wird, was bedeutet, dass die Brechkraft der zweiten Linseneinheit zu stark ist, wird auf einfache Weise die kompakte Form des gesamten Linsensystems verbessert, jedoch wächst die Petzval-Summe in negativer Richtung an. Von daher resultiert eine starke Feldkrümmung. Darüber hinaus wird die Variation von Aberrationen mit dem Zoomen größer. Wenn die Brechkraft der zweiten Linseneinheit zu schwach ist, wie es beim Überschreiten der oberen Grenze der Fall ist, wird die Stabilität der Aberrationen über den gesamten Zoom-Bereich besser, jedoch wächst die erforderliche Total-Zoom-Bewegung zum Erzeugen des bestimmten variablen Verstärkungsverhältnisses an, wodurch in ungünstiger Weise die Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs anwächst.

Die Ungleichungen der Bedingung (12) geben einen geeigneten Bereich für die Verstärkung der Abbildungsbildung der fünften Linseneinheit an. Wenn die Verstärkung der Abbildungsbildung der fünften Linseneinheit geringer als die untere Grenze der Bedingung (12) wird, kann der hinreichende Effekt des Verkürzens der Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs nicht erzielt werden. Wenn im entgegengesetzten Fall die Verstärkung der Abbildungsbildung höher als die obere Grenze wird, ist dies für die Verkürzung der Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs vorteilhaft, jedoch wächst die Petzval-Summe im negativen Sinne so dermaßen an, so dass die Feldkrümmung schwierig zu korrigieren wird und so dass die telezentrische Natur in unerwünschter Weise zusammenbricht. Das resultierende Variobjektiv ist für Videokameras oder dergleichen kaum anwendbar.

(A4) Die Gesamtanzahl der Linsenelemente in dem vollständigen Variobjektiv wird auf 10 oder darunter reduziert, während weiterhin eine gute Stabilität des optischen Leistungsvermögens beibehalten wird. Aus diesem Grund wird zumindest eine asphärische Fläche, in bevorzugter Weise in der dritten Linseneinheit und/oder der vierten Linseneinheit, verwendet. Im einzelnen ist es bevorzugt, dass die dritte Linseneinheit in der Gestalt einer Einzellinse konstruiert ist, die zumindest eine asphärische Oberfläche aufweist, und die vierte Linseneinheit ist mit einer negativen Meniskuslinse und einer positiven Linse, insgesamt aus zwei Linsen, aufgebaut.

(A5) Die fünfte Linseneinheit ist in der Gestalt einer einzelnen negativen Linse aufgebaut, deren beide

Oberflächen konkav sind. Dieses ist für das Verkürzen der Gesamtlänge des vollständigen Variobjektivs und für die Korrektur von Aberrationen günstig.

[0086] Als nächstes werden die numerischen Beispiele 5 bis 7 der Erfindung gezeigt. In den Daten für die numerischen Beispiele 5 bis 7 ist, wenn von der Objektseite aus gezählt wird, R_i der Krümmungsradius der i -ten Linsenoberfläche, D_i ist, wenn von der Objektseite aus gezählt wird, die i -te axiale Dicke oder Luftseparation, und N_i und v_i sind jeweils der Brechungsindex und die Abbe-Zahl des Glases von dem i -ten Linsenelement, wenn von der Objektseite gezählt wird. In den numerischen Beispielen 5 bis 7 zeigen R19 und R20 einen optischen Filter, eine Vorderplatte oder dergleichen, die bei Bedarf weggelassen werden können.

[0087] In den Koordinaten mit einer X-Achse in axialer Richtung und einer H-Achse in Richtung senkrecht zur optischen Achse, jene Richtung, welche bei sich ausbreitendes Licht als positiv angenommen wird, wird die Formgebung der asphärischen Oberfläche durch die folgende Gleichung ausgedrückt:

$$X = \frac{(1/R)H^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)(H/R)^2}} + BH^4 + CH^6 + DH^8 + EH^{10}$$

, wobei R der Radius der oskulierenden Ebene bzw. Sphäre und K, B, C, D und E die asphärischen Koeffizienten sind.

[0088] In den Werten der asphärischen Koeffizienten bedeutet die Bezeichnung „e-0x“ 10^{-x} .

[0089] Für die numerischen Beispiele 5 bis 7 sind die Werte der Faktoren in den obig beschriebenen Bedingungen (7) bis (12) in der Tabelle 2 aufgelistet.

Numerisches Beispiel 5:

f=	1-10.00	Fno=	1.85-3.03	2 ω =	61.7°-6.8°		
R 1=	16.23	D 1=	0.17	N 1=	1.92307	v 1=	18.9
R 2=	4.10	D 2=	0.93	N 2=	1.78589	v 2=	44.2
R 3=	-14.41	D 3=	0.04				
R 4=	3.04	D 4=	0.47	N 3=	1.83400	v 3=	37.2
R 5=	6.49	D 5=	Variabel				
R 6=	6.32	D 6=	0.12	N 4=	1.88299	v 4=	40.8
R 7=	1.00	D 7=	0.46				
R 8=	-1.19	D 8=	0.12	N 5=	1.69679	v 5=	55.5
R 9=	1.44	D 9=	0.43	N 6=	1.84665	v 6=	23.8
R10=	-8.86	D10=	Variabel				
R11=	1.57	D11=	0.48	N 7=	1.58312	v 7=	59.4
R12=	73.17	D12=	0.17				

R13= (Blende) D13= Variabel

R14= 1.62 D14= 0.12 N 8= 1.92307 v 8= 18.9

R15= 0.97 D15= 0.60 N 9= 1.66910 v 9= 55.4

R16= -4.87 D16= Variabel

R17= -8.83 D17= 0.12 N10= 1.69350 v10= 53.2

R18= 3.53 D18= 0.18

R19= ∞ D19= 0.85 N11= 1.51633 v11= 64.2

R20= ∞

Variable Separation	Brennweite		
	1.00	4.98	10.00
D 5	0.17	2.04	2.57
D10	2.49	0.62	0.10
D13	1.07	0.59	1.07
D16	0.17	0.65	0.17

Asphärische Koeffizienten:

R11: K=-1.446e+00 B= 1.002e-02 C=-2.497e-03

D= 5.984e-03 E=-2.711e-03

R16: K=-8 872e+01 B=-5.452e-03 C= 9.315e-02

D=-1.741e-01 E= 1.682e-01

R17: K=-9.867e+00 B= 3.615e-02 C=-4.941e-03

D= 0 E= 0

R18: K=-4.752e+01 B= 1.281e-01 C= 4.215e-02

D=-7.886e-02 E= 0

Numerisches Beispiel 6:

f= 1-10.00 Fno= 1.85-2.87 2ω= 61.8°-6.8°

R 1= 14.78 D 1= 0.17 N 1= 1.92307 v 1= 18.9

R 2= 4.01 D 2= 1.04 N 2= 1.83400 v 2= 37.2

R 3= -19.47 D 3= 0.04
 R 4= 3.02 D 4= 0.53 N 3= 1.80400 v 3= 46.6
 R 5= 6.20 D 5= Variabel
 R 6= 5.36 D 6= 0.12 N 4= 1.88299 v 4= 40.8
 R 7= 0.96 D 7= 0.49
 R 8= -1.13 D 8= 0.12 N 5= 1.60311 v 5= 60.7
 R 9= 1.59 D 9= 0.42 N 6= 1.84665 v 6= 23.8
 R10= -48.40 D10= Variabel
 R11= 1.45 D11= 0.53 N 7= 1.58913 v 7= 61.2
 R12= 15.74 D12= 0.17
 R13= (Blende) D13= Variabel
 R14= 1.63 D14= 0.13 N 8= 1.92286 v 8= 20.9
 R15= 0.94 D15= 0.00
 R16= 0.93 D16= 0.76 N 9= 1.66910 v 9= 55.4
 R17= -3.43 D17= Variabel
 R18= -7.88 D18= 0.12 N10= 1.66910 v10= 55.4
 R19= 2.55 D19= 0.18
 R20= ∞ D20= 0.86 N11= 1.51633 v11= 64.2
 R21= ∞

Variable Separation	Brennweite		
	1.00	4.97	10.00
D 5	0.17	2.01	2.53
D10	2.46	0.62	0.10
D13	0.85	0.43	0.85
D17	0.17	0.59	0.17

Asphärische Koeffizienten:

R11: K=-1.369e+00 B= 1.569e-02 C= 3.612e-04 D= 0 E= 0
 R16: K=-7.890e-02 B=-2.803e-02 C= 6.339e-03 D= 0 E= 0
 R17: K=-8.678e+00 B= 3.835e-02 C=-2.708e-02 D= 0 E= 0
 R19: K=-5.409e+01 B= 3.075e-01 C=-5.259e-01
 D= 4.678e-01 E= 0

Numerisches Beispiel 7:

$f = 1-10.00$ $F_{no} = 1.85-3.12$ $2\omega = 61.7^\circ-6.8^\circ$

R 1= 17.63 D 1= 0.17 N 1= 1.92286 v 1= 21.3
R 2= 3.73 D 2= 0.96 N 2= 1.80400 v 2= 46.6
R 3= -14.00 D 3= 0.04
R 4= 2.91 D 4= 0.47 N 3= 1.83400 v 3= 37.2
R 5= 6.27 D 5= Variabel
R 6= 5.66 D 6= 0.12 N 4= 1.88299 v 4= 40.8
R 7= 0.97 D 7= 0.46
R 8= -1.14 D 8= 0.12 N 5= 1.71999 v 5= 50.3
R 9= 1.33 D 9= 0.46 N 6= 1.84665 v 6= 23.8
R10= -7.71 D10= Variabel
R11= 1.66 D11= 0.49 N 7= 1.58312 v 7= 59.4
R12= -19.39 D12= 0.17
R13= (Blende) D13= Variabel
R14= 1.64 D14= 0.12 N 8= 1.92286 v 8= 21.3
R15= 0.92 D15= 0.65 N 9= 1.67790 v 9= 55.3
R16= -4.74 D16= Variabel
R17= -5.90 D17= 0.12 N10= 1.69350 v 10= 53.2
R18= 3.95 D18= 0.18
R19= ∞ D19= 0.85 N11= 1.51633 v 11= 64.2
R20= ∞

Variable Separation	Brennweite		
	1.00	5.01	10.00
D 5	0.17	1.96	2.46
D10	2.39	0.60	0.10
D13	0.93	0.45	0.93
D16	0.17	0.64	0.17

Asphärische Koeffizienten:

R11: $K=-1.210e+00$ $B= 8.608e-03$ $C=-3.275e-02$
 $D= 8.391e-03$ $E=-7.306e-03$

R12: $K=-4.264e+02$ $B= 4.438e-03$ $C=-3.434e-02$
 $D= 0$ $E= 0$

R16: $K=-8.664e+01$ $B=-2.633e-02$ $C= 1.315e-01$
 $D=-1.822e-01$ $E= 7.972e-02$

R17: $K=-1.529e+02$ $B= 9.781e-02$ $C=-1.234e-01$
 $D= 0$ $E= 0$

R18: $K=-2.719e+01$ $B= 2.309e-01$ $C=-1.580e-01$
 $D= 4.776e-02$ $E= 0$

Tabelle 2

Bedingung	Numerisches Beispiel		
	5	6	7
TD/f_T	0.975	0.970	0.962
DT_{23}/f_W	0.098	0.098	0.098
v_{1N}	18.9	18.9	21.3
N_{1N}	1.9231	1.9231	1.9229
$ f_2/\sqrt{f_W \cdot f_T} $	0.266	0.263	0.255
β_5	1.446	1.507	1.482

[0090] Durch Festlegen der wie oben beschriebenen Regeln für den Linsenaufbau, wird es bei Anwendung in dem Fall, wo mit der Verwendung der Fokussierung durch das hintere Linsenglied die relative Apertur bzw. Blende und das variable Verstärkungsverhältnis in großem Maße gesteigert wird, gemäß der Erfindung möglich, ein Variobjektiv mit Fokussierung durch das hintere Linsenglied in einer einfachen Form zu erzielen, welches daran gehindert wird, in der Größe und Ausmessung zuzunehmen, während nach wie vor eine gute Stabilität des optischen Leistungsvermögens über den gesamten Zoom-Bereich und über den gesamten Fokussier-Bereich beibehalten werden kann, und welches die bestimmte Rückbrennweite halten kann.

Patentansprüche

1. Variobjektiv, welches in der Reihenfolge von einer Objektseite zu einer Abbildungsseite folgendes aufweist: eine erste Linseneinheit (I; L1) mit einer positiven Brechkraft, eine zweite Linseneinheit (II; L2) mit einer negativen Brechkraft, eine dritte Linseneinheit (III; L3), die eine positive Brechkraft aufweist und die zur Variation der Verstärkung und zur Fokussierung stationär verbleibt, eine vierte Linseneinheit (IV; L4) mit einer positiven Brechkraft, und eine fünfte Linseneinheit (V; L5) mit einer negativen Brechkraft, wobei zumindest die zweite Linseneinheit (II; L2) und die vierte Linseneinheit (IV; L4) bewegbar sind, um die Verstärkung zu variieren, und wobei die vierte Linseneinheit (IV; L4) bewegbar ist, um die Fokussierung zu bewirken, **dadurch gekennzeichnet**, dass

eine Apertur-Blende (SP) in einem Zwischenraum zwischen der dritten Linseneinheit (III; L3) und der vierten Linseneinheit (IV; L4) angeordnet ist.

2. Variobjektiv gemäß Anspruch 1, welches die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,04 < D_{23}/f_w < 0,21$$

, wobei D_{23} ein Luftspalt zwischen einer der Abbildungsseite der zweiten Linseneinheit (II) am nächsten liegenden Linsenfläche und einer der Objektseite der dritten Linseneinheit (III) am nächsten liegende Linsenfläche für ein im Unendlichen liegendes Objekt in einem Tele-Ende ist, und wobei f_w eine Brennweite in einem Weitwinkel-Ende des Variobjektivs ist.

3. Variobjektiv gemäß Anspruch 1, welches die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,11 < D_s/f_w < 0,45$$

, wobei D_s eine Entfernung zwischen einer in einem Weitwinkel-Ende der Abbildungsseite der dritten Linseneinheit (III) am nächsten liegende Linsenfläche und der Apertur-Blende (SP) ist, und wobei f_w eine Brennweite in dem Weitwinkel-Ende des Variobjektivs ist.

4. Variobjektiv gemäß Anspruch 1, welches die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,8 < TD/f_T < 1,0$$

, wobei TD eine Entfernung von einer der Objektseite am nächsten liegenden Linsenfläche zu einer paraxialen Abbildungsebene ist, und wobei f_T eine Brennweite in dem Tele-Ende des Variobjektivs ist.

5. Variobjektiv gemäß Anspruch 4, welches die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,05 < TD_{23}/f_w < 0,2$$

, wobei TD_{23} ein Luftspalt zwischen einer der Abbildungsseite der zweiten Linseneinheit (L2) am nächsten liegende Linsenfläche und einer der Objektseite der dritten Linseneinheit (L3) in dem Tele-Ende am nächsten liegende Linsenfläche ist, und wobei f_w eine Brennweite in dem Weitwinkel-Ende des Variobjektivs ist.

6. Variobjektiv gemäß Anspruch 4, wobei die erste Linseneinheit (1) zumindest eine negative Linse aufweist, und wobei die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$v_{1N} < 23$$

$$1,85 < N_{1N}$$

, wobei N_{1N} und v_{1N} jeweils ein Brechungsindex und eine Abbe-Zahl eines Materials der negativen Linse sind.

7. Variobjektiv gemäß Anspruch 4, welches die folgenden Bedingungen erfüllt:

$$0,2 < |f_2/\sqrt{(f_w \cdot f_T)} < 0,3$$

$$1,2 < \beta_5 < 2,5$$

, wobei f_2 eine Brennweite der zweiten Linseneinheit (L2) ist, β_5 eine Verstärkung der Abbildungsbildung der fünften Linseneinheit (L5) für ein im Unendlichen liegendes Objekt ist, und f_w eine Brennweite in dem Weitwinkel-Ende des Variobjektivs ist.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

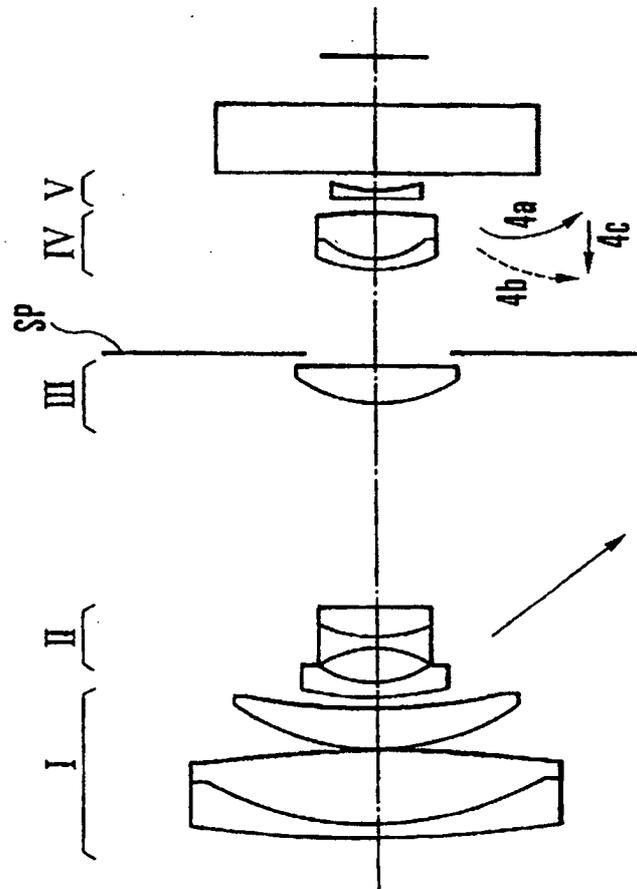


FIG. 2

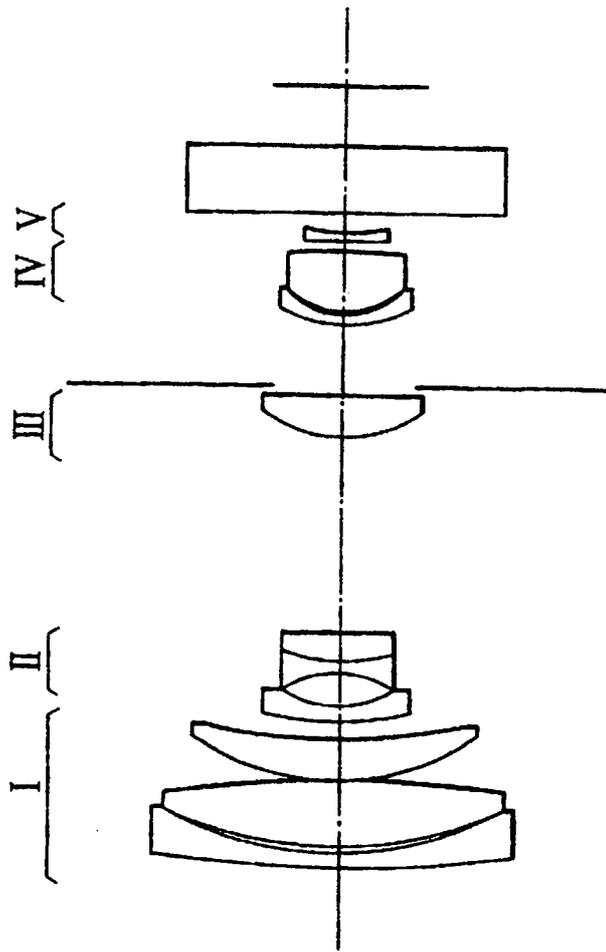


FIG. 3

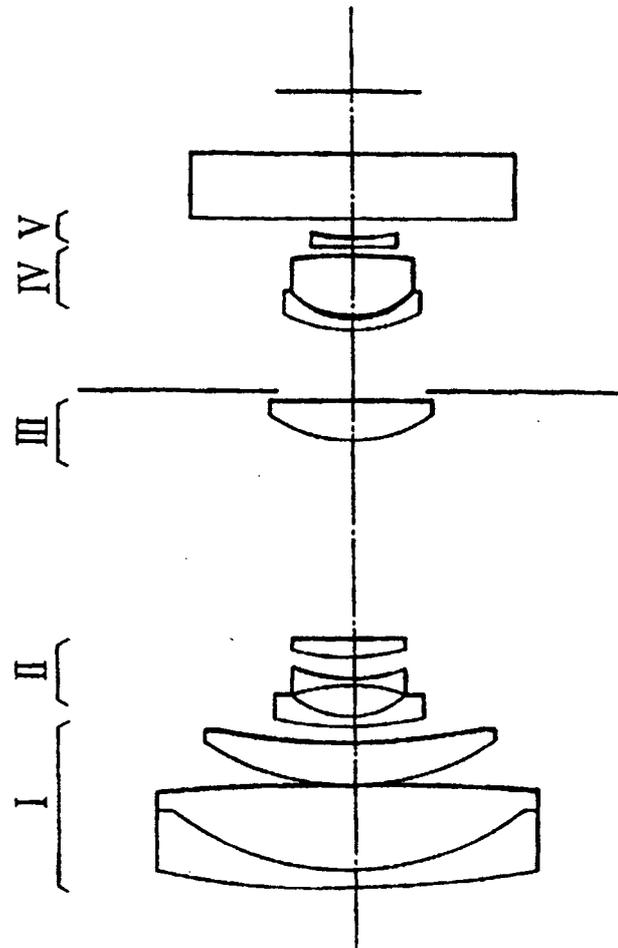


FIG.4(A)-1 FIG.4(A)-2 FIG.4(A)-3 FIG.4(A)-4

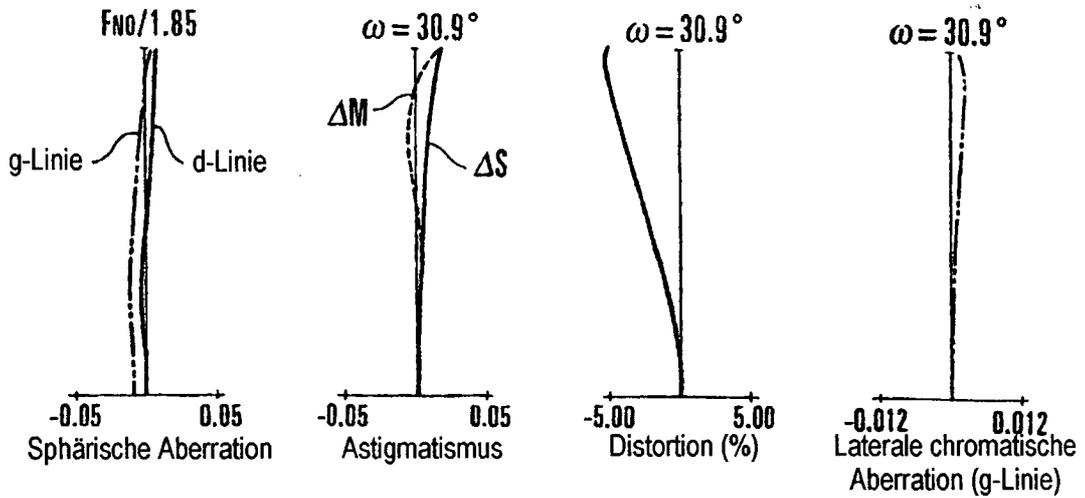


FIG.4(B)-1 FIG.4(B)-2 FIG.4(B)-3 FIG.4(B)-4

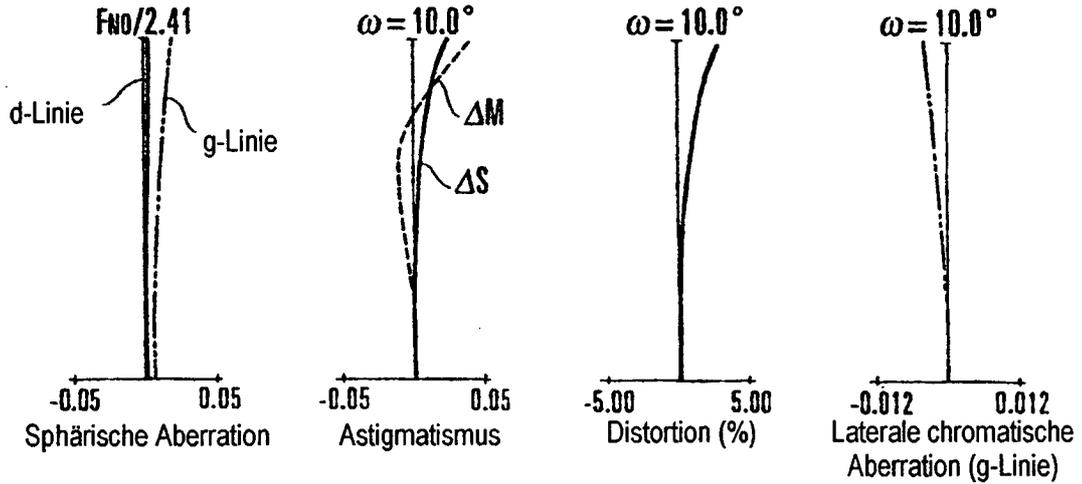
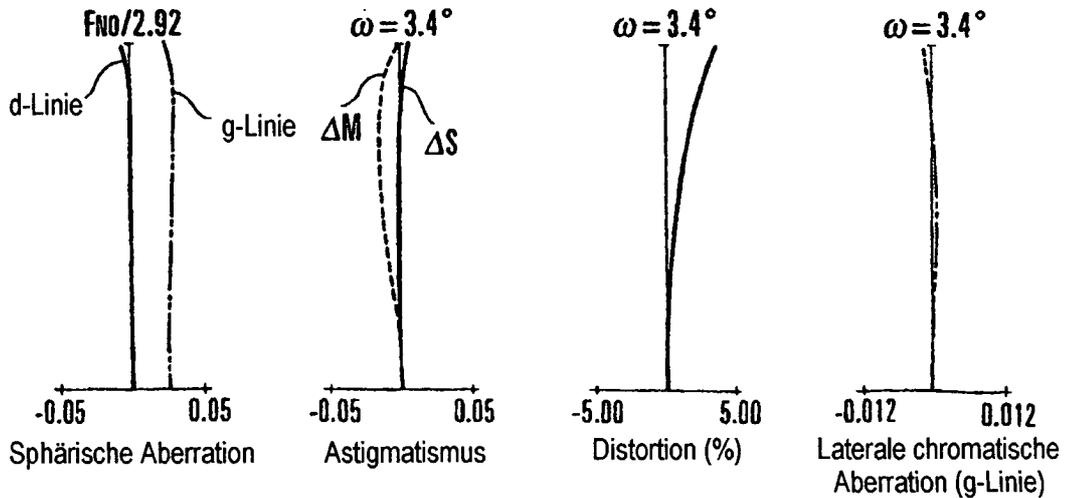


FIG.4(C)-1 FIG.4(C)-2 FIG.4(C)-3 FIG.4(C)-4



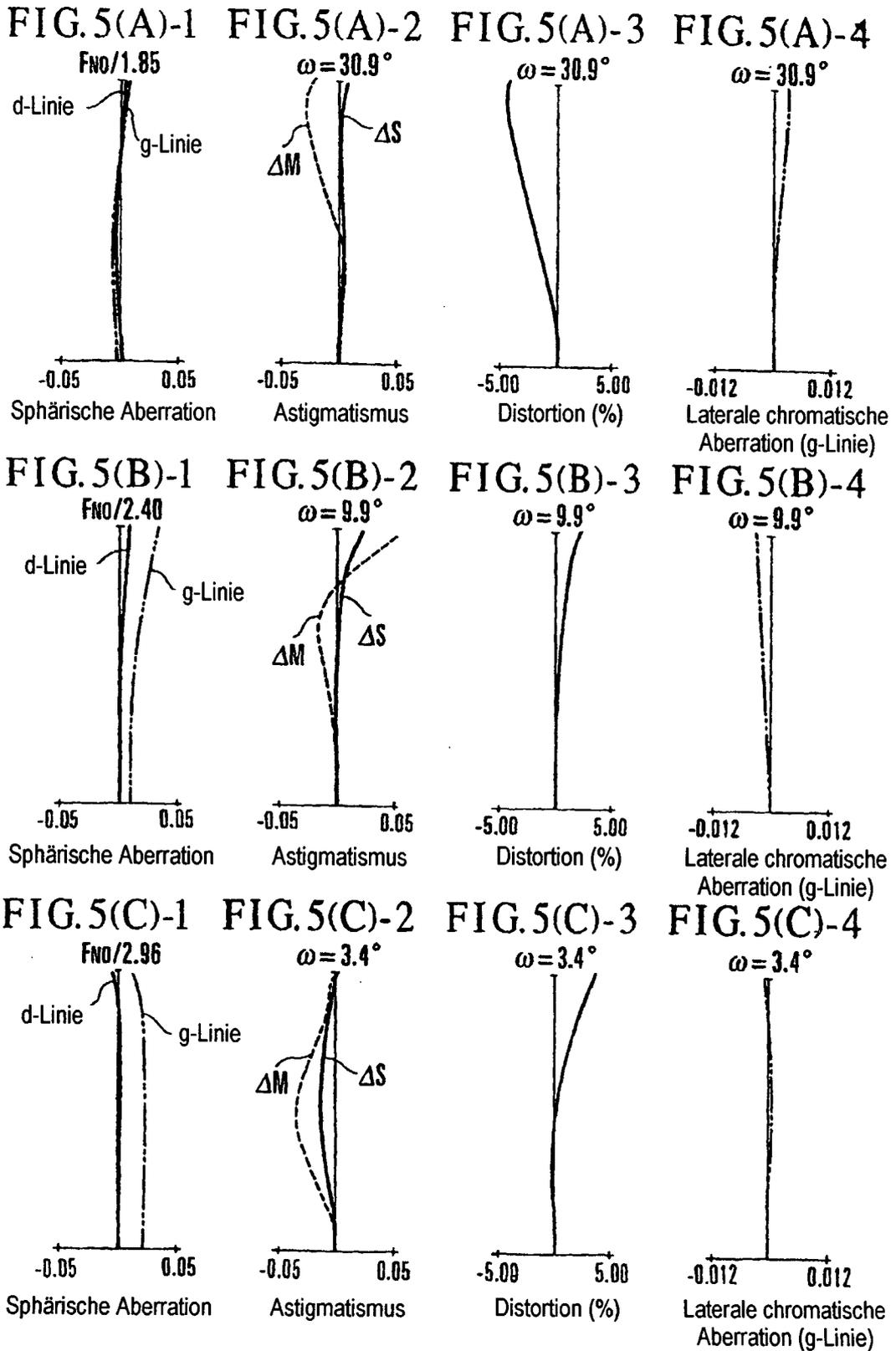


FIG. 6(A)-1 FIG. 6(A)-2 FIG. 6(A)-3 FIG. 6(A)-4

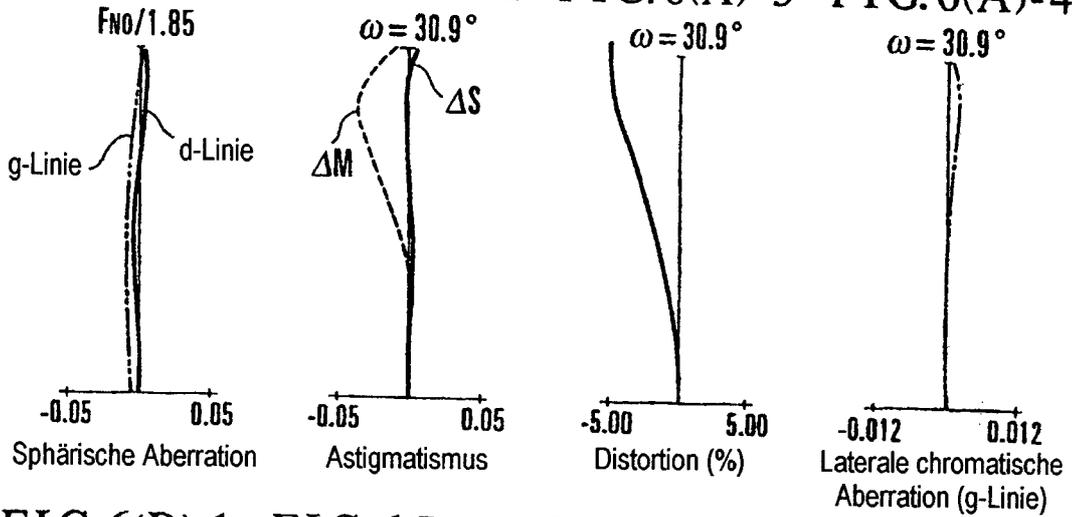


FIG. 6(B)-1 FIG. 6(B)-2 FIG. 6(B)-3 FIG. 6(B)-4

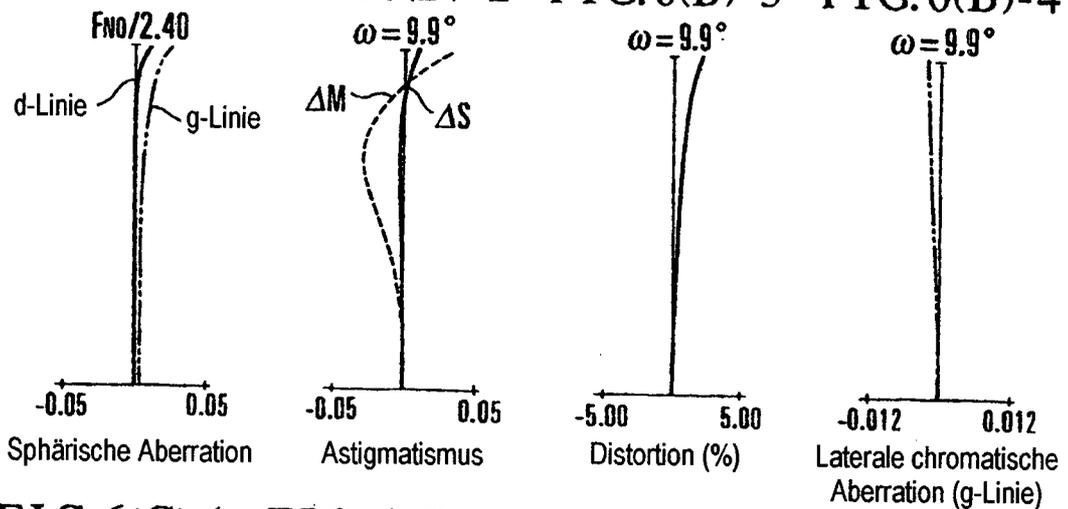


FIG. 6(C)-1 FIG. 6(C)-2 FIG. 6(C)-3 FIG. 6(C)-4

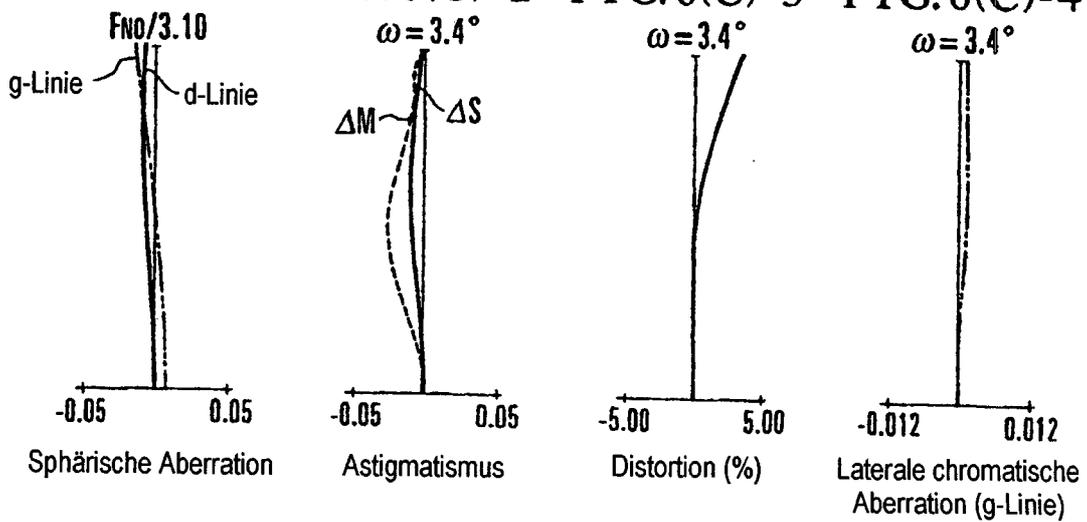


FIG. 7(A)-1 FIG. 7(A)-2 FIG. 7(A)-3 FIG. 7(A)-4

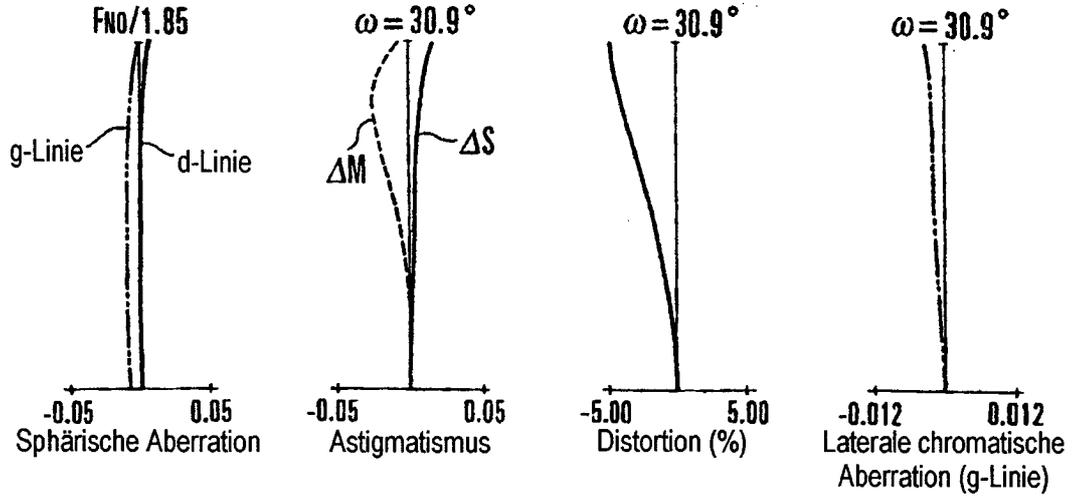


FIG. 7(B)-1 FIG. 7(B)-2 FIG. 7(B)-3 FIG. 7(B)-4

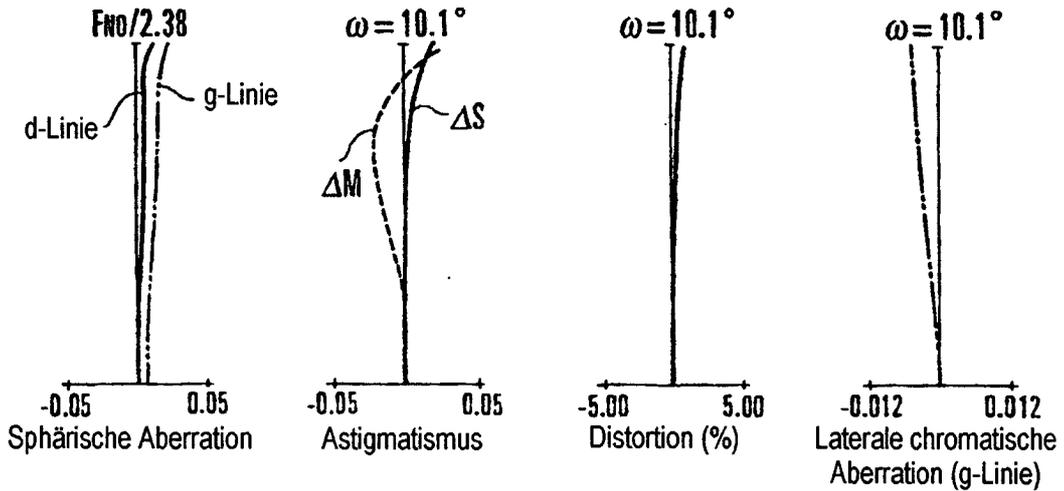


FIG. 7(C)-1 FIG. 7(C)-2 FIG. 7(C)-3 FIG. 7(C)-4

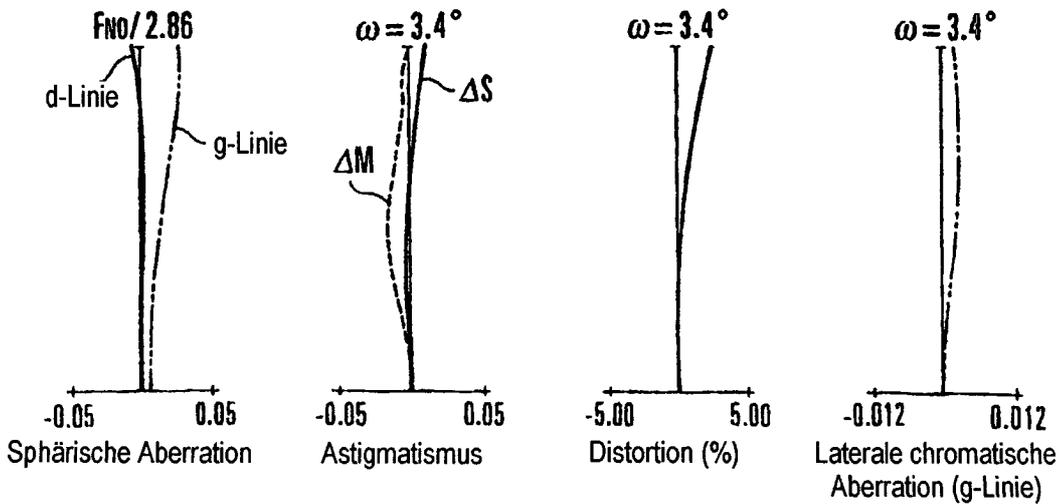


FIG. 8

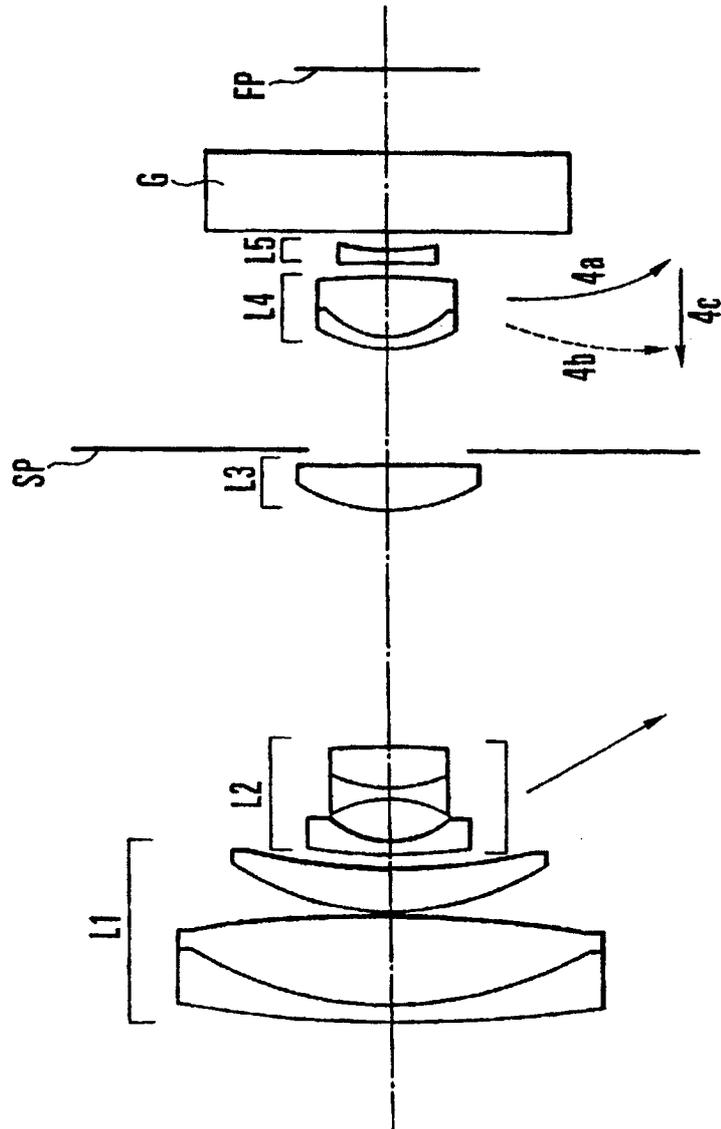


FIG. 9(A)-1 FIG. 9(A)-2 FIG. 9(A)-3 FIG. 9(A)-4

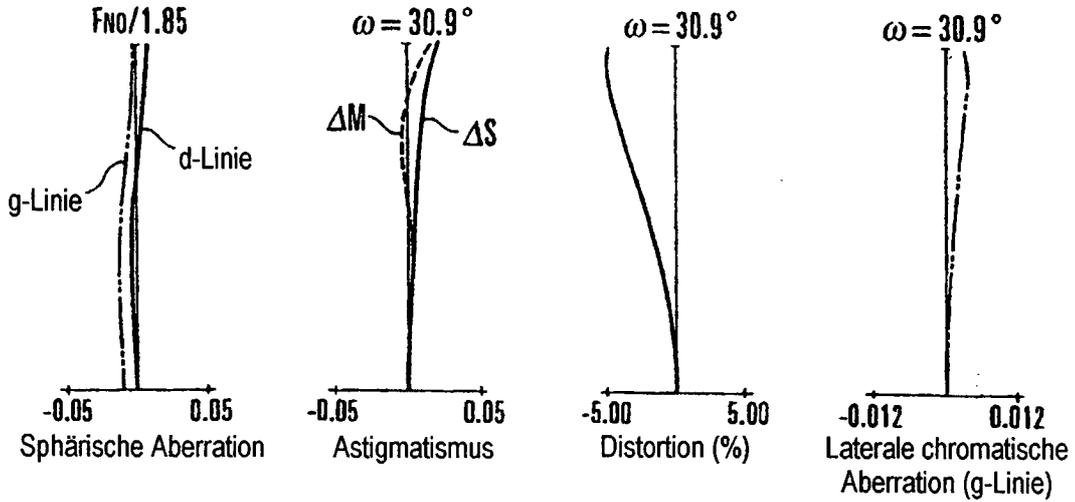


FIG. 9(B)-1 FIG. 9(B)-2 FIG. 9(B)-3 FIG. 9(B)-4

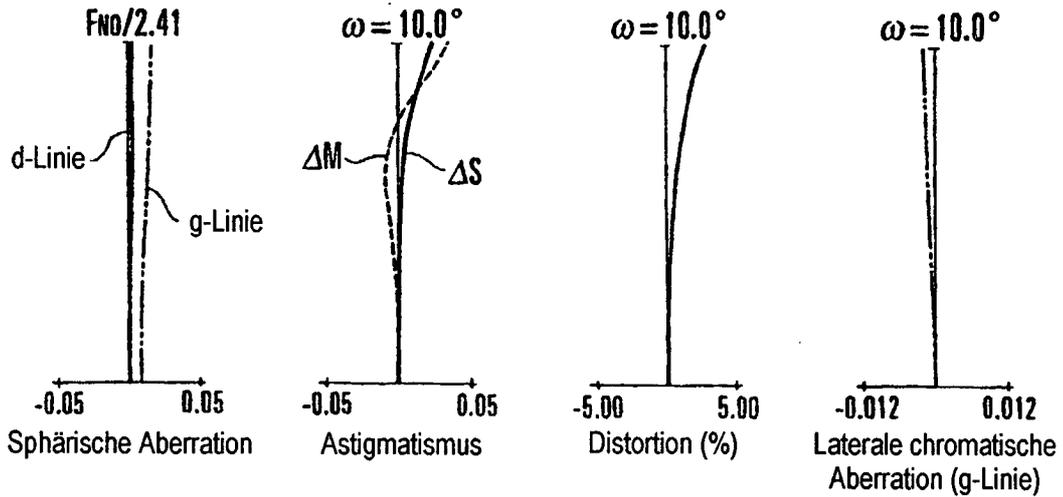


FIG. 9(C)-1 FIG. 9(C)-2 FIG. 9(C)-3 FIG. 9(C)-4

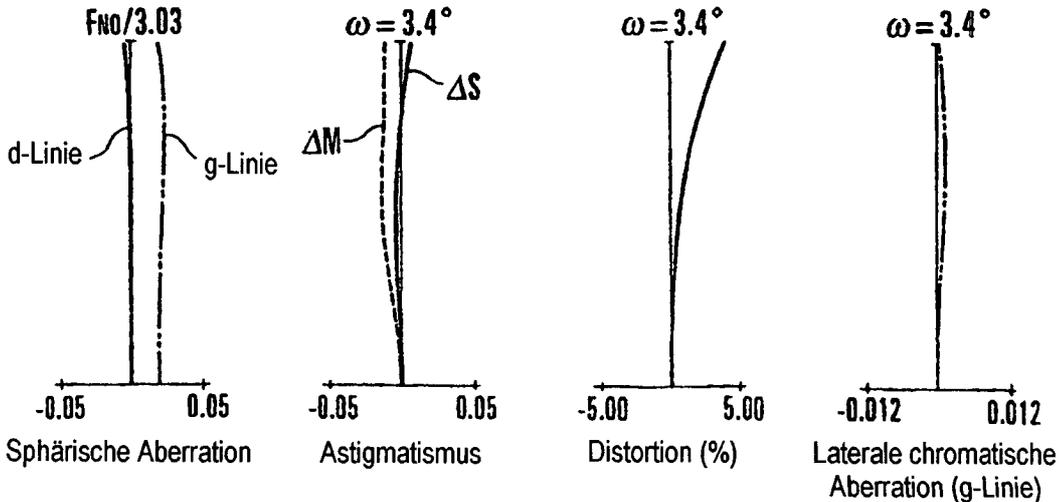


FIG.10(A)-1 FIG.10(A)-2 FIG.10(A)-3 FIG.10(A)-4

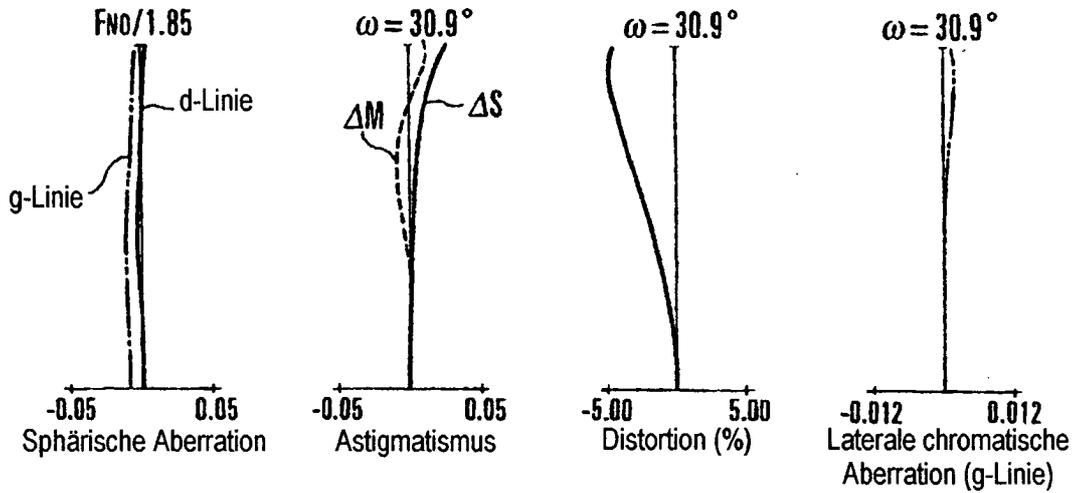


FIG.10(B)-1 FIG.10(B)-2 FIG.10(B)-3 FIG.10(B)-4

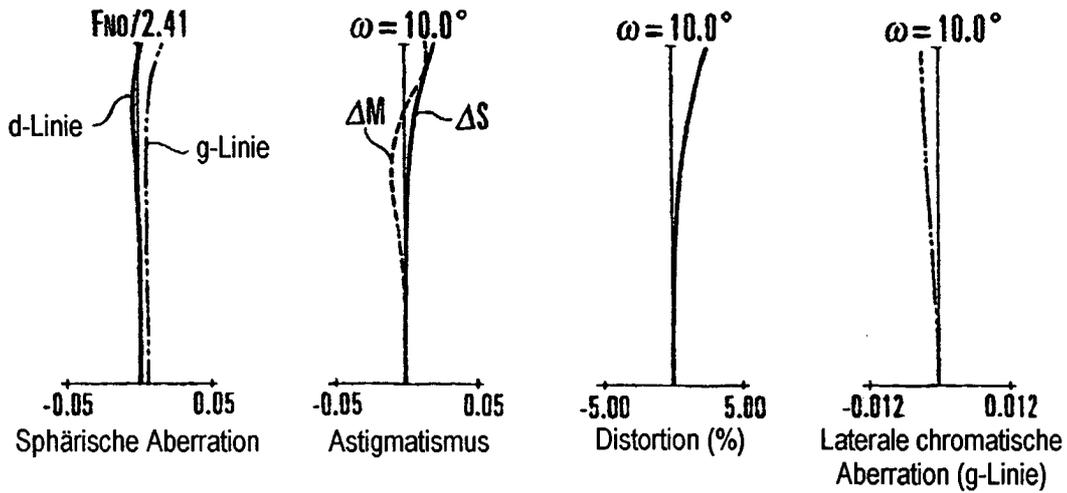


FIG.10(C)-1 FIG.10(C)-2 FIG.10(C)-3 FIG.10(C)-4

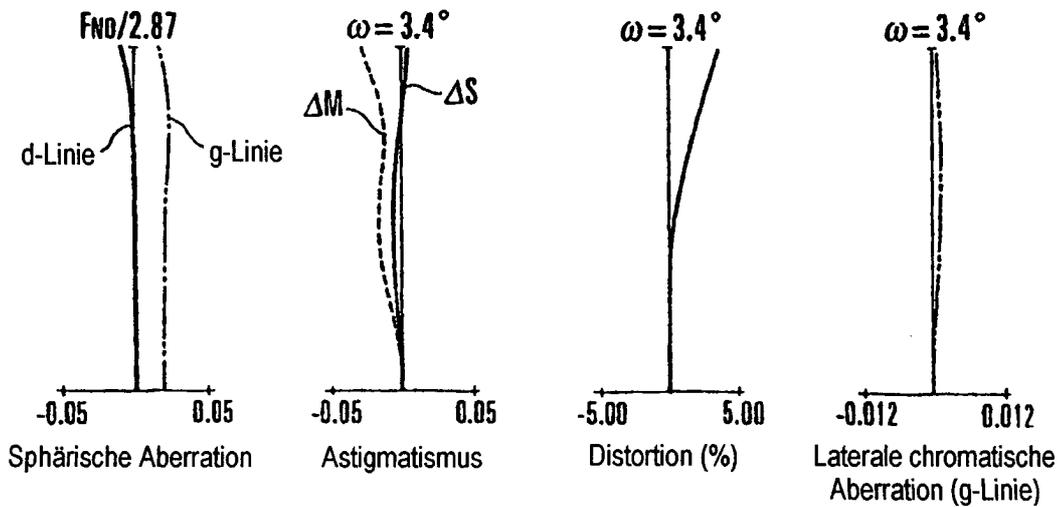


FIG.11(A)-1 FIG.11(A)-2 FIG.11(A)-3 FIG.11(A)-4

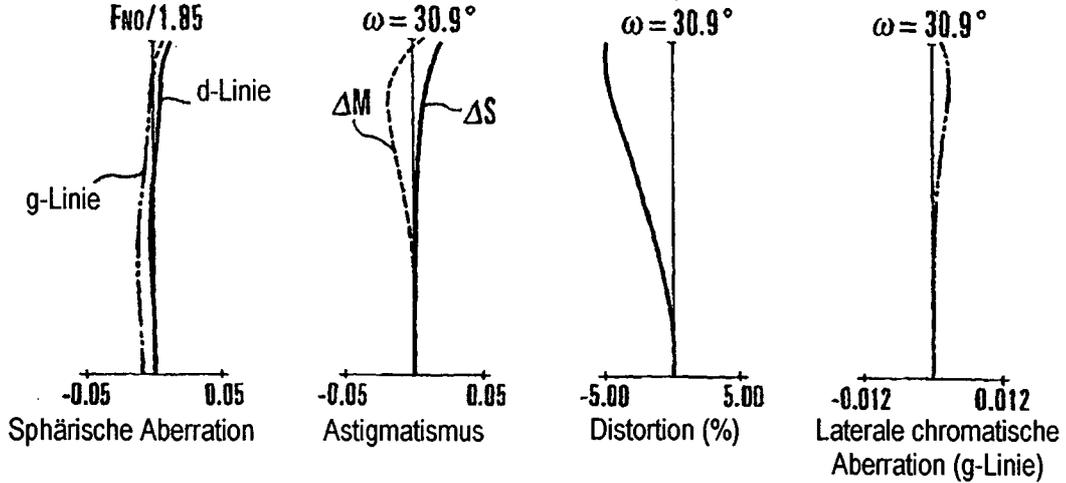


FIG.11(B)-1 FIG.11(B)-2 FIG.11(B)-3 FIG.11(B)-4

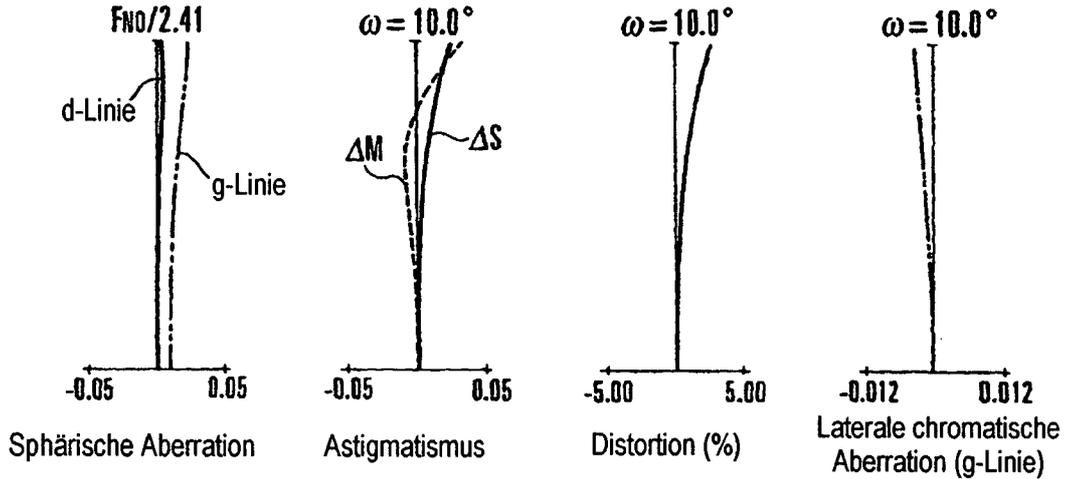


FIG.11(C)-1 FIG.11(C)-2 FIG.11(C)-3 FIG.11(C)-4

