



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 10 807 T2** 2006.11.23

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 449 021 B1**

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

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 10 807.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB02/04713**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 781 488.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/042745**

(86) PCT-Anmeldetag: **11.11.2002**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **22.05.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.08.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **19.04.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.11.2006**

(30) Unionspriorität:

0127536 16.11.2001 GB

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR

(73) Patentinhaber:

Thales Optics Ltd., St. Asaph, Denbigshire, GB

(72) Erfinder:

KIRKHAM, John Anthony, F-94117 Arcueil Cedex, FR

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Optisches Abbildungsverfahren**

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] Die vorliegende Erfindung betrifft optische Abbildungsverfahren und insbesondere, wenn auch nicht ausschließlich, Verfahren zum Abbilden von Infrarotstrahlung.

[0002] Beim Ausbilden eines betrachtbaren Bilds eines Objekts verwendet eine typische optische Abbildungsvorrichtung eine Objektivlinse, um optische Strahlung von dem Objekt in ein Bild davon zur späteren Betrachtung zu fokussieren. Wenn die optische Strahlung schwach oder unsichtbar ist (wie etwa Infrarotstrahlung), ist es oftmals notwendig, Zwischenbilddetektierungsmittel zu verwenden, um das schwache Bild zu detektieren, oder um ein aus unsichtbarer Strahlung ausgebildetes Bild zu detektieren.

[0003] Viele optische Abbildungsverfahren basieren zu diesem Zweck auf der Verwendung von elektronischen Bilddetektoren, wie etwa die aus GB2190761B bekannte optische Abbildungsvorrichtung. In GB2190761B verwendet eine optische Abbildungsvorrichtung einen Zwischeninfrarotdetektor in Form eines Infrarot-"Staring Array", um ein durch eine Objektivlinse ausgebildetes unsichtbares Infrarotbild zu detektieren. Das detektierte Bild wird dann in sichtbarer Form auf einer operativ an den Detektor gekoppelten Displayeinrichtung hergestellt. Über eine Okularlinse sieht sich ein Beobachter das sichtbare Bild an.

[0004] Zur Verbesserung des Auflösungsvermögens des Detektors ist aus GB2190761B die Technik bekannt, dem am Detektor ausgebildeten Bild eine negative Verzerrung ("Tonne") absichtlich aufzuerlegen, dann die tonnenförmige Verzerrung mit der Okularoptik umzukehren, die so gewählt ist, daß sie dem von dem Betrachter betrachteten Bild eine umgekehrte positive Verzerrung ("kissenförmige Verzerrung") auferlegt. Die Auflösung des Mittelabschnitts des beim Detektor ausgebildeten Bilds ist größer, als dies der Fall wäre, wenn keine tonnenförmige Verzerrung auferlegt würde. Die umgekehrte Wirkung der Okularlinse entfernt danach im wesentlichen etwaige derartige tonnenförmige Verzerrung in dem betrachteten Bild, um ein unverzerrtes Bild mit verbesserter Mittenauflösung zu liefern.

[0005] Bei vielen Infrarotabbildungsanwendungen ist es jedoch unnötig oder unerwünscht, zu erfordern, daß ein sichtbares Bild durch eine Okularoptik entsteht. Beispielsweise kann das von der Objektivlinse erzeugte tonnenförmig verzerrte Bild durch geeignete thermische Abbildungseinrichtungen detektiert werden, um elektronische Bilddaten zur späteren Analyse oder zur elektronischen Verarbeitung zu erzeugen. In solchen Fällen sind die Displayeinrichtung und das Okular von GB2190761B redundant.

[0006] Zudem ist ein Merkmal vieler Infrarotabbildungseinrichtungen die Notwendigkeit, den Detektor zu kühlen. Dies geschieht in der Regel dadurch, daß der Detektor in ein Dewar-Gefäß gesetzt wird, das auf etwa 77 K gekühlt wird (z.B. durch flüssigen Stickstoff oder eine Kühlmaschine). Vor dem Detektor und innerhalb des Dewar-Gefäßes wird eine "Kälteabschirmung" plaziert, die den Detektor vor thermischer Streustrahlung abschirmt. Bevorzugt stellt die Kälteabschirmung auch die begrenzende Aperturblende der optischen Vorrichtung dar. Die "Aperturblende" einer optischen Vorrichtung ist diejenige Apertur, die die Größe der durch die optische Vorrichtung hindurchtretenden Strahlbündel begrenzt. Alternativ kann sich die Aperturblende der optischen Vorrichtung außerhalb des Dewar-Gefäßes befinden, aber so nahe wie möglich an der "internen" Kälteabschirmung.

[0007] Somit ist es vorteilhaft, wenn sich die Aperturblende weit in Richtung der Rückseite des optischen Aufbaus der optischen Vorrichtung befindet, wenn der Detektor gekühlt wird. Die Objektivlinsen, wie sie etwa aus GB2190761B bekannt sind, verwenden eine vor der Objektivlinse (d.h. vor dem optischen Aufbau) angeordnete Aperturblende und eignen sich deshalb nicht für jene elektronischen Detektorsysteme, bei denen sich eine Aperturblende weit in Richtung der Rückseite des optischen Aufbaus befinden muß.

[0008] Tatsächlich führt die Anordnung der Aperturblende in Richtung auf die Rückseite des optischen Aufbaus in der Regel zu unannehmbar großen Durchmessern für die Vorderelemente einer einfachen existierenden optischen Vorrichtung.

[0009] Aus US 5,980,453, US 6,057,960, US 4,266,848 und US 5,726,670 sind weitere optische Abbildungsverfahren bekannt.

[0010] Die vorliegende Erfindung betrifft ein optisches Abbildungsverfahren, das eine Vorrichtung verwendet, die eine verbesserte Auflösung in der Mitte des Felds im Vergleich zur Auflösung am Rand liefert, und betrifft insbesondere eine derartige Vorrichtung, die sich eignet für das Abbilden unter Verwendung eines an ein elektronisches Signalverarbeitungsmodul gekoppelten Detektors, und wobei es eine Anforderung ist, daß die Aper-

turbulenz der Optik in Richtung der Rückseite des optischen Aufbaus der Vorrichtung angeordnet ist, wie etwa dort, wo der Detektor ein Infrarotdetektor vom gekühlten Typ innerhalb eines Dewar-Gefäßes ist.

[0011] Ganz allgemein wird eine optische Vorrichtung vorgeschlagen, die vor der Aperturblende ein Zwischenbild eines betrachteten Objekts oder einer betrachteten Szene liefert, wobei das Zwischenbild mit einer absichtlichen negativen ("tonnenförmigen") Verzerrung ausgebildet wird, dann das verzerrte Zwischenbild unter Verwendung einer Optik, wobei mindestens einige optische Elemente vor der Aperturblende angeordnet sind, auf den Detektor hinter der Aperturblende fokussiert (übertragen) wird.

[0012] Somit sind die Objektivlinsenelemente so angeordnet, daß sie ein Bild des betrachteten Objekts oder der betrachteten Szene vor der Aperturblende der Vorrichtung ausbilden, statt hinter ihr. Dieses Zwischenbild wird dann von den Elementen eines zweiten optischen Linsensystems fokussiert und an dem Detektor reformiert, wobei die Aperturblende zwischen der Vorderseite des zweiten optischen Linsensystems und dem Detektor platziert ist. Ein Bildelement (Pixel) in der Mitte des Blickfelds (des übertragenen und verzerrten Bilds) liegt im Objektraum einem kleinen Raumwinkel gegenüber als ein Pixel am Rand des Felds, wodurch man in der Mitte eine verbesserte Auflösung erhält. Das beim Detektor ausgebildete Bild kann dann von einem an den Detektor gekoppelten elektronischen Signalverarbeitungsmodul verarbeitet werden. Die Verarbeitung kann das Entfernen negativer Verzerrung aus dem Bild beinhalten, um ein verarbeitetes Bild mit wenig oder im wesentlichen keiner negativen Verzerrung herzustellen, aber mit verbesserter Mittenaufklärung.

[0013] Die vorliegende Erfindung stellt ein optisches Abbildungsverfahren wie in Anspruch 1 definiert bereit.

[0014] Ein Bilddetektor (z.B. Infrarotdetektor) kann zum Detektieren des Endbilds verwendet werden, wobei sich die Aperturblende zwischen dem Bilddetektor und dem Linsenelement des zweiten Linsensystems befindet, das in einem derartigen Fall von dem Bilddetektor am weitesten entfernt ist. Der Bilddetektor kann sich innerhalb eines Dewar-Gefäßes befinden.

[0015] Es versteht sich, daß sich ein "Bildgebiet" (für das Endbild oder das Zwischenbild) auf das Gebiet des Raums bezieht, über das sich das jeweilige Bild bei Entstehung erstreckt. In der Regel ist ein derartiges Gebiet planar und wird oftmals als eine "Bildebene" bezeichnet, doch soll die Erfindung nichtplanare Bilder und Bilddetektoren einschließen, die entsprechende nichtplanare Bilddetektierungsflächen verwenden.

[0016] Durch Verwenden der obigen Bildübertragungstechnik kann die vorliegende Erfindung vorsehen, daß alle optischen Elemente des Objektivlinsensystems in dem optischen Aufbau der Vorrichtung vor der Aperturblende platziert sind, während zumindest einige der optischen Elemente des zweiten Linsensystems ebenfalls vor der Aperturblende platziert sind. Dies gestattet größere Vielseitigkeit und Leichtigkeit bei der Herstellung, wenn der Detektor ein Infrarotdetektor vom gekühlten Typ ist und sich die Aperturblende entweder innerhalb des Dewar-Gefäßes oder unmittelbar davor befinden muß. Da keine der Objektivoptiken und nicht alle (oder keines) der Elemente des zweiten optischen Systems innerhalb des Dewar-Gefäßes selbst (hinter der Aperturblende) platziert werden müssen, können jene optischen Elemente als von dem Dewar-Gefäß und seinem Inhalt separate Module hergestellt werden.

[0017] Die Aperturblende kann sich hinter allen optischen Linsenelementen des zweiten Linsensystems befinden, wobei sie sich zwischen dem Bilddetektor und dem Linsenelement des zweiten Linsensystems befindet, das dem Bilddetektor am nächsten liegt. Durch diese Anordnung kann man den Vorteil erzielen, daß der ganze optische Aufbau der Vorrichtung als von der Detektorbaugruppe getrennte separate Module hergestellt werden kann.

[0018] Wie oben angegeben, besteht ein Ziel der Erfindung in der Bereitstellung eines optischen Abbildungsverfahrens unter Verwendung einer optischen Vorrichtung, die Bilder mit hoher negativer Verzerrung produziert, und die negativ verzerrenden Linsenelemente des Objektivs liegen bevorzugt in unmittelbarer Nähe zu dem Zwischenbildgebiet, in dem das Zwischenbild ausgebildet wird oder werden soll. In der Nähe eines Bilds (oder Zwischenbilds) liegende Linsenelemente weisen einen signifikanten Effekt auf die Verzerrung auf, aber kaum einen Effekt auf bestimmte andere Aberrationen wie etwa sphärische Aberration.

[0019] Somit wird bevorzugt, daß das oder die Linsenelemente des optischen Aufbaus der Vorrichtung, die für eine negative Verzerrung eines Bilds verantwortlich sind, sich unmittelbar neben dem Bildgebiet befinden oder zumindest diejenigen Linsenelemente des Aufbaus sind, die sich dem Bildgebiet am nächsten befinden, in dem dieses Bild ausgebildet wird oder werden soll (z.B. das Zwischenbild oder das Endbild). Folglich wird bevorzugt, daß das Endlinsenelement des Objektivlinsensystems dem Zwischenbild eine im wesentlichen ne-

gative Verzerrung gibt und besonders bevorzugt ein oder mehrere Linsenelemente des optischen Aufbaus, die der Endlinse vorausgehen, ebenfalls dem Zwischenbild eine im wesentlichen negative Verzerrung geben.

[0020] Zudem sind herkömmliche Linsenelemente mit sphärischen Oberflächen im allgemeinen nicht in der Lage, einen hohen Grad an Verzerrung zu korrigieren oder einzuführen; bevorzugt werden asphärische Oberflächen verwendet, um Bildern eine negative Verzerrung zu geben (Zwischen- und/oder Endbild). Um den erforderlichen hohen Verzerrungsgrad zu liefern, werden deshalb bevorzugt ein oder mehrere asphärische Oberflächen in der Nähe eines Bildgebiets integriert.

[0021] Wenn sich alle optischen Elemente des zweiten Linsensystems vor der Aperturblende der optischen Vorrichtung befinden, muß die Lichtleistung der negativ verzerrenden Linsen in der Regel sehr hoch sein, um in dem Zwischenbild die erforderliche Verzerrung zu bewirken. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß die Leistung jener Linsenelemente des Objektivlinsensystems, die für die im wesentlichen negative Verzerrung des Zwischenbilds verantwortlich sind, in einer derartigen Anordnung gegenüber optischen Herstellungstoleranzen hochgradig empfindlich ist.

[0022] Bei der vorliegenden Erfindung kann folglich mindestens ein optisches Element des zweiten Linsensystems dem Endbild einen substanziellen Grad an negativer Verzerrung auferlegen. Durch Aufteilen und Trennen der das Bild (negativ) verzerrenden optischen Elemente zwischen dem Objektivlinsensystem und dem zweiten Linsensystem hat sich herausgestellt, daß die von den negativ verzerrenden Linsen geforderte Leistung weniger ist, als dies der Fall ist, wenn sich alle negativ verzerrenden Linsen in dem Objektivlinsensystem befinden. Es hat sich auch herausgestellt, daß man dadurch ein optisches System erhält, das gegenüber Herstellungstoleranzen weniger empfindlich ist und dadurch eine verbesserte Leistung liefern kann.

[0023] Das zweite Linsensystem umfaßt möglicherweise nur ein negativ verzerrendes Linsenelement oder mehr als ein derartiges Linsenelement, wobei sich alle Linsenelemente davon vor der Aperturblende befinden. In einem derartigen Fall ist die verzerrende Linse bevorzugt das erste oder das letzte Linsenelement des zweiten Linsensystems, oder wo es zwei oder mehr derartige Linsen gibt, sind das erste und das letzte Linsenelement des zweiten Linsensystems bevorzugt negativ verzerrend.

[0024] Bevorzugt werden asphärische Oberflächen in der oder den negativ verzerrenden Linsen des zweiten Linsensystems verwendet, um dem Endbild eine negative Verzerrung zu geben. Um den erforderlichen hohen Verzerrungsgrad bereitzustellen, wird deshalb bevorzugt, in der Nähe des Bildgebiets des Endbilds oder des Zwischenbilds eine oder mehrere asphärische Oberflächen zu integrieren. Bevorzugt weist das zweite Linsensystem mindestens zwei (negativ) bildverzerrende Linsen auf, wobei sich eine innerhalb des optischen Aufbaus an einer Position relativ in der Nähe des Bildgebiets des Zwischenbilds und die andere in dem optischen Aufbau relativ in der Nähe des Bildgebiets des Endbilds befindet.

[0025] Bevorzugt weist das zweite Linsensystem ein Linsenelement auf, um dem Endbild eine im wesentlichen negative Verzerrung zu geben und um das erste Linsenelement hinter dem Bildgebiet des Zwischenbilds zu sein, und ein Linsenelement hinter der Aperturblende der optischen Vorrichtung, um dem Endbild eine im wesentlichen negative Verzerrung zu geben und um das letzte Linsenelement vor dem Endbildgebiet zu sein. Erreicht wird dies bevorzugt durch Bereitstellen einer (negativ) bildverzerrenden Linse unmittelbar hinter dem Bildgebiet des Zwischenbilds und Platzierung einer anderen (negativ) bildverzerrenden Linse hinter der Aperturblende der Vorrichtung (zum Beispiel innerhalb des Dewar-Gefäßes) und unmittelbar vor dem Endbildgebiet. Somit wird die Vorteile der Trennung der bildverzerrenden Linsen zwischen dem Objektiv und zweiten Linsensystem bereitgestellt, und die Vorteile unmittelbarer Nähe zwischen negativ verzerrender Linse und Bild werden ebenfalls erreicht, da sich sowohl das Zwischen- als auch das Endbild in unmittelbarer Nähe mindestens einer Linse mit im wesentlichen negativer Verzerrung befinden.

[0026] Es versteht sich natürlich, daß sich andere optische Elemente zwischen dem Endlinsenelement des zweiten Linsensystems und dem Endbildgebiet befinden können. Solche anderen optischen Elemente beinhalten das Dewar-Gefäß-(oder Detektor-)fenster und/oder einen Spektralfilter, die beide doppelt-plane optische Komponenten umfassen können.

[0027] Bevorzugt gibt das Endlinsenelement des Objektivlinsensystems dem Zwischenbild eine im wesentlichen negative Verzerrung. Ein oder mehrere Linsenelemente des Objektivlinsensystems, die der Endlinse des Objektivlinsensystems vorausgehen, können dem Zwischenbild eine im wesentlichen negative Verzerrung geben.

[0028] Bevorzugt ist der Detektor ein Infrarotdetektor und die Aperturblende liegt neben oder innerhalb eines gekühlten Dewar-Gefäßes und dient der Funktion einer Kälteabschirmung für den Detektor. In einem derartigen Fall, in dem sich ein oder mehrere Linsen des zweiten Linsensystems hinter der Aperturblende befindet, liegen solche Linsen innerhalb des gekühlten Dewar-Gefäßes. Das Dewar-Gefäß kann durch Verwendung eines Kühlmittels wie etwa flüssigem Stickstoff oder mit Hilfe einer Kältemaschine gekühlt werden. Bevorzugt ist der Detektor an ein Bildverarbeitungsmodul gekoppelt, das im Betrieb Bilddaten von dem Detektor empfangen kann, die ein dadurch detektiertes Endbild darstellen.

[0029] Bevorzugt werden die zumindest einigen (oder bevorzugt alle) der Linsenelemente sowohl des Objektivlinsensystems als auch des zweiten Linsensystems so gewählt, daß sie im Hinblick auf den Brennpunkt athermisch sind. Das heißt, die Position der Brennebene jeder derartigen Linse ist über die typischen Arbeitsbereiche der Temperatur hinweg mit der Temperatur im wesentlichen konstant. Ein oder mehrere der Linsenelemente der optischen Vorrichtung können eine beugende Struktur besitzen, die sich dafür eignet, in der Optik eine Farbkorrektur zu erhalten.

[0030] Die optische Vorrichtung kann in unmontierter Form oder als ein Bausatz von Teilen für eine optische Vorrichtung vertrieben werden, umfassend:

ein Objektivlinsensystem zum Fokussieren optischer Strahlung von einer Szene oder einem Objekt in ein Zwischenbild mit mindestens einem Linsenelement, das dem Zwischenbild einen wesentlichen Grad negativer Verzerrung gibt;

ein zweites Linsensystem zum Fokussieren optischer Strahlung von dem Zwischenbild in ein Endbild;

eine Aperturblende zum Begrenzen der das Endbild ausbildenden optischen Strahlung, wobei die optische Vorrichtung so ausgelegt ist, daß die Aperturblende zwischen dem Endbildgebiet, in dem das Endbild ausgebildet werden soll, und dem Linsenelement des zweiten Linsensystems liegt, das bei Gebrauch von dem Endbildgebiet am weitesten entfernt ist.

[0031] Der Bausatz an Teilen kann weiterhin einen Bilddetektor zum Detektieren des Endbilds umfassen, wobei die optische Vorrichtung so ausgelegt ist, daß die Aperturblende zwischen dem Bilddetektor und dem Linsenelement des zweiten Linsensystems liegt, das bei Gebrauch von dem Bilddetektor am weitesten entfernt ist. Der Bausatz kann weiterhin ein Dewar-Gefäß umfassen, um den Bilddetektor aufzunehmen.

[0032] Dann kann ein Detektor mit einer Detektionsoberfläche (planar oder nicht-planar) (z.B. ein Infrarotdetektor innerhalb eines Dewar-Gefäßes) gemäß diesem Verfahren verwendet werden, so daß die optische Strahlung von dem Zwischenbild mit dem optischen Linsensystem in ein Endbild an einer Bilddetektionsoberfläche fokussiert wird.

[0033] Die Aperturblende würde sich dann zwischen der Bilddetektionsoberfläche und dem Linsenelement des optischen Linsensystems befinden, das von der Bilddetektionsoberfläche am weitesten entfernt ist.

[0034] Gemäß diesem Verfahren wird bevorzugt, daß dem Endbild eine im wesentlichen negative Verzerrung gegeben wird, während das Zwischenbild unter Verwendung des Linsensystems fokussiert wird. Bevorzugt wird einem Bild eine im wesentlichen negative Verzerrung mit Linsenelementen des Linsensystems gegeben, die unmittelbar neben dem Bildgebiet liegen, in dem das jeweilige Bild ausgebildet wird oder werden soll.

[0035] Eine im wesentlichen negative Verzerrung kann dem Endbild bevorzugt mit einem Linsenelement gegeben werden, das neben dem Bildgebiet des Zwischenbilds liegt, und einem weiteren Linsenelement, das neben dem Bildgebiet des Endbilds liegt. Besonders bevorzugt wird dem Zwischenbild eine im wesentlichen negative Verzerrung gegeben unter Verwendung mindestens des Endlinsenelements eines Objektivlinsensystems.

[0036] Dem Endbild kann eine im wesentlichen negative Verzerrung gegeben werden, wobei ein Linsenelement unmittelbar hinter dem Zwischenbildgebiet und ein Linsenelement hinter der Aperturblende und unmittelbar vor dem Endbildgebiet verwendet werden.

[0037] Es werden nun Ausführungsformen der Erfindung an Hand spezifischer, aber nicht einschränkender Beispiele unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

[0038] [Fig. 1](#) eine optische Vorrichtung, in der alle optischen Linsenelemente vor der Aperturblende der Vorrichtung angeordnet sind;

[0039] [Fig. 2](#) eine optische Vorrichtung, in der ein optisches Linsenelement des Übertragungslinsensystems

hinter der Aperturblende liegt;

[0040] [Fig. 3](#) eine optische Vorrichtung, in der ein optisches Linsenelement des Übertragungslinsensystems hinter der Aperturblende liegt und eine Linse des Objektivsystems eine beugende Oberfläche besitzt.

[0041] [Fig. 1](#) veranschaulicht eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der die allgemein als **100** bezeichnete optische Vorrichtung eine Infrarotabbildungsvorrichtung ist und in dem Infrarotwellenband 4,0-5,0 μm arbeitet. Die Vorrichtung **100** umfaßt ein Objektivlinsensystem in Form eines optischen Aufbaus von Linsenelementen, die entlang einer gemeinsamen optischen Achse OA angeordnet sind, und der aus einem ersten (d.h. in [Fig. 1](#) am weitesten links liegenden) Linsenelement **101**, drei aufeinanderfolgenden Zwischenlinsenelementen **102**, **103** und **104** und einem Endlinsenelement **105** besteht. Diesem Aufbau von Objektivlinsenelementen folgend befindet sich auf der optischen Achse OA eine Anordnung von Übertragungslinsenelementen, die aus einem ersten Übertragungslinsenelement **106** und einem Endübertragungslinsenelement **107** bestehen. Ein Dewar-Gefäß **111** ist auf der optischen Achse OA jenseits des Endlinsenelements **107** platziert. Das Dewar-Gefäß weist ein Fenster **108** auf und nimmt eine Aperturblende **109** und einen elektronischen Infrarotbilddetektor **110** auf. Die Dewar-Baugruppe wird durch ein nicht gezeigtes geeignetes Mittel gekühlt, das sowohl den Detektor **110** als auch die Aperturblende **109** derart kühlt, daß es eine Kälteabschirmung bildet, die den Eintritt von thermischer Streustrahlung zu dem gekühlten Infrarotbilddetektor **110** auf ein Minimum reduziert.

[0042] Die optische Vorrichtung weist hinter der Aperturblende (Kälteabschirmung) **109** keine optischen Linsenelemente auf.

[0043] Bei Gebrauch fällt Infrarotstrahlung von einem entfernten Objekt oder einer entfernten Szene in [Fig. 1](#) von der linken Seite, wie durch Strahlen R angedeutet, ein. Die ersten beiden Elemente **101** und **102** des Objektivlinsensystems bilden eine Teleobjektivkonstruktion. Die erste optische Oberfläche **1** der Vorrichtung (bei Element **101**) ist sphärisch, und die zweite Oberfläche **2** ist asphärisch in erster Linie für die Korrektur einer sphärischen Aberration.

[0044] Das Element **102** trägt die dritte und vierte Oberfläche des optischen Aufbaus, Oberflächen **3** und **4**, die jeweils sphärisch sind. Die Elemente **103** bis **105** einschließlich bewirken zusammen die Einführung eines großen Ausmaßes an negativer Verzerrung, und die Oberfläche **8** (die hintere Oberfläche von Element **104**) ist asphärisch, um dies erreichen zu helfen, während die Oberflächen **5** und **6** des Elements **103**, die vordere Oberfläche **7** des Elements **104** und beide Oberflächen **9** und **10** des Elements **105** sphärisch sind.

[0045] Die Linsenelemente **101** bis **105** des Objektivlinsensystems bilden zusammen ein Zwischenbild "I", das negativ verzerrt ist und mit zusätzlichen Aberrationen behaftet ist. Die Elemente **106** und **107** bilden ein Zweikomponenten-Übertragungslinsensystem, um das Zwischenbild **2** auf den Detektor **110** zu übertragen, der sich innerhalb des Dewar-Gefäßes **111** und hinter der Kälteabschirmungs-Aperturblende **109** befindet.

[0046] Das Linsenelement **106** des Übertragungslinsensystems weist eine asphärische erste Oberfläche **11** auf, während alle anderen Linsenoberflächen des Übertragungssystems asphärisch sind. Die Linsenelemente **106** und **107** korrigieren zusammen mit den Oberflächen **1** bis **10** der Linsenelemente **101** bis **105** andere Außeraxiale optische Aberrationen, die ansonsten das an der Detektoroberfläche **17** ausgebildete Endbild "F" beeinflussen würden.

[0047] Infolge der Wechselwirkung aller Oberflächen auf die einfallende Infrarotstrahlung ist das auf der Oberfläche des Bilddetektors **110** ausgebildete Endbild F für alle Aberrationen außer negativer Verzerrung im wesentlichen gut korrigiert. Die Linsenelemente sind so gewählt, daß diese negative Verzerrung etwa -50% beträgt.

[0048] Die Brennweite für axiale Strahlung beträgt bei dieser Ausführungsform 100 mm, während die Brennweite für am Rand des Blickfelds des Detektors **110** einfallende Strahlung 50 mm beträgt (aufgrund der Verzerrung von -50%). Somit liegt bei der Winkelausdehnung (im Objektraum) eines zentralen Pixels im Vergleich zu einem Randpixel eine Winkelausdehnung mit einem Verhältnis von 1:2 vor.

[0049] Die brechenden Materialien der Linsenelemente der Vorrichtung sind so gewählt worden, daß das Design im Hinblick auf den Brennpunkt im wesentlichen athermal ist, mit anderen Worten ist die Position der Brennebene (bei Temperaturschwankungen innerhalb der Arbeitsbereiche der Vorrichtung) im wesentlichen mit der Temperatur konstant. Das Hauptathermalisierungsverfahren besteht darin, für die stark positiven Linsenele-

mente ein in der Technik als "IG4" bezeichnetes Material zu verwenden, doch könnten andere athermale Materialien verwendet werden.

[0050] Das Material "IG4" ist ein von der Firma Vitron Spezialwerkstoffe GmbH, Jena, Deutschland, hergestelltes proprietäres Chalkogenidmaterial. Dies ist ein Material mit einem Brechungsindex, der mit der Temperatur von Natur aus relativ stabil ist.

[0051] Es ist jedoch anzumerken, daß die Erfindung nicht auf athermale Systeme beschränkt ist, und es versteht sich, daß andere Materialien, die kein athermales Linsendesign liefern, verwendet werden können.

[0052] Für eine maximale Transmission wird bevorzugt für das Linsenelement **102** ein als "CLEARTRAN" bekanntes Zinksulfidmaterial verwendet. Dieses Material ist ein proprietäres Produkt der Firma Rohm and Haas Incorporated.

[0053] Ein besonderes Beispiel des optischen Aufbaus gemäß [Fig. 1](#) weist folgende numerische und Materialdaten auf. Die brechenden Oberflächen sind von vorne (in [Fig. 1](#) ganz links) nach hinten als Oberflächen **1** bis **17** angegeben, wie dies in der vorausgegangenen Beschreibung geschah. Die Abmessungseinheiten sind in Millimetern angegeben (aber die Werte sind relativ und können entsprechend skaliert werden). Ein positiver Krümmungsradius gibt eine Mitte einer Krümmung zur rechten Seite des Linsenelements an, und eine negative Krümmung zur linken. Die Oberfläche **17** ist die Aperturblende (mit einem Aperturverhältnis F/3.5), und die optimale Wellenlänge beträgt 4,5 Mikrometer, wobei der Spektralbereich etwa 4,0 Mikrometer bis etwa 5,0 Mikrometer beträgt, und die Brennweite beträgt 100 mm.

Designdaten:

Oberfläche Nummer:	Krümmungs- radius:	Gestalt:	Trennung nach:	Apertur:	Material:
1	89,605	sphärisch	6,250	39,9	IG4
2	-138,61	asphärisch	13,134	39,1	
3	-74,259	sphärisch	2,273	22,3	Zinksulfid
4	74,259	sphärisch	19,820	21,3	
5	11,004	sphärisch	5,876	20,5	IG4
6	10,606	sphärisch	4,857	15,5	
7	34,439	sphärisch	1,705	10,9	Germanium
8	5,574	asphärisch	2,501	9,2	
9	-46,974	sphärisch	4,861	10,1	Silizium
10	-14,460	sphärisch	13,043	11,8	
11	18,239	asphärisch	2,273	7,5	Germanium
12	17,244	sphärisch	5,644	6,9	
13	-63,155	sphärisch	2,273	7,8	Silizium
14	-15,447	sphärisch	2,901	8,0	
15	unendlich	flach	1,155	4,7	Silizium
16	unendlich	flach	0,635	4,4	
17	unendlich	flach	12,667	3,75	
Bild	unendlich	flach		8,6	

[0054] Die Krümmung der asphärischen Oberflächen wird durch folgende Gleichung definiert:

$$Z'_{\text{Asphärit}} = \frac{cY^2}{1 + \left(1 - (1+k)c^2Y^2\right)^{\frac{1}{2}}} + A_4Y^4 + A_6Y^6 + A_8Y^8 + A_{10}Y^{10}$$

wobei Z_{Aspheric} und 'Y' Entfernungen entlang zueinander orthogonaler Achsen in einer Ebene sind, die die optische Achse OA enthält, und wobei der Ursprung an dem Punkt liegt, an dem die Oberfläche schneidet. Die Größen c , k , A_4 , A_6 und A_8 sind Parameter mit den unten angegebenen Werten.

Oberfläche	c	k	A_4	A_6	A_8
2	-0,00721446	0,000000	1,21110E-06	-9,82437E-	0,
				11	
8	0,17940955	-6,499030	6,11132E-04	2,03585E-06	-1,15887E-
					07
11	0,05482682	0,000000	-3,56689E-	1,35698E-06	-1,58352E-
			04		07

[0055] Ein Nachteil der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform besteht darin, daß Objektivlinsenelemente **103** bis **105** eine starke optische Leistung erfordern, damit man eine sehr hohe Verzerrung erhalten kann. Dadurch werden sie gegenüber Herstellungstoleranzen in dem Ausmaß empfindlich, daß dieses Linsendesign möglicherweise ohne unerwünschte Verschlechterung der Bildqualität schwierig herzustellen ist.

[0056] Eine zweite Ausführungsform der Erfindung, wie in [Fig. 2](#) dargestellt, kann ein optisches Design liefern, das gegenüber Toleranzen weniger empfindlich ist und möglicherweise einen noch größeren Grad an Verzerrung liefern kann.

[0057] Unter Bezugnahme auf [Fig. 2](#) wird eine optische Vorrichtung **200** mit einem dreielementigen Objektivlinsensystem gezeigt, das ein erstes Linsenelement **201** mit einer sphärischen vorderen Oberfläche **1'** und einer flachen hinteren Oberfläche **2'** aufweist. Das zweite Linsenelement **202** trägt eine sphärische Oberfläche **3'** und eine asphärische Oberfläche **4'**, während das Endlinsenelement **203** des Objektivsystems eine sphärische Oberfläche **5'** und eine asphärische Oberfläche **6'** trägt. Dieses Objektivlinsensystem ist so ausgelegt, daß es hinter dem Endlinsenelement **203** ein Zwischenbild I ausbildet, wobei das Zwischenbild hauptsächlich durch das Endobjektivlinsenelement im wesentlichen negativ ("tonnenförmig") verzeichnet wird.

[0058] Dann ist ein dreielementiges Übertragungslinsensystem in dem optischen Aufbau der Vorrichtung durch die Übertragungslinsenelemente **204**, **205** und **208** vorgesehen. Das Übertragungslinsensystem beginnt unmittelbar nach der Zwischenbildebene. Das Übertragungslinsenelement **204** trägt eine asphärische vordere Oberfläche **7'** und eine sphärische hintere Oberfläche **8'**, während sowohl die vordere als auch die hintere Oberfläche **9'** bzw. **10'** des Elements **205** sphärisch sind. Das Endlinsenelement **208** des Übertragungslinsensystems trägt eine asphärische vordere Oberfläche **14'** und eine flache hintere Oberfläche **15'**. Das Anfangs- und Endübertragungslinsenelement **204** bzw. **208** geben dem bereits verzerrten Zwischenbild I, das sie übertragen, eine im wesentlichen negative Verzerrung.

[0059] Element **206** ist ein Dewar-Fenster, das kein Linsenelement des Übertragungslinsensystems ist. Die Kälteabschirmungs-Aperturblende **207** für die Vorrichtung befindet sich in einer kurzen Entfernung hinter dem Dewar-Fenster **206**. Es ist deshalb klar, daß das Übertragungslinsenelement **208** hinter der Aperturblende **207** und direkt vor dem Bilddetektor **209** und der Endbildebene F daran positioniert ist.

[0060] Es ist anzumerken, daß das Dewar-Fenster **206** bei einer alternativen Ausführungsform, bei der die Aperturblende **207** außerhalb des Dewar-Gefäßes **210** liegt, zwischen dem Linsenelement **208** und dem Bilddetektor **209** plziert sein kann. Analog können Spektralfilter zwischen Linsenelement **208** und Bilddetektor **209** plziert sein. Alternativ kann das Dewar-Fenster **206** bei einer weiteren Ausführungsform, bei der die Aperturblende **207** außerhalb des Dewar-Gefäßes **210** liegt, zwischen der Aperturblende **207** und dem Endübertragungslinsenelement **208** plziert sein, und das Detektorfenster und/oder das oder die Spektralfilter können zwischen Übertragungslinsenelement **208** und Bilddetektor **209** plziert sein.

[0061] Gegebenenfalls kann das Endübertragungslinsenelement **208** in das Detektormodul (Dewar-Gefäß **210**) integriert sein. Bei dieser Ausführungsform sind brechende Materialien so gewählt worden, daß das optische System im wesentlichen athermal wird. Das Objektivlinsenelement **202** trägt in erster Linie zur Korrektur einer sphärischen Aberration eine asphärische Oberfläche **4'**. Das Objektivlinsenelement **203** und die Übertragungslinsenelemente **204** und **208** tragen alle eine asphärische Oberfläche, wie oben identifiziert, und diese drei Linsenelemente erzeugen zusammen eine Verzerrung von etwa -60% des Endbilds F, während die Wechselwirkung aller der Linsenelemente (der optischen Vorrichtung) zusammen für eine Korrektur oder eine sub-

stantielle Korrektur anderer optischer Aberrationen sorgt. Die paraxiale Brennweite der Anordnung von [Fig. 2](#) beträgt 100 mm, und die Brennweite für Strahlenbündel am Rand des Blickfelds beträgt 40 mm, was ein Verhältnis von 1:2,5 zwischen der Winkelausdehnung (im Objektraum) eines zentralen und eines Randpixels des Bilddetektors **209** ergibt.

[0062] Durch Integrieren von eine Verzerrung einführenden Linsenelementen sowohl nahe bei dem Zwischenbild I als auch dem Endbild F wird die von diesen Elementen verlangte optische Leistung signifikant reduziert im Vergleich zu der in [Fig. 1](#) dargestellten Anordnung, wo alle eine Verzerrung einführenden Linsen derart in dem Objektivlinsensystem liegen, daß nur ein Element (das Endelement) nahe an einem Bild liegen kann. Durch Trennen der eine Verzerrung einführenden Linsen über das Objektivsystem und das Übertragungssystem wird das Design der optischen Vorrichtung (wie etwa das in [Fig. 2](#) dargestellte) für Herstellungstoleranzen viel weniger empfindlich und somit leichter herzustellen.

[0063] Ein besonderes Beispiel des optischen Aufbaus gemäß [Fig. 2](#) weist folgende numerische und Materialdaten auf. Die brechenden Oberflächen sind von vorne (in [Fig. 2](#) ganz links) nach hinten als Oberflächen **1'** bis **16'** angegeben, wie dies in der vorausgegangenen Beschreibung dieser Zeichnung geschah. Die Abmessungseinheiten sind in Millimetern angegeben (aber die Werte sind relativ und können entsprechend skaliert werden). Ein positiver Krümmungsradius gibt eine Mitte einer Krümmung zur rechten Seite des Linsenelements an, und eine negative Krümmung zur linken. Die Oberfläche **13'** ist die Aperturblende (mit einem Aperturverhältnis F/3.5), und die optimale Wellenlänge beträgt 4,5 Mikrometer, wobei der Spektralbereich etwa 4,0 Mikrometer bis etwa 5,0 Mikrometer beträgt, der Halbfeldwinkel beträgt 5,0 Grad und die Brennweite beträgt 100 mm.

Designdaten:

Oberfläche	Krümmungs-	Gestalt:	Trennung	Apertur:	Material:
Nummer:	radius:	nach:			
1'	39,889	sphärisch	5,454	29,8	IG4
2'	unendlich	flach	4,253	28,6	
3'	-156,68	sphärisch	1,909	23,5	Zinksulfid
4'	62,019	asphärisch	31,884	22,2	
5'	13,985	sphärisch	1,909	10,1	Germanium
6'	7,064	asphärisch	8,539	8,6	
7'	-16,094	asphärisch	2,136	11,2	Germanium
8'	-10,238	sphärisch	8,895	12,5	
9'	48,635	sphärisch	1,818	7,6	Silizium
10'	-48,635	sphärisch	2,591	7,3	
11'	unendlich	flach	0,923	3,2	Silizium
12'	unendlich	flach	0,508	2,9	
13'	unendlich	flach	5,793	2,1	
14'	36,360	asphärisch	1,909	9,4	Germanium
15'	unendlich	flach	2,524	9,1	
16' (Bild)	unendlich	flach		6,9	

[0064] Die Krümmung der asphärischen Oberflächen wird durch folgende Gleichung definiert:

$$Z_{\text{Aspheric}} = \frac{Y^2}{2R} + \frac{A_4 Y^4}{4} + \frac{A_6 Y^6}{6} + \frac{A_8 Y^8}{8} + \frac{A_{10} Y^{10}}{10} + \frac{A_{12} Y^{12}}{12} + \frac{A_{14} Y^{14}}{14} + \frac{A_{16} Y^{16}}{16}$$

wobei Z_{Aspheric} und 'Y' Entfernungen entlang zueinander orthogonaler Achsen in einer Ebene sind, die die opti-

sche Achse OA enthält, und wobei der Ursprung an dem Punkt liegt, an dem die Oberfläche schneidet. Die Größen c , k , A_4 , A_6 und A_8 sind Parameter mit den unten angegebenen Werten.

Oberfläche	c	k	A_4	A_6	A_8
4'	0,01612411	0,000000	2,01673E-06	3,08170E-09	2,76137E-11
6'	0,14156074	0,000000	-8,31031E-	-7,42175E-	0,0
			04	07	
7'	-0,06213566	3,455575	-1,93918E-	1,68672E-06	0,0
			04		
14'	0,02750266	0,000000	8,52164E-04	-1,95061E-	1,83245E-07
				05	

[0065] Eine Modifikation dieser Ausführungsform ist in [Fig. 3](#) gezeigt.

[0066] Die in [Fig. 3](#) gezeigte optische Vorrichtung **300** weist viele Ähnlichkeiten mit der Vorrichtung **200** auf, die in [Fig. 2](#) dargestellt und oben unter Bezugnahme auf diese beschrieben ist. Die Modifikation bei der Vorrichtung **300** von [Fig. 3](#) ergibt sich durch die Verwendung eines anderen Ansatzes zur Athermalisierung und Farbkorrektur, wie unten erörtert.

[0067] Das vordere Linsenelement **301** des Objektivlinsenarrays (die Elemente **301**, **302** und **303** umfassend) trägt eine sphärische vordere Oberfläche **1''** und eine hintere Oberfläche **2''** mit einer beugenden Struktur auf einem asphärischen Substrat zur Bereitstellung von Farbkorrektur und Korrektur einer sphärischen Aberration. Das nachfolgende Objektivlinsenelement **302** ist aus Germanium hergestellt und weist eine stark negative Leistung auf. Weil Germanium einen hohen Koeffizienten der Variation des Brechungsindex mit der Temperatur aufweist, stellt ein stark negatives Germaniumlinsenelement **302** einen signifikanten Beitrag zur Athermalisierung des Systems dar.

[0068] Objektivlinsenelement **303** und die nachfolgenden Übertragungslinsenelemente **304**, **305** und **308** führen im allgemeinen die gleiche Funktion wie die in [Fig. 2](#) dargestellten Linsenelemente (**203**, **204**, **205** und **208**) aus. Man beachte, daß Element **306** das Dewar-Fenster ist, während das Endobjektivlinsenelement **303**, das Anfangsübertragungslinsenelement **304** und das Endübertragungslinsenelement **307** alle asphärische Oberflächen tragen. Die Linsenelemente sorgen zusammen für eine Verzerrung von -50%, d.h. ein Verhältnis von 2:1 zwischen axialer und Randfeld-Brennweite, die paraxiale Brennweite beträgt 100 mm.

[0069] Wenn eine beugende Oberfläche verwendet wird, damit man eine Farbkorrektur erhält, gestattet dies eine Reduzierung der Gesamtlänge im Vergleich zur vorausgegangenen Ausführungsform. Die außeraxialen Strahlbündel **R** kommen dem sehr nahe, die Telezentritätsbedingung beim Detektor zu erfüllen (d.h. die Hauptstrahlen der Bündel verlaufen im wesentlichen parallel zur optischen Achse OA). Dies unterstützt die Gleichförmigkeit der Beleuchtung.

[0070] Ein besonderes Beispiel des optischen Aufbaus gemäß [Fig. 3](#) weist folgende numerische und Materialdaten auf. Die brechenden Oberflächen sind von vorne (in [Fig. 3](#) ganz links) nach hinten als Oberflächen **1''** bis **16''** angegeben, wie dies in der vorausgegangenen Beschreibung dieser Zeichnung geschah. Die Abmessungseinheiten sind in Millimetern angegeben (aber die Werte sind relativ und können entsprechend skaliert werden). Ein positiver Krümmungsradius gibt eine Mitte einer Krümmung zur rechten Seite des Linsenelements an, und eine negative Krümmung zur linken. Die Oberfläche **13''** ist die Aperturblende (mit einem Aperturverhältnis $F/3.5$), und die optimale Wellenlänge beträgt 4,5 Mikrometer, wobei der Spektralbereich etwa 4,0 Mikrometer bis etwa 5,0 Mikrometer beträgt, der Halbfeldwinkel beträgt 5,0 Grad und die Brennweite beträgt 100 mm.

Designdaten:

Oberfläche Nummer:	Krümmungs- radius:	Gestalt:	Trennung nach:	Apertur:	Material:
1''	35,349	sphärisch	5,888	29,0	Zinksulfid
2''	-360,09	asphärisch + beugend	6,156	27,8	
3''	303,52	sphärisch	2,386	20,2	Germanium
4''	71,483	sphärisch	29,238	18,5	
5''	20,661	sphärisch	2,273	10,7	Germanium
6''	15,393	asphärisch	8,482	9,7	
7''	-168,65	asphärisch	2,711	10,8	Germanium
8''	-19,033	sphärisch	7,730	11,8	
9''	48,757	sphärisch	2,305	9,7	Silizium
10''	-48,757	sphärisch	3,194	9,3	
11''	unendlich	flach	1,154	4,1	Silizium
12''	unendlich	flach	0,635	3,7	
13''	unendlich	flach	7,242	2,7	
14''	51,653	asphärisch	2,273	12,1	Germanium
15''	unendlich	flach	3,153	11,8	
16'' (Bild)	unendlich	flach		8,7	

[0071] Die Krümmung der asphärischen Oberflächen wird durch folgende Gleichung definiert:

$$Z_{\text{Asphärisch}} = \frac{cY^2}{1 + \left(1 - (1+k)c^2Y^2\right)^{1/2}} + A_4Y^4 + A_6Y^6 + A_8Y^8 + \dots$$

wobei die Größen c , k , A_4 , A_6 und A_8 Parameter mit den unten angegebenen Werten sind.

Oberfläche	c	k	A_4	A_6	A_8
2''	0,00277705	0,000000	0,357540E-05	-0,172862E-08	0,0
6''	0,06496640	0,000000	-1,63224E-04	2,98651E-06	0,0
7''	-0,00592953	0,000000	-3,94246E-04	2,13230E-06	0,0
14''	0,01936000	0,000000	5,33796E-04	-9,23470E-06	7,00749E-08

06

[0072] Und Beugungsdaten hinsichtlich der beugenden Struktur der asphärischen und beugenden Oberfläche 2'' des Objektivlinsenelements 301 werden definiert durch folgende Gleichung:

$$Z_{\text{Beugung}} = \frac{n-1}{n} \left[H_2Y^2 + H_4Y^4 + H_6Y^6 + \dots \right] + \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \times \ln \left[\frac{H_2Y^2 + H_4Y^4 + H_6Y^6 + \dots}{\lambda_0} \right] \right)$$

wobei n der Brechungsindex des Substrats und λ_0 die Designwellenlänge (0,0045 mm) ist. Die Größen n und λ_0 und die Größen H_2 , H_4 und H_6 sind unten angegeben:

Oberfläche	n	λ_0	H ₂	H ₄	H ₆
2''	2,24955	0,0045	0,346495E-03	0,0	0,0

[0073] Der Term Z_{Diff} und 'Y' sind Entfernungen entlang zueinander orthogonaler Achsen in einer Ebene, die die optische Achse OA enthält und wobei ihr Ursprung an dem Punkt liegt, wo die Oberfläche schneidet. Der Term Z_{Diff} ist ein zusätzlicher Z-Wert, zu dem es aufgrund der beugenden Struktur kommt (d.h. zusätzlich zu dem asphärischen Substrat), so daß die Oberflächenkoordinate Z in einem außeraxialen Abstand Y auf der Oberfläche 2'' gegeben ist durch $Z_{\text{Aspheric}} + Z_{\text{Diff}}$.

[0074] Die drei oben unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) beschriebenen Ausführungsformen arbeiten alle in dem Wellenband 4-5 μm . Es versteht sich jedoch, daß die Erfindung auf optische Systeme angewendet werden könnte, die in anderen Wellenbändern wie etwa dem Wellenband 8-12 μm verwendet werden sollen, vorausgesetzt, es werden entsprechende brechende Materialien verwendet, die in dem relevanten Wellenband transparent sind. Zu geeigneten Materialien für das Wellenband 8-12 Mikrometer zählen: Germanium; Silizium; Zinksulfid; Zinkselenid oder "KRS-5" (Thalliumbrom-Iodid).

[0075] Es ist sogar zu verstehen, daß Modifikationen und Variationen an verschiedenen der in den oben bereitgestellten spezifischen Beispielen verwendeten Parametern vorgenommen werden können, ohne vom Schutzbereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0076] Beispielsweise verwenden die vorliegenden Ausführungsformen eine lineare optische Achse OA, doch kann die vorliegende Erfindung auf ein optisches System angewendet werden, das an einem geeigneten Luftspalt in dem optischen Aufbau (wie etwa zwischen den Elementen 102 und 103 des in [Fig. 1](#) dargestellten Systems) gefaltet ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum optischen Abbilden, das folgendes umfaßt:
Fokussieren optischer Strahlung von einer Szene oder einem Objekt in ein Zwischenbild mit einem im wesentlichen vorbestimmten Grad an negativer Verzerrung;
Fokussieren optischer Strahlung von dem verzerrten Zwischenbild in ein um etwa -50% negativ verzerrtes Endbild in einem Endbildgebiet mit einem Linsensystem; Detektieren des negativ verzerrten Endbilds mit Detektierungsmitteln, wodurch die Auflösung in der Mitte des Felds im Vergleich zur Auflösung am Rand des Felds verstärkt wird, wodurch die das Endbild ausbildende optische Strahlung mit der Aperturblende begrenzt wird, die sich zwischen dem Endbildgebiet und dem Linsenelement des Linsensystems befindet, das von dem Endbildgebiet am weitesten entfernt ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei dem Endbild beim Fokussieren von Licht von dem Zwischenbild unter Verwendung des Linsensystems eine im wesentlichen negative Verzerrung auferlegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei einem Bild eine im wesentlichen negative Verzerrung auferlegt wird mit einem oder mehreren Linsenelementen, die das erste Linsenelement hinter dem Bildgebiet sind, in dem das jeweilige Bild ausgebildet wird oder werden soll.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei einem Bild eine im wesentlichen negative Verzerrung auferlegt wird mit einem oder mehreren Linsenelementen, die das letzte Linsenelement vor dem Bildgebiet sind, in dem das jeweilige Bild ausgebildet wird oder werden soll.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei dem Endbild eine im wesentlichen negative Verzerrung auferlegt wird mit einem Linsenelement des Linsensystems, das sich neben dem Bildgebiet des Zwischenbilds befindet, und einem anderen Linsenelement des Linsensystems, das sich neben dem Bildgebiet des Endbilds befindet.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Zwischenbild durch ein Objektivlinsensystem ausgebildet wird und dem Zwischenbild eine im wesentlichen negative Verzerrung auferlegt wird, wobei mindestens das letzte Linsenelement des Objektivlinsensystems verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei dem Endbild eine im wesentlichen negative Verzerrung auferlegt wird, wobei ein Linsenelement des Linsensystems unmittelbar hinter dem Zwischenbildgebiet und ein Linsen-

element des Linsensystems hinter der Aperturblende und unmittelbar vor dem Endbildgebiet verwendet werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei eine im wesentlichen negative Verzerrung des Zwischen- und/oder Endbilds bereitgestellt wird, wobei Linsenelemente verwendet werden, die jeweils eine oder asphärische Oberflächen tragen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei ein oder mehrere Linsenelemente mit einer beugenden Struktur, die sich für die Bereitstellung einer Farbkorrektur eignet.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 9, unter Verwendung eines Bilddetektors innerhalb eines Dewar-Gefäßes, wobei die optische Strahlung von dem Zwischenbild in ein Endbild an einem Bilddetektionsgebiet des Detektors fokussiert wird; und sich die Aperturblende zwischen dem Bilddetektionsgebiet und dem Linsenelement des Linsensystems, das von dem Bilddetektionsgebiet am weitesten entfernt ist, befindet.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

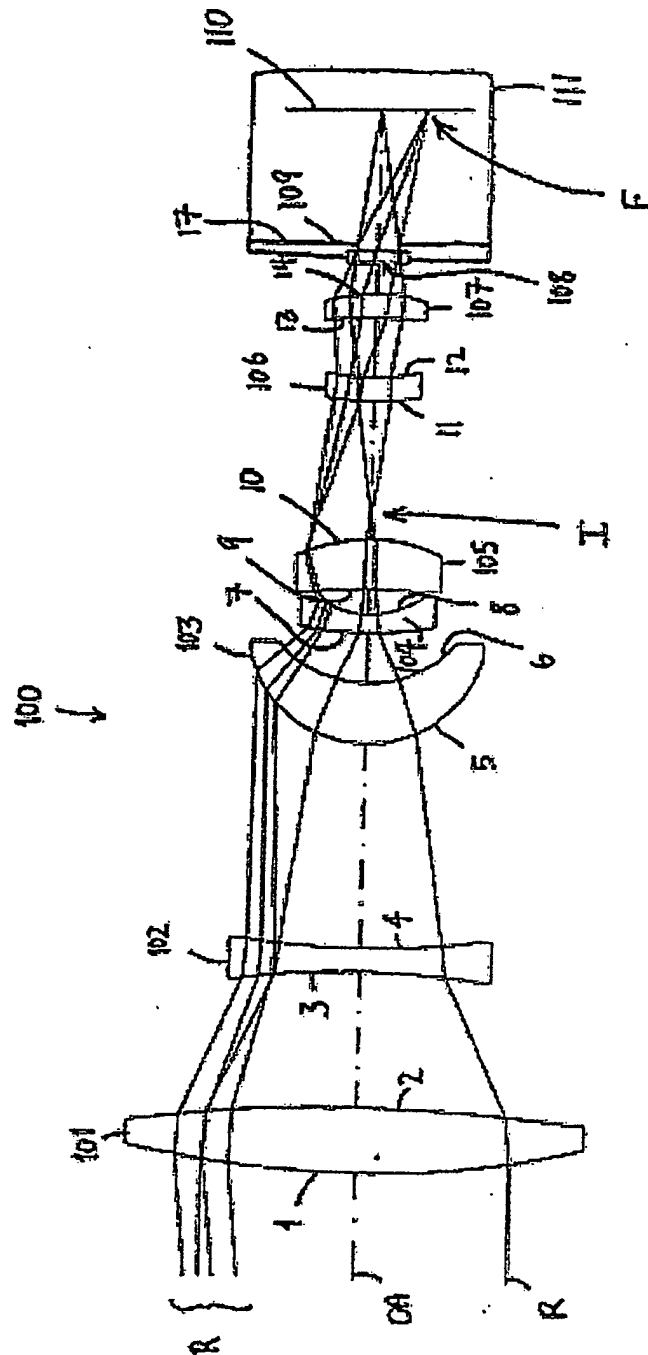


FIGURE 1

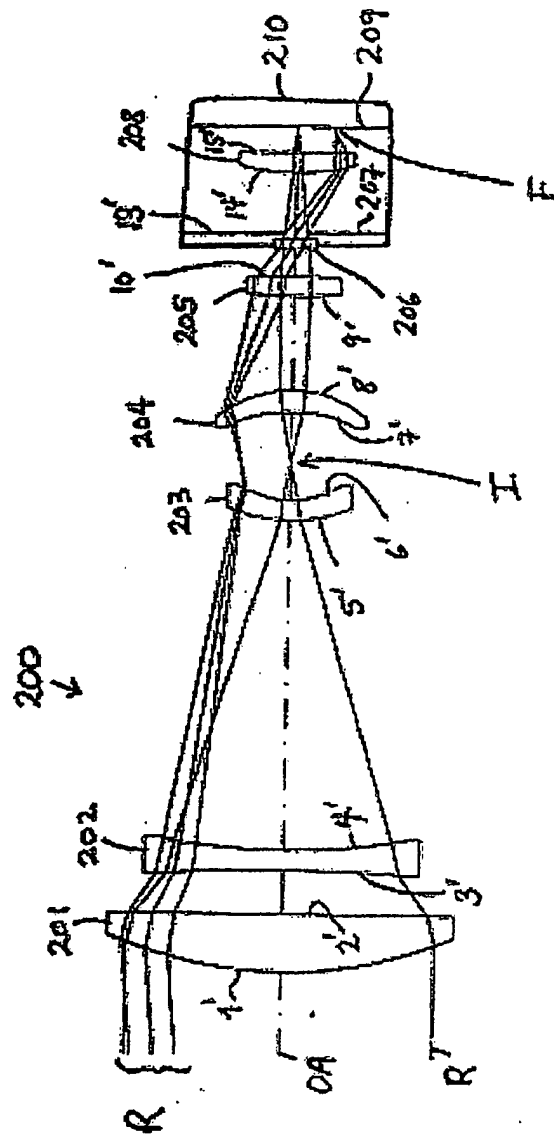
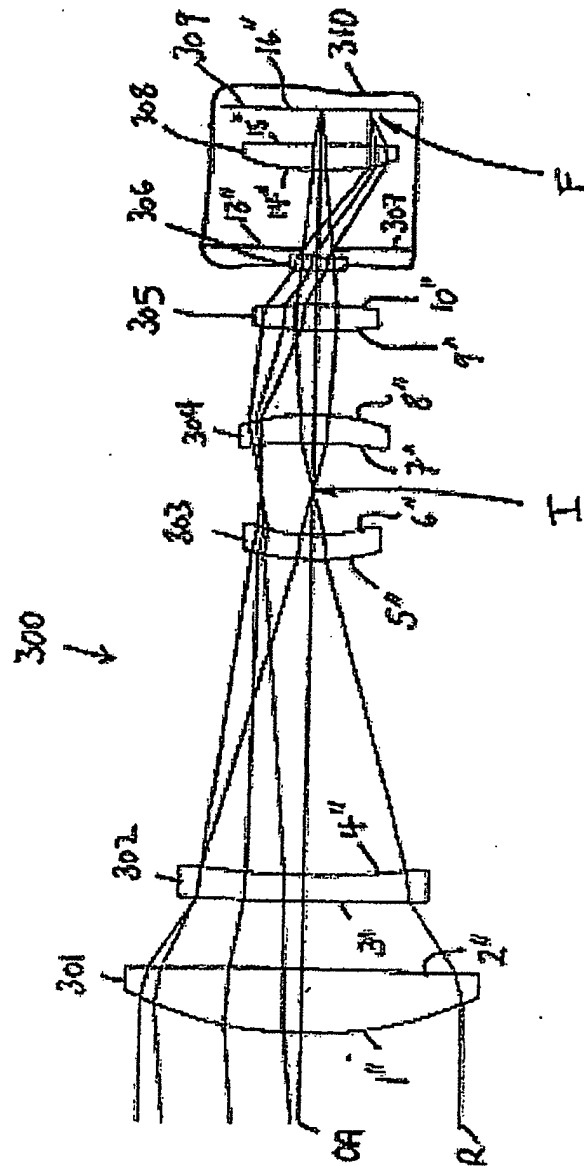


FIGURE 2



FIGUR 3