

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) DE 10 2012 005 152 B4 2019.05.02

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 005 152.2**
 (22) Anmelddatum: **06.03.2012**
 (43) Offenlegungstag: **13.09.2012**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **02.05.2019**

(51) Int Cl.: **G03B 41/00 (2006.01)**
G02B 3/00 (2006.01)
H04N 5/232 (2006.01)
H04N 1/40 (2006.01)
G02B 9/00 (2006.01)
G03B 3/00 (2006.01)

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

(30) Unionspriorität:
2011-052352 10.03.2011 JP

(73) Patentinhaber:
CANON KABUSHIKI KAISHA, Tokyo, JP

(74) Vertreter:
WESER & Kollegen, 81245 München, DE

(72) Erfinder:
Hiasa, Norihito, Tokyo, JP; Hatakeyama, Koshi, Tokyo, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

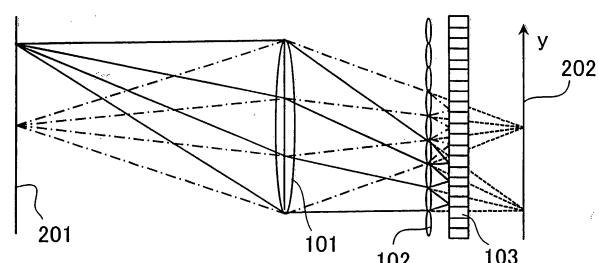
US	2009 / 0 185 801	A1
US	2010 / 0 265 381	A1
WO	2010 / 121 637	A1

LUMSDAINE, A.; GEORGIEV, T.: The focused plenoptic camera. In: Computational Photography (ICCP), 2009 IEEE International Conference on. IEEE, 2009. S. 1-8.

(54) Bezeichnung: **BILDAUFAHMEVORRICHTUNG UND BILDAUFAHMEOPTIK**

(57) Hauptanspruch: Bildaufnahmeverrichtung (301), umfassend:
 ein Bildaufnahmeelement (103);
 eine Objektiveinheit (101), konfiguriert zum Sammeln eines Lichtstrahls von einem Objekt (201) in einer bildseitigen konjugierten Ebene (202); und
 ein Linsenarray (102), welches eine Mehrzahl von Linsenzellen enthält,
 wobei das Linsenarray (102) derart angeordnet ist, dass die bildseitige konjugierte Ebene (202) und das Bildaufnahmeelement (103) zueinander konjugiert sind;
 dadurch gekennzeichnet, dass:
 das Linsenarray (102) derart angeordnet ist, dass von benachbarten Linsenzellen auf die bildseitige konjugierte Ebene (202) projizierte Pixel gegeneinander um eine Länge verschoben sind, die verschieden ist von einem ganzzahligen Vielfachen eines Mittenabstands der projizierten Pixel, wenn die Pixel des Bildaufnahmeelements (103) über die Linsenzellen auf die bildseitige konjugierte Ebene (202) projiziert werden, und
 die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,05 < \left| \frac{\sigma_1}{P_{ex}} \right| < 0,95$$



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bildaufnahmeverrichtung mit einem Linsenarray, und eine Bildaufnahmeeoptik.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] In jüngerer Zeit wurde in Verbindung mit einer Bildaufnahmeverrichtung vorgeschlagen, Berechnungen unter Zugrundelegung von Daten vorzunehmen, die von einem Bildaufnahmeelement erhalten werden, und eine digitale Bildverarbeitung nach Maßgabe der Daten zum Ausgeben verschiedener Arten von Bildern auszuführen. In der Literatur, Todor Georgiev, et al., „Full Resolution Light Field Rendering“, Adobe Technical Report January 2008, und Todor Georgiev, et al., „Superresolution with Plenoptic 2.0 Camera“, 2009 Optical Society of America ist eine „Plenoptic 2.0 Camera“ dargestellt, die gleichzeitig eine zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung und Parallaxeninformation in einer Objektebene (zusammen: „Lichtfeld“) unter Nutzung der „Lichtfeldphotographie“ aufnimmt. Bei derartigen Bildaufnahmeverrichtungen lässt sich eine Fokusposition eines Bilds, eine Tiefenschärfe oder dergleichen dadurch ändern, dass man ein Lichtfeld aufnimmt und anschließend nach Aufnahme des Bilds eine Bildverarbeitung durchführt.

[0003] Allerdings benötigt die Bildaufnahmeverrichtung die Verwendung eines Pixels des Bildaufnahmeelements zum Speichern der Parallaxeninformation zusätzlich zu dem Speichern der zweidimensionalen Lichtintensitätsverteilung. Aus diesem Grund verschlechtert sich die räumliche Auflösung im Vergleich zu einer Bildaufnahmeverrichtung, die lediglich die zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung speichert. Eine Konfiguration, in der ein gewisser Punkt einer Bildebene, die durch eine Hauptobjektiveinheit gebildet wird, wird von jeder Linse (diese wird auch als „Mikrolinse“ bezeichnet) eines Linsenarrays an einer unterschiedlichen Pixelstelle abgebildet, wie dies in der Literatur, Todor Georgiev, et al., „Superresolution with Plenoptic 2.0 Camera“, 2009 Optical Society of America, dargestellt ist. Mehrere auf diese Weise gewonnene kleine Bilder werden rekonstruiert, um ein hochauflösendes rekonstruiertes Bild zu gewinnen. Dieses Verfahren zum Gewinnen eines hochauflösenden Bilds wird auch als „Pixelshift-Effekt“, also Effekt der Pixelverschiebung, bezeichnet.

[0004] Allerdings ist in der Literatur, Todor Georgiev et al., „Superresolution with Plenoptic 2.0 Camera“, 2009 Optical Society of America nicht die spezifische Konfiguration offenbart, die benötigt wird, um hohe Auflösung zu erreichen. Die US Patentveröffentlichung No. 2010/0265381 bezieht sich auf eine von der Bildhöhe abhängige nicht-lineare Anordnung von Mikrolinsen.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0005] Die vorliegende Erfindung schafft eine Bildaufnahmeverrichtung und eine Bildaufnahmeeoptik, die in der Lage sind, ein hochauflösendes Lichtfeld mit einem einfachen Aufbau zu erreichen.

[0006] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird eine Bildaufnahmeverrichtung nach Anspruch 1 geschaffen.

[0007] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird eine Bildaufnahmeeoptik nach Anspruch 6 geschaffen.

[0008] Weitere Merkmale und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen.

Figurenliste

Fig. 1 ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm der Bildaufnahmeeoptik von Ausführungsformen **1, 3 und 4**.

Fig. 2 ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm der Bildaufnahmeeoptik der Ausführungsform **2**.

Fig. 3 ist ein Blockdiagramm einer Bildaufnahmeverrichtung in jeder der vorliegenden Ausführungsformen.

Fig. 4A bis **Fig. 4C** sind Diagramme, die einen Pixelshift-Effekt in jeder der vorliegenden Ausführungsformen erläutern.

Fig. 5 ist ein Diagramm zum Beschreiben einer Anordnung der Bildaufnahmeeoptik in jeder der vorliegenden Ausführungsformen.

Fig. 6A und **Fig. 6B** sind Diagramme zum Beschreiben eines Bilds auf einem Bildaufnahmeelement der vorliegenden Ausführungsform.

Fig. 7 ist ein Diagramm, welches einen Pixelverschiebungsbetrag bezüglich einer Distanz σ_1 angibt.

Fig. 8 ist ein Diagramm, welches ein Verhältnis der Pixelverschiebung bezüglich der Distanz σ_1 angibt.

Fig. 9 ist Diagramm, welche die Überlappungszahl kleiner Linsen in jeder der vorliegenden Ausführungsformen beschreibt.

Fig. 10 ist ein Diagramm zum Erläutern einer räumlichen Auflösung einschließlich des Pixelshift-Effekts bei jeder der vorliegenden Ausführungsformen.

Fig. 11 ist ein Diagramm, welches eine Beziehung zwischen der Distanz σ_1 und einem räumlichen Auflösungsverhältnis angibt.

Fig. 12 ist ein Querschnittsdiagramm der Bildaufnahmeeoptik der Ausführungsform 1.

Fig. 13 ist ein Querschnittsdiagramm der Bildaufnahmeeoptik der Ausführungsform 2.

Fig. 14 ist ein Querschnittsdiagramm der Bildaufnahmeeoptik der Ausführungsformen 3 und 4.

Fig. 15 ist ein Konfigurationsdiagramm des Bildverarbeitungssystems der Ausführungsform 4.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0009] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden im folgenden anhand der begleitenden Zeichnungen erläutert. In jeder der Zeichnungen sind gleiche Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen, und von wiederholten Beschreibungen wird abgesehen. Jede der Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, die im folgenden beschrieben werden, lässt sich allein implementieren oder in Form einer Kombination aus mehreren Ausführungsformen oder deren Merkmalen, wo nötig oder wo die Kombination von Elementen oder Merkmalen aus individuellen Ausführungsformen zu einer einzelnen Ausführungsform vorteilhaft ist.,

[0010] Die Bildaufnahmeverrichtung der vorliegenden Ausführungsform ist derart konfiguriert, dass unter Verwendung eines Linsenarrays ein Lichtfeld gewonnen wird, wobei das Linsenarray an einer geeigneten Stelle angeordnet ist, um eine effiziente hohe Auflösung zu erreichen. Zunächst wird anhand der **Fig. 1** und **Fig. 2** eine schematische Konfiguration der Bildaufnahmeverrichtung beschrieben (sowie einer Bildaufnahmeeoptik, die konfiguriert ist unter Ausschluss eines Bildaufnahmeelements von der Bildaufnahmeverrichtung). **Fig. 1** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm einer Bildaufnahmeeoptik der im folgenden beschriebenen Ausführungsformen 1, 3 und 4, und **Fig. 2** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm der Bildaufnahmeeoptik der im folgenden beschriebenen Ausführungsform 2.

[0011] Wie in den **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt ist, besitzt die Bildaufnahmeeoptik eine Hauptobjektiveinheit 101 (ein optisches System), das mit einer (nicht dargestellten) Aperturblende ausgestattet ist. In **Fig. 2** sind ein Linsenarray 102 und ein Bildaufnahmeelement 103 auf einer Rückseite (der Bildseite) einer Bildebene angeordnet, das heißt einer bildseitigen konjugierten Ebene 202 der Linseneinheit 101 bezüglich einer Objektebene 201. Das Linsenarray 102 ist derart angeordnet, dass die bildseitige konjugierte Ebene 202 der Hauptobjektiveinheit 101 und das Bildaufnahmeelement 103 einem Paar konjugierter Ebenen des Linsenarrays 102 entsprechen.

[0012] Ein Lichtstrahl von der Objektebene 201 tritt über die Hauptobjektiveinheit 101 und das Linsenarray 102 in das Bildaufnahmeelement 103 ein. In diesem Fall wird von der Hauptobjektiveinheit 101 ein reelles Bild erzeugt, das heißt, das Bild wird erzeugt durch eine Lichtsammelfunktion, wird von dem Linsenarray 102 umgeformt und tritt in eine Mehrzahl verschiedener Pixel des Bildaufnahmeelements 103 abhängig von einer Stelle und einem Winkel des Lichtstrahls in der Objektebene 201. Im Ergebnis erhält das Bildaufnahmeelement 103 ein Bild, welches konfiguriert ist durch eine Mehrzahl kleiner Bilder mit unterschiedlichen Abbildungsblickwinkeln und Abbildungsbereichen. Andererseits befindet sich gemäß **Fig. 1** das Linsenarray 102 auf einer Vorderseite der Hauptobjektiveinheit 101 bezüglich der Bildebene, das heißt auf der Objektseite einer bildseitigen konjugierten Ebene 202 der Hauptobjektiveinheit 101 bezüglich der Objektebene 201, um das Lichtfeld zu erhalten. In jedem Fall jedoch wird das Bild der Hauptobjektiveinheit 101 bezüglich der Objektebene 201 von dem Linsenarray als ein auf dem Bildaufnahmeelement 103 zu erzeugendes Objekt gesehen, so dass diese Fälle im wesentlichen gleich sind.

[0013] Als nächstes wird unter Bezugnahme auf **Fig. 3** eine Konfiguration der Bildaufnahmeverrichtung dieser Ausführungsform erläutert. **Fig. 3** ist ein Blockdiagramm der Bildaufnahmeverrichtung dieser Ausführungsform. Das Bildaufnahmeelement **103** ist ein zweidimensionales Bildaufnahmeelement wie zum Beispiel ein CCD-Bauelement (Charge Coupled Device) oder ein CMOS-Bauelement (Complementary Metal-Oxide Semiconductor). Die Energie des Lichtstrahls, der über die Hauptobjektiveinheit **101** und das Linsenarray **102** in das Bildaufnahmeelement **103** gelangt, wird in ein elektrisches (analoges) Signal umgewandelt, um von einem A/D-Wandler **104** in ein digitales Signal umgesetzt zu werden. Es erfolgt eine vorbestimmte Verarbeitung bezüglich dieses digitalen Signals durch einen Bildprozessor **105**, und das digitale Signal wird in einem vorbestimmten Format in einem Bildaufzeichnungsträger **110**, zum Beispiel einem Halbleiterspeicher, gespeichert. In diesem Fall wird gleichzeitig eine Bildaufnahmeverrichtungs-Information der Bildaufnahmeverrichtung, die von einem Zustandsdetektor **108** ermittelt wird, gespeichert. Diese Bildaufnahmeverrichtungs-Information ist zum Beispiel eine Objektentfernung, ein Blendenwert oder eine Brennweite eines Zoomobjektivs. Der Zustandsdetektor **108** kann direkt die Bildaufnahmeverrichtungs-Information von einer Systemsteuerung **111** erhalten, oder alternativ kann er die Information auch von einer Optiksteuerung **107** bezüglich der Bildaufnahmeeoptik erhalten.

[0014] Wenn das auf dem Bildaufzeichnungsträger **110** gespeicherte Bild auf einem Display **106** dargestellt wird, erfolgt eine Rekonstruktionsverarbeitung durch den Bildprozessor **105** auf der Grundlage der Bildaufnahmeverrichtungs-Information. Im Ergebnis wird auf dem Display **106** ein rekonstruiertes Bild mit einem gewünschten Blickpunkt, einer gewünschten Fokusposition oder einer gewünschten Tiefenschärfe dargestellt. Zur Beschleunigung der Verarbeitung können vorab in der Speichereinheit **109** zur direkten Darstellung des rekonstruierten Bilds ohne Involvierung des Bildaufzeichnungsträgers **110** auch gewünschte Bildeinstellungen gespeichert werden, so beispielsweise ein Blickwinkel, ein Fokus oder eine Tiefenschärfe. Außerdem kann das auf dem Bildaufzeichnungsträger **110** aufgezeichnete Bild auch selbst ein rekonstruiertes Bild sein. Die Folge von Steuervorgängen, die oben angegeben wurden, wird ausgeführt seitens der Systemsteuerung **111**, wobei ein mechanischer Antrieb der Bildaufnahmeeoptik unter Steuerung durch die Optiksteuerung **107** nach Maßgabe eines Befehls seitens der Systemsteuerung **111** ausgeführt wird.

[0015] Im folgenden wird eine geeignete Stellung des Linsenarrays **102** erläutert. Zunächst wird die Verschlechterung der Auflösung entsprechend dem Erhalt des Lichtfels beschrieben, und danach wird eine optimale Bedingung zum Gewinnen hoher Auflösung durch den Pixelshift-Effekt ermittelt. Eine Bedingung, die eine Empfindlichkeit der Anordnung des Linsenarrays **102** für den Pixelshift-Effekt unterdrückt, wird ebenfalls beschrieben. Zum einfachen Verständnis erfolgt die nachfolgende Berechnung für eine eindimensionale Anordnung. Die gleiche gilt für eine zweidimensionale Anordnung.

[0016] Zunächst wird anhand der **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** die Beeinträchtigung der Auflösung der Bildaufnahmeeoptik erläutert, die das Lichtfeld gewinnt. **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** sind Diagramme, die den Pixelshift-Effekt der vorliegenden Ausführungsform beschreiben, die als Auszug eines Teils der **Fig. 2** dargestellt wird. Gestrichelte Linien in **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** bedeuten Bildfeldwinkel in Bezug auf jede kleine Linse, das heißt in Bezug auf eine Linsenzelle des Linsenarrays **102**. In einer herkömmlichen Bildaufnahmeeoptik, die lediglich eine zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung ermittelt, befindet sich ein Bildaufnahmeelement in einer bildseitigen konjugierten Ebene eines Hauptobjektivs bezüglich einer Objektebene zur Aufnahme eines Bilds. In diesem Fall gleicht die Auflösung des Bilds der Anzahl von Pixeln in dem Bildaufnahmeelement. Andererseits wird in der Bildaufnahmeverrichtung der vorliegenden Ausführungsform, die das Lichtfeld ermittelt, die Auflösung im Vergleich zu der Anzahl von Pixeln des Bildaufnahmeelements verschlechtert.

[0017] **Fig. 4B** ist ein Diagramm der Projektion einer Bildaufnahmeebene, das heißt der bildseitigen konjugierten Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** mit Bezug auf die Objektebene **201** unter der Bedingung, dass lediglich die zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung der Pixel in **Fig. 4A** erhalten wird. In der in **Fig. 2** dargestellten Bildaufnahmeeoptik wird die Auflösung, die bei Aufnahme eines Bilds mit einem durch die Projektion vergrößerten Pixel-Mittenabstand erreicht wird, vorgegeben. Die räumliche Auflösung ist in diesem Fall ein Wert, der erhalten wird durch die Vergrößerung $|\sigma_2/\sigma_1|$ des Linsenarrays **102** unter Bezug auf das ursprüngliche Bildaufnahmeelement **103** (der Betrag seines Quadrats in einer zweidimensionalen Verteilung). Bei der Ausführungsform bezeichnet das Symbol σ_1 einen Abstand von einer objektseitigen Hauptebene des Linsenarrays **102** zu der bildseitigen konjugierten Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** in Bezug auf die Objektebene **201**, und das Symbol σ_2 bezeichnet einen Abstand von der bildseitigen Hauptebene des Linsenarrays **102** zu dem Bildaufnahmeelement **103**. Um einen Abbildungs-Feldwinkel zu garantieren, der äquivalent ist zu der herkömmlichen Bildaufnahmeeoptik, die die zweidimensionale Lichtintensitätsverteilung mit demselben Bildaufnahmeelement **103** abbildet, muss das Linsenarray **102** ein Verkleinerungssystem sein. Wenn ein Bildaufnahmeelement, welches dem Bildaufnahmeelement **103** äquivalent ist, als Linsenarray in einem Vergrößerungssystem verwendet wird, nimmt Information sowohl der Stelle als auch des Bildfeldwinkels im Vergleich zu

der herkömmlichen Bildaufnahmeeoptik zu. Deshalb reicht die Anzahl der Pixel nicht aus, und ein Abbildungsbereich wird im Vergleich zu der herkömmlichen Bildaufnahmeeoptik verkleinert. Da bei der vorliegenden Ausführungsform das Linsenarray **102** ein verkleinerndes System ist, ist die Bedingung $|\sigma_1\sigma_2| > 1$ erfüllt, und die Auflösung des Bilds wird im Vergleich zu der Anzahl von Pixeln des Bildaufnahmeelements verringert.

[0018] Als nächstes wird die Verbesserung der räumlichen Auflösung durch den Pixelshift-Effekt beschrieben. Wie in **Fig. 4A** dargestellt ist, ist der Bildfeldwinkel bei Betrachtung von jeder kleinen Linse des Linsenarrays **102** aus in der bildseitigen konjugierten Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** in Bezug auf die Objektebene überlappt. Die Anzahl der kleinen Linsen, in denen der Bildfeldwinkel überlappt ist, wird als Überlappungszahl der kleinen Linse bezeichnet. In **Fig. 4A** projizieren drei kleine Linsen einen Teil einer Fläche der bildseitigen konjugierten Ebene **202**, und die Überlappungszahl der kleinen Linsen beträgt drei.

[0019] **Fig. 4B** ist ein Diagramm, welches erhalten wird durch Projizieren eines Pixelsatzes des Bildaufnahmeelements **103** entsprechend jeder kleinen Linse auf die bildseitige konjugierte Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101**. Wie in **Fig. 4B** dargestellt ist, können, wenn jedes der Projektionspixel verschoben wird, diese zusammengesetzt werden, um die scheinbare Pixelgröße zu verkleinern und ein hochauflösendes rekonstruiertes Bild zu erhalten.

[0020] In anderen Worten: es muss lediglich das Linsenarray **102** derart angeordnet werden, dass ein auf die bildseitige konjugierte Ebene **202** projiziertes Pixel verschoben wird um eine Länge, die verschieden ist von einem ganzzahligen Vielfachen des Mittenabstands der von benachbarten Linsenzellen projizierten Pixel. Damit lässt sich ein hochauflösendes Bild erhalten. In anderen Worten: Pixelsätze, die von benachbarten Linsenzellen projiziert werden, werden als erster Projektionspixelsatz und zweiter Projektionspixelsatz bezeichnet. In diesem Fall braucht das Linsenarray **102** lediglich so angeordnet zu werden, dass Projektionsstellen von Pixeln, die den ersten Projektionspixelsatz und den zweiten Projektionspixelsatz bilden, nicht miteinander übereinstimmen. Anders ausgedrückt: das Linsenarray **102** braucht lediglich derart angeordnet zu werden, dass es kein Pixel gibt, das auf die gleiche Stelle von Pixeln projiziert wird, die durch das benachbarte Linsenarray projiziert werden.

[0021] Wenn hingegen die Projektionspixel zusammenfallen, wie dies in **Fig. 4C** dargestellt ist, kann der Pixelshift-Effekt nicht erreicht werden, und dementsprechend kann die Auflösung nicht verbessert werden. Die höchste Auflösung kann man dann durch den Pixelshift-Effekt erreichen, wenn ein Verhältnis der Pixelverschiebung der Überlappungszahl der kleinen Linsen entspricht. Insbesondere betrifft in den **Fig. 4A** bis **Fig. 4C** die Überlappungszahl drei, und daher lässt sich die Höchstauflösung dann erreichen, wenn das Verhältnis des Pixelshifts 1/3 oder 2/3 beträgt. Die Einzelheiten der Beziehung zwischen dem Verhältnis der Pixelverschiebung und der Überlappungszahl der kleinen Linsen wird unten noch erläutert.

[0022] Im folgenden wird die Beziehung zwischen dem Abstand σ_1 und dem Verhältnis des Pixelshifts erläutert. Ein relativer Pixelshift-Betrag benachbarter kleiner Linsen wird dargestellt durch ein Verhältnis $|\Delta_{LA}\sigma_2| / (\Delta\sigma_1)$, welches gewonnen wird durch Dividieren eines Mittenabstands Δ_{LA} des Linsenarrays **102** durch einen Mittenabstand des Pixels, das auf die bildseitige konjugierte Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** projiziert wird. Bei dieser Ausführungsform bezeichnet das Symbol Δ einen Pixel-Mittenabstand des Bildaufnahmeelements **103**. Um das Verhalten des Pixelshift-Betrags bezüglich der Anordnung des Linsenarrays zu erkennen, soll im folgenden anhand der **Fig. 5** eine Bedingung erläutert werden, die für σ_1 und σ_2 erfüllt sein müssen.

[0023] **Fig. 5** zeigt eine detaillierte Konfiguration der **Fig. 1**, wobei eine ähnliche Beziehung bezüglich der Konfiguration nach **Fig. 2** erfüllt ist. Das Symbol F in **Fig. 5** bezeichnet eine F-Zahl der Hauptobjektiveinheit **101**, und das Symbol P_{ex} bezeichnet einen Abstand zwischen einer Austrittspupille (einer achsenparallelen Austrittspupille) der Hauptobjektiveinheit **101** und der bildseitigen konjugierten Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101**. Das Symbol N ist eine positive ganze Zahl, welche die Teilungszahl einer Pupillenebene der Hauptobjektiveinheit **101** repräsentiert. Das Symbol $P_{ex}/(NF)$ bezeichnet eine Abtastschrittweite der Winkelinformation, die von dem Bildaufnahmeelement **103** erhalten wird. Wie in **Fig. 5** zu erkennen ist, erfüllt die Beziehung zwischen Δ_{LA} und σ_1 den folgenden Ausdruck (1):

$$\Delta_{LA} = \left| \frac{\sigma_1}{NF} \right| \quad (1)$$

[0024] Bei dieser Ausführungsform bezeichnet das Symbol σ_1 einen positiven Wert, wenn die objektseitige Hauptebene des Linsenarrays **102** sich auf einer Vorderseite, das heißt einer Objektseite der bildseitigen kon-

jugierten Ebene **202** befindet, andererseits bedeutet das Symbol einen negativen Wert, wenn die objektseitige Hauptebene sich auf einer hinteren, das heißt einer Bildseite der bildseitigen konjugierten Ebene **202** befindet. Eine strichpunktisierte Linie in **Fig. 5** verbindet als gerade Linie ein Zentrum der kleinen Linse des Linsenarrays **102** und eine Kante des Pixelsatzes entsprechend der kleinen Linse, wobei ein Abstand zwischen einem Schnittpunkt dieser geraden Linie auf der Pupillenebene und einem Pupillenzentrum durch folgenden Ausdruck (2) gegeben ist:

$$\frac{P_{ex}}{2F} \left(1 + \frac{1 - 2l_r}{N} \right) \quad (2)$$

[0025] Bei dieser Ausführungsform bezeichnet l_r einen Parameter, der für ein Maß einer Totzone und ein Übersprechen auf dem Bildaufnahmeelement steht. Bezugnehmend auf die **Fig. 6A** und **Fig. 6B** werden die Totzone und das Übersprechen erläutert.

[0026] **Fig. 6A** veranschaulicht einen Zustand eines Bilds auf dem Bildaufnahmeelement **103** für den Fall, dass ein Wert l_r negativ ist. Weiße Zonen bedeuten Zonen, auf die ein Lichtstrahl trifft, eine graue Zone wird als Totzone bezeichnet und ist eine Zone, auf die der Lichtstrahl nicht trifft. Wenn der Wert von l_r abnimmt, erweitert sich die Totzone. Da dies bedeutet, dass die Anzahl der Pixel, die keine Information empfangen, zunimmt, ist es bevorzugt, die Totzone zu minimieren. Demgegenüber veranschaulicht **Fig. 6B** einen Zustand eines Bilds auf dem Bildaufnahmeelement **103** für den Fall, dass der Wert l_r positiv ist. Bilder, die über verschiedene kleine Linsen erzeugt werden, sind einander überlappt. Innerhalb der Überlappungszone gelangen die Lichtstrahlen, die unterschiedliche Positionen und Winkel auf der Objektebene **201** haben, in dasselbe Pixel, und dieses Phänomen wird als Übersprechen bezeichnet. Wenn der Wert von l_r zunimmt, erweitert sich die Zone des Übersprechens. Da das Pixel, in dem es zu Übersprechen kommt, das Lichtfeld nicht gewinnen kann, lässt sich kein exaktes Bild erzeugen, wenn das Pixel für die Rekonstruktion verwendet wird.

[0027] Wenn das Pixel, in welchem es zu Übersprechen kommt, nicht für die Rekonstruktion des Bilds verwendet wird, nimmt die Anzahl von nicht verwendbaren Pixeln zu, wenn die Zone des Übersprechens groß ist. Aus diesem Grund ist es bevorzugt, dass die Zone mit Übersprechen minimiert wird. Wenn der Wert von l_r Null ist, werden das Entstehen der Totzone und das Entstehen von Übersprechen minimiert. Allerdings lässt sich in einem realen System aufgrund des Einflusses einer Verschiebung der besten Fokusstelle aufgrund von Aberrationen, Vignettierung der Hauptobjektiveinheit **101**, Lichtabschwächung in Randbereichen oder dergleichen die Entstehung der Totzone oder des Übersprechens auch dann unterdrücken, wenn der Wert von l_r etwas gegenüber Null verschoben ist.

[0028] Basierend auf **Fig. 5** und dem Ausdruck (2) ist der folgende Ausdruck (3) erfüllt:

$$\frac{N+1-2l_r}{N} \frac{P_{ex}\sigma_2}{2F(P_{ex} - \sigma_1)} = \frac{\Delta_{LA}}{2} \quad (3)$$

[0029] Anhand der Ausdrücke (1) und (3) ergibt sich der relative Pixelshift-Betrag der benachbarten kleinen Linsen durch folgenden Ausdruck (4):

$$\frac{\Delta_{LA}}{\Delta|\sigma_1/\sigma_2|} = \frac{1}{N(N+1-2l_r)F} \left| \frac{\sigma_1}{\Delta} \right| \left(1 - \frac{\sigma_1}{P_{ex}} \right) \quad (4)$$

[0030] Bei dem Ausdruck (4) handelt es sich um einen Ausdruck, der ein Verhalten des relativen Pixelshift-Betrags der benachbarten kleinen Linsen bezüglich der Distanz σ_1 repräsentiert.

[0031] Als nächstes wird eine Empfindlichkeit der Distanz σ_1 bezüglich des Pixelshift-Effekts beschrieben. Die nachfolgende Beschreibung zeigt ein Beispiel für die in **Fig. 1** dargestellte Konfiguration, es gilt jedoch das gleiche für die Konfiguration nach **Fig. 2**. Bezugnehmend auf den Ausdruck (4) wird der Pixelshift-Betrag bezüglich der Distanz σ_1 in **Fig. 7** dargestellt. Rautenförmige Punkte in **Fig. 7** bedeuten Lösungen, bei denen die Anzahl von Pixeln des Pixelsatzes entsprechend den kleinen Linsen ganzzahlig ist. Bei von diesen Lösungen abweichenden Werten von σ_1 kommt es zu dem oben beschriebenen Übersprechen. Wenn allerdings eine Wandfläche an dem Bildaufnahmeelement **103** vorgesehen ist, so dass der Lichtstrahl von einer anderen kleinen Linse nicht in den einer gewissen kleinen Linse entsprechenden Pixelsatz gelangt, lässt sich das Über-

sprechen auch dann unterdrücken, wenn die Anzahl der Pixelsätze entsprechend den kleinen Linsen keine ganze Zahl ist. Da die Verschiebung des ganzzahligen Vielfachen der Pixel gemäß **Fig. 4C** bedeutungslos ist, lässt sich ein ganzzahliger Teil im Ausdruck (4) ignorieren. Aus diesem Grund wird ein Verhältnis δ der Pixelverschiebung gemäß folgendem Ausdruck (5) dargestellt:

$$\delta = \text{mod}\left(\left|\frac{\Delta_{LA}\sigma_2}{\Delta\sigma_1}\right|, 1\right) \quad (5)$$

[0032] Im Ausdruck (5) bedeutet $z = \text{mod}(x, y)$, das ein Wert von z gleich ist dem Teilerest, wenn man x durch y dividiert.

[0033] **Fig. 8** ist ein Diagramm, welches das Verhältnis δ des Pixelshifts bezüglich der Distanz σ_1 veranschaulicht, welcher durch den Ausdruck (5) erhalten wird, wenn ein vorbestimmter Parameter verwendet wird. Der in **Fig. 8** zugrunde gelegte Parameter ist ein Parameter der unten beschriebenen Ausführungsform 3. Im Idealfall wird bevorzugt, dass das Linsenarray **102** sich an einer Stelle mit einem Abstand σ_1 befindet, an der das Verhältnis des Pixelshifts erhalten wird, der die höchste Auflösung kennzeichnet. In einem realen System allerdings ist in der Anordnung des Linsenarrays **102** ein Fehler enthalten, und durch diesen Fehler verringert sich der Effekt des Pixelshifts. Aus diesem Grund ist es bevorzugt, dass das Linsenarray **102** sich an einer Stelle für die Distanz σ_1 befindet, bei der der Effekt des Pixelshifts sich auch bei Entstehung des Fehlers nicht so leicht ändert. Bezugnehmend auf den Ausdruck (4) und **Fig. 7** lässt sich das Verhältnis des Pixelshifts darstellen durch eine quadratische Funktion in Abhängigkeit von der Distanz σ_1 . Daher lässt sich eine Verschlechterung des Pixelshift-Effekts aufgrund des Fehlers der Distanz σ_1 unterdrücken, indem man einen Bereich an den beiden Enden des Graphen in **Fig. 7**, wo die Neigung steil ist, vermeidet. Eine Bedingung, unter der die Empfindlichkeit der Distanz σ_1 unterdrückt wird, und bei der eine hohe Auflösung in einfacher Weise erreicht ist, lässt sich daraus ableiten.

[0034] Bei der vorliegenden Ausführungsform erfüllt die Stelle, an der das Linsenarray **102** angeordnet ist, den folgenden Bedingungsausdruck (6):

$$0,05 < \left| \frac{\sigma_1}{P_{ex}} \right| < 0,95 \quad (6)$$

[0035] In der Bildaufnahmeverrichtung mit der in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellten Konfiguration lässt sich das hochauflösende Bild erhalten, wenn der Bedingungsausdruck (6) erfüllt ist. Ist der Wert von $|\sigma_1/P_{ex}|$ größer als die Obergrenze oder kleiner als die Untergrenze des Bedingungsausdrucks (6), tritt leicht die Verschlechterung der Auflösung aufgrund des Fehlers in der Distanz σ_1 in Erscheinung.

[0036] Es ist bevorzugt, wenn der Bereich des folgenden Bedingungsausdrucks (6a) erfüllt ist, um die Empfindlichkeit der Distanz σ_1 zu unterdrücken und dadurch die hohe Auflösung zu erzielen:

$$0,18 < \left| \frac{\sigma_1}{P_{ex}} \right| < 0,82 \quad (6a)$$

Noch mehr bevorzugt ist es, dass der Bereich des folgenden

[0037] Bedingungsausdrucks (6b) oder (6c) erfüllt ist, um die Empfindlichkeit der Distanz σ_1 noch weiter zu unterdrücken, um in einfacher Weise die hohe Auflösung zu erzielen:

$$0,30 < \left| \frac{\sigma_1}{P_{ex}} \right| < 0,70 \quad (6b)$$

$$0,40 < \left| \frac{\sigma_1}{P_{ex}} \right| < 0,60 \quad (6c)$$

[0038] Wenn allerdings die Werte der Bedingungsausdrücke (6) und (6a) bis (6c) nahe an den Wert 1 gelangen, wird die Auflösung des von dem Bildaufnahmeelement 103 gewonnenen Bilds verringert, da eine Vergrößerung $|\sigma_2/\sigma_1|$ des Linsenarrays abnimmt. Im Idealfall wird die Auflösung n-mal vergrößert, wenn die n kleinen Linsen mit einem Pixelshift von 1/n überlappt sind. Hier ist n eine positive ganze Zahl. In dem realen System allerdings ist das Ausmaß der Steigerung der Auflösung durch den Pixelshift-Effekt kleiner als bei dem idealen System, bedingt durch die Einflüsse von Störungen und Aberrationen die Hauptobjektiveinheit 101. Deshalb ist es bevorzugt, wenn die Auflösung des von dem Bildaufnahmeelement 103 gewonnenen Bilds in einem gewissen Maß gewährleistet wird. Wenn bei dem in **Fig. 1** dargestellten Aufbau der Wert des Bedingungsausdrucks (6) dem Wert 1 nahekommt, handelt es sich um einen Fall, in welchem das Linsenarray mit der Hauptobjektiveinheit 101 interferiert. Dementsprechend ist es noch mehr bevorzugt, dass die Obergrenzen der Bedingungsausdrücke (6) und (6a) bis (6c) auf einen Wert kleiner als 0,1 eingestellt werden, um die Empfindlichkeit zu unterdrücken und ein noch stärker hochauflösendes Lichtfeld zu erhalten.

[0039] Als nächstes wird eine Bedingung betrachtet, unter der der Pixelshift-Effekt erzielbar ist. Wie oben beschrieben wurde, kann, wenn der relative Pixelshift-Betrag der benachbarten kleinen Linsen gemäß dem Ausdruck (4) eine ganze Zahl ist, der Effekt des Pixelshifts nicht erzielt werden, wie in **Fig. 4C** veranschaulicht ist. Aus diesem Grund kann das Linsenarray 102 derart angeordnet werden, dass eine Verschiebung des Projektionspixels von zwei kleinen einander benachbarten Linsen nicht einem ganzzahligen Vielfachen des Projektionspixels entspricht, wenn das Pixel des Bildaufnahmeelements 103 auf die bildseitige konjugierte Ebene 202 projiziert wird.

[0040] Im folgenden wird eine Bedingung erläutert, die zu einem stärkeren Pixelshift-Effekt führt. Zunächst wird die Überlappungszahl der kleinen Linsen abgeschätzt. **Fig. 9** ist eine graphische Darstellung, bei der auf der Abszisse die Anzahl j kleiner Linsen gemäß **Fig. 4B** angegeben ist, während auf der Koordinate y die bildseitige konjugierte Ebene 202 der Hauptobjektiveinheit 101 bezüglich der Objektebene 201 angegeben ist. Bei der Ausführungsform kann $j = 0$ eine beliebige kleine Linse des Linsenarrays 102 sein. Jede der Geraden parallel zu der y-Achse in **Fig. 9** repräsentiert eine Koordinate, die dann erhalten wird, wenn der der j-ten kleinen Linse entsprechende Pixelsatz auf die bildseitige konjugierte Ebene 202 projiziert wird. Eine strichpunktierter Linie A verbindet Punkte, welche die oberen Grenzen der Geraden angeben, und eine strichpunktierter Linie B verbindet Punkte, die die Untergrenzen dieser Geraden angeben. Die strichpunktierter Linie A ist gegeben durch $y = \Delta_{LA}j + |\sigma_1/(2\sigma_2)|$, und die strichpunktierter Linie B ist gegeben durch $y = \Delta_{LA}j - |\sigma_1/(2\sigma_2)|$. Die Anzahl der überlappten kleinen Linsen entspricht einer Lücke zwischen den strichpunktierten Linien A und B in Richtung j, und die Anzahl lässt sich abschätzen bei etwa $|\sigma_1/\sigma_2| + 1$, wenn die kleine Linse $j = 0$ mitgezählt wird.

[0041] Im folgenden wird die räumliche Auflösung einschließlich des Pixelshift-Effekts erläutert. Wie oben beschrieben, ist in einem realen System die Verbesserung der Auflösung durch den Pixelshift-Effekt kleiner als im idealen System. Zur Vereinfachung der Beschreibung jedoch wird die Verbesserung der Auflösung in dem idealen System für die vorliegende Ausführungsform erläutert. Eine End-Auflösung wird definiert, indem man das größte Pixel derjenigen Pixel bestimmt, das durch den Pixelshift-Effekt scheinbar klein wird. Die Pixelgröße wird als Maximumwert der scheinbaren Pixel bezeichnet.

[0042] Wenn beispielsweise die Überlappungszahl der kleinen Linsen acht beträgt und das Verhältnis δ der Pixelverschiebung der benachbarten kleinen Linsen, welches durch die Gleichung (5) dargestellt wird, den Wert 0,45 hat, betragen die Pixelverschiebungen der acht kleinen Linsen 0; 0,45, 0,90, 0,35, 0,80, 0,25, 0,70 und 0,15. In diesem Fall beträgt der Maximumwert der scheinbaren Pixel, der die Auflösung bestimmt, $0,7 - 0,45 = 0,25$. Als nächstes soll ein Fall betrachtet werden, bei dem die Überlappungszahl die gleiche ist und das Verhältnis $\delta = 3/8$ beträgt. In diesem Fall betragen die Pixelverschiebungen der acht kleinen Linsen 0, 3/8, 6/8, 1/8, 4/8, 7/8, 2/8 und 5/8. In diesem Fall beträgt der Maximumwert der scheinbaren Pixel **1/8**, was identisch ist mit dem Kehrwert der Überlappungszahl. Wenn daher das Verhältnis der Verschiebung des Pixels, wohin die benachbarte kleine Linse projiziert, identisch mit dem Kehrwert der Überlappungszahl der kleinen Linsen ist, wird der größte Pixelshift-Effekt erreicht. Das gleiche gilt für den Fall, dass das durch den Ausdruck (5) repräsentierte Verhältnis δ den Wert 1/8, 5/8 oder 7/8 hat. Wenn allerdings das Verhältnis $\delta = 2/8, 4/8$ oder $6/8$ beträgt, wird der Pixelshift-Effekt verschlechtert. Wenn beispielsweise das Verhältnis δ von 2/8 betrachtet wird, so betragen die Pixelverschiebungen der acht überlappten kleinen Linsen 0, 2/8, 4/8, 6/8, 0, 2/8, 4/8 und 6/8, und der Maximumwert der scheinbaren Pixel beträgt $2/8 = 1/4$, da die Pixel einander überlappen. Deshalb ist der Pixelshift-Effekt nur halb so groß im Vergleich zu dem Fall, dass das Verhältnis $\delta = 1/8, 3/8, 5/8$ oder $7/8$ beträgt.

[0043] Wenn also das durch den Ausdruck (5) gegebene Verhältnis δ den Wert m/M hat, lässt sich der größtmögliche Pixelshift-Effekt erzielen. Bei dieser Ausführungsform bezeichnet das Symbol M die Überlap-

pungszahl der kleinen Linsen, und das Symbol m_o bezeichnet eine ganze Zahl, die kleiner ist als M_o , wobei der größte gemeinsame Faktor von m_o und M_o 1 ist. Wie oben beschrieben, lässt sich die Überlappungszahl M_o auf etwa $|\sigma_1/\sigma_2| + 1$ abschätzen, und der Pixelshift-Effekt wird verbessert, wenn das Verhältnis δ dem Wert von m_o/M_o nahekommt.

[0044] **Fig. 10** ist ein Diagramm zum Veranschaulichen einer Beziehung zwischen dem Maximumwert der scheinbaren Pixel in Bezug auf die Distanz σ_1 und dem Kehrwert der Überlappungszahl der kleinen Linsen unter Verwendung desselben Parameters wie in **Fig. 8**. Wenn der Maximumwert der scheinbaren Pixel, repräsentiert durch einen rhombusförmigen Punkt, und der Kehrwert der Überlappungszahl der kleinen Linsen, repräsentiert durch eine gestrichelte Linie, in Bezug auf den Abstand σ_1 ähnlich sind, wird der Pixelshift-Effekt gesteigert, und die Auflösung des rekonstruierten Bilds wird verbessert. Bei einem Abstand σ_1 hingegen, bei dem der Maximumwert der scheinbaren Pixel und der Kehrwert der Überlappungszahl der kleinen Linsen einander fernliegen, lässt sich ein starker Pixelshift-Effekt nicht erzielen. **Fig. 11** zeigt eine Beziehung zwischen der Distanz σ_1 und dem räumlichen Auflösungsverhältnis, wenn derselbe Parameter wie bei **Fig. 8** verwendet wird. Das räumliche Auflösungsverhältnis der vertikalen Achse ist angegeben, indem die räumliche Auflösung des rekonstruierten Bilds normiert ist mit der Anzahl von Pixeln des Bildaufnahmeelements. Da der rhombusförmige Punkt und der Kehrwert der Überlappungszahl der kleinen Linsen bezüglich der Distanz σ_1 in **Fig. 10** nahe beieinanderliegen, wird die Auflösung einschließlich des Pixelshift-Effekts verbessert. Bei der Distanz hingegen, bei der der Maximumwert der scheinbaren Pixel näher bei 1 in **Fig. 10** liegt, lässt sich die Verbesserung der Auflösung durch den Pixelshift-Effekt kaum darstellen. Wie oben erläutert, ist, wenn die Distanz $|\sigma_1|$ dem Wert $P_{ex}/2$ nahekommt, die Schwankung des räumlichen Auflösungsverhältnisses gering, und die Empfindlichkeit des Linsenarrays wird unterdrückt.

[0045] Zum effizienten Ermitteln der Verbesserung der Auflösung durch den Pixelshift-Effekt lässt sich der Bedingungsausdruck (7) betrachten:

$$0,9 < \frac{M}{m} \text{mod} \left(\left| \frac{\Delta_{LA} \sigma_2}{\Delta \sigma_1} \right|, 1 \right) < 1,1 \quad (7)$$

[0046] In dem Bedingungsausdruck (7) bezeichnet das Symbol M eine ganze Zahl, die dem folgenden Bedingungsausdruck (8) genügt:

$$0,2 < \frac{M}{1 + |\sigma_1 / \sigma_2|} < 2,0 \quad (8)$$

[0047] Das Symbol m bezeichnet eine ganze Zahl kleiner als die ganze Zahl M mit größtem gemeinsamen Faktor von m und M von 1. Die Bedingungsausdrücke (7) und (8) repräsentieren das Maß des Pixelshift-Effekts, und die hohe Auflösung des rekonstruierten Bilds lässt sich erreichen, wenn die Bedingungsausdrücke (7) und (8) erfüllt sind. Wenn die Werte von $(M/m)\text{mod}(|\Delta_{LA} \sigma_2 / \Delta \sigma_1|, 1)$ und $M/(1 + |\sigma_1 / \sigma_2|)$ größer sind als die Obergrenze oder kleiner sind als die Untergrenze der Bedingungsausdrücke (7) bzw. (8), lässt sich ein ausreichender Pixelshift-Effekt nicht erreichen, und deshalb ist die Verbesserung der räumlichen Auflösung unzureichend.

[0048] Es ist bevorzugt, dass folgender Bedingungsausdruck (7a) erfüllt wird, um eine höhere Bildauflösung zu erzielen:

$$0,93 < \frac{M}{m} \text{mod} \left(\left| \frac{\Delta_{LA} \sigma_2}{\Delta \sigma_1} \right|, 1 \right) < 1,07 \quad (7a)$$

[0049] Es ist noch mehr bevorzugt, dass die folgende Bedingungsgleichung (7b) erfüllt ist, um ein noch besser auflösendes Bild zu erreichen:

$$0,95 < \frac{M}{m} \text{mod} \left(\left| \frac{\Delta_{LA} \sigma_2}{\Delta \sigma_1} \right|, 1 \right) < 1,05 \quad (7b)$$

[0050] Noch weiter bevorzugt werden die folgenden Bedingungsausdrücke (8a) oder (8b) erfüllt, um einen stärkeren Pixelshift-Effekt zu erreichen:

$$0,4 < \frac{M}{1 + |\sigma_1 / \sigma_2|} < 1,6 \quad (8a)$$

$$0,6 < \frac{M}{1 + |\sigma_1 / \sigma_2|} < 1,4 \quad (8b)$$

Es ist bevorzugt, wenn die bildseitige Fläche der kleinen Linsen des Linsenarrays **102** eine konvexe Form haben. Damit wird der Astigmatismus des Linsenarrays **102** unterdrückt, und die Empfindlichkeit bezüglich der Auflösung lässt sich verringern. Wenn hingegen die bildseitige Fläche nicht die konvexe Form hat, ist der Astigmatismus groß, und die Peripherie des von jeder kleinen Linse erzeugten

[0051] Bilds wird unscharf. Wenn der unscharfe Bereich für die Rekonstruktionsverarbeitung benutzt wird, wird das rekonstruierte Bild nicht scharf erzeugt. Es ist mehr bevorzugt, wenn die objektseitige Fläche der kleinen Linsen des Linsenarrays **102** eine plane oder konvexe Form haben. Damit ist die Krümmung der kleinen Linsen abgeschwächt, und die Aberrationen werden unterdrückt, so dass die Empfindlichkeit zusätzlich verringert werden kann.

[0052] Es ist bevorzugt, wenn das Linsenarray **102** auf der Objektseite in Bezug auf die bildseitige konjugierte Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** bezüglich der Objektebene **101** angeordnet ist. Wie aus dem Vergleich der **Fig. 1** und **Fig. 2** entnehmbar ist, ist der Grund dafür der, dass die Konfiguration nach **Fig. 1** die Gesamtlänge der Bildaufnahmeeoptik im Vergleich zu der Konfiguration nach **Fig. 2** verringern kann. Außerdem ist bei der Konfiguration nach **Fig. 1** eine Bildhöhe, bei der ein außerhalb der Achse befindlicher Lichtstrahl in das Linsenarray **102** und das Bildaufnahmeelement **103** eintritt, kleiner als bei der Konfiguration nach **Fig. 2**. Wie oben erläutert, lässt sich die Größe der Bildaufnahmeeoptik dadurch verringern, dass man die in **Fig. 1** dargestellte Anordnung verwendet.

[0053] Weitere Effekte der vorliegenden Ausführungsform bestehen darin, dass ein Bild mit optisch verbesselter Auflösung dadurch gewonnen werden kann, dass einer Bedingung genügt wird, wonach zwischen dem Linsenarray und dem Bildaufnahmeelement eine angemessene Beziehung herrscht.

[0054] In den in den **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellten Bildaufnahmeeoptiken wird von dem Bildaufnahmeelement ein Bild erhalten, in welchem kleine Bilder mit unterschiedlichen Blickwinkeln und Abbildungszonen angeordnet sind. Ein Bild mit unterschiedlichen Fokuspositionen, F-Zahlen und Blickwinkeln lässt sich erhalten mit Hilfe eines Verfahrens des Wichtens sämtlicher oder eines Teils dieser Bilder, oder mittels eines Verfahrens, bei dem diese Bilder bei gleichzeitiger Verschiebung überlappt werden (ein Rekonstruktionsverfahren). Beispielsweise ist dieses Verfahren offenbar in „Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera“ (Ren Ng, et al., Stanford Tech Report CTSR 2005-02). Aus diesem Grund wird auf eine Beschreibung des Verfahrens bei dieser Ausführungsform verzichtet. Die Konfiguration der vorliegenden Ausführungsform unterscheidet sich etwas von der oben angegebenen Literaturstelle, allerdings gibt es im wesentlichen keinen Unterschied zwischen ihnen, da der Aufbau des Unterteilens der Pupille der Hauptobjektiveinheit der gleiche ist. Deswegen lässt sich unter Verwendung eines ähnlichen Rekonstruktionsverfahrens ein Bild generieren, bei dem die Fokusposition, die Tiefenschärfe oder der Blickwinkel geändert ist. Auch in diesem Fall lässt sich ein bei hoher Auflösung rekonstruiertes Bild unter Nutzung des Pixelshift-Effekts erhalten. Die Rekonstruktionsverarbeitung kann außerdem von einer Bildverarbeitungsvorrichtung vorgenommen werden, die getrennt von der Bildaufnahmeverrichtung ausgebildet ist.

[0055] Eine Person oder ein Objekt muss in der in **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellten Objektebene **201** nicht vorhanden sein. Dies deshalb, weil das Fokussieren auf die Person oder das Objekt hinter oder vor der Objektebene **201** vorgenommen werden kann durch die Rekonstruktionsverarbeitung nach der Aufnahme eines Bilds. Die Hauptobjektiveinheit **101** kann außerdem aus einer Einzellinse bestehen.

[AUSFÜHRUNGSFORM 1]

[0056] Im folgenden wird anhand der **Fig. 12** eine Ausführungsform 1 einer Bildaufnahmeverrichtung (einer Bildaufnahmeeoptik) beschrieben. **Fig. 12** ist eine Querschnittsansicht der Bildaufnahmeeoptik dieser Ausführ-

rungsform. In **Fig. 12** handelt es sich bei der Hauptobjektiveinheit **101** um ein Objektiv mit fester Brennweite, das eine Aperturblende SP enthält, welches die F-Zahl zur Zeit der Bildaufnahme steuert. Um allerdings viel Parallaxeninformation zu gewinnen, ist es bevorzugt, dass der Blendendurchmesser groß ist. Bei der vorliegenden Ausführungsform kann der Blendendurchmesser auch konstant sein, da sich die F-Zahl durch Rekonstruktion nach der Bildaufnahme ändern lässt.

[0057] Die Hauptobjektiveinheit **101** ist mit einem Fokusmechanismus nach Maßgabe von Spezifikationen ausgestattet. Wenn die Hauptobjektiveinheit **101** den Fokusmechanismus enthält, wird eine Objektivstellung durch einen Autofokus-(AF-)Mechanismus oder durch einen manuellen Fokusmechanismus (nicht dargestellt) gesteuert. Bei der vorliegenden Ausführungsform kann eine Fokussierung nach der Bildaufnahme (Neufokussierung) mittels Bildverarbeitung vorgenommen werden, allerdings ist die von dem Bildaufnahmeelement **103** gewinnbare Parallaxeninformation beschränkt, da der Blendendurchmesser begrenzt ist. Aus diesem Grund ist auch ein Bereich beschränkt, in welchem eine Nachfokussierung vorgenommen werden kann. Der Nachfokussierungsbereich lässt sich in Tiefenrichtung verschieben, indem man die Fokusposition zur Zeit der Bildaufnahme ändert.

[0058] Das Linsenarray **102** besitzt positive Brechkraft und ist gebildet aus einer sphärischen festen Linse, deren beide Flächen eine konvexe Form haben. Eine der beiden Seiten der kleinen Linsen des Linsenarrays **102** kann auch eine plane Fläche oder eine asphärische gekrümmte Fläche besitzen. Es kann auch konfiguriert werden durch Aneinanderreihung von Flüssigkeitslinsen, Flüssigkristalllinsen, optischen Beugungselementen oder dergleichen. Das Linsenarray **102** erzeugt ein Bild auf dem Bildaufnahmeelement **103** durch Betrachten des durch die Hauptobjektiveinheit **101** als virtuelles Objekt erzeugten Bilds.

[0059] Bei der vorliegenden Ausführungsform beträgt der Abstand P_{ex} von der Austrittspupille der Hauptobjektiveinheit **101** bis zu der bildseitigen konjugierten Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** einen Wert von 66,4357 (mm), der Mittenabstand Δ_{LA} des Linsenarrays **102** beträgt 4,3559 (mm), und der Pixel-Mittenabstand Δ des Bildaufnahmeelements **103** beträgt 0,0043 (mm). Das Linsenarray **102** ist derart angeordnet, dass die Distanz σ_1 einen Wert von 37,7657 (mm) hat, während der Abstand σ_2 den Wert von 5,4325 (mm) hat. Bei einer derartigen Konfiguration erzielt man einen starken Pixelshift-Effekt, und deshalb lässt sich das hochauflösende Bild erzeugen. Zusätzlich lässt sich auch die Anordnungsempfindlichkeit des Linsenarrays **102** in Bezug auf den Pixelshift-Effekt unterdrücken. Die hohe Auflösung unter Nutzung des Pixelshift-Effekts lässt sich auch für das rekonstruierte Bild erreichen, bei dem die F-Zahl, die Fokusposition oder die Tiefenschärfe geändert ist. Ein weiteres hochauflösendes Bild lässt sich im Verein mit einer Bildabschätzung, beispielsweise in Form einer MAP (Maximum-a-posteriori)-Abschätzung zur Zeit der Rekonstruktion des Bilds erzielen.

[AUSFÜHRUNGSFORM 2]

[0060] Als nächstes soll anhand der **Fig. 13** eine Bildaufnahmeverrichtung (eine Bildaufnahmeeoptik) einer Ausführungsform 2 erläutert werden. **Fig. 13** ist eine Querschnittsansicht der Bildaufnahmeeoptik dieser Ausführungsform. In **Fig. 13** handelt es sich bei der Hauptobjektiveinheit **101** um ein Objektiv mit fester Brennweite. Das Linsenarray **102** wird gebildet durch eine Fläche, die eine Ebene auf der Objektseite bildet, und einer Fläche in konvexer Form auf der Bildseite, wodurch ein von der Hauptobjektiveinheit **101** gebildetes Bild auf dem Bildaufnahmeelement **103** umgebildet wird.

[0061] Bei der vorliegenden Ausführungsform beträgt der Abstand P_{ex} von der Austrittspupille der Hauptobjektiveinheit **101** bis zu der bildseitigen konjugierten Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** einen Wert von 66,4357 (mm), der Mittenabstand Δ_{LA} des Linsenarrays **102** beträgt 0,3784 (mm), und der Pixel-Mittenabstand Δ des Bildaufnahmeelements **103** beträgt 0,0043 (mm). Das Linsenarray **102** ist derart angeordnet, dass die Distanz σ_1 -5,4679 (mm) und die Distanz σ_2 1,0036 (mm) beträgt. Da die konjugierte Ebene des Linsenarrays **102** bezüglich des Bildaufnahmeelements **103**, das heißt die bildseitige konjugierte Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** in Bezug auf die Objektebene **201** bezüglich des Linsenarrays **102** auf der Objektseite liegt, ist die Distanz σ_1 ein negativer Wert.

[0062] Bei dieser Ausführungsform wird eine Bildaufnahmeverrichtung erhalten, welche die Anordnungsempfindlichkeit des Linsenarrays unterdrückt und eine wirksame hohe Auflösung erreicht, indem der Pixelshift-Effekt genutzt wird.

[AUSFÜHRUNGSFORM 3]

[0063] Als nächstes wird anhand der **Fig. 14** eine Bildaufnahmeverrichtung (eine Bildaufnahmeoptik) der Ausführungsform 3 erläutert. **Fig. 14** ist eine Querschnittsansicht der Bildaufnahmeoptik dieser Ausführungsform. In **Fig. 14** ist die Hauptobjektiveinheit **101** ein Zoomobjektiv, und das Linsenarray **102** wird gebildet durch eine bikonvexe Positivlinse, die ein Bild auf dem Bildaufnahmeelement **103** erzeugt, indem das Bild von der Hauptobjektiveinheit **101** als virtuelles Objekt betrachtet wird.

[0064] Die Hauptobjektiveinheit **101** wird konfiguriert durch eine erste Linseneinheit **L1** mit positiver Brechkraft, eine zweite Linseneinheit **L2** mit positiver Brechkraft, eine dritte Linseneinheit **L3** mit negativer Brechkraft, eine vierte Linseneinheit **L4** mit positiver Brechkraft und eine fünfte Linseneinheit **L5** mit positiver Brechkraft, angeordnet in dieser Reihenfolge von der Objektseite her. Wenn die Vergrößerung variiert wird, bleiben die erste Linseneinheit **L1** und die fünfte Linseneinheit **L5** stehen, und die zweite Linseneinheit **L2**, die dritte Linseneinheit **L3** und die vierte Linseneinheit **L4** bewegen sich entlang einer optischen Achse.

[0065] Bei der vorliegenden Ausführungsform beträgt am Weitwinkelende der Hauptobjektiveinheit **101** der Abstand P_{ex} von der Austrittspupille der Hauptobjektiveinheit **101** zu der bildseitigen konjugierten Ebene **202** der Hauptobjektiveinheit **101** einen Wert von 133,8129 (mm), der Mittenabstand Δ_{LA} des Linsenarrays **102** beträgt 1,9776 (mm), und der Pixel-Mittenabstand Δ des Bildaufnahmeelements **103** beträgt 0,0064 (mm). **Fig. 7** und **Fig. 9**, die oben erläutert wurden, veranschaulichen das Verhältnis δ der Pixelverschiebung und der Auflösung einschließlich des Pixelshift-Effekts unter Verwendung dieser Parameter sowie $N = 7$ und $I_r = 0,5$. Da eine (nicht gezeigte) Aperturblende an den kleinen Linsen des Linsenarrays **102** installiert ist, kommt es auch dann nicht zum Übersprechen, wenn I_r einen Wert von 0,5 hat. Das Linsenarray **102** ist derart angeordnet, dass die Distanz σ_1 40,1453 (mm) und die Distanz σ_2 4,0145 (mm) beträgt.

[0066] Bei dieser Ausführungsform handelt es sich um eine Bildaufnahmeverrichtung, welche die Anordnungsempfindlichkeit des Linsenarrays unterdrückt und eine effiziente hohe Auflösung unter Nutzung des Pixelshift-Effekts erreicht.

[AUSFÜHRUNGSFORM 4]

[0067] Als nächstes wird anhand der **Fig. 15** eine Bildaufnahmeverrichtung der Ausführungsform 4 beschrieben. **Fig. 15** ist eine Konfigurationsdarstellung eines Bildverarbeitungssystems dieser Ausführungsform. Wie in **Fig. 15** dargestellt ist, enthält das Bildverarbeitungssystem eine Bildaufnahmeverrichtung **301**, die ihrerseits die Bildaufnahmeoptik der Ausführungsform 3 gemäß **Fig. 14** beinhaltet. Eine Bildverarbeitungsvorrichtung **302** ist ein Computer, der die oben beschriebene Bildrekonstruktion ausführt. Eine vorbestimmte Rekonstruktionsverarbeitung erfolgt für ein Bild, welches von der Bildaufnahmeverrichtung **301** erhalten wurde, unter Verwendung der Bildverarbeitungsvorrichtung **302**, und anschließend wird das Bild an eines oder an mehrere von einer Ausgabeeinrichtung **305**, einer Anzeige (Display) **304** und einem Speichermedium **303** ausgegeben. Das Speichermedium **303** ist zum Beispiel ein Halbleiterspeicher, eine Festplatte, oder ein Server an einem Netzwerk. Die Ausgabeeinrichtung **305** ist beispielsweise ein Drucker. Die Anzeige **304** ist mit der Bildverarbeitungsvorrichtung **302** verbunden, und das rekonstruierte Bild wird an die Anzeige **304** geliefert. Ein Benutzer kann Arbeiten bei gleichzeitiger Bestätigung des rekonstruierten Bilds über die Anzeige **304**.

[0068] Eine Bildverarbeitungssoftware **306** hat die Funktion einer Entwicklungsverarbeitung und anderer Bildverarbeitungen nach Bedarf, außerdem die Funktion der oben beschriebenen Rekonstruktionsverarbeitung. Die Anzeige **304** ist zum Beispiel eine Flüssigkristallanzeige oder ein Projektor. Insbesondere dann, wenn die Anzeige **304** ein DLP (Digital Light Processor) mit Projektor ist, der von einem DMD (Digital Micro-mirror Device) Gebrauch macht, kann das System in dem Projektor auch in ähnlicher Weise konfiguriert sein, wie es in **Fig. 14** gezeigt ist. In diesem Fall kann das optische System in dem Projektor die Konfiguration aufweisen, in der der DMD anstelle des in **Fig. 14** gezeigten Bildaufnahmeelements **103** installiert ist. In diesem Fall kann anstelle der Eingabe des rekonstruierten Bilds in das Display **304** das von dem Bildaufnahmeelement **103** erhaltene Bild so, wie es ist, eingegeben werden. Da die Umwandlung zur Zeit der Bildprojektion umgekehrt zu dem Vorgang der Bildaufnahme erfolgt, wird auf einem Bildschirm ein automatisch rekonstruiertes Bild ausgegeben. Da außerdem der Pixelshift-Effekt auf der konjugierten Ebene des DMD bezüglich des Linsenarrays **102** entsteht, lässt sich in ähnlicher Weise ein hochauflösendes Ausgabebild erhalten. Bei dieser Ausführungsform werden eine Bildaufnahmeverrichtung und ein Bildverarbeitungssystem geschaffen, die die Anordnungsempfindlichkeit des Linsenarrays unterdrücken und zu einer effizienten hohen Auflösung führen.

[0069] Während die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf Ausführungsformen erläutert wurde, versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die offenbarten Ausführungsformen beschränkt ist. Der Schutzzumfang der beigefügten Ansprüche ist der breitesten Interpretation zugänglich, so dass sämtliche Modifikationen und äquivalenten Strukturen und Funktionen eingeschlossen sind. Zum Beispiel: selbst wenn die vorliegende Erfindung bei einer Bildaufnahmeeoptik Anwendung findet, die von einer Bildaufnahmeverrichtung mit einem Bildaufnahmeelement abnehmbar ist, so kann auch die Bildaufnahmeeoptik mit der Fähigkeit, das hochauflösende Lichtfeld mit einfacherem Aufbau zu gewinnen, vorgesehen sein, indem die Bildaufnahmeeoptik und das Bildaufnahmeelement verwendet werden, welche die oben beschriebene Beziehung erfüllen.

[0070] Numerische Daten (numerische Beispiele) der Hauptobjektiveinheit in jeder der oben beschriebenen Ausführungsformen (Ausführungsformen **1** bis **4**) werden im folgenden erläutert. Das Symbol i bezeichnet eine Reihenfolge auf einer Fläche von der Objektseite her, das Symbol r_i bezeichnet einen Krümmungsradius der i -ten Fläche, d_i bezeichnet eine Linsendicke oder einen Luftspalt zwischen der i -ten Fläche und der $(i + 1)$ -ten Fläche, und die Symbole n_i und v_i bezeichnen einen Brechungsindex bzw. eine Abbe-Zahl für die d -Linie. In der Tabelle 1 sind Werte für die Bedingungsausdrücke **(6)**, **(7)** und **(8)** in jedem der numerischen Beispiele (Ausführungsformen **1** bis **4**) angegeben.

[NUMERISCHE BEISPIELE]

[AUSFÜHRUNGSFORMEN 1 UND 2]

Einheit [mm]

Flächendaten

Flächennummer	r	d	nd	vd	Effektiver Durchmesser
1	89,763	1,80	1,84666	23,8	40,57
2	35,283	9,50	1,58913	61,2	38,63
3	-104,031	0,15			38,18
4	45,845	3,80	1,77250	49,6	34,85
5	205,586	1,60			34,09
6	190,384	1,50	1,80010	35,0	32,16
7	57,059	3,26			30,16
8	-88,455	1,50	1,56873	63,2	30,22
9	23,683	3,50	1,84666	23,8	28,33
10	37,253	19,26			27,84
11	-380,953	3,00	1,84666	23,8	28,98
12	-70,178	10,00			29,11
13	∞	22,12			26,48
14	-37,638	1,20	1,78472	25,7	21,81
15	57,202	4,30	1,52249	59,8	22,35
16	-38,872	0,30			22,71
17	-249,784	2,50	1,77250	49,6	22,78
18	-59,162	0,20			22,89
19	56,254	3,50	1,80400	46,6	22,42
20	-100,510	1,50			21,91
21	-109,205	2,80	1,84666	23,8	20,71
22	-44,064	0,16			20,09
23	-42,571	1,20	1,60311	60,6	19,94

Flächennummer	r	d	nd	vd	Effektiver Durchmesser
24	41,456	8,27			18,54
25	-84,040	7,29	1,62230	53,2	15,96
26	-19,904	0,15			15,00
27	-19,678	2,00	1,59270	35,3	14,85
28	-118,544	0,00			14,29
29	∞	(variabel)			14,22
Bildebene ∞					

Verschiedene Arten von Daten

Zoom-Verhältnis 1,00

Brennweite	99,96
F-Zahl	2,89
Feldwinkel	8,31
Bildhöhe	14,60
Gesamt-Objektivlänge	156,82
BF	40,46
d29	40,46

Eintrittspupillenstelle	117,08
Austrittspupillenstelle	-25,97
Stelle des vorderen Hauptpunkts	66,63
Stelle des hinteren Hauptpunkts	-59,50

Zoomobjektiv-Daten

Einheit	Startfläche	Brennweite	Länge des Objektiv-Aufbaus	Vorderer Hauptpunkt	Hinterer Hauptpunkt
1	1	99,96	116,36	66,63	-59,50

Einzellinsengliederdaten

Linsenglied	Startfläche	Brennweite
1	1	-69,72
2	2	45,88
3	4	75,59
4	6	-102,35
5	8	-32,69
6	9	68,67
7	11	101,16
8	14	-28,77
9	15	44,99
10	17	99,78

Linsenglied	Startfläche	Brennweite
11	19	45,31
12	21	85,56
13	23	-34,64
14	25	40,16
15	27	-40,11

[AUSFÜHRUNGSFORMEN 3 UND 4]

Einheit [mm]

Flächendaten

Flächennummer	r	d	nd	vd	Effektiver Durchmesser
1	124,447	2,80	1,74950	35,0	69,47
2	75,819	0,15			66,70
3	75,787	12,51	1,49700	81,6	66,68
4	-374,867	0,10			65,27
5	78,754	3,65	1,49700	81,6	62,96
6	102,655	(variabel)			62,09
7	54,676	2,20	1,84666	23,8	49,13
8	47,526	1,22			47,37
9	55,346	7,65	1,48749	70,2	47,31
10	1833,147	(variabel)			46,11
11	-401,208	1,40	1,80400	46,6	34,13
12	38,875	6,37			32,30
13	-92,113	1,34	1,48749	70,2	32,44
14	39,755	5,23	1,85026	32,3	33,61
15	292,638	4,06			33,53
16	-70,105	4,46	1,84666	23,8	33,56
17	-36,898	1,00	1,72000	46,0	34,09
18	311,857	(variabel)			35,08
19	141,625	3,59	1,71300	53,9	35,92
20	-238,303	0,15			36,12
21	431,096	5,95	1,49700	81,6	36,23
22	-48,826	1,00	1,85026	32,3	36,30
23	-140,339	(variabel)			36,87
24	81,141	3,98	1,80400	46,6	37,24
25	19006,920	1,15			36,96
26 (Blende)	∞	15,08			36,64
27	45,384	7,49	1,49700	81,6	31,66
28	-839,909	5,33	1,62588	35,7	29,72
29	39,178	23,47			26,68

Flächennummer	r	d	nd	vd	Effektiver Durchmesser
30	139,400	5,78	1,50378	66,8	25,86
31	-105,607	7,43			26,94
32	-40,699	1,00	1,80100	35,0	28,35
33	-79,231	0,15			29,36
34	115,417	4,09	1,83400	37,2	30,71
35	-493,918	(variabel)			
Bildebene ∞					

Verschiedene Arten von Daten

Zoom-Verhältnis 2,67

	Weitwinkel	Mittel	Telephoto
Brennweite	72,49	99,90	193,91
F-Zahl	2,90	2,90	2,90
Feldwinkel	16,59	12,20	6,36
Bildhöhe	21,60	21,60	21,60
Gesamt-Objektivlänge	243,50	243,51	243,49
BF	52,10	52,11	52,08

d6	8,38	11,42	33,14		
d10	1,59	10,49	16,84		
d18	30,54	23,46	1,50		
d23	11,11	6,25	0,15		
d35	52,10	52,11	52,08		
Eingangspupillenstelle		96,84	140,42	236,01	
Ausgangspupillenstelle		-81,71	-81,71	-81,71	
Stelle des vorderen Hauptpunkts		130,06	165,74	148,88	
Stelle des hinteren Hauptpunkts		-20,39	-47,79	-141,83	

Zoomobjektiv-Daten

Einheit	Startfläche	Brennweite	Länge des Objektiv-Aufbaus	Vorderer Hauptpunkt	Hinterer Hauptpunkt
1	1	179,99	19,21	2,38	-10,26
2	7	155,92	11,07	-0,28	-7,84
3	11	-27,99	23,86	4,82	-11,76
4	19	124,89	10,69	0,62	-6,15
5	24	86,42	74,95	21,42	-59,06

Einzellinsengliederdaten

[Tabelle 1]

Linsenglied	Startfläche	Brennweite
1	1	-265,43
2	3	128,02
3	5	647,74
4	7	-499,75
5	9	116,90
6	11	-44,02
7	13	-56,78
8	14	53,60
9	16	85,48
10	17	-45,77
11	19	125,08
12	21	88,61
13	22	-88,51
14	24	101,34
15	27	86,88
16	28	-59,67
17	30	120,22
18	32	-105,70
19	34	112,52

	Bedingungs-ausdruck (6)	Bedingungs-ausdruck (7)	Bedingungs-ausdruck (8)
Ausführungsform 1	0,57	0,96	0,50
Ausführungsform 2	0,08	1,06	1,55
Ausführungsform 3	0,30	1,00	0,91
Ausführungsform 4	0,30	1,00	0,91

Patentansprüche

1. Bildaufnahmeverrichtung (301), umfassend:
 ein Bildaufnahmeelement (103);
 eine Objektiveinheit (101), konfiguriert zum Sammeln eines Lichtstrahls von einem Objekt (201) in einer bildseitigen konjugierten Ebene (202); und
 ein Linsenarray (102), welches eine Mehrzahl von Linsenzellen enthält,
 wobei das Linsenarray (102) derart angeordnet ist, dass die bildseitige konjugierte Ebene (202) und das Bildaufnahmeelement (103) zueinander konjugiert sind;
dadurch gekennzeichnet, dass:
 das Linsenarray (102) derart angeordnet ist, dass von benachbarten Linsenzellen auf die bildseitige konjugierte Ebene (202) projizierte Pixel gegeneinander um eine Länge verschoben sind, die verschieden ist von einem ganzzahligen Vielfachen eines Mittenabstands der projizierten Pixel, wenn die Pixel des Bildaufnahmeelements (103) über die Linsenzellen auf die bildseitige konjugierte Ebene (202) projiziert werden, und
 die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,05 < \left| \frac{\sigma_1}{P_{ex}} \right| < 0,95$$

wobei σ_1 ein Abstand von einer objektseitigen Hauptebene des Linsenarrays (102) zu der bildseitigen konjugierten Ebene (202) ist, und P_{ex} ein Abstand von einer Austrittspupille der Linseneinheit (101) zu der bildseitigen konjugierten Ebene (202) ist.

2. Bildaufnahmeverrichtung nach Anspruch 1, bei der die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,9 < \frac{M}{m} \operatorname{mod} \left(\left| \frac{\Delta_{LA} \sigma_2}{\Delta \sigma_1} \right|, 1 \right) < 1,1$$

wobei σ_2 ein Abstand von einer bildseitigen Hauptebene des Linsenarrays (102) zu dem Bildaufnahmeelement (103) ist, Δ ein Pixel-Mittenabstand des Bildaufnahmeelements (103) ist, Δ_{LA} ein Mittenabstand des Linsenarrays (102) ist, M eine ganze Zahl ist, die folgender Bedingung genügt:

$$0,2 < \frac{M}{1 + |\sigma_1 / \sigma_2|} < 2,0$$

und m eine ganze Zahl kleiner als M ist, wobei der größte gemeinsame Faktor von m und M 1 ist.

3. Bildaufnahmeverrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine bildseitige Fläche der Linsenzelle eine konvexe Form hat.

4. Bildaufnahmeverrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der eine objektseitige Fläche der Linsenzelle eine ebene oder konvexe Form hat.

5. Bildaufnahmeverrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der das Linsenarray (102) bezüglich der bildseitigen konjugierten Ebene (202) der Objektiveinheit (101) auf der Objektseite gelegen ist.

6. Bildaufnahmeeoptik, die einen Lichtstrahl von einem Objekt (201) auf einem Bildaufnahmeelement (103) sammelt, umfassend:

eine Objektiveinheit (101), konfiguriert zum Sammeln des Lichtstrahls von dem Objekt (201) auf einer bildseitigen konjugierten Ebene (202); und

ein Linsenarray (102), welches eine Mehrzahl von Linsenzellen enthält,

wobei das Linsenarray (102) derart angeordnet ist, dass die bildseitige konjugierte Ebene (202) und das Bildaufnahmeelement (103) zueinander konjugiert sind;

dadurch gekennzeichnet, dass:

das Linsenarray (102) derart angeordnet ist, dass von benachbarten Linsenzellen auf die bildseitige konjugierte Ebene (202) projizierte Pixel gegeneinander um eine Länge verschoben sind, die verschieden ist von einem ganzzahligen Vielfachen eines Mittenabstands der projizierten Pixel, wenn die Pixel des Bildaufnahmeelements (103) über die Linsenzellen auf die bildseitige konjugierte Ebene (202) projiziert werden, und die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,05 < \left| \frac{\sigma_1}{P_{ex}} \right| < 0,95$$

wobei σ_1 ein Abstand von einer objektseitigen Hauptebene des Linsenarrays (102) zu der bildseitigen konjugierten Ebene (202) ist, und P_{ex} ein Abstand von einer Austrittspupille der Linseneinheit (101) zu der bildseitigen konjugierten Ebene (202) ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

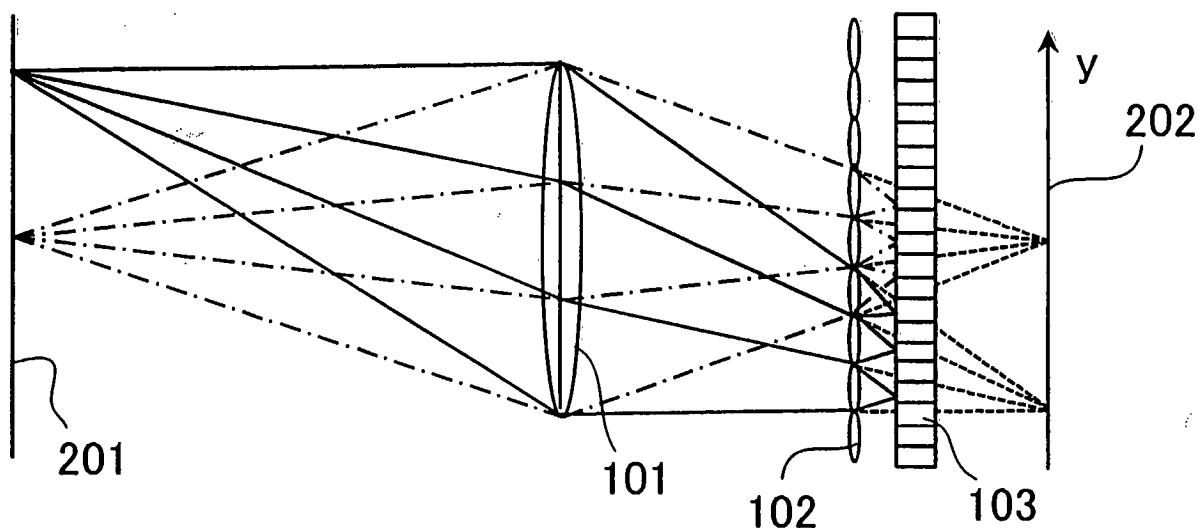


FIG. 1

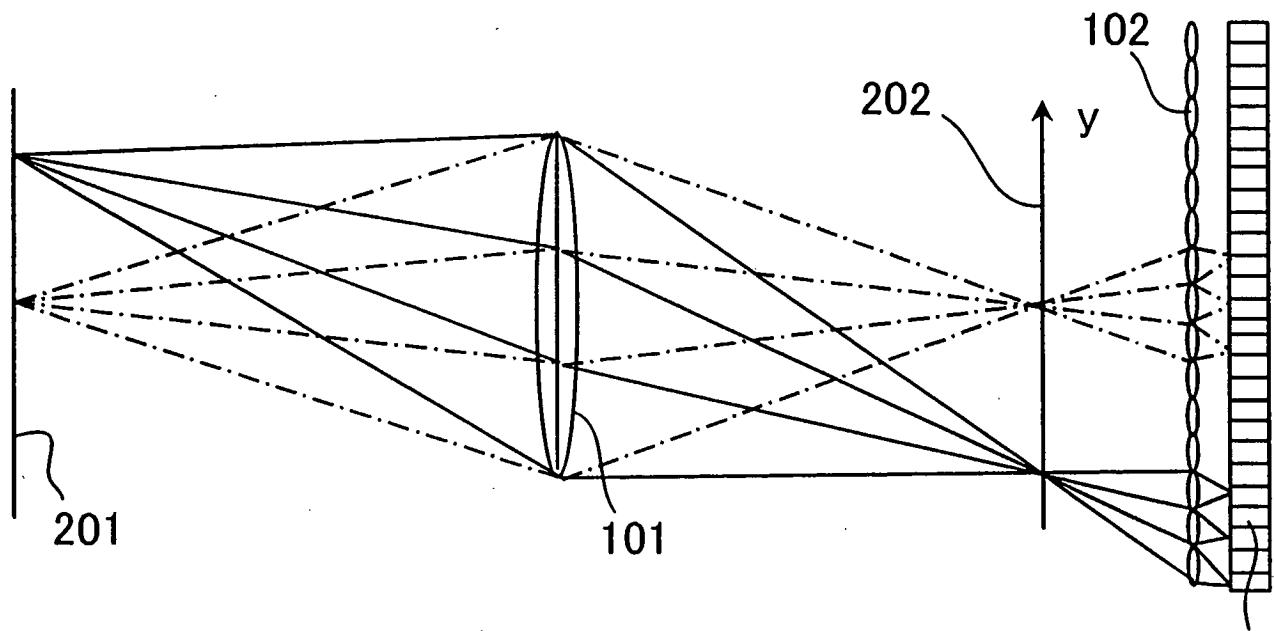


FIG. 2

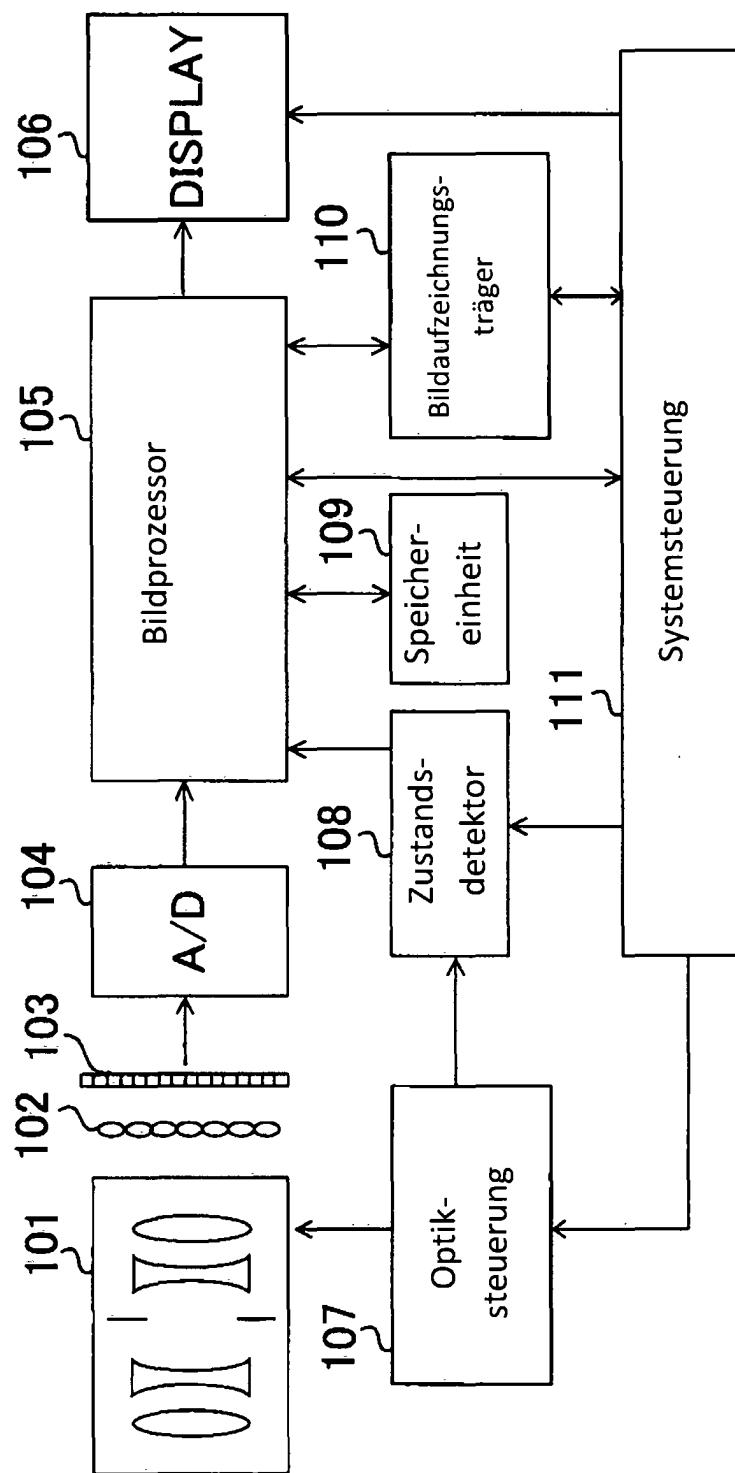


FIG. 3

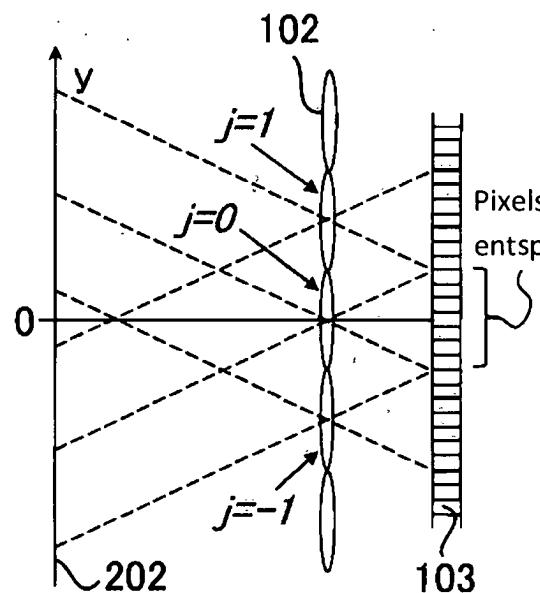


FIG. 4A

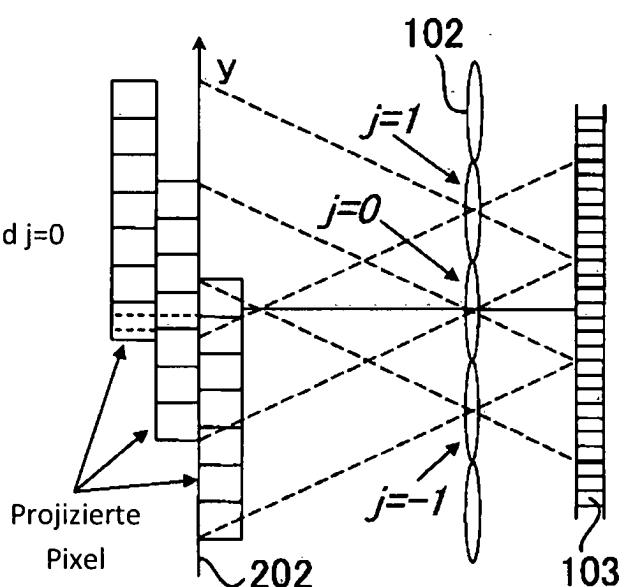


FIG. 4B

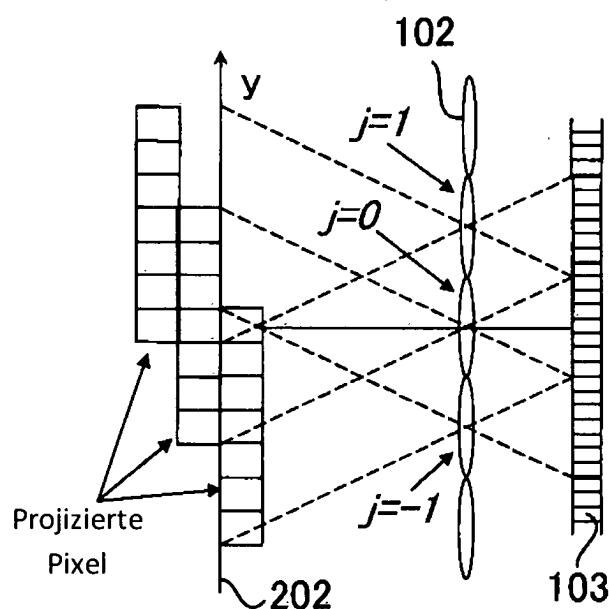


FIG. 4C

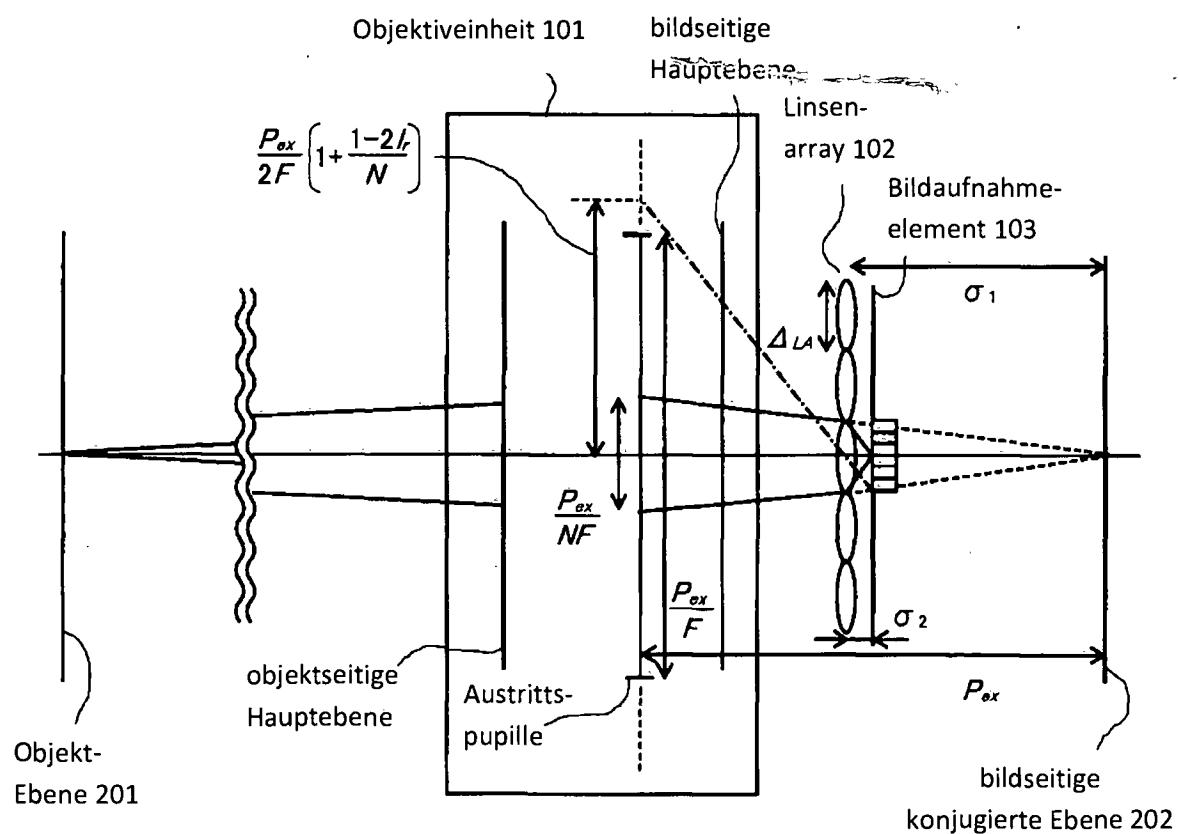
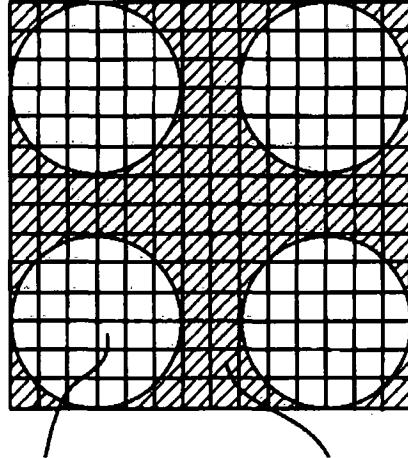


FIG. 5

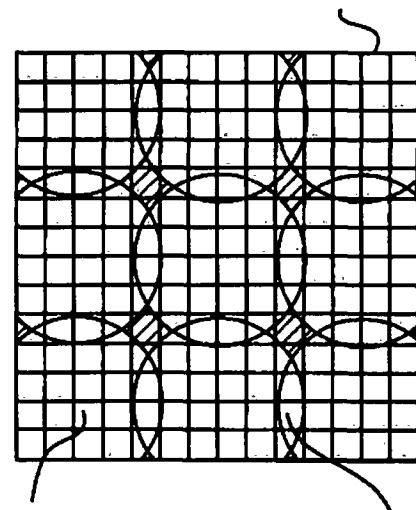
Bildaufnahmeelement 103



Zone, in die Lichtstrahl
durch eine kleine Linse
gelangt

Totzone

Bildaufnahmeelement 103



Zone, in die
Lichtstrahl
durch eine
kleine Linse
gelangt

Crosstalk

FIG. 6A

FIG. 6B

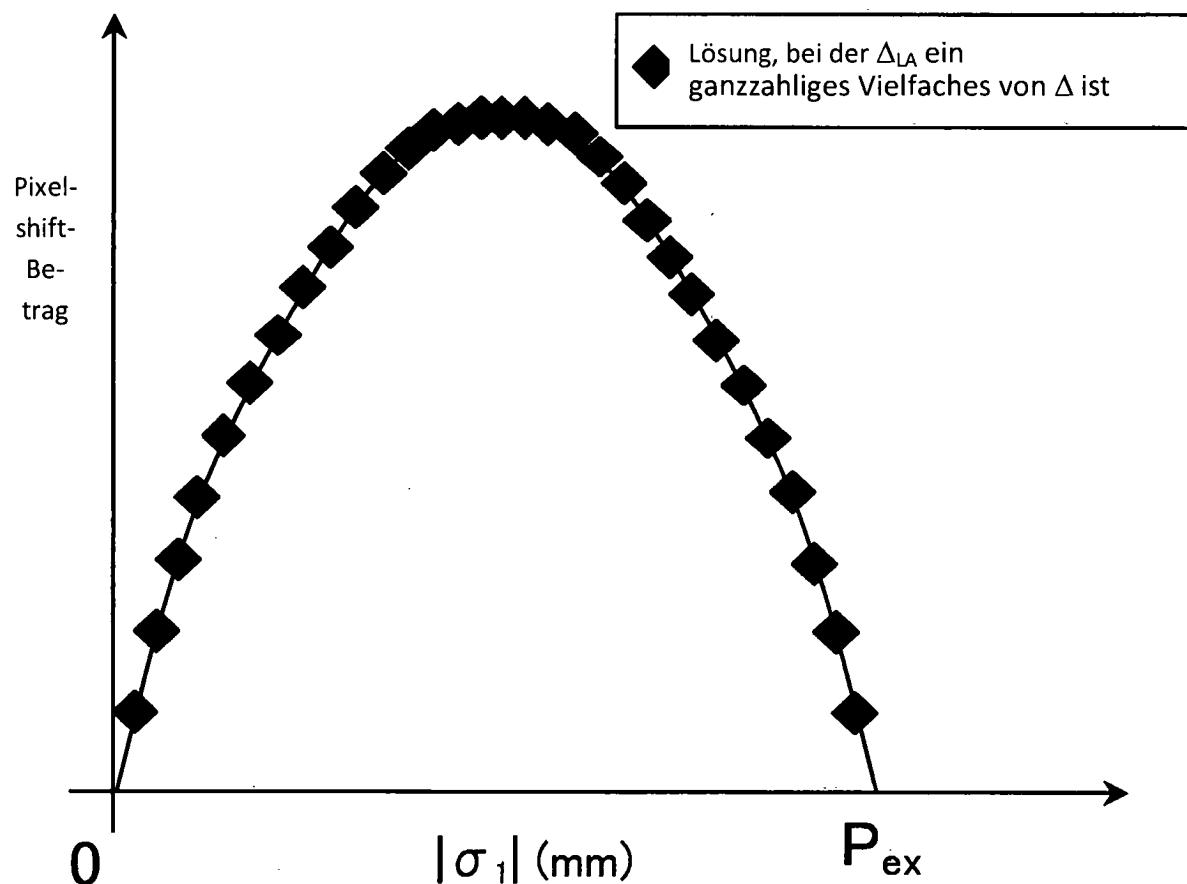


FIG. 7

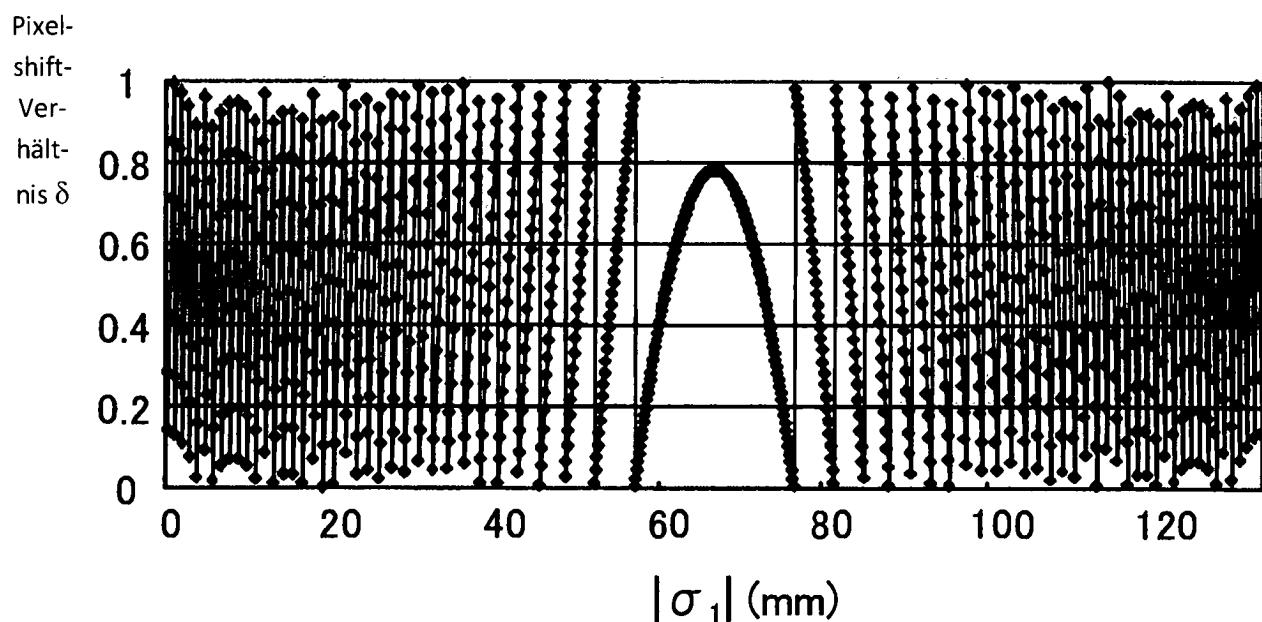


FIG. 8

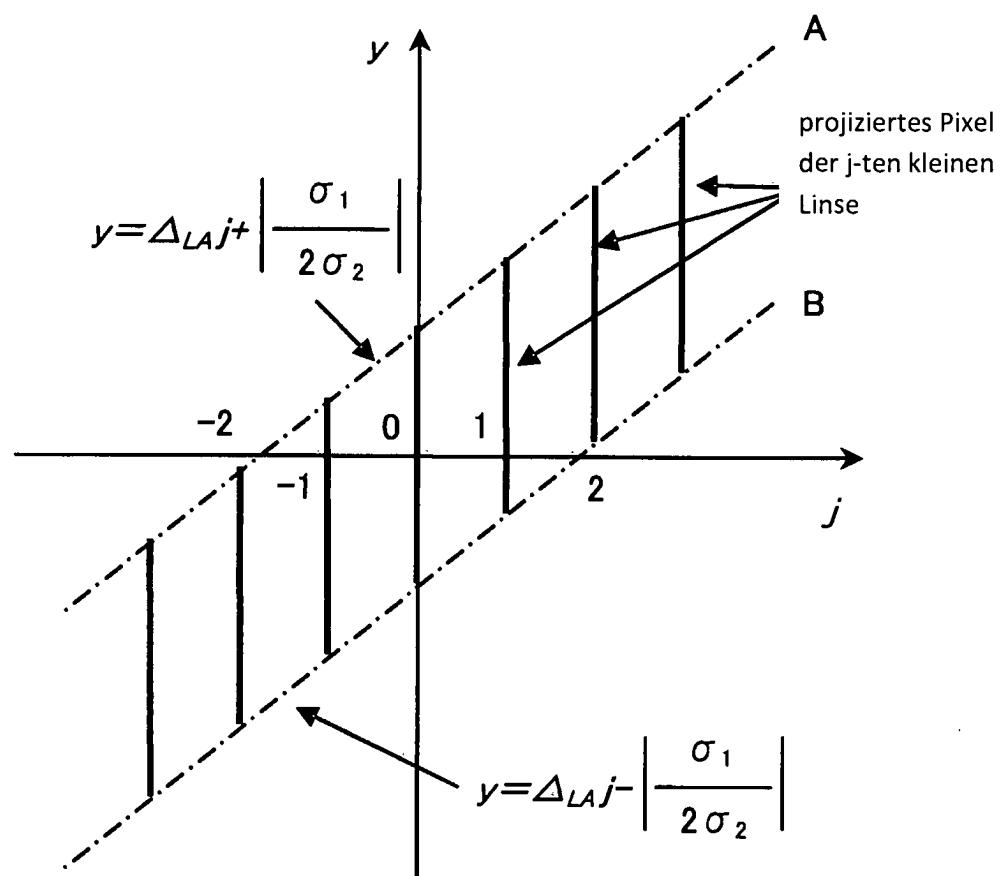


FIG. 9

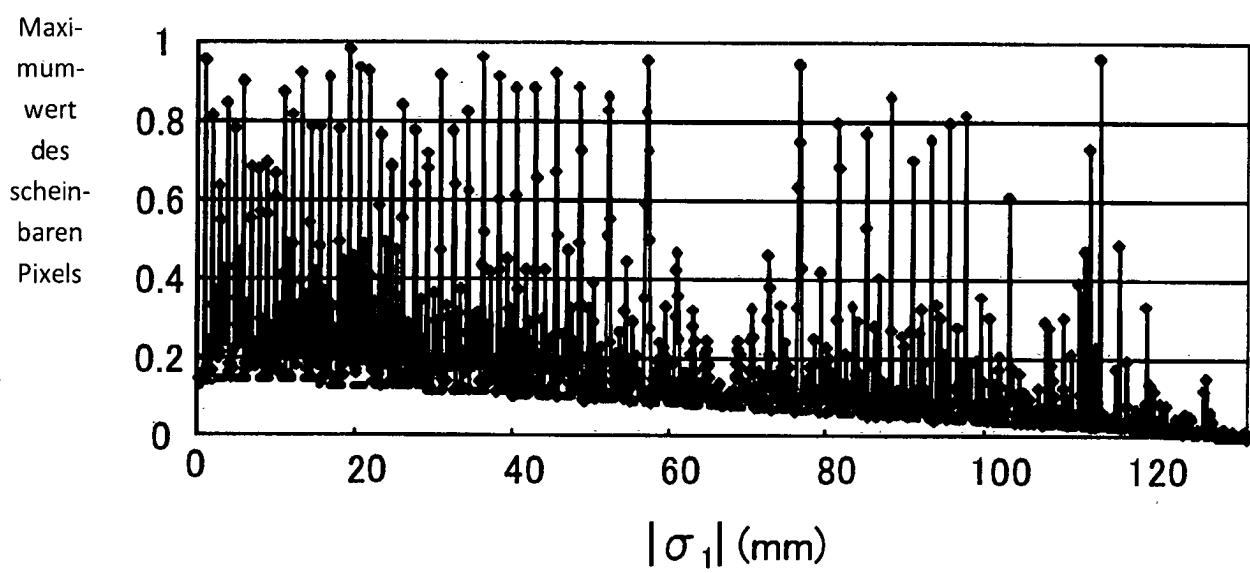


FIG. 10

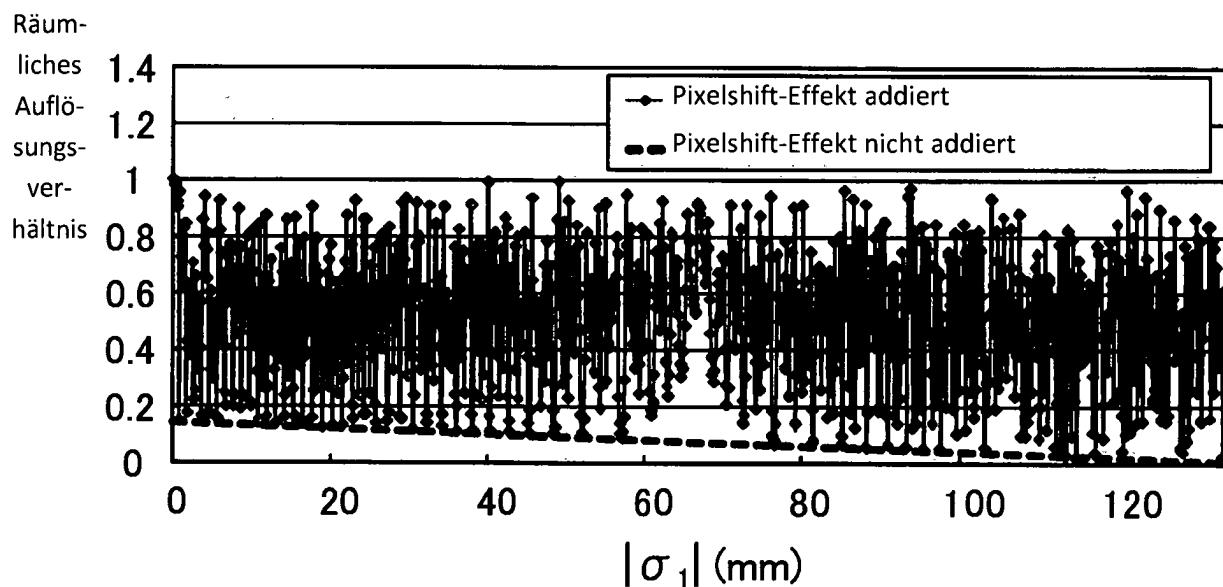


FIG. 11

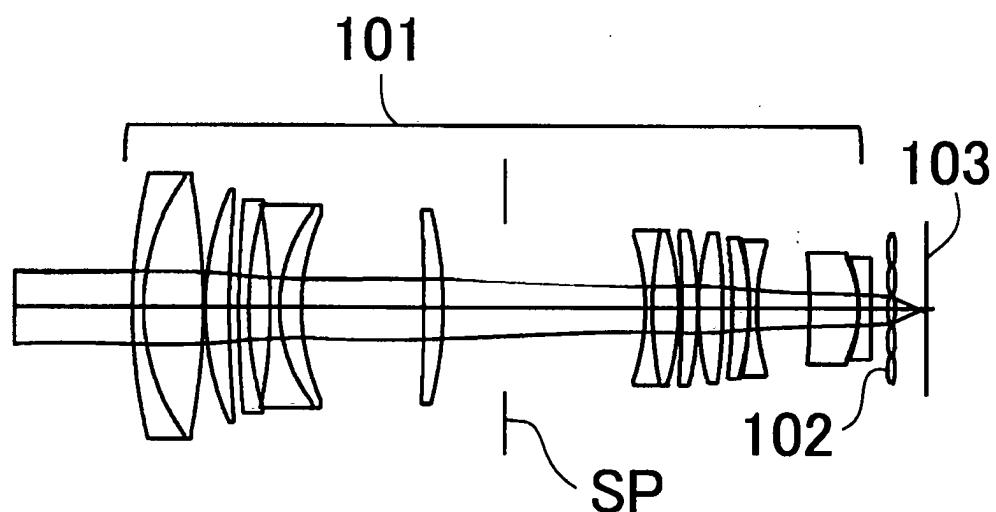


FIG. 12

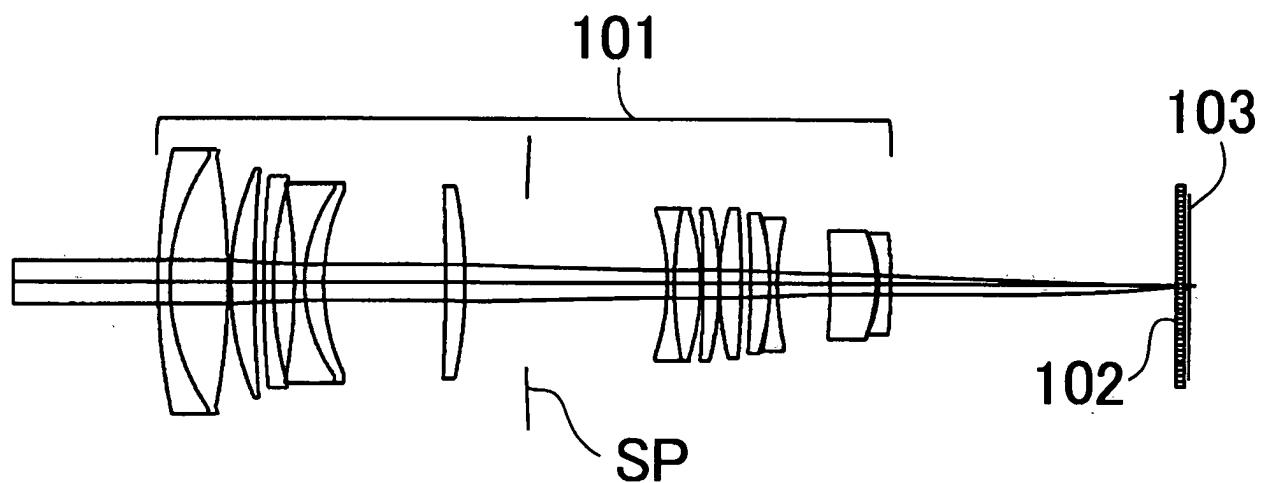


FIG. 13

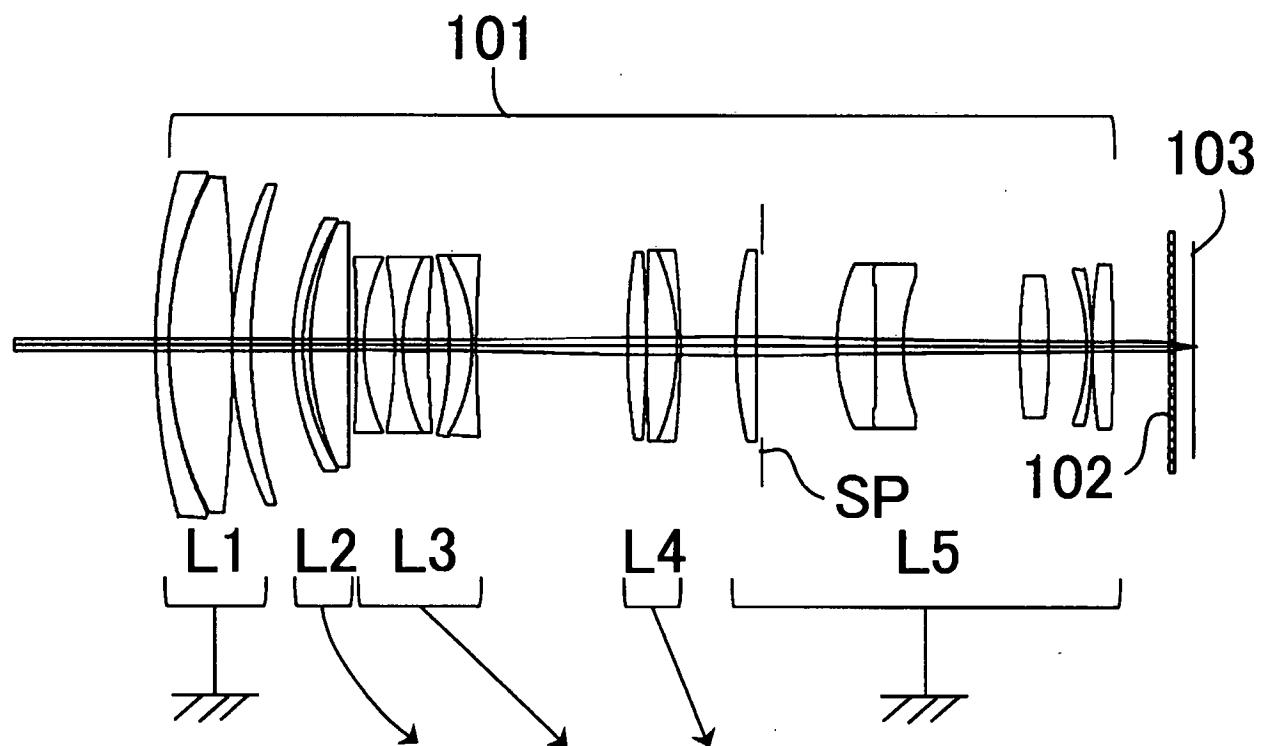


FIG. 14

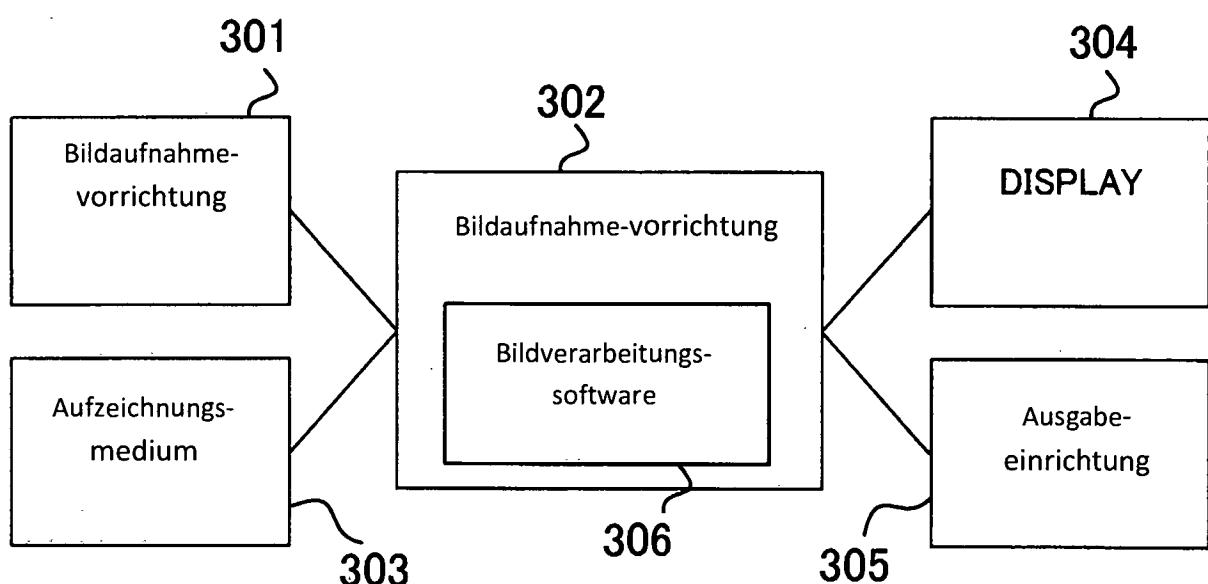


FIG. 15