



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 001 644 A1** 2009.12.24

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 001 644.6**

(22) Anmeldetag: **08.05.2008**

(43) Offenlegungstag: **24.12.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 27/22** (2006.01)

**G02B 26/08** (2006.01)

**G09G 5/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**SeeReal Technologies S.A., Munsbach, LU**

(72) Erfinder:

**Gantz, Joachim, Dr.-Ing., 01307 Dresden, DE**

(74) Vertreter:

**Bradl, J., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 69198  
Schriesheim**

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

**EP 12 87 400 B1**

**US 2006/01 58 729 A1**

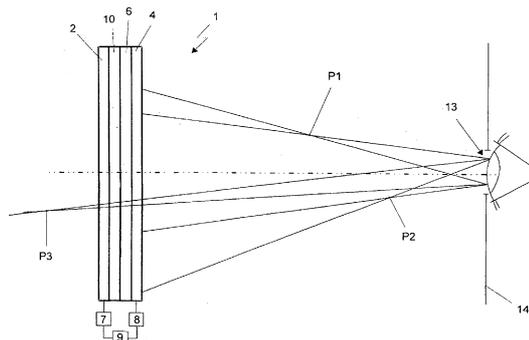
**US 67 98 390 B1**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Darstellung von dreidimensionalen Bildern**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1, 100) zur Darstellung von insbesondere dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum durch Raumpunkte (P, P1, P2, P3), die Schnittpunkte von wenigstens zwei sich kreuzenden Lichtstrahlenbündeln (11, 12) sind. Die Vorrichtung (1, 100) weist eine Bildanzeigeeinrichtung (2) mit Bildpixeln (3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o) zur Darstellung von Bildinformationen und eine Strahlrichtungseinrichtung (4, 40) auf. Die Strahlrichtungseinrichtung (4, 40) sendet die von der Bildanzeigeeinrichtung (2) ausgehenden Lichtstrahlenbündel in vordefinierte Richtungen aus, so dass in ihrem Schnittpunkt wenigstens ein Raumpunkt (P, P1, P2, P3) im Rekonstruktionsraum erzeugbar ist. Die von dem wenigstens einen Raumpunkt (P, P1, P2, P3) ausgehenden Lichtstrahlenbündel sind dabei ausschließlich auf wenigstens ein in einer Betrachterebene (14) vorgesehenes virtuelles Betrachterfenster (13, 13a, 13b) gerichtet. Das virtuelle Betrachterfenster (13, 13a, 13b) entspricht in seiner Ausdehnung höchstens dem Durchmesser der Augenpupille des Betrachters und wird diesem bei einer lateralen und/oder axialen Bewegung nachgeführt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Darstellung von dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum durch Raumpunkte, die Schnittpunkte von wenigstens zwei sich kreuzenden Lichtstrahlenbündeln sind. Des Weiteren betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zum Darstellen von dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum.

**[0002]** Zur Darstellung von dreidimensionalen Bildern von Objekten sind bereits verschiedene Möglichkeiten bekannt.

**[0003]** Die bekanntesten Systeme bilden gegenwärtig stereoskopische bzw. autostereoskopische Wiedergabeeinrichtungen (Displays), bei denen zwei Bilder projiziert werden, die durch z. B. Farbfilter, Polarisationsfilter oder Shutterbrillen getrennt werden bzw. ohne derartige Hilfsmittel zu beobachten sind. Oder mit anderen Worten ausgedrückt, sind dies Wiedergabeeinrichtungen, bei denen den Augen eines Betrachters unterschiedliche perspektivische zweidimensionale Ansichten des darzustellenden Objekts zugeführt werden. Der wesentliche Nachteil derartiger Wiedergabeeinrichtungen besteht darin, dass es wegen dem Widerspruch zwischen der Fokussierung und dem Konvergenzwinkel der Augen des Betrachters bei der Beobachtung der beiden zweidimensionalen Bilder auf einem flachen Bildschirm zu einer unnatürlichen Belastung der Augen kommt, wodurch sehr häufig Ermüdungserscheinungen auftreten können. Dieser Nachteil kann jedoch verringert werden, indem den Betrachteraugen mehr als zwei perspektivische Ansichten zur Verfügung gestellt werden. Dadurch erhöht sich aber der Aufwand, und eine zufriedenstellende Lösung kann erst in sogenannten Super-Multiview-Displays mit einer sehr hohen Anzahl an perspektivischen Ansichten erreicht werden. Eine echte räumliche Rekonstruktion des Objekts ist aber mit derartigen Wiedergabeeinrichtungen nicht realisierbar.

**[0004]** Echte räumliche Rekonstruktionen lassen sich mit sogenannten volumetrischen Displays bzw. Wiedergabeeinrichtungen realisieren, bei denen die Bildpunkte auf einem Licht streuenden Medium im dreidimensionalen Raum dargestellt werden. Auf diese Weise kann daher der Widerspruch zwischen Fokussierung und Konvergenz nicht auftreten. Mittels einer derartigen Vorgehensweise lassen sich aber nur transluzente Objekte darstellen, wobei diese Wiedergabeeinrichtungen wegen ihrer Kompliziertheit für den täglichen Gebrauch nicht einsetzbar sind, sondern vielmehr nur für Werbezwecke oder ähnlich spezielle Vorhaben.

**[0005]** Auch mit Hilfe der Holographie lässt sich eine echte Rekonstruktion eines dreidimensionalen Ob-

jektes im Raum erzeugen. Die Rekonstruktion von Raumpunkten erfolgt hier durch Beugung von hinreichend kohärentem Licht an berechneten oder auf andere Weise erzeugten Gitterstrukturen, den Hologrammen. Die Raumpunkte entstehen dabei durch Interferenz der durch das Hologramm modulierten Wellenfronten im Rekonstruktionsraum. Es handelt sich daher um ein wellenoptisches Rekonstruktionsverfahren, bei dem in der Regel die Rekonstruktion nur in einer bestimmten Beugungsordnung erfolgt. Derartige holographische Methoden stellen aber hohe Anforderungen sowohl an das Auflösungsvermögen der Wiedergabeeinrichtung bzw. des Displays, als auch an die Leistungsfähigkeit der zur Berechnung der Hologramme eingesetzten Rechner. Dabei hängt sowohl die Größe des Rekonstruktionsvolumens bzw. des Rekonstruktionsraums als auch der Sichtbarkeitsbereich von dem durch den Pixelpitch des Displays gegebenen Beugungswinkel ab. Daher können mit gegenwärtigen Mitteln auf Basis von herkömmlichen holographischen Verfahren bisher nur kleine Szenen bzw. Objekte in einem noch relativ kleinen Sichtbarkeitsbereich rekonstruiert werden. Da zur Rekonstruktion außerdem hinreichend kohärentes Licht erforderlich ist, ist die dreidimensionale Darstellung auch immer mit kohärentem Rauschen, dem sogenannten Speckling, überlagert, wodurch Maßnahmen zu seiner Unterdrückung erforderlich sind, wobei unter Umständen aber wiederum die Auflösung des Displays herabgesetzt wird.

**[0006]** Eine weitere Möglichkeit, reale Bildpunkte in einem dreidimensionalen Raum zu rekonstruieren, bietet eine als Multi-Beam-Display bezeichnete Wiedergabeeinrichtung. Bei dieser Art von Wiedergabeeinrichtungen werden die Bildpunkte durch sich im Rekonstruktionsraum kreuzende Lichtstrahlenbündel erzeugt. Dabei ist es erforderlich, dass wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel, die unter einem Winkel von einem Bildpunkt bzw. Raumpunkt ausgehen, auf die Pupille eines Betrachterauges treffen, um das Auge zur Fokussierung auf den Bildpunkt zu veranlassen (monokulare Akkommodation). Für eine binokulare dreidimensionale Wahrnehmung des Bildpunktes sind dann jeweils wenigstens vier von dem gleichen Bildpunkt ausgehende Lichtstrahlenbündel erforderlich, so dass zwei Lichtstrahlenbündel auf die Pupille des rechten Betrachterauges und zwei Lichtstrahlenbündel auf die Pupille des linken Betrachterauges treffen.

**[0007]** Eine auf diesem Wirkungsprinzip beruhende Wiedergabeeinrichtung beschreibt die US 6,798,390 B1. Die Wiedergabeeinrichtung weist dabei ein bildgebendes LC-Display und ein weiteres zweites LC-Display auf, die in einem Abstand parallel zueinander angeordnet sind. Das zweite LC-Display dient dabei in Verbindung mit einer Feldlinse als richtungsgebendes Display und wird als Shutter betrieben. Um beispielsweise drei Bildpunkte bzw. Raumpunkte

durch sich kreuzende Lichtstrahlenbündel zu erzeugen, werden nacheinander jeweils drei Bildpixel an unterschiedlichen Stellen im bildgebenden LC-Display aufgeschaltet. Eine sich über das zweite als Shutter ausgebildete LC-Display zeitsequentiell bewegende kleine Öffnung bzw. Apertur wählt jeweils drei Lichtstrahlenbündel aus, die in unterschiedliche Richtungen in den Rekonstruktionsraum in Lichtrichtung hinter dem zweiten LC-Display abgestrahlt werden. Bei geeigneter Wahl der im bildgebenden LC-Display aufgeschalteten Bildpixel und der dazu aufgeschalteten Öffnung schneiden sich die jeweiligen auf diese Weise nacheinander erzeugten Lichtstrahlenbündel, so dass drei Raumpunkte erzeugt werden. Ein Betrachter kann dann diese drei Raumpunkte aus verschiedenen Blickwinkeln mit unterschiedlicher Tiefe als dreidimensionales Bild wahrnehmen.

**[0008]** Nachteilig bei einer derartigen Wiedergabeeinrichtung ist jedoch, dass die die Raumpunkte erzeugenden Lichtstrahlenbündel durch eine einzige Apertur zeitsequentiell erzeugt werden. Dadurch ist das rekonstruierte dreidimensionale Bild sehr lichtschwach, wobei außerdem an die Schaltgeschwindigkeit des als Shutter betriebenen zweiten LC-Displays hohe Anforderungen gestellt werden. Die US 6,798,390 B1 beschreibt zudem, dass das bildgebende LC-Display durch eine LED-Anordnung ersetzt werden kann. Auf diese Weise verbessern sich zwar die Lichtverhältnisse, der grundsätzliche Nachteil der sequentiellen Erzeugung der Lichtstrahlenbündel in einem größeren Sichtbarkeitsbereich bleibt aber bestehen.

**[0009]** Die US 6,798,390 B1 beschreibt in einer weiteren Ausgestaltung der Wiedergabeeinrichtung die Beschränkung des Sichtbarkeitsbereichs der dreidimensionalen Darstellung auf einen definierten kleineren Bereich, in dem sich im gegebenen Moment der Kopf des Betrachters befindet. Der Ort des Kopfes des Betrachters wird durch ein Positionserfassungssystem ermittelt. Dabei werden die verschiedenen Sichtbarkeitsbereiche (Raumwinkel, der mindestens den Kopf des Betrachters erfasst, meist aber größer ist), die den Kopfpositionen des Betrachters entsprechen, durch unterschiedliche Bereiche des bildgebenden LC-Displays dargestellt. Dadurch werden zwar die Anforderungen an die Schaltgeschwindigkeit des zweiten LC-Displays verringert, aber die Auflösung der dreidimensionalen Darstellung verringert sich in gleichem Maße.

**[0010]** Die Beseitigung derartiger Nachteile kann dadurch erreicht werden, dass die Anzahl der bildgebenden und richtungsgebenden Systeme in einer Wiedergabeeinrichtung erhöht wird. Eine derartige Wiedergabeeinrichtung ist beispielsweise aus der US 2003/0156077 A1 bekannt. Die sich im Rekonstruktionsraum kreuzenden Lichtstrahlenbündel werden

dabei von mehreren in horizontaler und vertikaler Richtung nebeneinander bzw. untereinander angeordneten Mikrodisplays in Kombination mit speziellen optischen Abbildungssystemen erzeugt. Der Anordnung von Mikrodisplays ist ein passiver Bildschirm mit einer Streucharakteristik vorgelagert, der die von den Mikrodisplays ausgehenden Lichtstrahlenbündel derart aufweitet, dass sie winkelmäßig ohne Unterbrechung ineinander übergehen und so Raumpunkte erzeugt werden, die eng beieinanderliegen. Die derart erzeugten Raumpunkte sind dann im Bereich vor, hinter oder auf dem Bildschirm sichtbar. Auf diese Weise kann in einem bestimmten Raumwinkel eine Vielzahl von perspektivischen Ansichten eines dreidimensionalen Bildes erzeugt werden, die ein Betrachter mit beiden Augen bei einer Bewegung nacheinander wahrnimmt oder die mehrere Betrachter gleichzeitig sehen können. Dadurch wird die Multi-User-Fähigkeit (mehrere Betrachter) der Wiedergabeeinrichtung gewährleistet. Durch die Bewegungsparallaxe wird der dreidimensionale Eindruck des dargestellten Bildes noch verstärkt. Der Sichtbarkeitsbereichs und die Anzahl der Ansichten hängen dabei von der Geometrie der Anordnung ab und können durch Hinzufügen weiterer Module (Mikrodisplays und richtungsgebende Optiken) vergrößert werden.

**[0011]** Von großem Nachteil bei einer derartigen Wiedergabeeinrichtung ist aber der hohe Aufwand der Anordnung der Mikrodisplays bzw. der Module und der damit verbundene rechentechnische Aufwand zur Programmierung und Steuerung der Module. Diese Wiedergabeeinrichtungen sind deshalb eher als Einzelgeräte für spezielle Anwendungen als für den Durchschnittsverbraucher geeignet.

**[0012]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung auf Basis eines Multi-Beam-Displays und ein Verfahren zur Darstellung von dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum zu schaffen, mit denen die Nachteile des Standes der Technik beseitigt werden und die eine geringe Anzahl von Elementen erfordern. Zudem soll der rechentechnische Aufwand zur Realisierung von dreidimensionalen Bildern vermindert werden und die Vorrichtung auch für den Durchschnittsverbraucher geeignet anwendbar sein.

**[0013]** Erfindungsgemäß wird die vorliegende Aufgabe hinsichtlich der Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und hinsichtlich des Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst.

**[0014]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch eine Vorrichtung zur Darstellung von dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum durch Raumpunkte, die Schnittpunkte von wenigstens zwei sich kreuzenden Lichtstrahlenbündeln sind, gelöst, die eine Bildanzeigeeinrichtung mit Bildpixeln zur Darstellung von Bildinformationen und eine Strahl-

richtungseinrichtung aufweist. Die Bildanzeigeeinrichtung kann beispielsweise als herkömmliches LC-Display mit einer bestimmten Diagonale ausgeführt sein, z. B. ein 20" Display. Die Strahlrichtungseinrichtung sendet die von den Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung ausgehenden Lichtstrahlenbündel in vordefinierte Richtungen, beispielsweise zu wenigstens einem Betrachter, aus, so dass wenigstens ein Raumpunkt im Rekonstruktionsraum erzeugbar ist. Die von dem wenigstens einen Raumpunkt ausgehenden Lichtstrahlenbündel sind dabei ausschließlich auf wenigstens ein in einer Betrachterebene vorgesehene virtuelles Betrachterfenster gerichtet, das in seiner Ausdehnung höchstens dem Durchmesser der Augenpupille eines Betrachters entspricht.

**[0015]** Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind die Lichtstrahlenbündel, die einen Raumpunkt bzw. Raumpunkte rekonstruieren, ausschließlich auf wenigstens ein virtuelles Betrachterfenster gerichtet, das in seiner Ausdehnung höchstens der Augenpupille eines Betrachters entspricht. Zur Beobachtung des oder der Raumpunkte im Rekonstruktionsraum ist es deshalb erforderlich, dass die Augenpupille des Betrachters sich am Ort des virtuellen Betrachterfensters befindet. Das Auge des Betrachters fokussiert dann auf die dargestellten Raumpunkte und nimmt diese in der richtigen Tiefe wahr, wenn von jedem Raumpunkt wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel in die Pupille dieses Auges einfallen.

**[0016]** Der Vorteil dieser erfindungsgemäßen Vorrichtung liegt in der Konzentration der gesamten von den Bildpixeln ausgehenden Information auf virtuelle Betrachterfenster. Dadurch kann die zu verarbeitende Informationsmenge erheblich gesenkt werden, z. B. gegenüber den Wiedergabeeinrichtungen der US 6,798,390 B1 und der US 2003/0156077 A1, da zu einem bestimmten Zeitpunkt immer nur die perspektivischen Ansichten des dreidimensionalen Bildes für die Betrachterfenster zu berechnen und darzustellen sind, in denen sich auch Augen wenigstens eines Betrachters befinden. Außerdem wird dadurch eine Echtzeitdarstellung von bewegten Szenen (Folge von rekonstruierten dreidimensionalen Bildern bzw. Objekten) wesentlich vereinfacht bzw. überhaupt erst möglich. Da die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Rekonstruktion der Raumpunkte bzw. Bildpunkte bzw. Objektpunkte nur eine geringe Anzahl von optischen Elementen aufweist bzw. benötigt und vor allem kein kohärentes Licht erfordert, liegt ein besonderer Vorteil gegenüber holographischen Wiedergabeeinrichtungen darin, dass Interferenzerscheinungen nicht auftreten bzw. keine Rolle spielen und somit die Darstellungsqualität nicht durch Speckling (kohärentes Rauschen) beeinträchtigt wird.

**[0017]** Durch die erhebliche Minderung des geräte-technischen und rechentechnischen Aufwandes ist

es möglich, die erfindungsgemäße Vorrichtung auch für den verbraucherorientierten Videobereich einzusetzen bzw. ist die Vorrichtung auf Basis eines derartigen Multi-Beam-Displays in der Anwendung für den Durchschnittsverbraucher geeignet.

**[0018]** In einer Ausgestaltung der Erfindung kann dabei vorgesehen sein, dass die Strahlrichtungseinrichtung Strahlablenmittel aufweist, wobei jedem Bildpixel oder einer Gruppe von nebeneinanderliegenden Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung ein Strahlablenmittel der Strahlrichtungseinrichtung zugeordnet ist. Besonders von Vorteil kann sein, wenn die Strahlablenmittel als steuerbare Prismenelemente ausgebildet sind. Die steuerbaren Prismenelemente können dabei beispielsweise auf Basis des Electrowetting-Effects (Elektrokapillarität; variable Brennweite bzw. variabler Ablenkwinkel durch flüssige Mikroelemente, z. B. Wasser-Öl-Gemische) aufgebaut und betrieben werden.

**[0019]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass eine Gruppe von nebeneinander angeordneten Strahlablenmitteln oder Prismenelementen der Strahlrichtungseinrichtung als Fresnel-Linse ausgeführt ist, wobei die Strahlablenmittel der Fresnel-Linse jeweils einem Bildpixel oder einer Gruppe von Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung in Lichtstrahlrichtung nachgeordnet sind. Die Fresnel-Linse kann dabei direkt durch eine Gruppe von Strahlablenmitteln bzw. Prismenelementen der steuerbaren Strahlrichtungseinrichtung dargestellt werden, wobei diese Gruppe von Strahlablenmitteln bzw. Prismenelementen einer in annähernd gleicher Größe ausgebildeten Gruppe von Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung zugeordnet ist. Die Fresnel-Linsen rekonstruieren in ihren Brennpunkten jeweils einen Raumpunkt. Der inkohärente Charakter der Rekonstruktion bleibt auch bei dieser Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung erhalten.

**[0020]** Besonders von Vorteil kann sein, wenn die Ablenkwinkel der Strahlablenmittel bzw. der Prismenelemente in zwei senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen steuerbar sind. So ist es möglich, die Lichtstrahlenbündel in horizontaler und vertikaler Richtung entsprechend des zu rekonstruierenden Raumpunktes zu steuern und auszusenden.

**[0021]** Um insbesondere eine Kollimation der von den Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung ausgehenden Lichtstrahlenbündel vornehmen zu können, damit auf die Strahlablenmittel der Strahlrichtungseinrichtung kollimierte Lichtstrahlenbündel auftreffen, kann vorteilhaft ein optisches System vorgesehen sein, das zwischen der Bildanzeigeeinrichtung und der Strahlrichtungseinrichtung angeordnet ist.

**[0022]** In vorteilhafter Weise kann dabei das opti-

sche System als Linsenanordnung, insbesondere als Mikrolinsenanordnung, ausgebildet sein, wobei jedem Bildpixel oder einer Gruppe von nebeneinanderliegenden Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung eine Linse der Linsenanordnung zugeordnet ist.

**[0023]** Um die gegenseitige Beeinflussung des von benachbarten Bildpixeln ausgehenden Lichts als Streulicht zu vermeiden, kann vorteilhaft zwischen der Bildanzeigeeinrichtung und dem optischen System eine Blendenanordnung, beispielsweise durch Realisierung von Lochblenden, vorgesehen sein.

**[0024]** Da nur die perspektivische Ansicht für das jeweilige virtuelle Betrachterfenster und daher für das jeweilige Auge eines Betrachters berechnet und dargestellt werden soll, kann es vorteilhaft sein, wenn ein Positionserfassungssystem zur Ermittlung von Augenpositionen wenigstens eines Betrachters in der Betrachterebene vorgesehen ist.

**[0025]** Die Aufgabe der Erfindung wird weiterhin durch ein Verfahren zum Darstellen von dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum gelöst, wobei Lichtstrahlenbündel von Bildpixeln einer Bildanzeigeeinrichtung auf eine Strahlrichtungseinrichtung gesandt werden, die durch die Strahlrichtungseinrichtung derart in unterschiedliche Richtungen gelenkt werden, dass wenigstens ein Raumpunkt durch wenigstens zwei sich kreuzende Lichtstrahlenbündel in einem Rekonstruktionsraum erzeugt wird, wobei die von dem wenigstens einen Raumpunkt ausgehenden Lichtstrahlenbündel durch wenigstens ein virtuelles Betrachterfenster in einer Betrachterebene verlaufen und auf die Pupille von wenigstens einem Auge wenigstens eines Betrachters auftreffen, so dass der wenigstens eine Betrachter durch das wenigstens eine virtuelle Betrachterfenster ein dreidimensionales Bild beobachtet.

**[0026]** Die von dem darzustellenden Raumpunkt ausgehenden Lichtstrahlenbündel werden erfindungsgemäß ausschließlich auf wenigstens ein virtuelles Betrachterfenster gerichtet, das in einer Betrachterebene vorliegt. Um den Raumpunkt bzw. Bildpunkt im Rekonstruktionsraum beobachten zu können, muss die Augenpupille eines Betrachters räumlich mit dem virtuellen Betrachterfenster zusammenfallen bzw. am Ort des virtuellen Betrachterfensters vorliegen, so dass wenigstens zwei von dem Raumpunkt ausgehende Lichtstrahlenbündel auf die Augenpupille auftreffen. Für eine binokulare Tiefenwahrnehmung ist es erforderlich, dass von jedem Raumpunkt wenigstens vier Lichtstrahlenbündel ausgehen, von denen jeweils wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel auf das rechte Betrachterauge und auf das linke Betrachterauge auftreffen. Soll das dreidimensionale Bild bzw. Objekt durch mehrere Betrachter beobachtbar sein, so lässt sich dies durch Erzeugung von mehreren Betrachterfenstern reali-

sieren (Multi-User-Eigenschaft). Die Betrachterfenster können auch nebeneinander angrenzend angeordnet werden (Multi-View-Eigenschaft).

**[0027]** Mittels dieses erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine wesentliche Einsparung von Darstellungs- und Berechnungskapazität erreicht, da nur die Flächen der Augenpupillen des bzw. der Betrachter(s) mit Informationen versorgt werden müssen. Eine weitere Verminderung des Berechnungs- und Darstellungsaufwandes kann dadurch erzielt werden, dass beispielsweise aufgrund der horizontal nebeneinanderliegenden Anordnung der Augen nur die horizontale Perspektive dargestellt und auf die Darstellung der vertikalen Perspektive verzichtet wird. Im Gegensatz zur wellenoptischen Rekonstruktion von Raumpunkten gemäß der Holographie handelt es sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren um ein strahlenoptisches Rekonstruktionsverfahren.

**[0028]** Von besonderem Vorteil kann dabei sein, dass die Position wenigstens eines Auges wenigstens eines Betrachters in der Betrachterebene mittels eines Positionserfassungssystems ermittelt wird und bei Bewegung des wenigstens einen Betrachters in lateraler und/oder axialer Richtung das wenigstens eine virtuelle Betrachterfenster nachgeführt wird. Auf diese Weise kann ein Betrachter des dreidimensionalen Bildes dieses auch nach Bewegung an einen anderen Ort beobachten, wobei dem Betrachter entweder die gleiche perspektivische Ansicht des dreidimensionalen Bildes wie vorher dargeboten wird oder auch eine andere perspektivische Ansicht des dreidimensionalen Bildes, je nachdem welche Anforderungen der Betrachter an die Vorrichtung bzw. an das Verfahren stellt.

**[0029]** Bei den Positionen der für die Rekonstruktion der Raumpunkte aufzuschaltenden Bildpixel der Bildanzeigeeinrichtung handelt es sich um eine Projektion des darzustellenden Objekts auf die Bildanzeigeeinrichtung. Die Positionen der für die einzelnen Raumpunkte bzw. Bildpunkte aufzuschaltenden Bildpixel der Bildanzeigeeinrichtung werden deshalb vorteilhafterweise durch inverse Strahldurchrechnung (inverses ray-tracing) von den Betrachteraugen über die Raumpunkte zu der Bildanzeigeeinrichtung ermittelt.

**[0030]** Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den restlichen Unteransprüchen. Im nachfolgenden wird die Erfindung anhand der in der Zeichnung näher beschriebenen Ausführungsbeispiele prinzipmäßig erläutert.

**[0031]** Die Figuren zeigen:

**[0032]** **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Darstellung von dreidimensionalen Bildern durch Raumpunkte, in der

Draufsicht;

[0033] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung der in [Fig. 1](#) dargestellten Vorrichtung in Verbindung mit einem virtuellen Betrachterfenster, in der Seitenansicht;

[0034] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung der in [Fig. 1](#) dargestellten Vorrichtung in Verbindung mit zwei virtuellen Betrachterfenstern, in der Draufsicht; und

[0035] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Verbindung mit einem virtuellen Betrachterfenster, in der Draufsicht.

[0036] Die nachfolgenden Ausführungsbeispiele beziehen sich hauptsächlich auf Direktsichtdisplays bzw. Wiedergabeeinrichtungen, die zur Beobachtung eines dreidimensionalen Bildes direkt betrachtet werden. Eine Realisierung einer Projektionsvorrichtung, beispielsweise unter Verwendung von Mikrodisplays, ist aber ebenso möglich.

[0037] Nachfolgend wird der Aufbau und die Funktionsweise einer Vorrichtung **1** zur Darstellung von dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum beschrieben. Während in den [Fig. 1](#) und [Fig. 4](#) die äußeren Begrenzungen (Randstrahlen) der Lichtstrahlenbündel dargestellt sind, zeigen die [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) nur die Hauptstrahlen (Mittelstrahlen) der Lichtstrahlenbündel.

[0038] In [Fig. 1](#) ist der prinzipielle Aufbau der Vorrichtung **1** dargestellt, wobei die Vorrichtung **1** sehr vereinfacht in der Draufsicht gezeigt ist. Die Vorrichtung **1** weist zur dreidimensionalen Darstellung eine Bildanzeigeeinrichtung **2** mit mehreren Bildpixeln **3** zur Darstellung von Bildinformationen auf. Wie aus [Fig. 1](#) ersichtlich, besteht gemäß der Erfindung ein Bildpixel **3** aus drei Subpixeln entsprechend der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB), so dass ein dreidimensionales Bild farblich dargestellt werden kann, wobei eine farbliche Darstellung des dreidimensionalen Bildes nicht zwingend ist. Als Bildanzeigeeinrichtung **2** kann ein herkömmliches LC-Display mit einer gewünschten Diagonale, beispielsweise ein 20"-Display, verwendet werden. Selbstverständlich können auch andere Größenordnungen von Displays oder andere Displayarten als Bildanzeigeeinrichtung **2** eingesetzt werden.

[0039] Die Bildanzeigeeinrichtung **2** weist dabei eine nicht dargestellte Beleuchtungseinrichtung auf, die als Hintergrundbeleuchtung (backlight) ausgebildet ist und eine herkömmliche Hintergrundbeleuchtung darstellt, wobei aber auch hinter jedem Bildpixel eine Lichtquelle angeordnet sein kann. Die Hintergrundbeleuchtung beleuchtet dabei die Bildpixel **3** in-

kohärent. Selbstverständlich können auch anderweitig aufgebaute Beleuchtungseinrichtungen in der Bildanzeigeeinrichtung vorgesehen werden. Dabei ist es z. B. möglich, eine Bildanzeigeeinrichtung auf Basis von selbstleuchtenden Bildpixeln einzusetzen.

[0040] In Lichtrichtung nach der Bildanzeigeeinrichtung **2** ist eine Strahlrichtungseinrichtung **4** angeordnet, die zur Richtungssteuerung bzw. Ablenkung der von den Bildpixeln mit der entsprechenden Information modulierten Lichtstrahlenbündel vorgesehen ist. Die vorteilhaft zweidimensional ausgeführte Strahlrichtungseinrichtung **4** weist dazu Strahlablenmittel **5** auf, die als richtungsgebende Elemente ausgebildet sind. Die Strahlablenmittel **5** können dabei steuerbare Prismenelemente bzw. Linsenelemente sein, die jeweils nebeneinander angeordnet sind und so eine Anordnung von mehreren Strahlablenmitteln **5** ergeben. Die Strahlablenmittel **5** sind zur Richtungssteuerung der auftreffenden Lichtstrahlenbündel vorteilhafterweise nach dem Prinzip des Electrowettings aufgebaut und arbeiten bzw. operieren entsprechend des Electrowetting-Effekts. Der Ablenkwinkel der einzelnen Strahlablenmittel **5** ist zur horizontalen und vertikalen Richtungssteuerung der einzelnen Lichtstrahlenbündel daher in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen steuerbar. Auf diese Weise kann ein echtes bzw. realistisches dreidimensionales Bild im Rekonstruktionsraum erzeugt und dargestellt werden, das einen dreidimensionalen Effekt sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung zeigt. Eine derartige Vorrichtung würde jedoch große Informationsmengen erfordern und verarbeiten müssen, so dass diese Vorrichtung vorzugsweise aus wirtschaftlichen Gründen keine hohe Effektivität aufweist. Da beide Augen eines Betrachters horizontal nebeneinander angeordnet sind, ist eine Darstellung der Perspektive des dreidimensionalen Bildes in horizontaler Richtung ausreichend.

[0041] Die Bildanzeigeeinrichtung **2** und die Strahlrichtungseinrichtung **4** werden zur Darstellung eines Raumpunktes bzw. eines dreidimensionalen Bildes über Steuerungsmittel **7** und **8** angesteuert, wobei die Ansteuerung synchron erfolgt. Damit eine derartige synchrone Ansteuerung der Bildanzeigeeinrichtung **2** und der Strahlrichtungseinrichtung **4** erfolgen kann, ist eine Steuereinheit **9** vorgesehen, die entsprechende Steuersignale an die beiden Steuerungsmittel **7** und **8** abgibt.

[0042] Zudem ist ein optisches System **6** zwischen der Bildanzeigeeinrichtung **2** und der Strahlrichtungseinrichtung **4** angeordnet, das als Linsenanordnung, vorzugsweise als Mikrolinsenanordnung, ausgeführt ist. Dabei ist jedem Bildpixel **3** der Bildanzeigeeinrichtung **2** eine Linse der Linsenanordnung **6** zugeordnet. Die Bildanzeigeeinrichtung **2** ist dabei in der objektseitigen Brennebene der Linsenanordnung **6** angeordnet. Dadurch werden die von den einzelnen Bild-

pixeln **3** ausgehenden Lichtstrahlenbündel durch die einzelnen Linsen der Linsenordnung **6** kollimiert, so dass parallele Lichtstrahlenbündel auf die jeweiligen Strahlablenmittel **5** der Strahlrichtungseinrichtung **4** auftreffen, wodurch das gesamte Strahlablenmittel **5** vollflächig und homogen beleuchtet wird. Es kann jedoch bevorzugt sein, dass die jeweiligen Bildpixel **3** nicht im objektseitigen Brennpunkt der Linsen der Linsenordnung **6** angeordnet sind, sondern leicht außerhalb, so dass von den einzelnen Bildpixeln **3** der Bildanzeigeeinrichtung **2** leicht divergente Lichtstrahlenbündel ausgehen. Auf diese Weise kommt ein leichtes Überlappen von wenigstens zwei Lichtstrahlenbündeln im Auge bzw. am Ort des Betrachtens zustande, wodurch der kontinuierliche Eindruck der Darstellung von angrenzenden Raumpunkten im Rekonstruktionsraum verstärkt wird.

**[0043]** Um insbesondere bei von den Bildpixeln **3** ausgehenden leicht divergenten Lichtstrahlenbündeln eine gegenseitige Beeinflussung der Lichtstrahlenbündel im Bereich des optischen Systems **6** bzw. der einzelnen Linsen durch Streulicht in horizontaler und/oder vertikaler Richtung zu verringern bzw. zu vermeiden, ist zwischen der Bildanzeigeeinrichtung **2** und dem optischen System **6** eine Blendenanordnung **10** vorgesehen. Dadurch wird eine genaue Zuordnung des von einem Bildpixel **3** ausgehenden Lichtstrahlenbündels auf das dafür vorgesehene Strahlablenmittel **5** der Strahlrichtungseinrichtung **4** gewährleistet. Eine Verwaschung des durch die Lichtstrahlenbündel rekonstruierten bzw. erzeugten Raumpunktes wird somit weitgehend vermieden. Die Blendenanordnung **10** kann dabei beispielsweise als Anordnung von einzelnen Lochblenden auf Basis einer Folie bestimmter Dicke gesehen werden.

**[0044]** Zur Erzeugung eines Raumpunktes P gemäß der [Fig. 1](#) sind wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel **11** und **12** notwendig. Die Positionen der für den einzelnen Raumpunkt P aufzuschaltenden Bildpixel **3** der Bildanzeigeeinrichtung **2** ergeben sich dabei durch eine inverse Strahldurchrechnung (ray-tracing) von dem Betrachterauge bzw. den Betrachteraugen über den am richtigen Ort zu erzeugenden Raumpunkt P zu der Bildanzeigeeinrichtung **2**. Gemäß der [Fig. 1](#) werden zur Rekonstruktion des Raumpunktes P zwei Bildpixel **3** aufgeschaltet, wodurch die von den zwei Bildpixeln **3** mit der entsprechenden Information für den Raumpunkt P modulierten zwei Lichtstrahlenbündel mittels der entsprechenden Linsen des optischen Systems **6** kollimiert werden und auf die dafür vorgesehenen Strahlablenmittel **5** der Strahlrichtungseinrichtung **4** auftreffen. Die beiden Strahlablenmittel **5** werden dabei über das Steuerungsmittel **8** derart angesteuert, dass die beiden kollimierten, untereinander inkohärenten Lichtstrahlenbündel **11** und **12** in vorbestimmte Richtungen gelenkt werden und sich am dafür vorgesehenen Ort im Rekonstruktionsraum schneiden. Die vari-

able Ablenkung der Lichtstrahlenbündel **11** und **12** mittels der Strahlablenmittel **5** wird dabei durch den oben erwähnten Electrowetting-Effekt erzielt. Die Lichtstrahlenbündel **11** und **12** rekonstruieren somit den Raumpunkt P in ihrem Schnittpunkt.

**[0045]** Die [Fig. 2](#) stellt die Rekonstruktion von mehreren, hier drei Raumpunkten P1, P2 und P3 im Rekonstruktionsraum dar. Die Bildanzeigeeinrichtung **2**, die Blendenanordnung **10**, das optische System **6** und die Strahlrichtungseinrichtung **4** entsprechen dabei den Einrichtungen gemäß [Fig. 1](#), wodurch gleiche Teile auch gleiche Bezugszeichen wie in [Fig. 1](#) aufweisen. Zudem sind die Einrichtungen **2**, **10**, **6** und **4** der Vorrichtung **1** nur sehr vereinfacht dargestellt. Wie bereits zu [Fig. 1](#) beschrieben, werden zur Erzeugung eines Raumpunktes wenigstens zwei sich kreuzende Lichtstrahlenbündel benötigt. Jeder der drei dargestellten Raumpunkte P1, P2 oder P3 wird somit durch wenigstens zwei sich kreuzende Lichtstrahlenbündel erzeugt bzw. rekonstruiert, wobei aber hier jeweils nur die Hauptstrahlen der einzelnen Lichtstrahlenbündel dargestellt sind. Wie ersichtlich müssen zur Erzeugung von mehreren Raumpunkten unterschiedliche Bildpixel **3** der Bildanzeigeeinrichtung **2** aufgeschaltet werden. Zudem kann sich ein Raumpunkt auch in Lichtrichtung vor der Bildanzeigeeinrichtung **2** befinden, wodurch gezeigt werden soll, dass sich der Rekonstruktionsraum auch entgegengesetzt der Lichtrichtung hinter die Bildanzeigeeinrichtung **2** erstrecken kann. Durch die Rekonstruktion von mehreren Raumpunkten kann ein dreidimensionales Bild erzeugt werden, das durch wenigstens einen Betrachter beobachtbar ist.

**[0046]** Ein wesentliches Merkmal der Vorrichtung **1** besteht darin, dass die von den darzustellenden Raumpunkten P1, P2 und P3 ausgehenden Lichtstrahlenbündel ausschließlich auf ein virtuelles Betrachterfenster **13** gerichtet sind, das in einer Betrachterebene **14** liegt, die sich in Lichtrichtung in einem Abstand von der Strahlrichtungseinrichtung **4** befindet, der dem Betrachterabstand entspricht. Durch dieses virtuelle Betrachterfenster **13**, das in seiner Ausdehnung höchstens dem Durchmesser der Augenpupille des Betrachters entspricht, also in etwa so groß ist wie die Augenpupille des Betrachters, und mit dieser nahezu räumlich zusammenfällt, nimmt das Auge des Betrachters die dargestellten Raumpunkte P1, P2 und P3 in der richtigen Tiefe wahr, wenn, wie dargestellt, von jedem Raumpunkt P1, P2 und P3 wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel in die Augenpupille einfallen. Mit anderen Worten ausgedrückt: Will der Betrachter die Raumpunkte P1, P2 und P3 bzw. das dadurch dargestellte Bild beobachten, so muss er seine Augenpupille an den Ort des virtuellen Betrachterfensters **13** bringen, so dass die von den Raumpunkten P1, P2 und P3 ausgehenden Lichtstrahlenbündel durch das virtuelle Betrachterfenster **13** in der Betrachterebene **14** verlaufen

und auf die Pupille des Auges auftreffen, so dass das Auge veranlasst wird auf die Raumpunkte P1, P2 und P3 zu fokussieren. Da nur die perspektivische Ansicht für das Betrachterfenster **13** berechnet und dargestellt wird, reduziert sich erheblich die zu verarbeitende Informationsmenge, wodurch eine derartige erfindungsgemäße Vorrichtung **1** auch für den Normalverbraucher, beispielsweise im Medienbereich, realisierbar ist.

**[0047]** Damit ein Betrachter binokular die erzeugten Raumpunkte bzw. das dargestellte Bild beobachten kann, müssen gemäß [Fig. 3](#) zwei virtuelle Betrachterfenster **13a** und **13b**, nämlich das virtuelle Betrachterfenster **13a** für das rechte Auge und das virtuelle Betrachterfenster **13b** für das linke Auge des Betrachters, in der Betrachterebene **14** vorgesehen werden. Auch hier sind, wie in [Fig. 2](#), die Bildanzeigeeinrichtung **2**, die Blendenanordnung **10**, das optische System **6** und die Strahlrichtungseinrichtung **4**, die auch als Gesamteinheit betrachtet werden können, nur sehr vereinfacht dargestellt, wobei auch hier wieder gleiche Teile gemäß [Fig. 1](#) auch die gleichen Bezugszeichen aufweisen. [Fig. 3](#) zeigt dabei die Darstellung von zwei Raumpunkten P1 und P2 in unterschiedlicher Tiefe für zwei Augen eines Betrachters. Für eine binokulare Tiefenwahrnehmung und somit eines dreidimensionalen Bildes, das durch die Raumpunkte P1 und P2 bzw. weitere Raumpunkte dargestellt wird, ist es erforderlich, dass von jedem Raumpunkt P1 und P2 wenigstens vier Lichtstrahlenbündel (auch hier wieder nur durch die Hauptstrahlen dargestellt) ausgehen. Davon müssen wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel auf das virtuelle Betrachterfenster **13a** und wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel auf das virtuelle Betrachterfenster **13b** gerichtet sein bzw. auftreffen, so dass, wenn an den Orten der virtuellen Betrachterfenster **13a** und **13b** jeweils die Pupillen der Augen des Betrachters vorliegen, die Lichtstrahlenbündel auf die Augenpupillen auftreffen und der Betrachter dann das dreidimensionale Bild beobachten kann. Um wenigstens vier Lichtstrahlenbündel zu erzeugen, müssen daher wenigstens vier Bildpixel **3** der Bildanzeigeeinrichtung **2** aufgeschaltet werden.

**[0048]** Damit der Betrachter auch nach Bewegung an eine andere Position das dreidimensionale Bild bzw. die Raumpunkte P1 und P2 mit Tiefenwahrnehmung beobachten kann, ist es notwendig, die virtuellen Betrachterfenster **13a** und **13b** nachzuführen, wie durch die Doppelpfeile dargestellt. Um jedoch die neue Augenposition des Betrachters ermitteln zu können, ist ein Positionserfassungssystem **15** in der Vorrichtung **1** vorgesehen. Die virtuellen Betrachterfenster **13a** und **13b** können dabei in lateraler und/oder axialer Richtung durch entsprechende Ansteuerung der Bildanzeigeeinrichtung **2** und der Strahlrichtungseinrichtung **4** mittels der Steuereinheit **9** entsprechend der mit dem Positionserfassungssystem

**15** ermittelten neuen Augenposition nachgeführt werden. Gleiches gilt selbstverständlich für das virtuelle Betrachterfenster **13** gemäß [Fig. 2](#).

**[0049]** Nach der Nachführung der beiden Betrachterfenster **13a** und **13b** sieht der Betrachter beispielsweise die gleiche Ansicht der Raumpunkte P1 und P2, wobei die Bildanzeigeeinrichtung **2** so programmiert bzw. kodiert wurde, dass sich die Raumpunkte bzw. das dreidimensionale Bild mitdrehen. Es ist jedoch selbstverständlich auch möglich, die Bildanzeigeeinrichtung **2** dabei derart umzukodieren, dass der Betrachter nach einem Positionswechsel und somit der Nachführung der Betrachterfenster **13a** und **13b** eine andere perspektivische Ansicht der Raumpunkte P1 und P2 bzw. des dreidimensionalen Bildes beobachten kann, wobei die Raumpunkte bzw. das dreidimensionale Bild dabei feststeht (Rundumsicht). Das bedeutet, dass dem einzelnen Betrachter oder mehreren Betrachtern bei einer Bewegung in lateraler und/oder axialer Richtung vor der Vorrichtung **1** entweder immer die gleiche perspektivische Ansicht oder unterschiedliche Ansichten des dreidimensionalen Bildes dargeboten werden können. Bei der Darstellung von unterschiedlichen Ansichten des dreidimensionalen Bildes erhöht sich jedoch der Aufwand, insbesondere der Aufwand hinsichtlich der Umkodierung der Bildanzeigeeinrichtung **2**. Um aber insbesondere diesen Berechnungsaufwand gering zu halten, kann vorgesehen sein, dass auf die Darstellung der vertikalen Perspektive des dreidimensionalen Bildes verzichtet wird, wie bereits zu [Fig. 1](#) beschrieben. Die Raumpunkte P1 und P2 können entweder gleichzeitig oder schnell nacheinander dargestellt werden, je nachdem, ob von einem räumlichen oder zeitlichen Multiplexing Gebrauch gemacht wird.

**[0050]** Da zur binokularen Darstellung eines Raumpunktes, z. B. des Raumpunktes P1, wenigstens vier Bildpixel **3** der Bildanzeigeeinrichtung **2** aufzuschalten sind, beträgt das räumliche Auflösungsvermögen der Vorrichtung **1** bei einem räumlichen Multiplexing der für die beiden virtuellen Betrachterfenster **13a** und **13b** bzw. für die beiden Betrachteraugen aufzuschaltenden Bildpixel **3** maximal ein Viertel des Auflösungsvermögens der Bildanzeigeeinrichtung **2**. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die beiden virtuellen Betrachterfenster **13a** und **13b** bzw. die beiden Augen des Betrachters nicht im räumlichen Multiplexing, sondern im zeitlichen Multiplexing zu bedienen. In diesem Falle verringert sich das räumliche Auflösungsvermögen der Vorrichtung **1** nur auf die Hälfte oder es ist gleich dem Auflösungsvermögen der Bildanzeigeeinrichtung **2**, wenn die Darstellungsfrequenz auf das Doppelte bzw. auf das Vierfache der ursprünglichen Frequenz der Bildanzeigeeinrichtung **2** erhöht wird.

**[0051]** Selbstverständlich kann die Vorrichtung **1** auch derart ausgeführt werden, dass mehrere Be-

trichter die Raumpunkte P1 und P2 bzw. das dreidimensionale Bild von ihnen zugeordneten Betrachterfenstern beobachten können. Ist dies der Fall, dann kann es vorteilhaft sein, wenn dafür ein gemischtes zeitlich-räumliches Multiplexing vorgenommen wird. Beispielsweise können jeweils die beiden Augen eines Betrachters mittels räumlichen Multiplexings angesprochen werden, wobei die Betrachter untereinander über das zeitliche Multiplexing bedient werden. Auch ist es möglich, beispielsweise zwei Betrachter mittels räumlichen Multiplexings zu bedienen, wobei die Bildinformationen in der Bildanzeigeeinrichtung 2 z. B. spaltenweise verschachtelt sind. Dies ist jedoch bei Vorhandensein von vielen Betrachtern nicht besonders vorteilhaft, da dann das räumliche Auflösungsvermögen der Bildanzeigeeinrichtung 2 pro Betrachter gering ist. Es kann auch nur ein zeitliches Multiplexing für mehrere Betrachter erfolgen. Selbstverständlich kann das Bedienen von mehreren Betrachtern auch durch noch andere nicht beschriebene Vorgehensweisen des Multiplexing vorgenommen werden.

[0052] Neben der in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) dargestellten Vorgehensweise stellt die [Fig. 4](#) eine weitere Möglichkeit zur Rekonstruktion von Raumpunkten durch die Vorrichtung 100 dar. Die Bildanzeigeeinrichtung 2, die Blendenanordnung 10 und das optische System 6 sind jedoch hier nur in einem Teil der Vorrichtung 100 dargestellt und können dabei in gleicher Weise ausgeführt sein, wie zu den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) beschrieben, wobei deshalb auch die gleichen Bezugszeichen verwendet wurden. Andere Ausführungen sind aber möglich. Die Subpixel RGB eines Bildpixels 3 sind hier hintereinander dargestellt, wobei dies jedoch nur zur Vereinfachung der Darstellung eines Bildpixels 3 dienen soll. Die Subpixel eines Bildpixels 3 sind allgemein, wie in [Fig. 1](#) dargestellt, in der Bildanzeigeeinrichtung 2 nebeneinander angeordnet. Die Rekonstruktion der Raumpunkte P1 und P2 gemäß [Fig. 4](#) erfolgt dabei in Anlehnung an die bei holographischen Rekonstruktionsverfahren mittels computergenerierter Hologramme verwendete Kodierung der Raumpunkte als Brennpunkte von Fresnel-Linsen. Dabei wird eine Fresnel-Linse 16 durch eine Gruppe von mehreren nebeneinander angeordneten Strahlablenmitteln 50, hier vier Strahlablenmittel, einer Strahlrichtungseinrichtung 40 gebildet. Die Gruppe der Strahlablenmittel 50 ist hierbei einer Gruppe von Bildpixeln 3, hier entsprechend vier Bildpixel 3a bis 3d, der Bildanzeigeeinrichtung 2 zugeordnet, wobei auch hier jedem Bildpixel 3 ein Strahlablenmittel 50 zugeordnet ist. Die Strahlablenmittel 50 können wiederum als Prismenelemente oder Linsenelemente auf Basis des Electrowetting-Effekts ausgebildet sein, wobei die Strahlablenmittel 50 beim Auftreffen von mehreren Lichtstrahlenbündeln diese in unterschiedliche Richtungen lenken, so dass die Lichtstrahlenbündel sich in einem Punkt schneiden bzw. kreuzen, wodurch ein Raum-

punkt P1 im Rekonstruktionsraum erzeugt wird. Das bedeutet, zur Rekonstruktion des Raumpunktes P1 werden die Bildpixel 3a bis 3d mittels des Steuerungsmittels 7 der Steuereinheit 9 aufgeschaltet, wobei die von den Bildpixeln 3a bis 3d ausgehenden Lichtstrahlenbündel mittels des optischen Systems 6 kollimiert werden und auf die Fresnel-Linse 16 auftreffen. Die vier Strahlablenmittel 50 der Fresnel-Linse 16 weisen hierbei jeweils unterschiedliche Strahlablenkeigenschaften bzw. Ablenkverhalten (Ablenkwinkel) entsprechend dem Raumpunkt P1 auf, die über das Steuerungsmittel 8 eingestellt werden. Die so zur Rekonstruktion des Punktes P1 ausgebildete Fresnel-Linse 16 fokussiert nun das durch die Bildpixel 3a bis 3d modulierte und durch vier Lichtstrahlenbündel gekennzeichnete Licht auf einen Punkt im Rekonstruktionsraum, um auf diese Weise den Raumpunkt P1 zu rekonstruieren. Die dabei von dem Raumpunkt P1 ausgehenden vier Lichtstrahlenbündel müssen wiederum durch das Betrachterfenster 13 auf die am Ort des Betrachterfensters 13 angeordnete Augenpupille des Betrachters auftreffen, so dass dieser den Raumpunkt P1 beobachten kann. Das Betrachterfenster 13 kann dabei, wie vorhergehend zu [Fig. 3](#) beschrieben, bei einem Positionswechsel des Betrachters in lateraler und/oder axialer Richtung entsprechend den dargestellten Pfeilen nachgeführt werden. Hierzu ermittelt das Positionserfassungssystem 15 die Augenposition des Betrachters am neuen Ort.

[0053] Um den Raumpunkt P2 zu rekonstruieren, wird eine Fresnel-Linse 17 mittels der Strahlablenmittel 50 gebildet. Das oben erwähnte zur Rekonstruktion des Raumpunktes P1 und zur Ausbildung der Fresnel-Linse 16 kann auch auf die Rekonstruktion des Raumpunktes P2 angewandt werden, wobei die Fresnel-Linse 17 jedoch aus acht Strahlablenmitteln 50 gebildet wird. Zur Belichtung der Strahlablenmittel 50 werden dazu die Bildpixel 3h bis 3o der Bildanzeigeeinrichtung 2 aufgeschaltet. Somit wird der Raumpunkt P2 durch acht sich kreuzende Lichtstrahlenbündel rekonstruiert. Demnach werden in Abhängigkeit vom Rekonstruktionsort der Raumpunkte P1 und P2 die Fresnel-Linsen 16 und 17 der Strahlrichtungseinrichtung 40 in ihrer Größe unterschiedlich ausgebildet. Da die einzelnen Lichtstrahlen der Lichtstrahlenbündel untereinander inkohärent sind, bleibt der inkohärente Charakter der Rekonstruktion auch bei einer Rekonstruktion von Raumpunkten über Fresnel-Linsen bestehen. Im Gegensatz zu holographischen Rekonstruktionsverfahren, bei denen kohärentes Licht zur Rekonstruktion verwendet wird, können die Lichtstrahlenbündel hier, wie auch gemäß den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#), nicht interferieren, so dass die Rekonstruktion nicht durch kohärentes Rauschen (Speckling) gestört wird.

[0054] Zur weiteren Reduzierung der Berechnungs- und Darstellungskapazität ist es auch im Falle der Er-

zeugung der Raumpunkte P1 und P2 durch die Fresnel-Linsen **16** und **17** möglich, diese nur eindimensional zu kodieren bzw. zu programmieren, d. h. horizontal oder vertikal. Das bedeutet, wird die Fresnel-Linse **16** oder **17** nur horizontal in der Strahlrichtungseinrichtung **40** programmiert, so nimmt sie nur einen Teil einer Zeile ein. Wird jedoch die Fresnel-Linse **16** oder **17** nur vertikal programmiert, so nimmt sie nur einen Teil einer Spalte ein, je nachdem welche eindimensionale Programmierung vorgenommen wird. Die Größe der Fresnel-Linsen **16** und **17** hängt, wie bereits oben erwähnt, vom Abstand des zu rekonstruierenden Raumpunktes von der Strahlrichtungseinrichtung **40** ab. Da durch die unterschiedlichen Größen der Fresnel-Linsen **16** und **17** auch die Anzahl der aufzuschaltenden Bildpixel **3** der Bildanzeigeeinrichtung **2** unterschiedlich ist, die zur Rekonstruktion der Raumpunkte P1 und P2 beitragen, werden die Raumpunkte P1 und P2 in unterschiedlicher Tiefe im Rekonstruktionsraum mit unterschiedlicher Helligkeit rekonstruiert. Um jedoch eine einheitliche Helligkeit der Raumpunkte P1 und P2 zu gewährleisten, kann die Helligkeit der Raumpunkte einzeln gesteuert und angepasst werden, beispielsweise durch Regelung der Helligkeit der zu dem jeweiligen Raumpunkt beitragenden Bildpixel **3** bzw. durch Kodierung der Luminanz der entsprechenden Bildpixel **3**.

**[0055]** Selbstverständlich können auch bei der Vorrichtung **100** mehrere Betrachter die Raumpunkte P1 und P2 bzw. das dreidimensionale Bild durch eigene Betrachterfenster beobachten, wobei auch hier immer die gleiche perspektivische Ansicht oder unterschiedliche Ansichten der Raumpunkte P1 und P2 bzw. des dreidimensionalen Bildes dargestellt werden können, wie zu der [Fig. 3](#) beschrieben.

**[0056]** Die dargestellten Ausführungen gemäß den [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) beziehen sich auf ein als Vorrichtung **1** bzw. **100** ausgebildetes Direktsichtdisplay. Eine Realisierung von Projektionslösungen, beispielsweise unter Verwendung von Mikrodisplays, ist aber bei einer Verfügbarkeit von steuerbaren Prismenelementen als Strahlableitmittel **5** bzw. **50** mit entsprechend feiner Rasterung ebenso möglich, wobei an entsprechende Beleuchtungseinrichtungen mit hoher Intensität keine Forderungen hinsichtlich der Kohärenz gestellt werden müssen.

**[0057]** Es ist jedoch selbstverständlich, dass weitere Ausführungsformen der Vorrichtung **1**, **100**, wobei die [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) nur bevorzugte Ausführungsformen darstellen, möglich sind, wobei auch Kombinationen der Ausführungsformen untereinander denkbar sind. Abwandlungen der gezeigten Ausführungsformen sind daher möglich, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Allen möglichen Ausführungsformen ist jedoch gemeinsam, dass sie eine wesentlich geringere Darstellungs- und Verarbeitungskapazität gegenüber dem Stand der Technik benötigen.

**[0058]** Mögliche Einsatzgebiete der Vorrichtung **1**, **100** zur Darstellung von dreidimensionalen Bildern liegen insbesondere im Privat- und Arbeitsbereich, wie beispielsweise Fernsehen, elektronische Spiele, Automobilindustrie zur Anzeige von Informationen oder der Unterhaltung, Medizintechnik. Selbstverständlich kann die vorliegende Vorrichtung **1**, **100** auch in anderen, hier nicht genannten Bereichen eingesetzt werden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 6798390 B1 [[0007](#), [0008](#), [0009](#), [0016](#)]
- US 2003/0156077 A1 [[0010](#), [0016](#)]

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Darstellung von insbesondere dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum durch Raumpunkte, die Schnittpunkte von wenigstens zwei sich kreuzenden Lichtstrahlenbündeln sind, mit einer Bildanzeigeeinrichtung (2) mit Bildpixeln (3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o) zur Darstellung von Bildinformationen und mit einer Strahlrichtungseinrichtung (4, 40), die die von der Bildanzeigeeinrichtung (2) ausgehenden Lichtstrahlenbündel in vordefinierte Richtungen aussendet, so dass wenigstens ein Raumpunkt (P, P1, P2, P3) im Rekonstruktionsraum erzeugbar ist, wobei die von dem wenigstens einen Raumpunkt (P, P1, P2, P3) ausgehenden Lichtstrahlenbündel auf wenigstens ein in einer Betrachterebene (14) vorgesehenes virtuelles Betrachterfenster (13, 13a, 13b) gerichtet sind, das in seiner Ausdehnung höchstens dem Durchmesser der Augenpupille eines Betrachters entspricht.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlrichtungseinrichtung (4, 40) Strahlablenmittel (5, 50) aufweist, wobei jedem Bildpixel (3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o) oder einer Gruppe von nebeneinanderliegenden Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung (2) ein Strahlablenmittel (5, 50) der Strahlrichtungseinrichtung (4, 40) zugeordnet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlablenmittel (5, 50) in ihrem Ablenkverhalten steuerbar sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlablenmittel (5, 50) als Prismenelemente, insbesondere auf Basis von Electrowetting, ausgebildet sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gruppe von nebeneinander angeordneten Strahlablenmitteln (50) oder Prismenelementen der Strahlrichtungseinrichtung (40) als Fresnel-Linse (16, 17) ausgeführt ist, wobei die Strahlablenmittel (50) der Fresnel-Linse (16, 17) jeweils einem Bildpixel (3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o) oder einer Gruppe von Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung (2) in Lichtstrahlrichtung nachgeordnet sind.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2, 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablenkwinkel der Strahlablenmittel (5, 50) in zwei senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen steuerbar sind.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein optisches System (6) zur Beeinflussung der von der Bil-

danzeigeeinrichtung (2) ausgehenden Lichtstrahlenbündel vorgesehen ist, das zwischen der Bildanzeigeeinrichtung (2) und der Strahlrichtungseinrichtung (4, 40) angeordnet ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das optische System (6) als Linsenordnung, insbesondere Mikrolinsenordnung, ausgebildet ist, wobei jedem Bildpixel (3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o) oder einer Gruppe von nebeneinanderliegenden Bildpixeln der Bildanzeigeeinrichtung (2) eine Linse der Linsenordnung zugeordnet ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildanzeigeeinrichtung (2) in der objektseitigen Brennebene des optischen Systems (6) angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Bildanzeigeeinrichtung (2) und dem optischen System (6) eine Blendenordnung (10) vorgesehen ist.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Positionserfassungssystem (15) zur Ermittlung von Augenpositionen wenigstens eines Betrachters in der Betrachterebene (14) vorgesehen ist.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuereinheit (9) zur Ansteuerung der Bildanzeigeeinrichtung (2) und der Strahlrichtungseinrichtung (4, 40) entsprechend der mit dem Positionserfassungssystem (15) ermittelten Augenposition wenigstens eines Betrachters vorgesehen ist.

13. Verfahren zum Darstellen von insbesondere dreidimensionalen Bildern in einem Rekonstruktionsraum, wobei Lichtstrahlenbündel von Bildpixeln (3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o) einer Bildanzeigeeinrichtung (2) auf eine Strahlrichtungseinrichtung (4, 40) gesandt werden, die durch die Strahlrichtungseinrichtung (4, 40) derart in unterschiedliche Richtungen gelenkt werden, dass wenigstens ein Raumpunkt (P, P1, P2, P3) durch wenigstens zwei sich kreuzende Lichtstrahlenbündel (11, 12) in einem Rekonstruktionsraum erzeugt wird, wobei die von dem wenigstens einen Raumpunkt (P, P1, P2, P3) ausgehenden Lichtstrahlenbündel durch wenigstens ein virtuelles Betrachterfenster (13, 13a, 13b) in einer Betrachterebene (14) verlaufen und auf die Pupille von wenigstens einem Auge wenigstens eines Betrachters auftreffen, so dass der wenigstens eine Betrachter durch das wenigstens eine virtuelle Betrachterfenster (13, 13a, 13b) ein dreidimensionales Bild beobachtet.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch ge-

kennzeichnet, dass zur Erzeugung eines Raumpunktes (P, P1, P2, P3) wenigstens zwei Bildpixel (**3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o**) der Bildanzeigeeinrichtung (**2**) aufgeschaltet werden.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass Strahlablenmittel (**5, 50**) der Strahlrichtungseinrichtung (**4, 40**) derart angesteuert werden, dass die von den aufgeschalteten Bildpixeln (**3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o**) auf die Strahlrichtungseinrichtung (**4, 40**) auftreffenden Lichtstrahlenbündel durch diese in vorbestimmte Richtungen gelenkt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine Gruppe von mehreren nebeneinander angeordneten Strahlablenmitteln (**50**) der Strahlrichtungseinrichtung (**40**) eine Fresnel-Linse (**16, 17**) gebildet wird, mittels der beim Auftreffen von Lichtstrahlenbündeln diese in unterschiedliche Richtungen gelenkt werden, so dass in ihrem Schnittpunkt ein Raumpunkt (P, P1, P2, P3) im Rekonstruktionsraum erzeugt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die von den Bildpixeln (**3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o**) ausgehenden Lichtstrahlenbündel durch ein optisches System (**6**) vor dem Auftreffen auf die Strahlrichtungseinrichtung (**4, 40**) wenigstens annähernd kollimiert werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Position wenigstens eines Auges wenigstens eines Betrachters in der Betrachterebene (**14**) mittels eines Positionserfassungssystems (**15**) ermittelt wird und bei Bewegung des wenigstens einen Betrachters in lateraler und/oder axialer Richtung das wenigstens eine virtuelle Betrachterfenster (**13, 13a, 13b**) nachgeführt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass für eine binokulare Beobachtung eines Raumpunktes (P, P1, P2, P3) oder eines dreidimensionalen Bildes von wenigstens einem Raumpunkt (P, P1, P2, P3) wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel durch ein virtuelles Betrachterfenster (**13a**) auf das eine Auge und wenigstens zwei Lichtstrahlenbündel durch ein weiteres virtuelles Betrachterfenster (**13b**) auf das andere Auge wenigstens eines Betrachters auftreffen.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Bildanzeigeeinrichtung (**2**) aufzuschaltenden Bildpixel (**3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o**) für die Positionen von einzelnen Raumpunkten (P, P1, P2, P3) im Rekonstruktionsraum über eine inverse Strahldurchrechnung von den Augen wenigstens ei-

nes Betrachters aus ermittelt werden.

21. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Helligkeit von einzelnen über Fresnel-Linsen (**16, 17**) rekonstruierten Raumpunkten (P, P1, P2, P3) über eine Kodierung der Luminanz der entsprechenden Bildpixel (**3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3h, 3i, 3j, 3k, 3l, 3m, 3n, 3o**) der Bildanzeigeeinrichtung (**2**) angepasst wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

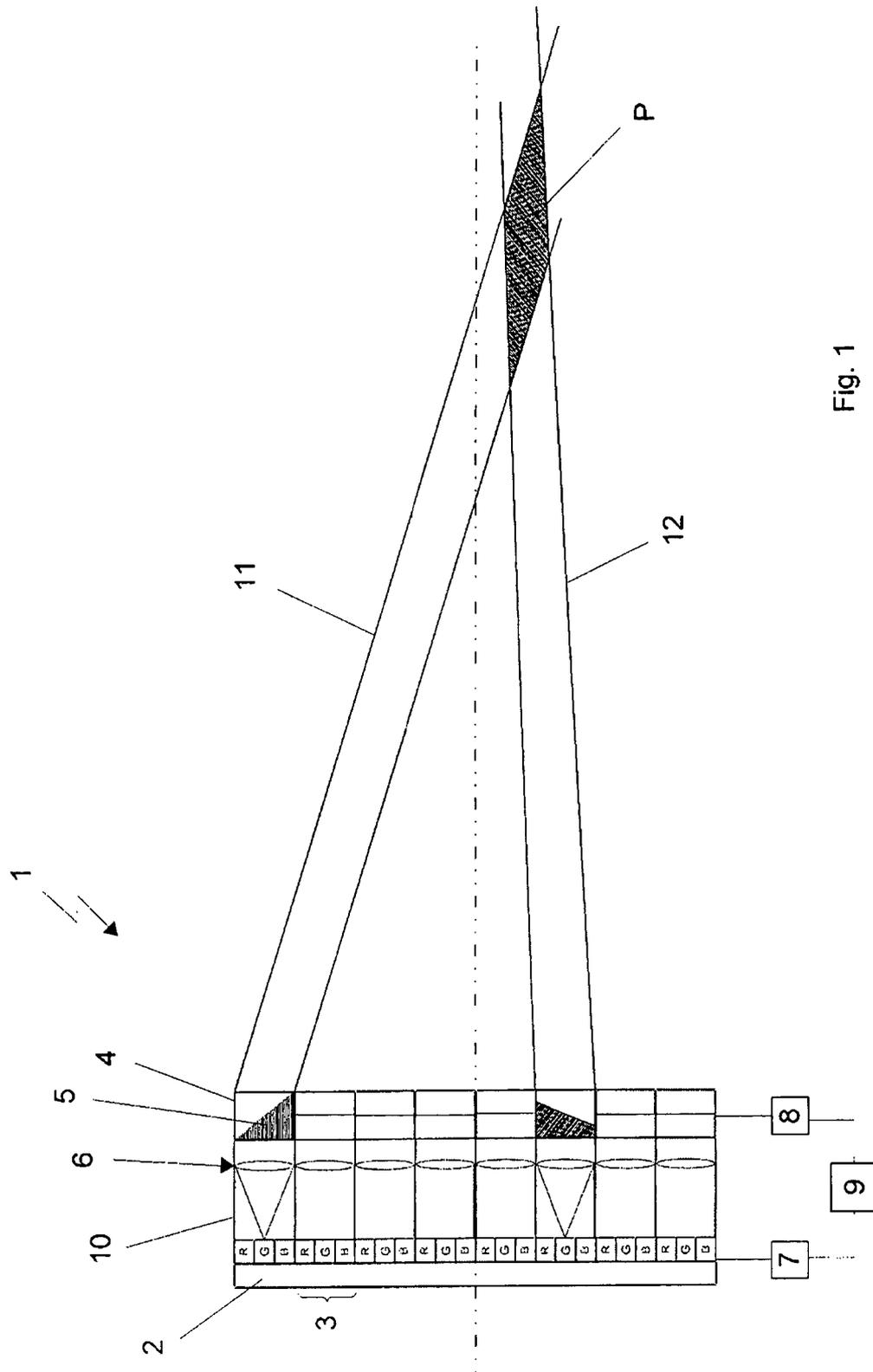


Fig. 1

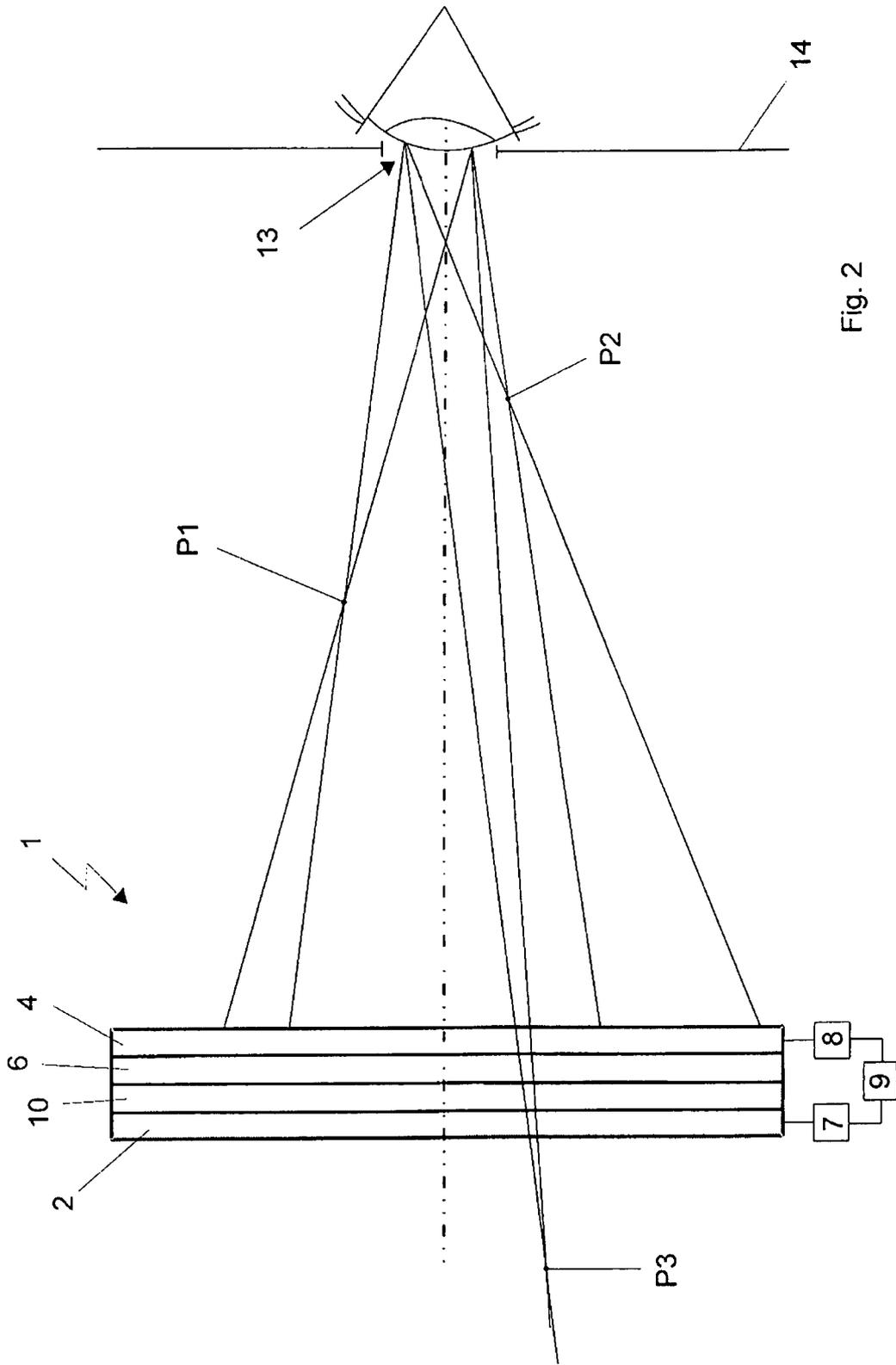


Fig. 2

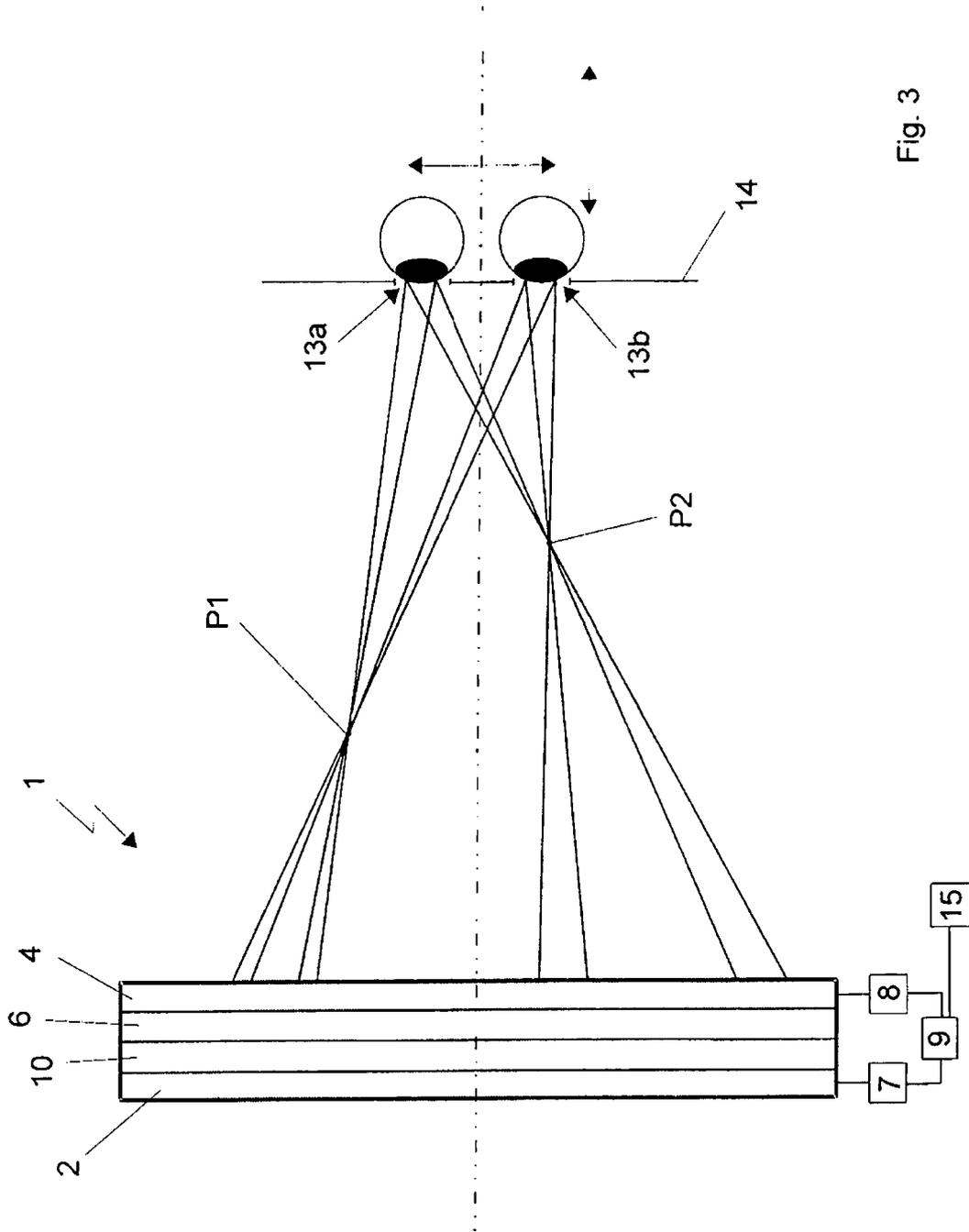


Fig. 3

