



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 37 040 T2 2008.08.21**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 292 854 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 37 040.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB00/01889**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 979 872.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/079908**

(86) PCT-Anmeldetag: **30.11.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **25.10.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **19.03.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **07.11.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.08.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 13/06 (2006.01)**

G02B 17/00 (2006.01)

G02B 27/10 (2006.01)

H04N 7/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

174099 P 31.12.1999 US

198381 P 19.04.2000 US

(73) Patentinhaber:

**Yissum Research Development Company of the
Hebrew University of Jerusalem,
Jerusalem/Jerusalajim, IL**

(74) Vertreter:

**Hauck Patent- und Rechtsanwälte, 20354
Hamburg**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(72) Erfinder:

**PELEG, Shmuel, 90805 Mevaseret Zion, IL;
BEN-EZRA, Moshe, 96182 Jerusalem, IL; PRITCH,
Yael, Ramat Moza, Jerusalem, IL**

(54) Bezeichnung: **PANORAMISCHE STEREOKAMERA-ANORDNUNGEN ZUR AUFNAHME PANORAMISCHER BILDER FÜR EINPANORAMISCHES STEREOBILD-PAAR**

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

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

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein das Gebiet des Aufzeichnens von Bildern, und insbesondere panoramische Stereokamera-Anordnungen zum Aufnehmen von panoramischen Bildern, die in einem panoramischen Stereobildpaar nützlich sind. Außerdem betrifft die Erfindung Kamera-Anordnungen zum Aufzeichnen individueller panoramischer Bilder, die in panoramischen Stereokamera-Anordnungen verwendet werden können.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Panoramische Bilder sind Bilder einer Szene, die ein weites Gesichtsfeld aufweisen, bis zu vollen 360°. Panoramische Bilder können unter Verwendung einer Weitwinkellinse, eines Spiegels oder Ähnlichem aufgezeichnet werden, wodurch ein weites Gesichtsfeld bereitgestellt wird. Panoramische Bilder, die ein weiteres Gesichtsfeld aufweisen, können beispielsweise durch Aufzeichnen einer Mehrzahl Bilder um einen besonderen Punkt und unter Verwendung herkömmlicher Mosaiktechniken erzeugt werden, wodurch ein einzelnes Mosaikbild erzeugt wird. Panoramische Bilder können auch aus simulierten Szenen unter Verwendung herkömmlicher Computergrafiktechniken erzeugt werden. Stereoskopische panoramische Bilder können auch aus Bildern unter Verwendung verschiedener Techniken erzeugt werden, die Fachleuten bekannt sind. In einer Technik, die von Joshua Gluckman, et al, „Real-Time Omnidirectional and Panoramic Stereo“, DARPA Image Understanding Workshop, 1998 beschrieben ist, zeichnen zwei omnidirektionale Kameras, die vertikal entlang einer gemeinsamen Achse versetzt sind, panoramische Bilder der umgebenden Szene auf. Da die Kameras versetzt sind, bietet das Bildpaar, das von den Kameras aufgezeichnet wird, wenn beide Bilder gemeinsam berücksichtigt werden, eine Tiefeninformation für Objekte in der Szene, die die Kameras umgeben. Da die Versetzung jedoch vertikal ist, sind die aufgezeichneten Bilder für die menschliche panoramische Stereowahrnehmung nicht geeignet.

[0003] Ein Artikel mit dem Titel „Stereo Panorama with a Single Camera“ von S Peleg et al; CVPR'99, Ft. Collins; Juni 1999; Seiten 395–401, beschreibt Verfahren zum Erzeugen panoramischer stereoskopischer Bildpaare einer Szene unter Verwendung einer einzelnen Kamera. Um ein panoramisches stereoskopisches Bildpaar zu erzeugen, wird eine Spaltkamera oder eine Videokamera um eine Achse gedreht, die sich hinter der Kamera und senkrecht zur optischen Achse der Kamera befindet, um eine Mehrzahl Bilder der Szene aufzunehmen. In einem Beispiel ist die Kamera eine Spaltkamera, die zwei „linke“ und „rechte“. Spalten parallel zur Drehachse aufweist, die an gegenüberliegenden Seiten der optischen Achse der Kamera versetzt sind und sich nah an der Kamerabildfläche befinden. Jedes Bild, das von der Spaltkamera aufgenommen wird, umfasst linke und rechte „Streifenbilder“ der Szene. Linke und rechte panoramische Bilder eines panoramischen Bildpaars werden erzeugt, indem jeweils die linken und rechten Streifen mosaikartig zusammengesetzt werden. In einem anderen Beispiel ist die Kamera eine Videokamera, die eine Mehrzahl Bilder der Szene aufnimmt. Linke und rechte panoramische stereoskopische Bilder werden aufgebaut, indem linke und rechte Streifen jeweils von den Bildern mosaikartig zusammengesetzt werden.

[0004] Da eine Mehrzahl Bilder zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen wird und die Bilder zu mosaikartigen Bilddaten, die sie enthalten, bearbeitet werden, erfassen die beschriebenen Verfahren weder alle Bilddaten für ein stereoskopisches Bildpaar gleichzeitig, noch stellen Sie direkt panoramische Bilder oder daher ein panoramisches Bildpaar bereit.

[0005] WO 98/46116 offenbart ein Beispiel eines vergleichenden omnidirektionalen Kamerasystems. Dieses System ist jedoch nicht zum Aufzeichnen stereoskopischer Bilder geeignet.

[0006] Gemäß einem ersten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung umfasst eine Kamera-Anordnung zum Aufzeichnen mindestens eines Paares panoramischer Stereobilder: eine omnidirektionale Kamera-Anordnung, umfassend mindestens eine Kamera, die eine optische Achse definiert und ein omnidirektionales optisches Frontelement aufweist, das auf der optischen Achse angeordnet ist, wobei die Kamera angepasst ist, um das empfangene Licht als Bild aufzuzeichnen; wobei die Kamera-Anordnung überdies eine hohle Linsenstruktur umfasst, die eine glatte Innenfläche von im Wesentlichen rundem Querschnitt aufweist, die eine Mittelachse definiert, die senkrecht zu diesem Querschnitt liegt, wobei die Linsenstruktur angepasst ist, um einfallende Lichtstrahlen von einer Szene außerhalb der Linse zu der Mittelachse zu leiten und so ausgerichtet ist, dass die Mittelachse der hohlen Linsenstruktur und die optische Achse der Kamera sich decken und das omnidirektionale optische Frontelement der Kamera von der Linsenstruktur umgeben ist, so dass es die Licht-

strahlen empfängt, die von der Linienstruktur geleitet werden, wobei die Kamera-Anordnung dadurch gekennzeichnet ist, dass die hohle Linienstruktur eine unterbrochene Außenfläche aufweist, die mindestens ein Sägezahn-ähnliches optisches Element umfasst, das einen Sägezahn-ähnlichen Querschnitt aufweist, der senkrecht zur Mittelachse verläuft, wobei die optischen Sägezahn-elemente einem Paar von Stereobildern zugehörig sind, die von der Kamera-Anordnung aufgezeichnet wurden.

[0007] Die Erfindung stellt gemäß einem Gesichtspunkt neue und verbesserte panoramische Stereokamera-Anordnungen zum Aufzeichnen panoramischer Bilder bereit, die in einem panoramischen Stereobildpaar nützlich sind. Außerdem stellt die Erfindung neue und verbesserte Kamera-Anordnungen zum Aufzeichnen individueller panoramischer Bilder bereit, die in den panoramischen Stereokamera-Anordnungen verwendet werden können.

[0008] Die Kamera-Anordnungen sind so ausgestaltet, dass sie Bilder in Form von linken oder rechten panoramischen Bildern eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnen, wobei die Erfindung gemäß einem anderen Gesichtspunkt eine panoramische Stereokamera-Anordnung, umfassend eine oder mehrere Kamera-Anordnungen zum zeitgenössischen Aufzeichnen sowohl linker als auch rechter panoramischer Bilder eines panoramischen Stereobildpaars bereitstellt.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0009] Diese Erfindung wird insbesondere in den anhängigen Ansprüchen dargelegt. Die zuvor genannten und weiteren Vorteile der Erfindung können besser mit Bezug auf die folgende Beschreibung, zusammen mit den begleitenden Zeichnungen verstanden werden.

[0010] Fig. 1A und Fig. 1B sind nützlich zum Verstehen von Operationen, die von Anordnungen zum Aufzeichnen panoramischer Bilder ausgeführt werden, die in stereoskopischen panoramischen Bildpaaren nützlich sind, die erfindungsgemäß aufgebaut sind, und insbesondere in Bezug auf das Verstehen der Verwendung eines Sehkreises in Verbindung mit dem Aufzeichnen panoramischer Bilder zur Verwendung als stereoskopisches panoramisches Bildpaar;

[0011] Fig. 2 stellt schematisch eine vergleichende Kamera-Anordnung dar, umfassend ein optisches Element in Form eines gebogenen Spiegels zum Aufzeichnen von Bildern, die als das linke oder rechte panoramische Bild in einem panoramischen Stereobildpaar verwendet werden können;

[0012] Fig. 3 ist nützlich in Verbindung mit dem Beschreiben der Struktur des gebogenen Spiegels, die schematisch in Fig. 2 dargestellt ist;

[0013] Fig. 4A und Fig. 4B stellen schematisch zwei vergleichende Kamera-Anordnungen dar, eine (Fig. 4A), in der das optische Zentrum der Kamera, die in der Anordnung verwendet wird, außerhalb des Sehkreises liegt, und die andere (Fig. 4B), in der das optische Zentrum innerhalb des Sehkreises liegt;

[0014] Fig. 5 stellt schematisch eine vergleichende panoramische Stereokamera-Anordnung dar, die gemäß den Linien der Kamera-Anordnung aufgebaut ist, die in Verbindung mit Fig. 2 bis Fig. 4B beschrieben sind;

[0015] Fig. 6A und Fig. 6B stellen schematisch eine vergleichende Kamera-Anordnung dar, umfassend ein optisches Element in Form einer Mehrzahl von Planspiegeln, zum Aufzeichnen von Bildern, die als das linke oder rechte panoramische Bild in einem panoramischen Stereobildpaar verwendet werden können;

[0016] Fig. 7 stellt schematisch eine vergleichende panoramische Stereokamera-Anordnung zum Aufzeichnen panoramischer Bilder für ein panoramisches Stereobildpaar dar;

[0017] Fig. 8 stellt schematisch eine veranschaulichende Kamera-Anordnung dar, umfassend ein optisches Element in Form einer Linse zum Aufzeichnen von Bildern, die als das linke oder rechte panoramische Bild in einem panoramischen Stereobildpaar verwendet werden können; und

[0018] Fig. 9 stellt schematisch eine zweite Ausführungsform einer veranschaulichenden Kamera-Anordnung dar, umfassend ein optisches Element in Form einer Linse zum Aufzeichnen von Bildern, die als das linke oder rechte panoramische Bild in einem panoramischen Stereobildpaar verwendet werden können;

[0019] Fig. 10 stellt schematisch eine zweite Ausführungsform einer panoramischen Stereokamera-Anord-

nung zum Aufzeichnen panoramischer Bilder für ein panoramisches Stereobildpaar dar;

[0020] Fig. 11 stellt schematisch eine veranschaulichende Kamera-Anordnung dar, die in der panoramischen Stereokamera-Anordnung verwendet werden kann, die in Fig. 10 gezeigt ist, wobei die Kamera-Anordnung ein optisches Element in Form einer zylindrischen Fresnel-ähnlichen Linsenanordnung umfasst;

[0021] Fig. 12A bis Fig. 12D stellen schematisch Querschnitte von Abschnitten der jeweiligen optischen Elemente dar, die in Verbindung mit der Kamera-Anordnung, die in Fig. 11 gezeigt ist, nützlich sind;

[0022] Fig. 13 stellt schematisch eine dritte Ausführungsform einer panoramischen Stereokamera-Anordnung zum Aufzeichnen panoramischer Bilder für ein panoramisches Stereobildpaar dar;

[0023] Fig. 14 ist ein Strahlendiagramm, das zum Verstehen von Operationen in Verbindung mit den Kamera-Anordnungen nützlich ist, die in Verbindung mit Fig. 9 und Fig. 11 bis Fig. 13 beschrieben sind; und

[0024] Fig. 15 stellt schematisch eine veranschaulichende Kamera-Anordnung dar, die in der panoramischen Stereokamera-Anordnung verwendet werden kann, die in Fig. 10 gezeigt ist, wobei die Kamera-Anordnung ein optisches Element in Form einer sphärischen Fresnel-ähnlichen Linsenanordnung umfasst;

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG EINER VERANSCHAULICHENDEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0025] Die Erfindung stellt gemäß einem Gesichtspunkt panoramische Stereokamera-Anordnungen zum Aufzeichnen von panoramischen Bildern bereit, die in einem panoramischen stereoskopischen („Stereo-“)Bildpaar nützlich sind. Außerdem betrifft die Erfindung Kamera-Anordnungen zum Aufzeichnen individueller panoramischer Bilder, die in den panoramischen Stereokamera-Anordnungen verwendet werden können. Vor dem Beschreiben der neuen Kamera-Anordnung wäre es hilfreich, zuerst zu beschreiben, was ein panoramisches stereoskopisches Bild ist und allgemein, wie die verschiedenen Systeme und Verfahren, die in diesem Dokument beschrieben werden, die panoramischen stereoskopischen Bilder erzeugen und ihre Anzeige ermöglichen. Dies erfolgt in Verbindung mit Fig. 1A und Fig. 1B. Mit anfänglichem Bezug auf Fig. 1A, stellt die Figur schematisch einen Betrachter dar und insbesondere Augen, die durch Punkte **2L** und **2R** (allgemein durch das Bezugszeichen „**2L/R**“ bezeichnet), die senkrecht stehen und einen Punkt **P** in einer Szene betrachten. Der Betrachter sieht den Punkt **P** mittels Lichtstrahlen, die von den Punkt reflektiert werden und zu den Augen **2L** und **2R** entlang jeweiliger Strahlen gerichtet sind, die durch gestrichelte Pfeile **3L** und **3R** dargestellt sind. Es wird geschätzt werden, dass, da die Lichtpunkte **2L** und **2R** in einer Richtung getrennt sind, die senkrecht zur Blickrichtung liegt, der Betrachter in der Lage ist, eine Tiefe in Verbindung mit dem Bereich der Szene an und nahe dem Punkt **P** zu betrachten.

[0026] Der Betrachter kann typischerweise nur einen kleinen Abschnitt des 360°-Panoramas um sich selbst sehen. Um mehr von dem Panorama zu sehen, muss der Betrachter seinen Kopf beispielsweise in der Richtung drehen, die von dem Pfeil mit der Bezugszahl **4** bestimmt wird. Die Drehung des Kopfes erlaubt dem Betrachter, andere Punkte (nicht gezeigt) in der Szene zu sehen, entlang Strahlen (ebenfalls nicht gezeigt), die mit ihm drehen. Wenn der Betrachter eine volle 360°-Drehung macht, wird jedes Auge um den gleichen Sehkreis **5** drehen.

[0027] Aus Fig. 1A wird ersichtlich, dass das Aufeinanderfolgen von Bildern, wie es von den zwei Augen des Betrachters, wenn er sich dreht, gesehen wird, in separate Sätze von Bildern getrennt werden kann, wobei ein Satz Bilder jedem Auge zugehörig ist. Dies wird in Verbindung mit Fig. 1B beschrieben. Fig. 1B stellt den Sehkreis **5** dar, der in separate Sehkreise **5L** und **5R** (allgemein **5L/R**) für das jeweilige linke und rechte Auge geteilt ist, wobei Punkt **P** in der gleichen Position wie in Fig. 1A gezeigt ist, in Bezug auf jeden Sehkreis **5L/R** und der zugehörige Strahl **3L(1)** und **3R(1)**, der den Strahlen **3L** und **3R** entspricht, die in Fig. 1A dargestellt sind. Jeder Sehkreis **5L/R** stellt auch andere Strahlen dar, die durch die Bezugszeichen **3L(2)**, ..., **3L(N)** (allgemein durch das Bezugszeichen **3L(n)** bestimmt) und **3R(2)**, ..., **3R(N)** (allgemein durch das Bezugszeichen **3R(n)** bestimmt) bestimmt sind, die Bilder darstellen, die das jeweilige linke und rechte Auge des Betrachters von den verschiedenen Punkten in der Szene empfangen, wenn er sich in der von den Pfeilen **4L** und **4R** dargestellten Richtung dreht.

[0028] Um das Betrachten eines panoramischen stereoskopischen Bilds der Szene durch einen Betrachter zu erleichtern, können außerdem in Verbindung mit Fig. 1B die Bilder, wie sie von jedem Auge des Betrachters empfangen werden, separat aufgezeichnet und von dem jeweiligen Auge des Betrachters betrachtet oder ihnen ansonsten angezeigt werden.

[0029] Wenn daher beispielsweise Bilder um einen Kreis entsprechend dem Sehkreis **5L** an aufeinander folgenden Punkten in aufeinander folgender Richtung, die durch die Strahlen **3L(1)**, ... **3L(N)** dargestellt wird, aufgezeichnet werden und die Bilder mosaikartig zusammengesetzt werden, und weitere Bilder um einen Kreis entsprechend dem Sehkreis **5R** an aufeinander folgenden Punkten, in einer aufeinander folgenden Richtung, die durch die Strahlen **3R(1)**, ... **3R(N)** dargestellt ist, aufgezeichnet werden, und wenn solche Bilder geeignet ausgerichtet werden (so dass der Schnittpunkt der Strahlen **3L(n)** und **3R(n)** an dem gleichen jeweiligen Ort gesehen werden) und den jeweiligen Augen eines Betrachters angezeigt werden, kann der Betrachter ein panoramisches stereoskopisches Bild der Szene sehen.

[0030] Auf ähnliche Weise können panoramische stereoskopische Bilder unter Verwendung von Computergrafiktechniken erzeugt werden. Anstatt der üblichen perspektivischen Projektion, die bei der herkömmlichen Bildwiedergabe verwendet wird, erfolgt die Darstellung des panoramischen Bilds für das linke Auge unter Verwendung von Strahlen, die einen Kreis, wie den Sehkreis **5L**, schneiden, und das panoramische Bild für das rechte Auge wird unter Verwendung von Strahlen, die einen Kreis, wie den Sehkreis **5R** schneiden, dargestellt.

[0031] Wie zuvor beschrieben, stellt die Erfindung gemäß einem Gesichtspunkt verschiedene panoramische Stereokamera-Anordnungen zum Aufzeichnen von panoramischen Bildern bereit, die in einem panoramischen Stereobildpaar nützlich sind. Ausführungsformen dieses Gesichtspunkts der Erfindung werden in Verbindung mit [Fig. 7](#), [Fig. 10](#) und [Fig. 13](#) beschrieben. Gemäß einem anderen Gesichtspunkt stellt die Erfindung Kamera-Anordnungen zum Aufzeichnen von Bildern zur Verwendung bei der Erzeugung panoramischer mosaikartiger Bilder bereit, die als linke und rechte panoramische Bilder eines panoramischen Stereobildpaars verwendet werden können, und die in den panoramischen Stereokamera-Anordnungen verwendet werden können, die in Verbindung mit [Fig. 7](#), [Fig. 10](#) und [Fig. 13](#) beschrieben werden. Jede Kamera-Anordnung umfasst ein gebogenes optisches Element, wie einen Spiegel oder eine Linse, um ein verhältnismäßig weites Gesichtsfeld bereitzustellen. Für die Kamera-Anordnungen werden vergleichende Ausführungsformen, in denen das optische Element ein Spiegel ist, in Verbindung mit [Fig. 2](#) bis [Fig. 7](#) beschrieben und Ausführungsformen, in denen das optische Element eine Linse ist, werden in Verbindung mit [Fig. 8](#), [Fig. 9](#), [Fig. 11](#) und [Fig. 15](#) beschrieben.

[0032] Mit Bezug auf [Fig. 2](#) umfasst die vergleichende Kamera-Anordnung **10** eine Kamera **11** und einen gebogenen Spiegel **12**. Die Kamera **11** ist zu dem gebogenen Spiegel **12** gerichtet und kann Bilder aufzeichnen, die von ihm reflektiert werden. Herkömmliche Kameras zeichnen Bilder unter Verwendung einer perspektivischen Projektion auf einer Bildebene auf, in der alle Lichtstrahlen ungefähr durch einen einzigen Punkt verlaufen, der als optisches Zentrum der Kamera bezeichnet wird. Punkt **14** stellt das optische Zentrum der Kamera **11** dar. Die Form des gebogenen Spiegels **12** kann für ein ausgewähltes optisches Zentrum bestimmt werden, das in Bezug auf einen ausgewählten Sehkreis positioniert ist. Dies wird mit weiterem Bezug auf [Fig. 2](#) beschrieben. Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, wird der Sehkreis durch die Bezugszahl **13** bestimmt und das optische Zentrum der Kamera **11** wird durch die Bezugszahl **14** bestimmt. Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, werden Strahlen **15**, die den Sehkreis schneiden, von dem Spiegel hin zum optischen Zentrum der Kamera **14** reflektiert und können von der Kamera **11** als ein Bild aufgezeichnet werden. Es wird geschätzt, dass die Strahlen, die von der Kamera **11** aufgezeichnet werden, einen Sehkreis schneiden, wie zuvor in Verbindung mit [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) beschrieben, und somit kann das Bild, das von der Kamera **11** aufgezeichnet wird, zusammen mit anderen Bildern, die in jeweiligen winkelartigen Ausrichtungen zu einer Achse aufgezeichnet werden, beim Erzeugen eines mosaikartigen panoramischen Bilds eines panoramischen Stereobildpaars verwendet werden, wie nachfolgend in Verbindung mit [Fig. 6](#) beschrieben. Die Form des gebogenen Spiegels **12** wird in Verbindung mit [Fig. 3](#) beschrieben.

[0033] [Fig. 3](#) stellt ein Spiegelstück **20**, umfassend einen kleinen Abschnitt des Spiegels **12**, dar und einen Sehkreis **21**, der davon versetzt ist. In der vergleichenden Anordnung, die in [Fig. 3](#) dargestellt ist, ist das optische Zentrum **22** an dem Zentrum des Sehkreises positioniert, obgleich wie nachfolgend beschrieben, das optische Zentrum woanders positioniert sein kann. Wenn der Radius des Sehkreises mit „R“ bezeichnet wird und wenn der Vektor von dem optischen Zentrum **22** zum Spiegelstück **20** mit $\vec{r}(\theta)$ an einer Richtung θ in Bezug auf eine Achse, die in [Fig. 3](#) horizontal angeordnet ist. Der Abstand „r“ zwischen dem optischen Zentrum **22** und dem Spiegel bei der Richtung θ ist $r = r(\theta) = \|\vec{r}\|$. In dem Fall gilt für die Strahlenbedingungen für einen Strahl **23**, der den Sehkreis schneidet, und der, nach der Reflektion von dem Spiegelstück **20** durch das optische Zentrum **22** verläuft,

$$R = \|\vec{F}\| \sin(2\alpha) = \|\vec{F}\| \sin(\alpha) \cos(\alpha)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{|\vec{N} \times \vec{r}|}{\|\vec{F}\| \cdot \|\vec{N}\|} \quad (1)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{(\vec{N}, \vec{r})}{\|\vec{F}\| \cdot \|\vec{N}\|}$$

wobei $\vec{N} \times \vec{r}$ das Kreuzprodukt des Vektors \vec{N} ist, der die normale zur Tangente des Spiegelstücks **20** an dem Punkt ist, an dem der Vektor \vec{r} das Spiegelstück **20** schneidet, und (\vec{N}, \vec{r}) ist das Punkt- oder innere Produkt zwischen den Vektoren. Unter Verwendung der Strahlenbedingungen in Gleichung (1) gilt, wenn

$$\rho = \rho(\theta) = \frac{r(\theta)}{R},$$

dann

$$2\rho^2 \frac{\partial \rho}{\partial \theta} = \left(\frac{\partial \rho}{\partial \theta} \right) + \rho^2 \quad (2)$$

[0034] Gleichung (2) hat zwei mögliche Lösungen:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial \theta} &= \rho^2 + \rho \sqrt{\rho^2 - 1} \\ &= \rho^2 - \rho \sqrt{\rho^2 - 1} \end{aligned} \quad (3)$$

die Kurve, die durch ρ definiert ist, wird durch Integrieren von Gleichung (3) über den Winkel θ erhalten. Die geeignete Lösung ist

$$\theta = \rho + \sqrt{\rho^2 - 1} + \arctan\left(\frac{1}{\sqrt{\rho^2 - 1}}\right) \quad (4)$$

[0035] Es wird geschätzt werden, dass der Wert von „ ρ “ größer als „eins“ sein muss, was bedeutet, dass, wenn sich das optische Zentrum am Zentrum des Sehkreises **21** befindet, alle Spiegelstücke, die den Spiegel **12** umfassen, außerhalb des Sehkreises **21** liegen müssen.

[0036] Die Form des gebogenen Spiegels, der durch Gleichung (4) definiert wird, kann in herkömmlichen rechtwinkligen Koordinaten und in parametrischer Form wie folgt dargestellt werden:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\sin(t) (R^2 + p_1^2 - R^2 t^2 + p_2^2) - 2p_2 R - 2R^2 t \cos(t)}{2(-p_2 \cos(t) - Rt + \sin(t) p_1)} \\ y &= \frac{-\cos(t) (R^2 + p_1^2 - R^2 t^2 + p_2^2) + 2p_1 R - 2R^2 t \sin(t)}{2(-p_2 \cos(t) - Rt + \sin(t) p_1)} \end{aligned} \quad (5)$$

wobei $(x, y) = (x(t), y(t))$ Koordinaten der Punkte, umfassend den gebogenen Spiegel **12**, sind, „ t “ der Parameter ist, die „ x “- und „ y “-Koordinaten des optischen Zentrums gegeben sind durch (p_1, p_2) und sich das Zentrum des Sehkreises **21** am Ursprung des rechtwinkligen Koordinatensystems befindet. Es wird geschätzt werden, dass, wenn sich das optische Zentrum **22** am Zentrum des Sehkreises **21** befindet, Gleichung (5) vereinfacht wird auf

$$\begin{aligned} x &= \frac{R(-\sin(t) + 2t \cos(t) + t^2 \sin(t))}{2t} \\ y &= \frac{-R(-\cos(t) - 2t \sin(t) + t^2 \cos(t))}{2t} \end{aligned} \quad (6)$$

eine Kurve, die durch die Gleichungen (4) bis (6) definiert wird, weist die Form einer Spirale auf. Es wird geschätzt werden, dass ein gebogener Spiegel **12** ein Segment der Spirale umfasst, das ausgewählt wird, um zu gewährleisten, dass der Spiegel das Sehfeld der Kamera **11** nicht versperrt.

[0037] Fig. 4A und Fig. 4B stellen schematisch zwei vergleichende Kamera-Anordnungen dar, wobei Fig. 4A schematisch eine vergleichende Kamera-Anordnung **30** darstellt, in der das optische Zentrum **31** außerhalb des Sehkreises **32** liegt, und Fig. 4B schematisch eine vergleichende Kamera-Anordnung **33** darstellt, in der sich das optische Zentrum **34** am Zentrum des Sehkreises **35** befindet.

[0038] Wie zuvor angemerkt, kann die zuvor in Verbindung mit Fig. 2 bis Fig. 4B beschriebene Kamera-Anordnung in einer vergleichenden panoramischen Stereokamera-Anordnung zum Aufzeichnen von Bildern zur Verwendung bei der Erzeugung von panoramischen Stereobildern verwendet werden. Solch eine panoramische Stereokamera-Anordnung ist schematisch in Fig. 5 dargestellt. Mit Bezug auf Fig. 5 umfasst die vergleichende Stereokamera-Anordnung **40** einen gebogenen Spiegel **41**, der zwei gebogene Spiegelsegmente **41L** und **41R** aufweist, und eine Einzelkamera, die durch ein optisches Zentrum **42** dargestellt ist. Jedes der gebogenen Spiegelsegmente **41L** und **41R** entspricht dem gebogenen Spiegel **12**, der zuvor in Verbindung mit Fig. 2 beschrieben wurde. Die gebogenen Spiegelsegmente **41L** und **41R** sind Spiegelbilder voneinander entlang einer vertikalen Spiegelachse, wie in Fig. 5 gezeigt. Die gebogenen Spiegelsegmente **41L** und **41R** teilen einen gemeinsamen Sehkreis **43**, wobei sich das optische Zentrum **42** im Zentrum des Sehkreises befindet, wobei die zuvor erwähnte vertikale Spiegelachse durch das optische Zentrum **42** verläuft. Das gebogene Spiegelsegment **41R**, das links an der vertikalen Achse angeordnet ist, empfängt im Allgemeinen Strahlen **43R**, die von rechts von der Szene (nicht gezeigt) geleitet werden, deren Bild aufgezeichnet wird und im Allgemeinen dem Strahl **3R** entspricht, der zuvor in Verbindung mit Fig. 1A beschrieben wurde. Ähnlich empfängt das gebogene Spiegelsegment **41L**, das rechts von der vertikalen Achse angeordnet ist, im Allgemeinen Strahlen **43L**, die von links von der Szene geleitet werden, deren Bild aufgezeichnet wird, die im Allgemeinen dem Strahl **3L** entsprechen, der zuvor in Verbindung mit Fig. 1A beschrieben wurde. Eine Kamera, deren optisches Zentrum sich am optischen Zentrum **42** befindet, kann ein Bild aufzeichnen, umfassend beide Strahlen **43L** und **43R**, deren Bild mosaikartig mit anderen Bildern, die mit der Stereokamera-Anordnung **40** aufgezeichnet werden, die sich an anderen Winkelausrichtungen um das optische Zentrum **42** befindet, zusammengesetzt werden. Eine geeignete Kamera kann beispielsweise eine Omni-Kamera umfassen, wie in T. Kawanishi, et al., „Generation of high-resolution stereo panoramic images by omnidirectional sensor using hexagonal pyramidal mirrors," 14th International Conference On Pattern Recognition, Seiten 485–489, Brisbane, Australien, August 1998, IEEE-Computer Society, und S. Nayar, "Catadioptric omnidirectional cameras," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seiten 482–488, San Juan, Juni 1997 beschrieben.

[0039] Eine Annäherung an den gebogenen Spiegel **12** in der vergleichenden Kamera-Anordnung **10** oder an die gebogenen Spiegelsegmente **41L** und **41R** kann durch Sammeln einer Mehrzahl von Planspiegeln bereitgestellt werden, die entlang einer Kurve angeordnet sind. Dies wird in Verbindung mit Fig. 6A und Fig. 6B beschrieben. Im Allgemeinen wird geschätzt, dass in einer geeigneten Annäherung die Planspiegel nicht so positioniert werden, dass sie einander behindern. Außerdem sollte auch die Deckung der Szene, deren Bild von der Kamera-Anordnung aufgezeichnet wird, die eine Fachspiegelannäherung umfasst, entlang der Kurve, die von der Planspiegelannäherung definiert wird, kontinuierlich sein. Diese Bedingungen werden in Verbindung mit Fig. 6A beschrieben.

[0040] Mit Bezug auf Fig. 6A stellt die Figur zwei aufeinander folgende Flachspiegel **50(1)** und **50(2)** in der Flachspiegelannäherung **50** bereit und ein optisches Zentrum **51**. Es wird geschätzt werden, dass eine Omni-Kamera an dem optischen Zentrum **51** positioniert wird, um die Bilder aufzuzeichnen, die dorthin von den jeweiligen Spiegeln **50(1)** und **50(2)** reflektiert werden. Die Strahlen, die zu dem Spiegel **50(1)** geleitet werden und davon zum optischen Zentrum **51** reflektiert werden, werden von den dunkel schattierten Bereichen **52(1)** beziehungsweise **53(1)** dargestellt und die Strahlen, die zu dem Spiegel **50(2)** geleitet und davon zu dem optischen Zentrum **51** reflektiert werden, sind durch die hell schattierten Bereiche **52(2)** beziehungsweise **53(2)** dargestellt. Es wird geschätzt werden, dass, damit die Deckung kontinuierlich ist, die schattierten Bereiche **52(1)** und **52(2)** eine gemeinsame Grenze teilen, wie in Fig. 6A gezeigt. Um zu gewährleisten, dass die Spiegel **50(1)** und **50(2)** an der richtigen Position angeordnet sind, deckt sich der Strahl, der vom Unterteil des Spiegels **50(2)** (wie in Fig. 5A gezeigt) zu dem optischen Zentrum **51** reflektiert wird, mit dem Strahl, der von dem Oberteil des Spiegels **50(1)** (wie in Fig. 5A gezeigt) zum optischen Zentrum reflektiert wird. Es wird geschätzt werden, dass das vom Spiegel **50(2)** reflektierte Bild von dem Bild umgekehrt wird, das vom Spiegel **50(1)** reflektiert wird, da der Strahl, der von dem Oberteil des Spiegels **50(1)** reflektiert wird, nach rechts in dem Bild gerichtet sein wird, das in der Kamera aufgezeichnet wird, wobei der Strahl, der von dem Unterteil des Spiegels **50(2)** reflektiert wird, nach links in dem Bild gerichtet sein wird. Dies kann durch Verarbeiten des Bilds erreicht

werden, wie es von der Omni-Kamera aufgezeichnet wird, um die Abschnitte davon umzukehren, umfassend die Bilder, wie sie von abwechselnden Spiegeln reflektiert werden.

[0041] Nachfolgend werden die Punkte an den Spiegeln **50(1)** und **50(2)**, die am nächsten an dem optischen Zentrum **51** liegen, als Punkte F_1 beziehungsweise S_1 bezeichnet, die Punkte an den Spiegeln **50(1)** und **50(2)**, die am weitesten von dem optischen Zentrum **51** entfernt liegen, werden als Punkte F_2 und S_2 bezeichnet, und es wird erachtet, dass die Linien, die die jeweiligen Punkte F_1 und S_1 an dem optischen Zentrum umfassen, die jeweiligen Punkte F_3 und S_3 umfassen. In dem Fall wird der Winkel β zwischen Liniensegmenten, die durch die Punkte F_3 , F_1 und F_2 , F_1 definiert werden, gleich sein wie der Winkel zwischen Liniensegmenten, die durch die Punkte S_3 , S_1 und S_2 , S_1 definiert sind. Indem „ R “ als Abstand von dem optischen Zentrum **51** zu dem Punkt F_1 auf dem Spiegel **50(1)** bezeichnet wird und „ L “ als die Länge des Spiegels **50(1)**, das heißt der Abstand von Punkt F_1 zu Punkt F_2 , sind die Position und die Ausrichtung des Spiegels **50(2)** in Bezug auf das optische Zentrum **51** gegeben durch

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{L \sin(\beta)}{L \cos(\beta) + R} \right)$$

$$K = (OF_2) = \sqrt{R^2 + L^2 + 2RL \cos(\beta)}$$

(7).

$$R' = \frac{K \sin(2(\beta - \alpha))}{\sin(\beta - \alpha)}$$

$$L' = \frac{R' \sin(\alpha)}{\sin(\beta - \alpha)}$$

wobei R' der Abstand von dem optischen Zentrum zum Punkt S_1 an dem Spiegel **50(2)** ist, L' die Länge des Spiegels **50(2)** ist, das heißt, der Abstand von Punkt S_1 zu Punkt S_2 , und α der Winkel zwischen dem Liniensegment ist, das durch die Punkte S_1 und das optische Zentrum **51** definiert ist, und dem Liniensegment, das durch die Punkte F_1 und das optische Zentrum **51** definiert ist. Es sollte beachtet werden, dass der Winkel α auch der Winkel zwischen dem Liniensegment sein wird, das durch die Punkte F_1 und das optische Zentrum **51** definiert ist, und dem Liniensegment, das durch die Punkte F_2 und das optische Zentrum definiert ist; es sollte beachtet werden, dass daher der Winkel α zusammen mit der Länge L des Spiegels **50(1)** die Winkelausrichtung des Spiegels **50(1)** in Bezug auf das optische Zentrum **51** bestimmen wird.

[0042] Mit diesem Hintergrund stellt [Fig. 6B](#) eine vergleichende Kamera-Anordnung **60**, umfassend eine Planspiegelannäherung **61** bereit, die um ein optisches Zentrum **62** angeordnet ist. Die Planspiegelannäherung umfasst eine Mehrzahl Planspiegel **61(1)**, **61(2)**, ..., die um das optische Zentrum und in einem Winkel dazu angeordnet sind, die wie zuvor in Verbindung mit [Fig. 6A](#) beschrieben bestimmt werden. Auch in [Fig. 6B](#) dargestellt sind Strahlen **62(1)**, **62(2)**, ... von einer Szene (nicht gezeigt) um das optische Zentrum **62**, die die jeweiligen Punkte an den zwei Enden der jeweiligen Spiegel **61(1)**, **61(2)** schneiden, wodurch dargestellt wird, dass die Reflektionen der jeweiligen Strahlen von den jeweiligen Spiegeln an dem optischen Zentrum wie erforderlich zusammenlaufen werden. Eine omnidirektionale Kamera, die an dem optischen Zentrum **62** angeordnet ist, kann Bilder aufzeichnen, die durch die Strahlen, die von den Planspiegeln **61(1)**, **61(2)** reflektiert werden, definiert sind. Wie aus [Fig. 6B](#) offensichtlich ist, bieten die Planspiegel **61(1)**, **61(2)** eine kontinuierliche Deckung der Szene um das optische Zentrum, ohne Lücken, für den gesamten Winkelbereich, der von der Planspiegel-Annäherung **61** abgedeckt ist.

[0043] Mit erneutem Bezug auf [Fig. 6A](#) ist durch Untersuchung der Figur offensichtlich, dass, wenn die Spiegel **50(1)**, **50(2)** so angeordnet sind, wie in [Fig. 6A](#) gezeigt, die Strahlen, die von den Spiegeln reflektiert und zu dem optischen Zentrum **51** geleitet werden, im Allgemeinen von einer Szene (nicht gezeigt) von links sind, ähnlich wie Strahl **3L**, wie zuvor in Verbindung mit [Fig. 1A](#) beschrieben. Wenn die Spiegel in entgegen gesetzter Richtung in Bezug auf das optische Zentrum **51** angeordnet sind, würden die Strahlen, die davon reflektiert werden, im Allgemeinen von rechts von der Szene sein, ähnlich wie der Strahl **3R**, wie zuvor in Verbindung mit [Fig. 1A](#) beschrieben. Entsprechend können unter Bereitstellung von zwei Kamera-Anordnungen **60**, bei denen die Spiegel in entgegen gesetzten Richtungen angeordnet sind, zwei Bilder aufgezeichnet werden, die zur Erzeugung eines panoramischen Stereobildpaars verwendet werden können. Dies wird in Verbindung mit [Fig. 7](#) beschrieben. [Fig. 7](#) beschreibt schematisch eine vergleichende panoramische Stereokamera-Anordnung **70**,

umfassend zwei Planspiegel-Kamera-Anordnungen **71L** und **71R**, einen Strahlenteiler **72** und einen Spiegel **73**; eine andere Ausführungsform einer panoramischen Stereokamera-Anordnung wird nachfolgend in Verbindung mit **Fig. 10** beschrieben. In der vergleichenden Ausführungsform, die in **Fig. 7** dargestellt ist, sind die Planspiegel-Kamera-Anordnungen ähnlich der Kamera-Anordnung **60**, die zuvor in Verbindung mit **Fig. 6B** beschrieben worden ist, wobei die Planspiegel in entgegengesetzten Richtungen angeordnet sind, wobei die Planspiegel-Kamera-Anordnung **71R** das panoramische Bild des panoramischen Bildpaars für das rechte Auge aufzeichnet und die Planspiegel Kamera-Anordnung **71L** das panoramische Bild für das linke Auge aufzeichnet. Der Strahlenteiler **72** und der Spiegel **73** sind im Allgemeinen konisch, wobei ihre Achsen und die optischen Zentren für die Planspiegel-Kamera-Anordnungen **71L** und **71R** entlang einer gemeinsamen Achse **74** angeordnet sind. Eine Planspiegel-Kamera-Anordnung, die veranschaulichte Anordnung **71R**, ist von dem Strahlenteiler **72** umgeben und die andere Anordnung, die veranschaulichte Anordnung **71L**, ist von dem Spiegel **73** umgeben. Die Strahlen **75** von einer Szene (nicht gezeigt), die zu dem Strahlenteiler **73** geleitet werden, werden geteilt, wobei ein Teil jedes Strahls durch den Strahlenteiler **72** geht und ein Teil nach oben zum Spiegel **73** reflektiert wird. Der Teil jedes Strahls, der durch den Strahlenteiler **72** geht, wird an die Planspiegel-Kamera-Anordnung **71R** geleitet und der Spiegel **73** reflektiert den Teil des Strahls, der dahin zur Planspiegel-Kamera-Anordnung **71L** reflektiert wird.

[0044] Die vergleichenden Kamera-Anordnungen, die zuvor in Verbindung mit **Fig. 2** bis **6** beschrieben worden sind, haben optische Elemente in Form von Spiegeln verwendet. Wie zuvor angemerkt, kann das optische Element, das in einer Kamera-Anordnung verwendet wird, stattdessen eine Linse umfassen. Kamera-Anordnungen, in denen das optische Element in Form einer Linse vorliegt, werden in Verbindung mit **Fig. 8** und **Fig. 9** beschrieben. **Fig. 8** zeigt einer Kamera-Anordnung, in der das optische Element eine Linse mit durchgängigen Flächen ist, und **Fig. 9** zeigt einer Kamera-Anordnung, in der das optische [Element] eine Fresnel-ähnliche Linse mit einer nicht durchgängigen Außenfläche ist. Mit Bezug auf **Fig. 8** zeigt die Figur eine Kamera-Anordnung **80**, umfassend eine Linse **81**, die um eine Kamera angeordnet ist, die durch ein optisches Zentrum **82** dargestellt wird. Die Linse **81** weist eine Innenfläche **83** auf, die die Form eines Zylinders aufweist, der eine Achse aufweist, die dem optischen Zentrum **82** entspricht. Die Linse weist außerdem eine Außenfläche **84** auf, die ausgestaltet ist, Strahlen zu brechen, die im Allgemeinen durch die Bezugszahl **85** bestimmt sind, von einer Szene (nicht gezeigt) zum optischen Zentrum hin. Die Strahlen werden, wenn sie von der Außenfläche **84** gebrochen werden, orthogonal zur zylindrischen Innenfläche **83** geleitet und werden somit nicht weiter dadurch entlang dem Pfad des optischen Zentrums gebrochen. Wie auch in **Fig. 8** gezeigt, würden die Strahlen, wenn sie nicht von der Außenfläche **84** gebogen würden, einen Sehkreis **86** bilden. Es wird geschätzt werden, dass die Form der Außenfläche **84** von der Größe des Sehkreises **86** und dem Brechungsindex der materialumfassenden Linse **81** abhängt. Ein Bild, das von den Strahlen **85** definiert wird, kann von einer omnidirektionalen Kamera aufgezeichnet werden, die an dem optischen Zentrum **82** positioniert ist.

[0045] Es wird geschätzt werden, dass ebenfalls mit Bezug auf **Fig. 1B** die Kamera-Anordnung **80**, an der die Linse **81**, wie in **Fig. 8** dargestellt angeordnet ist, ausgestaltet ist, ein rechtes panoramisches Bild eines panoramischen Stereobildpaars aufzuzeichnen. Es wird außerdem geschätzt werden, dass eine Kamera-Anordnung, die ausgestaltet ist, eine Kamera-Anordnung aufzuzeichnen, so ausgestaltet bereitgestellt werden kann, dass sie ein linkes panoramisches Bild eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnet, die eine Linse aufweist, die ausgestaltet ist, ein Spiegelbild der Linse **81** aufzuweisen, die in Verbindung mit **Fig. 8** beschrieben worden ist. Außerdem kann eine panoramische Stereokamera-Anordnung bereitgestellt werden, die der ähnlich ist, die in Verbindung mit **Fig. 7** bereitgestellt ist, vorausgesetzt, dass die Kamera-Anordnung **80** verwendet wird, die zuvor in Verbindung mit **Fig. 8** beschrieben worden ist, anstatt die linke Planspiegel-Kamera-Anordnung **71L** und eine Kamera-Anordnung, die ausgestaltet ist, ein rechtes panoramisches Bild aufzuzeichnen (das heißt, eine Kamera-Anordnung, in der die Linse das Spiegelbild der Linse **81** ist), wird anstelle der rechten Planspiegel-Kamera-Anordnung **71R** verwendet.

[0046] Wie zuvor angemerkt, kann eine Kamera-Anordnung anstelle einer Linse **81** mit einer durchgängigen Außenfläche **84** eine Fresnel-ähnliche Linse umfassen, die eine nicht durchgängige Außenfläche aufweist. Eine veranschaulichende Kamera-Anordnung **90** ist in **Fig. 9** dargestellt. Mit Bezug auf **Fig. 9** umfasst die Kamera-Anordnung **90** eine Fresnel-ähnliche Linse **91** um eine Kamera, die durch das optische Zentrum **92** dargestellt ist. Wie bei der Kamera-Anordnung **80** kann die Kamera eine omnidirektionale Kamera umfassen, die an dem optischen Zentrum **92** positioniert ist, die ausgestaltet ist, das Bild aufzuzeichnen, das dahin durch die Linse **91** geleitet wird. Die Linse **91** umfasst eine Mehrzahl Linsensegmente **91(1)**, **91(2)**, ... (allgemein bestimmt durch das Bezugszeichen **91(s)**), die eine Linse **91** bilden, die eine glatte durchgängige Innenfläche **93** und eine nicht durchgängige Außenfläche aufweist, umfassend Flächenelemente **94(1)**, **94(2)**, ... (allgemein bestimmt durch das Bezugszeichen **94(s)**), die jeweils einem der Linsensegmenten **91(s)** zugehörig sind. Wie bei der Linse **81** (**Fig. 8**) weist die durchgängige Innenfläche die Form eines Zylinders auf, der an einer Achse

zentriert ist, die das optische Zentrum **92** umfasst. Jede Außenfläche **94(s)** ist ausgestaltet, um Strahlen zu brechen, die dahin von einer Szene zu dem optischen Zentrum **92** auf eine Weise geleitet werden, dass, wenn die Strahlen nicht gebrochen worden wären, sie einen Sehkreis **95** schneiden würden. Es wird geschätzt werden, dass, da die gebrochenen Strahlen in dem optischen Zentrum **92** geleitet werden, sie orthogonal zur Innenfläche **93** sein werden und somit nicht dadurch gebrochen werden. Wie bei der Linse **81** hängen die Formen der Außenflächenelemente **94(s)** von der Größe des Sehkreises **86** und dem Brechungsindex des Materials, umfassend jedes Linsensegment **91(s)**, ab.

[0047] Es wird geschätzt werden, dass außerdem mit Bezug auf **Fig. 1B**, die Kamera-Anordnung **90**, an der die Linse **91** wie in **Fig. 9** gezeigt angeordnet ist, ausgestaltet ist, ein rechtes panoramisches Bild eines panoramischen Stereobildpaars aufzuzeichnen. Es wird außerdem geschätzt werden, dass eine Kamera-Anordnung, die ausgestaltet ist, eine Kamera-Anordnung aufzuzeichnen, bereitgestellt werden kann, die ausgestaltet ist, ein linkes panoramisches Bild eines panoramischen Stereobildpaars aufzuzeichnen, die eine Linse aufweist, die ausgestaltet ist, ein Spiegelbild der Linse **91** aufzuweisen, das in Verbindung mit **Fig. 9** beschrieben wird. Außerdem kann eine panoramische Stereokamera-Anordnung bereitgestellt werden, die der ähnlich ist, die zuvor in Verbindung mit **Fig. 7** beschrieben worden ist, vorausgesetzt, dass die Kamera-Anordnung **90**, die zuvor in Verbindung mit **Fig. 9** beschrieben worden ist, anstelle der rechten Planspiegel-Kamera-Anordnung **71L** verwendet werden kann, und eine Kamera-Anordnung, die ausgestaltet ist, ein linkes panoramisches Bild (das heißt eine Kamera-Anordnung, in der die Linse das Spiegelbild der Linse **91** ist) aufzuzeichnen, wird anstatt der rechten Planspiegel-Kamera-Anordnung **71R** verwendet.

[0048] **Fig. 10** zeigt eine zweite Ausführungsform einer panoramischen Stereokamera-Anordnung (mit Bezug auf **Fig. 7**), die durch die Bezugszahl **100** bestimmt ist. Die panoramische Stereokamera-Anordnung **70**, die zuvor in Verbindung mit **Fig. 7** beschrieben ist, verwendet einen Strahlenteiler **72** und einen Spiegel **73**, die beide in Form von Kegelstümpfen effektiv sind, um Bilder an die jeweiligen Kamera-Anordnungen **71L** und **71R** zum Aufzeichnen von Bildern für ein panoramisches Stereobildpaar zu leiten. Die panoramische Stereokamera-Anordnung **100** verwendet auch einen Strahlenteiler **102** und einen Spiegel **103**, um Strahlen an jeweilige linke und rechte Kameras **101L** und **101R** zu leiten, aber anstatt dass es Kegelstümpfe sind, sind der Strahlenteiler **102** und der Spiegel **103** beide parabolisch. Wie beim Strahlenteiler **72** teilt der Strahlenteiler **102** die Strahlen, die auf ihn einfallen, wobei ein Teil jedes Strahls zur Kamera **101R** und ein zweiter Teil nach oben zum Spiegel **103** gerichtet reflektiert wird. Ähnlich wie beim Spiegel **73** reflektiert der Spiegel **103** Strahlen, die dahin durch den Strahlenteiler **102** geleitet werden, zur Kamera **101L**.

[0049] **Fig. 11** zeigt schematisch eine Kamera-Anordnung, die durch die Bezugszahl **110** bestimmt ist, die beispielsweise als Kamera **101L** und/oder **101R** (**Fig. 10**) in der panoramischen Stereokamera-Anordnung **100** verwendet werden kann. Mit Bezug auf **Fig. 11** umfasst die Kamera **110** ein allgemein zylindrisches optisches Element **111**, das einen allgemein parabolischen omnidirektionalen Spiegel **112** und eine Kamera **113** umgibt. Der omnidirektionale Spiegel **112** und die Kamera **113** umfassen zusammen eine omnidirektionale Kamera. Die Achse des omnidirektionalen Spiegels **112** und die optische Achse der Kamera **113** fallen beide mit der Achse des optischen Elements **111** zusammen. Der omnidirektionale Spiegel **112** reflektiert Lichtstrahlen, die darauf zur Kamera **113** hin auftreffen, die die reflektierten Strahlen als ein Bild aufzeichnet, wie es in einer omnidirektionalen Kamera herkömmlich ist.

[0050] Das optische Element **111**, das in der Kamera-Anordnung **110** verwendet wird, ist vorzugsweise eine Fresnel-ähnliche Linse, die Kenndaten aufweist, die in Verbindung mit **Fig. 12A** bis **Fig. 12D** beschrieben werden. Allgemein ermöglicht es der Fresnel-ähnliche Charakter des optischen Elements **111**, die Lichtstrahlen von geraden Linienpfaden hin zur Achse des optischen Elements zu biegen, so dass ein Sehkreis bereitgestellt wird, wie er zuvor in Verbindung mit **Fig. 1B** beschrieben worden ist. **Fig. 12A** bis **Fig. 12D** zeigen Querschnitte von Abschnitten **120A** bis **120D** optischer Elemente, die als optisches Element **111** in der Kamera **110** verwendet werden können. Abschnitte **120A** und **120B** zeigen Querschnitte optischer Elemente, die in Verbindung mit dem Bereitstellen jeweiliger linker und rechter panoramischer Bilder eines panoramischen Stereobildpaars verwendet werden können. Wie in **Fig. 12A** und **Fig. 12B** gezeigt, weist jeder Abschnitt **120A**, **120B** eine glatte untere Oberfläche **121A**, **121B** und eine Sägezahn-ähnliche obere Oberfläche **122A**, **122B** auf. Wenn sie jedoch Teil des optischen Elements **111** bilden, bildet für Abschnitt **120A**, **120B** die untere Oberfläche **121A**, **121B** das Innere des optischen Elements und wird somit zum Inneren der Kamera-Anordnung **110** positioniert. Entsprechend wird geschätzt, dass in dem optischen Element **111** die untere Oberfläche **121A**, **121B** tatsächlich in Form eines glatten Zylinders und nicht als Ebene vorliegt. Die obere Sägezahnfläche **122A**, **122B** bildet das Äußere des optischen Elements **111**, wobei die Sägezahnelemente so ausgerichtet sind, dass sie parallel zur Achse des optischen Elements **111** verlaufen und entsprechend parallel zur Achse des parabolischen omnidirektionalen Spiegels **112** und der optischen Achse der Kamera **113**. Es wird geschätzt werden, dass, wenn

sie im optischen Element **111** verwendet wird, die obere Sägezahnfläche **122A**, **122B** typischerweise gebogen ist. Der Winkel jedes Sägezahns in der oberen Fläche **122A**, **122B** in Bezug auf die untere Fläche **121A**, **121B** ist an jedem Punkt so, dass Lichtstrahlen von einer Szene außerhalb der Kamera-Anordnung **110** gebrochen werden, die ansonsten zu einem Sehkreis geleitet würden (Referenz [Fig. 1B](#)), hin zur Achse des zylindrischen optischen Elements **111**. Es wird geschätzt werden, dass der omnidirektionale Spiegel **112** die Lichtstrahlen reflektiert, die zur Achse zur Kamera **113** hin geleitet werden, und somit wird, wenn die Kamera **113** ein Bild aufzeichnet, sich das Bild mit dem Bild des Sehkreises decken. Mit Bezug auf [Fig. 12A](#) und [Fig. 1B](#) wird geschätzt werden, dass die Ausrichtung der oberen Sägezahnfläche **122A** so ist, dass, wenn die Kamera-Anordnung **110** ein zylindrisches optisches Element **111** mit einer solchen oberen Fläche **122A** aufweist, die Kamera-Anordnung ein linkes panoramisches Bild eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnen wird. Andererseits ist mit Bezug auf [Fig. 12B](#) und [Fig. 1B](#) die Ausrichtung der oberen Sägezahnfläche **122B** so, dass, wenn die Kamera-Anordnung **110** ein zylindrisches optisches Element **111** mit einer solchen Oberfläche **122B** aufweist, die Kamera-Anordnung ein rechtes panoramisches Bild eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnen wird.

[0051] [Fig. 12C](#) zeigt einen Abschnitt **120C**, der in Form einer verschachtelten Fresnel-Linse vorliegt, die verschachtelte Elemente von beiden Abschnitten **120A** und **120B** aufweist, und die es einer einzelnen Kamera-Anordnung **110** ermöglichen kann, sowohl linke als auch rechte panoramischer Bilder eines panoramischen Stereobildpaars aufzuzeichnen.

[0052] Dies kann wie in [Fig. 12D](#) gezeigt erfolgen. Mit Bezug auf [Fig. 12D](#) umfasst der Abschnitt **120D** verschachtelte linke und rechte Sägezahnelemente **123L**, **123R**. Jedes Sägezahnelement **123L**, **123R** ist mit einem Markierungselement **124L**, **124R** versehen, das ermöglicht, dass Lichtstrahlen von jeweiligen linken und rechten Sägezahnelementen **123L**, **123R** von der Kamera **113** vereindeutigt werden, so dass die Kamera **113** in der Lage ist, ein Bild aufzuzeichnen, umfassend nur Strahlen von den linken Sägezahnelementen **123L** und ein anderes Bild, umfassend nur Strahlen von den rechten Sägezahnelementen **123R**. Eine Anzahl von Arten von Markierungselementen **124L**, **124R** kann verwendet werden, umfassend Blenden, Polarisierer und andere Anordnungen, wie von Fachleuten geschätzt werden wird. Wenn beispielsweise Blenden verwendet werden, wenn die Kamera **113** ein linkes panoramisches Bild eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnen soll, werden alle Blenden, umfassend Markierungselemente **124L** offen sein und alle Blenden, umfassend Markierungselemente **124R** werden geschlossen sein. In diesem Zustand, wenn die Kamera **113** ein Bild aufzeichnet, wird das Bild nur aus Strahlen bestehen, die durch die linken Sägezahnelemente **123L** gebrochen werden. Andererseits, wenn die Kamera **113** ein rechtes panoramisches Bild eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnen soll, werden alle Blenden, umfassend Markierungselemente **124R**, offen sein und alle Blenden, umfassend Markierungselemente **124L**, werden geschlossen sein. In dem Zustand, wenn die Kamera **113** ein Bild aufzeichnet, wird das Bild nur aus Strahlen bestehen, die durch die rechten Sägezahnelemente **123R** gebrochen werden. Entsprechend wird geschätzt werden, dass, um beide panoramischen Bilder eines panoramischen Stereobildpaars aufzuzeichnen, die Kamera **113** zwei aufeinander folgende Bilder aufzeichnen muss, eines, in dem die Blenden, umfassend Markierungselemente **124L**, offen sind und die Blenden, umfassend Markierungselemente **124R**, geschlossen sind (wobei das linke panoramische Bild des panoramischen Stereobildpaars bereitgestellt wird) und das andere, in dem die Blenden, umfassend Markierungselemente **124R**, offen sind und die Blenden, umfassend Markierungselemente **124L**, geschlossen sind (wobei das rechte panoramische Bild des panoramischen Stereobildpaars bereitgestellt wird).

[0053] Wenn andererseits Polarisierer als Markierungselemente **124L**, **124R** verwendet werden, können linke und rechte panoramische Bilder, sowohl linke als auch rechte panoramische Bilder eines panoramischen Stereobildpaars gleichzeitig aufgezeichnet werden. Eine Kamera-Anordnung, die gleichzeitig sowohl linke als auch rechte panoramische Bilder eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnen kann, wird in Verbindung mit [Fig. 13](#) beschrieben. [Fig. 13](#) zeigt schematisch eine Kamera-Anordnung **130**, die gleichzeitig sowohl linke als auch rechte panoramische Bilder eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnen kann. Mit Bezug auf [Fig. 13](#) umfasst eine Kamera-Anordnung **130** ein optisches Element **131**, das wie zuvor beschrieben in Verbindung mit [Fig. 12D](#) aufgebaut ist, einen omnidirektionalen Spiegel **132**, einen polarisierenden Strahlenteilerwürfel **133** und zwei Kameras **134L** und **134R**. Wie zuvor beschrieben, stellt das optische Element **131** Strahlen von jeweiligen Markierungselementen **124L**, **124R** mit entgegen gesetzten Polarisierungen bereit, veranschaulicht vertikal für Markierungselemente **124L** und horizontal für Markierungselemente **124R**. Die Strahlen, wie sie von dem omnidirektionalen Spiegel **132** reflektiert werden, werden ihre jeweiligen horizontalen oder vertikalen Polarisierungen beibehalten. Der polarisierende Strahlenteilerwürfel **133** ist ausgestaltet, um es Licht einer Polarisierung, zur Veranschaulichung vertikal, zu erlauben, durchzuwandern und von der Kamera **134L** empfangen zu werden und Licht der anderen Polarisierung, zur Veranschaulichung horizontal, zu reflektieren, das von der Kamera **134R** reflektiert und aufgezeichnet werden soll. Entsprechend werden die Strahlen,

die an die jeweiligen Kameras **134L** und **134R** geleitet werden, die sein, die von den jeweiligen linken und rechten Sägezahnelementen **123L** und **123R** bereitgestellt werden. Die Kameras **134L** und **134R** können somit in Übereinstimmung betätigt werden, um jeweilige linke und rechte panoramische Bilder eines panoramischen Stereobildpaars aufzuzeichnen.

[0054] Wie zuvor angemerkt, verwenden die zuvor in Verbindung mit [Fig. 11](#) bis [Fig. 13](#) beschriebenen Kamera-Anordnungen allgemein zylindrische optische Elemente, wobei die Innenfläche des optischen Elements **111** glatt ist. Es wird geschätzt werden, dass, wenn ein zylindrisches optisches Element verwendet wird, panoramische Bilder aufgezeichnet werden können, die einen vorbestimmten vertikalen Winkel schneiden (wobei die optische Achse der Kamera in beispielsweise der Kamera-Anordnung **110** vertikal angeordnet ist). Es kann jedoch ein Problem auftreten, wenn der vertikale Winkel verhältnismäßig groß wird. Dies wird in Verbindung mit [Fig. 14](#) veranschaulicht. Mit Bezug auf [Fig. 14](#) zeigt die Figur ein Sägezahnelement **S** eines optischen Elements, einen Sehkreis **V** und ein optisches Zentrum **O**. Ein Strahl **A** in der Ebene des Sehkreises würde, wenn er von dem Sägezahnelement **S** nicht gebrochen würde, den Sehkreis im Punkt **R** schneiden; wie zuvor angemerkt, ist das Sägezahnelement **S** jedoch so ausgestaltet, dass der Strahl **A** auf Strahl **a** gebrochen wird, so dass er durch das optische Zentrum **O** gelangt. Andererseits wird ein Strahl **B**, der um eine Höhe über der Ebene des Sehkreises **V** versetzt ist, der wenn er nicht von dem Sägezahnelement **S** gebrochen würde, ebenfalls den Sehkreis im Punkt **R** schneiden würde, nicht auf dem Strahl **b** gebrochen und durch das optische Zentrum **O** wandern. Stattdessen wird der Strahl **B** auf Strahl **d** gebrochen und durch einen Punkt **X** in einigem Abstand von dem optischen Zentrum **O** verlaufen. Der Abstand hängt von dem Einfallswinkel des Strahls **B** in Bezug auf die Außenfläche des Sägezahnelements **S** und vom Brechungsindex ab, die beide wesentlich die Winkel bestimmen, mit denen der Strahl sowohl an der Außen- als auch Innenfläche gebrochen wird. In jedem Fall wird der Winkel so sein, dass der Strahl anstatt auf Strahl **b** gebrochen zu werden, auf Strahl **d** gebrochen wird.

[0055] Um dies zu erreichen, können panoramische Bilder, die einen größeren vertikalen Winkel schneiden, bereitgestellt werden, indem ein optisches Element beispielsweise in Form einer Halbkugel anstatt eines Zylinders bereitgestellt wird. Es wird geschätzt werden, dass mit solch einem optischen Element Strahlen, die darauf einfallen, die den Sehkreis schneiden würden, im Allgemeinen durch das optische Zentrum gelangen. Dies wird in Verbindung mit [Fig. 15](#) beschrieben. Mit Bezug auf [Fig. 15](#) umfasst die Kamera-Anordnung **140** ein allgemein sphärisches optisches Element **141**, einen omnidirektionalen Spiegel **142** und zwei Kameras **143U** und **143L** („U“ und „L“ beziehen sich auf „Upper“ (obere) und „Lower“ (untere)). Die Kameras **143U** und **143L** teilen eine gemeinsame optische Achse. Wie bei dem zylindrischen optischen Element, das in den Kamera-Anordnungen verwendet wird, die in Verbindung mit [Fig. 11](#) bis [Fig. 13](#) beschrieben werden, ist die Außenfläche des optischen Elements **141** mit Sägezahnelementen versehen, die denen ähnlich sind, die in Verbindung mit [Fig. 12A](#) bis [Fig. 12D](#) beschrieben werden, deren Länge parallel zu den optischen Achsen der Kameras **143U** und **143L** sind. Der omnidirektionale Spiegel **142** umfasst obere und untere Spiegelemente **142U** und **142L**. Das obere Spiegelement **142L** ist ausgestaltet, um Strahlen zu reflektieren, die darauf von der oberen Halbkugel des optischen Elements **141** zur oberen Kamera **143U** geleitet werden, und das untere Spiegelement **142L** ist ausgestaltet, um Strahlen zu reflektieren, die dahin von der unteren Halbkugel zur unteren Kamera **143L** geleitet werden. Die sphärische Form des optischen Elements **141** und die Umrisse der oberen und unteren Spiegelemente **142U** und **142R** werden ausgewählt, so dass Strahlen von einem verhältnismäßig weiten vertikalen Winkel zu den jeweiligen oberen und unteren Kameras **143L** **143R** bereitgestellt werden. Es wird geschätzt werden, dass die Bilder, die von den jeweiligen oberen und unteren Kameras **143U** und **143L** aufgezeichnet werden, von den oberen und unteren Abschnitten der Szene (nicht gezeigt) sind, die die Kamera-Anordnung **140** umgibt, und die Bilder können mosaikartig zusammengesetzt werden, um ein panoramisches Stereobild bereitzustellen, das einen verhältnismäßig großen Winkel nach oben und nach unten schneidet.

[0056] Wie zuvor angemerkt, ist die Außenfläche des optischen Elements **141** mit Sägezahnelementen versehen, die ähnlich denen sind, die in Verbindung mit [Fig. 12A](#) bis [Fig. 12D](#) beschrieben werden. Es wird geschätzt werden, dass die Breiten der Sägezahnelemente am breitesten am Äquator des optischen Elements sind, das heißt der Ort des optischen Elements **141**, der eine Ebene schneidet, die senkrecht zur optischen Achse der Kamera an dem omnidirektionalen Spiegel **142** verläuft, und sich davon nach oben und nach unten verjüngt. Es wird geschätzt werden, dass die Sägezahnelemente, die in dem optischen Element **141** verwendet werden, ein beliebiges der Elemente umfassen können, wie zuvor in Verbindung mit [Fig. 12A](#) bis [Fig. 12D](#) beschrieben wurde. Es wird jedoch geschätzt werden, dass, wenn sich beispielsweise das Sägezahnmuster mit dem deckt, das in Verbindung mit [Fig. 12A](#) beschrieben worden ist, die obere Kamera **143U** ein linkes panoramisches Bild aufzeichnen wird und die untere Kamera **143L** ein rechtes panoramisches Bild aufzeichnen wird. Ähnlich wird, wenn sich das Sägezahnmuster mit dem zuvor in Verbindung mit [Fig. 12B](#) beschriebenen deckt, die obere Kamera **143U** ein rechtes panoramisches Bild aufzeichnen und die untere Kamera **143L** ein

linkes panoramisches Bild aufzeichnen. Wenn sich andererseits das Sägezahnmuster mit dem deckt, das in Verbindung mit [Fig. 12C](#) und [Fig. 12D](#) beschrieben wird, und wenn jede, die obere Kamera **143U** und die untere Kamera **143L** der Kombination von Kameras **134L** und **134R** und dem Strahlenteiler **133** entspricht, werden die Kameras sowohl linke als auch rechte panoramische Bilder eines panoramischen Stereobildpaars aufzeichnen.

[0057] Die Erfindung bietet eine Anzahl von Vorteilen. Insbesondere stellt die Erfindung verschiedene Kamera-Anordnungen bereit, umfassend Spiegel und Linsen, die ausgestaltet sind, um Bilder bereitzustellen, die in Verbindung mit der Erzeugung panoramischer Bilder verwendet werden können, die wiederum linke oder rechte Bilder eines panoramischen Stereobildpaars bilden können.

[0058] Es wird geschätzt werden, dass zahlreiche Abwandlungen an den zuvor beschriebenen Kamera-Anordnungen vorgenommen werden können. Beispielsweise können die Kameras, die in den Kamera-Anordnungen verwendet werden, Standbildkameras oder Filmkameras sein. Außerdem können die Kameras Filme, elektronische Aufzeichnung oder andere Aufzeichnungsmethodologien anwenden, um jeweilige Bilder aufzuzeichnen.

[0059] Außerdem wird geschätzt werden, dass in der panoramischen Stereokamera-Anordnung die gleiche Art Kamera-Anordnung verwendet werden kann, wie die linke und rechte Kamera-Anordnung, oder unterschiedliche Arten von Kamera-Anordnungen können verwendet werden. Beispielsweise kann eine, die linke oder rechte Kamera-Anordnung, die in der panoramischen Stereokamera-Anordnung verwendet wird, eine der Kamera-Anordnung **80** ([Fig. 8](#)) oder **90** ([Fig. 9](#)) umfassen und die andere der linken oder rechten Kamera-Anordnung kann die andere der Kamera-Anordnung **80** oder **90** umfassen. Ähnlich kann eine, die linke oder rechte Kamera-Anordnung, die in der panoramischen Stereokamera-Anordnung verwendet wird, eine, die Kamera-Anordnung **10** ([Fig. 2](#)) oder **60** ([Fig. 6B](#)) umfassen und die andere der linken oder rechten Kamera-Anordnung kann die andere der Kamera-Anordnung **10** oder **60** umfassen.

[0060] Außerdem kann eine, die linke oder rechte Kamera-Anordnung, die in der panoramischen Stereokamera-Anordnung verwendet wird, eine sein, die einen oder mehrere Spiegel verwendet und die andere kann eine sein, die eine oder mehr Linsen verwendet.

[0061] Außerdem und mit Bezug auf die Kamera-Anordnungen, die zuvor in Verbindung mit [Fig. 11](#) bis [Fig. 13](#) beschrieben sind, wird geschätzt werden, dass die Sägezahnelemente verhältnismäßig schmal sein können oder sie können verhältnismäßig breit sein. Außerdem, obgleich in den Abschnitten **120C** und **120D**, die in Verbindung mit [Fig. 12C](#) und [Fig. 12D](#) beschrieben sind, die linken und rechten Sägezahnelemente **123L** und **123R** als sich abwechselnd in dem verschachtelten Muster gezeigt sind, kann ein optisches Element eine Reihe einer vorbestimmten Anzahl linker Sägezahnelemente **123L** und eine Reihe einer vorbestimmten Anzahl rechter Sägezahnelemente **123R** umfassen. Es wird geschätzt werden, dass, abhängig von der Breite der Sägezahnelemente **123L** und **123R** und überdies abhängig von der Anzahl linker und rechter Sägezahnelemente in jeder Reihe, es schwarze senkrechte Streifen in dem jeweiligen linken und rechten panoramischen Bild geben kann, die Bereiche darstellen, die durch die Sägezahnelemente der anderen Art schattiert sind. Das heißt, beispielsweise schwarze senkrechte Streifen in einem linken panoramischen Bild würden Bereiche darstellen, die durch Sägezahnelemente **123R** schattiert sind, und schwarze senkrechte Streifen in einem rechten panoramischen Bild würden Bereiche darstellen, die von Sägezahnelementen **123L** schattiert sind. Um dies zu erreichen und schwarze senkrechte Streifen zu beseitigen, kann das jeweilige optische Element um die optische Achse der Kamera gedreht werden, vorzugsweise bei einer Geschwindigkeit, die sich auf die Integrationszeit des Bildaufnahmelements der Kamera bezieht, das heißt auf ein/e ladungsgekoppelte Kamera (CCD), CMO, Film und so weiter.

[0062] Obgleich die Sägezahnfläche beschrieben worden ist, als würde sie sich außen am optischen Element befinden, wobei sich eine glatte Fläche innen befindet, wird außerdem für die optischen Elemente, die allgemein Fresnel- oder Fresnel-ähnliche Linsen sind, geschätzt werden, dass sich die Sägezahnfläche stattdessen innen befinden kann, wobei sich eine glatte Fläche außen befindet. Außerdem können sich die Markierungselemente auf der Sägezahnfläche befinden, anstatt auf der glatten Oberfläche.

[0063] Obgleich für optische Elemente in Form von Linsen die optischen Elemente so beschrieben wurden, dass sie im Allgemeinen eine zylindrische oder sphärische Form aufweisen, wird außerdem geschätzt werden, dass die optischen Elemente andere Formen aufweisen können und sich verjüngen, weiten oder beliebige Kombinationen davon von dem jeweiligen „Äquator“ zu den jeweiligen oberen oder unteren Enden aufweisen können.

[0064] Obgleich in Verbindung mit Fig. 14 und Fig. 15 die Verwendung eines im Allgemeinen sphärischen optischen Elements in Verbindung mit der Tatsache, die in Fig. 14 beschrieben ist, beschrieben worden ist, wird außerdem geschätzt werden, dass andere Anordnungen stattdessen verwendet werden können. Beispielsweise kann eine Fresnel- oder Fresnel-ähnliche Sägezahnordnung, bei der die Sägezahnelemente orthogonal zu den Elementen verlaufen, die in Verbindung mit Fig. 9 und Fig. 11 bis Fig. 12D beschrieben werden, bereitgestellt sein, um die gewünschten Strahlen durch das optische Zentrum zu brechen. Andere Anordnungen können Fachleuten offensichtlich sein.

[0065] Obgleich in Verbindung mit Fig. 13 die panoramische Stereokamera-Anordnung so beschrieben wurde, als würde sie einen polarisierenden Strahlenteilerwürfel verwenden, wird außerdem geschätzt werden, dass ein herkömmlicher Strahlenteiler stattdessen verwendet werden kann, der Polarisierer aufweist, die zwischen dem herkömmlichen Strahlenteiler und die jeweiligen Kameras platziert wird, um die jeweiligen Kameras nur mit Strahlen der richtigen Polarisierung zu versorgen.

[0066] Obgleich die panoramischen Stereokamera-Anordnungen, die in Verbindung mit Fig. 7 und Fig. 10 beschrieben worden sind, so beschrieben wurden, als würden sie einen Strahlenteiler und einen Spiegel in Form eines Kegelstumpfs (im Fall von Fig. 7) oder einer Parabel (im Falle von Fig. 10) verwenden, wird außerdem geschätzt werden, dass der Strahlenteiler und der Spiegel eine beliebige Form annehmen können, die das Teilen von Strahlen von einer äußeren Szene (im Falle des Strahlenteilers) ermöglicht und das Bereitstellen der geteilten Strahlen an die jeweiligen Kamera-Anordnungen zum Aufzeichnen des jeweiligen linken und rechten panoramischen Bilds eines panoramischen Stereobildpaars.

[0067] Außerdem wird geschätzt werden, dass die Kameras eine beliebige Form annehmen können, umfassend Stehbildkameras, Filmkameras, Videokameras und Ähnliches, aber nicht darauf begrenzt, und die Bilder auf einem beliebigen Aufzeichnungsmedium aufzeichnen können. Obgleich die Kameras so beschrieben worden sind, als würden sie im Allgemeinen omnidirektionale Kameras sein, können sie außerdem herkömmliche Kameras sein und können beispielsweise Weitwinkellinsen verwenden.

[0068] Außerdem wird geschätzt werden, dass anstatt einer Fresnel- oder Fresnel-ähnlichen Linse ein optisches Element diffractive oder holographische Elemente verwenden kann. Außerdem können Elemente hinzugefügt werden, die Farbabweichungen korrigieren können, wie es bei optischen Systemen üblich ist.

[0069] Außerdem wird geschätzt werden, dass obgleich die Kamera-Anordnungen so beschrieben wurden, als umfassten sie optische Elemente, die ausgestaltet sind, um Bilder von Strahlen aufzuzeichnen, die entweder zu einem optischen Zentrum reflektiert oder gebrochen werden, so dass die Strahlen, wenn sie ungebogen, einen Sehkreis schneiden würden. Es wird geschätzt werden, dass die optischen Elemente stattdessen Sehkreise sowie Einrichtungen anderer Formen schneiden können, umfassend Polygone, Kurven beliebiger Konturen und andere Elemente, die anders als ein einziger Punkt sind, aber nicht darauf beschränkt sind.

[0070] Es wird geschätzt werden, dass ein erfindungsgemäßes System ganz oder teilweise von einer Spezial-Hardware oder einem Mehrzweck-Computersystem oder einer beliebigen Kombination davon gebaut werden kann, wobei ein beliebiger Abschnitt davon durch ein geeignetes Programm gesteuert werden kann. Jedes Programm kann ganz oder teilweise einen Teil des Systems auf herkömmliche Weise umfassen oder darauf gespeichert sein oder es kann ganz oder teilweise dem System über ein Netzwerk oder einen anderen Mechanismus zum Übermitteln von Informationen auf herkömmliche Weise bereitgestellt werden. Außerdem wird geschätzt werden, dass das System mittels Informationen betrieben und/oder ansonsten gesteuert werden kann, die von einem Bediener unter Verwendung von Bediener-Eingabe-Elementen (nicht gezeigt) bereitgestellt werden können, die direkt an das System angeschlossen werden können oder die die Informationen dem System über ein Netz oder einen anderen Mechanismus zum Übermitteln von Informationen auf herkömmliche Weise übermitteln können.

[0071] Die vorstehende Beschreibung ist auf eine spezifische Ausführungsform dieser Erfindung beschränkt. Es wird jedoch offensichtlich, dass verschiedene Variationen und Abwandlungen an der Erfindung vorgenommen werden können, wobei einige oder alle Vorteile der Erfindung erreicht werden.

[0072] Die Erfindung wird durch die anhängigen Ansprüche definiert.

Patentansprüche

1. Kameraanordnung (110, 140) zum Aufnehmen mindestens eines panoramischen Stereobildpaars, um-

fassend:

eine omnidirektionale Kameraanordnung (**82, 92**), umfassend mindestens eine Kamera (**113, 143**), die eine optische Achse bestimmt und ein omnidirektionales optisches Frontelement (**112, 142**) aufweist, das an der optischen Achse angeordnet ist, wobei die Kamera angepasst ist, empfangenes Licht als Bild aufzunehmen; die Kameraanordnung umfasst überdies eine hohle Linsenstruktur (**81, 91, 111, 141**), die eine glatte Innenfläche (**93**) mit rundem Querschnitt aufweist, die eine Mittelachse bestimmt, die senkrecht zu diesem Querschnitt liegt, wobei die Linsenstruktur so angepasst ist, dass sie einfallende Lichtstrahlen von einer Szene außerhalb der Linse zur Mittelachse leitet und so ausgerichtet ist, dass die Mittelachse der hohlen Linsenstruktur und die optische Achse der Kamera sich decken und das omnidirektionale optische Frontelement (**112, 142**) der Kamera (**113, 143**) von der Linsenstruktur umgeben ist, so dass es die Lichtstrahlen empfängt, die von der Linsenstruktur zu der Mittelachse geleitet werden

wobei die Kameraanordnung (**110, 140**) **dadurch gekennzeichnet** ist, dass

die hohle Linsenstruktur eine unterbrochene Außenfläche aufweist, die mindestens ein Sägezahn-ähnliches optisches Element (**84, 91, 120**) aufweist, das einen Sägezahn-ähnlichen Querschnitt senkrecht zur Mittelachse aufweist,

wobei jedes der optischen Sägezahn-Elemente (**84, 94, 120**) einem Stereobildpaar zugehörig ist, das von der Kameraanordnung (**110, 140**) aufgenommen worden ist.

2. Kameraanordnung nach Anspruch 1, wobei die Linse eine Fresnel-ähnliche Linse (**91**) ist.

3. Kameraanordnung nach Anspruch 2, wobei die Fresnel-ähnliche Linse (**91**) eine Mehrzahl Sägezahn-ähnlicher optischer Elemente **91(s)** umfasst.

4. Kameraanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das omnidirektionale optische Frontelement (**82, 92**) in die mindestens eine Kamera eingebaut ist.

5. Kameraanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das omnidirektionale optische Frontelement (**112, 142**) außerhalb der mindestens einen Kamera (**113, 143**) liegt.

6. Kameraanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das omnidirektionale optische Frontelement ein omnidirektionaler Spiegel (**112, 142**) ist.

7. Kameraanordnung nach Anspruch 5, wobei das omnidirektionale optische Frontelement (**142**) ein Paar sich gegenüberliegender reflektierender Flächen umfasst, und die mindestens eine Kamera ein Kamerapaar (**143L** und **143U**) umfasst, das an sich gegenüberliegenden Seiten der hohlen Linsenstruktur angeordnet ist, jeweils zum Empfangen jeweiliger Strahlen, die von der Linsenstruktur zu den gegenüberliegenden reflektierenden Flächen der omnidirektionalen optischen Frontelemente geleitet und dabei zu der jeweiligen Kamera reflektiert werden.

8. Stereographische Kamera, umfassend mindestens eine Kameraanordnung (**110, 140**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Stereographische Kamera nach Anspruch 8, umfassend eine einzelne Kameraanordnung (**110, 140**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, die so angepasst ist, dass sie ein erstes Bild für ein erstes Auge des Betrachters erzeugt und überdies Mittel zum Erzeugen eines jeweiligen zweiten Bilds für ein zweites Auge des Betrachters umfasst, so dass die zwei Bilder für den Betrachter ein stereoskopisches Paar bereitstellen.

10. Stereographische Kamera nach Anspruch 8, umfassend ein Paar Kameraanordnungen, die jeweils rechte und linke stereographische Bilder aufnehmen.

11. Stereographische Kamera nach Anspruch 8, umfassend eine einzelne Kameraanordnung (**130**), die so ausgestaltet ist, dass sie sowohl rechte als auch linke stereographische Bilder aufnimmt.

12. Stereographische Kamera nach Anspruch 11, wobei die Kameraanordnung linke und rechte Sägezahn-ähnliche optische Elemente (**123L, 123R**) und vereindeutigende optische Elemente (**124L, 124R**) umfasst, die angepasst sind, Lichtstrahlen von jeweiligen linken und rechten Sägezahn-ähnlichen optischen Elementen zu vereindeutigen, und wobei die Kameraanordnung angepasst ist, ein Bild, umfassend empfangene Strahlen von den linken Sägezahn-ähnlichen optischen Elementen (**123L**) aufzunehmen und ein Bild, umfassend empfangene Strahlen von den rechten Sägezahn-ähnlichen optischen Elementen (**123R**) aufzunehmen.

13. Stereographische Kamera nach Anspruch 12, wobei die vereindeutigenden optischen Elemente umfassen:

(i) jeweilige Verschlüsse für die linken und rechten stereographischen Bilder, die in gegenseitiger Gegenphase geöffnet und geschlossen werden, so dass erlaubt wird, dass die linken und rechten stereographischen Bilder aufeinander folgend aufgenommen werden; oder

(ii) Polarisierer, die erlauben, dass die linken und rechten stereographischen Bilder gleichzeitig aufgenommen werden, wobei jeder eine/n unterschiedliche/n Polarisierungswinkel oder -ausrichtung aufweist.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

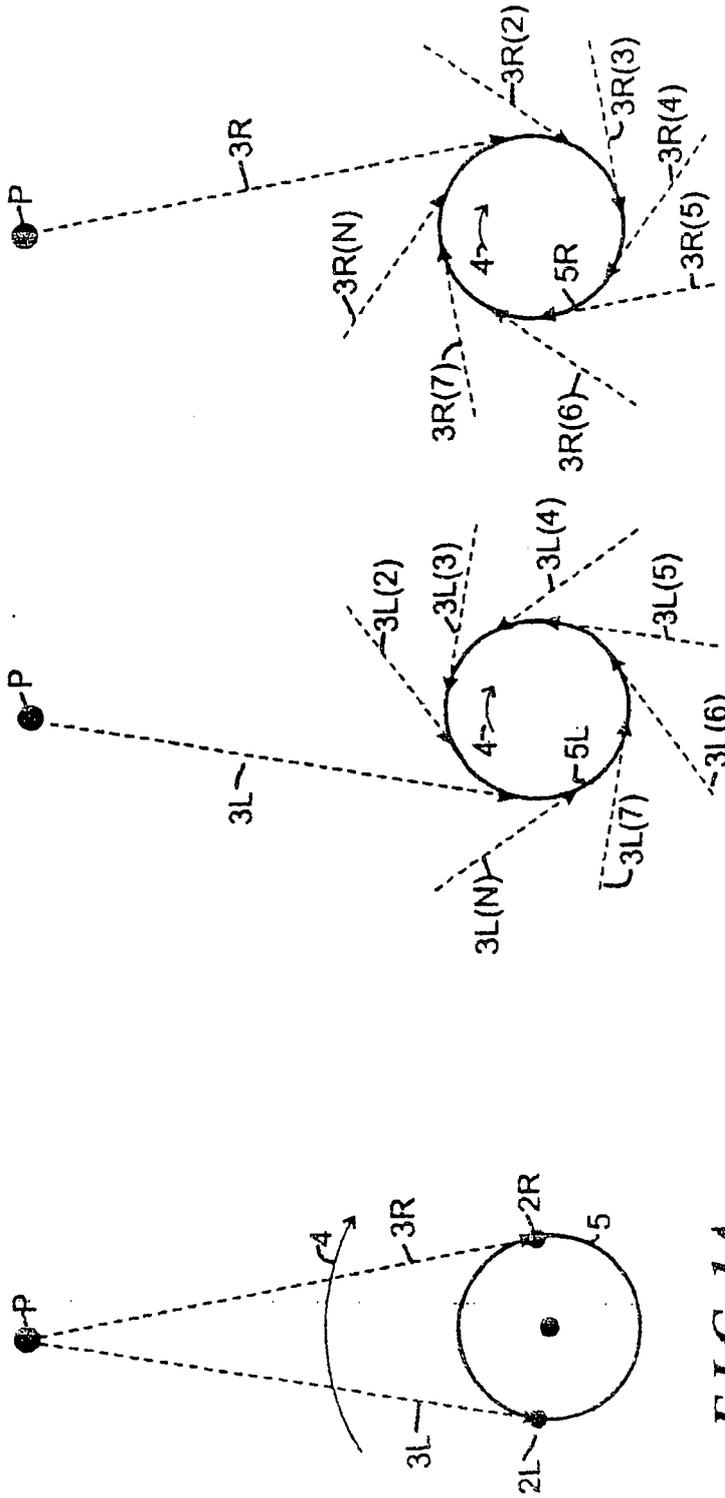


FIG. 1B

FIG. 1A

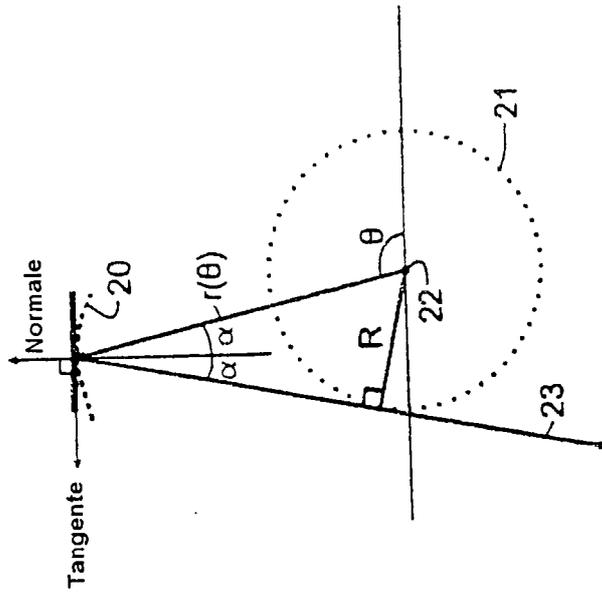


FIG. 3

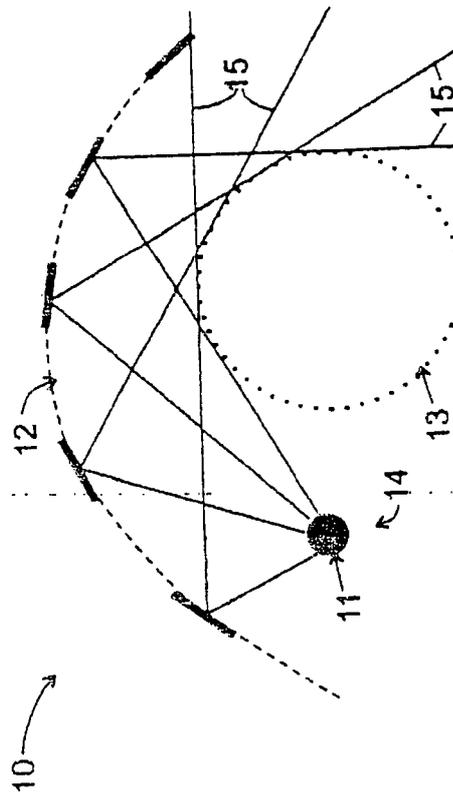


FIG. 2

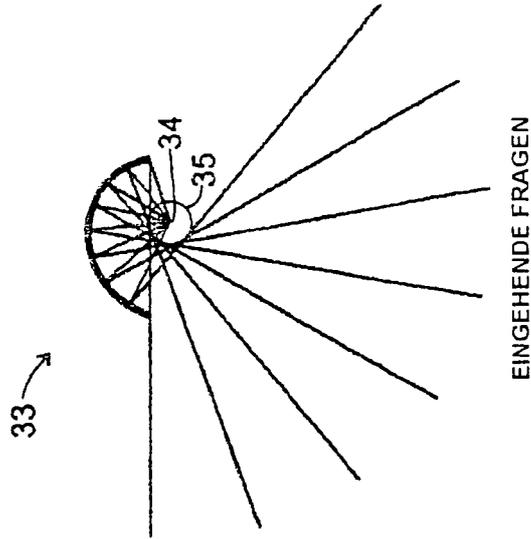


FIG. 4B

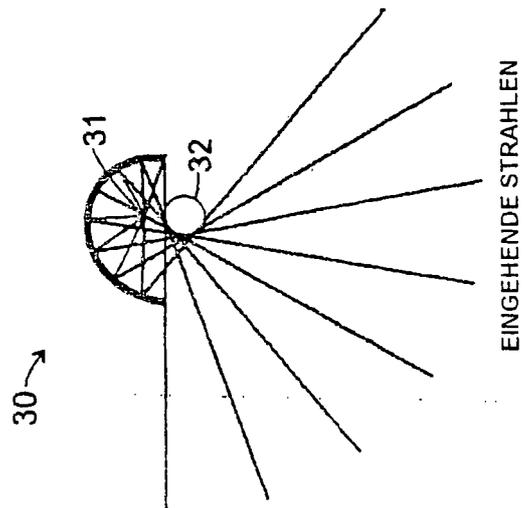
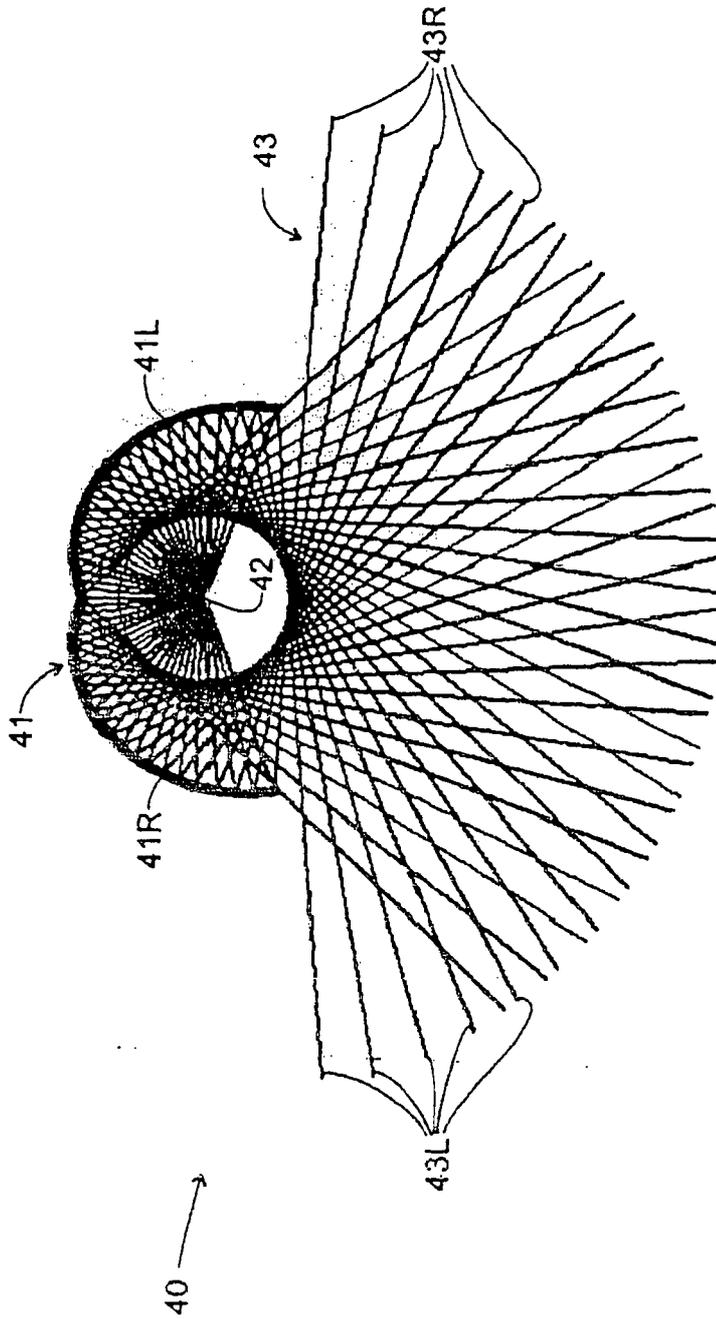


FIG. 4A



EINGEHENDE STRAHLEN

FIG. 5

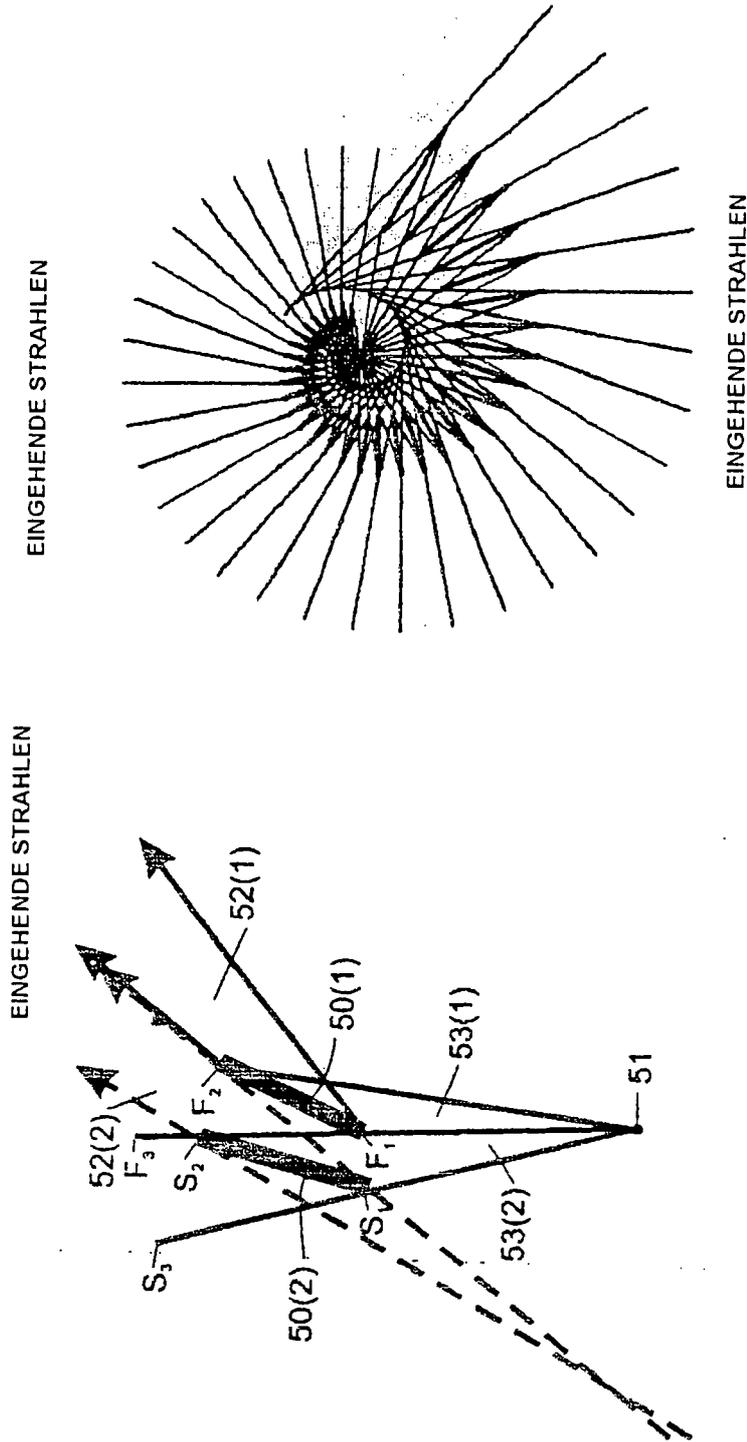


FIG. 6B

FIG. 6A

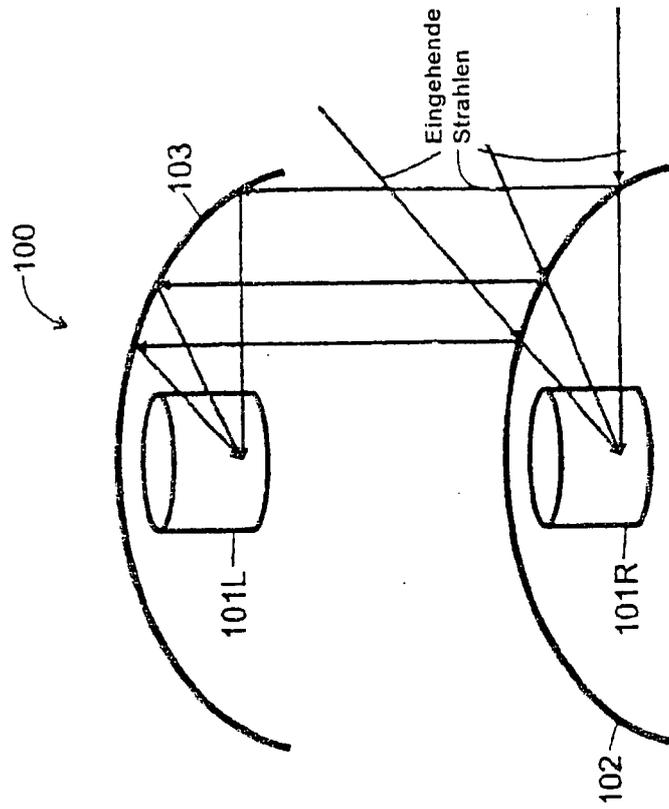


FIG. 10

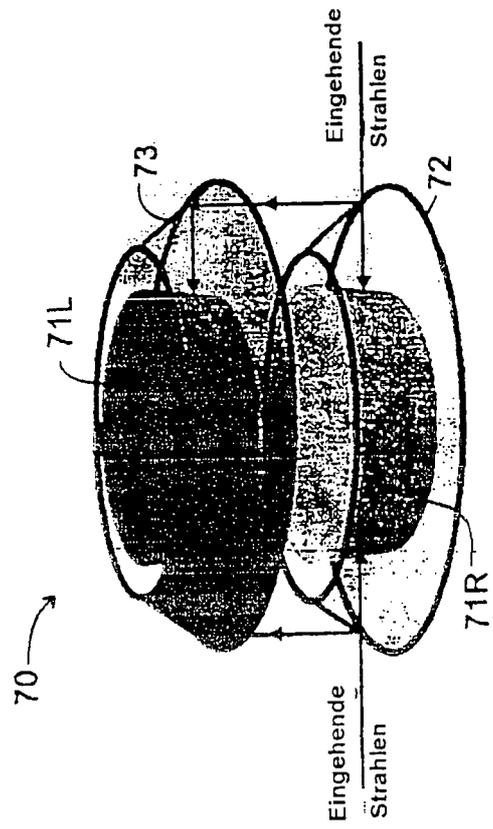


FIG. 7

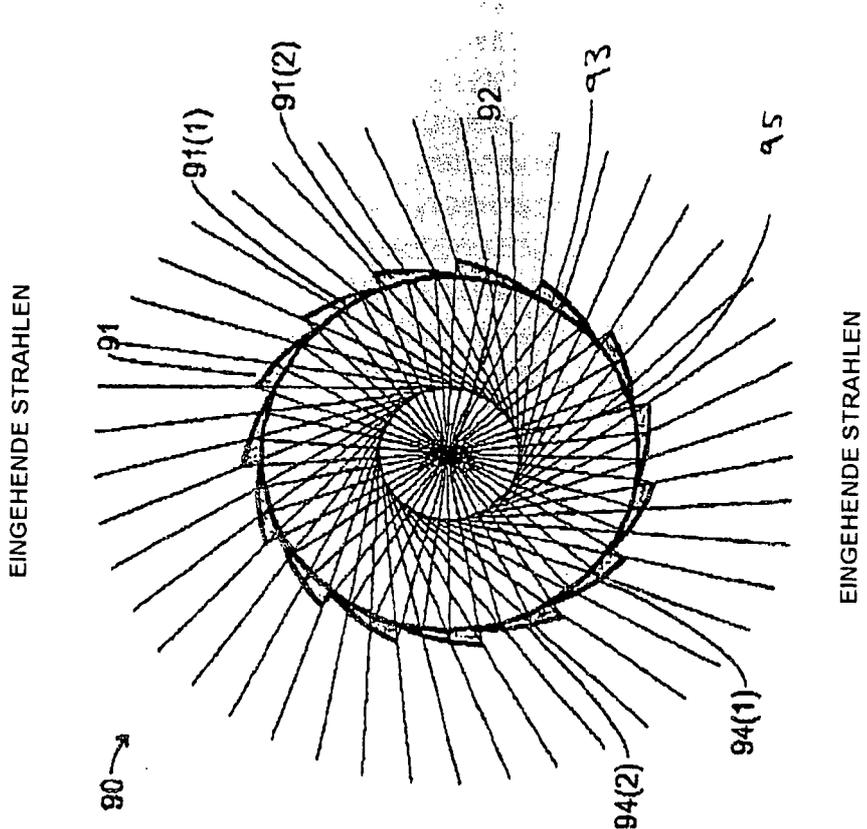


FIG. 9

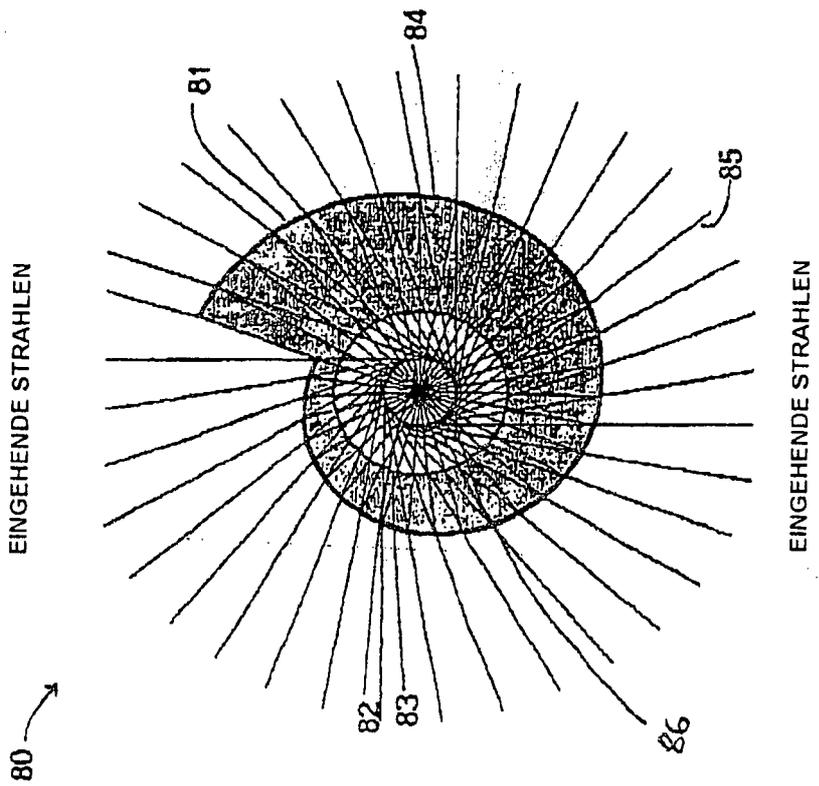


FIG. 8

120A



FIG. 12A

120B



FIG. 12B

120C



FIG. 12C

120D

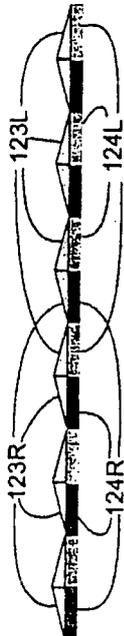


FIG. 12D

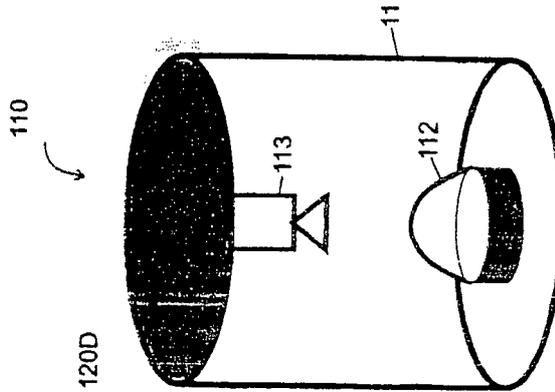


FIG. 11

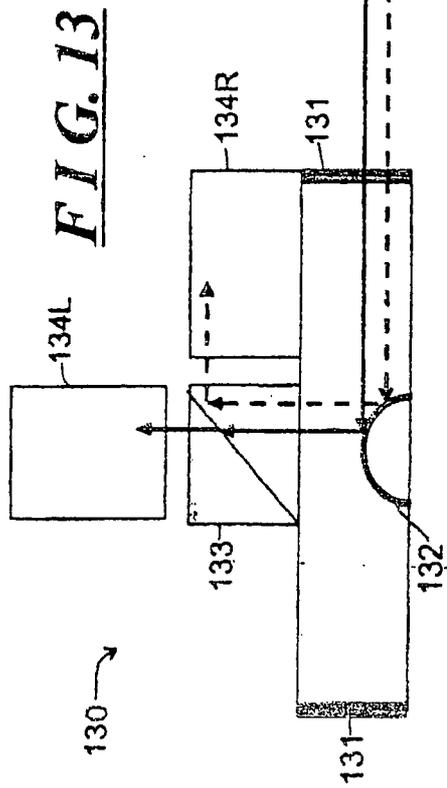


FIG. 15

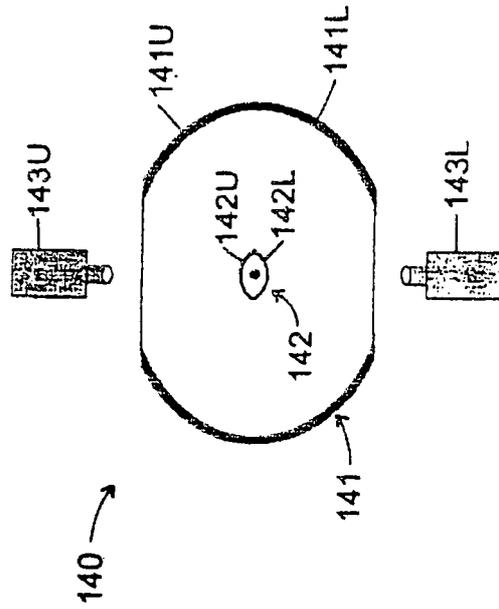


FIG. 15

