



(10) **DE 10 2014 119 126 B3** 2015.08.06

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 119 126.9**
(22) Anmeldetag: **19.12.2014**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **06.08.2015**

(51) Int Cl.: **G01B 11/25 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:
SICK AG, 79183 Waldkirch, DE

(74) Vertreter:
**Hehl, Ulrich, Dipl.-Phys. Dr. rer. nat., 79183
Waldkirch, DE**

(72) Erfinder:
Schneider, Florian, Dr., 79276 Reute, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE 199 19 584 A1
DE 10 2005 015 500 A1
DE 20 2006 017 268 U1
DE 11 2009 001 652 T5

US 4 744 237 A
US 5 572 368 A
EP 2 071 367 A1
EP 2 280 239 A1

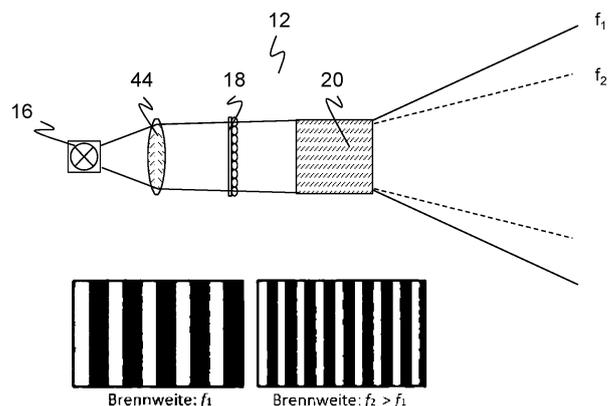
G. Beadie et al; "Tunable polymer lens"; Optics Express, Vol. 16, No. 16, August 2008, S. 11847 – 11857

L.J. Hornbeck; "Deformable-mirror spatial light modulators"; 33rd Annual Technical Symposium International Society for Optics and Photonics, 1990, S. 86 – 103

T. Krupenkin et al.; "Tunable liquid microlens"; Applied Physics Letters 82, 2003, S. 316 – 318

(54) Bezeichnung: **Streifenprojektor zum Beleuchten einer Szenerie mit einem veränderlichen Streifenmuster**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Streifenprojektor (12) zum Erzeugen eines veränderlichen Streifenmusters in einer Szenerie (22) angegeben, der eine Lichtquelle (16), ein Streifenzeugungselement (18) zum Erzeugen des Streifenmusters sowie ein einstellbares optisches Element (20) zur dynamischen Veränderung des Streifenmusters aufweist. Dabei ist das optische Element (20) verformbar, und eine Formänderung des optischen Elements (20) bewirkt eine Veränderung des Streifenmusters.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Streifenprojektor zum Beleuchten einer Szenerie mit einem veränderlichen Streifenmuster nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Das von einem Streifenprojektor erzeugte veränderliche Streifenmuster wird in einem Streifenprojektionsverfahren genutzt, um dreidimensionale Bilddaten zu gewinnen. Die Kombination aus mindestens einem Streifenprojektor, mindestens einer Videokamera und einer entsprechenden Auswertung ist demnach eine 3D-Kamera, die ein großes Einsatzgebiet unter anderem für die Inspektion und Vermessung von Objekten in einem industriellen Umfeld findet.

[0003] Zur dreidimensionalen Bilderfassung beleuchtet der Streifenprojektor die Szenerie oder das Messobjekt nacheinander mit Mustern von parallelen hellen und dunklen Streifen unterschiedlicher Breite. Jede beteiligte Kamera nimmt ein Bild der Szenerie bei Beleuchtung mit dem jeweiligen Streifenmuster unter bekanntem Blickwinkel zur Projektion auf. Damit entsteht für jeden Bildpunkt eine zeitliche Folge unterschiedlicher Helligkeiten, die anhand der geometrischen Daten, wie dem Abstand zwischen Kamera und Streifenprojektor, algorithmisch ausgewertet wird, um die dreidimensionalen Koordinaten der aufgenommenen Oberflächen zu bestimmen. In einer Variante als Phasenschiebverfahren entstehen die unterschiedlichen Beleuchtungen durch laterales Verschieben des Streifenmusters beispielsweise um Vielfache von 90° . Dadurch können auch nicht diskrete Koordinaten bestimmt werden.

[0004] Das soeben erläuterte Prinzip der dreidimensionalen Bilderfassung ist bekannt und beispielsweise in der DE 199 19 584 A1 sehr ausführlich beschrieben.

[0005] In der US 4 744 237 A wird ein Streifenmuster über eine Oberfläche bewegt, um Unebenheiten zu detektieren.

[0006] Üblicherweise werden als Streifenprojektoren mehrere Diaprojektoren mit unterschiedlichen Mustern oder DLP-Projektoren (Digital Light Processing) mit digitalem Spiegelarray eingesetzt. Die Mehrzahl von Diaprojektoren führt zu einer hohen Systemkomplexität. Ein DLP-Projektor hat trotz der Tatsache, dass für die Anwendung in einem Streifenprojektionsverfahren eine monochromatische Beleuchtung ausreicht, sehr hohe Herstellungskosten.

[0007] Die US 5 572 368 A nutzt zur Erzeugung eines Streifenmusters für eine Distanzmessung Zylinderlinsen. Allerdings ist dieses Streifenmuster nicht veränderlich.

[0008] Es ist üblich, ein Objektiv auf einen bestimmten Abstand oder Abstandsbereich einzustellen. Ein derartiger variabler Fokus kann insbesondere durch Gel- oder Flüssiglinsen erreicht werden, bei denen die Form und damit die Brennweite der Linse selbst verändert wird. Bei einer Gellinse wird eine silikonartige Flüssigkeit mittels piezoelektrischer oder induktiver Aktoren mechanisch deformiert. Flüssiglinsen nutzen beispielsweise den sogenannten Elektrobenetzungseffekt (electrowetting) aus, indem zwei nicht mischbare Flüssigkeiten in einer Kammer übereinander angeordnet werden. Bei Anlegen einer Steuerungsspannung ändern die beiden Flüssigkeiten ihre Oberflächenspannung in unterschiedlicher Weise, so dass die innere Grenzfläche der Flüssigkeiten spannungsabhängig ihre Krümmung verändert. Ein optoelektronischer Sensor mit Fokusverstellung auf Basis von Flüssiglinsen ist aus der DE 10 2005 015 500 A1 oder der DE 20 2006 017 268 U1 bekannt. Durch Verstellen des Fokus' wird aber das Streifenmuster nicht variiert.

[0009] In Weiterbildung solcher Flüssiglinsen zur Fokusverstellung schlägt die EP 2 071 367 A1 vor, auch die Verkipfung der Flüssiglinse durch Anlegen unterschiedlicher Spannungen in Umlaufrichtung zu verändern. Um die Aufnahme verwackelter Bilder zu verhindern, wird dann die Eigenbewegung der Kamera ermittelt, und eine oder mehrere Linsen in der Kamera werden verkippt, um dieser Eigenbewegung entgegenzuwirken.

[0010] In der DE 10 2005 015 500 A1 wird ein weiterer optoelektronischer Sensor mit einer Flüssiglinse offenbart, die durch einen asymmetrischen Rahmen oder unterschiedliche elektrische Potentiale an separaten Elektroden des Linsenrahmens in ihren Strahlformungseigenschaften asymmetrisch veränderbar ist. Das Dokument erläutert dann aber nicht, wozu das genutzt werden kann.

[0011] Die DE 11 2009 001 652 T5 offenbart verschiedene Verfahren zur Erfassung einer Stelle eines Objekts in einem dreidimensionalen Raum, bei dem verschiedene Strahlungsmuster projiziert werden. In einer Ausführungsform entstehen die Strahlungsmuster in einer Bragg-Zelle durch akusto-optische Modulation.

[0012] In der Arbeit von L. Hornbeck, "Deformable-mirror spatial light modulators." 33rd Annual Technical Symposium. International Society for Optics and Photonics, 1990, S. 86–103 wird ein Überblick über eine spezielle Art von räumlicher Lichtmodulation (SLM, spatial light modulator) gegeben, nämlich solche, die eine Vielzahl von beweglichen Mikrosiegeln aufweisen. Deren Bewegung wird durch verformbare Materialien auf dem Substrat ermöglicht.

[0013] Aus Beadie, G., et al. "Tunable polymer lens." *Optics express* 16.16 (2008): S. 11847–11857 sind Linsen bekannt, die eine Membran aus einem Elastomer aufweisen und durch Druck verformt werden, um die Brennweite zu verändern.

[0014] Die Arbeit von Krupenkin, T., S. Yang, and P. Mach. "Tunable liquid microlens." *Applied Physics Letters* 82.3 (2003): S. 316–318 befasst sich mit Flüssiglinsen, die sowohl in ihrer Brennweite als auch ihrer lateralen Position verstellt werden können.

[0015] Die EP 2 280 239 A1 befasst sich mit einer Beleuchtungsvorrichtung zur Erzeugung eines Beleuchtungsmusters für eine Stereokamera. Das Beleuchtungsfeld wird durch ein Mikrolinsenfeld erzeugt, wobei die Mikrolinsen gegeneinander verkippt sind oder den Mikrolinsen ein Prismenfeld nachgeordnet ist.

[0016] Es ist Aufgabe der Erfindung, auf einfache Weise variable Streifenmuster zu erzeugen.

[0017] Diese Aufgabe wird durch einen Streifenprojektor zum Beleuchten einer Szenerie mit einem veränderlichen Streifenmuster nach Anspruch 1 gelöst. Ein Streifenerzeugungselement erzeugt aus dem Licht einer Lichtquelle ein Streifenmuster, vorzugsweise ein Hell-Dunkel-Muster aus parallelen Streifen unterschiedlicher Breite und Helligkeit. Mit Hilfe eines einstellbaren optischen Elements wird das Streifenmuster dynamisch verändert, um ein Streifenprojektionsverfahren zu ermöglichen. Die Erfindung geht nun von dem Grundgedanken aus, die Veränderung dadurch zu bewirken, dass das optische Element verformt wird.

[0018] Die Erfindung hat den Vorteil, dass ein besonders kompakter und kostengünstiger Streifenprojektor entsteht. Weder werden mehrere Projektoren benötigt, wie im Falle von Dias mit unterschiedlichen Streifenmustern, noch muss ein komplexes Spiegelarray für einen DLP-Projektor mit hohen Herstellkosten verwendet werden.

[0019] Das Streifenerzeugungselement weist bevorzugt ein Zylinderlinsenarray auf. Die Zylinderlinsen bündeln das Licht in einer Achse und erzeugen so Streifen unterschiedlicher Helligkeit. Alternativ ist auch ein Dia denkbar, denn durch das erfindungsgemäß verformte optische Element wird auch das zunächst fixe Streifenmuster eines Dias dynamisch veränderbar.

[0020] Eine Formänderung bewirkt vorzugsweise eine Veränderung von Phase und/oder Ortsfrequenz der Streifen des Streifenmusters. Eine solche Veränderung ist durch Verformen vergleichsweise einfach zu erhalten. Außerdem ist eine stetige Veränderung möglich, beispielsweise ein Phasenschieben,

und damit eine Begrenzung auf diskrete Koordinaten aufgehoben.

[0021] Das optische Element weist bevorzugt eine adaptive Linse auf. Diese Linse ist zumindest in ihrer Brennweite verstellbar. Die adaptive Linse ist bevorzugt eine Flüssiglinse oder eine Gellinse. Solche Linsen bieten die gewünschten Einstellmöglichkeiten und sind dabei sehr bauklein und kostengünstig. Dabei wird je nach Technologie die Linse als solche oder eine Grenzschicht zwischen zwei nicht mischbaren Medien der Linse verformt.

[0022] Die adaptive Linse weist bevorzugt eine Verkipfung gegenüber der Projektionsrichtung auf. Allein durch eine Brennweitenänderung wird das Streifenmuster noch nicht in seiner Phase geschoben. Das kann aber erreicht werden, wenn die adaptive Linse zusätzlich schräg steht. Dabei ist die Bezugsrichtung die Projektionsrichtung, also die Richtung des Lichtstrahls der Lichtquelle beziehungsweise die optische Achse der Lichtquelle oder von deren Kollimationsoptik.

[0023] Der Sensor weist vorzugsweise ein Zoomobjektiv mit der adaptiven Linse auf. Zoomveränderungen werden durch Einstellungen und damit Verformungen der adaptiven Linse erreicht. Die Zoomveränderungen variieren dann das Streifenmuster. Das Zoomobjektiv weist bevorzugt mehrere adaptive Linsen und gegebenenfalls auch eine oder mehrere nicht adaptive Linsen auf.

[0024] Die adaptive Linse weist bevorzugt in Umlaufrichtung segmentierte Ansteuerelemente auf. Bei den Ansteuerelementen handelt es sich beispielsweise um segmentierte Elektroden, die eine Flüssiglinse über den Elektrobenetzungseffekt steuern. Denkbar sind weiterhin segmentierte Aktoren, insbesondere Piezoaktoren, die den Druck auf eine Flüssigkeit lokal verändern und dadurch eine Membran auf Flüssigkeit unterschiedlich krümmen, oder die direkt eine gelartige Substanz der Linse verformen. Durch die Segmentierung in Umlaufrichtung wird eine nicht rotationssymmetrische Beeinflussung der Linse ermöglicht, die zu einer optischen Verkipfung führt. Das wiederum bewirkt eine Veränderung des Streifenmusters.

[0025] Das optische Element weist bevorzugt ein adaptives Prisma aus mindestens zwei Teilelementen mit einer elastischen Zwischenschicht auf. Die beiden Teilelemente sind beispielsweise transparente Platten oder selbst Prismen, die unter Verformung der Zwischenschicht gegeneinander unterschiedlich verkippt werden und so das Streifenmuster variieren.

[0026] Streifenerzeugungselement und optisches Element sind vorzugsweise als ein gemeinsames Element ausgebildet. Das gemeinsame Element hat

demnach eine Doppelfunktion, indem es die Streifen erzeugt und durch Verformung variiert, und vereinfacht so weiter den Aufbau.

[0027] Das gemeinsame Element ist bevorzugt ein deformierbares Zylinderlinsenarray. Die Zylinderlinsen sind dabei nochmals bevorzugt aus einem elastischen Material hergestellt. Sie können deshalb auseinandergezogen oder zusammengedrückt werden, wodurch sich Ortsfrequenz und Phase der Streifen verändern.

[0028] In vorteilhafter Weiterbildung ist eine 3D-Kamera nach dem Streifenprojektionsverfahren mit einem erfindungsgemäßen Streifenprojektor vorgesehen, die außerdem einen Bildsensor zur Aufnahme von Bildern der mit dem Streifenmuster beleuchteten Szenerie sowie eine Auswertungseinheit aufweist, die dafür ausgebildet ist, aus dem Streifenmuster und Helligkeitsunterschieden der Bilder dreidimensionale Bilddaten der Szenerie zu berechnen. Eine solche 3D-Kamera und die Berechnungen für das Streifenprojektions- oder Phasenschiebeverfahren sind an sich bekannt. Erfindungsgemäß kann jedoch eine besonders kompakte und kostengünstige 3D-Kamera hergestellt werden, in der die variablen Streifenmuster auf eine besonders einfache Weise erzeugt werden.

[0029] Das erfindungsgemäße Verfahren kann auf ähnliche Weise durch weitere Merkmale ausgestaltet werden und zeigt dabei ähnliche Vorteile. Derartige weitere Merkmale sind beispielhaft, aber nicht abschließend, in den sich an die unabhängigen Ansprüche anschließenden Unteransprüchen beschrieben.

[0030] Die Erfindung wird nachstehend auch hinsichtlich weiterer Vorteile und Merkmale unter Bezugnahme auf die beigegefügte Zeichnung anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Die Figuren der Zeichnung zeigen in:

[0031] Fig. 1 eine Blockdarstellung einer 3D-Kamera mit einem Streifenprojektor;

[0032] Fig. 2 eine Schnittdarstellung einer Flüssiglinse mit verstellbarer Brennweite;

[0033] Fig. 3 eine Schnittdarstellung einer Flüssiglinse mit zusätzlicher variabler Verkipfung;

[0034] Fig. 4 eine Schnittdarstellung eines Streifenprojektors mit variablem Zoom;

[0035] Fig. 5 eine Schnittdarstellung eines Streifenprojektors mit variabler Verkipfung;

[0036] Fig. 6a eine schematische Darstellung eines adaptiven Prismas mit elastischer Zwischenschicht

für einen Streifenprojektor in einem Ausgangszustand;

[0037] Fig. 6b eine Darstellung des adaptiven Prismas gemäß Fig. 6a in einem auseinandergezogenen Zustand;

[0038] Fig. 7a eine Darstellung eines deformierbaren Zylinderlinsenarrays in einem Ausgangszustand; und

[0039] Fig. 7b eine Darstellung des deformierbaren Zylinderlinsenarrays gemäß Fig. 7a in einem auseinandergezogenen Zustand.

[0040] Fig. 1 zeigt eine Blockdarstellung einer 3D-Kamera **10**, die einen Streifenprojektor **12** und eine Kamera **14** zur Bildaufnahme aufweist. Der Streifenprojektor **12** umfasst eine Lichtquelle **16**, ein Streifenenerzeugungselement **18** und ein einstellbares optisches Element **20** auf. Das Streifenenerzeugungselement **18** prägt dem Licht der Lichtquelle **16** ein Streifenmuster auf, das von dem optischen Element **20** dynamisch verändert wird. So entsteht ein variables Streifenmuster aus Hell-Dunkel-Streifen, mit dem eine Szenerie **22** beziehungsweise ein Objekt **24** in der Szenerie **22** beleuchtet wird. Der Aufbau des Streifenprojektors **12** in Fig. 1 ist sehr schematisch und zeigt beispielsweise weder eine Kollimationsoptik für die Lichtquelle **16** noch eine Projektionsoptik, vorzugsweise wegen der Schärfentiefe mit kleiner Blende, zum Abbilden des Streifenmusters in die Szenerie. Der Streifenprojektor **12** wird weiter unten anhand mehrerer Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Fig. 4 bis Fig. 7 näher erläutert.

[0041] Die Kamera **14** umfasst eine Empfangsoptik **26**, einen Bildsensor **28** und eine Steuer- und Auswertungseinheit **30**. Dabei ist die Aufteilung in Fig. 1 nur im Sinne von Funktionsblöcken zu verstehen und durchaus denkbar, dass sämtliche Elemente der 3D-Kamera **10** sich in einem gemeinsamen Gehäuse befinden, ebenso wie die Steuer- und Auswertungseinheit **30** zumindest teilweise extern implementiert sein kann. Die Empfangsoptik **26** führt dem Bildsensor **28** Empfangslicht aus der Szenerie **22** zu, so dass der Bildsensor **28** Bilder des mit verschiedenen Streifenmustern beleuchteten Objekts **24** aufnimmt. Aus den zunächst zweidimensionalen Bilddaten werden in der Steuer- und Auswertungseinheit **30** in einem an sich bekannten Streifenprojektionsverfahren dreidimensionale Bilddaten berechnet. Dazu steuert die Steuer- und Auswertungseinheit **30** auch den Streifenprojektor und insbesondere dessen Lichtquelle **16** und optisches Element **20**, um mit einem für das Streifenprojektionsverfahren gewünschten Zeitverhalten veränderliche Streifenmuster zu erzeugen.

[0042] Eine Möglichkeit, das Streifenmuster zu verändern und insbesondere dessen Phase zu schieben, besteht in einer Bewegung eines Elements im Streifenprojektor **12**, etwa durch einen elektromagnetischen, piezoelektrischen oder elektrostatischen Aktor. Die Erfindung sieht aber vor, die Veränderung des Streifenmusters durch Deformation des optischen Elements **20** zu erreichen. Dazu werden in einigen Ausführungsformen adaptive Linsen eingesetzt. Die **Fig. 2** und **Fig. 3** zeigen schematisch das Funktionsprinzip einer adaptiven Linse in Form einer Flüssiglinse **32** nach dem Elektrobenetzungseffekt. Die Funktionsweise und auch die Anwendung im Folgenden werden jeweils anhand dieser Flüssiglinse **32** erläutert, es sind jedoch ebenso andere adaptive Linsen denkbar, beispielsweise solche mit einer Flüssigkeitskammer und einer diese bedeckenden Membran, deren Wölbung durch Druck auf die Flüssigkeit verändert wird, oder Linsen mit einem gelartigen optisch durchlässigen Material, das durch eine Aktorik mechanisch verformt wird.

[0043] Die aktiv durchstimmbare Flüssiglinse **32** weist zwei transparente, nicht mischbare Flüssigkeiten **34**, **36** mit unterschiedlichen Brechungsindizes und gleicher Dichte auf. Die Form der Flüssigkeits-Flüssigkeitsgrenzschicht **38** zwischen den beiden Flüssigkeiten **34**, **36** wird zur optischen Funktion verwendet. Die Aktuierung basiert auf dem Prinzip der Elektrobenetzung, welche eine Abhängigkeit der Oberflächen- oder Grenzflächenspannung vom angelegten elektrischen Feld zeigt. Deshalb ist es möglich, die Form der Grenzschicht **38** und damit die optischen Eigenschaften der Flüssiglinse **32** durch elektrische Ansteuerung an einem Anschluss **40** zu verändern, wodurch entsprechende Spannungen an einer Elektrode **42** anliegen.

[0044] **Fig. 2** zeigt zunächst die länger bekannte Veränderung der Fokuseigenschaften der Flüssiglinse **32**. Die Krümmung der Grenzschicht **38** wird durch Ansteuerung an dem Anschluss variiert. Damit wird das Brechungsverhalten verändert und beispielsweise eine Brennweite eingestellt.

[0045] Die Flüssiglinse **32** kann aber auch in ihrer Verkippung beeinflusst werden. Dies wird in **Fig. 3** illustriert und beruht auf nicht rotationssymmetrisch angelegten Spannungen mit Hilfe von zumindest zwei Anschlüssen **40**, **40b** und einer segmentierten Elektrode **42**. Dementsprechend wird die Grenzschicht **38** nicht rotationssymmetrisch verformt, was für die Verkippung ausgenutzt wird. **Fig. 4** zeigt beispielhaft eine Verkippung der Flüssiglinse **32**, die zusätzlich zu dem bündelnden Effekt auch zu einer Lichtablenkung nach oben führt.

[0046] **Fig. 4** zeigt eine Ausführungsform des Streifenprojektors **12**, das ein Zoom-Objektiv als Projektionsobjektiv zum Projizieren des Streifenmusters in

die Szenerie **22** und zugleich als einstellbares optisches Element **20** nutzt. Das Zoom-Objektiv ist aus mehreren Linsen aufgebaut, von denen zumindest zwei Linsen Flüssiglinsen sind. Eine Zoomverstellung erfolgt also nicht wie herkömmlich durch Bewegung der Linsen längs der optischen Achse, sondern durch Verformung der Grenzschicht **38** in den Flüssiglinsen. Das Streifenmuster entsteht, indem ein als Zylinderlinsenarray ausgestaltetes Streifenzeugungselement **18** das einfallende Licht zu Linien fokussiert. Zwischen Lichtquelle **16** und Streifenzeugungselement **18** ist noch eine Kollimationsoptik **44** angeordnet.

[0047] Mit Hilfe von Zoomverstellungen kann die Ortsfrequenz der Linien oder Streifen des Streifenmusters verändert werden. Das ist unten in **Fig. 4** exemplarisch für zwei verschiedene Einstellungen des Zooms illustriert. Durch die kurzen Ansprechzeiten der Flüssiglinsen kann eine hohe Umschaltfrequenz zwischen den verschiedenen Mustern erreicht werden.

[0048] Es ist auch denkbar, ein einfacheres Projektionsobjektiv zu verwenden, das nicht zoomfähig ist und nur eine Flüssiglinse umfasst. Diese wird dann anders als üblich leicht schräg eingebaut. Verstellungen der Brennweite der Flüssiglinse verschieben dann das Streifenmuster (Phasenschieben).

[0049] **Fig. 5** zeigt eine weitere Ausführungsform des Streifenprojektors **12**. Anders als in der Ausführungsform gemäß **Fig. 4** ist hier das optische Element **20** kein Zoomobjektiv, sondern ein einfaches Projektionsobjektiv mit einer dynamisch verkippbaren Flüssiglinse **32** wie in **Fig. 3**. Abweichend ist auch vorstellbar, dass es sich doch um ein Zoomobjektiv handelt, wobei jedoch mindestens eine der beteiligten Flüssiglinsen nicht nur in der Brennweite, sondern auch in der Kippstellung variabel ist. **Fig. 5** illustriert im unteren Teil an zwei verschiedenen Kippeinstellungen, wie sich das Streifenmuster in seiner Phase verschiebt. Wird außerdem eine Zoomeinstellung verändert, so addieren sich die Effekte gemäß **Fig. 4** und **Fig. 5**, und das Streifenmuster wird sowohl in Ortsfrequenz als auch Phase veränderbar.

[0050] **Fig. 6** zeigt eine Ausführungsform des einstellbaren optischen Elements **20** als adaptives Prisma. Zwei transparente Platten **46a**–**b**, die auch abweichend für sich Prismen sein können, sind über eine elastische Schicht **48** miteinander verbunden. Der effektive Prismenwinkel dieser Anordnung verändert sich, wie in zwei Einstellungen gemäß **Fig. 6a** und **Fig. 6b** illustriert, wenn eine nicht gezeigte Aktorik unter Ausnutzung der Eigenschaften des elastischen Materials der Schicht **48** die beiden Platten **46a**–**b** relativ zueinander verkippt. Das führt dann zu einer Verschiebung oder Phasenänderung des Streifenmusters in der Szenerie **22**.

[0051] Fig. 7 zeigt eine Ausführungsform, in der das Streifenerzeugungselement **18** und das einstellbare optische Element **20** als ein gemeinsames Element ausgebildet sind. In diesem Beispiel handelt es sich um ein deformierbares Zylinderlinsenarray, also ein Zylinderlinsenarray, das aus einem deformierbaren und insbesondere elastischen Material hergestellt ist. Durch Dehnung dieses Zylinderlinsenarrays mit Hilfe einer erneut nicht gezeigten Aktorik, wie durch zwei Dehnstellungen gemäß Fig. 7a und Fig. 7b illustriert, wird der Krümmungsradius der Zylinderlinsen, deren Position und eventuell auch deren gegenseitiger Abstand verändert. So können in der Szenerie **22** sowohl in Ortsfrequenz als auch in Phase einstellbare Streifenmuster erzeugt werden. Vorzugsweise wird auch in dieser Ausführungsform ein Projektionsobjektiv nachgeschaltet, das ein herkömmliches Objektiv, aber auch ein Objektiv mit adaptiven Linsen sein kann. Je nach Ausprägung trägt auch das Projektionsobjektiv noch zur Variation des Streifenmusters bei. Auch die Fokusposition kann bei Bedarf mit Hilfe einer adaptiven Linse des Projektionsobjektivs nachgeführt werden.

[0052] Es sind diverse Kombinationen der vorgestellten Ausführungsformen denkbar. So kann beispielsweise eine laterale Relativbewegung im Streifenprojektor mit einem Zoomobjektiv kombiniert werden, um sowohl Ortsfrequenz als auch Phase des Streifenmusters zu verändern. Ebenso ist denkbar, diese doppelte Variation des Streifenmusters zu erreichen, indem eine Flüssiglinse in dem Zoomobjektiv leicht schräg gestellt wird. Weiterhin können das adaptive Prisma gemäß Fig. 6 oder ein deformierbares Zylinderlinsenarray gemäß Fig. 7 gemeinsam mit gekippten oder verkipptbaren Flüssiglinsen oder einem auf Flüssiglinsen basierenden Zoomobjektiv eingesetzt werden. Diese Aufzählung von Kombinationsmöglichkeiten ist nicht abschließend.

Patentansprüche

1. Streifenprojektor (**12**) zum Erzeugen eines veränderlichen Streifenmusters in einer Szenerie (**22**), der eine Lichtquelle (**16**), ein Streifenerzeugungselement (**18**) zum Erzeugen des Streifenmusters sowie ein einstellbares optisches Element (**20**) zur dynamischen Veränderung des Streifenmusters aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Element (**20**)

- eine adaptive Linse (**32**), wobei die Linse (**32**) als solche oder eine Grenzschicht zwischen zwei nicht mischbaren Medien der Linse (**32**) verformbar ist,
- ein adaptives Prisma aus mindestens zwei Teilelementen, die unter Verformung einer elastischen Zwischenschicht gegeneinander verkipptbar sind, oder
- ein deformierbares Zylinderlinsenarray aufweist, und so mit dem Streifenerzeugungselement (**18**) als gemeinsames Element ausgebildet ist, und dass eine Formänderung des optischen Elements (**20**) eine

Veränderung von Phase und/oder Ortsfrequenz der Streifen des Streifenmusters bewirkt.

2. Streifenprojektor (**12**) nach Anspruch 1, wobei die adaptive Linse (**32**) eine Flüssig- oder Gellinse ist.

3. Streifenprojektor (**12**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die adaptive Linse (**32**) eine Verkippung gegenüber der Projektionsrichtung aufweist.

4. Streifenprojektor (**12**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der ein Zoomobjektiv (**20**) mit der adaptiven Linse (**32**) aufweist.

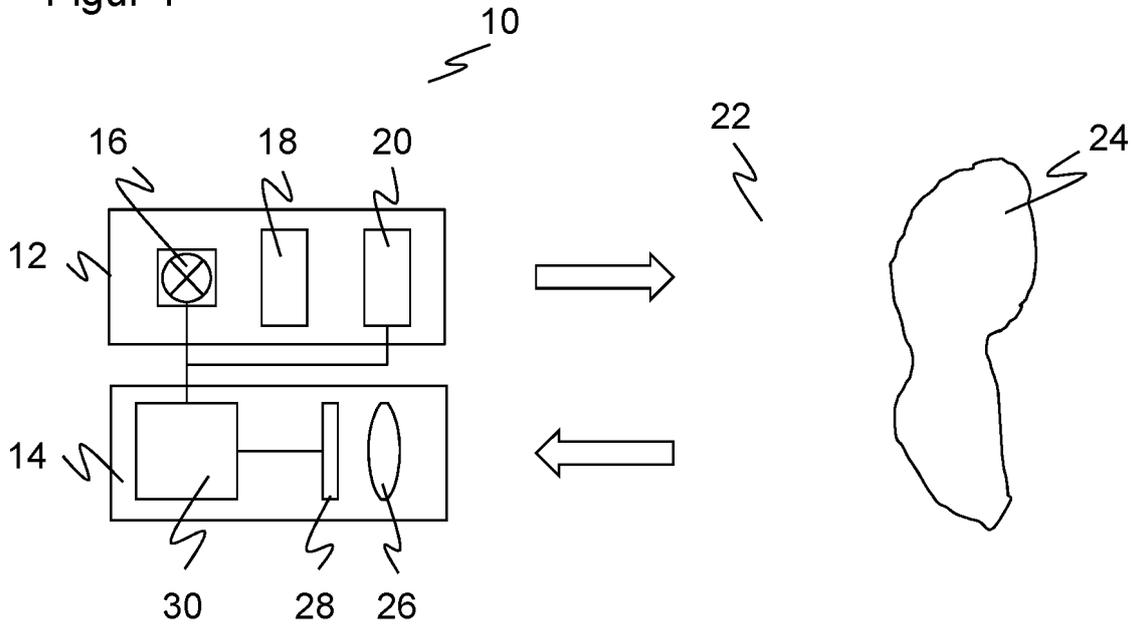
5. Streifenprojektor (**12**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die adaptive Linse (**32**) in Umlaufrichtung segmentierte Ansteuerelemente (**40**, **40b**, **42**) aufweist.

6. 3D-Kamera (**10**) nach dem Streifenprojektionsverfahren mit einem Streifenprojektor (**12**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, einem Bildsensor (**28**) zur Aufnahme von Bildern der mit dem Streifenmuster beleuchteten Szenerie (**22**) sowie mit einer Auswertungseinheit (**30**), die dafür ausgebildet ist, aus dem Streifenmuster und Helligkeitsunterschieden der Bilder dreidimensionale Bilddaten der Szenerie (**22**) zu berechnen.

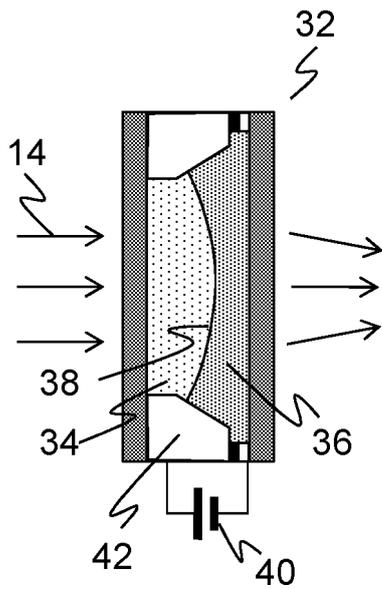
Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

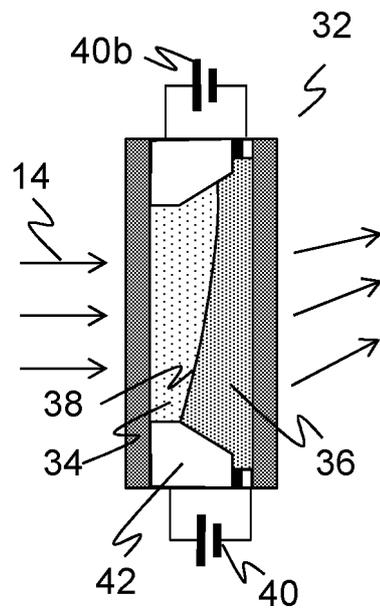
Figur 1



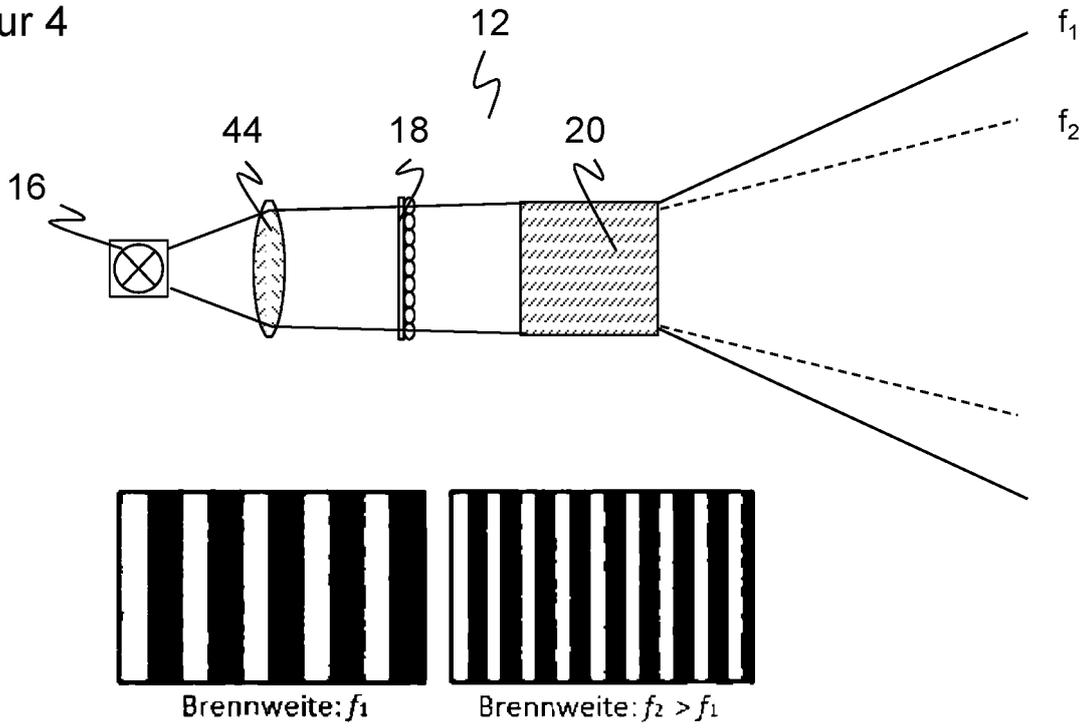
Figur 2



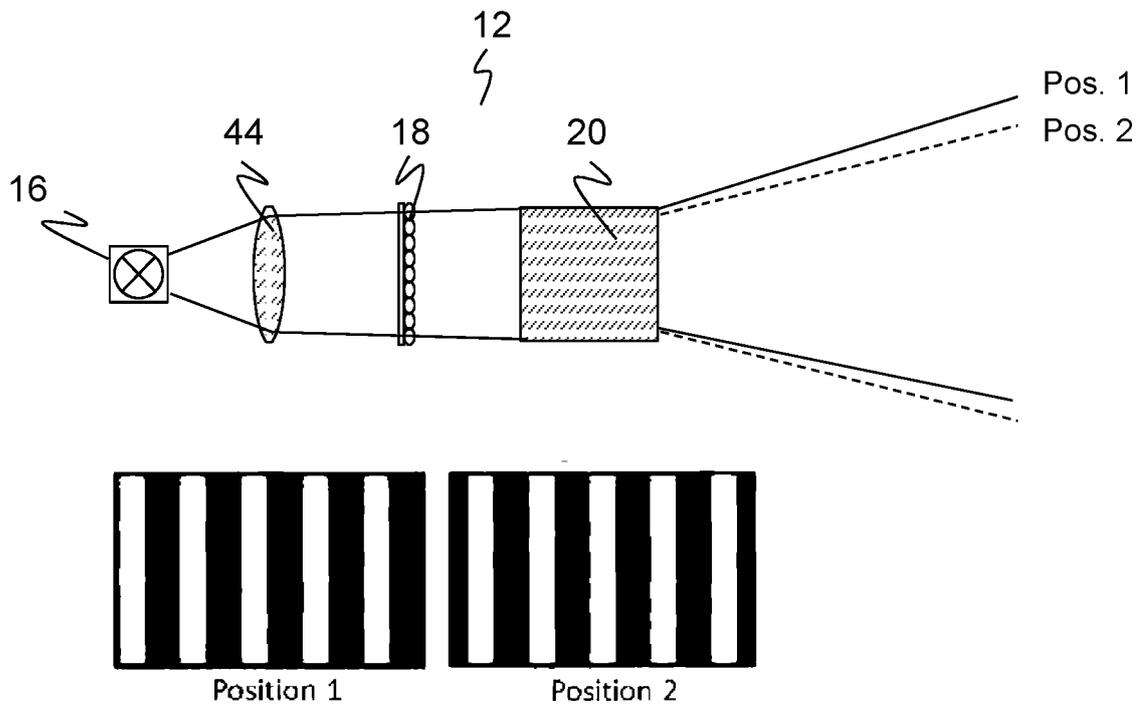
Figur 3



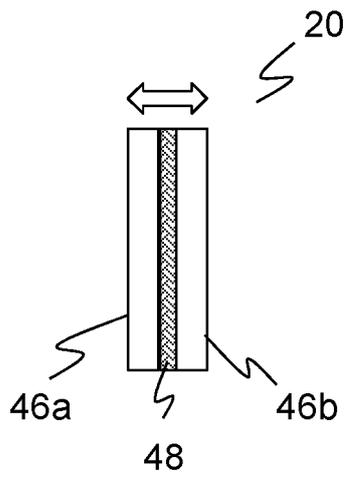
Figur 4



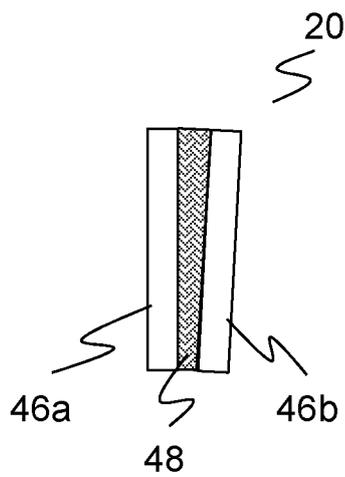
Figur 5



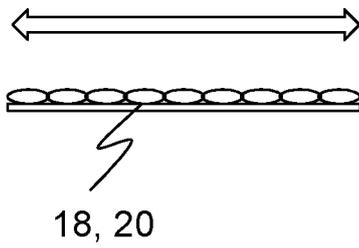
Figur 6a



Figur 6b



Figur 7a



Figur 7b

