(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2021 130 561 A1** 2023.05.25

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 130 561.6**
(22) Anmeldetag: **23.11.2021**
(43) Offenlegungstag: **25.05.2023**

(51) Int Cl.: ***G02B 26/10*** (2006.01)
G02B 27/18 (2006.01)
G02B 27/01 (2006.01)
G09F 9/35 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

(74) Vertreter:
Hertin und Partner Rechts- und Patentanwälte PartG mbB, 10707 Berlin, DE

(72) Erfinder:
Grewe, Adrian, 07745 Jena, DE; Junghans, Marc, 07745 Jena, DE; Kleindienst, Roman, 07745 Jena, DE; Kühl, Siemen, 07745 Jena, DE; Erler, Christoph, 07745 Jena, DE

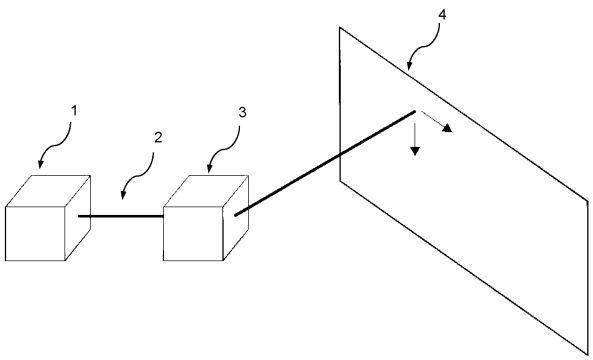
(56) Ermittelter Stand der Technik:
EP 3 267 236 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **PROJEKTOR ODER DISPLAY MIT SCANNENDER LICHTQUELLE UND PIXELIERTEM ARRAY**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft bevorzugt eine Bildgebereinheit mit einer Lichtquelle zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung sowie einem lichtmodulierenden Pixelarray zur Erzeugung eines Bildes durch pixelweise Modulation der auf den Pixelarray einfallenden Beleuchtungsstrahlung. Die Bildgebereinheit ist dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray und zur Erzeugung eines Bildes mittels einer Scaneinheit über das Pixelarray geführt wird. Durch eine Kombination des Scanvorgangs der Beleuchtungsstrahlung über das lichtmodulierende Pixelarray werden zur Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit und des Pixelarray überlagert bzw. kombiniert. Vorteilhaft können sichtbare Specklemuster im resultierenden Bild hierdurch deutlich reduziert werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft bevorzugt eine Bildgebereinheit mit einer Lichtquelle zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung sowie einen lichtmodulierenden Pixelarray zur Erzeugung eines Bildes durch pixelweise Modulation der auf den Pixelarray einfallenden Beleuchtungsstrahlung. Die Bildgebereinheit ist dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray und zur Erzeugung eines Bildes mittels einer Scaneinheit über das Pixelarray geführt wird. Durch eine Kombination des Scanvorgangs der Beleuchtungsstrahlung über das lichtmodulierende Pixelarray werden zur Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit und des Pixelarrays überlagert bzw. kombiniert. Vorteilhaft können sichtbare Specklemuster im resultierenden Bild hierdurch deutlich reduziert werden.

Hintergrund und Stand der Technik

[0002] Die Erfindung betrifft das Gebiet beleuchteter Systeme. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung die Reduzierung von Speckle- und Interferenzmustern in Displays oder Projektoren, welche mittels kohärenter Lichtquellen, insbesondere Lasern beleuchtet werden.

[0003] Die Verwendung von Lasern als Alternative zu weißen Lichtquellen, wie beispielsweise Xenonbogenlampen, führt zu einer Reihe von Vorteilen in der Bildgebung. Insbesondere erlauben Laser ein höhere Farbsättigung, eine stärkere Leistung, verbesserte Effizienz und Kontrast.

[0004] Auch für Anwendungen eines Head-Up-Displays (HUDs) haben sich Laser als vorteilhafte Beleuchtungsquelle etabliert. HUDs dienen der Darstellung von Informationen in einer virtuellen Ebene, zum Beispiel vor der Windschutzscheibe eines Kraftfahrzeugs. Ein Fahrzeuginsasse oder ein Fahrer des Fahrzeugs kann die Information ablesen, ohne den Blick auf das Armaturenbrett senken zu müssen.

[0005] Werden kohärente Lichtquellen, wie beispielsweise Laser, in Projektoren oder Displays verwendet, kann es zu unerwünschten Interferenzerscheinungen, sog. Speckle, kommen. Als Specklemuster werden insbesondere die körnigen Interferenzphänomene bezeichnet, die sich bei hinreichend kohärenter Beleuchtung optisch rauer Objektoberflächen beobachten lassen.

[0006] Beim Auftreffen auf eine raue Oberfläche - beispielsweise beim Auftreffen auf einen Projektionsschirm - wird Laserlicht unter diversen Winkeln reflektiert und es tritt eine zufällige räumliche Interferenz des kohärenten Laserlichts mit sich selbst auf. Die resultierende Interferenz der kohärenten Lichtstrahlung bewirkt konstruktive und destruktive Interferenz. Für das menschliche Auge tritt dieser Bildfehler in Form sichtbarer Körnungen bzw. Specklemuster auf.

[0007] Die Unebenheiten der beleuchteten rauen Oberflächen können auch als Streuzentren betrachtet werden, von denen Kugelwellen unterschiedlicher Phase ausgehen, die im Fernfeld interferieren. Es entsteht eine räumliche Struktur mit zufällig verteilten Intensitätsminima und - maxima. Als dreidimensionale Interferenzerscheinung gibt es longitudinale und transversale Speckle, die von der jeweiligen longitudinalen und transversalen Kohärenz abhängen. Transversale Speckle haben in größerer Entfernung höhere Signifikanz, da sich die einzelnen Kugelwellenanteile als ebene Wellen vereinfachen lassen.

[0008] Die Speckle werden mithin durch lokale Phasendifferenzen innerhalb der Apertur des optischen Systems verursacht, welche zwangsläufig durch die Oberflächenrauheit einzelner Flächen im optischen System oder auch durch die Rauheit des Projektionsschirms entstehen. Ein Specklemuster ist daher ortsfest und charakteristisch für einen optischen Pfad durch das System.

[0009] Im Stand der Technik gibt es eine Reihe von Ansätzen, um die nachteilige Wirkung von Specklemustern auf die Bildqualität zu verringern.

[0010] In US 5,272,473 wird ein Bildgebungssystem mit kohärenter Lichtquelle vorgeschlagen, bei dem ein Displaybildschirm mit einem Wandler zur Erzeugung akustischer Oberflächenwellen gekoppelt wird, um das Auftreten von Speckle zu reduzieren. Die Implementation ist jedoch aufwendig und kann zudem nicht auf beliebige Displays oder Projektionsanordnungen übertragen werden.

[0011] Aus US 8,262,235 B2 ist ein Laserprojektor bekannt, welcher eine Oszillationsvorrichtung umfasst, bei der mindestens ein optisches Element des optischen Projektionssystems periodisch entlang der optischen Achse des Lichtes oszilliert wird. Das oszillierende Element im Laserprojektor soll das Specklemuster auf dem Bildschirm so weit reduzieren, dass es mit bloßem Auge nicht mehr erkannt werden kann. Die oszillierende Änderung entlang der optischen Achse kann jedoch die Bildqualität mindern.

[0012] US 9,541,760 B2 offenbart ein Head-up-Display für ein Fahrzeug, wobei das Head-up-Display einen Laser und ein Scanning-System aufweist, mit denen ein in einem Sichtfeld eines Fahrers des Fahrzeugs darzustellendes Bild aus einzelnen Punkten punktweise erzeugt wird. Zu Vermeidung uner-

wünschter Helligkeitsunterschiede wird der Laser derart gewählt, dass die Laserpunkte auf der Projektionsfläche so klein sind, dass diese nach der Vergrößerung des darzustellenden Bildes in der virtuellen Bildebene immer noch kleiner sind als das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges.

[0013] Aus US 4,035,068 und US 5,313,479 ist es bekannt, zur Reduzierung von Speckle beweglichen Diffusoren einzusetzen, um durch eine lokale Phasenmodulation Specklemuster über die Integrationszeit des Beobachters/Detektors zu mitteln und deren Sichtbarkeit zu reduzieren.

[0014] WO 97/02507 schlägt vor, zur Verringerung der in einem Bild beobachtbaren Specklemuster in einem Laserprojektor ein Specklefeld, welches zwischen dem Objektpunkt und einem Bildpunkt liegt, um eine optische Achse zu drehen, um über mehrere unkorrelierte Felder zu mitteln.

[0015] US 2008/0304128 A1 betrifft ein Laserprojektionssystem bei dem ein aufgeweiteter Laserstrahl auf einen zweidimensionalen Lichtmodulator, u.a. ein LCD-Panel, geführt wird, welcher zur Erzeugung eines Bildes auf einer Projektionsfläche den aufgeweiteten Laserstrahl pixelweise moduliert. Um die Sichtbarkeit von Speckle im projizierten Bild zu reduzieren, wird dem aufgeweiteten Laserstrahl ein winkelabhängiges Scanning eingeprägt. Zu diesem Zweck wird ein beweglicher Spiegel bereitgestellt, dessen Oberfläche auf den Eingang eines Multi-Moden-Wellenleiters abgebildet wird, sodass der Laserstrahl am Eingang des Wellenleiters unterschiedliche Winkel aufweist, welche nach dessen Aufweitung auf das LCD-Panel und Projektion auf den Projektionsschirm zu einer Mittelung von Specklemustern führt.

[0016] In Bezug auf die Ansätze des Standes der Technik besteht ein Bedarf an Verbesserung. Insbesondere können die Ansätze zur Reduktion der Specklemuster gleichzeitig zu einer Verminderung der Bildqualität führen oder sind in Bezug auf die Umsetzung aufwendig. Es wäre daher wünschenswert eine Vorrichtung bereitzustellen, welche mit einfachen Mitteln eine wirksame Specklereduktionen erlaubt, ohne die Bildqualität zu beeinträchtigen.

Aufgabe der Erfindung

[0017] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Bildgebereinheit ohne die Nachteile des Standes der Technik bereitzustellen. Insbesondere war es eine Aufgabe der Erfindung eine Bildgebereinheit bereitzustellen, welche mit einfachen, konstruktiven Mitteln eine wirksame Reduktion von Specklemustern erlaubt und gleichzeitig eine ausgezeichnete Bildqualität gewährleistet.

Zusammenfassung der Erfindung

[0018] Gelöst wird die Aufgabe durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform betrifft die Erfindung eine Bildgebereinheit mit einer Lichtquelle zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung sowie einem lichtmodulierenden Pixelarray zur Erzeugung eines Bildes durch pixelweise Modulation der auf den Pixelarray einfallenden Beleuchtungsstrahlung, wobei die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray und zur Erzeugung eines Bildes mittels einer Scaneinheit über das Pixelarray geführt wird, um eine Sichtbarkeit von Specklemustern im erzeugten Bild zu reduzieren.

[0020] Hierbei wird vorteilhaft ausgenutzt, dass bei der Erzeugung eines Bildpunktes Specklemuster, welche von der Scaneinheit und dem lichtmodulierenden Pixelarray resultieren, überlagert werden und somit höherfrequente vorzugsweise nicht mehr sichtbare Specklemuster im erzeugten Bild darstellen.

[0021] Die erfindungsgemäße Bildeinheit erlaubt es vorteilhaft mit einfachen Mitteln die wahrnehmbaren Specklemuster in einer Display- oder Projektionsebene zur reduzieren, ohne dass die Bildqualität vermindert würde.

[0022] Erfindungsgemäß wird hierbei ausgenutzt, dass sowohl eine Scaneinheit als auch ein lichtmodulierendes Pixelarray für unterschiedliche Scanpositionen bzw. Pixelzustände charakteristische Specklesignaturen aufweisen. Insbesondere wird jeder Pixel eines lichtmodulierenden Pixelarrays eine spezifische Specklesignatur aufweisen, welche von der Oberflächenbeschaffenheit und/oder dem Ansteuerungszustand (beispielsweise einer Kristallausrichtung im Falle eines LCD (engl. liquid crystal display)) abhängt. Ebenso werden sich auch die von einer Scaneinheit erzeugten Speckle für unterschiedliche Scanpositionen unterscheiden. Im Falle einer spiegelbasierten Scaneinheit werden die erzeugten Specklemuster neben der Position des Laserstrahls auf der Spiegelfläche ebenso von der unterschiedlichen Winkelabstrahlung abhängen, sodass ein Specklemuster im Lichtstrahl mit der Scanposition variiert.

[0023] Durch eine Kombination eines Scanvorgangs eines Lichtstrahles über ein Pixelarray werden zur Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit und des Pixelarrays überlagert bzw. kombiniert. In **Abb. 2a)** - **Abb. d**) ist dies beispielhaft illustriert. Während ein von der Scaneinheit geführter

Beleuchtungsstrahl einen Pixel des lichtmodulierenden Pixelarrays überstreicht, werden in Abhängigkeit der Scanposition verschiedene Specklemuster, welche von der Scaneinheit resultieren mit einem für den jeweiligen Pixel charakteristischen Specklemuster überlagert. Ein resultierender Bildpunkt ist vorteilhaft durch ein gemitteltes Specklemuster mit höherer räumlicher Frequenz gekennzeichnet, welches für einen Betrachter nicht oder nur in reduziertem Maße wahrnehmbar ist.

[0024] Vorteilhaft nutzt die erfindungsgemäße Bildgebereinheit mithin inhärente Variationen der Komponenten aus, um im Ergebnis ein Bild mit hoher Qualität ohne störende Helligkeits- oder Interferenzmuster zu erzeugen. Die Lichtquelle selbst kann hierbei eine hohe Kohärenz aufweisen - wie diese beispielweise für holographische Anwendungen wünschenswert ist - ohne, dass störende Interferenzmuster (Speckle) wahrnehmbar sind. Zur Erzeugung einer bereits substanziellen Reduktion der wahrnehmbaren Specklemuster ist es weder notwendig, die Kohärenz des Lichtstrahles zu vermindern noch den Beleuchtungsstrahl zusätzlich abzulenken, zu (de-)fokussieren oder zu rotieren. Stattdessen erfolgt die Speckle-Reduktion durch den bilderzeugenden Scanprozess auf einem Pixelarray - wie vorgehend beschrieben - selbst, ohne dass es zu einer Verminderung der Bildqualität kommt.

[0025] In dieser Hinsicht stellt die Erfindung eine Abkehr von bekannten Ansätzen der Technik dar. Im Falle der Verwendung von lichtmodulierenden Pixelarrays ist es im Stand der Technik üblich diese mittels aufgeweiteter, möglichst homogener Beleuchtungsstrahlen zu illuminieren. Die Erzeugung des Bildes erfolgt durch eine pixelweise Modulation des aufgeweiteten Beleuchtungsstrahles, welcher den gesamten Pixelarray möglichst homogen beleuchtet.

[0026] Erfindungsgemäß ist es stattdessen bevorzugt vorgesehen, dass beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray die Beleuchtungsstrahlung eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray. Bevorzugt kann die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray beispielsweise eine laterale Ausdehnung aufweisen, welche um einen Faktor 5, 10, 100 oder mehr kleiner ist die laterale Ausdehnung des Pixelarrays. Hierdurch wird gewährleistet, dass im Scanvorgang der Beleuchtungsstrahlung über einen einzelnen Pixel eine Vielzahl von Specklemustern zur Erzeugung eines Bildpunktes generiert (und überlagert) werden. Für die Beleuchtungsstrahlung ist es mithin bevorzugt, dass diese gebündelt in Form eines Strahlenbündels auf den Pixelarray geführt wird. Die Begriffe Beleuchtungsstrahlung, Beleuchtungsstrahl oder Strahlenbündel werden bevorzugt synonym verwandt. Durch optische Komponenten wie z.B. Linsen kann die Beleuchtungsstrahlung entsprechend kollimiert oder fokussiert werden.

[0027] Die Specklereduktion kann vorteilhaft für verschiedenste Lichtquellen erreicht werden.

[0028] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Beleuchtungsstrahlung eine kohärente Strahlung und/oder die Lichtquelle ein Laser. Kohärenz bezeichnet bevorzugt die Eigenschaft von optischen Wellen, wonach es zwischen zwei Wellenzügen eine feste Phasenbeziehung gibt. Als Folge der festen Phasenbeziehung zwischen den beiden Wellenzügen können räumlich stabile Interferenzmusters entstehen. Für holographische Anwendungen ist eine kohärente Beleuchtungsstrahlung wünschenswert, da nur auf diese Weise eine Rekonstruktion der Intensität und Phase des Wellenfeldes möglich ist. Nachteilig an einer kohärenten Bestrahlung ist das Auftreten unerwünschter Interferenzmuster bzw. Specklemuster. Kohärenz kann bevorzugt auch als Interferenzfähigkeit verstanden werden.

[0029] Hinsichtlich der Kohärenz kann zwischen einer zeitlichen und räumlichen Kohärenz unterschieden werden. Eine räumliche Kohärenz stellt bevorzugt ein Maß für eine feste Phasenbeziehung zwischen Wellenzügen senkrecht zur Ausbreitung dar und ist beispielsweise für parallele Lichtstrahlen gegeben. Eine zeitliche Kohärenz stellt bevorzugt eine feste Phasenbeziehung zwischen Wellenzügen entlang der Ausbreitungsrichtung dar und ist insbesondere für schmalbandige, vorzugsweise monochromatische Lichtstrahlen gegeben.

[0030] Die Kohärenzlänge bezeichnet bevorzugt einen maximalen Weglängen- oder Laufzeitunterschied, den zwei Lichtstrahlen von einem Ausgangspunkt aufweisen, damit bei ihrer Überlagerung noch ein (räumlich und zeitlich) stabiles Interferenzmuster entsteht. Die Kohärenzzeit bezeichnet bevorzugt die Zeit, die das Licht benötigt, um eine Kohärenzlänge zurückzulegen.

[0031] Laser können Kohärenzlängen im Mikrometerbereich, Meterbereich bis hin zum Kilometerbereich aufweisen. Typische Bereiche für die Verwendung von Lasern als Lichtquellen in Bildgebereinheiten sind beispielweise zwischen 1 m - 100 m, wodurch sich die Laser einerseits hervorragend für holographische Abbildungen eignen und anderseits zu unerwünschten (Laser-)Specklemustern führen können.

[0032] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Lichtquelle daher ein Laser. Besonders bevorzugt handelt es sich um einen schmalbandigen, vorzugsweise monochromatischen Laser mit einer bevorzugten Wellenlänge im sichtbaren Bereich (vorzugsweise 400 nm bis 780 nm).

[0033] Im Sinne der Erfindung bezeichnen Laser bevorzugt Lichtquellen, welche Laserstrahlung aussenden, nicht abschließende Beispiele umfassen Festkörperlaser, vorzugsweise Halbleiterlaser bzw. Laserdioden, Gaslaser oder Farbstofflaser.

[0034] Auch andere Lichtquellen, vorzugsweise kohärente Lichtquellen, können bevorzugt Verwendung finden. Bevorzugt sind schmalbandige Lichtquellen, vorzugsweise monochromatische Lichtquellen, wozu beispielsweise Leuchtdioden (LEDs), optional in Kombination mit Monochromatoren gehören. LEDs weisen zumeist im Vergleich zu Lasern geringere Kohärenzlängen im Bereich von Millimetern oder Mikrometern auf.

[0035] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Bildgebereinheit zwei oder mehr Lichtquellen, vorzugweise zwei oder mehr monochromatische Laser und/oder eine polychromatische Lichtquelle mit einer Beleuchtungsstrahlung in zwei oder mehr Wellenlängenbereichen. Die von den zwei oder mehr Lichtquellen ausgesendete Beleuchtungsstrahlung wird bevorzugt auf einer gemeinsamen optischen Achse und mittels derselben Scaneinheit über das lichtmodulierende Pixelarray geführt. Es ist aber auch möglich, dass zwei oder mehr Lichtquellen über separate Scaneinheiten geführt werden.

[0036] Für eine farbliche Bildgebung kann es beispielsweise bevorzugt sein, eine Beleuchtungsstrahlung im roten Wellenlängenbereich (vorzugsweise 630 nm - 700 nm), im grünen Wellenlängenbereich (vorzugsweise 500 nm - 560 nm) und im blauen Wellenlängenbereich (vorzugsweise 450 nm - 475 nm) bereitzustellen.

[0037] Besonders bevorzugt wird zu diesem Zweck ein Lasersystem mit drei monochromatischen Lasern oder einem polychromatischen Laser mit einer Laseremission jeweils im roten, grünen oder blauen (RGB) Bereich bereitgestellt.

[0038] Zur Steuerung von Komponenten der Bildgebereinheit, wie des lichtmodulierenden Pixelarrays und/oder der Scaneinheit, umfasst die Bildgebereinheit bevorzugt eine Steuereinheit.

[0039] Die Steuereinheit ist bevorzugt geeignet zu diesem Zweck elektrische Steuersignale an die Komponenten auszugeben und/oder von diesen zu empfangen. Ohne Beschränkung kann die Steuereinheit beispielsweise einen Mikroprozessor, einen Mikrocomputer, eine integrierte Schaltung (IC), ein ASIC (engl. application-specific integrated circuit, deutsch anwendungsspezifische integrierte Schaltung), eine programmierbare logische Schaltung (PLD), ein Field Programmable Gate Array (FPGA), eine speicherprogrammierbare Steuerung und/oder sonstige elektronische Schaltungselemente, z. B. Digital-Analog-Wandler, Analog-Digital-Wandler, Speicher und/oder (Signal-) Verstärker, umfassen.

[0040] Der Fachmann erkennt, dass bevorzugte Verfahrensschritte, welche im Zusammenhang mit der Bildgebereinheit zur Erzeugung eines Bildes offenbart werden, bevorzugt von der Steuereinheit vorgenommen werden können. Bevorzugt kann zu diesem Zweck auf der Steuereinheit oder einer mit dieser verbundenen externen Datenverarbeitungseinheit eine entsprechende Software und/oder Firmware installiert vorliegen.

[0041] Ein Führen der Beleuchtungsstrahlung bzw. des Lichtstrahles über das Pixelarray erfolgt bevorzugt mithilfe des Scaneinheit.

[0042] Bevorzugt ist die Scaneinheit (bzw. eine mit dieser verbundenen Steuereinheit) dafür eingerichtet, die Beleuchtungsstrahlung zeilen- oder spaltenweise über das gesamte Pixelarray zu führen. Die Scanfrequenz der Scaneinheit bezeichnet bevorzugt die Frequenz, mit der die Scaneinheit den gesamten Pixelarray abtastet bzw. die Frequenz, mit welcher die Beleuchtungsstrahlung ein und dasselbe Pixel überstreicht. Eine Scanfrequenz von 25 Hz meint mithin bevorzugt, dass die Scaneinheit 25 Mal pro Sekunde das gesamte Pixelarray abtastet bzw. ein bestimmtes Pixel beim vorzugsweise zeilen- oder spaltenweisen Abtasten 25 Mal pro Sekunde überstreicht.

[0043] In bevorzugten Ausführungsformen beträgt die Scanfrequenz mehr als 20 Hz, bevorzugt mehr als 25 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz oder mehr.

[0044] Für die Scaneinheit kommen verschiedene System in Betracht.

[0045] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Scaneinheit einen oder mehrere Scanspiegel, welche bevorzugt um eine oder mehrere Achsen verkippbar vorliegen. Beispielsweise kann die Scaneinheit einen ersten Scanspiegel umfassen, wobei der erste Scanspiegel um eine erste Achse verkippbar ist, um die Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixel längs einer ersten Richtung (z.B. horizontal) zu führen und einen zweiten Scanspiegel, welcher um eine zweite Achse verkippbar ist, um die Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixel längs einer zweiten Richtung (z.B. vertikal) zu führen. Bevorzugt kann es sich bei dem Scanspiegel um einen Galvanometerspiegel (beispielsweise mit kardanischer Aufhängung) oder einen mikroelektromechanischen Spiegel (MEMS) handeln. Für die Scaneinheit kann ein einzelner Scanspiegel (mit Verkippung in mindestens zwei Achsen) oder eine Kombination von zwei oder mehr Scanspiegeln Einsatz finden.

[0046] In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Scaneinheit einen oder mehrere Linsen und/oder ein Linsenarray, mittels derer eine Bewegung des Beleuchtungsstrahles auf dem Pixelarray steuerbar ist. Zu dem Zweck kann mindestens eine der Linsen translatierbar und/oder rotierbar vorliegen. Ebenso kann die Scaneinheit als strahlablenkende Elemente Prismen und/oder Wedges aufweisen.

[0047] In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Scaneinheit eines oder mehrere diffraktive optische Elemente, mittels derer eine Bewegung der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray steuerbar ist. Eine beispielhafte Scaneinheit umfassend diffrakte optische Elemente, welche als zwei dezentrierte diffraktive Fresnel-Linsen mit entgegengesetzten optischen Stärken ausgebildet sind, wird in Bawart et al. offenbart (Bawart et al. Dynamic beam-steering by a pair of rotating diffractive elements Optics Communications 460 (2020) 125071).

[0048] Auch andere Scansysteme sind denkbar. Beispielsweise kann die Verwendung eines akustooptischen Deflektors (AOD) bevorzugt sein. Ebenso können die verschiedenen Techniken selbstverständlich kombiniert werden.

[0049] Bevorzugt ist das lichtmodulierende Pixelarray (bzw. eine mit diesem verbundene Steuereinheit) dafür eingerichtet, eine Beleuchtungsstrahlung, welche auf das Pixelarray einfällt, pixelweise zu modulieren. Bei der Modulation handelt es sich bevorzugt um eine Intensitäts- und/oder Phasenmodulation der Beleuchtungsstrahlung. Die Modulation erfolgt pixelweise dahingehend, dass bevorzugt jeder Pixel des lichtmodulierenden Pixelarrays ansteuerbar ist, um einen Modulationszustand, d.h. eine definierte Intensitäts- und/oder Phasenmodulation für den Bereich des Pixels einzustellen. Der Pixelarray ist vorzugsweise ein zweidimensionaler, flächiger Lichtmodulator.

[0050] In bevorzugten Ausführungsformen weist der Pixelarray eine Vielzahl von Pixeln, vorzugsweise 100, 200, 500, 1000. 5000, 10 000, 50 000 100 000, 500 000, 1 000 000 oder mehr Pixel auf.

[0051] Vorzugsweise sind die Pixel in einer Ebene bzw. Fläche angeordnet, welche vorzugsweise senkrecht zur optischen Achse steht, entlang deren sich die Beleuchtungsstrahlung im Wesentlichen ausbreitet.

[0052] Begriffe wie im Wesentlichen, ungefähr, etwa, ca. etc. beschreiben bevorzugt einen Toleranzbereich von weniger als ± 20%, bevorzugt weniger als ± 10%, besonders bevorzugt weniger als ± 5 %, und insbesondere weniger als ± 1% und umfassen stets den exakten Wert. Ähnlich beschreibt bevorzugt Größen, die ungefähr gleich sind. Teilweise beschreibt bevorzugt zu mindestens 5 %, besonders bevorzugt zu mindestens 10 %, und insbesondere zu mindestens 20 % oder zu mindestens 40 %.

[0053] Die Vielzahl der Pixel sind in dem Pixelarray vorzugsweise matrixförmig angeordnet, besonders bevorzugt kann eine zeilen- bzw. spaltenweise Anordnung der Pixel sein, welche beispielsweise zu einem rechteckigen Pixelarray mit einer horizontalen und vertikalen Ausdehnung führt. Ebenso sind auch andere Anordnungen der Pixel in dem Pixelarray, beispielsweise auf konzentrischen Kreisen denkbar.

[0054] Die Pixel können vorzugsweise eine rechteckige, quadratische oder rautenförmige Form aufweisen, aber auch andere zwei- oder dreidimensionale Formen sind denkbar; z. B. kreisförmig, ovalförmig, dreieckig, polygonal etc.

[0055] Die Arrayfrequenz des Pixelarray bezeichnet bevorzugt die Frequenz, mit der das Pixelarray die Zustände sämtlicher Pixel des Pixelarrays zur Erzeugung eines Bildes ändern kann bzw. die Frequenz, mit welcher ein Zustand eines einzelnen Pixels des Pixelarrays zur Erzeugung des Bildes geändert werden kann. Die Zustände der Pixel eines Pixelarrays können vorzugsweise simultan geändert werden. Es kann auch bevorzugt sein, die Zustände der Pixel einer Zeile und/oder Spalte des Pixelarrays simultan zu ändern oder die Zustände der einzelnen Pixel sukzessive zu ändern. Während im ersten Fall die Arrayfrequenz der Frequenz entspricht, mit welcher der Zustand sämtlicher Pixel simultan angesteuert wird, entspricht die Arrayfrequenz in den beiden letzteren Fällen jener Frequenz, mit welcher die Zustände von Pixeln derselbe Zeile/Spalte geändert oder jener Frequenz, mit welche der Zustand eines einzelnen Pixels zur Erzeugung des Bildes geändert wird.

[0056] In bevorzugten Ausführungsformen beträgt die Arrayfrequenz mehr als 20 Hz, bevorzugt mehr als 25 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz oder mehr.

[0057] Im Sinne der Erfindung bezeichnet die Bildwiederholfrequenz bevorzugt jene Frequenz, mit welcher mittels der Bildgebereinheit ein Bild pro Sekunde erzeugt werden kann.

[0058] Die Bildwiederholfrequenz entspricht bevorzugt dem Minimum aus Scanfrequenz und Arrayfrequenz. Bevorzugt ist die Scanfrequenz gleich oder ein (ganzzahliges) Vielfaches der Arrayfrequenz und/oder die Arrayfrequenz gleich oder eine (ganzzahliges) Vielfaches der Scanfrequenz.

[0059] Die Erzeugung eines Bildes mittels der Bildgebereinheit soll im Folgenden anhand eines nicht beschränkenden Beispiels verdeutlicht werden, bei welchem die Scanfrequenz gleich der Arrayfrequenz ist.

[0060] Beispielsweise kann es zur Erzeugung eines Bildes vorgesehen sein, dass der Zustand sämtlicher Pixel des Pixelarrays simultan mit einer Arrayfrequenz von 30 Hz geändert wird. Die Scaneinheit führt die Beleuchtungsstrahlung ebenfalls mit einer Scanfrequenz von 30 Hz über sämtliche Pixel des Pixelarray. D.h. die Scaneinheit tastet den gesamten Pixelarray mit einer Frequenz von 30 Hz ab bzw. überstreicht die Beleuchtungsstrahlung entsprechend ein und dasselbe Pixel mit einer Frequenz von 30 Hz. Der Zustand der jeweiligen Pixel, welche von der Beleuchtungsstrahlung mit einer Frequenz von 30 Hz überstrichen werden, ändert sich ebenfalls mit einer Arrayfrequenz von 30 Hz. Mithin wird ein Bildpunkt des zu erzeugenden Bildes mit einer Bildwiederholfrequenz von 30 Hz erzeugt bzw. definiert. Der Bildpunkt wird hierbei vorzugsweise während eines Scanvorgangs für eine Dauer erzeugt, während die Beleuchtungsstrahlung einen korrespondierenden Pixel des Pixelarrays bestrahlt bzw. diesen überstreicht. Mit jedem erneuten Scanvorgang kann in Abhängigkeit einer etwaigen Zustandsänderung der Pixel am Pixelarray ein veränderter Bildpunkt erzeugt bzw. definiert werden. Ist die Bildwiederholfrequenz wie im vorliegenden Fall hoch genug, führt die begrenzte Integrationszeit des Auges dazu, dass die sukzessive erzeugten Bildpunkte als kontinuierliche Bilder wahrgenommen werden.

[0061] Ein derartige Bilderzeugung durch Kombination einer Scaneinheit und eines Pixelarrays stellt eine Abkehr von bekannten Ansätzen des Standes der Technik dar, bei denen beispielsweise ein lichtmodulierenden Pixelarray mit einer aufgeweiteten im Wesentlichen homogenen Beleuchtungsstrahlung bestrahlt wird. In jenen Fällen ist die Bildwiederholfrequenz durch die Arrayfrequenz des Pixelarrays vorgegeben. Erfahren die Pixel eines Pixelarrays eine Zustandsänderung mit einer Frequenz von 30 Hz, wird ein entsprechendes Bild ebenfalls mit 30 Hz erzeugt. Bei einer aufgeweiteten im Wesentlichen homogenen Beleuchtungsstrahlung wird jeder Pixel dauerhaft bestrahlt.

[0062] Die erfindungsgemäße Einführung einer zusätzlichen Scaneinheit mit der die jeweiligen Pixel nicht dauerhaft bestrahlt werden, sondern bei dem die Beleuchtungsstrahlung in sich wiederholenden Scanvorgängen über den Pixelarray geführt wird, liegt für einen Fachmann nicht nahe, sondern erscheint vordergründig redundant.

[0063] Wie eingangs erläutert, wurde erfindungsgemäß jedoch erkannt, dass durch die Durchführung eines Scanvorgangs über das Pixelarray zur Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit und des Pixelarrays überlagert bzw. kombiniert werden. Während ein von der Scaneinheit geführter Beleuchtungsstrahl einen Pixel des lichtmodulierenden Pixelarrays überstreicht, werden in Abhängigkeit der Scanposition verschiedene Specklemuster, welche von der Scaneinheit resultieren, mit einem für den jeweiligen Pixel charakteristischen Specklemuster überlagert. Ein resultierender Bildpunkt ist vorteilhaft durch ein gemitteltes Specklemuster mit höherer räumlicher Frequenz gekennzeichnet, welches für einen Betrachter nicht oder nur in reduziertem Maße wahrnehmbar ist. Erfindungsgemäß können verschiedene lichtmodulierende Pixelarrays in Betracht kommen.

[0064] In einer bevorzugten Ausführungsform ist das lichtmodulierende Pixelarray ein Flüssigkristalldisplay (engl. liquid crystal display LCD) und/oder eine Spiegelmatrix, vorzugsweise ein Mikrospiegelarray, beispielsweise ein Digital Micromirror Device (DMD). Auch andere Flächenlichtmodulator (engl. spatial light modulator SLM) können zum Einsatz kommen.

[0065] Im Stand der Technik ist eine Vielzahl von Flüssigkristalldisplays bekannt, welche für die Erfindung eingesetzt werden können.

[0066] Im Allgemeinen basieren Flüssigkristalldisplays darauf, dass Flüssigkristalle in Abhängigkeit von einer angelegten Spannung die Polarisationsrichtung von Licht beeinflussen können. Durch eine pixelweise Modulation der Kristallorientierung kann somit eine polarisierte Beleuchtungsstrahlung pixelweise transmittiert oder absorbiert werden, um eine Bild zu erzeugen. Beispielsweise kann das polarisierte Licht in einem Zustand des Flüssigkristalls um 90 Grad gedreht sein und in einem anderen Zustand nicht gedreht werden. Um ein LCD mit einem absorbierenden Zustand oder einem durchlässigen Zustand zu schaffen, kann auf jeder Seite des Flüssigkristalls ein Polarisator vorgesehen sein, so dass die Polarisationswinkel der Polarisatoren um 90 Grad versetzt sind.

[0067] Ein Flüssigkristalldisplay kann beispielsweise eine transparente Elektrode umfassen, die auf den Innenseiten von zwei Substraten in verschiedenen Anzeigemodi installiert ist, z.B. in einem twist-nematischen (TN) Anzeigemodus, in dem Flüssigkristallmoleküle mit positiver (+) dielektrischer Isotropie parallel zu den Substraten angeordnet und mit einer Winkeldifferenz von fast 90 Grad zwischen den Substraten verdreht sind, oder einem super twist-nematischen (STN) Anzeigemodus, in dem die Flüssigkristallmoleküle ähnlich wie in einem TN-Anzeigemodus angeordnet, aber mit einer Winkeldifferenz von 180 bis 270 Grad zwischen den Substraten verdreht sind. Auch andere Anzeigetypen wie Triple Super-Twisted Nematic etc. sind denkbar. Erfindungsgemäß können eine Vielzahl verschiedener Flüssigkristalldisplays zum Einsatz kommen.

[0068] Ein Mikrospiegelarray ist vorzugsweise ein mikroelektromechanisches System (MEMS) umfassend eine Vielzahl von Mikrospiegeln zur dynamischen Modulation von Licht. Bei einer (Kipp-)Spiegelmatrix bzw. einem Mikrospiegelarray, vorzugsweise einem DMD, werden die Pixel durch die einzelnen (Mikro-)Spiegel gebildet, welche vorzugsweise diskrete Auslenkungen annehmen können. Die einzelnen Mikrospiegel der (Kipp-)Spiegelmatrix können vorzugsweise elektrostatisch angesteuert werden und insbesondere zwischen mindestens zwei (Kipp-)Zuständen wechseln, wobei bevorzugt ein Zustand eine Ablenkung der Beleuchtungsstrahlung zu einem Bildpunkt auf dem zu erzeugenden Bild bewirkt und ein anderer Zustand eine Ablenkung der Beleuchtungsstrahlung außerhalb des zu erzeugenden Bildes bewirkt, beispielsweise auf einen Absorber.

[0069] DMDs können unterschiedlich konstruiert sein. Beispielsweise können die Spiegel mit einem darunter liegenden Joch verbunden sein, wobei das Joch wiederum über zwei dünne, mechanisch nachgiebige Torsionsscharniere mit Stützpfosten verbunden ist, welche auf dem darunter liegenden Substrat befestigt sind. Elektrostatische Felder, die zwischen einer darunter liegenden Speicherzelle (z.B. SRAM), dem Joch und dem Spiegel entstehen, können eine positive oder negative Kipprichtung bewirken.

[0070] Vorteilhaft führt die inhärente Variation der Specklesignaturen der bevorzugt genannten Scaneinheiten und Pixelarrays zu einer deutlichen Reduktion von Speckle. Ein bevorzugter Parameter, um die Speckle-Reduktion anwendungsabhängig zu reduzieren, stellt zudem die laterale Ausdehnung des Beleuchtungsstrahles auf dem Pixelarray dar.

[0071] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray eine (maximale) laterale Ausdehnung auf, welche um einen Faktoren 5, 10, 100 oder mehr kleiner ist als eine (minimale) laterale Ausdehnung des Pixelarrays.

[0072] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray eine (maximale) laterale Ausdehnung von weniger als 50, 30, 20, 10, 5, 4, 3, 2 oder weniger als einem Pixel auf. Es kann auch bevorzugt sein, dass die maximale laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray beispielsweise nur einen Faktor 0,8; 0,5; 0,2 oder weniger der Größe eines Pixels beträgt. Ebenso kann es auch bevorzugt sein, dass die maximale laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray mehr als ein Pixel oder mehr als 2, 3, 4, 5, 10 oder mehr Pixel beträgt.

[0073] In bevorzugten Ausführungsformen kann die maximale laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray eine Größe aufweisen, welche zwischen einem 0,2fachen und 50fachen der Größe eines Einzelpixels beträgt.

[0074] Für die Beleuchtungsstrahlung ist es bevorzugt, dass diese gebündelt in Form eines Strahlenbündels auf den Pixelarray geführt wird. Die laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray ist bevorzugt durch die Halbwertsbreite (Full Width Half Maximum, FWHM) der Lichtintensität gegeben. Die laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf das Pixelarray entspricht somit bevorzugt der Spotgröße (FHMW) der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray.

[0075] Die laterale Ausdehnung des Pixelarrays bezeichnet bevorzugt eine minimale Ausdehnung entlang der Ebene des flächigen Pixelarrays (gemessen durch den Flächenschwerpunkt). Im Falle eines quadratischen Pixelarrays entspricht die minimale laterale Ausdehnung bevorzugt einer Länge des Quadrates. Im Falle einer Rechteckform des Pixelarrays entspricht die minimale laterale Ausdehnung bevorzugt der kleineren der beiden Längen des Rechteckes. Für einen kreisförmigen Pixelarray ist die laterale Ausdehnung bevorzugt durch den Durchmesser gegeben.

[0076] Die vorgenannten bevorzugten Größen zeigen besonders gute Ergebnisse im Hinblick auf eine Reduktion von Specklemustern im erzeugten Muster. Einerseits ist die Größe der auftreffenden Beleuchtungsstrahlung hinreichend klein, um zu gewährleisten, dass zur Erzeugung eines Bildpunktes (korrespondierend zu einem Pixel des Pixelarrays) eine Vielzahl von Specklesignaturen (resultierend aus unterschiedlichen Scanpositionen des Scansystems) mit der Specklesignatur eines jeweiligen Pixels überlagert werden. Andererseits ist die Größe der auftreffenden Beleuchtungsstrahlung nicht zu gering, als dass die Specklesignaturen vom Scansystem und Pixelarray keine wirksame Mittelung erfahren.

[0077] Ein Fachmann weiß, durch Verwendung optischer Komponenten ein gewünschtes Strahlprofil beim Auftreffen der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray zu gewährleisten.

[0078] In einer bevorzugten Ausführungsform liegt im Strahlengang vor dem Pixelarray eine oder mehrere Linsen und/oder ein Linsenarray vor, mittels derer die laterale Ausdehnung der Beleuchtungsstrahlung beim Auftreffen auf den Pixelarray eingestellt wird, vorzugsweise mittels derer eine kleinere Spotgröße der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray gewährleistet werden kann.

[0079] In einer bevorzugten Ausführungsform liegt im Strahlengang zwischen der Scaneinheit und dem Pixelarray eine oder mehrere Linsen vor, mittels derer gewährleistet wird, dass die Beleuchtungsstrahlung unabhängig von dem Auftreffpunkt auf dem Pixelarray mit einem konstanten Einfallswinkel auf das Pixelarray geführt wird. Die eine oder mehrere Linsen kann bevorzugt eine diffraktive, eine refraktive oder eine Fresnel-Linse sein. In einer bevorzugten Ausführungsform kann die eine oder mehrere Linsen derart positioniert werden, dass sich die Scaneinheit im objektseitigen Brennpunkt der Linse befindet (vgl. **Abb. 11**). Der Abstand zwischen Scaneinheit und der einen oder den mehreren Linsen kann zudem variiert werden, um eine gewünschte Abstrahlcharakteristik einzustellen.

[0080] Die inhärente Variation der Specklesignaturen handelsüblicher Scaneinheiten und Pixelarrays führt vorteilhaft bereits zu einer deutlichen Abnahme wahrnehmbarer Specklestrukturen bzw. - muster im erzeugten Bild. Der Begriff der Specklesignatur kennzeichnet im Sinne der Erfindung bevorzugt die Eigenschaft der Komponenten der Bildgebereinheit im erzeugten Bild charakteristische Specklemuster zu generieren. Wie eingangs erläutert, werden als Specklemuster insbesondere die körnigen Interferenzphänomene bezeichnet, die sich bei hinreichend kohärenter Beleuchtung optisch rauer Objektoberflächen beobachten lassen. Zur Erzeugung eines Bildpunktes können hierbei vorteilhaft eine Vielzahl von Specklesignaturen des Scansystems (resultierend aus unterschiedlichen Scanpositionen) mit der Specklesignatur eines jeweiligen Pixels (in Abhängigkeit von dessen Zustandswert) überlagert werden.

[0081] Um die Speckleredukti̇on weiter zu verstärken, kann es bevorzugt sein, für die Beleuchtungsstrahlung eine zusätzliche Phasenvariation durch die Scaneinheit und/oder durch das Pixelarray einzuführen.

[0082] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit dafür eingerichtet, durch das Pixelarray und/oder die Scaneinheit eine zusätzliche Phasenvariation der Beleuchtungsstrahlung zu bewirken. Hierdurch kann eine Vergrößerung einer Variation einer Specklesignatur des Pixelarrays und/oder der Scaneinheit erreicht werden.

[0083] Zur Vergrößerung einer Variation einer Specklesignatur des Pixelarrays und/oder der Scaneinheit kommen verschiedene Ansätze in Betracht.

[0084] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit für eine zusätzliche Modulation des Pixelzustandes pro erzeugtem Bild eingerichtet, wobei bevorzugt eine Modulationsfrequenz des Pixelzustandes einen Faktor 2, 4 oder mehr höher ist, als eine Bildwiederholungsrate der Bildgebereinheit. Der Ausdruck, dass die Bildgebereinheit eingerichtet ist, meint bevorzugt, dass eine von der Bildgebereinheit umfasste Steuereinheit zur Ausführung der benannten Verfahrensschritte (hier: Modulation des Pixelzustandes) eingerichtet ist und beispielsweise zu diesem Zweck auf der Steuereinheit und/oder einer mit dieser verbundenen externen Datenverarbeitungsvorrichtung eine entsprechende Software und/oder Firmware installiert vorliegt.

[0085] Analog zu einer Amplitudenmodulation z.B. bei Lichtquellen kann der Zustand eines Einzelpixels mehrmals geändert werden, während das Auge die Bilder aufaddiert. Vorzugsweise sollte eine Modulationsfrequenz der Pixelzustände derart hoch sein, dass das Auge die Einzelbilder nicht unterscheiden kann. Vorzugsweise ändert ein Pixel innerhalb der gewünschten Bildwiederholfrequenz mehrmals (z.B. 2, 4, 6 oder mehr) seinen Zustand. Unter der Vorraussetzung, dass die Bildwiederholfrequenz bzw. die Frequenz der Zustandsänderung hinreichend groß ist, ändert der Pixel mithin innerhalb der Integrationszeit des Auges mehrmals seinen Zustand. Der pro Bild wahrgenommene Zustand entspricht vorzugsweise dem Mittelwert aller Pixelzustände innerhalb der Bildwiederholungsfrequenz. Beispielhaft ist dies in der **Abb. 3** dargestellt, wobei in der gezeigten Ausführungsform der Zustand des Pixels innerhalb der Integrationszeit des Auges bzw. innerhalb der gewünschten Bildwiderholfrequenz (t_int) 4 Mal seinen Zustand ändert.

[0086] Bei einem Flüssigkristalldisplay kann zur Umsetzung einer Modulationsfrequenz des Pixelzustandes beispielweise eine zeitliche Abfolge verschiedener Phasen- bzw. Amplitudenwerte für einen Pixel vorgeben werden, welche erst zeitlich integriert über die Bildwiederhohlrate den für das erzeugte Bild gewünschte Phasen- bzw. Amplitudenwert ergeben.

[0087] Die Arrayfrequenz entspricht in der bevorzugten Ausführungsform einem ganzzahligen Vielfachen der Bildwiederholungsfrequenz, wobei das ganzzahlige Vielfache einem Faktor, beispielsweise 2, 4, 6 oder mehr entspricht, mit dem der Pixelzustand während der Erzeugung eines Bildpunktes verändert wird.

[0088] Die Scanfrequenz sollte vorzugsweise mindestens der Modulationsfrequenz des Pixelzustandes entsprechen oder ein ganzzahliges Vielfaches der Modulationsfrequenz des Pixelzustandes darstellen.

[0089] Beispielsweise kann bei einer Arrayfrequenz von 120 Hz und einer Scanfrequenz von 120 Hz die Bildwiederholungsfrequenz auf 60 Hz sinken, sofern jeder Pixel zwei verschiedene Zustände pro erzeug-

tem Bild annimmt, bei 4 verschiedenen Zuständen sinkt die Bildwiederholungsfrequenz auf 30 Hz.

[0090] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit für eine zusätzliche Modulation der Scaneinheit zur Phasenvariation der Beleuchtungsstrahlung eingerichtet, wobei bevorzugt eine Modulationsfrequenz der Scaneinheit einen Faktor 2, 4, 6 oder mehr höher ist, als eine Bildwiederholungsrate der Bildgebereinheit und/oder wobei bevorzugt eine oder mehrere Komponenten der Scaneinheit durch einen Aktuator zu Schwingungen angeregt werden.

[0091] Für die Scaneinheit kann ein ähnlicher zusätzlicher Effekt der Specklereduktion erreicht werden, wenn schneller als das Auge es auflösen kann, der Beleuchtungsstrahlung zusätzlich verschiedene Phasenwerte aufgeprägt werden.

[0092] Bevorzugt können zu diesem Zweck eine oder mehrere Komponenten der Scaneinheit durch einen Aktuator zu Schwingungen angeregt werden. Vorzugsweise liegt der Aktuator zu diesem Zweck zu mindestens einer Komponente der Scaneinheit mechanisch gekoppelt vor und ist dafür eingerichtet die Komponenten in Schwingungen bzw. Vibrationen zu versetzen. Der Aktuator kann beispielsweise ein elektrostatischer, piezoelektrischer, elektromagnetischer und/oder thermischer Aktuator sein. Vorzugsweise kann der Aktuator auch als MEMS-Aktuator und somit äußerst kompakt ausgeführt vorliegen. Entsprechende Aktuatoren, wie piezoelektrische oder mikromechanische Modulatoren, sind im Stand der Technik bekannt. Beispielsweise können auch Schwingquarze als Frequenzgeber für einen Aktuator eingesetzt werden oder als Aktuator selbst fungieren.

[0093] Im Fall eines Scansystem umfassend einen oder mehrere Scanspiegel, können mittels einer oder mehrere Aktuatoren beispielsweise die Spiegelflächen der Scanspiegel zu Schwingungen angeregt werden. Die Schwingungsanregung durch den Aktuator kann in der Spiegelebene (vgl. **Abb. 4**) und/oder senkrecht dazu (vgl. **Abb. 5**) erfolgen. Ebenso können Linsen, Wedges, Prismen oder andere Komponenten bevorzugter Scaneinheiten zu Schwingungen angeregt werden.

[0094] Vorteilhaft führen die mechanischen Schwingungen der Komponenten der Scaneinheit zu einer zusätzlichen Änderung bzw. Modulation der Specklesignatur für eine jeweilige Scanposition (Auftreffpunktes der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray). Im Falle der Schwingungsanregung eines Scanspiegel oder einer Linse schwingen die Oberflächen und mithin mikroskopische Rauheiten der Oberflächen mit der zusätzlichen mechanischen Modulationsfrequenz, sodass sich das Specklemuster bzw. die Specklesignatur auf dem Pixelarray mit jener Modulationsfrequenz auch für eine gleichbleibende Scanposition ändert.

[0095] Die zusätzliche Modulationsfrequenz der Scaneinheit kann vorzugsweise höher oder niedriger sein, als die Scanfrequenz der Scaneinheit oder die Arrayfrequenz des Pixelarrays. Vorzugsweise sollte die zusätzliche Modulationsfrequenz der Scaneinheit (z.B. Schwingungsfrequenz einer Komponente der Scaneinheit) höher als die Bildwiederhohlfrequenz sein, vorzugsweise um einen Faktor von 2, 4, 6, 8, 10 oder mehr.

[0096] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Bildgebereinheit zusätzlich im Strahlengang zwischen Lichtquelle und lichtmodulierendem Pixelarray, vorzugweise im Strahlengang zwischen Scaneinheit und lichtmodulierendem Pixelarray einen oder mehrere Diffusoren auf.

[0097] Ein Diffusor ist bevorzugt ein optisches Element, welches dem Beleuchtungsstrahl eine zusätzliche randomisierte bzw. stochastische Phase aufträgt. Bevorzugt weist ein Diffusor eine Vielzahl zufällig verteilter Streuzentren auf, an denen Lichtstrahlen in unterschiedliche Richtungen gestreut werden.

[0098] Wie in **Abb. 8** illustriert, bewirkt ein Diffusor mithin bevorzugt eine Durchmischung einzelner Strahlen einer ggf. kollimierten Beleuchtungsstrahlung, welche auf den Diffusor an verschiedenen Auftreffpunkten auftreffen. Hierdurch kann eine Kohärenzlänge der Beleuchtungsstrahlung zusätzlich vermindert werden. Die Diffusoren können als optische Elemente mit randomisierter Phase oder auch als ein oder mehrere Linsenarrays ausgebildet sein. Bevorzugt können die Diffusoren auch derart beschaffen sein, dass ihre Abstrahlcharakteristik abhängig von der lateralen Position auf dem Diffusor variiert. Dadurch kann die Abstrahlcharakteristik des Gesamtsystems modifiziert werden, um z.B. eine größere oder kleinere Eyebox zu generieren.

[0099] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Diffusor ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Linsenarray, refraktiver und/oder diffreraktiver Diffusor.

[0100] Der Diffusor kann eine Oberflächenstreuung und/oder Volumenstreuung bewirken. Der Diffusor kann sowohl als ein reflektives oder als ein transmissives optisches Element ausgebildet sein.

[0101] Im Falle einer Oberflächenstreuung erfolgt die Streuung der Beleuchtungsstrahlung bevorzugt an der Oberfläche des Diffusors, welche zu diesem Zweck vorzugsweise entsprechend behandelt wurde. Beispielsweise kann eine Scheibe aus

einem transparenten Material (beispielweise Glas) mechanisch, chemisch und/oder optisch behandelt werden, um als Diffusor zu wirken (vgl. u.a. US 4,035,068 für die Bereitstellung einer Diffusionsscheibe aus Glas durch Schleifen und Ätzen einer Oberfläche). Mittels einer Mikrostrukturierung der Oberfläche transparenter Materialien kann zudem eine gewünschte Diffusor-Wirkung präzise vorgeben werden.

[0102] Ein transmissives Diffusionselement kann vorzugsweise auch für eine Volumenstreuung ausgebildet sein, wobei vorzugsweise ein im Wesentlichen transparentes Material Streuzentren, beispielsweise transparente und/oder intransparente Partikel, umfasst, an denen die Beleuchtungsstrahlung phasen- und/oder amplitudenmoduliert wird. Im Falle einer Volumenstreuung ist es bevorzugt einen dünnschichtigen Diffusor zu verwenden, sodass wie beschrieben eine Reduktion von Specklemustern erreicht werden kann, ohne dass jedoch die Leistung stark gemindert würde.

[0103] Ein Maß für das Streuvermögen eines Diffusors und mithin der Durchmischung einzelner Strahlen ist der Diffusionswinkel. In bevorzugten Ausführungsformen beträgt der Diffusionswinkel des einen oder der mehreren Diffusoren zwischen 0,5° und 35°, vorzugsweise zwischen 1° und 20°, besonders bevorzugt zwischen 1° und 10°.

[0104] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist die Bildgebereinheit zwei oder mehr Diffusoren auf, welche vorzugsweise nacheinander mit einem räumlichen Abstand im Strahlengang angeordnet vorliegen. Die besonders bevorzugte Ausführungsform führt zu einer nochmals verbesserten Reduktion von Speckle- und/oder Interferenzmustern.

[0105] Vorteilhaft wird, wie in **Abb. 8** gezeigt, hierbei ausgenutzt, dass die Beleuchtungsstrahlung, welche zunächst an einem ersten Diffusor gestreut wird, an einem zweiten Diffusor bereits an mehreren, verschiedenen Auftreffpunkten auf den zweiten Diffusor auftrifft. Hierdurch werden mehrere Specklemuster zeitgleich überlagert. Die Anzahl der überlagerten Strahlenbündel bzw. Specklemuster auf dem Pixelarray (sowie in der Bildebene) ist um ein Vielfaches höher, als es mit nur einem Diffusor der Fall wäre. Die Anordnung der Diffusoren entlang der optischen Achse hintereinander und mit einem räumlichen Abstand führt mithin zu einer Potenzierung der Überlagerung einzelner Strahlen. Ist die räumliche Frequenz der überlagerten Specklemuster hinreichend hoch, können diese vom Auge nicht aufgelöst werden und stören somit nicht die Bildqualität.

[0106] In bevorzugten Ausführungsformen beträgt der Diffusionswinkel des ersten und/oder zweiten Diffusors zwischen 0,5° und 35°, vorzugsweise 1° und 20°, besonders bevorzugt zwischen 1° und 10°. Der räumliche Abstand zwischen ersten und zweiten Diffusor beträgt bevorzugt zwischen 0,5 mm und 100 mm, vorzugsweise 1 mm bis 50 mm.

[0107] Die Bildgebereinheit kann sowohl als Display als auch Projektor ausgebildet sein.

[0108] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit als ein Display ausgebildet, wobei das lichtmodulierende Pixelarray einen Displayschirm bildet und/oder wobei das von dem lichtmodulierende Pixelarray erzeugte Bild auf einen (semi-) transparenten Displayschirm projiziert wird. In der bevorzugten Ausführungsform kann das vom Pixelarray erzeugte Bild mithin direkt im Durchlicht betrachtet werden (vgl. **Abb. 10**) oder aber das vom Pixelarray erzeugte Bild wird auf einen transparenten oder semitransparenten Displayschirm abgebildet, welcher im Durchlicht betrachtet werden kann.

[0109] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Bildgebereinheit als ein Projektor ausgebildet, wobei das von dem lichtmodulierenden Pixelarray erzeugte Bild auf einen reflektierenden, vorzugsweise diffus reflektierenden, Projektionsschirm projiziert wird.

[0110] In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Bildgebereinheit für ein Head-Up-Display (HUD) verwendet. HUDs können volumenholographische Optiken enthalten, bei denen es sich um beugende Gitterstrukturen handelt, die eine starke Wellenlängenabhängigkeit (Dispersion) aufweisen. Der Betrachtungswinkel des HUDs ändert sich dadurch mit der Wellenlänge, was in einer Unschärfe des HUD bei breitbandiger Beleuchtung resultiert. Eine Bildgebereinheit für ein solches HUD sollte daher möglichst schmalbandige Spektrallinien aufweisen. Vorteilhaft kann mithilfe der erfindungsgemäßen Bildgebereinheit eine schmalbandige, vorzugsweise monochromatische Beleuchtungsstrahlung bereitgestellt werden, ohne dass die damit einhergehende Kohärenz zu nachteiligen Interferenzeffekten bzw. Specklemuster führt.

[0111] Für die Anordnung der Bildgebereinheit umfassend Scaneinheit, lichtmodulierendes Pixelarray sowie möglichen weiteren optischen Komponenten zur Formung und/oder Führung der Beleuchtungsstrahlung sind verschiedene Möglichkeiten denkbar.

[0112] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Bildgebereinheit einen für die Beleuchtungsstrahlung transparenten Substratkörper mit einer Einkoppelfläche auf, über welche die Beleuchtungsstrahlung innerhalb des transparenten Substratkörpers zu einer Rückfläche gelenkt wird, an welcher ein Umlenkelement positioniert vorliegt, wobei das

Umlenkelement derart ausgebildet ist, dass die auftreffende Beleuchtungsstrahlung in Richtung einer Vorderfläche des Substratkörpers umgelenkt wird, durch welche die Beleuchtungsstrahlung auf das lichtmodulierende Pixelarray austritt.

[0113] Die Ausführungsform hat sich als besonders kompakt erwiesen. Insbesondere kann der Bauraum, den die Bildgebereinheit senkrecht zum lichtmodulierenden Pixelarray einnimmt, stark reduziert werden. Vorzugsweise ist der Bauraum senkrecht zum Pixelarray im Wesentlichen durch die Beabstandung der Rück- und Vorderfläche des transparenten Substratkörpers vorgegeben, welche vorzugsweise im Vergleich zur lateralen Ausdehnung des Pixelarrays (d.h. beispielsweise einer Höhe und/oder Breite) äußerst klein gehalten werden kann. In bevorzugten Ausführungsformen kann der Abstand zwischen der Vorder- und Rückfläche des transparenten Substratkörpers, um einen Faktor 5, 10, 50 oder mehr kleiner sein als eine maximale laterale Ausdehnung des Pixelarrays (d.h. z.B. einer Höhe und/oder Breite).

[0114] Die Rück- und/oder Vorderfläche des transparenten Substratkörpers können als plane Flächen ausgebildet sein. So kann der transparente Substratkörper beispielsweise in der Grundform als planparallele Platte bzw. Quader vorliegen. Es ist jedoch auch möglich, dass Vorder- und/oder Rückfläche gekrümmt ausgebildet sind.

[0115] Als Grundform weist der transparente Substratkörper vorzugsweise die Form eines Quaders auf mit einer Rück- und Vorderfläche, welche parallel zueinander ausgerichtet vorliegen.

[0116] Vorzugsweise ist die Dicke des Quaders, d.h. die Beabstandung der Rück- und Vorderfläche, deutlich kleiner als eine Höhe und/oder Breite der Rück- und/oder Vorderfläche, welche vorzugsweise an die Dimensionierung des Pixelarray angepasst sind. Beispielsweise kann die Dicke des Quaders um einen Faktor 5, 10, 50 oder mehr kleiner sein als dessen Höhe und/oder Breite. Der Substratkörper ist vorzugsweise im Wesentlichen transparent in Bezug auf die Wellenlänge(n) der Beleuchtungsstrahlung.

[0117] Bevorzugt umfasst der Substratkörper ein Material, welches ein optischer Kunststoff ist, vorzugsweise ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Polymethylmethacrylat (PMMA), Polycarbonat (PC), Cycloolefin-Polymere (COP), Cycloolefin-Copolymere (COC) und/oder ein optisches Glas ist, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe umfassend, Borosilikatglas, B270, N-BK7, N-SF2, P-SF68, P-SK57Q1, P-SK58A und/oder P-BK7.

[0118] Die Bildgebereinheit ist vorzugsweise dazu eingerichtet, dass die durch die Lichtquelle erzeugte Beleuchtungsstrahlung mittels der Scaneinheit - wie beschrieben vorzugsweise in Form eines Strahlenbündels - auf die Einkoppelfläche abgelenkt und durch den Substratkörper in Richtung des Umlenkelementes geführt wird.

[0119] Die Einkoppelfläche kann vorzugsweise eine Form aufweisen, welche es gewährleistet, dass die Beleuchtungsstrahlung beim Eintritt in den transparenten Substratkörper eine möglichst geringe Ablenkung und/oder Aberration erfährt. Beispielsweise kann es bevorzugt sein, dass die Einkoppelfläche eine konkave Form aufweist, welche es gewährleistet, dass die von der Scaneinheit geführte Beleuchtungsstrahlung für unterschiedliche Scanpositionen unter einem im Wesentlichen senkrechten Einfallswinkel zur Einkoppelfläche in den Substratkörper eintritt (vgl. **Abb. 12**).

[0120] Im transparenten Material des Substratkörpers trifft die Beleuchtungsstrahlung auf das Umlenkelement, welches vorzugsweise direkt auf einer Rückfläche des Substratkörpers aufgebracht sein kann. Das Umlenkelement lenkt die Beleuchtungsstrahlung bevorzugt in Richtung einer gegenüber gelegenen Vorderfläche des transparenten Substratkörpers. Durch die Vorderfläche tritt die Beleuchtungsstrahlung aus dem Material aus und trifft auf das Pixelarray.

[0121] In bevorzugten Ausführungsformen ist das Umlenkelement ein Umlenkhologramm, welches vorzugsweise als Volumenhologramm, reflektives und/oder transmissives Hologramm ausgebildet ist. Das Umlenkelement kann vorzugsweise auch durch ein mikrostrukturiertes diffraktives Element und/oder auch durch eine (strukturierte) Spiegelfläche gebildet werden.

[0122] Im Falle eines diffraktiven Umlenkelementes, beispielsweise einem Umlenkhologramm, kann ungebeugtes Licht der Beleuchtungsstrahlung der nullten Beugungsordnung, aber auch Licht der Beleuchtungsstrahlung welches in andere Beugungsordnungen als der für die Umlenkrichtung gewünschten gebeugt wird, als Störlicht im transparenten Substratkörper propagieren.

[0123] Während beispielsweise ein diffraktives Umlenkelement dafür eingerichtet ist, die Beleuchtungsstrahlung mit einer n-ten Ordnung in Richtung des Pixelarrays zu führen, bezeichnet im Sinne das Störlicht bevorzugt ungebeugtes Licht der Beleuchtungsstrahlung der nullten Beugungsordnung, aber auch ein von der n-ten verschiedenen Beugungsordnung.

[0124] In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Bildgebereinheit dafür eingerichtet sein, dass Störlicht eines diffraktiven Umlenkelementes mindestens teilweise auf das Pixelarray geführt wird.

Vorteilhaft kann durch das Störlicht Licht auf weitere Auftreffpunkte auf dem Pixelarray geführt werden, wobei die zusätzliche Überlagerung eine weitere Reduktion der sichtbaren Specklemuster bewirken kann.

[0125] In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Bildgebereinheit auch dafür eingerichtet sein, dass Störlicht eines diffraktiven Umlenkelementes eine Oberfläche des Substratkörpers verlässt, ohne auf das Pixelarray zu treffen. Beispielsweise kann ein Scanwinkelbereich des Scansystems zu diesem Zweck derart vorgegeben werden, dass ein Verlassen des Störlichtes außerhalb des Bereiches des Pixelarrays gewährleistet wird. Ebenso kann es bevorzugt sein, dass die Einkoppelfläche derart gestaltet wird, dass die Beleuchtungsstrahlung unabhängig von der Scanposition unter einem gleichen Einfallswinkel auf das Umlenkelement auftrifft. Zu diesem Zweck kann es beispielsweise bevorzugt sein, eine Freiformoptik, eine bikonische Linse, rotationssymmetrische Linse und/oder refraktive oder diffraktive Elemente, zu verwenden. Weiterhin kann ebenso die Rückfläche des transparenten Substratkörpers, auf die das Umlenkelement aufgebracht wird, angepasst werden - beispielsweise mit einer konvexen Form - um das Störlicht vom Pixelarray wegzulenken (vgl. **Abb. 15**).

[0126] Bevorzugt können auch für die vorgenannten kompakt ausgebildeten Bildgebereinheiten einer oder mehrere Diffusoren eingebracht werden, um eine Sichtbarkeit von Specklemustern weiter zu reduzieren. Die einen oder mehreren Diffusoren können vorzugsweise zwischen Scaneinheit und transparentem Substratkörper, zwischen transparentem Substratkörper und Pixelarray, zwischen Lichtquelle und Scaneinheit oder zwischen Umlenkelement und transparentem Substratkörper liegen.

Detaillierte Beschreibung

[0127] Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Beispielen und Abbildungen näher erläutert werden, ohne auf diese beschränkt zu sein.

Figurenliste

Abb. 1 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Bildgebereinheit.

Abb. 2 Schematische Illustration von Specklesignaturen a) des Pixelarrays und b) der Scaneinheit sowie deren Überlagerung für c) eine Scanposition und d) einen Bildpunkt.

Abb. 3 Schematische Illustration einer Vergrößerung der Variation der Specklesignatur des Pixelarrays durch zusätzliche Modulation des Pixelzustandes pro erzeugtem Bild.

Abb. 4, **Abb. 5** Schematische Illustration einer Vergrößerung der Variation der Specklesignatur der Scaneinheit durch Schwingungsanregung eines Scanspiegels entlang der Spiegelebene (**Abb. 4**) oder senkrecht zur Spiegelebene (**Abb. 5**).

Abb. 6 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem Diffusor im Strahlengang.

Abb. 7 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit zwei Diffusoren im Strahlengang.

Abb. 8 Schematische Illustration einer Überlagerung einer Vielzahl von Strahlenbündeln durch Verwendung zweier Diffusoren im Strahlengang.

Abb. 9 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einer Linse zur Gewährleistung konstanter Einfallwinkel der Beleuchtungsstrahlung auf dem Pixelarray.

Abb. 10 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, welche als ein Display ausgebildet ist.

Abb. 11 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, welche als ein Projektor ausgebildet ist.

Abb. 12 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem reduzierten Bauraum senkrecht zum Pixelarray.

Abb. 13 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem reduzierten Bauraum senkrecht zum Pixelarray bei dem Störlicht auf das Pixelarray geführt wird.

Abb. 14-16 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem reduzierten Bauraum senkrecht zum Pixelarray bei dem ein Auftreffen von Störlicht auf dem Pixelarray vermieden wird durch Vorgabe des Scanwinkels (**Abb. 14**), Formung des Umlenkelementes (**Abb. 15**) oder Gestaltung der Einkoppelfläche (**Abb. 16**).

Detaillierte Beschreibung der Abbildungen

[0128] **Abb. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Bildgebereinheit.

[0129] Die Bildgebereinheit umfasst mindestens eine Lichtquelle 1 zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung 2, welche vorzugsweise als Strahlenbündel auf einer optischen Achse geführt wird. Mit-

tels einer Scaneinheit 3 wird die Beleuchtungsstrahlung 2 zur Erzeugung eines Bildes über ein lichtmodulierendes Pixelarray 4 geführt. Die Lichtquelle 1 kann ein System aus mehreren, vorzugsweise monochromatischen Lasern sein, die durch weitere optische Komponenten auf eine gemeinsame optische Achse gelenkt werden. Der Durchmesser des Strahlenbündels der Beleuchtungsstrahlung 2 beim Auftreffen auf das Pixelarray 4 kann größer oder kleiner als die Größe eines Einzelpixels sein, aber ist kleiner als das gesamte Pixelarray 4.

[0130] Zur Reduktion von Specklemustern nutzt die erfindungsgemäße Bildgebereinheit aus, dass sowohl die Scaneinheit 3 als auch das lichtmodulierende Pixelarray 4 für unterschiedliche Scanpositionen bzw. Pixelzustände charakteristische Specklesignaturen aufweisen.

[0131] Vorteilhaft werden im Scanvorgang bei der Erzeugung eines Bildpunktes die Specklesignaturen der Scaneinheit 3 und des Pixelarrays 4 überlagert bzw. kombiniert, sodass im erzeugten Bild sichtbare bzw. wahrnehmbare Specklemustern reduziert werden.

[0132] **Abb. 2** illustriert schematisch die Specklesignaturen des Pixelarrays 4 und der Scaneinheit 3 sowie deren Überlagerung. **Abb. 2a)** illustriert eine Specklesignatur eines Pixels des lichtmodulierenden Pixelarrays 4. Die Specklesignatur eines Pixels kann beispielsweise von der Oberflächenbeschaffenheit und/oder dem Ansteuerungszustand (z.B. einer Kristallausrichtung eines LCD-Displays) abhängen. Dx bezeichnet die Größe des Pixels in Scanrichtung. **Abb. 2b)** illustriert eine Specklesignatur einer Scaneinheit 3 für eine bestimmte Scanposition (dx). Im Falle einer spiegelbasierten Scaneinheit 3 kann die Specklesignatur beispielsweise von einer Oberflächenbeschaffenheit einer Spiegelfläche 5 abhängen.

[0133] Für sich genommen sind die Specklesignaturen des Pixelarrays (**Abb. 2a)** oder der Scaneinheit (**Abb. 2b)** durch ausgeprägte Minima und Maxima gekennzeichnet, welche vom Betrachter als Helligkeitsunterschiede bzw. Körnung im erzeugten Bildpunkt bzw. Bild wahrgenommen werden können.

[0134] **Abb. 2c**) illustriert eine Überlagerung der Specklesignatur der Scaneinheit 3 mit der des Pixelarrays 4 für eine bestimmte Scanposition. Dies führt bereits zu einer höheren räumlichen Frequenz des Specklemusters und mithin geringerer Sichtbarkeit. Eine besonders deutliche Reduktion der Specklemuster wird dadurch erzielt, dass beim Überstreichen eines Einzelpixels für ein und denselben Bildpunkt eine Vielzahl von Specklemustern (in Abhängigkeit der Scanposition) generiert und mit der Specklesignatur des Pixels überlagert werden.

[0135] Bei einem schrittweisen Scanvorgang ist die Anzahl der überlagernden Specklemuster gleich der Anzahl der Scanschritte. Bei einer analogen Bewegung ist die Zahl der Specklemuster infinit mit einer geringeren Variation zwischen einzelnen Specklemustern. Bei hinreichender Scanfrequenz kann das menschliche Auge diese Einzelmuster nicht mehr unterscheiden. Dabei werden alle Specklemuster, die vom Auge zeitlich nicht unterschieden werden können, addiert. **Abb. 2d**) illustriert beispielhaft eine Addition aller im Bereich $-Dx \leq dx \leq Dx$ auftretenden Specklemuster für eine Schrittweite von Dx/80. Ersichtlich wird der Kontrast der Specklemuster (d.h. der Abstand der Minima und Maxima in der Intensitätsverteilung) verringert, sodass eine deutliche Reduktion wahrnehmbarer Specklemuster erzielt werden kann.

[0136] Die inhärente Variation der Specklesignaturen von handelsüblichen Scaneinheiten und Pixelarrays ist zumeist bereits hinreichend für eine deutliche Specklereduktion. Um diese noch zu verstärken, kann eine zusätzliche Phasenvariation sowohl durch die Scaneinheit 3 als auch das Pixelarray 4 eingeführt werden.

[0137] **Abb. 3** zeigt schematisch eine Vergrößerung der Variation der Specklesignatur eines Pixelarrays 4 durch zusätzliche Modulation des Pixelzustandes pro erzeugtem Bild.

[0138] Analog zu einer Amplitudenmodulation, z.B. bei Lichtquellen, kann der Zustand eines Einzelpixels mehrmals geändert werden, während das Auge die Bilder aufaddiert. Dazu muss die Modulationsfrequenz hoch genug sein, dass das Auge die Einzelbilder nicht unterscheiden kann.

[0139] Wie in **Abb. 3a)** gezeigt, kann vorzugsweise ein Pixel innerhalb der Integrationszeit des Auges bzw. innerhalb der gewünschten Bildwiederholfrequenz (t_int) 4 Mal seinen Zustand ändern. Der wahrgenommene Zustand entspricht dem Mittelwert aller Zustände innerhalb von t_int (vgl. **Abb. 3b)**, wobei sich korrespondierende Specklemuster innerhalb der Integrationszeit vorteilhaft überlagern bzw. mitteln.

[0140] **Abb. 4** und **Abb. 5** zeigen schematisch beispielhafte Ausführungsformen zur Vergrößerung der Variation der Specklesignatur der Scaneinheit 3 durch Schwingungsanregung eines Scanspiegels 5 entlang der Spiegelebene 6 (**Abb. 4**) oder senkrecht zur Spiegelebene 6 (**Abb. 5**) mittels eines Aktuators 7. Die Schwingung kann z.B. durch piezoelektrische oder mikromechanische Modulatoren oder Schwingquarze bewirkt werden. Bevorzugt wird Specklesignatur der Scaneinheit 3 durch den Aktuator hochfrequent variiert, wobei die Modulationsfrequenz der

Scaneinheit 3 vorzugsweise deutlich höher ist als die Bildwiederhohlfrequenz.

[0141] In **Abb. 4** ist ein Scanspiegel 5 mit kardanischer Aufhängung gezeigt, welcher durch einen Aktuator mit Frequenzgeber 7 entlang der Spiegelebene 6 zum Schwingen gebracht wird. In **Abb. 5** wird ein Scanspiegel 5 in kardanischer Aufhängung gezeigt, welcher durch einen Aktuator mit Frequenzgeber 7 senkrecht zur Spiegelebene 6 zum Schwingen gebracht wird.

[0142] Darüber hinaus können im Strahlengang, vorzugsweise zwischen Scaneinheit 3 und Pixelarray 4 zusätzliche Elemente eingebracht werden, die eine Specklesignatur hinzufügen. Bevorzugt sind beispielsweise Diffusoren, welche die Specklevarianz beim Scanvorgang erhöhen.

[0143] Abb. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem Diffusor 8 im Strahlengang. Der Diffusor 8 kann beispielsweise als optisches Element mit randomisierter Phase oder auch als ein Linsenarray ausgebildet sein. Der Diffusor 8 bewirkt bevorzugt eine Streuung und Durchmischung einzelnen Strahlen der Beleuchtungsstrahlung 2, welche auf den Diffusor 8 an verschiedenen Auftreffpunkten auftreffen. Hierdurch wird eine Kohärenzlänge der Beleuchtungsstrahlung 2 zusätzlich vermindert und eine Sichtbarkeit des Specklemusters im erzeugten Bild reduziert.

[0144] Abb. 7 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit zwei Diffusoren 8 im Strahlengang. Die beiden Diffusoren 8 liegen im Strahlengang entlang der Ausbreitungsrichtung nacheinander mit einem räumlichen Abstand angeordnet vor. Mittels zweier Diffusoren kann eine nochmals deutlich verbesserte Reduktion von Speckle- und/oder Interferenzmuster erzielt werden.

[0145] Abb. 8 illustriert schematisch die Überlagerung einer Vielzahl von Strahlenbündeln der Beleuchtungsstrahlung 2 durch Verwendung zweier Diffusoren 8 im Strahlengang

[0146] Die Beleuchtungsstrahlung 2, welche an dem ersten Diffusor 8 gestreut wird, trifft an dem zweiten Diffusor 8 bereits an mehreren, verschiedenen Auftreffpunkten auf, an denen eine weitere Streuung erfolgt. Hierdurch werden mehrere Specklemuster zeitgleich überlagert. Die Anzahl der überlagernden Strahlenbündeln 2 bzw. Specklemuster auf dem Pixelarray 4 (sowie in der Bildebene) ist um ein Vielfaches höher, als es mit nur einem Diffusor 8 der Fall wäre.

[0147] Dies wird insbesondere deutlich, wenn man die Anzahl überlagernder Strahlenbündel 2 bzw. Specklemuster auf dem zweiten Diffusor 8 und auf dem Pixelarray 4 vergleicht. Ist die räumliche Frequenz der Specklemuster hoch genug können diese vom Auge nicht aufgelöst werden. Darüber hinaus überlagern sich Strahlenbündel 2 die lateral weiter voneinander entfernt sind, als es im Falle eines einzelnen Diffusors 8 der Fall ist. Dadurch wird die räumliche Kohärenz der Lichtquelle reduziert. Ist die Kohärenzlänge der Lichtquelle ausreichend gering, entstehen keine wahrnehmbaren Specklemuster. Die Aufweitung des Strahlenbündel 2 ist in **Abb. 7** und **Abb. 8** angedeutet und entspricht vorzugsweise einem Diffusionswinkel

[0148] Abb. 9 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einer Linse 9 zur Gewährleistung konstanter Einfallswinkel der Beleuchtungsstrahlung 2 auf dem Pixelarray 4.

[0149] Bei der Linse 9 handelt es sich bevorzugt, um eine refraktive, diffraktive oder Fresnel-Linse. Bevorzugt wird die Linse 9 - wie gezeigt - zwischen Scaneinheit 3 und Pixelarray 4 positioniert und ist dazu eingerichtet, dass alle Strahlenbündel 2 unabhängig von ihrer räumlichen Position denselben Einfallswinkel auf dem Pixelarray 4 aufweisen (vgl. **Abb. 9** für zwei beispielhafte Scanwinkel und Strahlverläufe). Dazu kann z.B. die Scaneinheit 3 im objektseitigen Fokus der Linse 9 stehen. Dieser Abstand kann variiert werden, um die Abstrahlcharakteristik des Gesamtsystems zu modifizieren.

[0150] Die Bildgebereinheit kann sowohl als Display oder auch als Projektor verwendet werden.

[0151] Abb. 10 zeigt schematisch eine bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, welche als ein Display ausgebildet ist. Zur Verwendung als Display kann das Pixelarray 4 als Displayschirm 10 fungieren und direkt betrachtet werden (gezeigt) oder aber das Pixelarray 4 wird auf einen (semi-)transparenten Displayschirm 10 projiziert, welcher dann im Durchlicht betrachtet wird (nicht gezeigt).

[0152] Abb. 11 zeigt schematisch eine bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, welche als ein Projektor ausgebildet ist. Zur Ausbildung als Projektor wird das Pixelarray 4 auf einen reflektierenden, vorzugsweise diffus reflektierenden, Projektionsschirm 11 projiziert.

[0153] Abb. 12 zeigt schematisch eine bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit mit einem reduzierten Bauraum senkrecht zum Pixelarray 4.

[0154] Zu diesem Zweck weist die Bildgebereinheit einen für die Beleuchtungsstrahlung 2 transparenten

Substratkörper 14 auf mit einer Einkoppelfläche 12, über welche die Beleuchtungsstrahlung 2 innerhalb des transparenten Substratkörpers 14 zu einer Rückfläche 15 gelenkt wird, an welcher ein Umlenkelement 13 positioniert vorliegt. Das Umlenkelement 13 ist derart ausgebildet, dass die auftreffende Beleuchtungsstrahlung 2 in Richtung einer Vorderfläche 16 des Substratkörpers 14 umgelenkt wird, durch welche die Beleuchtungsstrahlung 2 auf das lichtmodulierende Pixelarray 4 austritt.

[0155] Der Substratkörper 14 ist im Verhältnis zur Höhe und Breite des Pixelarrays 4 vorzugsweise dünn ausgestaltet und kann die Grundform eines Quaders aufweisen, wobei an mindestens einer Fläche eine speziell geformte Einkoppelfläche 12 vorliegt. Zur Verminderung von Ablenkungen oder Aberrationen kann die Einkoppelfläche 12 derart konkav geformt sein, dass die von der Scaneinheit 3 geführte Beleuchtungsstrahlung 2 für unterschiedliche Scanpositionen unter einem im Wesentlichen senkrechten Einfallswinkel in den Substratkörper 14 eintritt.

[0156] Das Umlenkelement 13 kann z.B. ein Volumenhologramm, ein mikrostrukturiertes diffraktives Element oder auch eine (strukturierte) Spiegelfläche sein. Im Falle eines diffraktiven Umlenkelementes (z.B. Volumenhologramm) kann ungebeugtes Licht der nullten Beugungsordnung, aber auch Licht, welches in andere Beugungsordnungen als der gewünschten gebeugt wird, als Störlicht 17 im transparenten Substratkörper 14 propagieren.

[0157] **Abb. 13** zeigt schematisch eine bevorzugten Ausführungsform einer Bildgebereinheit, bei der das Störlicht 17 mindestens teilweise auf das Pixelarray 4 geführt wird.

[0158] Hierdurch kann Licht gleichzeitig an mehreren Punkten auf das Pixelarray 4 gelenkt werden, um auf diese Weise sichtbare Speckle weiter zu reduzieren.

[0159] Die **Abb. 14-16** zeigen schematische Darstellungen bevorzugter Ausführungsformen erfindungsgemäßer Bildgebereinheiten, bei denen ein Auftreffen von Störlicht 17 auf dem Pixelarray 17 vermieden wird.

[0160] In **Abb. 14** wird der Scanwinkel der Scaneinheit 3 derart vorgegeben, dass das Störlicht 17 nicht aus der Vorderfläche 16 auf das Pixelarray 4 austritt, sondern aus einer unteren Fläche des Substratkörpers 14.

[0161] In **Abb. 15** ist die Rückfläche 15 des transparenten Substratkörpers 14 auf dem das Umlenkelement 13 aufgebracht wird, derart angepasst, dass das Störlicht 17 vom Pixelarray 4 wegegelenkt wird.

[0162] In **Abb. 16** ist Einkoppelfläche 12 derart gestaltet, dass alle Strahlenbündel der Beleuchtungsstrahlung 2 von der Scaneinheit 3 unter dem gleichen Winkel auf das Umlenkelement 13 treffen. Beispielsweise kann hierzu eine Freiformoptik, eine bikonische Linse oder eine rotationssymmetrische Linse verwendet werden.

[0163] Es wird darauf hingewiesen, dass verschiedene Alternativen zu den beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung verwendet werden können, um die Erfindung auszuführen und zu der erfindungsgemäßen Lösung zu gelangen. Die erfindungsgemäße Bildgebereinheit beschränkt sich in ihren Ausführungen somit nicht auf die vorstehenden bevorzugten Ausführungsformen. Vielmehr ist eine Vielzahl von Ausgestaltungsvarianten denkbar, welche von der dargestellten Lösung abweichen können. Ziel der Ansprüche ist es, den Schutzumfang der Erfindung zu definieren. Der Schutzumfang der Ansprüche ist darauf gerichtet, die erfindungsgemäßen Bildgebereinheit sowie äquivalente Ausführungsformen dieser abzudecken.

Bezugszeichenliste

1	Lichtquelle
2	Beleuchtungsstrahlung
3	Scaneinheit
4	lichtmodulierendes Pixelarray
5	Scanspiegel
6	Spiegelebene
7	Aktuator
8	Diffusor
9	Linse
10	Displayschirm
11	Projektionsschirm
12	Einkoppelfläche
13	Umlenkelement
14	transparenter Substratkörper
15	Rückfläche des Substratkörpers
16	Vorderfläche des Substratkörpers
17	Störlicht

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 5272473 [0010]
- US 8262235 B2 [0011]
- US 9541760 B2 [0012]
- US 4035068 [0013]
- US 5313479 [0013]
- WO 9702507 [0014]
- US 2008/0304128 A1 [0015]
- US 4035068 f [0101]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Bawart et al. Dynamic beam-steering by a pair of rotating diffractive elements Optics Communications 460 (2020) 125071 [0047]

Patentansprüche

1. Bildgebereinheit
mit einer Lichtquelle (1) zur Erzeugung einer Beleuchtungsstrahlung (2) sowie einem lichtmodulierenden Pixelarray (4) zur Erzeugung eines Bildes durch pixelweise Modulation der auf den Pixelarray (4) einfallenden Beleuchtungsstrahlung (2),
dadurch gekennzeichnet, dass
die Beleuchtungsstrahlung (2) beim Auftreffen auf das lichtmodulierende Pixelarray (4) eine laterale Ausdehnung aufweist, welche kleiner ist als das Pixelarray (4) und zur Erzeugung eines Bildes mittels einer Scaneinheit (3) über das Pixelarray (4) geführt wird, um eine Sichtbarkeit von Specklemustern im erzeugten Bild zu reduzieren.

2. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beleuchtungsstrahlung (2) eine kohärente Strahlung ist und/oder die Lichtquelle (1) ein Laser ist.

3. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildgebereinheit zwei oder mehr Lichtquellen (1), vorzugweise zwei oder mehr monochromatische Laser umfasst.

4. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Scaneinheit (3) einen oder mehrere Scanspiegel (5), Linsen, Prismen, Wedges und/oder diffraktive optische Elemente (DOEs) umfasst.

5. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass das lichtmodulierende Pixelarray (4) ausgewählt ist aus der Gruppe umfassend ein Flächenlichtmodulator (engl. Spatial Light Modulator (SLM)), ein Flüssigkeitskristalldisplay (LCD) und/oder ein Mikrospiegelarray.

6. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beleuchtungsstrahlung (2) beim Auftreffen auf das Pixelarray (4) eine laterale Ausdehnung aufweist, welche um einen Faktoren 5, 10, 100 oder mehr kleiner ist als das Pixelarray (4) und/oder wobei die Beleuchtungsstrahlung (2) beim Auftreffen auf das Pixelarray (4) eine laterale Ausdehnung von weniger als 50, 30, 20, 10, 5, 4, 3, 2 oder weniger als einem Pixel aufweist.

7. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Scanfrequenz der Scaneinheit (3) und/oder eine Arrayfrequenz des Pixelarrays (4) mindestens 20 Hz, vorzugweise mindestens 25 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz oder mehr beträgt.

8. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Vergrößerung einer Variation einer Specklesignatur des Pixelarrays (4) und/oder der Scaneinheit (3) die Bildgebereinheit dafür eingerichtet durch das Pixelarray (4) und/oder durch die Scaneinheit (3) eine zusätzliche Phasenvariation der Beleuchtungsstrahlung (2) zu bewirken.

9. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Vergrößerung einer Variation einer Specklesignatur des Pixelarrays (4) die Bildgebereinheit für eine zusätzliche Modulation des Pixelzustandes pro erzeugtem Bild eingerichtet ist, wobei bevorzugt eine Modulationsfrequenz des Pixelzustandes einen Faktor 2, 4, 6 oder mehr höher ist als eine Bildwiederholungsrate der Bildgebereinheit.

10. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Vergrößerung einer Variation der Specklesignatur der Scaneinheit (3) die Bildgebereinheit für eine zusätzliche Modulation der Scaneinheit (3) zur Phasenvariation der Beleuchtungsstrahlung (2) eingerichtet ist, wobei eine Modulationsfrequenz der Scaneinheit (3) einen Faktor 2, 4, 6 oder mehr höher ist als eine Bildwiederholungsrate der Bildgebereinheit und/oder wobei bevorzugt eine oder mehrere Komponenten der Scaneinheit (3) durch einen Aktuator (7) zu Schwingungen angeregt werden.

11. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildgebereinheit zusätzlich im Strahlengang zwischen Lichtquelle (1) und lichtmodulierendem Pixelarray (4), vorzugweise im Strahlengang zwischen Scaneinheit (3) und lichtmodulierendem Pixelarray (4), einen oder mehrere Diffusoren (8) aufweist.

12. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildgebereinheit zwei oder mehr Diffusoren (8) umfasst, welche nacheinander mit einem räumlichen Abstand im Strahlengang angeordnet vorliegen.

13. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildgebereinheit als ein Display ausgebildet ist, wobei das lichtmodulierende Pixelarray (4) einen Displayschirm (11) bildet und/oder wobei das von dem lichtmodulierenden Pixelarray (4) erzeugte Bild auf einen (semi-)transparenten Displayschirm (11) projiziert wird.

14. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildgebereinheit als ein Projektor ausgebildet ist, wobei das lichtmodulierende Pixelarray (4) auf

einen reflektierenden Projektionsschirm (11) projiziert wird.

15. Bildgebereinheit gemäß einem der vorherigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildgebereinheit einen für die Beleuchtungsstrahlung (2) transparenten Substratkörper (14) aufweist mit einer Einkoppelfläche (12) über welche die Beleuchtungsstrahlung (2) innerhalb des transparenten Substratkörpers (14) zu einer Rückfläche (15) gelenkt wird, an welcher ein Umlenkelement (13) positioniert vorliegt, wobei das Umlenkelement (13) derart ausgebildet ist, dass die auftreffende Beleuchtungsstrahlung (2) in Richtung einer Vorderfläche (16) des Substratkörpers (14) umgelenkt wird durch welche die Beleuchtungsstrahlung (2) auf das lichtmodulierende Pixelarray (4) austritt.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Abb. 1

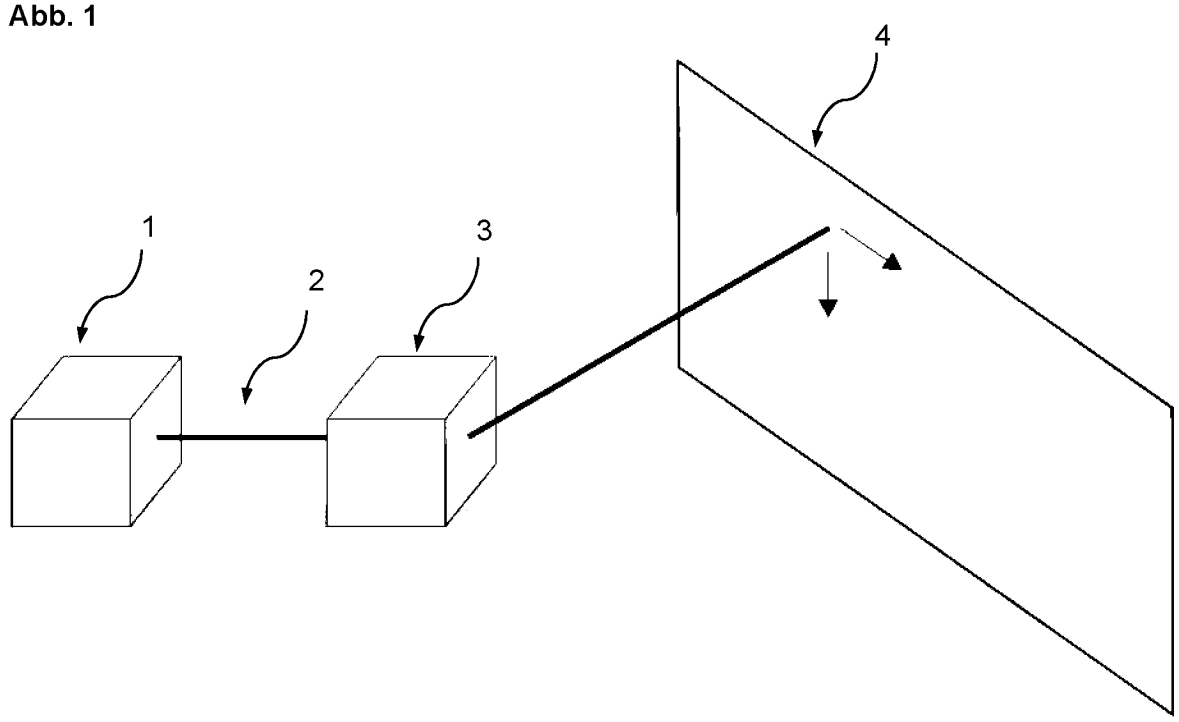


Abb. 2

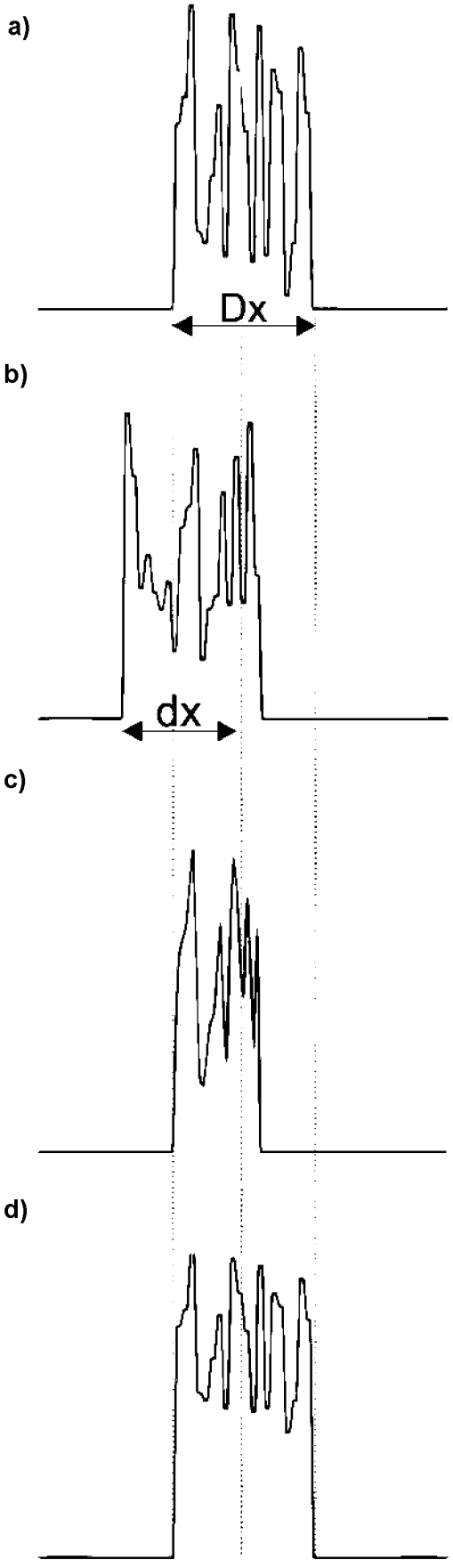


Abb. 3

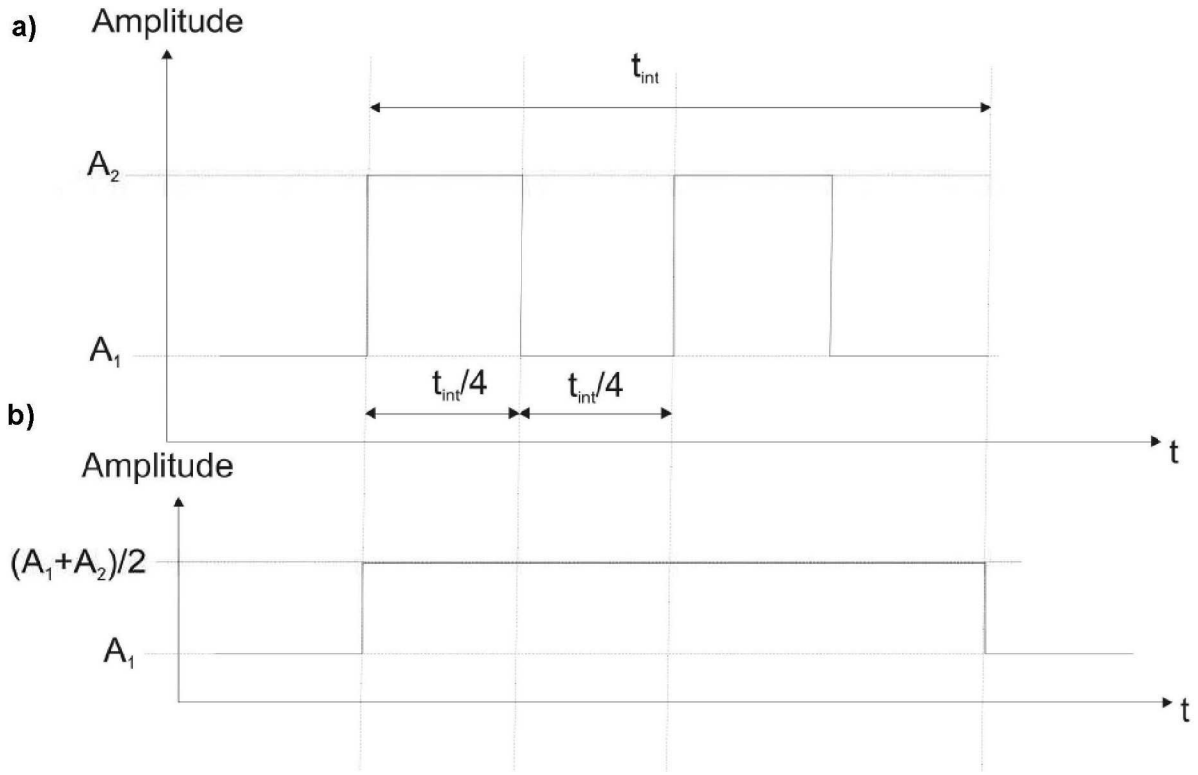


Abb. 4

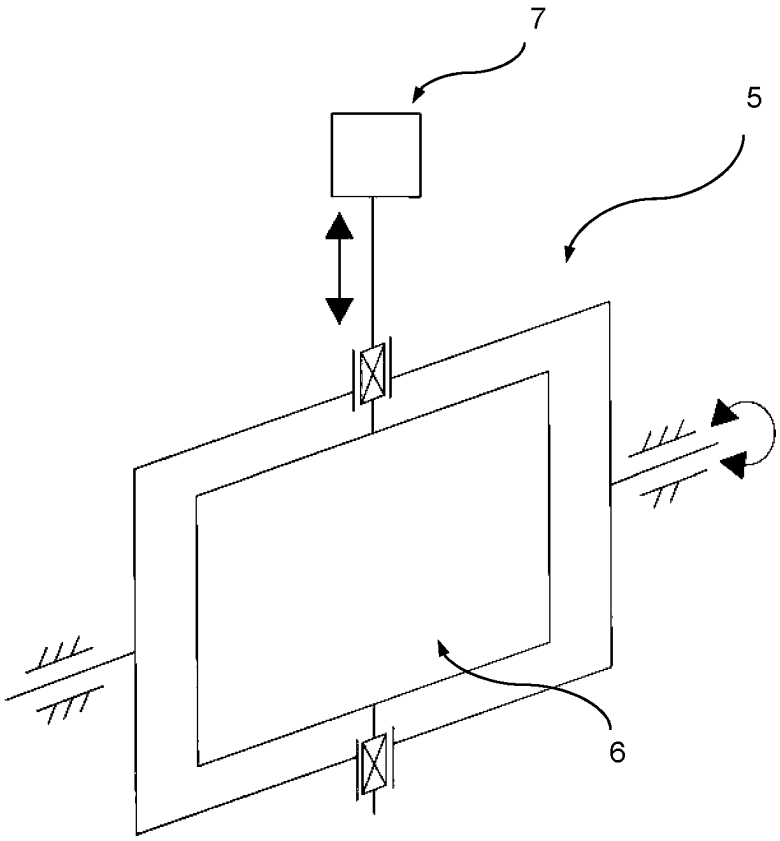


Abb. 5

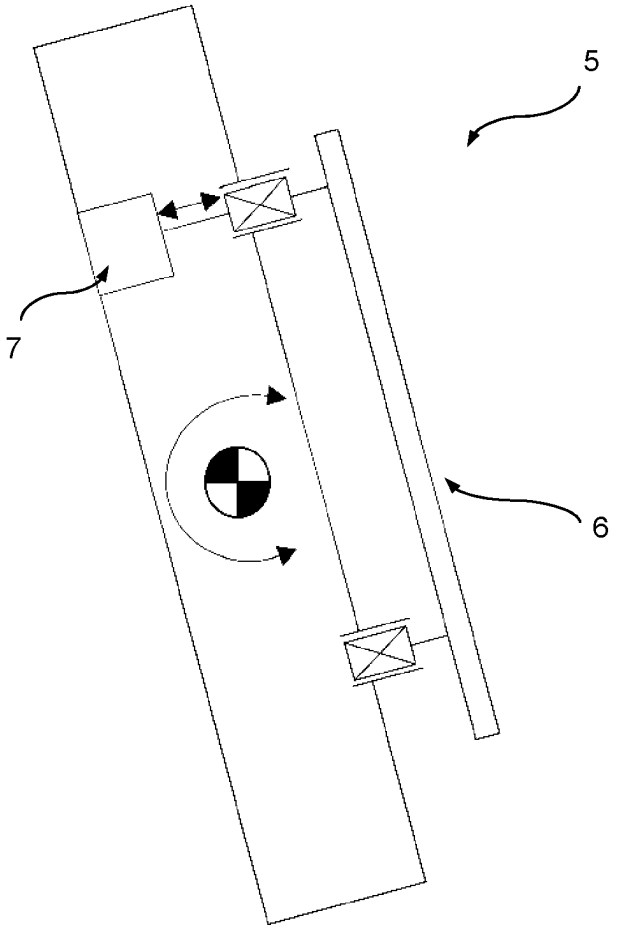


Abb. 6

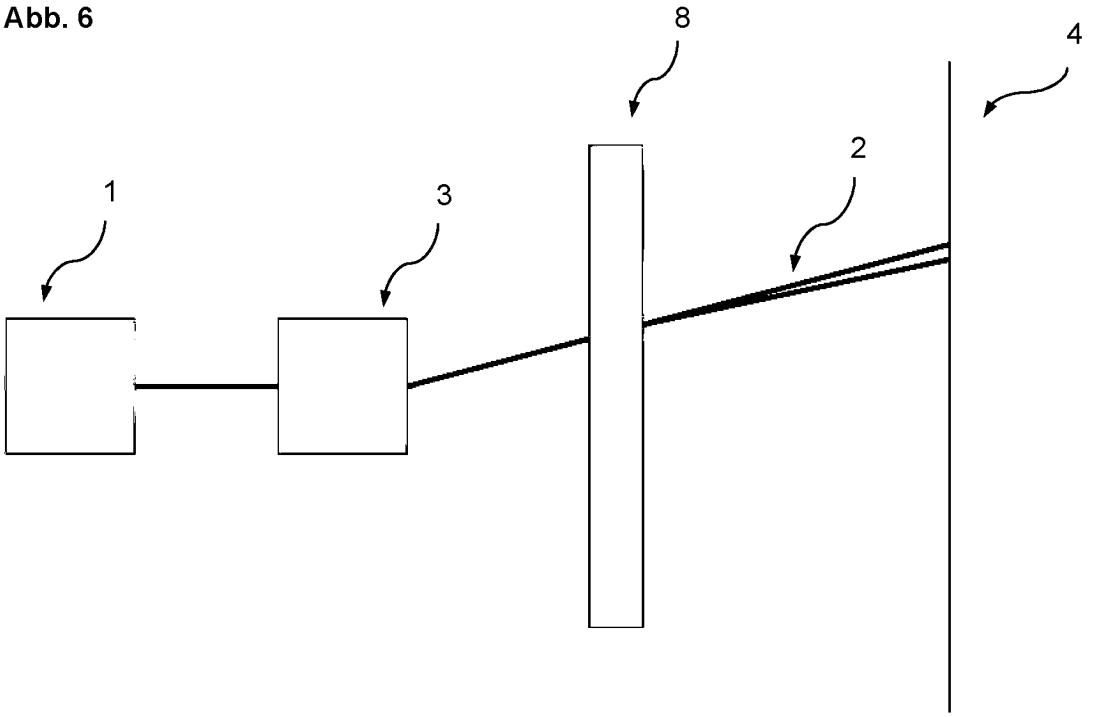


Abb. 7

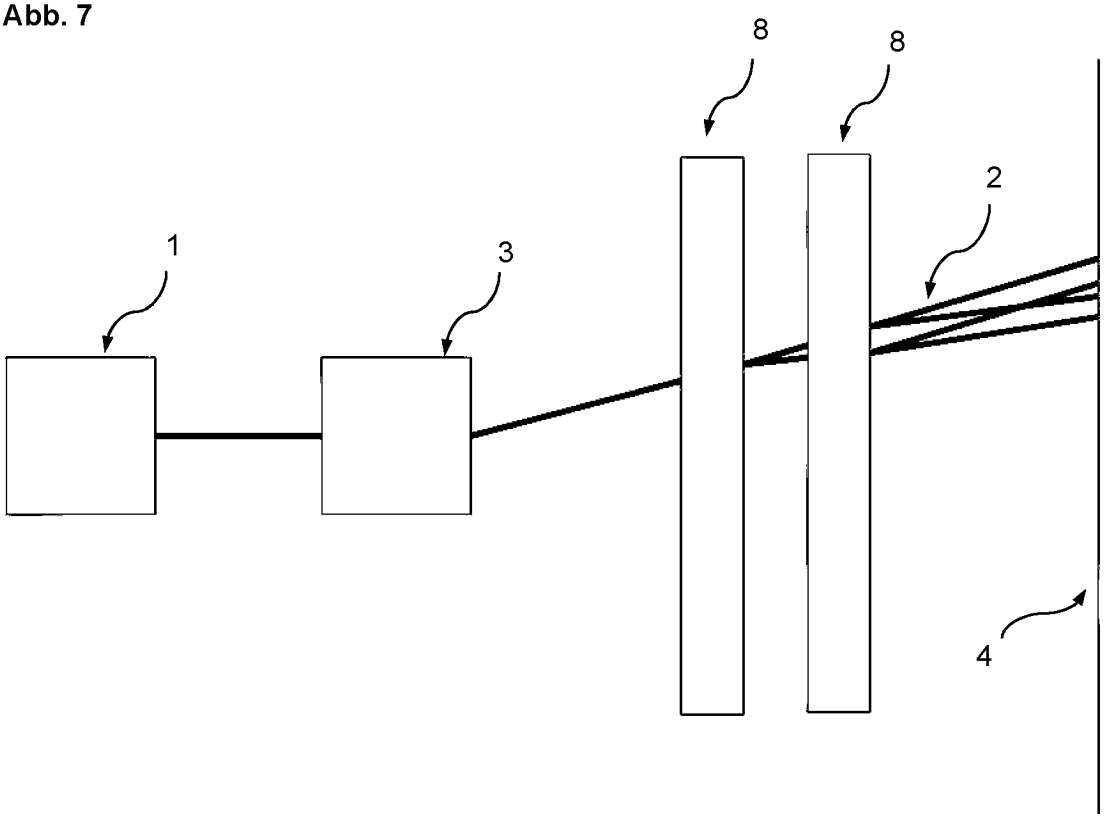


Abb. 8

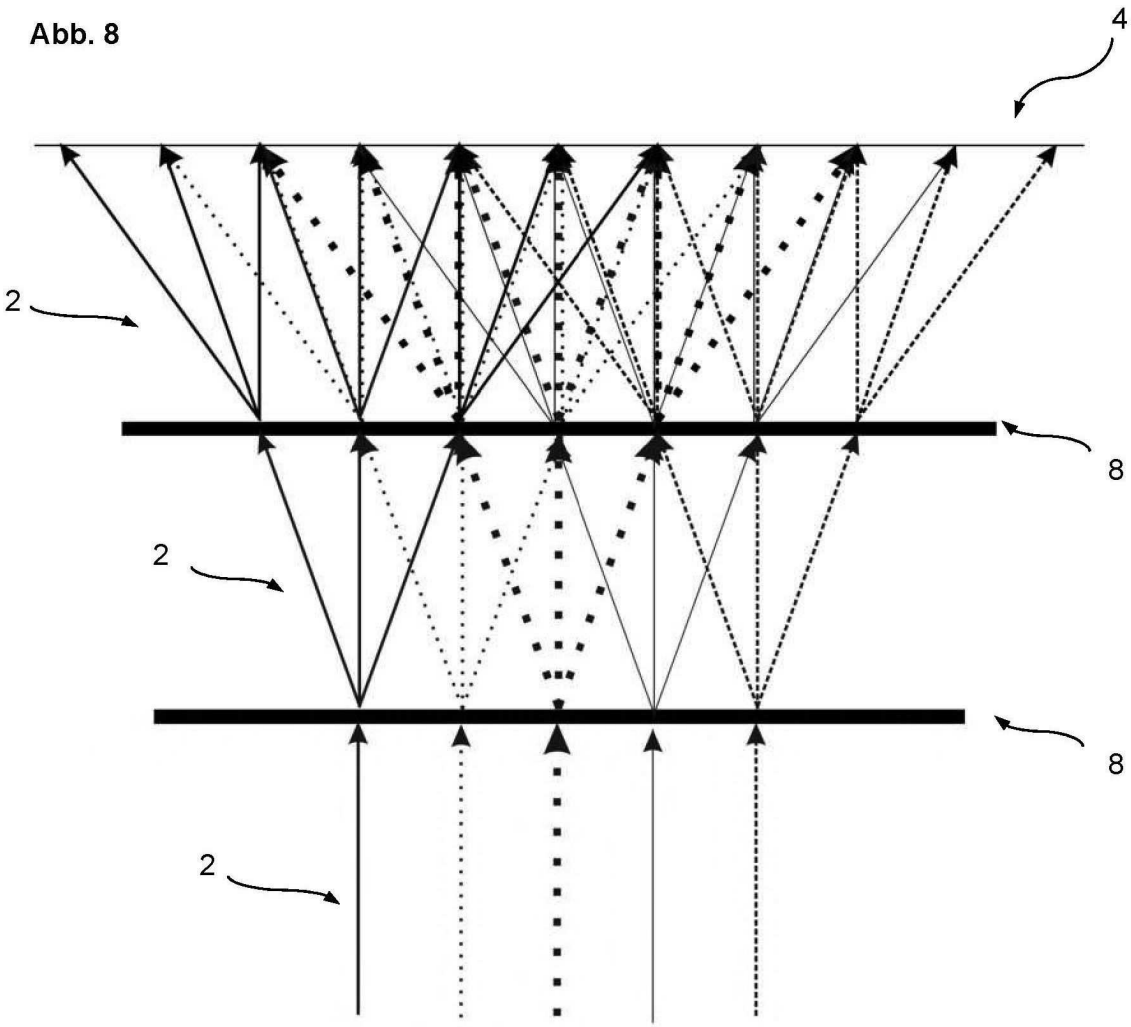


Abb. 9

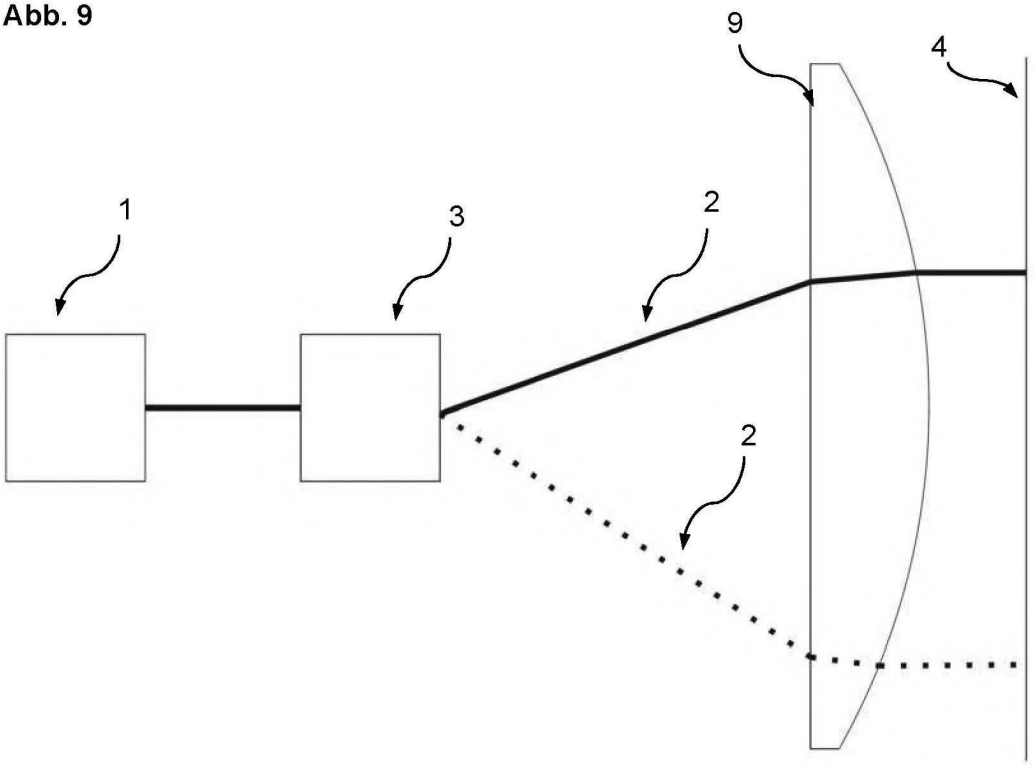


Abb. 10

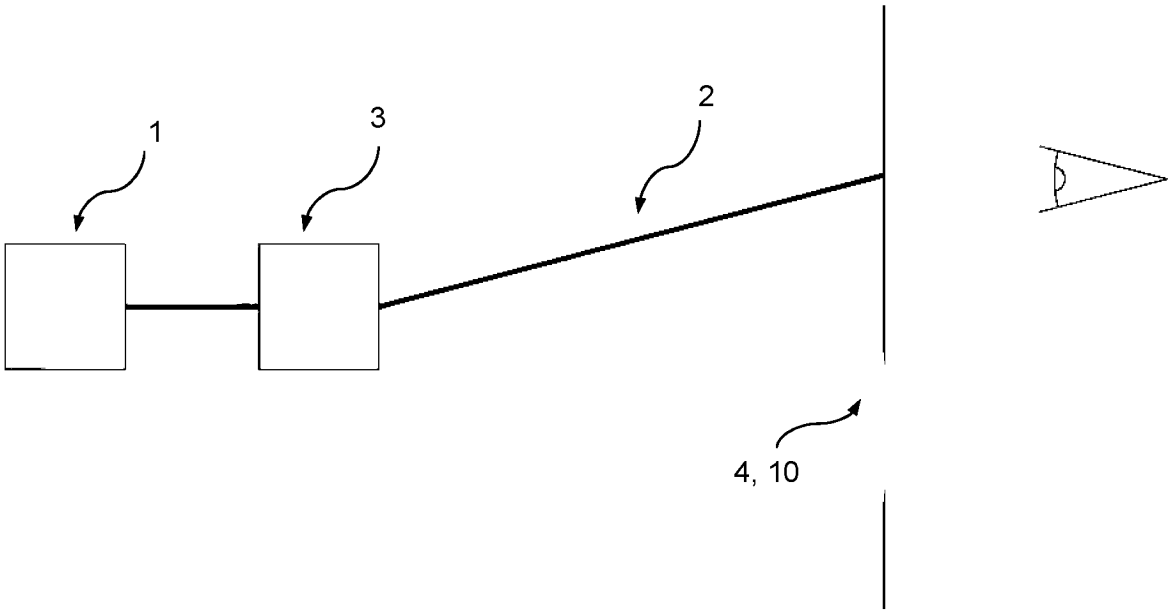


Abb. 11

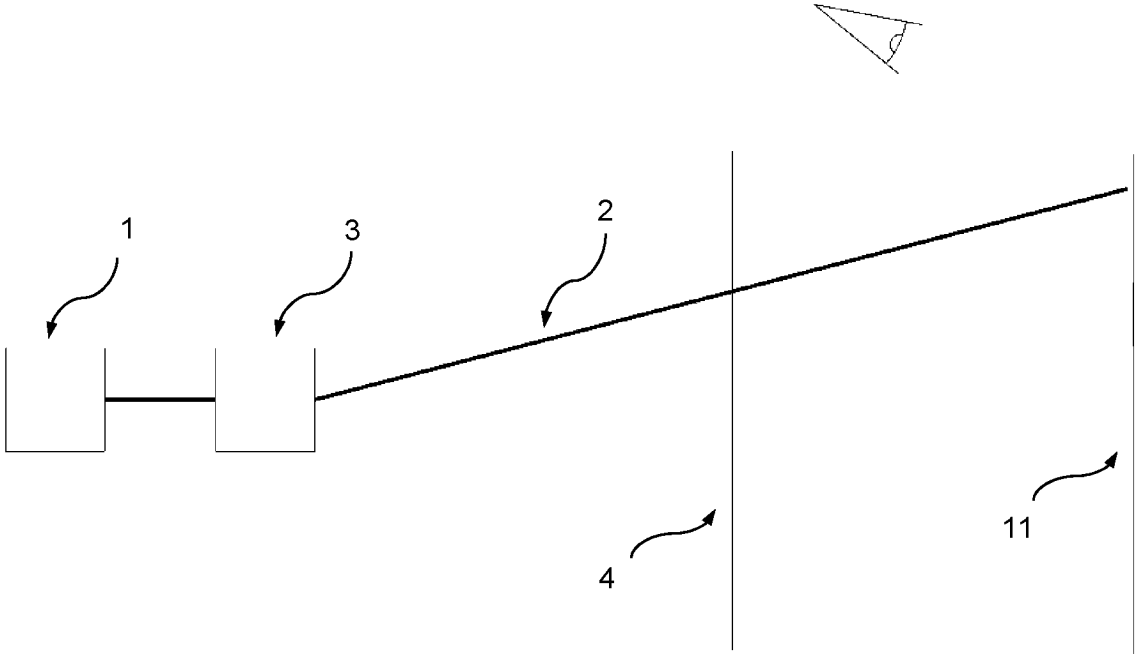


Abb. 12

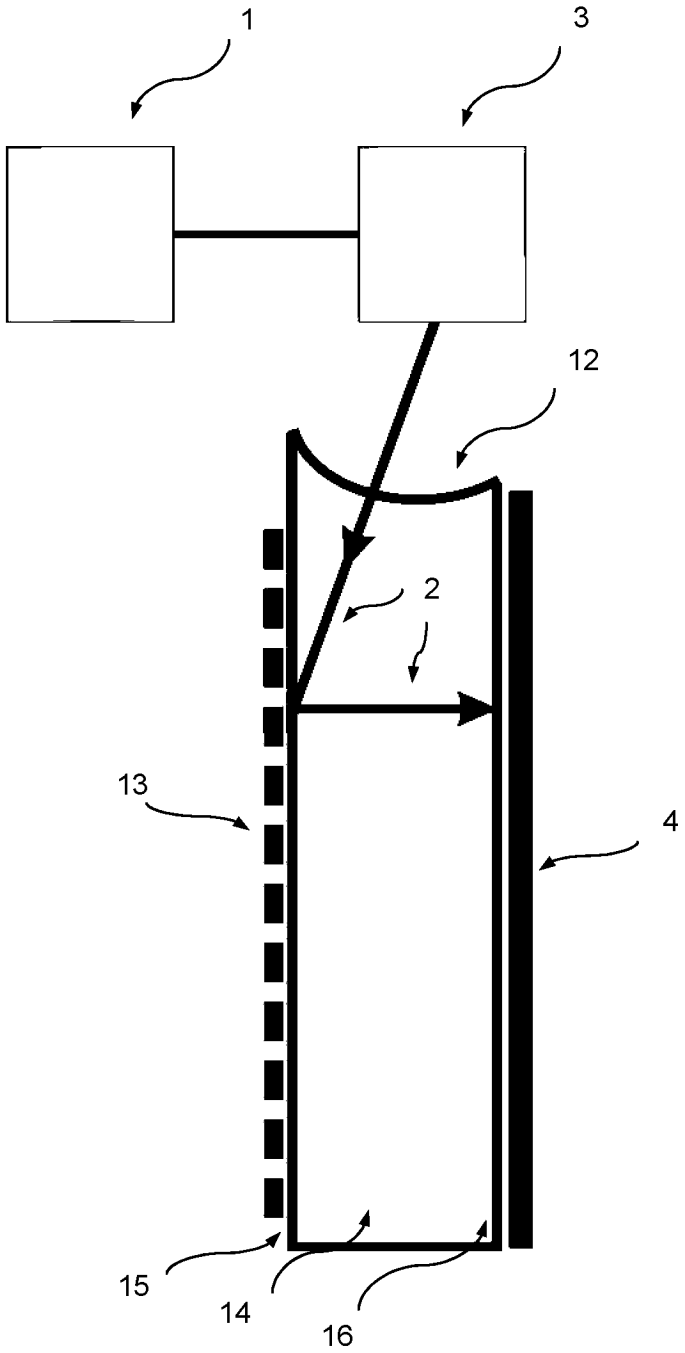


Abb. 13

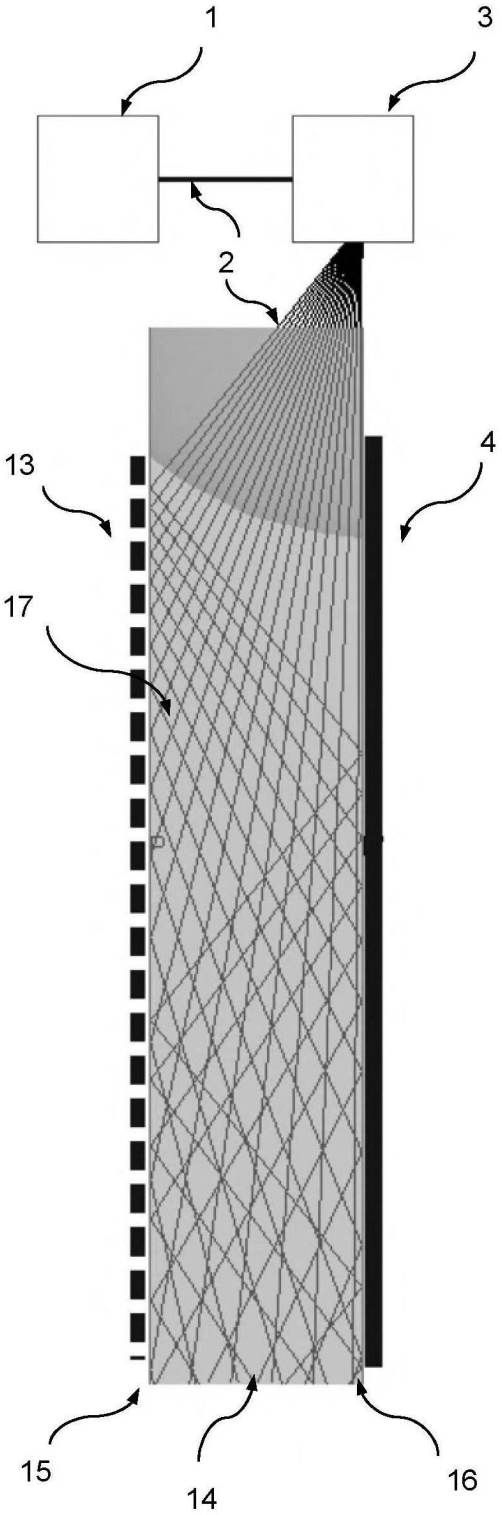


Abb. 14

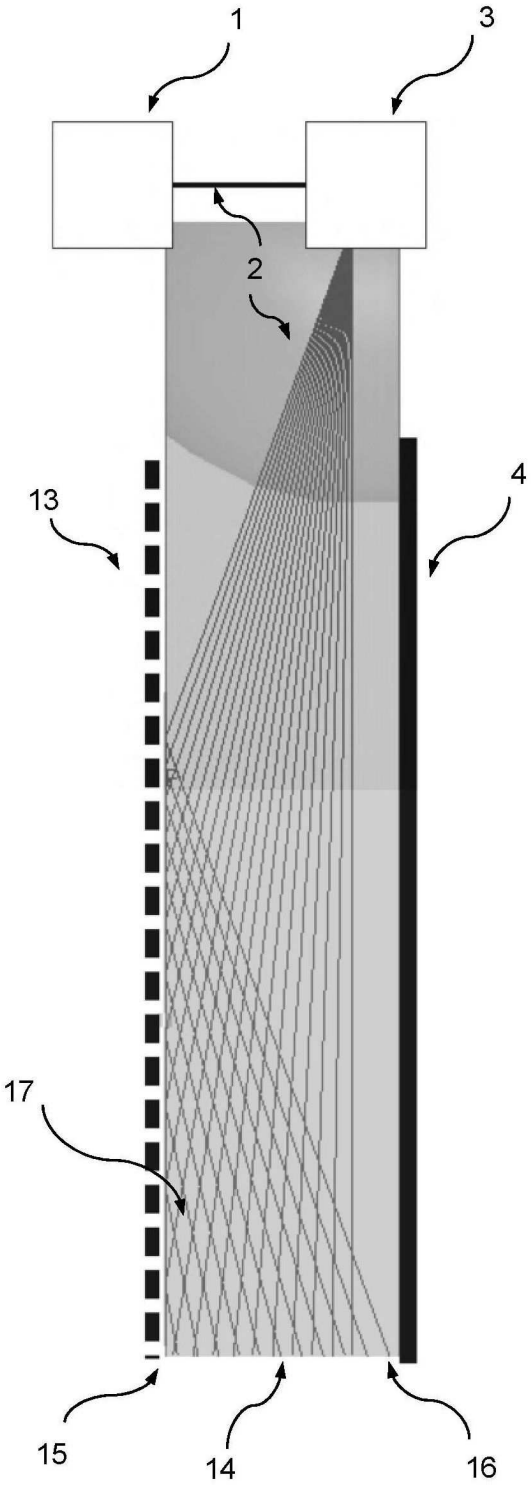


Abb. 15

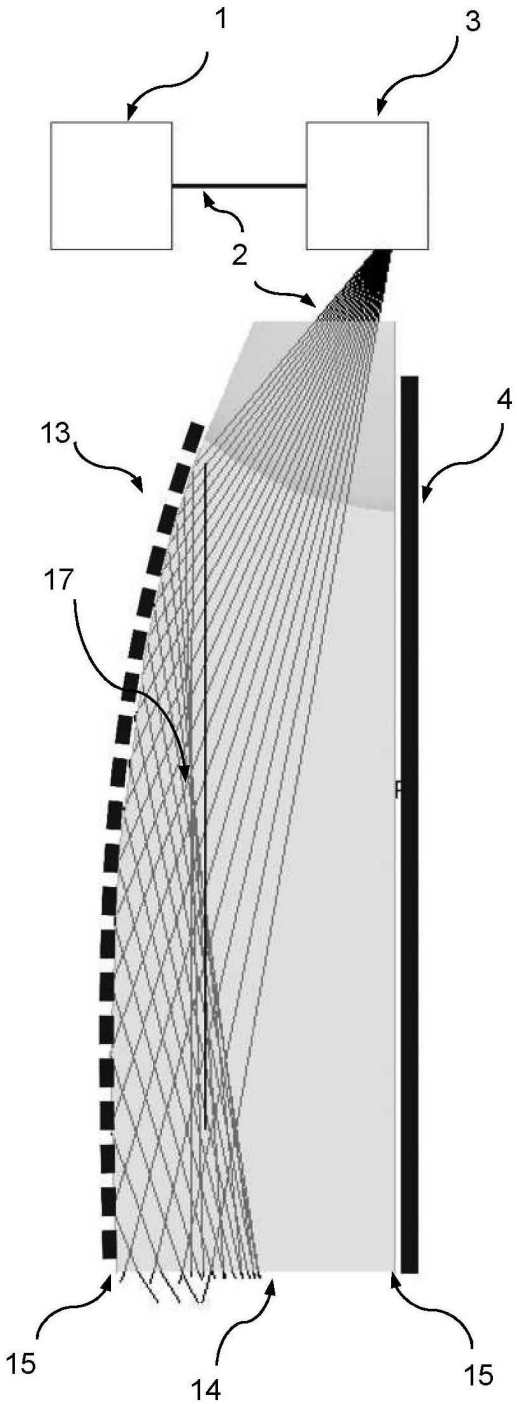
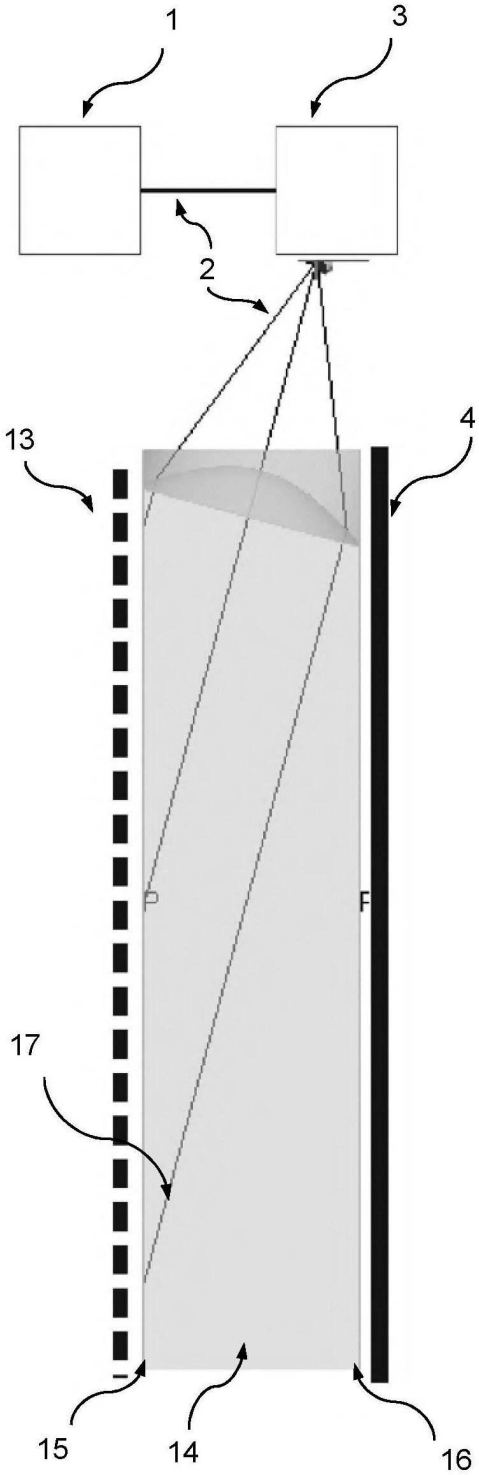


Abb. 16



 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.