



(10) **DE 10 2006 062 377 B4** 2018.03.22

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 062 377.0**

(22) Anmeldetag: **19.12.2006**

(43) Offenlegungstag: **26.06.2008**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **22.03.2018**

(51) Int Cl.: **G03H 1/32 (2006.01)**
G03H 1/22 (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:

SeeReal Technologies S.A., 5366 Munsbach, LU

(74) Vertreter:

Heide, Margot, 01307 Dresden, DE

(72) Erfinder:

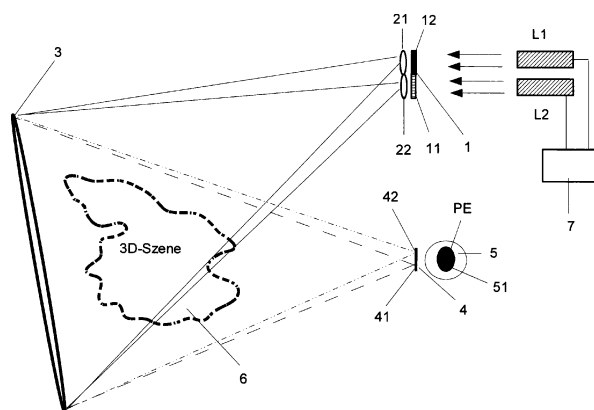
Leister, Norbert, 01309 Dresden, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	103 53 439	A1
DE	197 04 741	A1
DE	600 23 692	T2
WO	2006/ 119 920	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und holographische Wiedergabeeinrichtung zum Reduzieren von Speckle**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Reduzieren von Speckle einer in einer holographischen Wiedergabeeinrichtung erzeugten dreidimensionalen holographischen Rekonstruktion mit einem steuerbaren Lichtmodulator (1), in den eine 3D-Szene kodiert ist und der von hinreichend kohärentem Licht beleuchtet wird, mit einem Rekonstruktionsmittel, welches modulierte Licht nahe einer Augenposition (PE) in einen Betrachtarraum projiziert, sowie mit einem Steuermittel (7) zum Steuern der Beleuchtung, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem vom Steuermittel (7) gesteuerten Licht von der im Lichtmodulator (1) kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente Lichtverteilungen komplexwertiger Wellenfronten der gleichen 3D-Szene in der Augenposition (PE) erzeugt werden, dass in einem Rekonstruktionsraum am gleichen Ort den verschiedenen komplexwertigen Wellenfronten entsprechende Rekonstruktionen der 3D-Szene erzeugt und zueinander inkohärent überlagert werden, so dass von der Augenposition (PE) aus eine einzige Speckle-reduzierte Rekonstruktion (6) der 3D-Szene gesehen wird, dass die Augenposition (PE) einem definierten virtuellen Betrachterfenster (4) entspricht, dass in dem Betrachterfenster (4) die verschiedenen unabhängigen, zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfronten der kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente, eindimensional nebeneinander liegend angeordnete Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) bilden, und dass das Betrachterfenster (4) nur eine einzige Beugungsordnung einer periodischen Rekonstruktion umfasst.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reduzieren von Speckle-Mustern einer dreidimensionalen holographischen Rekonstruktion einer dreidimensionalen Szene und eine holographische Wiedergabeeinrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Anwendungsgebiet der Erfindung sind Verfahren, mit denen die Speicherung und Rekonstruktion komplexer Wellenfronten einer dreidimensionalen Szene (3D-Szene) durch Holographie unter Verwendung von vorzugsweise Laserlicht in Echtzeit oder echtzeitnah in holographischen Wiedergabeeinrichtungen erfolgt und bei denen die Rekonstruktion von einem virtuellen Betrachterfenster aus zu sehen ist.

[0003] Die Holographie ermöglicht die Aufzeichnung und die optische Wiedergabe eines dreidimensionalen Objektes oder einer bewegten 3D-Szene mit wellenoptischen Verfahren. Die 3D-Szene ist in einem Lichtmodulator, der als Trägermedium dient, kodiert. Infolge der Beleuchtung mit interferenzfähigen Lichtwellen bildet jeder Punkt der kodierten 3D-Szene einen Ausgangspunkt von Lichtwellen, die miteinander interferieren und als resultierende Lichtwellenfront die 3D-Szene räumlich so rekonstruieren, als ob sie durch eine Lichtausbreitung vom tatsächlichen Objekt im Raum zustande kommen würde. Die holographische Rekonstruktion des Objektes oder der 3D-Szene erfolgt vorzugsweise mit einer Projektionseinrichtung und/oder einer Rekonstruktionsoptik durch Beleuchten des Trägermediums mit normalerweise hinreichend kohärentem Licht.

[0004] Im Dokument wird die 3D-Szene in einer holographischen Wiedergabeeinrichtung mit einem Betrachterfenster, das ein Sichtbarkeitsbereich in einem Betrachterraum ist, rekonstruiert. Dabei ist das Betrachterfenster vor einem Wiedergabemittel größtmäßig vorgegeben und entspricht im Allgemeinen der Größe einer Augenpupille. Deshalb wird es hier auch als der Ort der Augenposition bezeichnet, den ein Betrachterauge einnehmen kann und von dem aus der Betrachter die Rekonstruktion der 3D-Szene sehen kann.

[0005] Wellenoptisch gesehen wird ein Betrachterfenster entweder als die direkte oder inverse Fourier-Transformierte oder Fresnel-Transformierte eines in ein Trägermedium kodierten Hologramms oder als Abbildung einer in ein Trägermedium kodierten Wellenfront in einer Ebene eines Betrachterraums gebildet, wobei das Betrachterfenster nur eine einzige Beugungsordnung einer periodischen Rekonstruktion umfasst. Die Ebene kann eine Brennebene eines Fokussmittels oder die Bildebene einer Lichtquelle sein. Das Hologramm oder die Wellenfront sind dabei so aus der 3D Szene berechnet, dass innerhalb der einen Beugungsordnung, die als Sichtbarkeitsbe-

reich genutzt wird, jegliches Übersprechen zwischen den Betrachteraugen verhindert wird, das üblicherweise bei Rekonstruktionen unter Verwendung von Lichtmodulatoren auftritt. Kombiniert mit einer Anordnung oder einem Verfahren zum Unterdrücken höherer Beugungsordnungen lassen sich damit im Multiplex-Verfahren nacheinander einem linken und rechten Auge eines Betrachters ohne Übersprechen 3D-Szenen darstellen. Ebenso ist ein Multiplex-Verfahren für mehrere Personen nur dadurch möglich.

[0006] Als Träger- oder Aufzeichnungsmedien für Hologramme bzw. komplexwertige Wellenfronten einer 3D-Szene dienen räumliche Lichtmodulatoren, wie beispielsweise LCD, LCoS, usw., welche die Phase und/oder die Amplitude des einfallenden Lichts modulieren. Um bewegte 3D-Szenen darstellen zu können, muss die Bildwiederholfrequenz des Trägermediums aber ausreichend groß sein.

[0007] Die im Trägermedium in regulär angeordnete Pixel kodierten Werte können dabei von einem realen Objekt stammen oder ein computergeneriertes Hologramm (CGH) sein.

[0008] Das Betrachten der Rekonstruktion der 3D-Szene kann erfolgen, indem der Betrachter direkt auf das Trägermedium schaut. Dies wird in diesem Dokument als Direktsichtaufbau bezeichnet. Alternativ kann der Betrachter auf einen Schirm schauen, auf den entweder eine Abbildung oder eine Transformierte der im Trägermedium kodierten Werte projiziert wird. Dies wird in diesem Dokument als Projektionsaufbau bezeichnet. Im Folgenden wird sowohl für den Schirm im Projektionsaufbau als auch für das Trägermedium im Direktsichtaufbau die Bezeichnung Bildschirm verwendet.

[0009] Die Rekonstruktion des Hologramms ist wegen der diskreten Aufzeichnung beugungsbedingt nur innerhalb eines durch die Auflösung des Trägermediums gegebenen Periodizitätsintervalls der Rekonstruktion einer Wellenfront möglich. In den aneinandergrenzenden Periodizitätsintervallen wird die Rekonstruktion, meist mit Störungen, wiederholt.

[0010] Beim Einsatz von kohärentem Laserlicht zum Beleuchten eines Lichtmodulators entstehen störende Muster, die als Speckle-Muster oder auch Granulation bekannt sind. Man versteht darunter ein granulationsartiges Interferenzmuster, das durch Interferenz vieler Lichtwellen mit statistisch unregelmäßig verteilten Phasendifferenzen entsteht.

[0011] Bei der Rekonstruktion eines Hologramms wirken sich die Speckle-Muster nachteilig aus. Normalerweise erfolgt zur Hologrammberechnung eine diskrete Abtastung der 3D-Szene, da auf dem Trägermedium nur eine diskrete Aufzeichnung möglich ist. Bestimmte Kodierungsverfahren, bei denen die

Informationen über die 3D-Szene in geeigneter Weise in das Trägermedium eingespeichert sind, ermöglichen prinzipiell eine Rekonstruktion, bei der am Ort der Abtastpunkte selbst die Rekonstruktion mit dem abgetasteten Objekt vollständig übereinstimmt. Die physikalische Rekonstruktion ergibt aber wieder einen kontinuierlichen Verlauf auch zwischen den Abtastpunkten. Dort treten Abweichungen vom Intensitätsverlauf im Objekt auf, wodurch die Rekonstruktion Speckle-Muster enthält, die die Qualität der Rekonstruktion mindern. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Berechnung des Hologramms mit einer Zufallsphase der Objektpunkte durchgeführt wird, was aus bestimmten anderen Gründen aber vorteilhaft ist.

[0012] Ein Reduzieren der Speckle-Muster bei der Rekonstruktion der 3D-Szene kann prinzipiell durch zeitliche oder/und räumliche Mittelung erreicht werden, wobei die Rekonstruktion aus in ein externes Trägermedium kodierten Werten einer 3D-Szene oder aus in geeigneter Weise berechneten Hologrammwerten erzeugt wird. Dabei mittelt immer das Auge des Betrachters über mehrere ihm dargestellte Rekonstruktionen mit unterschiedlichem Speckle-Muster, wodurch eine Verringerung dieser Störung wahrgenommen wird.

[0013] So wird beispielsweise in der DE 195 41 071 A1 zum zeitlichen Ausmitteln der Granulation bei einer Hologrammprüfung eine rotierende rechteckförmige Glasplatte in den Strahlengang gebracht. Sie rotiert dabei mit einer auf die Frequenz eines Detektors abgestimmten Frequenz, wodurch die Speckle nicht mehr störend erscheinen. Ein solches Verfahren kann jedoch nur zur Verringerung eines zweidimensionalen, ebenen Speckle-Musters angewendet werden, wobei sich die Streuscheibe in der Ebene des Speckle-Musters befinden muss. Für die zeitliche Mittelung zum Reduzieren von Speckle-Mustern einer 3D-Szene ist es bekannt, die 3D-Szene mit einer vorgegebenen Anzahl von unterschiedlichen Zufallsphasen zu berechnen und die entsprechenden Hologramme zeitlich schnell nacheinander auf einem Trägermedium darzustellen. Durch die mehrfachen Hologrammberechnungen erhöht sich jedoch die Rechenleistung erheblich und auch die Bildwiederholfrequenz des Trägermediums bei der Darstellung der Hologramme müsste in unerwünschter Weise stark ansteigen.

[0014] Weiterhin ist aus der Literatur allgemein bekannt, zur räumlichen Mittelung ein Trägermedium in mehrere unabhängige Bereiche zu unterteilen, in die neben- und/oder untereinander eine Wiederholung von aus demselben Objekt mit unterschiedlichen Objektphasen berechneten Teil-Hologrammen eingeschrieben wird. Das Auge des Betrachters mittelt dann über die unterschiedlichen Speckle-Muster der einzelnen mit einer Fourier-Transformation oder

Fresnel-Transformation erzeugten Rekonstruktionen der berechneten Teil-Hologramme, wodurch das resultierende Speckle-Muster dann abgeschwächt erscheint.

[0015] Auf ein holographisches Display mit einem Betrachterfenster, dessen Prinzip in der DE 103 53 439 A1 der Anmelderin beschrieben wird und das diesem Dokument zugrunde liegt, ist dieses Verfahren aber nicht anwendbar. Hier wird eine komplexwertige Lichtverteilung des Beugungsbildes eines Objektes, z. B. einer 3D-Szene, im Betrachterfenster einer Betrachterebene berechnet. Dazu werden von einzelnen Objektebenen, in die die 3D-Szene virtuell geschnitten wird, Transformationen vorgenommen und im Betrachterfenster aufsummiert. Die Transformationen entsprechen der optischen Lichtausbreitung zwischen den geschnittenen Objektebenen und der Betrachterebene mit dem Betrachterfenster. Dieses Verfahren führt dazu, dass jedem Objektpunkt ein begrenzter lokalisierter Bereich auf einem Bildschirm zugeordnet ist, in den die Information für die Rekonstruktion dieses Punktes eingeschrieben ist. Dies ist für eine korrekte Rekonstruktion aus dem Betrachterfenster notwendig. Ein Kodieren von verschiedenen, aus der 3D-Szene berechneten Teil-Hologrammen neben- und/oder untereinander auf dem Bildschirm nach dem Stand der Technik würde dagegen nach sich ziehen, dass auch die einem Objektpunkt zugeordneten Hologrammwerte in unterschiedlichen Bereichen auf dem Bildschirm wiederholt werden. Dies ist nicht mit dem Sichtbarmachen der rekonstruierten 3D-Szene aus dem Betrachterfenster vereinbar. Ein genereller Nachteil einer räumlichen Wiederholung von Teil-Hologrammen ist außerdem, dass bei gegebenem Trägermedium dessen Auflösung für jedes einzelne Teil-Hologramm reduziert wird.

[0016] Aus der WO 2006/119 920 A1 ist eine Vorrichtung zur holographischen Rekonstruktion von dreidimensionalen Szenen bekannt, welche optische Fokussiermittel aufweist, die über einen räumlichen Lichtmodulator, der mit holographischer Information kodiert ist, ausreichend kohärentes Licht von Leuchtmitteln zu den Augen mindestens eines Betrachters richtet.

[0017] Aus der DE 600 23 692 T2 ist eine holographische Anzeige bekannt, bei der das Hologramm in Hogel unterteilt wird, die zueinander inkohärent beleuchtet werden können.

[0018] Aus der DE 197 04 741 A1 ist ein holographischer Bildschirm für Großbilddarstellungen bekannt, bei welchem schon bei seiner Herstellung durch Überlagerung mehrerer Beugungsstrukturen im Schirm selbst eine Speckle-Unterdrückung erreicht wird, wobei der holografische Schirm eine flache 2D Struktur aufweist.

[0019] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, in einer holographischen Wiedergabeeinrichtung mit virtuellem Betrachterfenster die bei der Rekonstruktion einer 3D-Szene auftretenden Speckle-Muster wesentlich zu reduzieren und ein echtzeitnah arbeitendes Verfahren zu schaffen, bei dem ein Trägermedium mit herkömmlicher Bildwiederholfrequenz verwendbar ist.

[0020] Die Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst. Hierbei werden verschiedene, zueinander inkohärente Rekonstruktionen in einem Rekonstruktionsraum am gleichen Ort erzeugt und überlagert. Da die Inkohärenz mit einer Phasenverschiebung verbunden ist, weisen die verschiedenen inkohärenten Rekonstruktionen zueinander unterschiedliche Speckle-Muster auf. Das jeweilige Auge des Betrachters mittelt von einer Augenposition aus über die Speckle-Muster und sieht nur eine einzige Speckle-reduzierte Rekonstruktion der ursprünglichen 3D-Szene in einem Rekonstruktionsraum.

[0021] Weiterhin wird die eingangs genannte Aufgabe durch die holographische Wiedergabeeinrichtung gemäß Anspruch 9 bzw. 19 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0022] Das Verfahren kann für jeweils ein rechtes und ein linkes Auge eines Betrachters separat, zum Beispiel zeitlich nacheinander, durchgeführt werden.

[0023] Das der Erfindung zugrunde liegende virtuelle Betrachterfenster zum Rekonstruieren der 3D-Szene entspricht hier der Ebene im Betrachtarraum, in der die verschiedenen unabhängigen, zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfronten der kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente Teil-Betrachterfenster bilden. Um die rekonstruierte 3D-Szene sehen zu können, müssen die Augen eines Betrachters in dieser Ebene eine Augenposition einnehmen. In der weiteren Beschreibung werden sowohl die Begriffe Augenposition als auch Betrachterfenster verwendet.

[0024] Unter einer komplexwertigen Wellenfront wird im Dokument eine Wellenfront verstanden, die mathematisch durch komplexe Zahlen beschrieben wird, die die Phase und Amplitude der Wellenfront definieren.

[0025] Um das Betrachterfenster, das normalerweise die komplexwertige Wellenfront der zu rekonstruierenden 3D-Szene enthält, vorteilhaft zum Erzeugen verschiedener, zueinander inkohärenter Rekonstruktionen am gleichen Ort benutzen zu können, müssen auch im Betrachterfenster verschiedene, zueinander inkohärente Bereiche erzeugt werden. Das kann in weiterer Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfah-

rens durch zwei unterschiedliche Methoden und zugehörige Rekonstruktionsmittel erreicht werden. Entsprechend den Merkmalen des Anspruchs 3 werden zum Erzeugen der zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster nach einer ersten Methode folgende weitere Verfahrensschritte ausgeführt:

- die der 3D-Szene entsprechende komplexwertige Wellenfront wird für jedes Teil-Betrachterfenster direkt in jeweils einen Lichtmodulator-Bereich kodiert,
- die voneinander unabhängigen Lichtmodulator-Bereiche werden durch Beleuchtungsmittel zueinander inkohärent beleuchtet und
- die inkohärent beleuchteten Lichtmodulator-Bereiche werden über das Rekonstruktionsmittel in verschiedene, zueinander inkohärente Teil-Betrachterfenster im Betrachterfenster abgebildet.

[0026] Entsprechend den Merkmalen des Anspruchs 4 werden zum Erzeugen der zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster nach einer zweiten Methode folgende weitere Verfahrensschritte ausgeführt:

- die der 3D-Szene entsprechenden komplexwertigen Wellenfronten werden für jedes Teil-Betrachterfenster als Äquivalent zu einer inkohärenten Beleuchtung berechnet, die inkohärent berechneten, gemeinsamen Wellenfronten in den Lichtmodulator transformiert und dort als ein gemeinsames Hologramm kodiert,
- der Lichtmodulator wird durch ein Beleuchtungsmittel hinreichend kohärent beleuchtet und
- das gemeinsame Hologramm wird durch das Rekonstruktionsmittel in die verschiedenen, zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster rücktransformiert.

[0027] Verschiedene, zueinander inkohärente Rekonstruktionen können also nach Anspruch 4 auch dadurch erzeugt werden, dass keine Abbildung der Lichtverteilungen erfolgt, sondern eine Transformation der inkohärent berechneten Lichtverteilungen der Teil-Betrachterfenster in den Lichtmodulator, in den die transformierten Werte als gemeinsames Hologramm kodiert werden. In einer Einrichtung zum Durchführen der zweiten Methode werden für die Beleuchtung und Rekonstruktion weniger Komponenten benötigt. Ein einziges Beleuchtungsmittel sowie ein zweiteiliges Rekonstruktionsmittel mit Rekonstruktionsoptik und Bildschirm genügen bereits zum Durchführen des Verfahrens. Vorteilhafterweise erfolgt die inkohärente Berechnung der Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfronten der 3D-Szene in den verschiedenen Teil-Betrachterfenster mit jeweils zueinander unterschiedlichen Objektphasen, aber fester Amplitude.

[0028] Durch die Merkmale der Ansprüche 3 und 4 wird erreicht, dass jedes erzeugte Teil-Betrachterfenster eine Lichtverteilung der gleichen komplexwer-

tigen Wellenfront der 3D-Szene enthält, die alle zueinander inkohärent sind. Aus den zueinander inkohärenten komplexwertigen Wellenfronten werden zueinander inkohärente Rekonstruktionen mit zueinander unterschiedlichen Speckle-Mustern erzeugt, so dass das jeweilige Auge eines Betrachters eine Mittelung der Speckle-Muster der erzeugten Rekonstruktionen der 3D-Szene durchführen kann.

[0029] Zum Realisieren des Verfahrens nach Anspruch 3 ist es erforderlich, dass wenigstens zwei kohärentes Licht aussendende Beleuchtungsmittel wenigstens zwei Lichtmodulator-Bereiche zueinander inkohärent beleuchten, um eine gemittelte Speckle-reduzierte Rekonstruktion zu erhalten. Je mehr zueinander inkohärente Teil-Betrachterfenster im Betrachterfenster erzeugt werden können, umso mehr wird vorteilhafterweise das Speckle-Muster der Rekonstruktion der 3D-Szene verringert sein.

[0030] Der Erfindung liegt weiterhin eine holographische Wiedergabeeinrichtung zugrunde, die wenigstens ein Rekonstruktionsmittel, hinreichend kohärente Beleuchtungsmittel, einen steuerbaren Lichtmodulator, in den die 3D-Szene kodiert ist, und ein Steuermittel zum Steuern der Beleuchtung enthält.

[0031] Eine vorteilhafte Ausführungsform sieht vor, dass das Rekonstruktionsmittel ein mehrteiliges Linsensystem und ein abbildendes optisches Element enthält, wobei das abbildende optische Element auch gleichzeitig die Funktion eines Bildschirms übernimmt. Ist der Bildschirm reflektiv ausgebildet, werden die Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfront in das Betrachterfenster vor dem Bildschirm abgebildet, so dass alle Rekonstruktionen in einem Rekonstruktionsraum vor dem Betrachterfenster erzeugt und sowohl vor als auch hinter dem Bildschirm sichtbar werden. Umfasst die holographische Wiedergabeeinrichtung in einer weiteren Ausführung einen transmissiv ausgebildeten Bildschirm, werden die Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfront in Lichtrichtung hinter dem Bildschirm in das Betrachterfenster abgebildet, so dass alle Rekonstruktionen vor dem Betrachterfenster erzeugt und in einem Rekonstruktionsraum sowohl vor als auch hinter dem Bildschirm sichtbar werden.

[0032] Zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 3 wird in Ausbildung der Erfindung weiterhin eine holographische Wiedergabeeinrichtung zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 10 vorgesehen, die folgende Mittel umfasst:

- verschiedene hinreichend kohärentes, jedoch zueinander inkohärentes Licht aussendende Beleuchtungsmittel zum Beleuchten verschiedener, voneinander unabhängiger Lichtmodulator-Bereiche und zum Erzeugen verschiedener unabhängiger Teil-Betrachterfenster zusammen mit einem Rekonstruktionsmittel,

- ein Kodiermittel in Form eines Lichtmodulators, in den bereichsweise komplexwertige Wellenfronten einer 3D-Szene kodiert sind,

- ein Rekonstruktionsmittel zum Erzeugen verschiedener unabhängiger Teil-Betrachterfenster mit zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der jeweiligen komplexwertigen Wellenfront verschiedener Lichtmodulator-Bereiche, in einem Betrachterfenster eines Betrachterraums, und zum Erzeugen von verschiedenen, zueinander inkohärenten Rekonstruktionen aus unterschiedlichen, voneinander unabhängigen und zueinander inkohärent beleuchteten Lichtmodulator-Bereichen in einem Rekonstruktionsraum und

- ein Steuermittel zum Steuern der Beleuchtungsmittel, des Kodiermittels und des Rekonstruktionsmittels.

[0033] Als Beleuchtungsmittel werden in den verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung vorteilhaft Laser verwendet.

[0034] Ein weiteres wesentliches Merkmal der Erfindung besteht darin, dass die zueinander inkohärenten unabhängigen Teil-Betrachterfenster eindimensional nebeneinander liegend angeordnet sind. Eine so entstandene laterale Gesamtausdehnung der Teil-Betrachterfenster erreicht mindestens die vorgegebene horizontale Breite b des für ein Auge bestimmten Betrachterfensters. Zweckmäßigerweise enthält das Betrachterfenster zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens für ein linkes bzw. rechtes Auge eines Betrachters wenigstens zwei Teil-Betrachterfenster. In einer weiteren Ausführungsform sind die zueinander inkohärenten, unabhängigen Teil-Betrachterfenster eindimensional in vertikaler Richtung nebeneinander liegend angeordnet und weisen eine vertikale Gesamtausdehnung auf, die die vorgegebene Höhe des für ein Auge bestimmten Betrachterfensters mindestens erreicht. Die Basis für die laterale und vertikale Gesamtausdehnung der Teil-Betrachterfenster ist vorzugsweise der Durchmesser einer Augenpupille des Auges. Da die räumliche Auflösung der Rekonstruktion durch das Auflösungsvermögen des Auges begrenzt ist, kann das Betrachterfenster in seiner Ausdehnung die Augenpupille auch überschreiten und der Betrachter sieht trotzdem die Rekonstruktion. Jedoch muss ein Teil-Betrachterfenster stets kleiner als eine Augenpupille sein, damit gleichzeitig alle Teil-Betrachterfenster gesehen werden können, da die räumliche Auflösung der Rekonstruktion durch die Größe des Betrachterfensters begrenzt ist.

[0035] Eine andere zweckmäßige Gestaltung der zueinander inkohärenten, unabhängigen Teil-Betrachterfenster sieht vor, dass sie zweidimensional im Betrachterfenster angeordnet sind. Sie liegen dann horizontal und vertikal nebeneinander und bilden eine quadratische oder rechteckige Fläche. So kann bei

der holographischen Wiedergabeeinrichtung vorteilhaft mit einer größer werdenden Anzahl von zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenstern und Rekonstruktionen das störende Speckle-Muster stetig verringert werden.

[0036] Für ein möglichst problemloses eindimensionales Abbilden eines Lichtmodulator-Bereichs auf den Bildschirm ist jeweils eine Linse eines mehrteiligen Linsensystems vorgesehen, wobei das Linsensystem vorzugsweise als Lentikular mit parallel zueinander angeordneten Lentikeln ausgeführt ist. Zum zweidimensionalen Abbilden der verschiedenen Lichtmodulator-Bereiche ist das mehrteilige Linsensystem vorteilhaft als matrixförmiges Linsenarray ausgebildet.

[0037] Eine holographische Wiedergabeeinrichtung zum Reduzieren der Speckle-Muster ist beispielsweise ein holographisches Display. Durch eine entsprechende Ausbildung der einzelnen Displaykomponenten, insbesondere der optischen, ist das Display wahlweise sowohl als Projektionsdisplay als auch als Direktsichtdisplay zu realisieren. Ein vorzugsweise entsprechend dem Verfahrensanspruch 3 ausgebildetes Projektionsdisplay benötigt dann zum Transformieren und Rekonstruieren ein Rekonstruktionsmittel, das nur eine Rekonstruktionsoptik und ein abbildendes optisches Element, das gleichzeitig als Bildschirm dient, enthält.

[0038] Mit der Erfindung nach Anspruch 3 wird als weiterer Vorteil das Hologramm im Gegensatz zum Stand der Technik nur einmal kodiert und muss nicht mehrmals neu berechnet werden, wodurch sich eine Einsparung von Rechenzeit ergibt.

[0039] Das erfindungsgemäße Verfahren und dazugehörige holographische Wiedergabeeinrichtungen zum Durchführen des Verfahrens werden nachfolgend näher beschrieben. In den dazugehörigen Zeichnungen zeigen

[0040] Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf ein holographisches reflektives Projektionsdisplay in einem ersten Ausführungsbeispiel

[0041] Fig. 2 eine schematische Draufsicht auf ein holographisches reflektives Projektionsdisplay in einem zweiten Ausführungsbeispiel und

[0042] Fig. 3a, Fig. 3b Simulationsergebnisse für ein Speckle-Muster nach der Rekonstruktion eines zweidimensionalen Objektes mit einer kohärenten (3a) und einer inkohärenten (3b) Beleuchtung als Diagramm.

[0043] Bei der Beschreibung der einzelnen Figuren werden für gleiche Komponenten die gleichen Bezeichnungen verwendet.

[0044] In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform eines holographischen Projektionsdisplays schematisch und vereinfacht in Draufsicht dargestellt. In Lichtrichtung sind nacheinander angeordnet:

- als Beleuchtungsmittel zwei Laser L1; L2, die in einem Lichtmodulator 1 zwei Lichtmodulator-Bereiche 11; 12 beleuchten, und
- ein Rekonstruktionsmittel, das vorzugsweise ein zweiteiliges Linsensystem 21; 22 und ein abbildendes optisches Element 3, das gleichzeitig als Bildschirm dient, enthält.

[0045] In einer Augenposition PE befindet sich eine Augenpupille 51 eines Auges 5 nahe einem virtuellen Betrachterfenster 4, das zwei zueinander inkohärente unabhängige Teil-Betrachterfenster 41; 42 aufweist. In einem Rekonstruktionsraum zwischen dem Bildschirm und der Augenposition PE ist eine Rekonstruktion 6 einer 3D-Szene zu sehen. Ein Steuermittel 7 steuert die Beleuchtung und die vom Licht betroffenen Komponenten.

[0046] In Fig. 2 ist eine zweite Ausführungsform eines holographischen Projektionsdisplays schematisch und vereinfacht in Draufsicht dargestellt. In Lichtrichtung sind nacheinander angeordnet:

- als Beleuchtungsmittel ein Laser L, der einen Lichtmodulator 1 mit einem darin kodierten Hologramm beleuchtet, und
- ein Rekonstruktionsmittel, das eine Rekonstruktionsoptik 20 sowie ein abbildendes optisches Element 3 zur Transformation des vom Lichtmodulator kommenden Lichts und zur Rekonstruktion einer 3D-Szene enthält, wobei das abbildende optische Element 3 gleichzeitig als Bildschirm dient.

[0047] Das Licht des Lasers L erzeugt in einer Augenposition PE nahe dem Auge 5 ein Betrachterfenster 4, in dem zwei zueinander inkohärente unabhängige Teil-Betrachterfenster 41; 42 liegen und das eine vorgegebene horizontale Breite b hat. Von hier aus ist die Rekonstruktion 6 einer 3D-Szene zu sehen. Die Beleuchtung wird über ein Steuermittel 7 gesteuert.

[0048] In den Fig. 3a und Fig. 3b sind die Ergebnisse von holographischen Simulationen als Diagramme dargestellt, die das Speckle-Muster einer Rekonstruktion eines rechteckigen Objektes bei kohärenter (3a) und bei inkohärenter (b) Beleuchtung für eine vorgegebene Position zeigen. In den Diagrammen ist die Intensität eines Speckle-Musters in Bezug auf eine Betrachterposition in beliebigen Einheiten dargestellt. Der Fig. 3b ist zu entnehmen, dass durch Erzeugen zweier zueinander inkohärenter Rekonstruktionen der gleichen 3D-Szene und deren Überlagerung am gleichen Ort in einem Rekonstruktionsraum die Intensität des Speckle-Musters gegenüber Fig. 3a für ein Auge 5 wesentlich geringer ist.

[0049] Da für das Reduzieren der Speckle im Betrachterfenster **4** entsprechend der Erfindung verschiedene, zueinander inkohärente Teil-Betrachterfenster **41** bis **4n**, wenigstens aber zwei Teil-Betrachterfenster **41**; **42** notwendig sind, muss auch auf dem Lichtmodulator **1** eine entsprechende Anzahl von inkohärent beleuchteten Bereichen geschaffen werden. Eine geeignete holographische Wiedergabeeinrichtung zum Durchführen eines entsprechenden Verfahrens ist in **Fig. 1** schematisch als ein reflektives Projektionsdisplay dargestellt.

[0050] Jeweils ein Laser **L1**; **L2** beleuchtet mit kohärentem Licht separat jeweils einen Lichtmodulator-Bereich **11**; **12** des Lichtmodulators **1**, so dass diese Bereiche zwar kohärent, aber zueinander inkohärent beleuchtet sind. Die komplexwertige Wellenfront der 3D-Szene ist hier direkt in den Lichtmodulator **1** in jeden der voneinander unabhängigen Lichtmodulator-Bereiche **11**; **12** kodiert. Jeder Lichtmodulator-Bereich **11**; **12** wird separat durch eine Linse **21**; **22** eines mehrteiligen Linsensystems vergrößert auf das abbildende optische Element **3** und von dort verkleinert in zwei gleich große nebeneinander liegende Bereiche des Betrachterfensters **4** abgebildet. Diese Bereiche werden als Teil-Betrachterfenster **41**; **42** definiert. Das Betrachterfenster **4** enthält damit in zwei Teil-Betrachterfenstern **41**; **42** zwei nebeneinander liegende, zueinander inkohärente Verteilungen des Lichts der komplexwertigen Wellenfront der gleichen 3D-Szene. Die zwei Abbildungsstrahlengänge sind vom Bildschirm aus durch unterschiedliche Linienarten dargestellt. Das Steuermittel **7** steuert die Laser und den Lichtmodulator **1** so, dass aus den zwei komplexwertigen Wellenfronten im Betrachterfenster **4** zwei zueinander inkohärente Rekonstruktionen der 3D-Szene mit jeweils unterschiedlichen Speckle-Mustern im Rekonstruktionsraum zwischen dem abbildenden optischen Element **3** und dem Betrachterfenster **4** am gleichen Ort erzeugt und überlagert werden. Das rechte oder linke Auge **5** des Betrachters nimmt vom Betrachterfenster **4** dann in seiner Augenpupille **51** eine einzige Rekonstruktion **6** als Überlagerung der inkohärenten Rekonstruktionen mit reduziertem Speckle-Muster wahr. Die Überlagerung ist in der Darstellung der 3D-Szene aus der Kombination der unterschiedlichen Linienarten der Abbildungsstrahlengänge ersichtlich.

[0051] Die Kodierung kann im Lichtmodulator **1** variabel so vorgegeben werden, dass die Rekonstruktion **6** der 3D-Szene vor und/oder hinter dem Bildschirm zu sehen ist. Der Bildschirm ist beispielsweise als Abbildungslinse mit reflektierender rückseitiger Linsenfläche ausgebildet. Beides trifft auch für **Fig. 2** zu.

[0052] Die laterale Gesamtausdehnung der eindimensional nebeneinander liegenden Teil-Betrachterfenster **41**; **42** entspricht der vorgegebenen horizon-

talen Breite b (nur in **Fig. 2** dargestellt) des Betrachterfensters **4**. Als Maßstab für die vorzugebende horizontale oder vertikale Breite oder Höhe des Betrachterfensters **4** dient der Durchmesser der Augenpupille **51** des jeweiligen Betrachterauges. Vorteilhaft sind hier die einzelnen Teil-Betrachterfenster **41**; **42** kleiner als die Augenpupille **51**. Sind die Teil-Betrachterfenster **41**; **42** stattdessen größer als die Augenpupille **51**, so gibt es innerhalb des Betrachterfensters **4** einige Positionen, an denen sich die Augenpupille **51** vollständig innerhalb eines Teil-Betrachterfensters **41**; **42** befindet, so dass keine Reduzierung der Speckle-Muster auftritt, und es gibt andere Positionen, an denen die Augenpupille **51** sich über Bereiche mehrerer Teil-Betrachterfenster erstreckt und weiterhin eine Reduzierung der Speckle-Muster auftritt.

[0053] Entsprechend **Fig. 2** ist eine zweite Ausführungsform eines reflektiven holographischen Projektionsdisplays schematisch und vereinfacht in Draufsicht dargestellt. In Lichtrichtung sind nacheinander angeordnet:

- als Beleuchtungsmittel ein Laser **L**, der einen Lichtmodulator **1** kohärent beleuchtet, und
- ein Rekonstruktionsmittel, das eine Rekonstruktionsoptik **20** und ein abbildendes optisches Element **3**, das gleichzeitig als Bildschirm dient, enthält.

[0054] In einer Augenposition **PE** befindet sich nahe einem Auge **5** ein virtuelles Betrachterfenster **4** mit einer vorgegebenen horizontalen Breite b , das zwei unabhängige Teil-Betrachterfenster **41**; **42** enthält. In einem Rekonstruktionsraum ist eine Rekonstruktion **6** einer 3D-Szene zu sehen.

[0055] Im Unterschied zu **Fig. 1** findet hier keine Abbildung von komplexwertigen Wellenfronten der gleichen 3D-Szene statt, sondern es wird ein Hologramm der 3D-Szene für verschiedene, hier vorzugsweise zwei, nebeneinander liegende unabhängige Bereiche bzw. Teil-Betrachterfenster **41**; **42** des Betrachterfensters **4** einmalig so berechnet, als ob die komplexwertigen Wellenfronten in diesen Bereichen zueinander inkohärent beleuchtet sind. Das wird erreicht, indem diese Bereiche bei der Berechnung der Wellenfronten einen Phasenunterschied zueinander erhalten, beispielsweise durch Verwendung unterschiedlicher Objektphasen bzw. Zufallsphasen. Mit einer Zufallsphase erreicht man, dass die Lichtintensität bzw. die Informationen über die 3D-Szene im gesamten Betrachterfenster **4** gleichmäßig verteilt sind. Die berechneten, zueinander inkohärenten Wellenfronten werden in **Fig. 2** aus den Teil-Betrachterfenstern **41**; **42** in den Lichtmodulator **1** als gemeinsames Hologramm transformiert und dort als ein gemeinsames Hologramm kodiert. Durch Beleuchten des Lichtmodulators **1** mit dem Laser **L** wird die kodierte komplexwertige Wellenfront des gemeinsamen

Hologramms über die Rekonstruktionsoptik **20** und das abbildende optische Element **3** in die zwei unabhängigen, zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster **41**; **42** des Betrachterfensters **4** rücktransformiert. Der Abstand der Rekonstruktionsoptik **20** zum abbildenden optischen Element **3** ist so gewählt, dass eine Vergrößerung der Rücktransformierten auf dem Bildschirm stattfindet und die Rekonstruktion **6** ebenfalls vergrößert dargestellt wird. Vom Bildschirm aus wird die Rücktransformierte entsprechend dem Prinzip der Betrachterfensterdarstellung in das Betrachterfenster **4** nahe der Augenpupille **51** verkleinert. Aus den zwei rücktransformierten komplexwertigen Wellenfronten der Teil-Betrachterfenster **41**; **42** werden dann wieder, wie unter **Fig. 1** beschrieben, zwei überlagerte Rekonstruktionen erzeugt, die als eine einzige Rekonstruktion **6** mit reduziertem Speckle-Muster für den Betrachter sichtbar sind. In dem Verfahren wird bevorzugt die Fourier-Transformation verwendet, da sie sich programmtechnisch einfach implementieren lässt und sehr genau durch optische Systeme realisiert werden kann. Es kann im Verfahren ein Lichtmodulator mit herkömmlicher Bildwiederholfrequenz verwendet werden und vorteilhafterweise sollte auch die Hologrammberechnung nur mit dieser Frequenz erfolgen.

[0056] Die Augenpositionsdaten des Betrachters **5** werden in **Fig. 1** und **Fig. 2** üblicherweise von einem nicht dargestellten Positionserfassungssystem mindestens zweidimensional ermittelt und vom Steuermittel **7** übernommen, worauf hier aber nicht näher eingegangen werden muss. Das Steuermittel **7** koordiniert anhand dieser Daten die Beleuchtung sowie den Betrieb des Lichtmodulators **1** und des Rekonstruktionsmittels zum Realisieren des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0057] Für ein möglichst problemloses Abbilden oder Transformieren können selbstverständlich im Beleuchtungsstrahlengang entsprechende Korrekturmittel vorgesehen sein, die vom Steuermittel gemäß ihrer Funktion steuerbar sind.

[0058] Als wesentlicher Vorteil ergibt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, dass die Anzahl der Teil-Betrachterfenster mit zueinander inkohärenten Bereichen von komplexwertigen Wellenfronten und die damit verbundene größeren Anzahl von Rekonstruktionen der 3D-Szene ohne zusätzliche Komponenten beliebig erhöht werden kann, um ein weiteres Reduzieren der auftretenden Speckle-Muster zu erreichen.

[0059] Das anhand von Ausführungsbeispielen für ein holographisches Projektionsdisplay beschriebene Verfahren zum Reduzieren von Speckle bei der Rekonstruktion einer 3D-Szene ist auch in einem holographischen Direktsichtdisplay in entsprechender

Abwandlung der Komponenten erfindungsgemäß anwendbar.

Bezugszeichenliste

1	Lichtmodulator
11; 12 ...; 1n	Lichtmodulator-Bereiche
20	Rekonstruktionsoptik
21; 22 ...; 2n	Linse eines Linsensystems
3	abbildendes optisches Element
4	Betrachterfenster
41; 42 ...; 4n	Teil-Betrachterfenster
5	Auge des Betrachters
51	Augenpupille
6	Rekonstruktion
7	Steuermittel
L, L1 ...; Ln	Beleuchtungsmittel
b	horizontale Breite des Betrachterfensters
PE	Augenposition

Patentansprüche

1. Verfahren zum Reduzieren von Speckle einer in einer holographischen Wiedergabeeinrichtung erzeugten dreidimensionalen holographischen Rekonstruktion mit einem steuerbaren Lichtmodulator (**1**), in den eine 3D-Szene kodiert ist und der von hinreichend kohärentem Licht beleuchtet wird, mit einem Rekonstruktionsmittel, welches moduliertes Licht nahe einer Augenposition (PE) in einen Betrachterraum projiziert, sowie mit einem Steuermittel (**7**) zum Steuern der Beleuchtung, **dadurch gekennzeichnet**, dass

mit dem vom Steuermittel (**7**) gesteuerten Licht von der im Lichtmodulator (**1**) kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente Lichtverteilungen komplexwertiger Wellenfronten der gleichen 3D-Szene in der Augenposition (PE) erzeugt werden,

dass in einem Rekonstruktionsraum am gleichen Ort den verschiedenen komplexwertigen Wellenfronten entsprechende Rekonstruktionen der 3D-Szene erzeugt und zueinander inkohärent überlagert werden, so dass von der Augenposition (PE) aus eine einzige Speckle-reduzierte Rekonstruktion (**6**) der 3D-Szene gesehen wird, dass die Augenposition (PE) einem definierten virtuellen Betrachterfenster (**4**) entspricht, dass in dem Betrachterfenster (**4**) die verschiedenen unabhängigen, zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfronten der kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente, eindimensional nebeneinander liegend angeordnete Teil-Betrachterfenster (**41**; ...; **4n**) bilden, und dass das Betrachterfenster (**4**) nur eine einzige Beugungsordnung einer periodischen Rekonstruktion umfasst.

2. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 1, wobei zum Erzeugen der unabhängigen, zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster (**41**; ...; **4n**)

- die der 3D-Szene entsprechende komplexwertige Wellenfront direkt in verschiedene unabhängige Lichtmodulator-Bereiche (**11**; ...; **1n**) kodiert wird,
- die voneinander unabhängigen Lichtmodulator-Bereiche (**11**; ...; **1n**) durch Beleuchtungsmittel (L_1 ; ...; L_n) zueinander inkohärent beleuchtet werden und
- das Rekonstruktionsmittel (**21**; ...; **2n**; **3**) die inkohärent beleuchteten Lichtmodulator-Bereiche (**11**; ...; **1n**) in die verschiedenen unabhängigen, zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster (**41**; ...; **4n**) im Betrachterfenster (**4**) abbildet.

3. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 1, wobei zum Erzeugen der unabhängigen, zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster (**41**; ...; **4n**)

- die der 3D-Szene entsprechende komplexwertige Wellenfront als Äquivalent zu einer inkohärenten Beleuchtung im Betrachterfenster (**4**) für die verschiedenen Teil-Betrachterfenster (**41**; ...; **4n**) berechnet wird, die inkohärent berechneten Wellenfronten in den Lichtmodulator (**1**) transformiert und als ein gemeinsames Hologramm kodiert werden,
- ein Beleuchtungsmittel (L) den Lichtmodulator (**1**) hinreichend kohärent beleuchtet und
- das Rekonstruktionsmittel (**20**; **3**) das Hologramm in die verschiedenen, zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster (**41**; ...; **4n**) rücktransformiert.

4. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 3, wobei die inkohärente Berechnung der Wellenfronten in den verschiedenen Teil-Betrachterfenstern (**41**; ...; **4n**) mit jeweils zueinander unterschiedlichen Objektphasen durchgeführt wird.

5. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 2, wobei wenigstens zwei kohärentes Licht aussendende Beleuchtungsmittel (L_1 ; L_2) wenigstens zwei unabhängige Lichtmodulator-Bereiche (**11**; **12**) zueinander inkohärent beleuchten.

6. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 2, wobei das Rekonstruktionsmittel ein abbildendes optisches Element (**3**) enthält, das gleichzeitig die Funktion eines Bildschirms erfüllt.

7. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 6, wobei der Bildschirm reflektiv ausgebildet ist und die Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfront in das Betrachterfenster (**4**) vor dem Bildschirm transformiert wird, so dass alle Rekonstruktionen in einem Rekonstruktionsraum vor dem Betrachterfenster (**4**) erzeugt und sowohl vor als auch hinter dem Bildschirm sichtbar werden.

8. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 6, wobei der Bildschirm transmissiv ausgebildet ist und die Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfront in Lichtrichtung hinter dem Bildschirm in das Betrachterfenster (**4**) transformiert werden, so dass alle Rekonstruktionen in einem Rekonstruktionsraum vor dem Betrachterfenster (**4**) erzeugt und sowohl vor als auch hinter dem Bildschirm sichtbar werden.

9. Holographische Wiedergabeeinrichtung zum Reduzieren von Speckle nach dem Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Lichtrichtung folgende Mittel vorgesehen sind:

- verschiedene hinreichend kohärentes, zueinander inkohärentes Licht aussendende Beleuchtungsmittel (L_1 ; ...; L_n) zum Beleuchten verschiedener, voneinander unabhängiger Lichtmodulator-Bereiche (**11**; ...; **1n**) und zum Erzeugen verschiedener unabhängiger Teil-Betrachterfenster (**41**; ...; **4n**) zusammen mit einem Rekonstruktionsmittel (**21**; ...; **2n**; **3**),
- ein Kodiermittel in Form eines Lichtmodulators (**1**), in den bereichsweise komplexwertige Wellenfronten der 3D-Szene kodiert sind,
- ein Rekonstruktionsmittel (**21**; ...; **2n**; **3**) zum Erzeugen verschiedener unabhängiger Teil-Betrachterfenster (**41**; ...; **4n**) mit zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der jeweiligen komplexwertigen Wellenfront der verschiedenen unabhängigen Lichtmodulator-Bereiche (**11**; ...; **1n**), in einem Betrachterfenster (**4**) eines Betrachterraums, und zum Erzeugen von verschiedenen, zueinander inkohärenten Rekonstruktionen aus verschiedenen, voneinander unabhängigen und zueinander inkohärent beleuchteten Lichtmodulator-Bereichen (**11**; ...; **1n**) in einem Rekonstruktionsraum und
- ein Steuermittel (**7**) zum Steuern der Beleuchtungsmittel (L_1 ; ...; L_n), des Kodiermittels und des Rekonstruktionsmittels (**21**; ...; **2n**; **3**).

10. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 9, wobei die Beleuchtungsmittel (L ; L_1 ; ...; L_n) Laser sind.

11. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 9, bei der das Rekonstruktionsmittel ein mehrteiliges Linsensystem (**21**; ...; **2n**) enthält und jeweils eine Linse des Linsensystems (**21**; ...; **2n**) als Lentikel eines Lentikulars zum eindimensionalen Abbilden eines Lichtmodulator-Bereichs (**11**; ...; **1n**) ausgebildet ist.

12. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 9, bei der das Rekonstruktionsmittel ein mehrteiliges Linsensystem (**21**; ...; **2n**) enthält, das als matrixförmiges Linsenarray zum zweidimensionalen Abbilden der verschiedenen Lichtmodulator-Bereiche (**11**; ...; **1n**) ausgebildet ist.

13. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 9, bei der die zueinander inkohärenten, unabhängigen Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) in horizontaler Richtung eindimensional nebeneinander liegend angeordnet sind und eine laterale Gesamtausdehnung aufweisen, die die vorgegebene horizontale Breite (b) des für ein Auge (5) bestimmten Betrachterfensters (4) mindestens erreicht.

14. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 9, bei der die zueinander inkohärenten, unabhängigen Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) in vertikaler Richtung eindimensional nebeneinander liegend angeordnet sind und eine vertikale Gesamtausdehnung aufweisen, die die vorgegebene vertikale Höhe des für ein Auge (5) bestimmten Betrachterfensters (4) mindestens erreicht.

15. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 9, bei der die zueinander inkohärenten, unabhängigen Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) zweidimensional im Betrachterfenster (4) angeordnet sind.

16. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 13 und 14, wobei der Durchmesser einer Augenpupille (51) des Auges (5) die Basis für die laterale und vertikale Gesamtausdehnung der Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) bildet.

17. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 16, bei der ein einzelnes Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) stets kleiner als die Augenpupille (51) ist.

18. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 9, welches einen Direktsichtaufbau aufweist, bei dem der Betrachter direkt auf ein Trägermedium schaut, oder welches einen Projektionsaufbau aufweist, bei dem der Betrachter auf einen Schirm schaut, auf den entweder eine Abbildung oder eine Transformierte der in einem Trägermedium kodierten Werte projiziert wird.

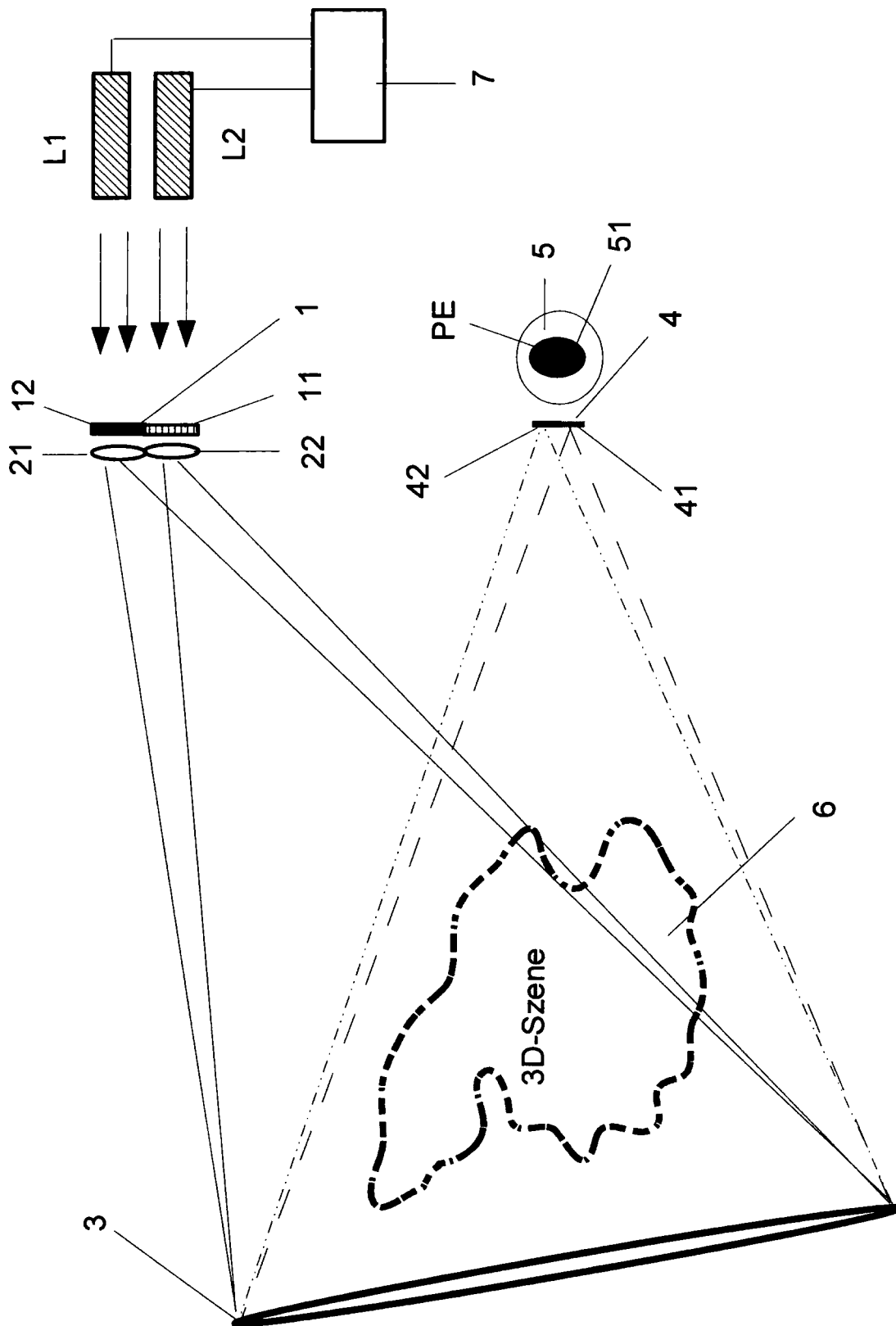
19. Holographische Wiedergabeeinrichtung zur Durchführen des Verfahrens zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 1, wobei mit der holographischen Wiedergabeeinrichtung eine dreidimensionale holographische Rekonstruktion erzeugbar ist, mit einem steuerbaren Lichtmodulator (1), mit einem Rekonstruktionsmittel und mit einem Steuermittel (7), wobei in den steuerbaren Lichtmodulator (1) eine 3D-Szene kodiert ist und wobei der steuerbare Lichtmodulator (1) von hinreichend kohärentem Licht beleuchtbar ist, wobei mit dem Rekonstruktionsmittel modulierte Licht nahe einer Augenposition (PE) in einen Betrachtterraum projizierbar ist, wobei mit dem Steuermittel (7) die Beleuchtung steuerbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass

mit dem vom Steuermittel (7) gesteuerten Licht von der im Lichtmodulator (1) kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente Lichtverteilungen komplexwertiger Wellenfronten der gleichen 3D-Szene in der Augenposition (PE) erzeugbar sind,

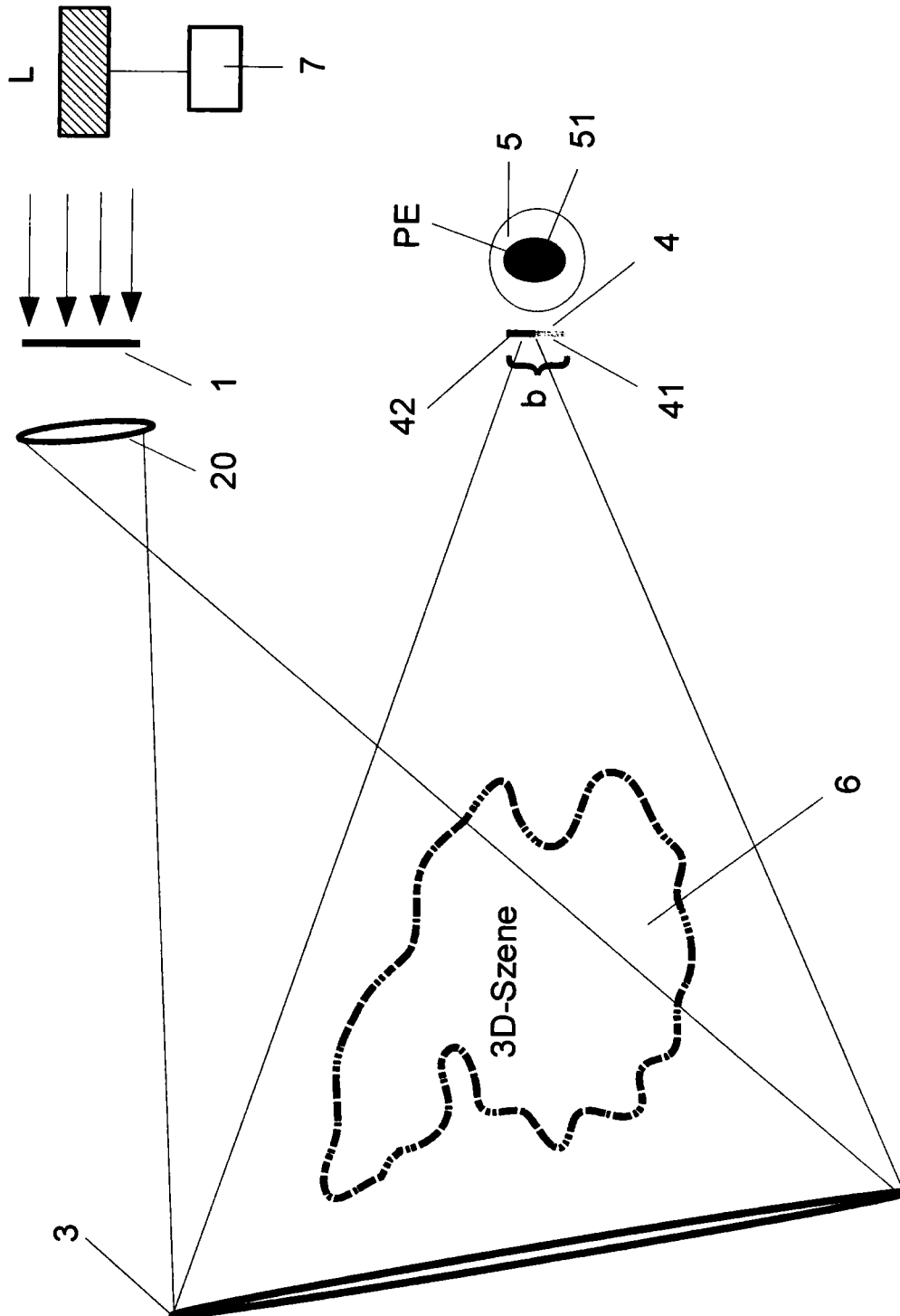
dass in einem Rekonstruktionsraum am gleichen Ort den verschiedenen komplexwertigen Wellenfronten entsprechende Rekonstruktionen der 3D-Szene erzeugt und zueinander inkohärent überlagerbar sind, so dass von der Augenposition (PE) aus eine einzige Speckle-reduzierte Rekonstruktion (6) der 3D-Szene gesehen wird, dass die Augenposition (PE) einem definierten virtuellen Betrachterfenster (4) entspricht, dass in dem Betrachterfenster (4) die verschiedenen unabhängigen, zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfronten der kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente, eindimensional nebeneinander liegend angeordnete Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) bilden, und dass das Betrachterfenster (4) nur eine einzige Beugungsordnung einer periodischen Rekonstruktion umfasst.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

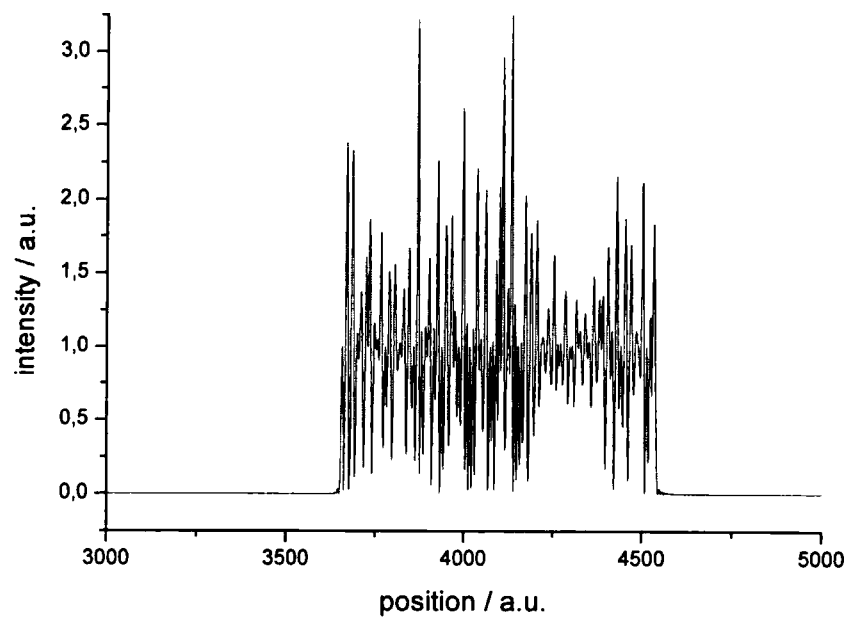
Anhängende Zeichnungen



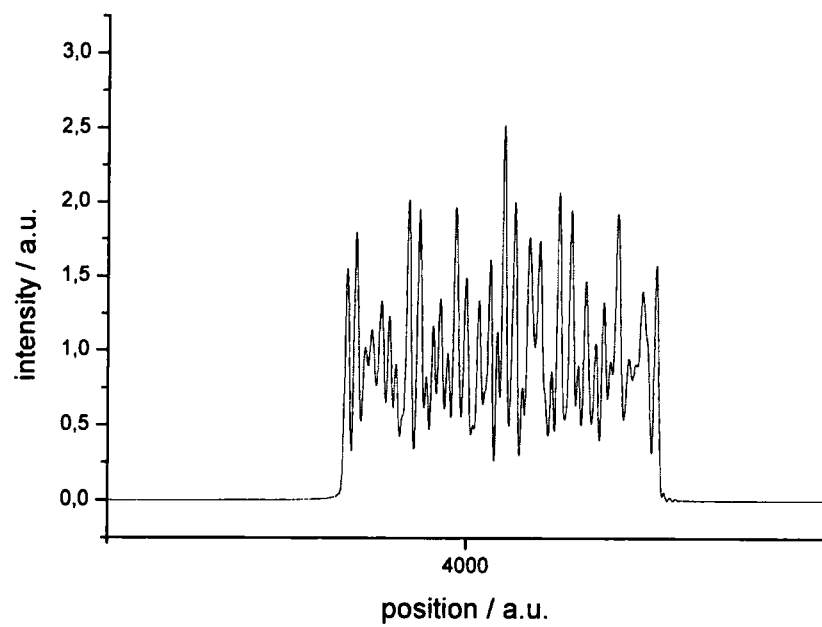
Figur 1



Figur 2



Figur 3a



Figur 3b