

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Juni 2008 (26.06.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/074721 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G03H 1/22 (2006.01) G03H 1/32 (2006.01)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LEISTER, Norbert
[DE/DE]; Hermannstädter Str. 23, 01279 Dresden (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/063862

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE,
EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID,
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN,
MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,
PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV,
SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Dezember 2007 (13.12.2007)

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(25) Einreichungssprache: Deutsch

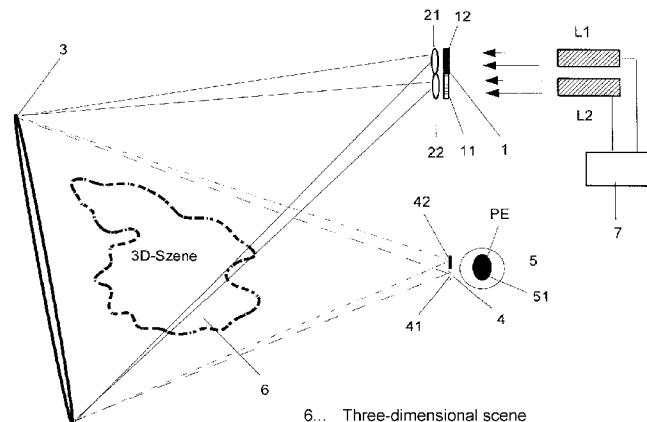
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 062 377.0
19. Dezember 2006 (19.12.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SEEREAL TECHNOLOGIES S.A. [LU/LU]; 35,
Boulevard du Prince Henri, L-1724 Luxembourg (LU).

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR REDUCING SPECKLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUM REDUZIEREN VON SPECKLE



6... Three-dimensional scene

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for reducing speckle patterns of a three-dimensional holographic reconstruction. According to said method, a controllable light modulator (1) into which a three-dimensional scene is coded is illuminated by coherent light, a reconstruction means (21, 22) projects the modulated light close to an eye position (PE) into a space of observation and a control means (7) controls the illumination. The aim of the invention is to provide a holographic reproduction device in which the speckle patterns occurring during reconstruction of a three-dimensional scene are reduced. Another aim is to provide a next-to-real time method using a carrier medium of conventional image refresh rate. For this purpose, the light controlled by the control means (7) is used to produce, starting from the three-dimensional scene encoded in the light modulator, different independent light distributions of complex-value wavefronts of the same three-dimensional scene in the eye position, said light distributions being incoherent with respect to each other. Reconstructions of the three-dimensional scene that correspond to the different complex-value wavefronts are produced in a reconstruction space in the same location and are incoherently superposed so that from the eye position a single speckle-reduced reconstruction of the three-dimensional scene (6) is seen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reduzieren von Speckle-Mustern einer dreidimensionalen holographischen Rekonstruktion, bei dem ein steuerbarer Lichtmodulator (1), in den eine 3D-Szene kodiert ist und der von kohärentem Licht beleuchtet wird, ein Rekonstruktionsmittel (21, 22) moduliertes Licht nahe einer Augenposition (PE)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/074721 A1



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

in einen Betrachterraum projiziert und ein Steuermittel (7) die Beleuchtung steuert. Zur Lösung der Aufgabe, in einer holographischen Wiedergabeeinrichtung die bei der Rekonstruktion einer 3D-Szene auftretenden Speckle-Muster zu reduzieren und ein echtzeitnah arbeitendes Verfahren mit einem Trägermedium mit herkömmlicher Bildwiederholfrequenz zu realisieren, werden mit dem vom Steuermittel gesteuerten Licht von der im Lichtmodulator kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente Lichtverteilungen komplexwertiger Wellenfronten der gleichen 3D-Szene in der Augenposition erzeugt und in einem Rekonstruktionsraum am gleichen Ort den verschiedenen komplexwertigen Wellenfronten entsprechende Rekonstruktionen der 3D-Szene erzeugt und inkohärent überlagert, so dass von der Augenposition aus eine einzige Speckle-reduzierte Rekonstruktion der 3D-Szene (6) gesehen wird.

Verfahren und Einrichtung zum Reduzieren von Speckle

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reduzieren von Speckle-Mustern einer dreidimensionalen holographischen Rekonstruktion einer dreidimensionalen Szene

5 und eine holographische Wiedergabeeinrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

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

10 echtzeitnah in holographischen Wiedergabeeinrichtungen erfolgt und bei denen die Rekonstruktion von einem virtuellen Betrachterfenster aus zu sehen ist.

Die Holographie ermöglicht die Aufzeichnung und die optische Wiedergabe eines dreidimensionalen Objektes oder einer bewegten 3D-Szene mit wellenoptischen

15 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
20 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.

25 Im Dokument wird die 3D-Szene in einer holographischen Wiedergabeeinrichtung mit einem Betrachterfenster, das ein Sichtbarkeitsbereich in einem Betracherraum 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,
30 den ein Betrachterauge einnehmen kann und von dem aus der Betrachter die Rekonstruktion der 3D-Szene sehen kann.

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

5 Betrachterfenster nur eine einzige Beugungsordnung einer periodischen Rekonstruktion umfasst. Die Ebene kann eine Brennebene eines Fokusmittels 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 Sichtbarkeitsbereich genutzt wird, jegliches Übersprechen zwischen den

10 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-

15 Verfahren für mehrere Personen nur dadurch möglich.

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

20 einfallenden Lichts modulieren. Um bewegte 3D-Szenen darstellen zu können, muss die Bildwiederholfrequenz des Trägermediums aber ausreichend groß sein.

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

25 sein.

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.

- Die Rekonstruktion des Hologramms ist wegen der diskreten Aufzeichnung 5 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.
- 10 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.
- 15 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 20 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, 25 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.
- 30 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.

- 5 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
10 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
15 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.

- 20 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
25 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.

- 30 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.

10

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.

20 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.

25

Die Aufgabe wird prinzipiell durch ein Verfahren gelöst, bei dem anstelle einer einzelnen, mit hinreichend kohärentem Licht erzeugten Rekonstruktion einer 3D-Szene verschiedene, zueinander inkohärente Rekonstruktionen in einem Rekonstruktionsraum am gleichen Ort erzeugt und überlagert werden. 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.

Das Verfahren wird in der holographischen Wiedergabeeinrichtung mit 5 erfindungsgemäßen Verfahrensschritten nach Anspruch 1 so ausgeführt, dass

- mit dem vom Steuermittel gesteuerte Licht von der im Lichtmodulator kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente Lichtverteilungen komplexwertiger Wellenfronten der gleichen 3D-Szene in einer Augenposition in einem Betracherraum erzeugt werden und

10 - in einem Rekonstruktionsraum am gleichen Ort den verschiedenen Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfronten entsprechende Rekonstruktionen der 3D-Szene erzeugt und zueinander inkohärent überlagert werden, so dass von der Augenposition aus eine einzige Speckle-reduzierte Rekonstruktion der 3D-Szene gesehen wird.

15 Das Verfahren kann für jeweils ein rechtes und ein linkes Auge eines Betrachters separat, zum Beispiel zeitlich nacheinander, durchgeführt werden. Weiterhin kann das Verfahren zum Erzeugen einer farbigen Rekonstruktion für die verschiedenen Grundfarben, z.B. rot, grün und blau, separat durchgeführt werden, beispielsweise 20 zeitlich nacheinander.

Das der Erfindung zugrunde liegende virtuelle Betrachterfenster zum Rekonstruieren der 3D-Szene entspricht hier der Ebene im Betracherraum, in der die verschiedenen unabhängigen, zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der 25 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.

30 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.

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 5 erzeugt werden. Das kann in weiterer Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens durch zwei unterschiedliche Methoden und zugehörige Rekonstruktionsmittel erreicht werden.

Entsprechend den Merkmalen des Anspruchs 3 werden zum Erzeugen der 10 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 15 Beleuchtungsmittel zueinander inkohärent beleuchtet und
- die inkohärent beleuchteten Lichtmodulator-Bereiche werden über das Rekonstruktionsmittel in verschiedene, zueinander inkohärente Teil-Betrachterfenster im Betrachterfenster abgebildet.

20 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 25 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 30 verschiedenen, zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster rücktransformiert.

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

- 5 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

- 10 komplexwertigen Wellenfronten der 3D-Szene in den verschiedenen Teil-Betrachterfenster mit jeweils zueinander unterschiedlichen Objektphasen, aber fester Amplitude.

Durch die Merkmale der Ansprüche 3 und 4 wird erreicht, dass jedes erzeugte Teil-

- 15 Betrachterfenster eine Lichtverteilung der gleichen komplexwertigen 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 20 erzeugten Rekonstruktionen der 3D-Szene durchführen kann.

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

- 25 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.

- 30 In Ausbildung des Verfahrens zum Reduzieren von Speckle für ein transmissives Direktsichtdisplay wird die 3D-Szene in Objektpunkte zerlegt und für diese Objektpunkte werden zueinander inkohärente Teil-Betrachterfenster erzeugt. Die Verfahrensschritte sind dadurch gekennzeichnet, dass

- die der 3D-Szene entsprechende komplexwertige Wellenfront für das gemeinsame Betrachterfenster berechnet, in den Lichtmodulator transformiert und als ein gemeinsames Hologramm kodiert wird, und

- eine matrixförmige Anordnung von Beleuchtungsmitteln in Kombination mit einer

5 matrixförmigen Anordnung von Rekonstruktionsmitteln verschiedene Subhologramm-Bereiche in jeweils einem Lichtmodulator-Bereich des Lichtmodulators inkohärent zueinander beleuchtet, wobei jeweils ein Lichtmodulator-Bereich ein Subhologramm eines Objektpunktes enthält, so dass durch Projektionen der beleuchteten Subhologramm-Bereiche durch den Objektpunkt hindurch mehrere

10 Teil-Betrachterfenster kleiner als die Augenpupille im Betrachterfenster für jeweils einen rekonstruierten Objektpunkt erzeugt werden.

Dieses Verfahren zeichnet sich weiterhin dadurch aus, dass die Größe der inkohärent zueinander beleuchteten Subhologramm-Bereiche durch eine Anpassung

15 der Abmessungen der Rekonstruktionsmittel an die Anzahl der Beleuchtungsmittel bestimmt wird, die jeweils für sich hinreichend kohärent, aber zueinander inkohärent sind.

Im Unterschied zum Ausführungsbeispiel nach Anspruch 3, bei dem für die gesamte

20 rekonstruierte 3D-Szene eine gemeinsame Unterteilung des Betrachterfensters entsteht, ergibt sich hier zur Speckle-Reduzierung ein Betrachterfenster, in dem die Lage der inkohärenten Teil-Betrachterfenster für jeden Objektpunkt individuell unterschiedlich sein kann.

25 Diese Ausgestaltung ist wegen der typischen Abmessungen der Lichtquellen bzw. Beleuchtungsmittel und der Rekonstruktionsmittel am Besten zur Umsetzung in einem Direktsichtdisplay geeignet. Sie kann aber prinzipiell auch in einem Projektionsdisplay verwendet werden.

30 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.

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.

5

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.

10

15

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:

- 20 - 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,
- 25 - 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, 30 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.

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

5

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 10 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.

15

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.

20

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 25 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.

30

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.

5

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 Lenticular mit parallel zueinander angeordneten Lenticeln ausgeführt ist. Zum zweidimensionalen Abbilden 10 der verschiedenen Lichtmodulator-Bereiche ist das mehrteilige Linsensystem vorteilhaft als matrixförmiges Linsenarray ausgebildet.

Eine holographische Wiedergabeeinrichtung zum Reduzieren der Speckle-Muster ist beispielsweise ein holographisches Display. Durch eine entsprechende Ausbildung 15 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 20 abbildendes optisches Element, das gleichzeitig als Bildschirm dient, enthält.

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.

25

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

- 30 Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf ein holographisches reflektives Projektionsdisplay in einem ersten Ausführungsbeispiel
Fig. 2 eine schematische Draufsicht auf ein holographisches reflektives Projektionsdisplay in einem zweiten Ausführungsbeispiel

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

Fig. 4 eine schematische Draufsicht auf ein Ausführungsbeispiel eines
5 holographischen transmissiven Direktsichtdisplays.

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

10 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

15 - ein Rekonstruktionsmittel, das vorzugsweise ein zweiteiliges Linsensystem 21; 22 und ein abbildendes optisches Element 3, das gleichzeitig als Bildschirm dient, enthält.

20 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 berührten Komponenten.

25

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 30 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.

Das Licht des Lasers L erzeugt in einer Augenposition PE nahe dem Auge 5 ein

5 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.

10 In den Figuren 3a und 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.

15 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 20 geringer ist.

In Fig. 4 ist eine schematische Draufsicht auf ein Ausführungsbeispiel eines holographischen transmissiven Direktsichtdisplays gezeigt. In Lichtrichtung sind Beleuchtungsmittel L10 bis L13 einer matrixförmigen Beleuchtungsanordnung und 25 ein Rekonstruktionsmittel mit Linsen 21 bis 2n vor einem Lichtmodulator 1 dargestellt. In einem Lichtmodulator-Bereich ist ein Subhologramm SOP eines rekonstruierten Objektpunktes OP kodiert. Weiterhin ist der geometrische Strahlenverlauf der inkohärent zueinander beleuchteten Subhologramm-Bereiche SOP10 bis SOP13 durch den Objektpunkt OP zum gemeinsamen Betrachterfenster 40 4 eingezeichnet sowie im Betrachterfenster 4 jeweils die Teil-Betrachterfenster 412 und 410. Unmittelbar hinter dem Betrachterfenster 4 liegt ein Auge 5 eines Betrachters mit der Augenpupille 51. Ein Steuermittel 7 steuert die Beleuchtung und die vom Licht berührten Komponenten zur Rekonstruktion der 3D-Szene.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren an den Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Da für das Reduzieren der Speckle im Betrachterfenster 4 entsprechend der 5 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 10 Fig. 1 schematisch als ein reflektives Projektionsdisplay dargestellt.

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 15 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 20 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 25 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 30 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.

5

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.

10

Die laterale Gesamtausdehnung der eindimensional nebeneinander liegenden Teil-Betrachterfenster 41; 42 entspricht der vorgegebenen horizontalen 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 20 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.

25

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 30 beleuchtet, und
- ein Rekonstruktionsmittel, das eine Rekonstruktionsoptik 20 und ein abbildendes optisches Element 3, das gleichzeitig als Bildschirm dient, enthält.

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.

5

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 10 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 15 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 20 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 25 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 30 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 5 sollte auch die Hologrammberechnung nur mit dieser Frequenz erfolgen.

Im transmissiven Direktsichtdisplay gemäß Fig. 4 kann das erfindungsgemäße Verfahren zum Reduzieren von Speckle-Mustern, das auf der Mittelung specklebehafteter, zueinander inkohärenter Teil-Betrachterfenster in einem 10 gemeinsamen Betrachterfenster basiert, ebenfalls eingesetzt werden. Dafür ist die 3D-Szene in einzelne Objektpunkte zu zerlegen und jeder Objektpunkt als Subhologramm in einen Lichtmodulator-Bereich des Lichtmodulators zu kodieren.

Das Licht einer matrixförmigen Anordnung von Beleuchtungsmitteln, von denen vier 15 Lichtquellen L10 bis L13 dargestellt sind, gelangt über ein Rekonstruktionsmittel 20 auf einen Lichtmodulator 1, der in einem Lichtmodulator-Bereich das kodierte Subhologramm SOP eines ausgewählten Objektpunktes OP enthält. Jedes Beleuchtungsmittel L10 bis L13 leuchtet für sich hinreichend kohärent, aber zueinander beleuchten sie inkohärent.

20

Das Rekonstruktionsmittel 20 ist als matrixförmige Anordnung von Linsen 21 bis 2n ausgebildet, die hier eine fokussierende Funktion haben. Die Linsen können beispielsweise eine zweidimensionale Anordnung von sphärischen Linsen oder eine eindimensionale Anordnung von Zylinderlinsen eines Lentikulars sein.

25

In Fig. 4 wird ein Lentikular mit einem gewählten Linsenpitch verwendet. Durch den Linsenpitch und die Größe und Lage des Subhologramms SOP im Lichtmodulator 1 erstreckt sich das Subhologramm SOP hier über einen Bereich von vier benachbarten Linsen des Rekonstruktionsmittels 20. Jeweils ein Lichtquellenmittel 30 L10 bis L13 beleuchtet über eine Linse einen Subhologramm-Bereich SOP10 bis SOP13 des Subhologramms SOP. Die Projektionen der beleuchteten Subhologramm-Bereiche SOP10 bis SOP13 durch den Objektpunkt OP erzeugen im

Betrachterfenster 4 jeweils ein Teil-Betrachterfenster, von denen die Teil-Betrachterfenster 412 und 410 dargestellt sind.

Das gesamte Betrachterfenster 4 ist größer als die Augenpupille 51. Jedes erzeugte

5 Teil-Betrachterfenster ist immer kleiner als die Augenpupille 51, die aber mindestens zwei Teil-Betrachterfenster zum Mitteln der Speckle-Muster überdecken muss. Demzufolge mittelt das Auge hier die Überlagerung aus mindestens zwei zueinander inkohärenten Rekonstruktionen der 3D-Szene mit Speckle-Mustern.

10 Für andere Objektpunkte OP_n mit anderen lateralen Positionen, aber mit der gleichen Tiefe wie der Objektpunkt OP, werden ebenfalls mehrere inkohärente Teil-Betrachterfenster im Betrachterfenster 4 erzeugt, deren Lagen seitlich zueinander verschoben sind. Auch von diesen Objektpunkten sieht das Auge Überlagerungen mehrerer inkohärenter Rekonstruktionen. Durch die Überlagerungen der 15 inkohärenten Rekonstruktionen aller Objektpunkte, über die das Auge mittelt, ergibt sich eine Verringerung der Speckle-Muster der gesamten 3D-Szene. Ein Steuermittel 7 steuert die Modulation und Rekonstruktion der 3D-Szene.

Mit entsprechend kleinen Linsen lässt sich dieses Ausführungsbeispiel auch als

20 Projektionsaufbau realisieren.

Für die Rekonstruktion der 3D-Szene im gemeinsamen Betrachterfenster ist die relative Lage der Subhologramme zu den einzelnen Linsen des Rekonstruktionsmittels von Bedeutung. Wenn ein Subhologramm sich z.B. über zwei

25 Linsen erstreckt, entstehen für die Rekonstruktion des einzelnen Objektpunktes zwei zueinander versetzt liegende inkohärente Teil-Betrachterfenster im gemeinsamen Betrachterfenster. Aufgrund von Beugung sind diese zwei Teil-Betrachterfenster nicht vollständig voneinander getrennt, sondern überlappen sich. Die Überlappung ist aber kein Nachteil, sondern wirkt sich positiv auf die Speckle-Reduzierung aus.

30

Je kleiner die einzelnen Linsen sind, desto kleiner werden auch die zueinander inkohärenten Teil-Betrachterfenster. Sind die Linsen im Vergleich zur Größe des Subhologramms und des Betrachterfensters so klein, dass mehrere inkohärente

Teil-Betrachterfenster in die Augenpupille fallen, dann ergibt sich vorteilhaft eine Mittelung über mehrere inkohärente Rekonstruktionen im Auge und folglich eine Reduzierung der Speckle-Muster.

- 5 Das Verhältnis von Linsengröße zur Größe der Teil-Betrachterfenster ist von verschiedenen Parametern wie z.B. dem Pixelpitch des Lichtmodulators, vom Abstand des Betrachters zum Bildschirm, von der Wellenlänge des Lichtes und von der Tiefenkoordinate des Objektpunktes selbst abhängig. Aus diesen Parametern kann die Linsengröße so gewählt werden dass die Bedingung – inkohärente
- 10 Teilbetrachterfenster kleiner als die Augenpupille – für einen vorgegebenen Tiefenbereich der 3D-Szene erfüllt ist.

- Die Kodierung der einzelnen Objektpunkte der 3D-Szene im Lichtmodulator erfolgt jeweils in den Lichtmodulator-Bereichen unabhängig davon, ob eine analytische
- 15 Berechnung oder eine Berechnung mit Fourier- und Fresneltransformationen durchgeführt wird.

- Die Augenpositionsdaten des Betrachterauges 5 werden in Fig. 1 und Fig. 2 üblicherweise von einem nicht dargestellten Positionerfassungssystem mindestens
- 20 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.
 - 25 Für ein möglichst problemloses Abbilden oder Transformieren können selbstverständlich im Beleuchtungsstrahlengang entsprechende Korrekturmittel vorgesehen sein, die vom Steuermittel gemäß ihrer Funktion steuerbar sind.

- Als wesentlicher Vorteil ergibt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, dass die
- 30 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.

Das beschriebene erfindungsgemäße Verfahren zum Reduzieren von Speckle bei
5 der Rekonstruktion einer 3D-Szene ist sowohl in einem holographischen
Projektionsdisplay als auch in einem holographischen Direktsichtdisplay in
entsprechender Abwandlung der Komponenten anwendbar.

Bezugszeichen

1	Lichtmodulator
11; 12 ...; 1n	Lichtmodulator-Bereiche
5 20	Rekonstruktionsoptik
21; 22 ...; 2n	Linsen eines Linsensystems
3	abbildendes optisches Element
4	Betrachterfenster
41; 42 ...; 4n	Teil-Betrachterfenster
10 5	Auge des Betrachters
51	Augenpupille
6	Rekonstruktion
7	Steuermittel
L, L1 ...; Ln	Beleuchtungsmittel
15 b	horizontale Breite des Betrachterfensters
OP	Objektpunkt
PE	Augenposition
SOP	Subhologramm des Objektpunktes
SOP1; ...; SOPn	Subhologramm-Bereich

Patentansprüche

1. Verfahren zum Reduzieren von Speckle einer in einer holographischen Wiedergabeeinrichtung erzeugten dreidimensionalen holographischen Rekonstruktion mit einem steuerbaren Lichtmodulator, in den eine 3D-Szene kodiert ist und der von hinreichend kohärentem Licht beleuchtet wird, mit einem Rekonstruktionsmittel, welches moduliertes Licht nahe einer Augenposition in einen Betracherraum projiziert, sowie mit einem Steuermittel zum Steuern der Beleuchtung, dadurch gekennzeichnet, dass
 - mit dem vom Steuermittel 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 und
 - 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.
2. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 1, wobei die Augenposition (PE) einem definierten virtuellen Betrachterfenster (4) entspricht, in dem die verschiedenen unabhängigen, zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der komplexwertigen Wellenfronten der kodierten 3D-Szene verschiedene unabhängige, zueinander inkohärente Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) bilden.
3. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 2, 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 (L1; ...; Ln) 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.

4. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 2, wobei zum Erzeugen

5 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

10 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.

15

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

20 6. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 3, wobei wenigstens zwei kohärentes Licht aussendende Beleuchtungsmittel (L1; L2) wenigstens zwei unabhängige Lichtmodulator-Bereiche (11; 12) zueinander inkohärent beleuchten.

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

30 8. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 7, 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.

9. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 7, 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 5 vor dem Betrachterfenster (4) erzeugt und sowohl vor als auch hinter dem Bildschirm sichtbar werden.

10. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 2, wobei die 3D-Szene in Objektpunkte (OPn) zerlegt wird und für einen einzelnen Objektpunkt (OP) 10 unabhängige, zueinander inkohärente Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) erzeugt werden, indem

- die der 3D-Szene entsprechende komplexwertige Wellenfront für das gemeinsame Betrachterfenster (4) berechnet, in den Lichtmodulator (1) transformiert und als ein gemeinsames Hologramm kodiert wird, und

15 - eine matrixförmige Anordnung von Beleuchtungsmitteln (L1; ...; Ln) in Kombination mit einer matrixförmigen Anordnung von Rekonstruktionsmitteln (21; ...; 2n) verschiedene Subhologramm-Bereiche (SOP1; ...; SOPn) in jeweils einem Lichtmodulator-Bereich des Lichtmodulators (1) inkohärent zueinander beleuchtet, wobei jeweils ein Lichtmodulator-Bereich ein Subhologramm (SOP) eines 20 Objektpunktes (OP) enthält, so dass durch Projektionen der beleuchteten Subhologramm-Bereiche (SOP1; ...; SOPn) durch den Objektpunkt (OP) hindurch mehrere Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) kleiner als die Augenpupille (51) im Betrachterfenster (4) für jeweils einen rekonstruierten Objektpunkt (OP) erzeugt werden.

25

11. Verfahren zum Reduzieren von Speckle nach Anspruch 10, wobei die Größe der inkohärent zueinander beleuchteten Subhologramm-Bereiche (SOP1; ...; SOPn) durch eine Anpassung der Abmessungen der Rekonstruktionsmittel (21; ...; 2n) an die Anzahl der Beleuchtungsmittel (L1; ...; Ln) bestimmt wird, die jeweils für sich 30 hinreichend kohärent, aber zueinander inkohärent sind.

12. Holographische Wiedergabeeinrichtung zum Reduzieren von Speckle nach dem Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass in Lichtrichtung folgende Mittel vorgesehen sind:

- verschiedene hinreichend kohärentes, zueinander inkohärentes Licht aussendende

5 Beleuchtungsmittel ($L_1; \dots; L_n$) zum Beleuchten verschiedener, voneinander unabhängiger Lichtmodulator-Bereiche ($1_1; \dots; 1_n$) und zum Erzeugen verschiedener unabhängiger Teil-Betrachterfenster ($4_1; \dots; 4_n$) zusammen mit einem Rekonstruktionsmittel ($2_1; \dots; 2_n; 3$),

- ein Kodiermittel in Form eines Lichtmodulators (1), in den bereichsweise

10 komplexwertige Wellenfronten der 3D-Szene kodiert sind,

- ein Rekonstruktionsmittel ($2_1; \dots; 2_n; 3$) zum Erzeugen verschiedener unabhängiger Teil-Betrachterfenster ($4_1; \dots; 4_n$) mit zueinander inkohärenten Lichtverteilungen der jeweiligen komplexwertigen Wellenfront der verschiedenen unabhängigen Lichtmodulator-Bereiche ($1_1; \dots; 1_n$), in einem Betrachterfenster (4)

15 eines Betrachterraums, und zum Erzeugen von verschiedenen, zueinander inkohärenten Rekonstruktionen aus verschiedenen, voneinander unabhängigen und zueinander inkohärent beleuchteten Lichtmodulator-Bereichen ($1_1; \dots; 1_n$) in einem Rekonstruktionsraum und

- ein Steuermittel (7) zum Steuern der Beleuchtungsmittel ($L_1; \dots; L_n$), des

20 Kodiermittels und des Rekonstruktionsmittels ($2_1; \dots; 2_n; 3$).

13. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 12, wobei die Beleuchtungsmittel ($L; L_1; \dots; L_n$) Laser sind.

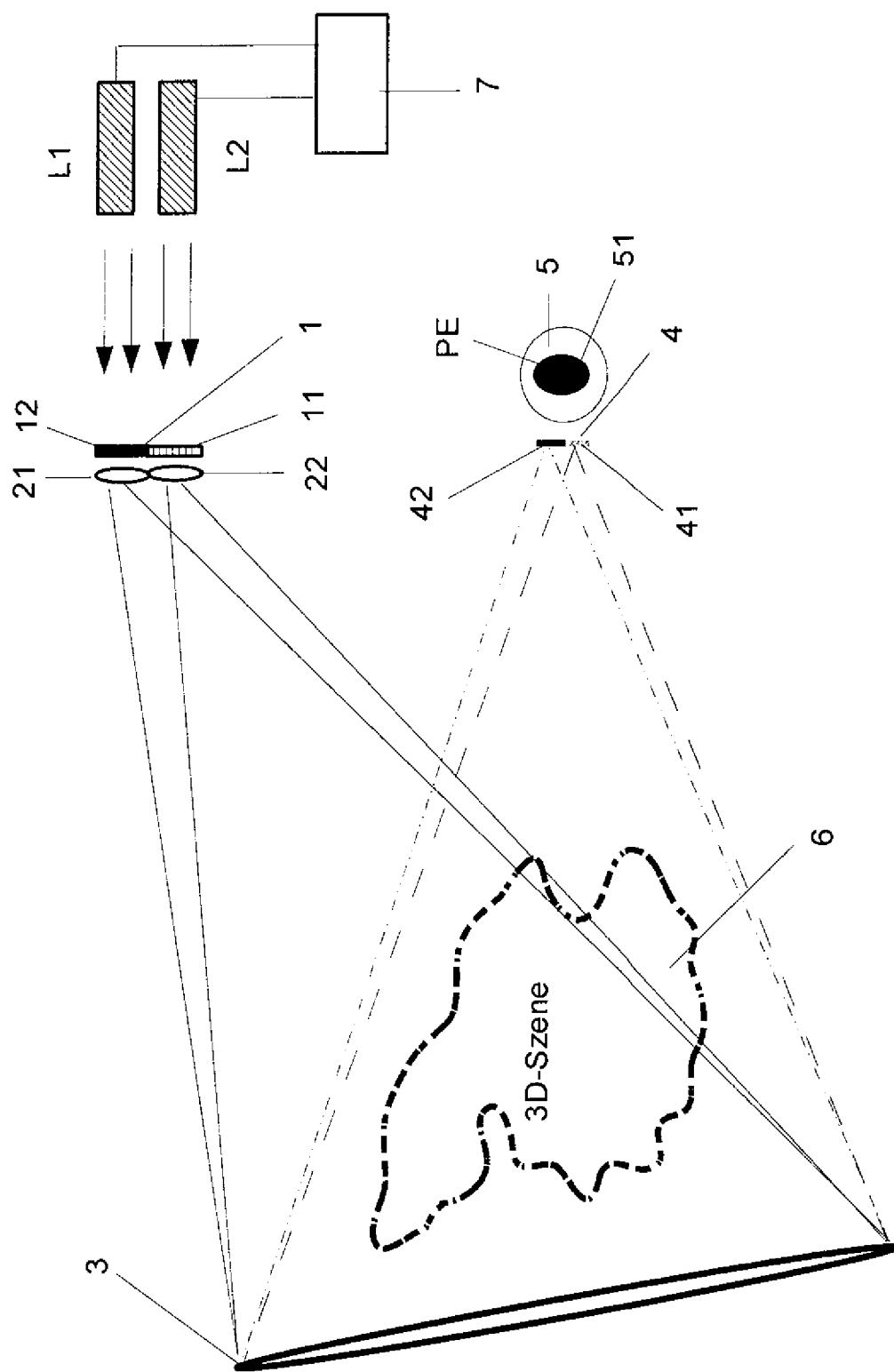
25 14. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 12, bei der das Rekonstruktionsmittel ein mehrteiliges Linsensystem ($2_1; \dots; 2_n$) enthält und jeweils eine Linse des Linsensystems ($2_1; \dots; 2_n$) als Lentikel eines Lentikulars zum eindimensionalen Abbilden eines Lichtmodulator-Bereichs ($1_1; \dots; 1_n$) ausgebildet ist.

30

15. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 12, bei der das Rekonstruktionsmittel ein mehrteiliges Linsensystem ($2_1; \dots; 2_n$) enthält, das als

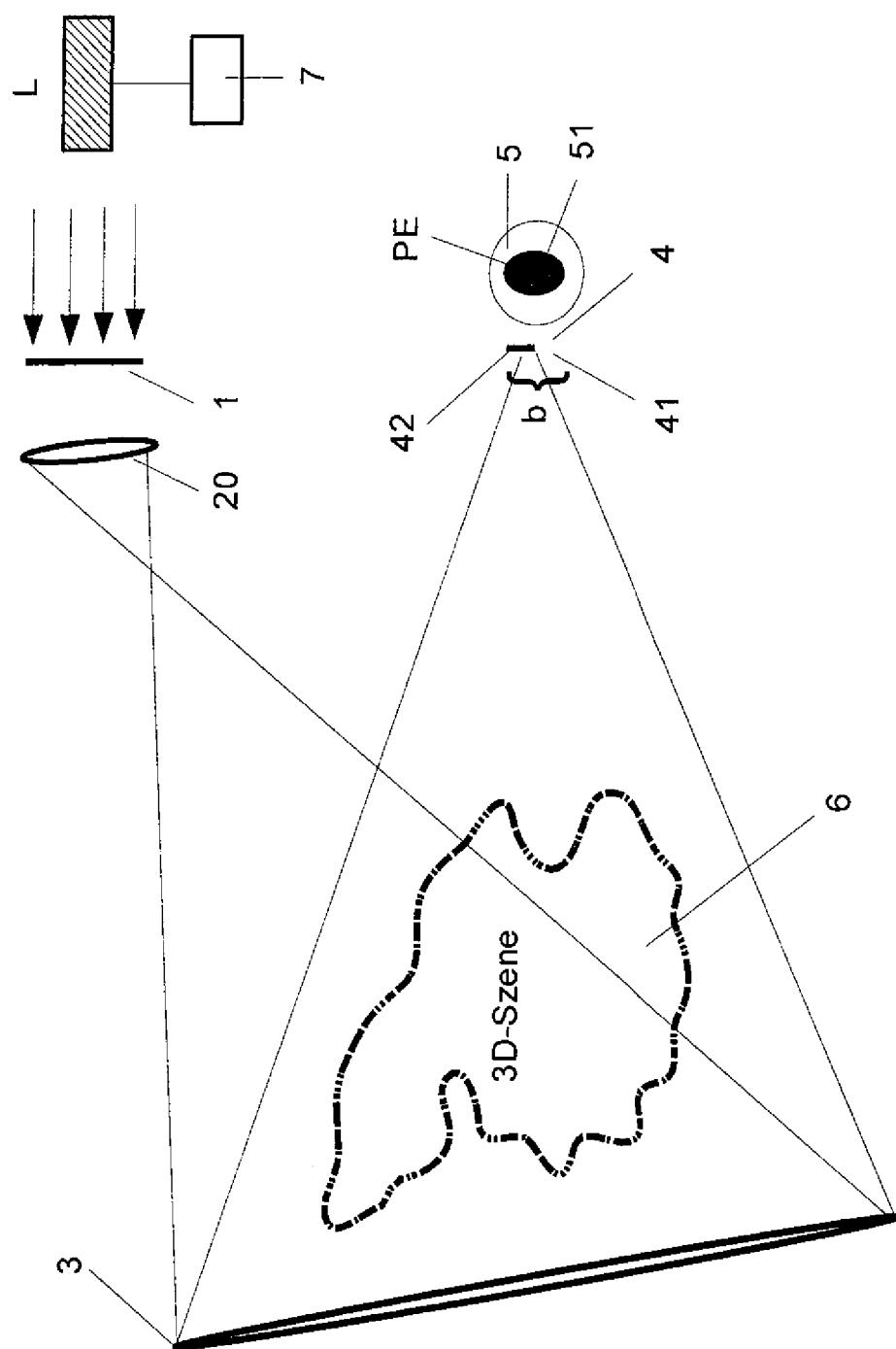
matrixförmiges Linsenarray zum zweidimensionalen Abbilden der verschiedenen Lichtmodulator-Bereiche (11; ...; 1n) ausgebildet ist.

16. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 12, bei der die 5 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.
- 10 17. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 12, 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 18. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 12, bei der die zueinander inkohärenten, unabhängigen Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) zweidimensional im Betrachterfenster (4) angeordnet sind.
- 20 19. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 16 und 17, wobei der Durchmesser einer Augenpupille (51) des Auges (5) die Basis für die laterale und vertikale Gesamtausdehnung der Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) bildet.
- 25 20. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 19, bei der ein einzelnes Teil-Betrachterfenster (41; ...; 4n) stets kleiner als die Augenpupille (51) ist.
21. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 12, bei der die optischen Komponenten entweder für ein Direktsichtdisplay oder für ein Projektionsdisplay ausgebildet sind.
- 30 22. Holographische Wiedergabeeinrichtung nach Anspruch 12, bei der das Erzeugen einer farbigen Rekonstruktion für drei verschiedene Grundfarben separat erfolgt.



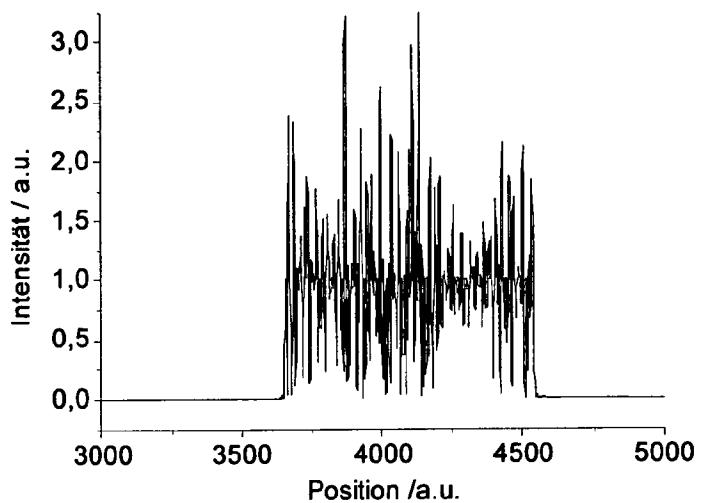
Figur 1

2/4

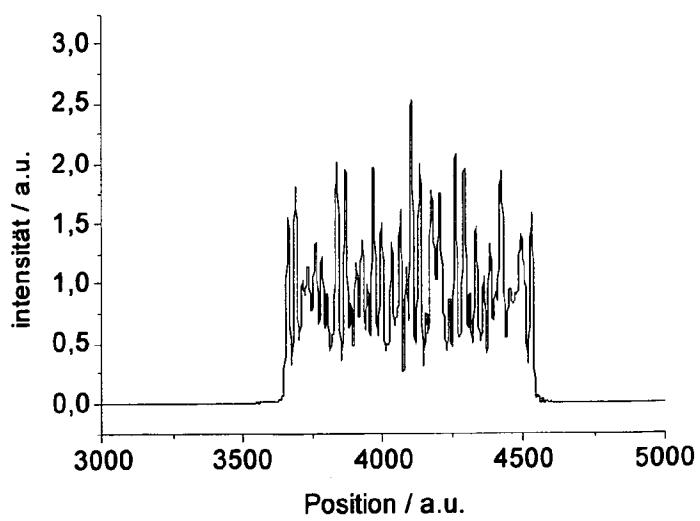


Figur 2

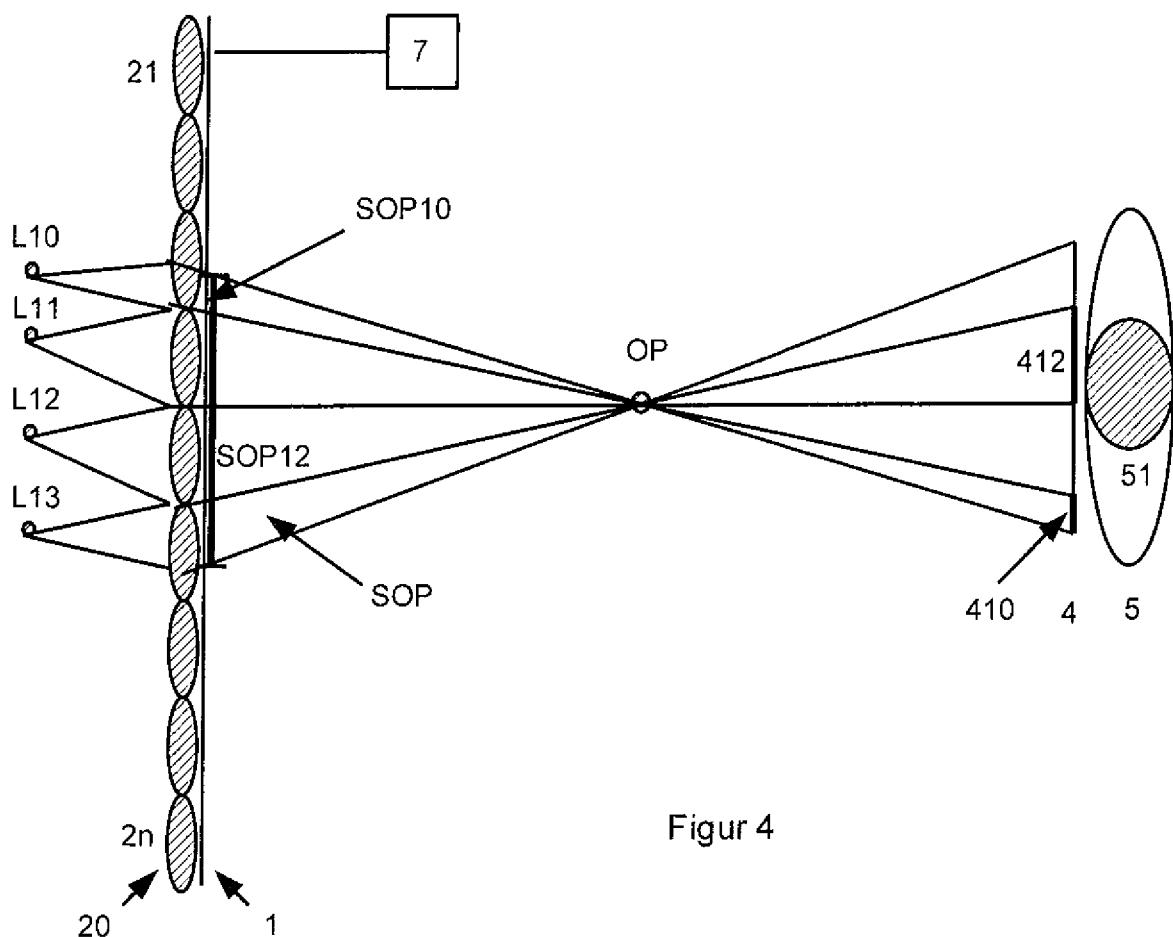
3 / 4



Figur 3a



Figur 3b



Figur 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/063862

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G03H1/22 G03H1/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>WO 2006/119920 A (SEEREAL TECHNOLOGIES GMBH [DE]; SCHWERDTNER ARMIN [DE]; HAEUSSLER RALF) 16 November 2006 (2006-11-16) page 6, line 25 - page 8, line 5 page 12, line 11 - page 16, line 17 page 17, line 11 - line 24; figures 1-4</p> <p>-----</p> <p>GB 2 350 963 A (SECR DEFENCE [GB]) 13 December 2000 (2000-12-13) page 2, line 1 - page 6, line 24 page 9, column 8 - page 10, column 13; figures 1-8</p> <p>-----</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-3, 6, 10, 12-15, 21, 22
A		1-22

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

14 April 2008

07/05/2008

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Wahl, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/063862

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CA 959 682 A (US GOV OF THE OF AMERICA AS RE US GOVERNMENT; US GOVERNMENT) 24 December 1974 (1974-12-24) abstract page 1, line 19 - line 22 page 2, line 2 - line 25 page 3, line 27 - line 31 page 5, line 25 - page 6, line 3; figures 1-4 ----- SHIN S-H ET AL: "Speckle-reduced three-dimensional volume holographic display by use of integral imaging" APPLIED OPTICS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, vol. 41, no. 14, 10 May 2002 (2002-05-10), pages 2644-2649, XP002302775 ISSN: 0003-6935 abstract page 2644, left-hand column, line 11 - line 21 chapter "3. Speckle-Reduced Reconstruction" figure 6 -----	1-22
A		1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2007/063862

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
WO 2006119920	A	16-11-2006	CA	2606571 A1		16-11-2006
			EP	1776614 A1		25-04-2007
			KR	20080004634 A		09-01-2008
			US	2006250671 A1		09-11-2006
GB 2350963	A	13-12-2000	AT	308765 T		15-11-2005
			AU	4599200 A		28-12-2000
			CA	2375460 A1		14-12-2000
			DE	60023692 D1		08-12-2005
			DE	60023692 T2		13-07-2006
			EP	1183558 A1		06-03-2002
			WO	0075699 A1		14-12-2000
			JP	2003501689 T		14-01-2003
			TW	455706 B		21-09-2001
			US	6760135 B1		06-07-2004
CA 959682	A	24-12-1974	US	3633999 A		11-01-1972

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2007/063862

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G03H1/22 G03H1/32

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G03H

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2006/119920 A (SEEREAL TECHNOLOGIES GMBH [DE]; SCHWERDTNER ARMIN [DE]; HAEUSSLER RALF) 16. November 2006 (2006-11-16) Seite 6, Zeile 25 - Seite 8, Zeile 5 Seite 12, Zeile 11 - Seite 16, Zeile 17 Seite 17, Zeile 11 - Zeile 24; Abbildungen 1-4 -----	1-3, 6, 10, 12-15, 21, 22
A	GB 2 350 963 A (SECR DEFENCE [GB]) 13. Dezember 2000 (2000-12-13) Seite 2, Zeile 1 - Seite 6, Zeile 24 Seite 9, Spalte 8 - Seite 10, Spalte 13; Abbildungen 1-8 ----- -/-	1-22



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts
14. April 2008	07/05/2008
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Wahl, Martin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2007/063862

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	CA 959 682 A (US GOV OF THE OF AMERICA AS RE US GOVERNMENT; US GOVERNMENT) 24. Dezember 1974 (1974-12-24) Zusammenfassung Seite 1, Zeile 19 - Zeile 22 Seite 2, Zeile 2 - Zeile 25 Seite 3, Zeile 27 - Zeile 31 Seite 5, Zeile 25 - Seite 6, Zeile 3; Abbildungen 1-4 ----- SHIN S-H ET AL: "Speckle-reduced three-dimensional volume holographic display by use of integral imaging" APPLIED OPTICS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, Bd. 41, Nr. 14, 10. Mai 2002 (2002-05-10), Seiten 2644-2649, XP002302775 ISSN: 0003-6935 Zusammenfassung Seite 2644, linke Spalte, Zeile 11 - Zeile 21 chapter "3. Speckle-Reduced Reconstruction" Abbildung 6 -----	1-22
A		1-22

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/063862

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2006119920	A 16-11-2006	CA EP KR US	2606571 A1 1776614 A1 20080004634 A 2006250671 A1	16-11-2006 25-04-2007 09-01-2008 09-11-2006
GB 2350963	A 13-12-2000	AT AU CA DE DE EP WO JP TW US	308765 T 4599200 A 2375460 A1 60023692 D1 60023692 T2 1183558 A1 0075699 A1 2003501689 T 455706 B 6760135 B1	15-11-2005 28-12-2000 14-12-2000 08-12-2005 13-07-2006 06-03-2002 14-12-2000 14-01-2003 21-09-2001 06-07-2004
CA 959682	A 24-12-1974	US	3633999 A	11-01-1972