



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 200 893.3**
(22) Anmeldetag: **01.02.2021**
(43) Offenlegungstag: **04.08.2022**

(51) Int Cl.: **G02B 27/01 (2006.01)**

G02B 27/18 (2006.01)
G02B 26/10 (2006.01)
G02B 5/30 (2006.01)
G02B 5/32 (2006.01)
G02B 27/10 (2006.01)
G02F 1/01 (2006.01)
G02F 1/11 (2006.01)
G02F 1/13 (2006.01)
G02B 3/14 (2006.01)
G03H 1/00 (2006.01)
G02B 26/06 (2006.01)
G02B 26/02 (2006.01)
G02C 7/14 (2006.01)
G02B 27/42 (2006.01)

<p>(71) Anmelder: Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter Haftung, 70469 Stuttgart, DE</p> <p>(72) Erfinder: Reiss, Sebastian, 72768 Reutlingen, DE; Specht, Hendrik, 72124 Pliezhausen, DE; Busch, Maximilian, 72800 Eningen, DE; Pick, Simon, 72074 Tübingen, DE; Kuenstle, Thomas, 72762 Reutlingen, DE; Alemayehu, Tadiyos, 72793</p>	<p>Pfullingen, DE; Marchini, Andrea, 72127 Kusterdingen, DE; Empting, Eva Lea Elisabeth, 70563 Stuttgart, DE; Pilard, Gael, 72127 Kusterdingen, DE; Petersen, Andreas, 71672 Marbach, DE; Hofmann, Johannes, 72072 Tübingen, DE; Nitschke, Christian, 72127 Kusterdingen, DE; Carls, Joerg, 71155 Altdorf, DE</p> <p>(56) Ermittelte Stand der Technik: siehe Folgeseiten</p>
--	---

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

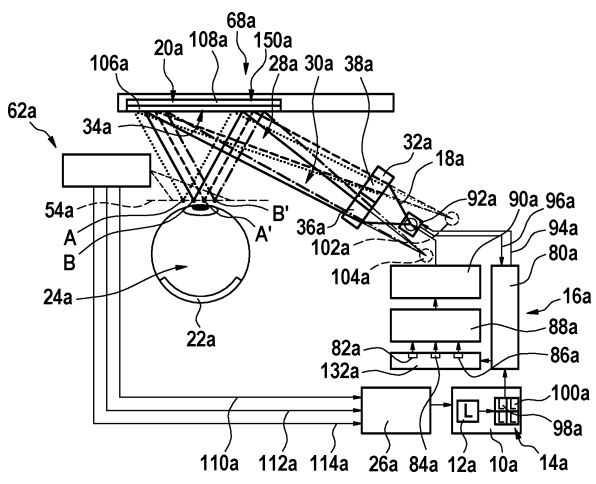
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Optisches System für eine virtuelle Netzhautanzeige und Verfahren zum Projizieren von Bildinhalten auf eine Netzhaut**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein optisches System (68) für eine virtuelle Netzhautanzeige (Retinal Scan Display), mindestens umfassend

- a. eine Bildquelle, die einen Bildinhalt in Form von Bilddaten (12) liefert,
- b. eine Bildverarbeitungseinrichtung (10) für die Bilddaten (12),
- c. eine Projektoreinheit (16) mit einer zeitlich modulierbaren Lichtquelle (132) zum Generieren mindestens eines Lichtstrahls (18) und mit einer ansteuerbaren Ablenkeinrichtung (92) für den mindestens einen Lichtstrahl (18) zur scannenden Projektion des Bildinhalts,
- d. eine Umlenkeinheit (20), auf die der Bildinhalt projizierbar ist und die dazu eingerichtet ist, den projizierten Bildinhalt auf ein Auge (24) eines Nutzers zu lenken,
- e. ein zwischen Projektoreinheit (16) und Umlenkeinheit (20) angeordnetes optisches Segmentierungselement (32), mit dessen Hilfe der Bildinhalt über unterschiedliche Abbildungswege (28, 30) auf mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) projizierbar ist, wobei zumindest einzelne Abbildungswege (28, 30) individuell ansteuerbar sind, und

f. eine optische Replikationskomponente (150), die in dem mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) angeordnet ist und dazu eingerichtet ist, den projizierten Bildinhalt repliziert und räumlich versetzt auf das Auge (24) des Nutzers zu lenken, so dass eine Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen (Eyeboxen A, A', B, B') mit dem Bildinhalt erzeugt wird, vorgeschlagen.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2016 201 567	A1
DE	10 2016 226 294	A1
US	2016 / 0 377 866	A1
US	2017 / 0 102 541	A1

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Datenbrillen (Smartglasses) mit Retinal Scan Displays sind bereits bekannt.

Offenbarung der Erfindung

[0002] Es wird ein optisches System für eine virtuelle Netzhautanzeige (Retinal Scan Display) vorgeschlagen, mindestens umfassend

- a. eine Bildquelle, die einen Bildinhalt in Form von Bilddaten liefert,
- b. eine Bildverarbeitungseinrichtung für die Bilddaten,
- c. eine Projektoreinheit mit einer zeitlich modulierbaren Lichtquelle zum Generieren mindestens eines Lichtstrahls und mit einer, insbesondere durch die Projektoreinheit, ansteuerbaren Ablenkeinrichtung für den mindestens einen Lichtstrahl zur scannenden Projektion des Bildinhalts,
- d. eine Umlenkeinheit, auf die der Bildinhalt projizierbar ist und die dazu eingerichtet ist, den projizierten Bildinhalt, vorzugsweise zumindest einen Teil der Gesamtintensität des projizierten Bildinhalts, auf ein Auge eines Nutzers zu lenken,
- e. ein zwischen Projektoreinheit und Umlenkeinheit angeordnetes optisches Segmentierungselement, mit dessen Hilfe der Bildinhalt über unterschiedliche Abbildungswege auf mindestens einen Projektionsbereich der Umlenkeinheit projizierbar ist, wobei zumindest einzelne Abbildungswege individuell ansteuerbar sind, und
- f. eine optische Replikationskomponente, die in dem mindestens einen Projektionsbereich der Umlenkeinheit angeordnet ist und dazu eingerichtet ist, den projizierten Bildinhalt repliziert und räumlich versetzt auf das Auge des Nutzers zu lenken, so dass eine Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen mit dem Bildinhalt erzeugt wird.

[0003] Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des optischen Systems kann vorteilhaft eine verbesserte Funktionalität der virtuellen Netzhautanzeige erreicht werden. Vorteilhaft kann eine besonders große effektive Gesamteyebox erreicht werden, welche insbesondere gleichzeitig ein möglichst großes Sichtfeld aufweist. Unter einer „effektiven Gesamteyebox“ soll insbesondere ein Raumbereich an Pupillenpositionen eines Nutzer-Auges verstanden werden, in dem der gesamte Bildinhalt aus mindestens einer Austrittspupille (Eyebox) der virtuellen

Netzhautanzeige (RSD) durch die Pupille des Nutzer-Auges trifft. Dadurch kann vorteilhaft eine besonders hohe Toleranz gegenüber Augenbewegungen und/oder gegenüber einem Verrutschen von Datenbrillen des optischen Systems erreicht werden. Vorteilhaft kann dadurch eine besonders komfortable Nutzung der Datenbrillen erreicht werden. Außerdem kann durch ein Erreichen einer besonders großen effektiven Gesamteyebox vorteilhaft eine große Spanne von Interpupillardistanzen für verschiedene Nutzer abgedeckt werden („One-size-fits all“). Vorteilhaft kann das optische System frei von einer sogenannten dynamischen Eyebox-Steuerung, welche eine Position einer oder mehrerer Austrittspupillen in der Augenpupillenfläche variiert, insbesondere in Abhängigkeit von einem Eyetracker einer Augenbewegung des Nutzer-Auges nachführt, ausgebildet werden. Dadurch können vorteilhaft eine Komplexität, ein Energieverbrauch und/oder Kosten gesenkt werden.

[0004] Unter einer „virtuellen Netzhautanzeige“ soll insbesondere ein Retinal Scan Display oder ein Lichtfelddisplay verstanden werden, bei welchem der Bildinhalt sequentiell durch Ablenkung zumindest eines Lichtstrahls, insbesondere eines Laserstrahls zumindest einer zeitlich modulierten Lichtquelle, wie z.B. einer oder mehrerer Laserdioden, abgerastert und durch optische Elemente direkt auf die Netzhaut (Retina) des Nutzer-Auges abgebildet wird. Die Bildquelle ist insbesondere als eine elektronische Bildquelle, beispielsweise als eine Grafikausgabe, insbesondere eine (integrierte) Grafikkarte, eines Computers oder Prozessors oder dergleichen, ausgebildet. Die Bildquelle kann beispielsweise integral mit der Bildverarbeitungseinrichtung des optischen Systems ausgebildet sein. Alternativ kann die Bildquelle separat von der Bildverarbeitungseinrichtung ausgebildet sein und Bilddaten an die Bildverarbeitungseinrichtung des optischen Systems übermitteln. Die Bilddaten sind insbesondere als Farbbilddaten, z.B. RGB-Bilddaten, ausgebildet. Insbesondere können die Bilddaten als unbewegte oder als bewegte Bilder, z.B. Videos, ausgebildet sein. Die Bildverarbeitungseinrichtung ist vorzugsweise dazu vorgesehen, die Bilddaten der Bildquelle zu modifizieren, insbesondere zu verzerren, zu kopieren, zu verdrehen, zu versetzen, zu skalieren o.dgl. Die Bildverarbeitungseinrichtung ist vorzugsweise dazu vorgesehen, Kopien des Bildinhalts zu erzeugen, welche insbesondere modifiziert, beispielsweise verzerrt, verdreht, versetzt und/oder skaliert sind.

[0005] Die Projektoreinheit ist insbesondere dazu eingerichtet, den Bildinhalt aus den Bilddaten in Form von gescannten und/oder gerasterten Lichtstrahlen abzustrahlen. Die Projektoreinheit umfasst insbesondere eine Ablenkeinrichtung, bevorzugt einen MEMS-Spiegel (Mikrospiegelaktor), zumindest zur gesteuerten Ablenkung des mindestens einen

Lichtstrahls der Lichtquelle der Projektoreinheit. Alternativ oder zusätzlich umfasst die Ablenkeinrichtung mindestens ein schaltbares diffraktiv-optisches Element in Form eines Phasen- und/oder Intensitätsmodulators, welcher beispielsweise als Flächenlichtmodulator (Spatial Light Modulator: SLM) in reflektiver Bauweise, z.B. in DMD oder LCoS-Bauweise, oder in transmittiver Bauweise, z.B. als LCD ausgeführt sein kann. Insbesondere ist die zeitlich modulierbare Lichtquelle analog moduliert, wobei jedoch beispielsweise auch eine alternative TTL-Modulation nicht ausgeschlossen ist. Die Umlenkeinheit umfasst insbesondere eine Anordnung von optischen Elementen, beispielsweise diffraktiven, reflektiven, refraktiven und/oder holographischen optischen Elementen. Vorzugsweise umfasst die Umlenkeinheit dabei jedoch immer zumindest ein holographisches optisches Element. Die Umlenkeinheit ist zumindest teilweise in ein Brillenglas einer Datenbrille integriert ausgebildet. Die Umlenkeinheit ist insbesondere dazu vorgesehen, lediglich einen Teil der Intensität des projizierten Bildinhalts auf das Nutzer-Auge umzulenken. Zumindest ein weiterer Teil der Intensität des projizierten Bildinhalts durchtritt die Umlenkeinheit. Die Umlenkeinheit erscheint für einen Nutzer zumindest aus einer senkrechten Blickrichtung gesehen im Wesentlichen transparent. Insbesondere bildet die Umlenkeinheit einen Projektionsbereich aus. Insbesondere bildet der Projektionsbereich eine Fläche aus, innerhalb der ein Lichtstrahl bei einem Auftreffen auf die Umlenkeinheit in Richtung des Nutzer-Auges, insbesondere in Richtung einer Augenpupillenfläche des optischen Systems, abgelenkt/umgelenkt wird. Unter „vorgesehen“ und/oder unter „eingerichtet“ soll insbesondere speziell programmiert, ausgelegt und/oder ausgestattet verstanden werden. Darunter, dass ein Objekt zu einer bestimmten Funktion vorgesehen und/oder eingerichtet ist, soll insbesondere verstanden werden, dass das Objekt diese bestimmte Funktion in zumindest einem Anwendungs- und/oder Betriebszustand erfüllt und/oder ausführt.

[0006] Das optische Segmentierungselement ist vorzugsweise in einem Strahlengang des gescannten Lichtstrahls zwischen der Ablenkeinrichtung der Projektoreinheit und der Umlenkeinheit angeordnet. Das optische Segmentierungselement kann insbesondere als ein räumlich segmentiertes optisches Element ausgebildet sein, welches insbesondere dazu vorgesehen ist, eine räumliche Segmentierung einzelner Subbilder der Bilddaten räumlich getrennt abzubilden/umzulenken. Das optische Segmentierungselement kann insbesondere als ein zeitlich segmentierendes optisches Element ausgebildet sein. Dadurch kann vorteilhaft eine gute räumliche Auflösung der Abbildungen erreicht werden. Vorteilhaft bleibt bei der zeitlichen Segmentierung eine räumliche Auflösung und/oder ein Sichtfeld des ursprünglichen Bildinhalts zumindest im Wesentlichen erhal-

ten. Zu einem Erreichen der zeitlichen Segmentierung kann beispielsweise der Lichtstrahl von einem als gesteuerten Beam-Splitter (Strahlteiler) ausgebildeten zeitlich segmentierenden optischen Element sequentiell in zeitlich aufeinanderfolgende Teilstrahlen aufgespalten werden. Alternativ könnte der Lichtstrahl von einem zeitlich segmentierenden optischen Element, welches als ungesteuerter Beam-Splitter, bei dem jedem erzeugten Teilstrahl eine ansteuerbare optische Shutter-Anordnung nachgeschaltet ist, ausgebildet ist, derart beeinflusst werden, dass immer sequentiell alle bis auf einen Teilstrahl des Beam-Splitters durch die Shutter-Anordnung blockiert werden. In beiden Fällen wird jeweils die Ausgabe der Bilddaten, insbesondere die modifizierte Ausgabe der Bilddaten, durch die Bildverarbeitungseinrichtung synchron mit Öffnungsintervallen der Shutter der Shutter-Anordnung derart abgestimmt, dass zu jedem Zeitpunkt jeweils nur der Bildinhalt auf den Weg zur Umlenkeinheit geschickt wird, welcher zu dem Abbildungsweg des aktuell geöffneten Shutters gehört und entsprechend angepasst/modifiziert ist. Zudem ist denkbar, dass räumliche segmentierende optische Elemente und zeitlich segmentierende optische Elemente miteinander kombiniert werden. Beispielsweise wird bei einer Kombination von zeitlicher und räumlicher Segmentierung entlang einer Bildrichtung räumlich segmentiert und entlang einer dazu orthogonalen zweiten Bildrichtung zeitlich segmentiert. Vorteilhafterweise wird dabei diejenige Richtung zeitlich segmentiert, die mehr durch ihre räumliche Auflösung limitiert ist. Auf diese Weise kann vorteilhaft eine möglichst hohe räumliche Auflösung der Abbildungen erreicht werden. Insbesondere kann die zeitliche Segmentierung, d.h. insbesondere das Umschalten des Beam-Splitters, mit einer hohen Frequenz, so erfolgen, dass die Trägheit des Nutzer-Auges ein kontinuierliches, flackerfreies Bild wahrnimmt. Alternativ kann auch ein nicht-periodisches Umschalten der Shutter und der Modifikation des Bildinhalts vorgesehen sein, welches insbesondere abhängig ist von einer Pupillenposition des Nutzer-Auges. In diesem Fall wird beispielsweise ein Umschalten der Shutter (d.h. der einzelnen Abbildungswege) in Reaktion auf eine Augenbewegung des Nutzer-Auges vorgenommen. Insbesondere weist bei der zeitlichen Segmentierung zu jedem Zeitpunkt nur ein Teil (entspricht der Anzahl an erzeugten Replikationen) der Austrittspupillen aller möglicher Austrittspupillen des optischen Systems tatsächlich eine Abbildung auf, was jedoch für das träge Nutzer-Auge nicht wahrnehmbar ist.

[0007] Insbesondere ist das optische Segmentierungselement dazu vorgesehen, eine Mehrzahl unterschiedlicher Abbildungswege zu erzeugen. Insbesondere ist das Segmentierungselement dazu vorgesehen, eine Anzahl von unterschiedlichen Abbildungswegen zu erzeugen, welche einer Anzahl an

Segmentierungen/Segmenten des optischen Segmentierungselements entspricht. Vorzugsweise mündet/passiert jeder der unterschiedlichen Abbildungswege nach einem Umlenken durch die Umlenkeinheit in einer getrennt von allen anderen Austrittspupillen angeordneten Austrittspupille. Insbesondere werden im Falle der räumlichen Segmentierung die Lichtstrahlen jedes Abbildungswegs innerhalb von voneinander verschiedenen (ggf. teilweise überlappenden) Teilbereichen des Projektionsbereichs umgelenkt. Insbesondere werden im Falle der zeitlichen Segmentierung die Lichtstrahlen jedes Abbildungswegs eines zumindest im Wesentlichen identischen Teilbereichs des Projektionsbereichs, welcher vorzugsweise zumindest einen Großteil des gesamten Projektionsbereichs umfasst, umgelenkt. Darunter, dass „einzelne Abbildungswege individuell ansteuerbar“ sind soll insbesondere verstanden werden, dass eine Form/Modifikation/Verzerrung eines über einen bestimmten Abbildungsweg übertragenen Bildinhalts/Bildsegments (Sub-Bilddaten) und/oder eine Aktivität („an/aus“) des Bildinhalts/Bildsegments (Sub-Bilddaten) individuell ansteuerbar ist. Es ist denkbar, dass das optische System eine Steuer- oder Regeleinheit zur individuellen Ansteuerung der Abbildungswege aufweist. Unter einer „Steuer- oder Regeleinheit“ soll insbesondere eine Einheit mit zumindest einer Steuerelektronik verstanden werden. Unter einer „Steuerelektronik“ soll insbesondere eine Einheit mit einer Prozessoreinheit und mit einer Speichereinheit sowie mit einem in der Speichereinheit gespeicherten Betriebsprogramm verstanden werden. Insbesondere kann die Steuer- oder Regeleinheit in die Datenbrille, beispielsweise in einen Bügel der Datenbrille, integriert oder getrennt von der Datenbrille, beispielsweise als Teil eines zu dem optischen System zugeordneten externen Geräts, wie einem Smartphone, ausgebildet sein. Zudem ist denkbar, dass die Steuer- und/oder Regeleinheit zumindest teilweise einstückig mit der Bildverarbeitungseinheit oder mit der Projektoreinheit ausgebildet ist. Darunter, dass zwei Einheiten „teilweise einstückig“ ausgebildet sind, soll insbesondere verstanden werden, dass die Einheiten zumindest ein, insbesondere zumindest zwei, vorteilhaft zumindest drei gemeinsame Elemente aufweisen, die Bestandteil, insbesondere funktionell wichtiger Bestandteil, beider Einheiten sind. Insbesondere ist denkbar, dass die einzelnen Abbildungswege basierend auf aktuellen Messergebnissen einer veränderlichen Umgebungssituation, beispielsweise basierend auf Messergebnissen einer Eyetracker-Einrichtung o.dgl., vorzugsweise online und/oder nahezu in Echtzeit, angesteuert und/oder geregelt sind.

[0008] Unter einer optischen Replikationskomponente soll insbesondere eine optische Elemente umfassende Komponente des optischen Systems verstanden werden, welche eine räumlich versetzte

optische Replikation eines projizierten Bildinhalts erzeugt. Insbesondere bildet die optische Replikationskomponente zumindest einen Teil der Umlenkeinheit aus. Insbesondere ist die optische Replikationskomponente dazu vorgesehen, alle über die einzelnen Abbildungswege des optischen Segmentierungselements projizierten Bildinhalte zu replizieren. Insbesondere ist die optische Replikationskomponente dazu vorgesehen, eine Anzahl an Austrittspupillen zu erzeugen, welche einem Vielfachen (z.B. einem Zweifachen, einem Dreifachen, etc.) einer Anzahl an von dem optischen Segmentierungselement vorgenommenen Segmentierungen entspricht. Insbesondere umfasst dabei jeweils eine Anzahl von Austrittspupillen (z.B. zwei, drei, etc.), die einer Anzahl der durch die optische Replikationskomponente vorgenommenen Replikationen entspricht, (konstant) identische Bildinhalte, insbesondere identisch modifizierte, identisch verzerrte oder identisch dunkelgetastete Bildinhalte. Insbesondere sind zumindest Zentren der Austrittspupillen räumlich zueinander versetzt angeordnet. Insbesondere liegen die Austrittspupillen der Mehrzahl an zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen in einer gemeinsamen Augenpupillenfläche. Die gemeinsame Augenpupillenfläche bildet im Wesentlichen eine gemeinsame Augenpupillenebene aus, wobei Abweichungen von einer perfekten Ebene z.B. durch rotatorische Augenbewegungen etc. vernachlässigt werden. Die Augenpupillenfläche (Augenpupillenebene) ist insbesondere als eine Fläche (Ebene) des optischen Systems, vorzugsweise der Datenbrille, ausgebildet, in welcher sich die Pupillen des Nutzers des optischen Systems bei einer Verwendung des optischen Systems durch den Nutzer etwa (idealerweise) befinden. Insbesondere verläuft die Augenpupillenfläche (Augenpupillenebene) etwa parallel zu einer Oberfläche eines Brillenglases der Datenbrille, insbesondere zu einer Oberfläche eines die Lichtstrahlen reflektierenden Teils des Brillenglases der Datenbrille. Unter einer „Austrittspupille“ soll insbesondere ein bildseitiges Bild einer (virtuellen) Aperturblende der die Abbildung des Bildinhalts erzeugenden optischen Komponenten des optischen Systems verstanden werden. Insbesondere überlappt bei einer bestimmungsgemäßen Verwendung des optischen Systems zumindest eine der Austrittspupillen des optischen Systems mit einer Eintrittspupille des Nutzer-Auges. Vorteilhaft überlappen bei der bestimmungsgemäßen Verwendung des optischen Systems immer wenigstens zwei Austrittspupillen des optischen Systems gleichzeitig mit der Eintrittspupille des Nutzer-Auges. Insbesondere wird in der Austrittspupille der, vorzugsweise in einer (virtuellen) Eintrittspupille der optischen Komponenten des optischen Systems angeordnete, Bildinhalt (bzw. die jeweilige Abbildung des Bildinhalts) abgebildet. Insbesondere bildet jede Austrittspupille des optischen Systems eine Eyebbox aus. Insbesondere umfasst jede der Austrittspupillen

jeweils eine Abbildung des Bildinhalts. Insbesondere weist das optische System zumindest zwei, vorzugsweise zumindest vier, vorteilhaft zumindest sechs, bevorzugt zumindest neun und besonders bevorzugt mehr als zehn Austrittspupillen auf, welche insbesondere jeweils den Bildinhalt oder eine Abbildung des Bildinhalts, insbesondere eine Kopie oder eine Version des Bildinhalts, umfassen. Unter einer „Kopie des Bildinhalts“ soll insbesondere eine exakte oder nahezu exakte Abbildung des jeweiligen Bildinhalts verstanden werden. Unter einer „Version des Bildinhalts“ soll insbesondere eine veränderte, insbesondere zumindest verzerrte, versetzte, verdrehte oder anderweitig skalierte Abbildung des Bildinhalts verstanden werden. Insbesondere sind die Austrittspupillen zueinander überlappungsfrei angeordnet. Unter einer „räumlichen Segmentierung“ eines Bilds soll insbesondere eine Auftrennung des Bilds in mehrere in einer Bildebene voneinander räumlich getrennt angeordnete, insbesondere nebeneinander und/oder übereinander angeordnete, Einzel- oder Subbilder, welche vorzugsweise Kopien oder Versionen des Bildinhalts beinhalten, verstanden werden. Unter einer „zeitlichen Segmentierung“ eines Bilds soll insbesondere eine Auftrennung des Bilds in eine Abfolge von mehreren zeitlich voneinander getrennte, insbesondere zeitlich nacheinander dargestellte, Einzel- oder Subbilder, welche vorzugsweise Kopien oder Versionen des Bildinhalts beinhalten, verstanden werden. Unter einer „Replikation“ eines Bilds soll insbesondere eine zumindest im Wesentlichen identische Vervielfältigung des (unmodifizierten oder modifizierten) Bilds, vorzugsweise in zumindest eine räumlich zu dem Bild getrennt angeordnete 1:1 Wiedergabe des Bilds, verstanden werden. Insbesondere ist das durch Replikation erzeugte Bild durch optische Elemente des optischen Systems erzeugt, welche verschieden sind von segmentierten oder segmentierenden optischen Elementen des optischen Systems.

[0009] Ferner wird vorgeschlagen, dass die Bildverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, aus den Bilddaten der Bildquelle Sub-Bilddaten zum Ansteuern der Projektoreinheit zu erzeugen, wobei die Sub-Bilddaten eine Projektion des Bildinhalts über mindestens zwei unterschiedliche Abbildungswege der individuell ansteuerbaren Abbildungswege auf mindestens einen Projektionsbereich der Umlenkeinheit ermöglichen, und dass die Bildverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, für die mindestens zwei unterschiedlichen Abbildungswege unterschiedliche Sub-Bilddaten zu erzeugen, so dass eine, beispielsweise durch die optischen Elemente des optischen Systems (optisches Segmentierungselement und/oder optische Replikationskomponente) erzeugte, Verzerrung des Bildinhalts über den jeweiligen Abbildungsweg zumindest teilweise, vorzugsweise zu einem Großteil, bevorzugt nahezu vollständig, kompensiert wird. Dadurch kann vorteil-

haft eine besonders große effektive Gesamteyebox erreicht werden, welche insbesondere gleichzeitig ein möglichst großes Sichtfeld aufweist, welches zudem vorteilhaft frei ist von Doppelbildern. Insbesondere umfassen die Sub-Bilddaten Kopien oder (verzerrte, versetzte, verdrehte oder anderweitig skalierte) Versionen des Bildinhalts. Die Bildverarbeitungseinrichtung ist insbesondere dazu eingerichtet, Sub-Bilddaten mit sequentiell aufeinanderfolgenden einzelnen Sub-Bildern, welche jeweils für unterschiedliche Abbildungswege modifiziert sind (zeitliche Segmentierung), zu erzeugen. Die Bildverarbeitungseinrichtung ist alternativ oder zusätzlich dazu eingerichtet, Sub-Bilddaten, welche jeweils mehrere gleichzeitig angezeigte Sub-Bilder umfassen, zu erzeugen, wobei jedes der Sub-Bilder der Sub-Bilddaten separat für unterschiedliche Abbildungswege modifiziert ist (räumliche Segmentierung). Insbesondere wird jedes Sub-Bild der Sub-Bilddaten über einen anderen (eigenen) Abbildungsweg der individuell ansteuerbaren Abbildungswege auf den Projektionsbereich der Umlenkeinheit projiziert. Darunter, dass eine Verzerrung des Bildinhalts kompensiert wird soll insbesondere verstanden werden, dass die Sub-Bilddaten derart modifiziert werden, dass nach einem Passieren aller optischen Elemente des optischen Systems die Lichtstrahlen, die das Nutzer-Auge erreichen, dort einen Bildeindruck für den Nutzer erzeugen, welcher zumindest im Wesentlichen dem ursprünglichen (unverzerrten) Bildinhalt entspricht. Die Verzerrung der Sub-Bilder oder der Sub-Bilddaten soll insbesondere eine durch die optischen Elemente des optischen Systems erzeugte Verzerrung kompensieren und/oder ausgleichen.

Insbesondere werden die Sub-Bilddaten und/oder die Sub-Bilder durch die Steuer- oder Regeleinheit, vorzugsweise in Kombination mit der Bildverarbeitungseinrichtung und/oder mit der Projektoreinheit, jeweils so angepasst, dass am Auge eintreffende Strahlen aus unterschiedlichen Austrittspupillen unter gleichem Winkel gleiche Abbildungen enthalten. Insbesondere werden dazu für unterschiedliche Abbildungswege unterschiedliche spezifische geometrische und/oder radiometrische Parametrisierungen der Bilddaten, beispielsweise durch eine digitale Bilddatenkorrektur, vorzugsweise durch eine digitale Bildmodifikation (Bildverzerrung, etc.) erzeugt, welche insbesondere dazu vorgesehen sind, die, insbesondere auf die Netzhaut des Nutzer-Auges projizierten, Abbildungen der Bildinhalte zu „entzerren“, so dass vorteilhaft die Abbildungen aller in das Nutzer-Auge eintretenden Austrittspupillen in einer Replik zueinander überlagert sind. Insbesondere ist die Parametrisierung/die Bildmodifikation von der Ausgestaltung des optischen Systems und/oder von Umgebungsbedingungen wie Temperatur, etc. abhängig.

[0010] Insbesondere wird die Parametrisierung/die Bildmodifikation einmalig in einem Kalibrierschritt (z.B. bei der Produktion der virtuellen Netzhautanzeige) ermittelt. Zudem ist denkbar, dass die Parametrisierung/die Bildmodifikation während einer Nutzung der virtuellen Netzhautanzeige an dynamische Systemparameter, wie Temperatur, Deformation und/oder generelle Überlagerungsfehler, angepasst wird. Vorzugsweise bildet ein normalsichtiges Nutzer-Auge mit einer auf unendlich akkommodierten Augenlinse parallele Strahlen mit gleichem Bildinhalt auf einen gemeinsamen Bildpunkt auf der Netzhaut des Nutzer-Auges ab. Eine Gesamtheit aller durch die Lichtstrahlen aller in die Eintrittspupille des Nutzer-Auges eintretenden Austrittspupillen auf der Netzhaut des Nutzer-Auges erzeugten Bildpunkte ergibt ein einzelnes scharfes Gesamtbild. Vorteilhaft bleibt durch die passende Parametrisierung, insbesondere Bildmodifikation (z.B. Verzerrung, etc.) der einzelnen Abbildungen ein Bildinhalt dieses Gesamtbilds geometrisch konstant, auch wenn sich unter translatorischer und/oder rotatorischer Augenbewegung und/oder Pupillengrößenänderung eine Beteiligung einzelner Austrittspupillen des durch das optische System in der Augenpupillenfläche erzeugten Austrittspupillensatzes an dem zu einem Zeitpunkt durch die Pupille tretenden Lichtstrahlenbündels ändert. Insbesondere muss vermieden werden, dass zeitgleich Strahlen mehrerer durch Replikation erzeugter Austrittspupillen, die von identischen Sub-Bildern stammen, durch die Pupille des Nutzer-Auges treffen, und dadurch mehrere nicht unabhängig voneinander parametrisierbare/modifizierbare Bilder auf die Netzhaut des Nutzer-Auges treffen und somit nicht-aufeinanderliegende Bilder auf der Retina erzeugen.

[0011] Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass die Bildverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, aus den Bilddaten der Bildquelle Sub-Bilddaten zu erzeugen, die eine zeitgleiche Projektion von $N \times M$ Sub-Bildern mit zumindest im Wesentlichen gleichem Bildinhalt ermöglichen, und dass das optische Segmentierungselement eine räumliche Segmentierung vornimmt, so dass der zumindest im Wesentlichen gleiche Bildinhalt der $N \times M$ Sub-Bilder über mindestens zwei unterschiedliche Abbildungswege der individuell ansteuerbaren Abbildungswege auf den mindestens einen Projektionsbereich der Umlenkeinheit projiziert wird. Dadurch kann vorteilhaft eine besonders große effektive Gesamteyebox erreicht werden, welche insbesondere gleichzeitig ein möglichst großes Sichtfeld aufweist, welches zudem vorteilhaft frei ist von Doppelbildern. Insbesondere umfassen die Sub-Bilddaten in diesem Fall $N \times M$ Sub-Bilder. Unter der Wendung „im Wesentlichen gleicher Bildinhalt“ soll insbesondere ein, abgesehen von den zur Kompensation der durch die optischen Elemente des optischen Systems erzeugten Verzerrungen vorgenommenen Modifikationen der

einzelnen Sub-Bilder im Vergleich zum darzustellenden Bildinhalt identischer Bildinhalt verstanden werden. N ist in diesem Zusammenhang insbesondere eine ganzzahlige Zahl größer oder gleich 1. M ist in diesem Zusammenhang insbesondere eine ganzzahlige Zahl größer oder gleich 1.

[0012] Außerdem wird vorgeschlagen, dass die Bildverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, einzelne Abbildungswege aktiv zu schalten, indem die Sub-Bilddaten für das entsprechende Sub-Bild zur Ansteuerung der Projektoreinheit zur Verfügung gestellt werden, und einzelne Abbildungswege abzuschalten, indem für die entsprechenden Sub-Bilder die Sub-Bilddaten dunkelgetastet werden. Vorteilhaft kann dadurch verhindert werden, dass optisch identische, aber gegeneinander räumlich in der Augenpupillenfläche verschobene Kopien eines Sub-Bilds gleichzeitig für den Nutzer sichtbar sind. Dadurch kann vorteilhaft eine besonders große effektive Gesamteyebox erreicht werden, welche insbesondere gleichzeitig ein möglichst großes Sichtfeld aufweist, welches zudem vorteilhaft frei ist von Doppelbildern. Insbesondere ist jedes Sub-Bild der Sub-Bilddaten individuell und/oder separat modifizierbar, aktivierbar und/oder deaktivierbar (dunkeltastbar).

[0013] Zusätzlich wird vorgeschlagen, dass das optische Segmentierungselement realisiert ist in Form einer segmentierenden Linse, eines segmentierenden Spiegels, eines segmentierenden optischen Gitters oder Volumenhologramms oder eines Beam-Splitters. Dadurch kann vorteilhaft eine einfache und/oder effektive optische Segmentierung erreicht werden. Vorteilhaft kann dadurch eine hohe Anzahl von Austrittspupillen und somit eine große effektive Gesamteyebox erreicht werden. Die segmentierende Linse ist vorzugsweise als eine segmentierte Linse, insbesondere segmentierte Transmissionslinse, ausgebildet. Der segmentierende Spiegel ist vorzugsweise als ein segmentierter Spiegel ausgebildet. Das segmentierende Gitter ist vorzugsweise als ein segmentiertes Gitter ausgebildet. Insbesondere weist das jeweilige optische Segmentierungselement P Einzelsegmente, auf, wobei jedes Einzelsegment vorzugsweise Q Abbildungen des Bildinhalts erzeugt, wobei Q gegeben ist als eine Anzahl von durch die optische Replikationskomponente vorgenommenen Replikationen. Insbesondere erzeugt das optische System somit $P \times Q$ Abbildungen und/oder voneinander getrennt angeordnete Austrittspupillen.

[0014] Insbesondere wird in diesem Zusammenhang hervorgehoben, dass auch ein Beam-Splitter ohne eine Verwendung eines dem Beam-Splitter nachgelagerten optischen Schalterelements zu der räumlichen Segmentierung einsetzbar ist. Insbesondere ist dazu der Beam-Splitter derart ausgebildet, dass durch den Beam-Splitter erzeugte Strahlkegel

soweit gegeneinander im Winkel verschoben werden, dass sich die Strahlkegel nur noch zum Teil auf dem Projektionsbereich der Umlenkeinheit überlappen (bei 2 Segmenten z.B. zur Hälfte, die anderen Hälften würden dann seitlich über den Projektionsbereich hinausragen). Wenn in dem beispielhaften Fall mit zwei Segmenten eine linke Seite des einen Strahlkegels mit einer rechten Seite des anderen Strahlkegels (beide Strahlkegel sind Kopien voneinander und haben genau den gleichen Bildinhalt) überlappt, dann bewirkt ein Abschalten einer Hälfte der beiden Strahlkegel, dass der Überlappbereich nur noch die Bildinformation des anderen Strahlkegels erhält, welche aus einem ersten Winkelbereich kommt und umgekehrt.

[0015] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass das optische Segmentierungselement in Form einer Beam-Splitter-Anordnung realisiert ist, die den projizierten Bildinhalt $N \times M$ -fach vervielfältigt, so dass der Bildinhalt auf $N \times M$ unterschiedlichen Abbildungswegen auf mindestens einen Projektionsbereich der Umlenkeinheit projizierbar ist, dass dem Beam-Splitter mindestens ein optisches Schalterelement zugeordnet ist, mit dem zumindest ein Teil der Abbildungswege entweder aktivschaltbar oder abschaltbar sind (zeitliche Segmentierung), und dass die Bildverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, aus den Bilddaten der Bildquelle Sub-Bilddaten zum Ansteuern der Projektoreinheit zu erzeugen, so dass eine Verzerrung des Bildinhalts über den mindestens einen aktiv geschalteten Abbildungsweg zumindest teilweise kompensiert wird. Dadurch kann vorteilhaft eine gute räumliche Auflösung der Abbildungen erreicht werden. Vorteilhaft bleibt bei der zeitlichen Segmentierung eine räumliche Auflösung und/oder ein Sichtfeld des ursprünglichen Bildinhalts zumindest im Wesentlichen erhalten. N ist in diesem Zusammenhang insbesondere eine ganzzahlige Zahl größer oder gleich 1. M ist in diesem Zusammenhang insbesondere eine ganzzahlige Zahl größer oder gleich 1. Die Ausprägung des Beam-Splitters kann verschiedene Formen annehmen. So können z.B. für die Generierung von 2×2 individuell schaltbaren Abbildungswegen zwei separate 2×1 Beam-Splitter hintereinandergeschaltet werden oder ein integrierter 2×2 Beam-Splitter, der den optischen Strahl in einer einzigen optischen Komponente in 4 Strahlen aufteilt, verwendet werden. Eine Verwendung eines Beam-Splitters hat außerdem den Vorteil, dass resultierende Ausgangs-Bildkanäle für die Austrittspupillen in verschiedene geometrische Richtungen gerichtet sein können, um dadurch insbesondere eine möglichst geeignete Führung der Bildkanäle aus Sicht des Gesamtsystems (Minimierung Kosten, Bauraum) zu ermöglichen und/oder um unter möglichst idealen, (ggf. zueinander nicht parallelen) Winkeln, auf die optische Replikationskomponente (z.B. ein HOE) zu treffen, um von dort bestmöglich in die jeweilige Aus-

trittspupille gelenkt werden zu können. Zudem muss ein eintreffender Bildkanal auf den Beam-Splitter nicht zwangsläufig senkrecht darauf auftreffen, sondern kann insbesondere auch unter einem spitzen oder stumpfen Winkel auf den Beam-Splitter treffen, wodurch vorteilhaft eine hohe Kompaktheit erzielt werden kann. Die Baugröße des Beam-Splitters kann wiederum umso kleiner gestaltet werden umso näher dieser an der Projektoreinheit angeordnet ist.

[0016] Zusätzlich wird vorgeschlagen, dass das optische Schalterelement realisiert ist als Bestandteil der Beam-Splitter-Anordnung oder als separates Filterelement, das im Ausgangsstrahlengang der Beam-Splitter-Anordnung positionierbar ist. Dadurch kann vorteilhaft eine einfache und/oder effektive zeitliche Segmentierung erreicht werden. Insbesondere weist das optische System zu jedem Teilstrahl des vorgenannten Beam-Splitters ein optisches Schalterelement auf. Insbesondere ist der jeweilige Teilstrahl durch das optische Schalterelement zu (nahezu) 100 % blockierbar. Insbesondere sind die optischen Schalterelemente zwischen nahezu vollständiger (100 %) Transmission und nahezu vollständig unterdrückter (0 %) optischer Transmission schaltbar.

[0017] Wenn dabei das optische Schalterelement realisiert ist in Form eines elektrisch ansteuerbaren (optischen) Polarisationsfilters und/oder eines elektrooptischen Modulators und/oder eines akustooptischen Modulators und/oder eines photoelastischen Modulators und/oder eines optischen Shutters und/oder einer elektrisch ansteuerbaren Flüssiglinse, kann vorteilhaft eine effektive Schaltung der Teilstrahlen am Ausgang des Beam-Splitters ermöglicht werden. Die optischen Schalterelemente können in Form von separat in die optischen Bildkanäle eingebrachten Polarisationsfiltern, als eigenständige optische Elemente oder als integrale Teile der Beam-Splitter-Anordnung (z.B. schaltbare Beschichtungen) ausgebildet sein. Vorzugsweise weisen die optischen Schalterelemente eine Wechselgeschwindigkeit, mit der zwischen voller An- und Abschaltung gewechselt werden kann, auf, welche so gewählt ist, dass eine Trägheit des Nutzer-Auges ausgenutzt werden kann und/oder welche entsprechend eines Dynamik-Bedarfs des Gesamtsystems (Augenbewegung von Austrittspupille zu Austrittspupille) gewählt ist. Insbesondere weist das optische Schalterelement die vorgenannten Schalteigenschaften (Umschalten zwischen nahezu 0 % und nahezu 100 % Transmission) für den sichtbaren Spektralbereich, vorzugsweise für einen Spektralbereich zwischen zumindest 440 nm und 670 nm, bevorzugt für einen Spektralbereich zwischen zumindest 450 nm bis 640 nm und besonders bevorzugt für einen Spektralbereich zwischen zumindest 460 nm bis 620 nm auf. Insbesondere weist das optische Schalterelement die entsprechenden Schalteigenschaften (Umschalten zwischen nahezu 0 % und nahezu 100 % Trans-

mission) auch für Lichtstrahlen auf, die unter einem nicht-senkrechten Winkel auf das optische Schalterelement auftreffen. Der elektrisch ansteuerbare Polarisationsfilter ist insbesondere dazu eingerichtet, ein linear polarisiertes (Laser-)Licht der Projektionseinheit ein- und ausschalten zu können, z.B. auf Basis von Flüssigkristallen. Der elektrooptische Modulator ist insbesondere dazu eingerichtet, die Phase, Amplitude und/oder Polarisation der Lichtstrahlen zu beeinflussen, wie beispielsweise nichtlineare optische Materialien, deren Brechungsindizes vom lokalen elektrischen Feld abhängen, aber auch elektrisch induzierte Doppelbrechung (Pockels-Effekt, Kerr-Effekt). Der akustooptische Modulator ist insbesondere dazu eingerichtet, in einem Material durch durchstimmbare (Ultra-)Schallwellen, z.B. mittels Piezoaktoren, ein optisches Gitter zur Lichtbeugung zu erzeugen. Der photoelastische Modulator ist insbesondere dazu eingerichtet, durch mechanische Verformung, z.B. mittels Piezoaktoren, optische Eigenschaften, insbesondere Brechungsindizes, zu modulieren. Die elektrisch ansteuerbare Flüssiglinse ist insbesondere als eine optische Linse auf Basis der Liquid Lens Technologie ausgebildet, bei der elektrisch eine (transparente oder opake) Flüssigkeit innerhalb einer Linsenhülle hinein bzw. hinaus gepumpt wird, um so die optische Durchlässigkeit zu verändern bzw. als optisches Schalterelement zu wirken. Insbesondere kann dabei die elektrisch ansteuerbare Flüssiglinse derart ausgebildet sein, dass einfallende Lichtstrahlen gebrochen werden (Brechkraft >0 , Brennweite $<\infty$) oder, dass einfallende Lichtstrahlen die elektrisch ansteuerbare Flüssiglinse im Wesentlichen ungebrochen durchlaufen (Brechkraft ≈ 0 , Brennweite $= \infty$). Insbesondere kann die elektrisch ansteuerbare Flüssiglinse bei einer von einer Brechkraft freien Ausbildung als eine Art elektrisch ansteuerbarer Flüssigshutter, der auf der selben Technologie basiert wie die elektrisch ansteuerbare Flüssiglinse, verstanden werden.

[0018] Ferner wird vorgeschlagen, dass die optische Replikationskomponente in einem Schichtaufbau mit mindestens einer holographisch funktionalisierten Schicht, vorzugsweise mit mindestens zwei holographisch funktionalisierten Schichten, realisiert ist. Dadurch kann vorteilhaft eine einfache und/oder effektive optische Replikation erreicht werden. Vorteilhaft kann dadurch eine besonders hohe Anzahl von Austrittspupillen und somit eine besonders große effektive Gesamt-eyebox erreicht werden. Insbesondere wird von einer ersten holographisch funktionalisierten Schicht der optischen Replikationskomponente ein (unreplizierter) Austrittspupillensatz (Eyeboxsatzes), insbesondere aller über individuell schaltbare Abbildungswege abgebildeten Bilddaten (Sub-Bilder), erzeugt. Insbesondere wird von jeder weiteren holographisch funktionalisierten Schicht neben der ersten holographisch funktionalisierten Schicht der optischen Replikationskomponente eine

Replikation des gesamten Austrittspupillensatzes, insbesondere aller über individuell schaltbare Abbildungswege abgebildeten Bilddaten (Sub-Bilder), erzeugt. Insbesondere wird bei jeder Replikation eines Austrittspupillensatzes, insbesondere jeder der über individuell schaltbare Abbildungswege abgebildeten Bilddaten (Sub-Bilder), eine räumlich und/oder winkelseitig verschobene Kopie der ursprünglichen Bildbereiche, insbesondere des (unreplizierten) Austrittspupillensatzes, bevorzugt der über individuell schaltbare Abbildungswege abgebildeten Bilddaten (Sub-Bilder), erzeugt. Insbesondere ist auch denkbar, dass nur ein Teil der Austrittspupillen eines (unreplizierten) Austrittspupillensatzes durch die weiteren holographisch funktionalisierten Schichten neben der ersten holographisch funktionalisierten Schicht der optischen Replikationskomponente repliziert wird, beispielsweise wenn eine Flächenerstreckung der beiden holographisch funktionalisierten Schichten der optischen Replikationskomponente unterschiedlich ist. Insbesondere ist denkbar, dass die optische Replikationskomponente zumindest drei oder mehr holographisch funktionalisierte Schichten aufweist.

[0019] Insbesondere sind die holographisch funktionalisierten Schichten jeweils teilreflektierend und teiltransparent. Insbesondere wird die optische Replikation dadurch erzeugt, dass dieselbe Bildinformation, insbesondere derselbe Lichtstrahl von zwei holographisch funktionalisierten Schichten der optischen Replikationskomponente, jeweils zweimal unterschiedlich, z.B. in zwei unterschiedliche Winkelrichtungen, abgelenkt wird und somit an zwei unterschiedlichen Punkten die Augenpupillenfläche kreuzt. Insbesondere ist durch die optische Replikationskomponente ein Muster oder eine Anordnung von Austrittspupillen in der Augenpupillenfläche in Vertikalrichtung und/oder in Horizontalrichtung und/oder in schräg zu der Vertikalrichtung / Horizontalrichtung liegende Richtungen replizierbar, vorzugsweise vervielfältigbar.

[0020] Wenn die holographisch funktionalisierten Schichten der optischen Replikationskomponente als reflektierende (z.B. Reflexionshologramme) und/oder transmittierende z.B. Transmissionshologramme) holographische optische Elemente (HO-Es) ausgebildet sind, kann eine besonders vorteilhafte Replikation erreicht werden. Insbesondere können unterschiedliche HOEs unterschiedliche optische Funktionen aufweisen, welche insbesondere eine unterschiedliche Ablenkung von auftreffenden Lichtstrahlen erzeugen (z.B. durch eine Ausbildung von Reflexionshologrammen, die Lichtstrahlen wie Hohlspiegel oder Wölbspiegel reflektieren). Insbesondere ist jedes HOE aus einem holographischen Material ausgebildet, beispielsweise aus einem Photopolymer oder aus einem Silberhalogenid. Insbesondere ist in das holographische Material für jedes HOE

jeweils zumindest eine holographische optische Funktion eingeschrieben. Insbesondere ist in das holographische Material für jedes HOE jeweils zumindest eine, mehrere Wellenlängen umfassende, holographische optische Funktion eingeschrieben. Insbesondere ist in das holographische Material für jedes HOE jeweils zumindest eine RGB-Wellenlängen umfassende holographische optische Funktion eingeschrieben.

[0021] Außerdem wird vorgeschlagen, dass die optische Replikationskomponente in einem Schichtaufbau mit mindestens zwei übereinander angeordneten Schichten mit unterschiedlichen holographischen Funktionen realisiert ist, wodurch die Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen erzeugt wird. Dadurch kann eine vorteilhafte Replikation von Bildern erreicht werden, welche insbesondere kostengünstig und/oder einfach herstellbar ist. Insbesondere sind die Schichten mit unterschiedlichen holographischen Funktionen in einer zu der Augenpupillenfläche zumindest im Wesentlichen senkrecht verlaufenden Richtung, vorzugsweise in einer vorgesehenen Blickrichtung auf die optische Replikationskomponente, schichtweise hintereinander angeordnet. Insbesondere ist die optische Replikationskomponente in zumindest ein Brillenglas der Datenbrille integriert. Es ist denkbar, dass sich die optische Replikationskomponente lediglich über einen Teil des Brillenglases oder über das gesamte Brillenglas erstreckt. Insbesondere weist die optischen Replikationskomponente eine ausreichend hohe Transparenz auf, so dass sie für einen Träger der Datenbrille durchsichtig erscheinen. Die holographisch funktionalisierten Schichten können unterschiedlich groß sein, vorzugsweise überlappen die holographischen Materialschichten aus der vorgesehenen Blickrichtung auf die optische Replikationskomponente jedoch vollständig oder nahezu vollständig. Die holographisch funktionalisierten Schichten können direkt aneinander anliegen oder durch eine (transparente) Zwischenschicht voneinander getrennt angeordnet sein. Es ist denkbar, dass die holographischen Funktionen der verschiedenen holographisch funktionalisierten Schichten für eine Ablenkung verschiedener Wellenlängen ausgebildet sind (z.B. eine holographische Schicht pro beeinflusste Wellenlänge), vorzugsweise sind jedoch die holographischen Funktionen der verschiedenen holographisch funktionalisierten Schichten für eine Ablenkung derselben RGB-Wellenlängen ausgebildet.

[0022] Wenn alternativ die optische Replikationskomponente mindestens eine Schicht umfasst, in der mindestens zwei unterschiedliche holographische Funktionen realisiert sind, wobei die unterschiedlichen holographischen Funktionen in einer gemeinsamen Ebene aber in unterschiedlichen inter-

mittierenden Zonen der Schicht ausgebildet sind, und wodurch die Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen erzeugt wird, kann vorteilhaft eine besonders dünne Ausgestaltung der optischen Replikationskomponente erreicht werden. Vorteilhaft kann dadurch eine Anzahl an holographischen Funktionen pro holographischer Materialschicht erhöht werden. Vorzugsweise ist eine räumliche Ausdehnung von HOE-Substrukturen der intermittierenden Zonen der Schicht der optischen Replikationskomponente wesentlich kleiner als ein Durchmesser des Lichtstrahls, insbesondere Laserstrahls, der Projektionseinheit. Unter „wesentlich kleiner“ soll in diesem Zusammenhang höchstens halb so groß, vorzugsweise höchstens ein Drittel so groß, bevorzugt höchstens ein Viertel so groß und besonders bevorzugt höchstens ein Zehntel so groß verstanden werden. Auf diese Weise wird vorteilhaft sichergestellt, dass jede Bildinformation in beiden durch die unterschiedlichen holographischen Funktionen erzeugten Austrittspupillen ankommt. Es ist denkbar, dass Schichten mit unterschiedlichen intermittierenden Zonen mit ganzflächigen holographisch funktionalisierten Schichten kombiniert werden.

[0023] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass das mindestens eine Segmentierungselement und die Replikationskomponente so ausgelegt sind, dass die damit erzeugten Austrittspupillen im Wesentlichen in einem Raster angeordnet sind, wobei der Abstand zwischen jeweils zwei direkt und/oder diagonal benachbarten Austrittspupillen kleiner ist, als der kleinste anzunehmende Pupillendurchmesser des Nutzers (vorzugsweise ein kleinstmöglicher Pupillendurchmesser eines gesunden erwachsenen Menschen). Dadurch kann vorteilhaft sichergestellt werden, dass zu jedem Zeitpunkt der bestimmungsgemäßen Verwendung der virtuellen Netzhautanzeige immer zumindest eine Austrittspupille für den Nutzer sichtbar ist, insbesondere mit einer Eintrittspupille des Nutzer-Auges überlappt. Dadurch kann vorteilhaft eine besonders große effektive Gesamteyebbox erhalten werden. Insbesondere sind verschiedene geometrische Anordnungsmuster für eine Anordnung der Austrittspupillen innerhalb der Augenpupillenfläche des optischen Systems (Eyebbox-Patterns) denkbar. Unter anderem sind beispielsweise eine äquidistante Parallelogramm-Anordnung (z.B. eine symmetrische oder asymmetrische Quincunx-Anordnung) oder eine (z.B. matrixförmige) Quadrat-Anordnung denkbar. Unter einem „Raster“ soll insbesondere ein auf einer Fläche verteiltes regelmäßiges Muster verstanden werden.

[0024] Insbesondere sind die Austrittspupillen derart in der Augenpupillenfläche angeordnet, dass (innerhalb der effektiven Gesamteyebbox) immer mindestens zwei Austrittspupillen in das Nutzer-Auge eintre-

ten. Dadurch kann vorteilhaft eine Beeinträchtigung und/oder Störung des Bildeindrucks durch sogenannte Floater (auch „Mouches Volantes“ oder „fliegende Mücken“ genannt) reduziert werden. Floater können u.a. von Fäden oder Klumpen aus Kollagenfibrillen, die in einem Glaskörper eines Auges schwimmen, gebildet sein. Insbesondere durch den geringen Strahldurchmesser der die Abbildung auf der Netzhaut des Nutzer-Auges erzeugenden Lichtstrahlen in virtuellen Netzhautanzeigen können Floater den Lichtstrahl fast vollständig blockieren und werfen damit einen besonders starken / scharfen Schatten auf die Netzhaut des Nutzer-Auges. Bei einem Vorhandensein von zwei oder mehr Lichtwegen im Nutzer-Auge kann vorteilhaft sichergestellt werden, dass ein Abschattungseindruck durch einen Floater in einem der beiden Lichtwege durch die anderen Lichtwege im Kontrast deutlich reduziert wird.

[0025] Zusätzlich wird vorgeschlagen, dass das mindestens eine Segmentierungselement und die optische Replikationskomponente so ausgelegt sind, dass jeder Abstand zwischen zwei auf einem gemeinsamen Abbildungsweg erzeugten Austrittspupillen größer ist, als der größte anzunehmende Pupillendurchmesser des Nutzers. Dadurch kann eine vorteilhafte Darstellung des Bildinhalts auf der Netzhaut des Nutzer-Auges erreicht werden, welche insbesondere frei ist von wahrnehmbaren Doppelbildern. Insbesondere sind niemals mehrere optisch identische, aber gegeneinander räumlich in der Augenpupillenfläche verschobene Kopien einer Abbildung des Bildinhalts gleichzeitig für den Nutzer sichtbar. Insbesondere ist die Anordnung der Austrittspupillen in der Augenpupillenfläche derart gewählt, dass der minimale Abstand einer beliebigen Austrittspupille zu jeder weiteren Austrittspupille, die eine durch Replikation erzeugte Zwillingabbildung aufweist, einen größtmöglichen anzunehmenden Nutzer-Pupillendurchmesser (vorzugsweise ein größtmöglicher Nutzer-Pupillendurchmesser eines gesunden erwachsenen Menschen) überschreitet. Alternativ oder zusätzlich ist die Anordnung der Austrittspupillen in der Augenpupillenfläche derart gewählt, dass der größtmögliche anzunehmende Nutzer-Pupillendurchmesser kleiner ist als ein Minimum aller größtmöglichen Abstände zwischen getrennt an- und ausschaltbaren oder getrennt modifizierbaren Austrittspupillen aus zwei beliebigen durch Replikation und Segmentierung erzeugten Austrittspupillensätzen. Während im ersteren Fall alle Austrittspupillen eines Austrittspupillensatzes gleichzeitig aktiv sein können, darf im zweiten Fall immer nur eine der Austrittspupillen in Abhängigkeit einer, insbesondere durch eine Eyetracker-Einrichtung verfolgten, aktuellen Augenposition aktiviert sein.

[0026] Zudem wird vorgeschlagen, dass eine Eyetracker-Einrichtung zum Erfassen und/oder Bestimmen des Augenzustands des Nutzers vorgesehen

ist, insbesondere zum Erfassen und/oder Bestimmen der Augenbewegung, der Augenbewegungsgeschwindigkeit, der Pupillenposition, der Pupillengröße, der Blickrichtung, des Akkomodationszustands und/oder der Fixationsdistanz des Auges. Dadurch kann vorteilhaft eine verbesserte Funktionalität der virtuellen Netzhautanzeige erreicht werden. Vorteilhaft kann eine besonders nutzerfreundliche virtuelle Netzhautanzeige erreicht werden, welche eine für den Nutzer unmerkliche Anpassung der Abbildungen vornimmt, so dass der Nutzer einen möglichst homogenen Bildeindruck erleben kann. Insbesondere ist die Eyetracker-Einrichtung als eine Komponente der virtuellen Netzhautanzeige, insbesondere des optischen Systems, ausgebildet. Detaillierte Ausgestaltungen von Eyetrackern sind aus dem Stand der Technik bekannt, so dass an dieser Stelle nicht genauer darauf eingegangen wird. Es ist denkbar, dass die Eyetracker-Einrichtung ein monokulares oder ein binokulares Eyetracking-System umfasst, wobei zumindest das binokulare Eyetracking-System insbesondere dazu eingerichtet ist, aus gegenläufigen Augenbewegungen (Vergenz) eine Fixationsdistanz abzuleiten. Alternativ oder zusätzlich umfasst die Eyetracker-Einrichtung ein Eyetracking-System mit einem Tiefensensor zur Ermittlung eines Blickpunkts in der Umgebung zur Ermittlung der Fixationsdistanz. Alternativ oder zusätzlich umfasst die Eyetracker-Einrichtung und/oder das optische System einen oder mehrere Sensoren zu einer indirekten, insbesondere kontextabhängigen, Ermittlung eines wahrscheinlichsten Akkomodationszustands des Nutzer-Auges, wie beispielsweise Sensoren zu einer Ermittlung einer Kopfhaltung, GPS-Sensoren, Beschleunigungssensoren, Tageszeitmesser und/oder Helligkeitssensoren o.dgl. Vorzugsweise ist die Eyetracker-Einrichtung zumindest teilweise in einem Bauteil der Datenbrille integriert, beispielsweise in einem Brillengestell der Datenbrille.

[0027] Außerdem wird vorgeschlagen, dass einzelne Abbildungswege in Abhängigkeit vom, insbesondere durch die Eyetracker-Einrichtung, erfassten Augenzustand des Nutzers ansteuerbar sind und insbesondere aktivschaltbar und abschaltbar sind. Dadurch kann vorteilhaft eine besonders große effektive Gesamteyebox erreicht werden, welche insbesondere gleichzeitig ein möglichst großes Sichtfeld aufweist, welches zudem vorteilhaft frei ist von Doppelbildern. Insbesondere werden einzelne Abbildungswege derart in Abhängigkeit vom erfassten Augenzustand des Nutzers angesteuert, vorzugsweise aktivgeschaltet oder abgeschaltet, z.B. dunkelgetastet, dass eine Erscheinung von Doppelbildern im Auge des Nutzers verhindert wird, dass ein Helligkeitseindruck auf der Retina des Nutzers zumindest im Wesentlichen konstant bleibt und/oder dass der Nutzer in allen Blickwinkeln innerhalb der Gesamteyebox ein zumindest im Wesentlichen kon-

stantes Bild wahrnimmt. Insbesondere ist die Steuer- oder Regeleinheit und/oder die Bildverarbeitungseinrichtung dazu vorgesehen, einzelne Abbildungswege in Abhängigkeit vom erfassten Augenzustand des Nutzers anzusteuern, insbesondere aktivzuschalten oder abzuschalten.

[0028] Außerdem wird vorgeschlagen, dass das Aktivschalten und Abschalten der einzelnen Abbildungswege und die Auslegung des mindestens einen Segmentierungselements und der Replikationskomponente so aufeinander abgestimmt sind, dass pro aktivgeschaltetem Abbildungsweg immer nur eine Austrittspupille im Bereich der Pupille des Nutzers erzeugt wird, wobei der größte anzunehmende Pupillendurchmesser zugrunde gelegt wird. Dadurch kann vorteilhaft eine besonders große effektive Gesamteyebox erreicht werden, welche insbesondere gleichzeitig ein möglichst großes Sichtfeld aufweist, welches zudem vorteilhaft frei ist von Doppelbildern. Insbesondere werden Abbildungswege, von denen zumindest zwei resultierende Austrittspupillen zu einem Zeitpunkt im Bereich des größten anzunehmenden Pupillendurchmessers liegen, d.h. insbesondere in das Nutzer-Auge eintreten würden, zu diesem Zeitpunkt ausgeschaltet, insbesondere dunkelgetastet. Insbesondere muss vermieden werden, dass zeitgleich mehrere voneinander beabstandete, jedoch identisch parametrisierte/modifizierte Bildinhalte umfassende Austrittspupillen durch die Pupille des Nutzer-Auges treffen (z.B. eine Austrittspupille und eine durch Replikation dieser Austrittspupille verdoppelte weitere Austrittspupille), und dadurch mehrere nicht unabhängig voneinander parametrisierbare/modifizierbare Bildinhalte auf die Netzhaut des Nutzer-Auges treffen und somit nicht-aufeinanderliegende Bildinhalte erzeugen.

[0029] Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass die Bildverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, beim Erzeugen der Sub-Bilddaten den erfassten Augenzustand des Nutzers zu berücksichtigen und/oder zu berücksichtigen, welche Abbildungswege aktivgeschaltet und welche Abbildungswege abgeschaltet sind, um dadurch bedingte Helligkeitsschwankungen im Bildeindruck zu kompensieren. Dadurch kann vorteilhaft ein möglichst konstanter Helligkeitseindruck erzeugt werden. Beispielsweise durch eine Änderung von Pupillenposition und/oder Pupillengröße der Pupille des Nutzer-Auges ändert sich eine Beteiligung der Austrittspupillen, die in das Nutzer-Auge eintreten würden bzw. die an der überlagerten Abbildung des Bildinhalts auf der Netzhaut des Nutzer-Auges teilhaben würden. Dadurch kann es zu einer Variation eines Helligkeitseindrucks kommen (mehr Austrittspupillen treten in das Nutzer-Auge ein und überlagern sich zu einer gemeinsamen Abbildung: heller; weniger Austrittspupillen treten in das Nutzer-Auge ein und überlagern sich zu einer

gemeinsamen Abbildung: dunkler). Insbesondere werden zu einer Vermeidung dieses schwankenden Helligkeitseindrucks und vorzugsweise zu einem Erreichen einer homogenen Bildhelligkeit einzelne Abbildungswege dynamisch durch die Steuer- oder Regeleinheit und/oder durch die Bildverarbeitungseinrichtung abgeschaltet/angeschaltet. Insbesondere ist die Steuer- oder Regeleinheit und/oder die Bildverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet, die die Austrittspupillen erzeugenden einzelnen schaltbaren Abbildungswege derart an- und auszuschalten, dass immer eine zumindest im Wesentlichen konstante Anzahl von Austrittspupillen durch die Pupille des Nutzer-Auges trifft. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuer- oder Regeleinheit und/oder die Bildverarbeitungseinrichtung dazu vorgesehen sein, eine globale Helligkeit aller Austrittspupillen, insbesondere der über die Austrittspupillen in das Nutzer-Auge gelenkten Bildinhalte, entsprechend einer Anzahl der aktuell durch die Pupille treffenden Austrittspupillen zu steuern oder zu regeln. Vorteilhaft kann jeweils ein Gesamtenergiebedarf gesenkt werden. Insbesondere kann eine Auswahl der eingeschalteten Austrittspupillen und/oder eine Anpassung der globalen Helligkeit der Austrittspupillen auch durch eine manuelle Indikation der Blickrichtung oder eine manuelle Regulierung der Helligkeit erfolgen. Vorzugsweise erfolgt die Auswahl jedoch durch eine automatisierte Bestimmung der Pupillenposition und/oder der Pupillengröße der Pupille des Nutzer-Auges, beispielsweise mittels eines Geräts zur Erfassung von Augenbewegungen, insbesondere der Eyetracker-Einrichtung des optischen Systems.

[0030] Insbesondere kann es bei einer dynamischen Ansteuerung der Austrittspupillen, insbesondere der durch die Austrittspupillen in das Nutzer-Auge gelenkten umfassten Bildinhalte, durch ungenaue und/oder unpräzise Messungen der Pupillenposition und/oder Pupillengröße zu einem Flackern und dadurch unangenehmen Bildeindruck kommen. Vorteilhaft kann die Steuer- oder Regeleinheit und/oder die Bildverarbeitungseinrichtung zur Vermeidung dieses Flackerns dazu eingerichtet sein, eine Hysterese und/oder einen Delay in der Ansteuerung der Austrittspupillen vorzusehen. Außerdem kann es insbesondere bei verzögerten Messungen durch die Eyetracker-Einrichtung zu einer verzögerten Anpassung sowie einer Degradierung oder zu einem zeitweisen Verlust des Bildinhalts kommen. Vorteilhaft kann zu einer Gegensteuerung eine Minimalanforderung der Aktualisierungsrate von 200 Hz für das Eyetracking vorgesehen sein. Insbesondere ist denkbar, dass die Steuer- oder Regeleinheit und/oder die Eyetracker-Einrichtung dazu eingerichtet ist, Ziel-Fixationspunkte von Sakkaden (schnelle ballistische Augenbewegungen) vorauszuberechnen. Dadurch kann vorteilhaft die vorgenannte Minimalan-

forderung an die Eyetracker-Einrichtung gesenkt werden.

[0031] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass die Bildverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, beim Erzeugen der Sub-Bilddaten eine Fehlsichtigkeit und/oder Fehlakkommodation des Nutzers, insbesondere durch eine virtuelle Sehstärkenkorrektur und/oder durch eine virtuelle Nutzeraugen-Akkommodationsanpassung, zu berücksichtigen und zu kompensieren. Dadurch kann vorteilhaft eine verbesserte Funktionalität der virtuellen Netzhautanzeige erreicht werden. Vorteilhaft kann eine Nutzung der virtuellen Netzhautanzeige unabhängig von einer Sehstärke und/oder unabhängig von weiteren Sehstärkekorrekturvorrichtungen, wie Kontaktlinsen, ermöglicht werden. Insbesondere werden bei Fehlsichtigkeit parallele Strahlen mit gleichen Abbildungen aus den einzelnen Austrittspupillen vor (Kurzsichtigkeit) oder hinter (Weitsichtigkeit) der Netzhaut des Nutzer-Auges fokussiert und können dadurch an unterschiedlichen Punkten auf der Netzhaut auftreffen, was zu einem unerwünschten Doppelbild führt. Insbesondere umfasst die virtuelle Netzhautanzeige eine Funktionalität zur Sehstärkenkorrektur der virtuellen Bildinhalte. Insbesondere können zur Sehstärkenkorrektur der virtuellen Bildinhalte alle Austrittspupillen bis auf eine einzige abgeschaltet werden, wodurch vorteilhaft Doppelbilder ausgeschlossen werden können. Vorteilhaft ergibt sich dadurch ein kleiner effektiver Strahldurchmesser am Auge und damit eine große Schärfentiefe. Alternativ kann zur Sehstärkenkorrektur der virtuellen Bildinhalte die Parametrisierung, insbesondere die Bildmodifikation (Bildverzerrung, etc.) der Sub-Bilddaten, vorzugsweise der einzelnen Sub-Bilder, z.B. durch die Steuer- oder Regeleinheit und/oder durch die Bildverarbeitungseinrichtung, an die jeweilige Fehlsichtigkeit des Nutzer-Auges angepasst werden. Dadurch kann vorteilhaft eine virtuelle Brille / virtuelle Sehstärkenkorrektur erreicht werden. Insbesondere werden bei der Parametrisierung, insbesondere bei der Bildmodifikation (z.B. Bildverzerrung, etc.), der Sub-Bilddaten und/oder der Sub-Bilder gleiche Bildinhalte aus den einzelnen Austrittspupillen auf divergente (Kurzsichtigkeit) oder konvergente (Weitsichtigkeit) Strahlen aufgeteilt. Insbesondere umfasst das optische System eine Eingabefunktion, mittels welcher ein Sehstärkenwert des Nutzers eingabbar ist. Insbesondere wird basierend auf dem eingestellten Sehstärkenwert von der Steuer- oder Regeleinheit und/oder von der Bildverarbeitungseinrichtung die dadurch notwendige Korrektur, insbesondere die Parametrisierung/Modifikation der Sub-Bilddaten und/oder der Sub-Bilder, bei der Anpassung der Sub-Bilddaten und/oder der Sub-Bilder mit eingerechnet.

[0032] Außerdem kann durch die virtuelle Nutzeraugen-Akkommodationsanpassung vorteilhaft eine

Nutzung der virtuellen Netzhautanzeige zumindest im Wesentlichen unabhängig von einer Akkommodation des Nutzer-Auges ermöglicht werden. Insbesondere bei einer Nah-Akkommodation des Nutzer-Auges (Krümmung der Augenlinse: Erhöhung der Brechkraft der Augenlinse) werden (vergleichbar mit der Kurzsichtigkeit) parallele Strahlen mit gleichen Bildinhalten aus den einzelnen Austrittspupillen vor der Netzhaut des Nutzer-Auges fokussiert, was ebenfalls zu unerwünschten Doppelbildern führen kann. Insbesondere umfasst das optische System eine Funktionalität zur Akkommodationskorrektur der angezeigten Bildinhalte. Insbesondere können zur Akkommodationskorrektur der angezeigten Bildinhalte alle Austrittspupillen bis auf eine einzige, d.h. insbesondere alle einzeln schaltbaren Abbildungswege bis auf einen einzigen, abgeschaltet werden, wodurch vorteilhaft Doppelbilder ausgeschlossen werden können. Alternativ kann zur Akkommodationskorrektur der angezeigten Bildinhalte die Parametrisierung, insbesondere die Bildmodifikation (z.B. die Bildverzerrung), der Sub-Bilddaten und/oder der Sub-Bilder, z.B. durch die Steuer- oder Regeleinheit und/oder durch die Bildverarbeitungseinrichtung, an die jeweilige Akkommodation des Nutzer-Auges angepasst werden. Insbesondere werden dazu bei der Parametrisierung, insbesondere bei der Bildmodifikation, der Sub-Bilddaten und/oder der Sub-Bilder gleiche Bildinhalte aus den einzelnen Austrittspupillen auf divergente Strahlen aufgeteilt. Der Akkommodationszustand der Nutzer-Augen kann insbesondere manuell (z.B. mittels eines Schalters an der Datenbrille) eingestellt sein oder automatisiert ermittelt und an die Steuer- oder Regeleinheit und/oder die Bildverarbeitungseinrichtung übermittelt werden. Eine manuelle Einstellung des Akkommodationszustands kann beispielsweise durch Umschalten zwischen diskreten Distanzen-(nah/fern), durch Kontextprofile (Arbeitsplatz, Indoor, Outdoor, Verkehrsmittel, Sport, etc.) und/oder durch Einstellen eines kontinuierlichen Distanzbereichs (z.B. über ein Slider-Interaktionselement in einer zu dem optischen System zugehörigen App) vornehmbar sein.

[0033] Zusätzlich wird vorgeschlagen, dass das optische System eine Datenbrille mit Brillengestell und Brillengläsern umfasst, dass die zumindest eine Projektoreinheit und das zumindest eine Segmentierungselement am Brillengestell angeordnet sind und dass die zumindest eine Umlenkeinheit mit der zumindest einen Replikationskomponente im Bereich mindestens eines Brillenglases angeordnet ist, insbesondere in mindestens ein Brillenglas integriert ist. Dadurch kann eine vorteilhafte Ausgestaltung der Datenbrille und/oder eine vorteilhafte Integration der virtuellen Netzhautanzeige erreicht werden. Insbesondere kann die Datenbrille auch mehr als eine Projektoreinheit, mehr als ein Segmentierungselement, mehr als ein Umlenkelement und/oder mehr als eine Replikationskomponente umfasst

sen, beispielsweise jeweils eine für jedes Brillenglas der Datenbrille.

[0034] Alternativ dazu wird vorgeschlagen, dass die Bildquelle zusammen mit der Bildverarbeitungseinrichtung in einem externen Gerät angeordnet ist und dass die Sub-Bilddaten von dem externen Gerät zur Projektoreinheit der Datenbrille übertragen werden. Dadurch kann eine vorteilhafte Ausgestaltung der Datenbrille, welche u.a. ein besonders niedriges Gewicht aufweist und/oder besonders kostengünstig herstellbar ist, erreicht werden. Insbesondere weist die Datenbrille eine drahtlose oder drahtgebundene Kommunikationseinrichtung auf, welche zumindest dazu eingerichtet ist, die Sub-Bilddaten von dem externen Gerät zu empfangen. Das externe Gerät ist insbesondere als ein zu der Datenbrille externes Gerät ausgebildet. Das externe Gerät kann beispielsweise als ein Smartphone, als ein Tablet, als ein Personal Computer (z.B. ein Notebook) oder dergleichen ausgebildet sein.

[0035] Ferner wird ein Verfahren zum Projizieren von Bildinhalten auf die Netzhaut eines Nutzers mit Hilfe eines optischen Systems vorgeschlagen, wobei das optische System mindestens eine Bildquelle, die einen Bildinhalt in Form von Bilddaten liefert, eine Bildverarbeitungseinrichtung für die Bilddaten, eine Projektoreinheit mit einer zeitlich modulierbaren Lichtquelle zum Generieren mindestens eines Lichtstrahls und mit einer ansteuerbaren Ablenkeinrichtung für den mindestens einen Lichtstrahl zur scannenden Projektion des Bildinhalts, eine Umlenkeinheit, auf die der Bildinhalt projiziert wird und die den projizierten Bildinhalt auf ein Auge eines Nutzers lenkt, ein zwischen Projektoreinheit und Umlenkeinheit angeordnetes optisches Segmentierungselement und eine optische Replikationskomponente, die in einem Projektionsbereich der Umlenkeinheit angeordnet ist, umfasst und wobei der Bildinhalt mit Hilfe des optischen Segmentierungselements über unterschiedliche Abbildungswege auf mindestens einen Projektionsbereich der Umlenkeinheit projiziert wird, wobei zumindest einzelne Abbildungswege individuell angesteuert werden, wobei der projizierte Bildinhalt mit Hilfe der Replikationskomponente repliziert und räumlich versetzt auf das Auge des Nutzers gelenkt wird, so dass eine Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen mit dem Bildinhalt erzeugt wird, wobei aus den Bilddaten der Bildquelle Sub-Bilddaten zum Ansteuern der Projektoreinheit erzeugt werden, wobei die Sub-Bilddaten eine Projektion des Bildinhalts über unterschiedliche Abbildungswege auf mindestens einen Projektionsbereich der Umlenkeinheit ermöglichen, und wobei für mindestens zwei unterschiedliche Abbildungswege unterschiedliche Sub-Bilddaten erzeugt werden, so dass eine Verzerrung des Bildinhalts über den jewei-

ligen Abbildungsweg zumindest teilweise kompensiert wird. Dadurch kann vorteilhaft eine verbesserte Funktionalität der virtuellen Netzhautanzeige erreicht werden. Vorteilhaft kann eine besonders große effektive Gesamteyebow erreicht werden, welche insbesondere gleichzeitig ein möglichst großes Sichtfeld aufweist.

[0036] Das erfindungsgemäße optische System und das erfindungsgemäße Verfahren soll hierbei nicht auf die oben beschriebene Anwendung und Ausführungsform beschränkt sein. Insbesondere kann das erfindungsgemäße optische System und das erfindungsgemäße Verfahren zu einer Erfüllung einer hierin beschriebenen Funktionsweise eine von einer hierin genannten Anzahl von einzelnen Elementen, Bauteilen und Einheiten sowie Verfahrensschritten abweichende Anzahl aufweisen. Zudem sollen bei den in dieser Offenbarung angegebenen Wertebereichen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als offenbart und als beliebig einsetzbar gelten.

Figurenliste

[0037] Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung sind vier Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Die Zeichnung, die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

[0038] Es zeigen:

Fig. 1 Eine schematische Darstellung eines optischen Systems mit einer Datenbrille,

Fig. 2 eine schematische Darstellung des optischen Systems,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Brillenglases der Datenbrille, aufweisend eine Umlenkeinheit mit schichtweise aufgebauter optischer Replikationskomponente,

Fig. 4 eine schematische Veranschaulichung des Zusammenhangs von Bilddaten, Sub-Bilddaten und auf einer Netzhaut abgebildetem Bild,

Fig. 5a schematisch eine erste beispielhafte Anordnung einzelner Austrittspupillen in einer Augenpupillenfläche des optischen Systems,

Fig. 5b schematisch eine zweite beispielhafte Anordnung der einzelnen Austrittspupillen in der Augenpupillenfläche des optischen Systems,

Fig. 5c schematisch eine dritte beispielhafte Anordnung der einzelnen Austrittspupillen in der Augenpupillenfläche des optischen Systems,

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer effektive Gesamteyebow des optischen Systems,

Fig. 7 ein schematisches Ablaufdiagramm eines zum Projizieren von Bildinhalten auf die Netzhaut eines Nutzers mit Hilfe des optischen Systems,

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines Brillenglases der Datenbrille aufweisend eine Umlenkeinheit mit in einer einzelnen Schicht aufgebauten alternativen optischen Replikationskomponente,

Fig. 9 eine schematische Darstellung eines weiteren alternativen optischen Systems und

Fig. 10 eine schematische Darstellung eines zweiten weiteren alternativen optischen Systems.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0039] Die **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines optischen Systems 68a mit einer Datenbrille 66a. Die Datenbrille 66a weist Brillengläser 70a, 72a auf. Die Brillengläser 70a, 72a sind überwiegend transparent. Die Datenbrille 66a weist ein Brillengestell 144a mit Brillenbügeln 74a, 76a auf. Die Datenbrille 66a bildet einen Teil des optischen Systems 68a aus. Das optische System 68a umfasst in dem in der **Fig. 1** dargestellten Fall ein externes Gerät 146a. Das externe Gerät 146a ist beispielhaft als ein Smartphone ausgebildet. Das externe Gerät 146a steht in einer Datenkommunikationsverbindung 148a mit der Datenbrille 66a. Alternativ kann die Datenbrille 66a das optische System 68a auch vollständig ausbilden. Das optische System 68a ist zu einer Ausbildung einer virtuellen Netzhautanzeige vorgesehen. Die Datenbrille 66a weist im in der **Fig. 1** dargestellten Beispiel eine Recheneinheit 78a auf. Die Recheneinheit 78a ist in einen der Brillenbügel 74a, 76a integriert. Alternative Anordnungen der Recheneinheit 78a in der Datenbrille 66a, beispielsweise in einem Brillenglasrand, sind ebenfalls denkbar. Unter einer „Recheneinheit 78a“ soll insbesondere ein Controller mit einem Prozessor, einer Speichereinheit, und/oder ein in der Speichereinheit gespeichertes Betriebs-, Steuer- und/oder Berechnungsprogramm verstanden werden. Die Recheneinheit 78a ist zu einem Betrieb der Datenbrille 66a, insbesondere einzelner Komponenten der Datenbrille 66a, vorgesehen.

[0040] Die **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung des optischen Systems 68a. Das optische System 68a weist eine Bildquelle auf. Die Bildquelle liefert einen Bildinhalt in Form von Bilddaten 12a. Die Bildquelle kann ein integraler Teil der Datenbrille 66a sein. Alternativ kann die Bildquelle auch als das externe Gerät 146a oder als Teil des externen Geräts

146a ausgebildet sein. Das optische System 68a weist eine Bildverarbeitungseinrichtung 10a auf. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist zu einem digitalen Empfang der Bilddaten 12a und/oder zu einer direkten Erzeugung der Bilddaten 12a vorgesehen. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist zu einer digitalen Bildverarbeitung der Bilddaten 12a vorgesehen. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist zu einer Modifikation der Bilddaten 12a vorgesehen. Die Bilddaten 12a können beispielsweise ein Standbild oder einen Videofeed ausbilden. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a kann teilweise einstückig mit der Recheneinheit 78a ausgebildet sein. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, die Bilddaten 12a in Sub-Bilddaten 14a umzuwandeln. In dem in der **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiel wandelt die Bildverarbeitungseinrichtung 10a die Bilddaten 12a in Sub-Bilddaten 14a um, welche mehrere auf Basis des originalen Bildinhalts erzeugte Sub-Bilder 98a, 100a umfassen. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist in diesem Fall dazu eingerichtet, die eine matrixartige Anordnung der Sub-Bilder 98a, 100a innerhalb der Sub-Bilddaten 14a zu erzeugen und auszugeben, insbesondere an eine Projektoreinheit 16a des optischen Systems 68a auszugeben.

[0041] Das optische System 68a weist die Projektoreinheit 16a auf. Die Projektoreinheit 16a empfängt die Sub-Bilddaten 14a von der Bildverarbeitungseinrichtung 10a. Die Projektoreinheit 16a ist als eine Laserprojektoreinheit ausgebildet. Die Projektoreinheit 16a ist zu einem Aussenden der Sub-Bilddaten 14a in Form von Lichtstrahlen 18a eingerichtet. Die Lichtstrahlen 18a sind als gescannte Laserstrahlen ausgebildet. Die gescannten Laserstrahlen erzeugen bei jedem Durchlauf eines Scanbereichs der Projektoreinheit 16a Abbildungen aller Sub-Bilder 98a, 100a der Sub-Bilddaten 14a. Die Projektoreinheit 16a umfasst eine Projektorsteuereinheit 80a. Die Projektoreinheit 16a umfasst eine zeitlich modulierbare Lichtquelle 132a. Die zeitlich modulierbare Lichtquelle 132a ist zu einem Generieren der Lichtstrahlen 18a eingerichtet. Die Projektorsteuereinheit 80a ist dazu vorgesehen, die Erzeugung und/oder Modulation der Lichtstrahlen 18a durch die Lichtquelle 132a zu steuern oder zu regeln. Die Lichtquelle 132a umfasst im dargestellten Ausführungsbeispiel drei (amplitudenmodulierbare) Laserdioden 82a, 84a, 86a. Eine erste Laserdiode 82a erzeugt einen roten Laserstrahl. Eine zweite Laserdiode 84a erzeugt einen grünen Laserstrahl. Eine dritte Laserdiode 86a erzeugt einen blauen Laserstrahl. Die Projektoreinheit 16a weist eine Strahlvereinigungs- und/oder Strahlformungseinheit 88a auf. Die Strahlvereinigungs- und/oder Strahlformungseinheit 88a ist dazu eingerichtet, die verschiedenfarbigen Laserstrahlen der Laserdioden 82a, 84a, 86a zu einer Erzeugung eines Farbbildes zu vereinigen, insbesondere zu mischen. Die Strahlvereinigungs- und/o-

der Strahlformungseinheit 88a ist dazu eingerichtet, den Lichtstrahl 18a, insbesondere den Laserstrahl, der die Projektoreinheit 16a verlässt, zu formen. Details zur Ausbildung der Strahlvereinigungs- und/oder Strahlformungseinheit 88a werden als aus dem Stand der Technik bekannt vorausgesetzt. Die Projektoreinheit 16a umfasst eine Strahldivergenz-Anpassungseinheit 90a. Die Strahldivergenz-Anpassungseinheit 90a ist dazu vorgesehen, eine Strahldivergenz des die Projektoreinheit 16a verlassenden Lichtstrahls 18a, insbesondere Laserstrahls, anzupassen, vorzugsweise an eine, insbesondere von einer Anordnung optischer Elemente des optischen Systems 68a abhängige, Pfadlänge des jeweiligen aktuell ausgesandten Lichtstrahls 18a. Die Strahldivergenz der die Projektoreinheit 16a verlassenden Lichtstrahlen 18a, insbesondere Laserstrahlen, wird vorzugsweise derart angepasst, dass nach dem Passieren der optischen Elemente des optischen Systems 68a ein hinreichend kleiner und scharfer Laserfleck am Ort, an dem der Strahl auf eine Netzhaut 22a eines Nutzer-Auges 24a der virtuellen Netzhautanzeige auftrifft, entsteht und die Strahldivergenz am Ort einer Augenpupillenfläche 54a des optischen Systems 68a vor dem Nutzer-Auge 24a über die gesamte durch den Lichtstrahl 18a, insbesondere den Laserstrahl, erzeugte Abbildung der Bilddaten 12a zumindest im Wesentlichen konstant ist. Details zur Ausbildung der Strahldivergenz-Anpassungseinheit 90a, z.B. mittels Linsen mit fester und/oder variabler Brennweite, werden als aus dem Stand der Technik bekannt vorausgesetzt. Die Projektoreinheit 16a umfasst zumindest eine ansteuerbare Ablenkeinrichtung 92a. Die ansteuerbare Ablenkeinrichtung 92a ist als ein MEMS-Spiegel ausgebildet. Der MEMS-Spiegel ist Teil eines Mikrospiegelaktors (nicht gezeigt). Die ansteuerbare Ablenkeinrichtung 92a ist zu einer ein Rasterbild erzeugenden gesteuerten Ablenkung des Laserstrahls eingerichtet. Details zur Ausbildung des Mikrospiegelaktors werden als aus dem Stand der Technik bekannt vorausgesetzt. Die Projektorsteuereinheit 80a ist zu einer Steuerung oder Regelung einer Bewegung der ansteuerbaren Ablenkeinrichtung 92a eingerichtet (siehe Pfeil 94a). Die ansteuerbare Ablenkeinrichtung 92a sendet regelmäßig ihre aktuellen Positionssignale zurück an die Projektorsteuereinheit 80a (siehe Pfeil 96a).

[0042] Das optische System 68a weist eine Umlenkeinheit 20a auf. Auf die Umlenkeinheit 20a ist der Bildinhalt projizierbar. Die Umlenkeinheit 20a ist dazu eingerichtet, den projizierten Bildinhalt auf das Nutzer-Auge 24a zu lenken. Die Umlenkeinheit 20a bildet einen Projektionsbereich 34a aus. Lichtstrahlen 18a, welche innerhalb des Projektionsbereichs 34a auf die Umlenkeinheit 20a auftreffen, werden zumindest teilweise in Richtung des Nutzer-Auges 24a umgelenkt/projiziert. Die Umlenkeinheit 20a ist dazu eingerichtet, die Lichtstrahlen 18a derart zu

beeinflussen (zu brechen, zu streuen und/oder zu reflektieren), dass zumindest ein Teil der Lichtstrahlen 18a, vorzugsweise zumindest ein aus den Bilddaten 12a erzeugtes Sub-Bild 98a, 100a, auf die Augenpupillenfläche 54a des optischen Systems 68a, insbesondere auf der Netzhaut 22a des Nutzer-Auges 24a, abgebildet wird. Das optische System 68a ist dazu eingerichtet, mittels verschiedener optischer Elemente eine Mehrzahl von Austrittspupillen A, A', B, B' auszubilden. Das optische System 68a ist dazu eingerichtet, die Lichtstrahlen 18a mittels der verschiedenen optischen Elemente derart zu beeinflussen, dass die erzeugten Austrittspupillen (Eyeboxen) A, A', B, B' voneinander beabstandet angeordnet erzeugt werden. Das optische System 68a bildet die Augenpupillenfläche 54a aus. Die Austrittspupillen A, A', B, B' liegen alle in der Augenpupillenfläche 54a nebeneinander und/oder übereinander. Die Augenpupillenfläche 54a ist als eine für die Platzierung des Nutzer-Auges 24a (innerhalb der Datenbrille 66a) vorgesehene, insbesondere für die Platzierung von Eintrittspupillen des Nutzer-Auges 24a (innerhalb der Datenbrille 66a) vorgesehene, Fläche im Raum ausgebildet. Die Augenpupillenfläche 54a ist vorzugsweise eben, weicht jedoch von einer perfekten Ebene durch kleine Krümmungen ab. Die Augenpupillenfläche 54a kann näherungsweise als eine Augenpupillenebene angesehen/bezeichnet werden. Die Augenpupillenfläche 54a liegt in einer Blickrichtung des Nutzers vor den Brillengläsern 70a, 72a der Datenbrille 66a und verläuft zumindest im Wesentlichen parallel zu einer Glasebene der Brillengläser 70a, 72a. Die Bezeichnung „im Wesentlichen parallel“ soll in diesem Fall insbesondere so verstanden werden, dass darin auch Abweichungen von bis zu 20° von einer perfekten Ebene umfasst sind (Stichwort: facial wrap und pantoscopic tilt der Brillengläser 70a, 72a).

[0043] Das in der **Fig. 2** beispielhaft dargestellte optische System 68a ist dazu eingerichtet, eine räumliche Bild-Segmentierung der Sub-Bilddaten 14a zu erzeugen. Bei der räumlichen Bild-Segmentierung werden die Sub-Bilddaten 14a in jeweils räumlich voneinander getrennte (ggf. modifizierte) Abbildungen des Bildinhalts/ der Bilddaten 12a aufgetrennt. Jedes Segment umfasst dabei dann genau eine (vollständige aber ggf. modifizierte) Abbildung des Bildinhalts / der Bilddaten 12a. Das optische System 68a umfasst zu der Erzeugung der räumlichen Segmentierung der Sub-Bilddaten 14a zumindest ein optisches Segmentierungselement 32a. Das optische Segmentierungselement 32a ist zwischen der Projektoreinheit 16a, insbesondere der Ablenkeinrichtung 92a der Projektoreinheit 16a, und der Umlenkeinheit 20a angeordnet. Mit Hilfe des optischen Segmentierungselements 32a ist der Bildinhalt über unterschiedliche Abbildungswege 28a, 30a auf den mindestens einen Projektionsbereich 34a der Umlenkeinheit 20a projizierbar. Das optische

Segmentierungselement 32a ist in dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 2** als eine segmentierte Linse, insbesondere als eine segmentierende Linse, ausgebildet. Alternativ kann das optische Segmentierungselement 32a auch als ein segmentierender Spiegel (nicht dargestellt), als ein segmentierendes optisches Gitter (nicht dargestellt), als ein Volumen hologramm (nicht dargestellt) oder als ein Beam-Splitter (nicht dargestellt) ausgebildet sein. Das optische Segmentierungselement 32a umfasst mehrere Einzelsegmente 36a, 38a, insbesondere Einzellinsen. Durch jedes der Einzelsegmente 36a, 38a wird jeweils eines der (jeweils identische Kopien oder abgeänderte / verzerrte Versionen des Bildinhalts / der Bilddaten 12a darstellenden) Sub-Bilder 98a, 100a projiziert. Dadurch entsteht für jedes Sub-Bild 98a, 100a eine eigene, von weiteren virtuellen Ablenkeinrichtungen (virtuellen MEMS-Spiegeln) 102a, 104a und von der realen Ablenkeinrichtung 92a getrennt angeordnete virtuelle Ablenkeinrichtung (virtueller MEMS-Spiegel) 102a, 104a. Insbesondere können die virtuellen Ablenkeinrichtungen (virtuelle MEMS-Spiegel) 102a, 104a (theoretisch) als Punktquellen ausgebildet ein. Generell bilden die virtuellen Ablenkeinrichtungen (virtuelle MEMS-Spiegel) 102a, 104a jedoch keine Punktquellen, sondern astigmatische Quellen aus. Jedes Sub-Bild 98a, 100a wird dadurch über einen unterschiedlichen Abbildungsweg 28a 30a, insbesondere aus einem unterschiedlichen Winkel und aus einer unterschiedlichen Entfernung auf den Projektionsbereich 34a der Umlenkeinheit 20a eingestrahlt.

[0044] Das in der **Fig. 2** beispielhaft dargestellte optische System 68a ist dazu eingerichtet, Bild-Replikation rein durch optische Elemente des optischen Systems 68a zu erzeugen. Das optische System 68a weist eine optische Replikationskomponente 150a auf. Die optische Replikationskomponente 150a ist in dem Projektionsbereich 34a der Umlenkeinheit 20a angeordnet. Die optische Replikationskomponente 150a ist dazu eingerichtet, den projizierten Bildinhalt repliziert und räumlich versetzt auf das Nutzer-Auge 24a zu lenken, so dass eine Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen A, A', B, B' mit dem Bildinhalt erzeugt wird. Die optische Replikationskomponente 150a ist zu der Erzeugung der Bild-Replikation zumindest teilreflektierend und zumindest teiltransparent. Die optische Replikationskomponente 150a umfasst teilreflektierende und teiltransparente Schichten 106a, 108a auf. Die Schichten 106a, 108a der optischen Replikationskomponente 150a weisen unterschiedliche optische Funktionen, insbesondere unterschiedliche Ablenkwinkel auf. Die Schichten 106a, 108a der optischen Replikationskomponente 150a sind als ablenkende und/oder fokussierende holographische optische Elemente (HOEs) ausgebildet. Eine Gesamtheit der Austrittspupillen A, A', B, B' ist durch Kombinationen der Bild-Segmentierung durch

das optische Segmentierungselement 32a und der Bild Replikation der optische Replikationskomponente 150a erzeugt. Die optische Replikationskomponente 150a ist in eines der Brillengläser 72a der Datenbrille 66a integriert. Die optische Replikationskomponente 150a ist in einem Sichtfeld der Datenbrille 66a angeordnet.

[0045] In dem in der **Fig. 2** dargestellten Ausführungsbeispiel ist die optische Replikationskomponente 150a in einem Schichtaufbau mit zwei holographisch funktionalisierten Schichten 106a, 108a realisiert. Die optische Replikationskomponente 150a umfasst zwei lateral vollständig überlappende holographisch funktionalisierte Schichten 106a, 108a, die schichtweise hintereinander angeordnet sind. Die Schichten 106a, 108a sind dabei flächig und ununterbrochen ausgebildet (vgl. auch **Fig. 3**). Die optische Replikationskomponente 150a ist in einem Schichtaufbau mit den mindestens zwei übereinander angeordneten Schichten 106a, 108a mit unterschiedlichen holographischen Funktionen realisiert, wodurch die Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen A, A', B, B' erzeugt wird. Ein Teil jedes Lichtstrahls 18a wird dabei an der ersten Schicht 106a abgelenkt, während der Rest des Lichtstrahls 18a die erste Schicht 106a passiert. Ein weiterer Teil des das die erste Schicht 106a passierenden Anteils des Lichtstrahls 18a wird an der zweiten Schicht 108a abgelenkt, während der Rest des Lichtstrahls 18a die zweite Schicht 108a und das Brillenglas 72a, in das die optische Replikationskomponente 150a integriert ist, durchtritt.

[0046] Die einzelnen Abbildungswege 28a, 30a sind individuell ansteuerbar. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, aus den Bilddaten 12a der Bildquelle Sub-Bilddaten 14a zum Ansteuern der Projektoreinheit 16a zu erzeugen. Die Sub-Bilddaten 14a ermöglichen eine Projektion des Bildinhalts über die mindestens zwei unterschiedlichen Abbildungswege 28a, 30a der individuell ansteuerbaren Abbildungswege 28a, 30a auf den Projektionsbereich 34a der Umlenkeinheit 20a. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, für die mindestens zwei unterschiedlichen Abbildungswege 28a, 30a unterschiedliche Sub-Bilddaten 14a, vorzugsweise unterschiedliche Sub-Bilder 98a, 100a, zu erzeugen, so dass eine (durch optische Elemente des optischen Systems 68a erzeugte) Verzerrung des Bildinhalts über den jeweiligen Abbildungsweg 28a, 30a zumindest teilweise kompensiert wird. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, Sub-Bilddaten 14a zu erzeugen, die relativ zu den Bilddaten 12a modifizierte, insbesondere verzerrte, versetzt angeordnete, rotierte oder anderweitig skalierte, Sub-Bilder 98a, 100a umfassen. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, aus den Bilddaten 12a der Bildquelle Sub-Bildda-

ten 14a zu erzeugen, die eine zeitgleiche Projektion von $N \times M$ Sub-Bildern 98a, 100a mit im Wesentlichen gleichem Bildinhalt ermöglicht. Das optische Segmentierungselement 32a ist dazu vorgesehen, eine räumliche Segmentierung der Sub-Bilddaten 14a vorzunehmen, so dass der im Wesentlichen gleiche Bildinhalt der $N \times M$ Sub-Bilder 98a, 100a über mindestens zwei unterschiedliche Abbildungswege 28a, 30a der individuell ansteuerbaren Abbildungswege 28a, 30a auf den Projektionsbereich 34a der Umlenkeinheit 20a projiziert wird. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, einzelne der Abbildungswege 28a, 30a aktiv zu schalten, indem die Sub-Bilddaten 14a für das entsprechende Sub-Bild 98a, 100a zur Ansteuerung der Projektorleinheit 16a zur Verfügung gestellt werden. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, einzelne Abbildungswege 28a, 30a abzuschalten, indem für die entsprechenden Sub-Bilder 98a, 100a die Sub-Bilddaten 14a dunkelgetastet werden.

[0047] Das optische System 68a weist eine Eyetracker-Einrichtung 62a auf. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist in einen der Brillenbügel 74a, 76a integriert (vgl. **Fig. 1**). Alternative Anordnungen der Eyetracker-Einrichtung 62a sind denkbar. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist zu einem Erfassen und/oder Bestimmen eines Augenzustands des Nutzers eingerichtet. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist zu einem Erfassen und/oder Bestimmen einer Augenbewegung des Nutzers eingerichtet. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist zu einem Erfassen und/oder Bestimmen einer Augenbewegungsgeschwindigkeit des Nutzers eingerichtet. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist zu einem Erfassen und/oder Bestimmen einer Pupillenposition des Nutzers eingerichtet. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist zu einem Erfassen und/oder Bestimmen einer Pupillengröße des Nutzers eingerichtet. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist zu einem Erfassen und/oder Bestimmen einer Blickrichtung des Nutzers eingerichtet. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist zu einem Erfassen und/oder Bestimmen eines Akkomodationszustands des Nutzers eingerichtet. Die Eyetracker-Einrichtung 62a ist zu einem Erfassen und/oder Bestimmen einer Fixationsdistanz des Nutzers eingerichtet. Dabei ist selbstverständlich denkbar, dass die Eyetracker-Einrichtung 62a nur einen Teil der vorgenannten Parameter verfolgt und/oder überwacht und/oder dass die Eyetracker-Einrichtung noch weitere Parameter des Nutzers oder der Umgebung des Nutzers verfolgt und/oder aufzeichnet. Zur Erfassung des Akkomodationszustands der Nutzer-Augen 24a kann insbesondere eine dezidierte Sensorhardware der Eyetracker-Einrichtung 62a vorgesehen sein oder eine kontextabhängige Schätzung unter Einbeziehung augenferner Sensordaten wie z.B. Kopfhaltung, Drehrate, Beschleunigung, GPS-Daten oder auch des aktuell angezeigten Bildinhalts vorgenommen werden.

[0048] Der Aktivitätszustand einzelner Abbildungswege 28a, 30a ist in Abhängigkeit von dem durch die Eyetracker-Einrichtung 62a erfassten Augenzustand des Nutzers ansteuerbar. Die einzelnen Abbildungswege 28a, 30a sind auf Basis des aktuell ermittelten Augenzustands des Nutzer-Auges 24a aktivschaltbar und abschaltbar.

[0049] Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, beim Erzeugen der Sub-Bilddaten 14b den durch die Eyetracker-Einrichtung 62a erfassten Augenzustand des Nutzers zu berücksichtigen, um dadurch bedingte Helligkeitsschwankungen im Bildeindruck zu kompensieren. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dafür dazu eingerichtet, beim Erzeugen der Sub-Bilddaten 14a zu berücksichtigen, welche Abbildungswege 28a, 30a aktivgeschaltet und welche Abbildungswege 28a, 30a abgeschaltet sind, um dadurch bedingte Helligkeitsschwankungen im Bildeindruck zu kompensieren. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, eine globale Helligkeit aller zu einem Zeitpunkt in das Nutzer-Auge 24a eintretenden Sub-Bilder 98a, 100a derart dynamisch zu modifizieren, so dass keine Helligkeitsschwankungen von dem Nutzer wahrgenommen werden, wenn der Nutzer z.B. seine Pupillenposition und/oder seine Blickrichtung ändert.

[0050] Das optische System 68a weist die elektronische Steuer- oder Regeleinheit 26a auf. Die Steuer- oder Regeleinheit 26a kann teilweise einstückig mit der Recheneinheit 78a ausgebildet sein. Die in der **Fig. 2** beispielhaft dargestellte Steuer- oder Regeleinheit 26a ist zu einer Ansteuerung der Bildverarbeitungseinrichtung 10a vorgesehen. Die Steuer- oder Regeleinheit 26a ist dazu eingerichtet, basierend auf Messdaten der Eyetracker-Einrichtung 62a die Bildverarbeitungseinrichtung 10a zu steuern. Die Steuer- oder Regeleinheit 26a empfängt Messdaten zu einer Pupillenposition von der Eyetracker-Einrichtung 62a (siehe Pfeil 110a). Die Steuer- oder Regeleinheit 26a empfängt Messdaten zu einer Pupillengröße von der Eyetracker-Einrichtung 62a (siehe Pfeil 112a). Die Steuer- oder Regeleinheit 26a empfängt Messdaten zu der Blickrichtung des Nutzers von der Eyetracker-Einrichtung 62a (siehe Pfeil 114a). Die Steuer- oder Regeleinheit 26a erzeugt basierend auf den Daten der Eyetracker-Einrichtung 62a Steuer- oder Regelkommandos zur Steuerung der Bildverarbeitungseinrichtung 10a. Beispielsweise können diese Kommandos dazu vorgesehen sein, einzelne Sub-Bilder 98a, 100a der Sub-Bilddaten 14a zu aktivieren, zu deaktivieren oder anzupassen (parametrisieren / verzerren / skalieren). Die Steuer- oder Regeleinheit 26a ist dazu eingerichtet, die von der Bildverarbeitungseinrichtung 10a ausgegebenen Sub-Bilddaten 14a zumindest abhängig von einem Messwert der Eyetracker-Einrichtung 62a derart zu parametrisieren, vorzugsweise zu

modifizieren, dass die in einem Teil der verschiedenen Austrittspupillen A, B enthaltenen unterschiedlichen Abbildungen des Bildinhalts der Bilddaten 12a bei einem gleichzeitigen Eintritt in das Nutzer-Auge 24a möglichst exakt auf der Netzhaut 22a des Nutzer-Auges 24a überlagert werden (vgl. **Fig. 4**).

[0051] Dabei umfasst die Parametrisierung/Modifikation der unterschiedlichen Abbildungen des Bildinhalts der Bilddaten 12a, die in diesen Austrittspupillen A, B enthalten sind, eine virtuelle Sehstärkenkorrektur. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, beim Erzeugen der Sub-Bilddaten 14a eine Fehlsichtigkeit des Nutzers, insbesondere durch die Parametrisierung / Modifikation der ursprünglichen Bilddaten 12a, zu kompensieren. Dadurch, dass die in der Replikation vervielfältigten Austrittspupillen A', B' Kopien von Austrittspupillen A, B sind, die auch ohne Replikation erzeugt worden wären, umfassen diese Kopien ebenfalls die virtuelle Sehstärkenkorrektur. Außerdem umfasst die Parametrisierung/Modifikation der unterschiedlichen Abbildungen des Bildinhalts der Bilddaten 12a, die in diesen Austrittspupillen A, B enthalten sind, eine virtuelle Nutzeraugen-Akkommodationsanpassung. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10a ist dazu eingerichtet, beim Erzeugen der Sub-Bilddaten 14a eine Fehlakkommodation des Nutzers, insbesondere durch die Parametrisierung / Modifikation der ursprünglichen Bilddaten 12a, zu kompensieren. Dadurch, dass die in der Replikation vervielfältigten Austrittspupillen A', B' Kopien von Austrittspupillen A, B sind, die auch ohne Replikation erzeugt worden wären, umfassen diese Kopien ebenfalls die virtuelle Nutzeraugen-Akkommodationsanpassung.

[0052] Während in der Darstellung der **Fig. 1** beispielhaft die Projektoreinheit 16a und das optische Segmentierungselement 32a am Brillengestell 144a angeordnet sind und die Umlenkeinheit 20a mit der Replikationskomponente 150a im Bereich eines Brillenglases 72a angeordnet ist, insbesondere in mindestens das Brillenglas 72a integriert ist, ist alternativ auch vorstellbar, dass zumindest die Bildquelle zusammen mit der Bildverarbeitungseinrichtung 10a in dem externen Gerät 146a angeordnet ist und dass die Sub-Bilddaten 14a von dem externen Gerät 146a zur Projektoreinheit 16a der Datenbrille 66a übertragen werden.

[0053] Die **Fig. 4** zeigt eine schematische Veranschaulichung des Zusammenhangs von Bilddaten 12a (linke Spalte), (parametrisierten/modifizierten) Sub-Bilddaten 14a (mittlere Spalte) und auf der Netzhaut 22a abgebildetem Bild (rechte Spalte). Die linke Spalte zeigt die durch die Bildverarbeitungseinrichtung 10a erzeugten /die von der Bildverarbeitungseinrichtung 10a empfangenen Bilddaten 12a. Die mittlere Spalte zeigt die von der Bildverarbeitungs-

einrichtung 10a parametrisierten/ modifizierten und matrixförmig aufgespaltenen Sub-Bilddaten 14a. Die mittlere Spalte zeigt die von der Projektoreinheit 16a ausgegebenen Sub-Bilddaten 14a. Die Sub-Bilddaten 14a umfassen die (z.T. parametrisierten/modifizierten/skalierten) Sub-Bilder 98a, 100a. Die rechte Spalte zeigt mögliche Abbildungen auf der Netzhaut 22a des Nutzer-Auges 24a. Bei identischen (unparametrisierten/unmodifizierten/unverzerrten) Sub-Bildern 98a, 100a (erste Zeile) kann es zu einer unzureichenden Überlagerung der Bildinhalte, die von in das Nutzer-Auge 24a eintretenden Austrittspupillen A, A', B, B' stammen, kommen. Durch ein Verschieben, Verdrehen, Umskalieren und/oder Verzerren der Sub-Bilder 98a, 100a, insbesondere im Projektorbild, wird erreicht, dass auf der Netzhaut 22a immer derselbe Seheindruck erzeugt wird, auch wenn sich mehrere einzelne Austrittspupillen A, A', B, B' gerade im Bereich der Pupille des Nutzer-Auges 24a befinden. Befinden sich mehrere Austrittspupillen A, A', B, B' gleichzeitig im Bereich der Pupille des Nutzer-Auges 24a, überlagern sich bei passender Parametrisierung die Sub-Bilder 98a, 100a der Sub-Bilddaten 14a so gut, dass kein Doppelbild entsteht (zweite Zeile). Bei einer Fehlakkommodation der Nutzer-Augen 24a, insbesondere bei einer zu der aktuellen Einstellung des optischen Systems 68a unpassenden Akkommodation der Nutzer-Augen 24a, würde durch die veränderte Brechkraft des Nutzer-Auges 24a jedes der Sub-Bilder 98a, 100a mit leichter Verschiebung auf der Netzhaut 22a abgebildet werden, was wieder zu einem Doppelbild führt (dritte Zeile). Derselbe Effekt kann bei einer Fehlsichtigkeit des Nutzer-Auges 24a auftreten. Dies kann, ausgehend von dem in der dritten Zeile dargestellten Fall, durch eine Modifikation der Sub-Bilder 98a, 100a ausgeglichen werden (wie zweite Zeile mit unterschiedlicher Parametrisierung). Alternativ kann auch durch eine Aktivierung von lediglich einer in das Nutzer-Auge 24a eintretenden Austrittspupille A, A', B, B', d.h. von lediglich einem Sub-Bild 98a (vierte Zeile) die Doppelbildbildung bei einer Fehlakkommodation oder einer Fehlsichtigkeit vermieden werden.

[0054] Die **Fig. 5a** zeigt schematisch eine erste beispielhafte Anordnung der einzelnen Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D' in der Augenpupillenfläche 54a in einer Parallelogramm-Anordnung mit einer einfachen Replikation. Das optische Segmentierungselement 32a und die optische Replikationskomponente 150a sind so ausgelegt, dass die damit erzeugten Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D' im Wesentlichen in einem Raster angeordnet sind. In dem in der **Fig. 5a** beispielhaft dargestellten Fall entsteht durch die Segmentierung mittels einer Segmentlinse mit 2x2 Segmenten und durch eine Ablenkung an einer ersten HOE-Funktion (der ersten Schicht 106a der optischen Replikationskomponente 150a) ein erster Austrittspupillensatz mit vier einzel-

nen Austrittspupillen A, B, C, D. Diese vier Austrittspupillen A, B, C, D sind jeweils getrennt voneinander schaltbar. Diese vier Austrittspupillen A, B, C, D sind jeweils über voneinander verschiedene Abbildungswege erzeugt. Durch die Replikation mittels der zweiten HOE-Funktion (der zweiten Schicht 108a der optischen Replikationskomponente 150a) entsteht ein weiterer Austrittspupillensatz mit ebenfalls vier einzelnen Austrittspupillen A', B', C', D'. Diese vier Austrittspupillen A', B', C', D' sind Kopien der unabhängig voneinander schaltbaren Austrittspupillen A, B, C, D und somit nur abhängig von den Austrittspupillen A, B, C, D schaltbar, d.h. die Austrittspupillen A', B', C', D' weisen immer denselben Aktivitätszustand auf wie die Austrittspupillen A, B, C, D und enthalten dieselben (parametrisierten/modifizierten) Sub-Bilder 98a, 100a. Ein größtmöglicher minimaler Abstand 52a zwischen zwei benachbarten Austrittspupillen A, B, C, D in der Augenpupillenfläche 54a ist kleiner als ein kleinster anzunehmender Nutzer-Pupillendurchmesser 56a. Eine Anordnung der Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D' in der Augenpupillenfläche 54a und/oder eine Schaltbarkeit der Austrittspupillen A, B, C, D ist derart gewählt, dass sichergestellt ist, dass zu keinem Zeitpunkt zwei Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D', die auf einem gemeinsamen Abbildungsweg 28a, 30a erzeugt sind, gleichzeitig die Netzhaut 22a des Nutzer-Auges 24 erreichen. Im dargestellten Beispiel der **Fig. 5a** umfassen jeweils die Paare mit gleichen Buchstaben identische Abbildungen des Bildinhalts. Identische Buchstaben kennzeichnen in den Figuren Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D' mit gemeinsamem Abbildungsweg 28a, 30a. Ein durch einen Kreis gekennzeichnetener größtmöglicher Pupillendurchmesser 116a beinhaltet im dargestellten Beispiel der **Fig. 5a** zwei oder mehr Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D', die identische Abbildungen des Bildinhalts umfassen. Daher müssen bei der gezeigten Austrittspupillenanzahl alle bis auf eine der Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D' deaktiviert werden, um Doppelbilder zu vermeiden. Beispielsweise kann im dargestellten Fall der **Fig. 5a** nur die Austrittspupille A oder nur die Austrittspupille D aktiviert sein. In diesem Fall ist das Aktivschalten und Abschalten der einzelnen Abbildungswege 28a, 30a und die Auslegung des optischen Segmentierungselements 32a und der optischen Replikationskomponente 150a so aufeinander abgestimmt, dass pro aktivgeschaltetem Abbildungsweg 28a, 30a immer nur eine einzelne Austrittspupille der Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D' im Bereich der Pupille des Nutzers erzeugt wird. Mit einem weiteren Kreis ist ein größtmöglicher Pupillendurchmesser 118a dargestellt, bei welchem noch alle Austrittspupillen aktiviert sein können, ohne dass Doppelbilder entstehen. Das optische Segmentierungselement 32a und die optische Replikationskomponente 150a sind so ausgelegt, dass jeder Abstand 48a zwischen zwei auf einem gemeinsamen Abbildungsweg 28a, 30a

erzeugten Austrittspupillen A und A' bzw. B und B', etc. größer ist, als der größte anzunehmende Pupillendurchmesser 116a, 118a des Nutzers.

[0055] Die **Fig. 5b** zeigt schematisch eine zweite beispielhafte Anordnung der einzelnen Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D' in der Augenpupillenfläche 54a in einer Quadrat-Anordnung mit einer einfachen Replikation. Die zuvor beschriebenen Pupillendurchmesser 56a, 116a, 118a sind auch in der **Fig. 5b** dargestellt.

[0056] Die **Fig. 5c** zeigt schematisch eine dritte beispielhafte Anordnung der einzelnen Austrittspupillen A, A', A'', B, B', B'', C, C', C'', D, D', D'' in der Augenpupillenfläche 54a in einer Quincunx-Anordnung mit einer zweifachen Replikation. Die zuvor beschriebenen Pupillendurchmesser 56a, 116a, 118a sind auch in der **Fig. 5c** dargestellt.

[0057] Die **Fig. 6** zeigt schematisch eine effektive Gesamteyebbox 58a des optischen Systems. Die effektive Gesamteyebbox 58a entsteht durch eine Abdeckung einer Fläche aus einem Raster von einzelnen Austrittspupillen A, A', B, B', C, C', D, D' in hinreichend kleinem Abstand zueinander, sodass selbst bei minimalem Pupillendurchmesser 56a sichergestellt ist, dass aus mindestens einer Austrittspupille A, A', B, B', C, C', D, D' Licht durch die Pupille des Nutzer-Auges 24a transmittiert werden kann.

[0058] Die **Fig. 7** zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm eines Verfahrens zu einem Projizieren von Bildinhalten auf die Netzhaut 22a eines Nutzers, vorzugsweise zu einer Anzeige eines Rasterbilds direkt auf der Netzhaut 22a des Nutzer-Auges 24a, mittels des optischen Systems 68a. In zumindest einem Verfahrensschritt 126a liefert eine Bildquelle einen Bildinhalt in Form von Bilddaten 12a. In dem Verfahrensschritt 126a werden die den Bildinhalt umfassende Bilddaten 12a erzeugt und (ggf. modifiziert) in Form von gescannten Lichtstrahlen 18a ausgesandt, um auf der Netzhaut 22a des Nutzer-Auges 24a eine scannende Projektion des Bildinhalts abzubilden. In zumindest einem weiteren Verfahrensschritt 128a werden die Lichtstrahlen 18a mit Hilfe des optischen Segmentierungselements 32a derart beeinflusst, dass der Bildinhalt über unterschiedliche Abbildungswege 28a, 30a auf den Projektionsbereich 34a der Umlenkeinheit 20a projiziert wird, wobei die unterschiedlichen Abbildungswege 28a, 30a individuell angesteuert werden. In dem Verfahrensschritt 128a werden zudem die Lichtstrahlen 18a mit Hilfe der optischen Replikationskomponente 150a derart beeinflusst, dass der projizierte Bildinhalt repliziert und räumlich versetzt auf das Nutzer-Auge 24a gelenkt wird. Dadurch wird in dem Verfahrensschritt 128a eine Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen A, A', B, B' mit

dem Bildinhalt erzeugt. In zumindest einem, einen Teilschritt des Bilddatenerzeugungs-Verfahrensschritts 126a ausbildenden, weiteren Verfahrensschritt 130a werden zu einer Vermeidung von Doppelbildern die in den Austrittspupillen A, A', B, B' enthaltenen Sub-Bilder 98a, 100a derart angepasst, insbesondere aktiviert, deaktiviert und/oder verzerrt-/verschoben/skaliert, dass entweder ein gleichzeitiger Eintritt mehrerer Austrittspupillen A, A', B, B' in das Nutzer-Auge 24a verhindert wird oder dass sich die Abbildungen mehrerer in das Nutzer-Auge 24a eingetretener Austrittspupillen A, A', B, B' nahezu exakt überlagern. In dem Verfahrensschritt 130a wird die Anpassung der Sub-Bilder 98a, 100a in Abhängigkeit von Messdaten der Eyetracker-Einrichtung 62a durchgeführt. In dem Verfahrensschritt 130a werden aus den Bilddaten 12a der Bildquelle Sub-Bilddaten 14a zum Ansteuern der Projektoreinheit 16a erzeugt, wobei die Sub-Bilddaten 14a eine Projektion des Bildinhalts über die unterschiedlichen Abbildungswege 28a, 30a auf den Projektionsbereich 34a der Umlenkeinheit 20a ermöglichen, und wobei für mindestens zwei unterschiedliche Abbildungswege 28a, 30a unterschiedliche Sub-Bilddaten 14a, insbesondere unterschiedliche Sub-Bilder 98a, 100a, erzeugt werden, so dass eine, beispielsweise durch optische Elemente des optischen Systems 68a erzeugte, Verzerrung des Bildinhalts über den jeweiligen Abbildungsweg 28a, 30a zumindest teilweise kompensiert wird. Verschiedene Methoden für entsprechende Steuerungen von Komponenten des optischen Systems 68a sind hierin beispielhaft beschrieben.

[0059] In den **Fig. 8** bis **Fig. 10** sind drei weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung gezeigt. Die nachfolgenden Beschreibungen und die Zeichnungen beschränken sich im Wesentlichen auf die Unterschiede zwischen den Ausführungsbeispielen, wobei bezüglich gleich bezeichneter Bauteile, insbesondere in Bezug auf Bauteile mit gleichen Bezugszeichen, grundsätzlich auch auf die Zeichnungen und/oder die Beschreibung der anderen Ausführungsbeispiele, insbesondere der **Fig. 1** bis **Fig. 7**, verwiesen werden kann. Zur Unterscheidung der Ausführungsbeispiele ist der Buchstabe a den Bezugszeichen des Ausführungsbeispiels in den **Fig. 1** bis **Fig. 7** nachgestellt. In den Ausführungsbeispielen der **Fig. 8** bis **Fig. 10** ist der Buchstabe a durch die Buchstaben b bis d ersetzt.

[0060] In der **Fig. 8** ist schematisch eine Draufsicht und eine Rückansicht eines Brillenglases 72b einer Datenbrille 66b eines alternativen optischen Systems 68b dargestellt, welches eine alternative Umlenkeinheit 20b mit einer alternativen optischen Replikationskomponente 150b aufweist. Die optische Replikationskomponente 150b umfasst eine Schicht 106b, in der zwei unterschiedliche holographische Funktionen realisiert sind. Die unterschiedlichen holographischen Funktionen sind in einer

gemeinsamen Ebene aber in unterschiedlichen intermittierenden Zonen 50b, 60b der Schicht 106b ausgebildet. Dadurch wird ebenfalls eine Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen A, A', B, B' erzeugt.

[0061] Die intermittierenden Zonen 50b, 60b mit den unterschiedlichen holographischen Funktionen bilden jeweils ein HOE aus. Die Zonen 50b, 60b mit den unterschiedlichen holographischen Funktionen sind in einer gemeinsamen Ebene räumlich verschränkt (spatial interlaced). Die Zonen 50b, 60b mit den unterschiedlichen holographischen Funktionen sind schachbrettmusterartig in der gemeinsamen Ebene angeordnet.

[0062] In der **Fig. 9** ist eine schematische Darstellung eines weiteren alternativen optischen Systems 68c gezeigt. Das optische System 68c weist eine Bildverarbeitungseinrichtung 10c auf. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10c ist zu einem digitalen Empfang von Bilddaten 12c und/oder zu einer direkten Erzeugung der Bilddaten 12c vorgesehen. Das optische System 68c weist eine Projektoreinheit 16c auf. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10c ist zu einer Ausgabe von Bilddaten 12c an die Projektoreinheit 16c vorgesehen. Die Projektoreinheit 16c ist zu einem Erzeugen von Sub-Bilddaten 14c aus den empfangenen Bilddaten 12c vorgesehen. Die Projektoreinheit 16c ist in dem in der **Fig. 9** gezeigten Ausführungsbeispiel dazu eingerichtet, bei dem Erzeugen der Sub-Bilddaten 14c die Bilddaten 12c in mehrere (ggf. modifizierte) Kopien des Bildinhalts umfassende Sub-Bilder 98c, 100c aufzuspalten. Die Projektoreinheit 16c ist zu einem Aussenden der Sub-Bilddaten 14c, insbesondere der Sub-Bilder 98c, 100c in Form von gescannten Laserstrahlen eingerichtet. Das optische System 68c weist eine alternative elektronische Steuer- oder Regeleinheit 26c auf. Die in der **Fig. 9** beispielhaft dargestellte Steuer- oder Regeleinheit 26c ist zumindest zu einer Ansteuerung der Projektoreinheit 16c vorgesehen. Die Steuer- oder Regeleinheit 26c ist dazu eingerichtet, basierend auf Messdaten einer Eyetracker-Einrichtung 62c des optischen Systems 68c die Projektoreinheit 16c zu steuern. Die Steuer- oder Regeleinheit 26c erzeugt basierend auf den Daten der Eyetracker-Einrichtung 62c Steuer- oder Regelkommandos zur Steuerung der Projektoreinheit 16c. Beispielsweise können diese Kommandos dazu vorgesehen sein, die Sub-Bilddaten 14c, insbesondere einzelne Sub-Bilder 98c, 100c in den Sub-Bilddaten 14c zu aktivieren, zu deaktivieren oder anzupassen (parametrisieren / verzerren).

[0063] In der **Fig. 10** ist eine schematische Darstellung eines zweiten weiteren alternativen optischen Systems 68d gezeigt. Das optische System 68d weist eine Bildverarbeitungseinrichtung 10d auf. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10d ist zu einem digita-

len Empfang von Bilddaten 12d und/oder zu einer direkten Erzeugung der Bilddaten 12d vorgesehen. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10d ist zu einer digitalen Bildverarbeitung der Bilddaten 12d vorgesehen. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10d erzeugt dabei Sub-Bilddaten 14d. Das optische System 68d weist eine Projektoreinheit 16d auf. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10d ist zu einer Ausgabe der Sub-Bilddaten 14d an die Projektoreinheit 16d vorgesehen. Die Projektoreinheit 16d ist zu einem Aussenden der Sub-Bilddaten 14d in Form von Lichtstrahlen 18d, insbesondere in Form von gescannten Laserstrahlen, eingerichtet. Das optische System 68d weist ein alternatives optisches Segmentierungselement 32d auf. Das optische Segmentierungselement 32d ist zwischen der Projektoreinheit 16d und einer Umlenkeinheit 20d des optischen Systems 68d angeordnet. Das optische Segmentierungselement 32d ist dazu eingerichtet, eine zeitliche Bild-Segmentierung der Bilddaten 12d zu erzeugen. Das optische Segmentierungselement 32d ist als eine Beam-Splitter-Anordnung 44d ausgebildet. Die Beam-Splitter-Anordnung 44d ist zu einer Aufteilung der Lichtstrahlen 18d, insbesondere der gescannten Laserstrahlen, in Teilstrahlen 40d, 42d vorgesehen. Die Beam-Splitter-Anordnung 44d ist zu einer Erzeugung der zeitlichen Segmentierung vorgesehen. Das optische Segmentierungselement 32d weist zu der Erzeugung der zeitlichen Segmentierung die Beam-Splitter-Anordnung 44d auf. Die Beam-Splitter-Anordnung 44d ist dazu vorgesehen, den projizierten Bildinhalt $N \times M$ -fach zu vervielfältigen, so dass der Bildinhalt auf $N \times M$ unterschiedlichen Abbildungsweegen 28d, 30d auf mindestens einen Projektionsbereich 34d der Umlenkeinheit 20d projizierbar ist.

[0064] Zudem weist die Beam-Splitter-Anordnung 44d optische Schalterelemente 46d, 120d auf. Die optischen Schalterelemente 46d, 120d sind in Kombination mit der Beam-Splitter-Anordnung 44d dazu vorgesehen, die zeitliche Segmentierung vorzunehmen. Über jedes der optischen Schalterelemente 46d, 120d ist zumindest ein Teil der Abbildungswege 28d, 30d entweder aktivschaltbar oder abschaltbar. Jedem Teilstrahl 40d, 42d, der durch die Beam-Splitter-Anordnung 44d erzeugt wurde, ist genau ein optisches Schalterelement 46d, 120d zugeordnet, insbesondere nachgeschaltet. Jeder Teilstrahl 40d, 42d, erzeugt einen unterschiedlichen Abbildungswege 28d, 30d. Das optische System 68d weist eine weitere alternative elektronische Steuer- oder Regeleinheit 26d auf. Die Steuer- oder Regeleinheit 26d ist zu einer Ansteuerung der Bildverarbeitungseinrichtung 10d vorgesehen. Die Steuer- oder Regeleinheit 26d ist dazu eingerichtet, basierend auf Messdaten einer Eyetracker-Einrichtung 62d des optischen Systems 68d die Bildverarbeitungseinrichtung 10d zu steuern. Die Steuer- oder Regeleinheit 26d erzeugt basierend auf den Daten der Eyetracker-Einrichtung 62d Steuer- oder Regelkommandos zur Steuerung der

Bildverarbeitungseinrichtung 10d. Beispielsweise können diese Kommandos dazu vorgesehen sein, die Sub-Bilddaten 14d, insbesondere Sub-Bilder 98d, 100d der Sub-Bilddaten 14d, anzupassen (parametrisieren/verzerrern/skalieren/verschieben), insbesondere in Phase mit Schaltzyklen der optischen Schalterelemente 46d anzupassen. Die Sub-Bilddaten 14d werden von der Bildverarbeitungseinrichtung 10d in Abhängigkeit von dem jeweils aktuell geöffneten Abbildungswege 28d, 30d erzeugt / modifiziert. Die Steuer- oder Regeleinheit 26d ist dazu eingerichtet, die von der Bildverarbeitungseinrichtung 10d ausgegebenen Sub-Bilddaten 14d, insbesondere Sub-Bilder 98d, 100d der Sub-Bilddaten 14d, zumindest abhängig von einem Messwert eines der Eyetracker-Einrichtung 62d derart zu parametrisieren, vorzugsweise zu modifizieren, dass die in verschiedenen, über unterschiedliche Abbildungswege 28d, 30d abgebildeten Abbildungen des Bildinhalts bei einem gleichzeitigen Eintritt in ein Nutzer-Auge 24d möglichst exakt auf einer Netzhaut 22d des Nutzer-Auges 24d überlagert werden. Die Bildverarbeitungseinrichtung 10d ist dazu eingerichtet, aus den Bilddaten 12d der Bildquelle Sub-Bilddaten 14d zum Ansteuern der Projektoreinheit 16d zu erzeugen, so dass eine, beispielsweise durch optische Elemente des optischen Systems 68d erzeugte, Verzerrung des Bildinhalts über den/die jeweils aktiv geschalteten Abbildungswege 28d, 30d kompensiert wird. Insbesondere findet in dem in der **Fig. 10** dargestellten Ausführungsbeispiel keine räumlich aufgeteilte Subbilderzeugung statt, könnte jedoch selbstverständlich mit der zeitlich aufgeteilten Subbilderzeugung kombiniert werden.

[0065] Die in der **Fig. 10** beispielhaft dargestellte Steuer- oder Regeleinheit 26d ist zu einer Ansteuerung der optischen Schalterelemente 46d, 120d eingerichtet. Die Steuer- oder Regeleinheit 26d erzeugt basierend auf den Daten der Eyetracker-Einrichtung 62d Steuer- oder Regelkommandos zur Steuerung der optischen Schalterelemente 46d, 120d. Beispielsweise können diese Kommandos dazu vorgesehen sein, einzelne durch die optischen Schalterelemente 46d, 120d gesteuerte Austrittspupillen A, A', B, B' zu aktivieren oder zu deaktivieren. Die Steuer- oder Regeleinheit 26d ist dazu eingerichtet, die optischen Schalterelemente 46d, 120d zumindest abhängig von einem Messwert der Eyetracker-Einrichtung 62d derart zu steuern, dass einzelne der über unterschiedliche Abbildungswege 28d, 30d erzeugten Abbildungen des Bildinhalts (unterschiedliche Austrittspupillen A, A', B, B') bei einem gleichzeitigen Eintritt in das Nutzer-Auge 24d deaktiviert werden können.

[0066] Das optische Schalterelement 46d, 120d kann als ein Bestandteil der Beam-Splitter-Anordnung 44d oder (wie in der **Fig. 10** angedeutet) als separates Filterelement, das im Ausgangsstrahlen-

gang der Beam-Splitter-Anordnung 44d positionierbar ist, realisiert sein. Das optische Schalterelement 46d, 120d ist im dargestellten Ausführungsbeispiel in Form eines optischen Shutters realisiert. Alternativ ist jedoch auch eine Ausbildung des optischen Schalterelements 46d, 120d als ein elektrooptischer Modulator, als ein akustooptischer Modulator, als ein photoelastischer Modulator, als ein elektrisch ansteuerbarer Polarisationsfilter und/oder als eine elektrisch ansteuerbare Flüssiglinse vorstellbar.

Patentansprüche

1. Optisches System (68) für eine virtuelle Netzhautanzeige (Retinal Scan Display), mindestens umfassend

- eine Bildquelle, die einen Bildinhalt in Form von Bilddaten (12) liefert,
- eine Bildverarbeitungseinrichtung (10) für die Bilddaten (12),
- eine Projektoreinheit (16) mit einer zeitlich modulierbaren Lichtquelle (132) zum Generieren mindestens eines Lichtstrahls (18) und mit einer ansteuerbaren Ablenkeinrichtung (92) für den mindestens einen Lichtstrahl (18) zur scannenden Projektion des Bildinhalts,
- eine Umlenkeinheit (20), auf die der Bildinhalt projizierbar ist und die dazu eingerichtet ist, den projizierten Bildinhalt auf ein Auge (24) eines Nutzers zu lenken,
- ein zwischen Projektoreinheit (16) und Umlenkeinheit (20) angeordnetes optisches Segmentierungselement (32), mit dessen Hilfe der Bildinhalt über unterschiedliche Abbildungswege (28, 30) auf mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) projizierbar ist, wobei zumindest einzelne Abbildungswege (28, 30) individuell ansteuerbar sind, und
- eine optische Replikationskomponente (150), die in dem mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) angeordnet ist und dazu eingerichtet ist, den projizierten Bildinhalt repliziert und räumlich versetzt auf das Auge (24) des Nutzers zu lenken, so dass eine Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen (Eyeboxen A, A', B, B') mit dem Bildinhalt erzeugt wird.

2. Optisches System (68) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildverarbeitungseinrichtung (10) dazu eingerichtet ist, aus den Bilddaten (12) der Bildquelle Sub-Bilddaten (14) zum Ansteuern der Projektoreinheit (16) zu erzeugen, wobei die Sub-Bilddaten (14) eine Projektion des Bildinhalts über mindestens zwei unterschiedliche Abbildungswege (28, 30) der individuell ansteuerbaren Abbildungswege (28, 30) auf mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) ermöglichen, und dass die Bildverarbeitungseinrichtung (10) dazu eingerichtet ist, für die

mindestens zwei unterschiedlichen Abbildungswege (28, 30) unterschiedliche Sub-Bilddaten (14) zu erzeugen, so dass eine Verzerrung des Bildinhalts über den jeweiligen Abbildungsweg (28, 30) zumindest teilweise kompensiert wird.

3. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildverarbeitungseinrichtung (10) dazu eingerichtet ist, aus den Bilddaten (12) der Bildquelle Sub-Bilddaten (14) zu erzeugen, die eine zeitgleiche Projektion von N x M Sub-Bildern (98, 100) mit im Wesentlichen gleichem Bildinhalt ermöglichen, und dass das optische Segmentierungselement (32) eine räumliche Segmentierung vornimmt, so dass der im Wesentlichen gleiche Bildinhalt der N x M Sub-Bilder (98, 100) über mindestens zwei unterschiedliche Abbildungswege (28, 30) der individuell ansteuerbaren Abbildungswege (28, 30) auf den mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) projiziert wird.

4. Optisches System (68) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildverarbeitungseinrichtung (10) dazu eingerichtet ist, einzelne Abbildungswege (28, 30) aktiv zu schalten, indem die Sub-Bilddaten (14) für das entsprechende Sub-Bild (98, 100) zur Ansteuerung der Projektoreinheit (16) zur Verfügung gestellt werden, und einzelne Abbildungswege (28, 30) abzuschalten, indem für die entsprechenden Sub-Bilder (98, 100) die Sub-Bilddaten (14) dunkelgetastet werden.

5. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Segmentierungselement (32) realisiert ist in Form einer segmentierenden Linse, eines segmentierenden Spiegels, eines segmentierenden optischen Gitters oder Volumenhologramms oder eines Beam-Splitters.

6. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Segmentierungselement (32) in Form einer Beam-Splitter-Anordnung (44) realisiert ist, die den projizierten Bildinhalt N x M-fach vervielfältigt, so dass der Bildinhalt auf N x M unterschiedlichen Abbildungswegen (28, 30) auf mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) projizierbar ist, dass der Beam-Splitter-Anordnung (44) mindestens ein optisches Schalterelement (46, 120) zugeordnet ist, mit dem zumindest ein Teil der Abbildungswege (28, 30) entweder aktivschaltbar oder abschaltbar sind (zeitliche Segmentierung), und dass die Bildverarbeitungseinrichtung (10) dazu eingerichtet ist, aus den Bilddaten (12) der Bildquelle Sub-Bilddaten (14) zum Ansteuern der Projektoreinheit (16) zu erzeugen, so dass eine Verzerrung des

Bildinhalts über den mindestens einen aktiv geschalteten Abbildungsweg (28, 30) zumindest teilweise kompensiert wird.

7. Optisches System (68) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Schalterelement (46, 120) realisiert ist als Bestandteil der Beam-Splitter-Anordnung (44) oder als separates Filterelement, das im Ausgangsstrahlengang der Beam-Splitter-Anordnung (44) positionierbar ist.

8. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das optische Schalterelement (46, 120) realisiert ist in Form eines elektrisch ansteuerbaren Polarisationsfilters und/oder eines elektrooptischen Modulators und/oder eines akustooptischen Modulators und/oder eines photoelastischen Modulators und/oder eines optischen Shutters und/oder einer elektrisch ansteuerbaren Flüssiglense.

9. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Replikationskomponente (150) in einem Schichtaufbau mit mindestens einer holographisch funktionalisierten Schicht (106, 108) realisiert ist.

10. Optisches System (68) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Replikationskomponente (150) in einem Schichtaufbau mit mindestens zwei übereinander angeordneten Schichten (106, 108) mit unterschiedlichen holographischen Funktionen realisiert ist, wodurch die Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen (A, A', B, B') erzeugt wird.

11. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Replikationskomponente (150) mindestens eine Schicht (106) umfasst, in der mindestens zwei unterschiedliche holographische Funktionen realisiert sind, und dass die unterschiedlichen holographischen Funktionen in einer gemeinsamen Ebene aber in unterschiedlichen intermittierenden Zonen (50, 60) der Schicht (106) ausgebildet sind, wodurch die Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen (A, A', B, B') erzeugt wird.

12. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine optische Segmentierungselement (32) und die optische Replikationskomponente (150) so ausgelegt sind, dass die damit erzeugten Austrittspupillen (A, A', B, B') im Wesentlichen in einem Raster angeordnet sind, wobei der Abstand (52) zwischen jeweils zwei direkt und/oder diagonal benachbarten Austrittspupillen (A, A', B, B', C, C', D, D') kleiner ist, als der kleinste

anzunehmende Pupillendurchmesser (56) des Nutzers.

13. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine optische Segmentierungselement (32) und die optische Replikationskomponente (150) so ausgelegt sind, dass jeder Abstand (48) zwischen zwei auf einem gemeinsamen Abbildungsweg (28, 30) erzeugten Austrittspupillen (A, A' bzw. B, B') größer ist, als der größte anzunehmende Pupillendurchmesser (116, 118) des Nutzers.

14. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Eyetracker-Einrichtung (62) zum Erfassen und/oder Bestimmen des Augenzustands des Nutzers vorgesehen ist, insbesondere zum Erfassen und/oder Bestimmen der Augenbewegung, der Augenbewegungsgeschwindigkeit, der Pupillenposition, der Pupillengröße, der Blickrichtung, des Akkomodationszustands und/oder der Fixationsdistanz des Auges (24).

15. Optisches System (68) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass einzelne Abbildungswege (28, 30) in Abhängigkeit vom erfassten Augenzustand des Nutzers ansteuerbar sind und insbesondere aktivschaltbar und abschaltbar sind.

16. Optisches System (68) nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aktivschalten und Abschalten der einzelnen Abbildungswege (28, 30) und die Auslegung des mindestens einen optischen Segmentierungselements (32) und der optischen Replikationskomponente (150) so aufeinander abgestimmt sind, dass pro aktivgeschaltetem Abbildungsweg (28, 30) immer nur eine Austrittspupille (A, A', B, B', C, C', D, D') im Bereich der Pupille des Nutzers erzeugt wird, wobei der größte anzunehmende Pupillendurchmesser (116) zugrunde gelegt wird.

17. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildverarbeitungseinrichtung (10) dazu eingerichtet ist, beim Erzeugen der Sub-Bilddaten (14) den erfassten Augenzustand des Nutzers zu berücksichtigen und/oder zu berücksichtigen, welche Abbildungswege (28, 30) aktivgeschaltet und welche Abbildungswege (28, 30) abgeschaltet sind, um dadurch bedingte Helligkeitsschwankungen im Bildeindruck zu kompensieren.

18. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildverarbeitungseinrichtung (10) dazu eingerichtet ist, beim Erzeugen der Sub-Bilddaten (14)

eine Fehlsichtigkeit und/oder Fehlakkommodation des Nutzers zu berücksichtigen und zu kompensieren.

19. Optisches System (68) nach einem der Ansprüche 1 bis 18, umfassend eine Datenbrille (66) mit Brillengestell (144) und Brillengläsern (70, 72), **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Projektoreinheit (16) und das zumindest eine optische Segmentierungselement (32) am Brillengestell (144) angeordnet sind und dass die zumindest eine Umlenkeinheit (20) mit der zumindest einen optischen Replikationskomponente (150) im Bereich mindestens eines Brillenglases (70, 72) angeordnet ist, insbesondere in mindestens ein Brillenglas (70, 72) integriert ist.

20. Optisches System (68) nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildquelle zusammen mit der Bildverarbeitungseinrichtung (10) in einem externen Gerät (146) angeordnet ist und dass die Sub-Bilddaten (14) von dem externen Gerät (146) zur Projektoreinheit (16) der Datenbrille (66) übertragen werden.

21. Optisches System (68) nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildquelle in einem externen Gerät (146) angeordnet ist, dass die Bildverarbeitungseinrichtung (10) zusammen mit der Projektoreinheit (16) am Brillengestell (144) angeordnet ist und dass die Bilddaten (12) von dem externen Gerät (146) zur Bildverarbeitungseinrichtung (10) der Datenbrille (66) übertragen werden.

22. Verfahren zum Projizieren von Bildinhalten auf die Netzhaut (22) eines Nutzers mit Hilfe eines optischen Systems (68), insbesondere gemäß einem der Ansprüche 1 bis 21, mindestens umfassend

- a. eine Bildquelle, die einen Bildinhalt in Form von Bilddaten (12) liefert,
- b. eine Bildverarbeitungseinrichtung (10) für die Bilddaten (12),
- c. eine Projektoreinheit (16) mit einer zeitlich modulierbaren Lichtquelle (132) zum Generieren mindestens eines Lichtstrahls (18) und mit einer ansteuerbaren Ablenkeinrichtung (92) für den mindestens einen Lichtstrahl (18) zur scannenden Projektion des Bildinhalts,
- d. eine Umlenkeinheit (20), auf die der Bildinhalt projiziert wird und die den projizierten Bildinhalt auf ein Auge (24) eines Nutzers lenkt,
- e. ein zwischen Projektoreinheit (16) und Umlenkeinheit (20) angeordnetes optisches Segmentierungselement (32) und
- f. eine optische Replikationskomponente (150), die in einem Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) angeordnet ist, wobei der Bildinhalt mit Hilfe des optischen Segmentierungselements (32) über unterschiedliche Abbildungswege (28, 30) auf mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenk-

einheit (20) projiziert wird, wobei zumindest einzelne Abbildungswege (28, 30) individuell angesteuert werden, und wobei der projizierte Bildinhalt mit Hilfe der optischen Replikationskomponente (150) repliziert und räumlich versetzt auf das Auge (24) des Nutzers gelenkt wird, so dass eine Mehrzahl von zueinander räumlich versetzt angeordneten Austrittspupillen (A, A', B, B', C, C', D, D') mit dem Bildinhalt erzeugt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den Bilddaten (12) der Bildquelle Sub-Bilddaten (14) zum Ansteuern der Projektoreinheit (16) erzeugt werden, wobei die Sub-Bilddaten (14) eine Projektion des Bildinhalts über unterschiedliche Abbildungswege (28, 30) auf mindestens einen Projektionsbereich (34) der Umlenkeinheit (20) ermöglichen, und dass für mindestens zwei unterschiedliche Abbildungswege (28, 30) unterschiedliche Sub-Bilddaten (14) erzeugt werden, so dass eine Verzerrung des Bildinhalts über den jeweiligen Abbildungsweg (28, 30) zumindest teilweise kompensiert wird.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

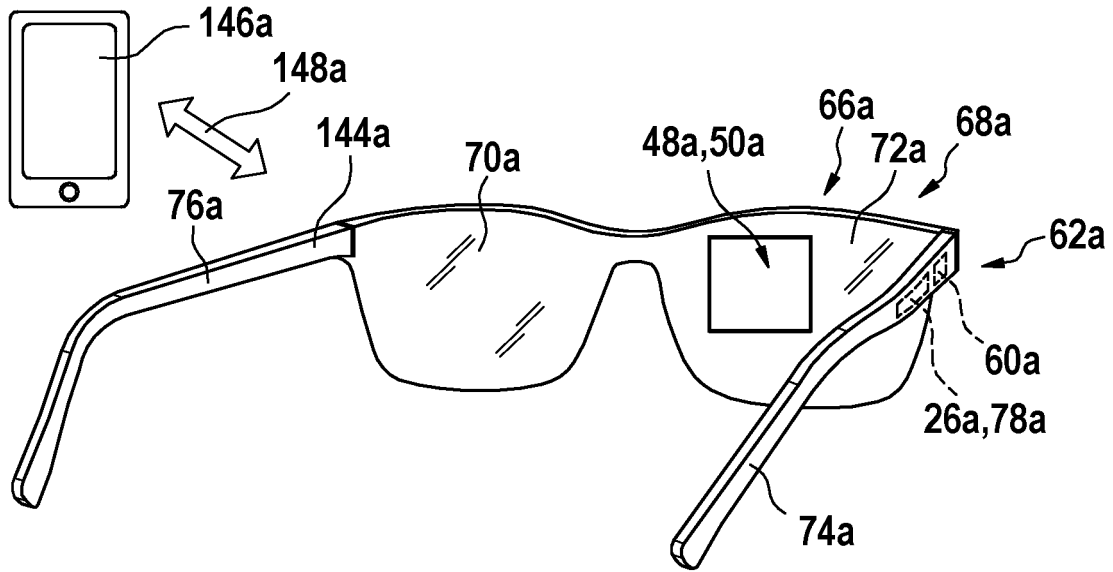


Fig. 1

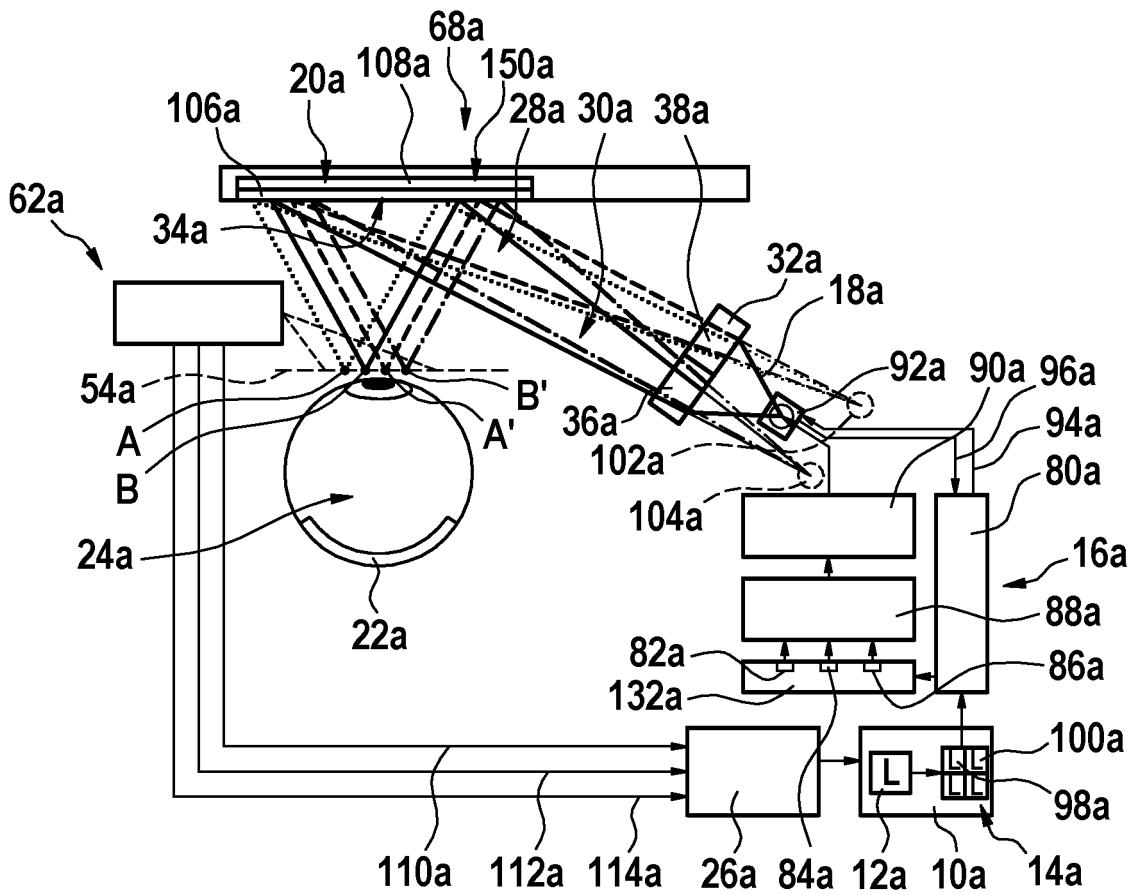


Fig. 2

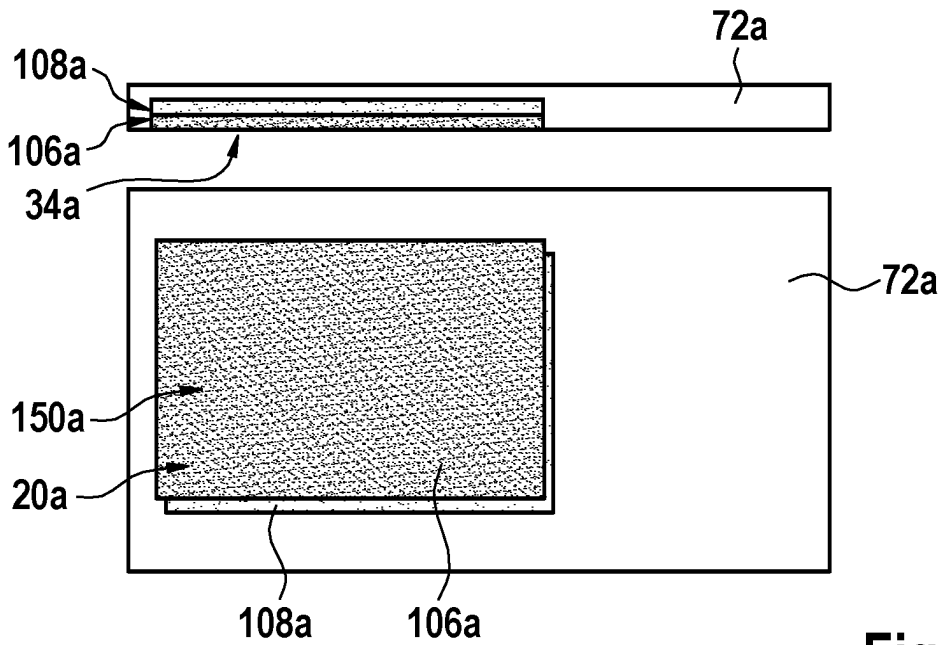


Fig. 3

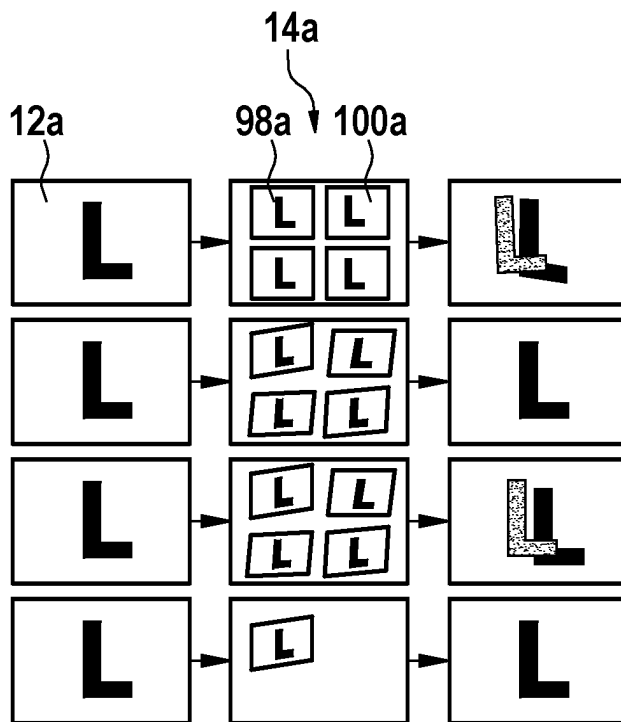


Fig. 4

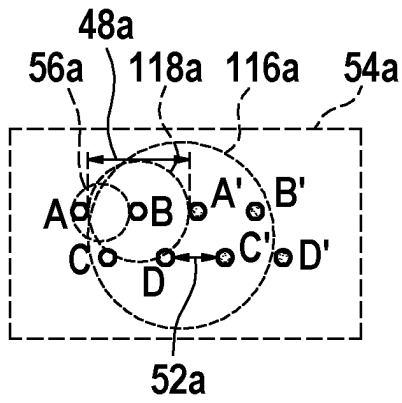


Fig. 5a

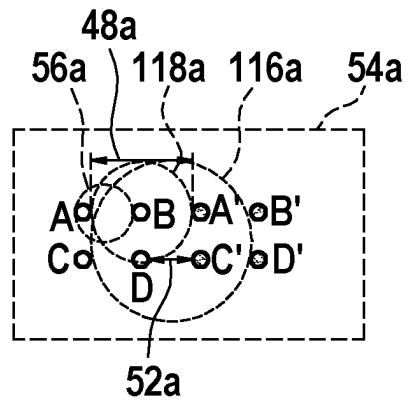


Fig. 5b

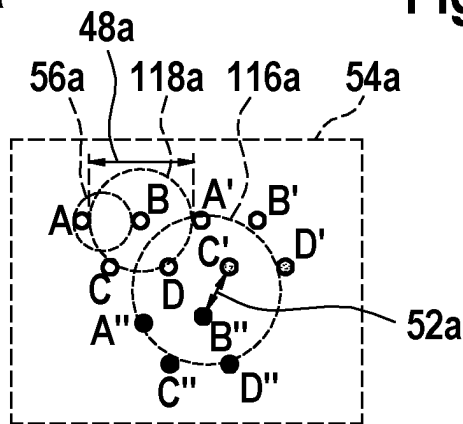


Fig. 5c

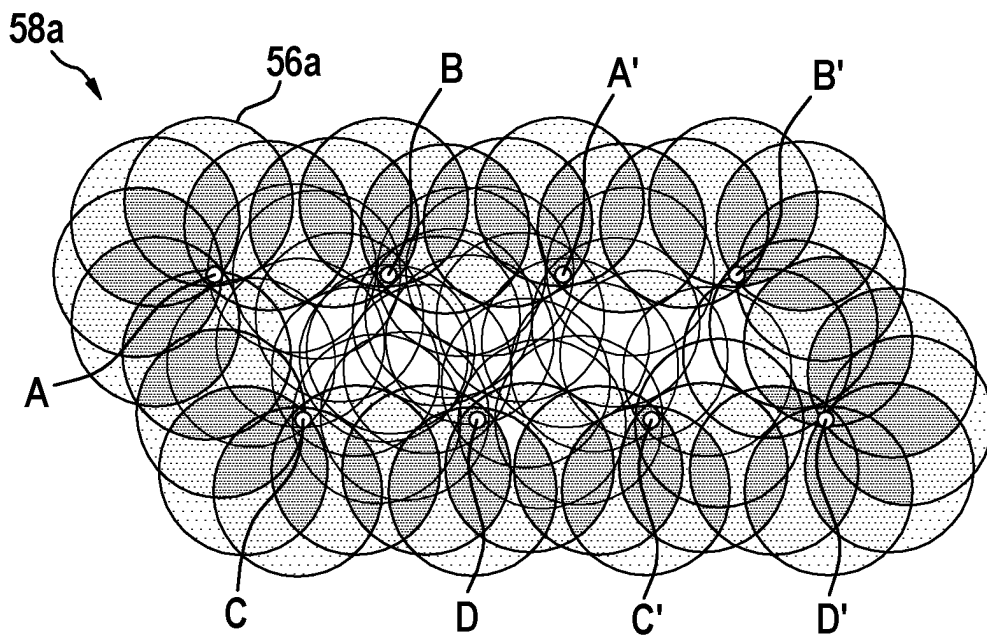


Fig. 6

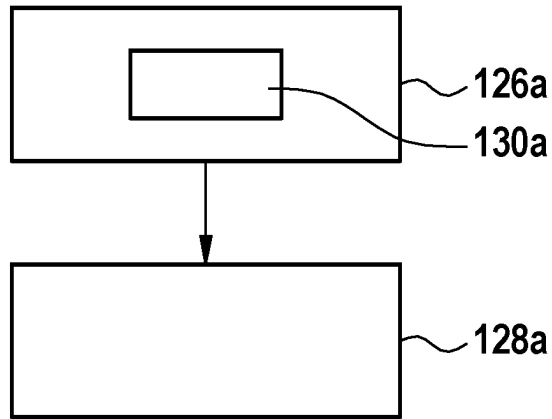


Fig. 7

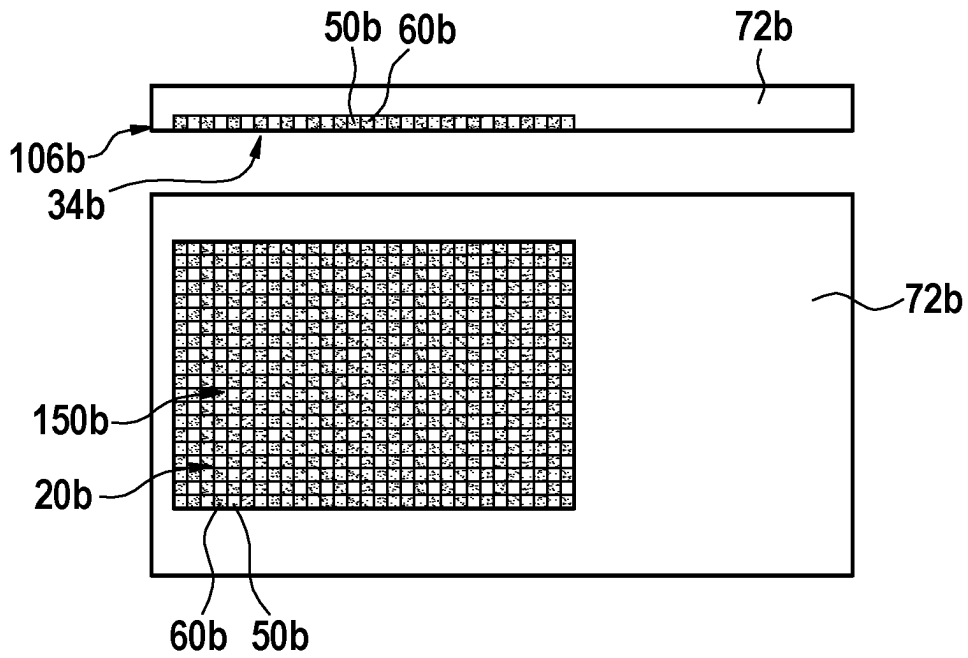


Fig. 8

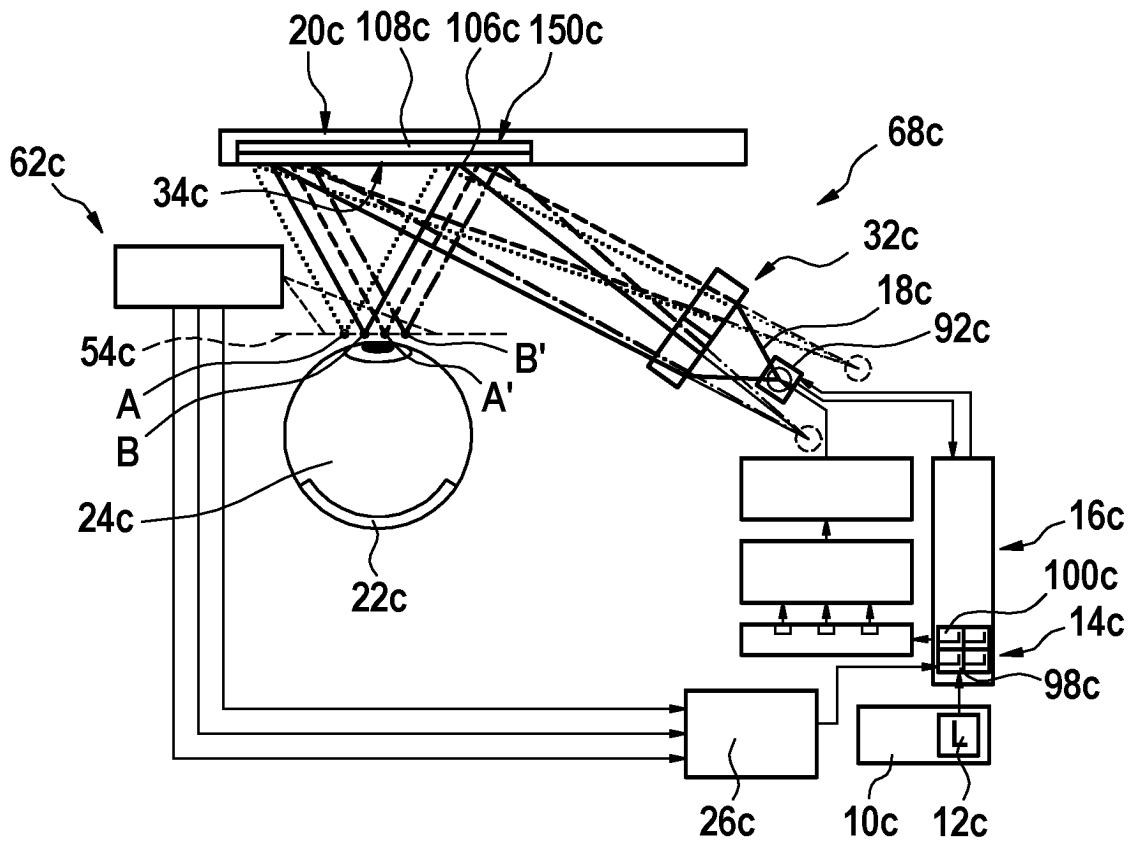


Fig. 9

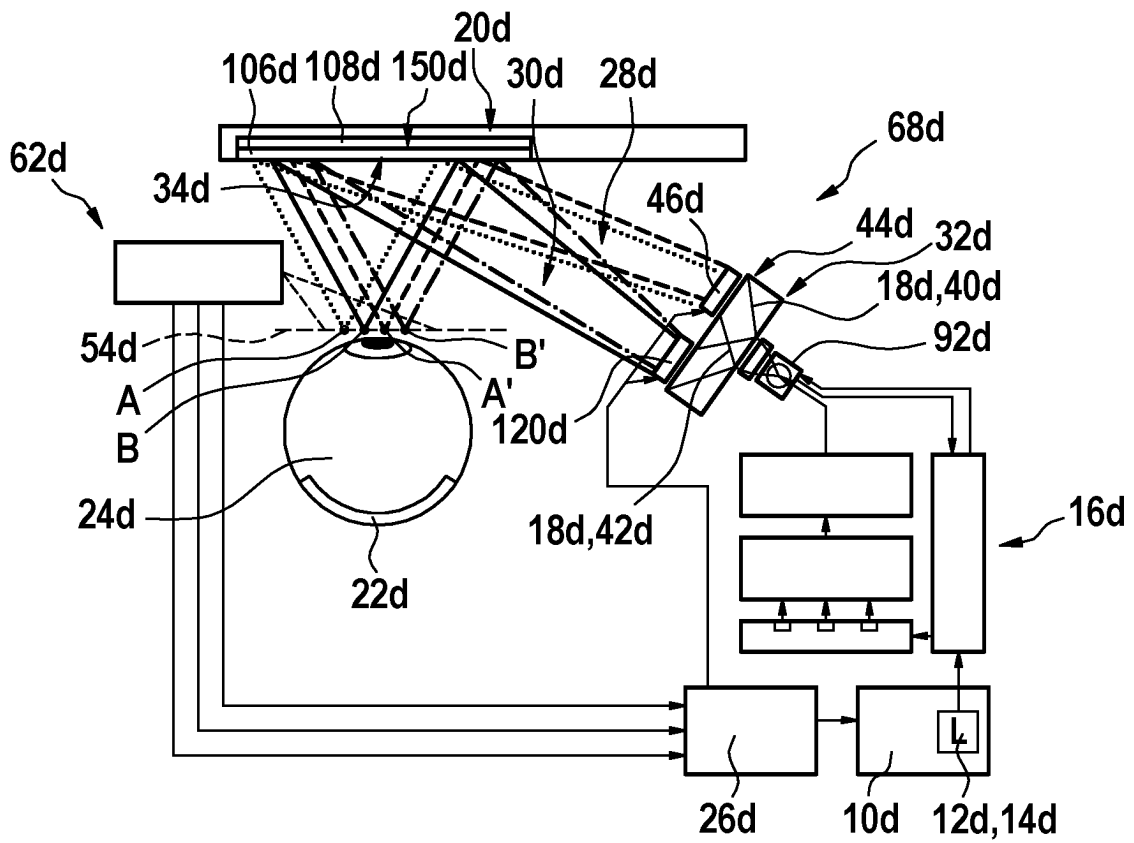


Fig. 10