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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Dezember 2022 (29.12.2022)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/268751 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 5/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2022/066787

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Juni 2022 (21.06.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 116 146.0
22. Juni 2021 (22.06.2021) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS JENA GMBH** [—/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: **ZHONG, Yi**; c/o Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **KÜHL, Siemen**; c/o Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **LU, Xiang**; c/o Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). **JUNGHANS, Marc**; c/o Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

(74) Anwalt: **THEOBALD, Andreas**; Danckelmannstr. 9, 14059 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,

(54) **Title:** OPTICAL ASSEMBLY AND HEAD-UP DISPLAY HAVNG A PLURALITY OF IMAGE PLANES

(54) **Bezeichnung:** OPTISCHE ANORDNUNG UND HEAD-UP-DISPLAY MIT MEHREREN BILDEBENEN

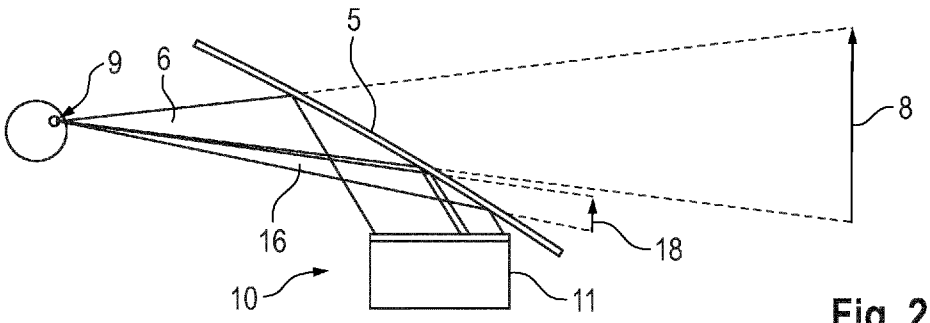

Fig. 2

(57) **Abstract:** Disclosed is an optical assembly (11) for a head-up display (10) on a projection surface (5), comprising an imaging device (22), which comprises at least one imaging unit (26, 27), and at least one wavefront manipulator (23) arranged in the beam path between the imaging device (22) and the projection surface (5). The optical assembly (11) is configured to generate virtual depictions (8, 18) in at least two different image planes, wherein the imaging device (22) has at least a first region (26, 28) and a second region (27, 29), wherein the imaging device (22) and the wavefront manipulator (23) are configured, in combination, to generate virtual depictions (8) in a first image plane out of images generated in the first region (26, 28) of the imaging device (22) and to generate virtual depictions (18) in a second image plane out of images generated in the second region (27, 29) of the imaging device (22).

(57) **Zusammenfassung:** Es wird eine optische Anordnung (11) für ein Head-up-Display (10) an einer Projektionsoberfläche (5) offenbart, welche eine bildgebende Vorrichtung (22), welche mindestens eine bildgebende Einheit (26, 27) umfasst, und mindestens einen im Strahlengang zwischen der bildgebenden Vorrichtung (22) und der Projektionsoberfläche (5) angeordneten Wellenfrontmanipulator (23) umfasst. Die optische Anordnung (11) ist dazu ausgelegt, virtuelle Abbildungen (8, 18) in mindestens zwei unterschiedlichen Bildebenen zu generieren, wobei die bildgebende Vorrichtung (22) mindestens einen ersten Bereich (26, 28) und einen zweiten Bereich (27, 29) aufweist, wobei die bildgebende Vorrichtung (22) und der Wellenfrontmanipulator (23) in Kombination miteinander dazu ausgelegt sind, aus in dem ersten Bereich (26, 28) der bildgebenden Vorrichtung (22) generierten Bildern virtuelle Abbildungen (8) in einer ersten Bildebene zu generieren und aus in dem zweiten Bereich (27, 29) der bildgebenden Vorrichtung (22) generierten Bildern virtuelle Abbildungen (18) in einer zweiten Bildebene zu generieren.

WO 2022/268751 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Optische Anordnung und Head-up-Display mit mehreren Bildebenen

Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Anordnung für ein Head-up-Display (HUD) und ein Head-up-Display.

Head-up-Displays kommen inzwischen im Rahmen vielfältiger Anwendungen zum Einsatz, unter anderem auch im Zusammenhang mit Sichtfenstern von Fahrzeugen, zum Beispiel an Windschutzscheiben von Kraftfahrzeugen, Frontscheiben oder Sichtfenstern von Flugzeugen. Diese Sichtscheiben und insbesondere Windschutzscheiben weisen üblicherweise eine gekrümmte Oberfläche auf, welche als Projektionsoberfläche von Head-up-Displays genutzt wird.

Ein Head-up-Display umfasst üblicherweise eine bildgebende Einheit (PGU – picture generating unit) oder einen Projektor, eine Projektionsoberfläche, eine Eyebox und eine virtuelle Bildebene. Mittels der bildgebenden Einheit oder des Projektors wird in einer Bildgeberebene eine Abbildung erzeugt. Die Abbildung wird auf die Projektionsoberfläche projiziert und von der Projektionsoberfläche in die Eyebox projiziert. Bei der Eyebox handelt es sich um eine Ebene oder einen Raumbereich, in welchem die projizierte Abbildung für einen Betrachter als virtuelles Bild wahrnehmbar ist. Die virtuelle Bildebene, also die Ebene auf der das virtuelle Bild erzeugt wird, ist auf oder hinter der Projektionsoberfläche angeordnet.

In traditionellen HUD-Systemen gibt es nur eine Bildebene und nur eine Bildgeberebene (siehe Figur 1). Aufgrund der Anforderungen des Marktes an zukünftige HUD-Systeme ist es erforderlich, mehr als eine Bildebene mit

verschiedenen Bildweiten im HUD zu realisieren. Um die Kosten zu reduzieren und die Stabilität des Systems zu erhalten, ist es erforderlich, dass die Komponenten im HUD möglichst fest verbaut sind und auf bewegliche Teile verzichtet wird. Gleichzeitig sollten die Bauraumanforderungen nicht wesentlich ansteigen.

Vor diesem Hintergrund ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine vorteilhafte optische Anordnung für ein Head-up-Display an einer Projektionsoberfläche und ein vorteilhaftes Head-up-Display zur Verfügung zu stellen, welche insbesondere die Erzeugung virtueller Abbildungen in verschiedenen Bildebenen ermöglichen.

Diese Aufgaben werden durch eine optische Anordnung für ein Head-up-Display gemäß Patentanspruch 1 und durch ein Head-up-Display gemäß Patentanspruch 15 gelöst. Die abhängigen Ansprüche enthalten weitere, vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung.

Die erfindungsgemäße optische Anordnung für ein Head-up-Display an einer Projektionsoberfläche umfasst eine bildgebende Vorrichtung und mindestens einen im Strahlengang zwischen der bildgebenden Vorrichtung und der Projektionsoberfläche angeordneten Wellenfrontmanipulator. Die bildgebende Vorrichtung umfasst mindestens eine bildgebende Einheit. Die erfindungsgemäße optische Anordnung ist dazu ausgelegt, virtuelle Abbildungen in mindestens zwei unterschiedlichen Bildebenen, also Bildebenen mit verschiedenen Bildweiten, zu generieren. Die Bildweite ist im vorliegenden Zusammenhang der Abstand zwischen der Bildebene der virtuellen Abbildung und der Eyebox.

Zum Generieren von mindestens zwei unterschiedlichen Bildebenen weist die bildgebende Vorrichtung mindestens einen ersten Bereich und einen zweiten Bereich auf. Die bildgebende Vorrichtung und der Wellenfrontmanipulator sind in Kombination miteinander dazu ausgelegt, aus in dem ersten Bereich der bildgebenden Vorrichtung generierten Bildern virtuelle Abbildungen in einer ersten Bildebene zu generieren und aus in dem

zweiten Bereich der bildgebenden Vorrichtung generierten Bildern virtueller Abbildungen in einer zweiten Bildebene zu generieren. Die mindestens zwei unterschiedlichen bzw. voneinander abweichenden Bildebenen befinden sich mit anderen Worten in voneinander abweichenden Entfernungen von der Eyebox oder von der Projektionsoberfläche entlang der optischen Achse.

Die erfindungsgemäße optische Anordnung hat den Vorteil, dass eine Mehrzahl an Bildebenen mit verschiedenen Bildweiten in dem Head-up-Display realisiert werden können. Dabei können die hierzu erforderlichen Komponenten in dem Head-up-Display fest verbaut sein. Es sind also keine beweglichen Teile erforderlich. Hierdurch werden eine robuste optische Anordnung und damit ein entsprechend robustes Head-up-Display ermöglicht. Darüber hinaus ist die Herstellung einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung kostengünstig möglich und es können bestehende Head-up-Displays gegebenenfalls mit geringem Aufwand nachgerüstet werden.

Der erste Bereich und der zweite Bereich der bildgebenden Vorrichtung können eine gemeinsame Bildgeberebene aufweisen. Die bildgebende Vorrichtung kann also mit anderen Worten lediglich eine einzelne bildgebende Einheit oder Komponente aufweisen, welche lediglich eine zum Beispiel segmentierte Bildeberebene aufweist. Alternativ dazu kann der erste Bereich der bildgebenden Vorrichtung eine erste Bildgeberebene aufweisen und der zweite Bereich der bildgebenden Vorrichtung eine zweite Bildgeberebene aufweisen. In dieser Variante können sich die erste Bildgeberebene und die zweite Bildgeberebene voneinander unterscheiden. Insbesondere können zum Beispiel zwei unterschiedliche Komponenten oder bildgebende Einheiten vorhanden sein, welche in einem voneinander abweichenden Abstand von dem Wellenfrontmanipulator angeordnet sind. Diese Variante eignet sich besonders dazu, bestehende Head-up-Displays mit einer weiteren bildgebenden Einrichtung oder Einheit nachzurüsten und auf diese Weise mehrere Bildebenen mit verschiedenen Bildweiten in dem Head-up-Display zu realisieren.

Vorzugsweise umfasst der mindestens eine Wellenfrontmanipulator mindestens eine holographische Anordnung. Die mindestens eine holographische Anordnung ist bevorzugt für die Beugung von Licht einer Mehrzahl an Wellenlängen ausgelegt. Hierzu können mehrere Hologramme, die jeweils Licht einer Wellenlänge beugen, und/oder Multiplex-Hologramme, die Licht mehrerer Wellenlängen beugen, als Hologramm-Stacks angeordnet sein. Zusätzlich oder alternativ dazu umfasst der mindestens eine Wellenfrontmanipulator mindestens ein optisches Element, welches eine Freiformfläche aufweist. Vorteilhafterweise ist das optische Element, welches eine Freiformfläche aufweist, im Strahlengang zwischen der bildgebenden Vorrichtung und der holographischen Anordnung angeordnet. Es können mehrere Freiformflächen vorhanden sein, zum Beispiel in Form einer Mehrzahl an entsprechenden optischen Elementen oder einem optischen Element, welches eine Mehrzahl an Freiformflächen aufweist. Die einzelnen Freiformflächen können jeweils zur Strahlformung von emittiertem Licht eines konkreten Bereichs der bildgebenden Vorrichtung und/oder einer konkreten bildgebenden Einheit ausgelegt sein. Zum Beispiel kann eine erste bildgebende Einheit oder ein erster Bereich und eine im Strahlengang des von dieser oder diesem emittierten Lichts angeordnete erste Freiformfläche und eine zweite bildgebende Einheit oder ein zweiter Bereich und eine im Strahlengang des von dieser oder diesem emittierten Lichts angeordnete zweite Freiformfläche vorhanden sein.

Durch mindestens eine holographische Anordnung und/oder ein weiteres Freiformelement kann auf geringem Bauraum ein vorteilhafter Wellenfrontmanipulator realisiert werden, welcher unter anderem auftretende Bildfehler oder Aberrationen korrigiert. Unter Zuhilfenahme von holographischen Elementen und/oder Freiformflächen können insbesondere Abbildungsfehler wie etwa Verzeichnung, Defokus, Kippung, Astigmatismus, Wölbung der Bildebene, sphärische Aberrationen, höherer Astigmatismus und Koma etc. korrigiert werden. Das die Freiformfläche umfassende optische Element trägt durch eine entsprechende Ausgestaltung der Freiformfläche zu einer Verbesserung der Auflösung bei und erlaubt eine gezielte Korrektur von Abbildungsfehlern. Darüber hinaus beansprucht das

optische Element aufgrund der Freiformfläche nur sehr wenig Bauraum. Es trägt also auch erheblich zu einer Verbesserung der Abbildungsqualität eines kompakt ausgestalteten Head-up-Displays bei.

Unter einer Freiformfläche ist im weiteren Sinn eine komplexe Fläche zu verstehen, die sich insbesondere mittels gebietsweise definierter Funktionen, insbesondere zweimal stetig differenzierbarer gebietsweise definierter Funktionen darstellen lässt. Beispiele für geeignete gebietsweise definierte Funktionen sind (insbesondere stückweise) polynomiale Funktionen (insbesondere polynomiale Splines, wie z.B. bikubische Splines, höhergradige Splines vierten Grades oder höher, oder polynomiale non-uniform rational B-Splines (NURBS)). Hiervon zu unterscheiden sind einfache Flächen, wie z. B. sphärische Flächen, asphärische Flächen, zylindrische Flächen, torische Flächen, die zumindest längs eines Hauptmeridians als Kreis beschrieben sind. Eine Freiformfläche braucht insbesondere keine Achsensymmetrie und keine Punktsymmetrie aufzuweisen und kann in unterschiedlichen Bereichen der Fläche unterschiedliche Werte für den mittleren Flächenbrechwert aufweisen.

In einer vorteilhaften Variante umfasst der Wellenfrontmanipulator mindestens eine erste holographische Anordnung und eine zweite holographische Anordnung, wobei die erste holographische Anordnung dazu ausgelegt ist, aus in dem ersten Bereich der bildgebenden Vorrichtung generierten Bildern virtuelle Abbildungen in der ersten Bildebene zu generieren, und die zweite holographische Anordnung dazu ausgelegt ist, aus in dem zweiten Bereich der bildgebenden Vorrichtung generierten Bildern virtuelle Abbildungen in der zweiten Bildebene zu generieren. Auf diese Weise kann, ohne dass zusätzlich Bauraum beansprucht wird, allein durch eine geeignete Ausgestaltung mehrerer holographischer Anordnungen ein Head-up-Display mit mehreren Bildebenen mit verschiedenen Bildweiten realisiert werden.

Insbesondere kann die erste holographische Anordnung für die Beugung von Licht mindestens einer ersten Wellenlänge ausgelegt sein. Beispielsweise

kann die erste holographische Anordnung für die Beugung von Licht dreier verschiedener Wellenlängen eines festgelegten Farbraums ausgelegt sein. Die zweite holographische Anordnung kann für die Beugung von Licht mindestens einer zweiten Wellenlänge ausgelegt sein. Zum Beispiel kann die zweite holographische Anordnung für die Beugung von Licht dreier Wellenlängen eines festgelegten Farbraums ausgelegt sein, welche sich jedoch von den Wellenlängen unterscheiden, für welche die erste holographische Anordnung ausgelegt ist. Die Differenz der ersten und der zweiten Wellenlänge muss dabei einen festgelegten Grenzwert überschreiten. Zum Beispiel kann die erste holographische Anordnung für die Beugung von rotem Licht einer ersten Wellenlänge ausgelegt sein und die zweite holographische Anordnung für die Beugung von rotem Licht einer sich von der ersten Wellenlänge leicht unterscheidenden zweiten Wellenlänge ausgelegt sein. Die beiden Wellenlängen des roten Lichtes können sich zum Beispiel um mindestens 10 Nanometer oder mindestens 20 Nanometer voneinander unterscheiden. Analog können die erste holographische Anordnung und die zweite holographische Anordnung für die Beugung von grünem und blauem Licht mit festgelegten Wellenlängen ausgelegt sein, wobei sich die Wellenlängen der einzelnen Farben, für welche die holographischen Anordnungen ausgelegt sind, wiederum um einen festgelegten Differenzbetrag unterscheiden.

Die holographische Anordnung und/oder das mindestens eine optische Element, welches eine Freiformfläche umfasst, können jeweils reflektiv und/oder transmissiv ausgestaltet sein. Hierdurch lassen sich variable Strahlengänge, insbesondere gefaltete Strahlengänge, auf geringem Bauraum umsetzen. Im Zusammenhang mit einer Anwendung für kompakt ausgestaltete Head-up-Displays ist eine reflektive Ausgestaltung des optischen Elements, welches die Freiformfläche aufweist, besonders vorteilhaft, da das optische Element auf diese Weise gleichzeitig zu einer ohnehin erforderlichen Strahlumlenkung auch unter hohen Einfallswinkeln beitragen kann ohne dabei zusätzliche Bildfehler wie insbesondere chromatische Aberrationen zu induzieren.

Vorzugsweise ist die Freiformfläche dazu ausgebildet, mindestens eine Aberration bzw. einen Abbildungsfehler zumindest teilweise zu korrigieren. Dabei kann es sich um mindestens einen der bereits genannten Abbildungsfehler handeln. Der bzw. die Abbildungsfehler kann/können durch die Projektionsoberfläche verursacht sein, insbesondere im Falle einer gekrümmten Projektionsoberfläche, und/oder durch die bildgebende Einheit und/oder durch die Geometrie des Strahlenganges, beispielsweise im Rahmen eines Head-up-Displays, verursacht sein. Mittels der Freiformfläche kann darüber hinaus die Auflösung und damit die Abbildungsqualität optimiert werden.

Vorzugsweise weist die Freiformfläche eine Oberflächengeometrie auf, welche aus einer von mindestens einem festgelegten Parameter abhängigen Abbildungsfunktion abgeleitet ist. Der mindestens eine festgelegte Parameter kann sich aus einer vorgesehenen Anwendung des Wellenfrontmanipulators ergeben. Zum Beispiel kann der Krümmungsradius einer Windschutzscheibe als die Form der Freiformfläche beeinflussender Parameter verwendet werden. Das optische Element kann mehrere Freiformflächen aufweisen, insbesondere um an die jeweilige Anwendungsgeometrie angepasste Korrekturen von Aberrationen vornehmen zu können. Dies ermöglicht zum Beispiel im Rahmen einer Anwendung in Kraftfahrzeugen die Verwendung eines einheitlichen Wellenfrontmanipulators, welcher durch die konkrete Auswahl oder Anordnung der verwendeten Freiformflächen an die konkrete Geometrie der vorhandenen Windschutzscheibe angepasst werden kann.

Im Folgenden werden vorteilhafte Eigenschaften und Merkmale einer holographischen Anordnung beschrieben, welche im Rahmen der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

Die holographische Anordnung kann mindestens zwei holographische Elemente umfassen. Die mindestens zwei holographischen Elemente sind vorzugsweise im Strahlengang unmittelbar hintereinander angeordnet. Es ist mit anderen Worten kein weiteres optisches Element oder Bauteil zwischen den mindestens zwei holographischen Elementen angeordnet. Die

mindestens zwei holographischen Elemente können darüber hinaus für mindestens eine festgelegte Wellenlänge und einen festgelegten Einstrahlwinkelbereich reflektiv ausgestaltet sein. Vorzugsweise sind die holographischen Elemente im Übrigen transmissiv ausgestaltet.

Die Verwendung von zwei unmittelbar hintereinander angeordneten zumindest teilweise reflektiv ausgestalteten holographischen Elementen hat den Vorteil, dass insbesondere im Zusammenhang mit einem Head-up-Display die Abbildungsqualität durch die individuelle Ausgestaltung der holographischen Elemente erheblich verbessert werden kann. Dazu wird durch die holographischen Elemente nahezu kein Bauraum beansprucht, sodass mittels des Wellenfrontmanipulators bei nur geringem verfügbarem Bauraum, wie beispielsweise bei einem für ein Kraftfahrzeug ausgelegten Head-up-Display, eine deutliche Erhöhung der Abbildungsqualität erzielt werden kann. Durch die holographische Anordnung wird insbesondere eine hohe Brechkraft erreicht, vergleichbar mit der Brechkraft wie sie beispielsweise durch eine transmissiv ausgestaltete optische Komponente ohne chromatische Aberration erreicht wird. Verglichen mit Transmissionshologrammen bieten reflektive Hologramme für eine definierte Wellenlänge ein breiteres Winkelspektrum mit einer hohen Effizienz und einer höheren Wellenlängenselektivität. Dadurch können die Farbkanäle trotz eines breiten Einfallswinkelspektrums voneinander getrennt werden. Die holographische Anordnung ermöglicht also ein großes Sichtfeld (Field of View-FOV) bei gleichzeitig hoher Effizienz und eignet sich damit sowohl für VR-Head-up-Displays (VR – Virtuelle Realität) bzw. Augmented Reality – Head-up-Displays (AR-HUD) mit einem großen Sichtfeld und großer numerischer Apertur. Weitere Anwendungsmöglichkeiten stellen Head-up-Displays mit gekrümmten Projektionsoberflächen dar, beispielsweise Head-up-Displays für Windschutzscheiben von Fahrzeugen, insbesondere Kraftfahrzeugen, Schienenfahrzeugen, Flugzeugen oder Schiffen, sowie allgemein für Sichtfenster.

Ein weiterer Vorteil, welcher durch die holographische Anordnung erreicht wird, besteht darin, dass aufgrund des hohen Beugungswinkels der

holographischen Anordnung der Anteil des Lichts aus ungenutzten Beugungsordnungen, welches in die Eyebox reflektiert wird, reduziert wird. Darüber hinaus können qualitativ hochwertige mehrfarbige Abbildungen erzeugt werden.

Vorzugsweise umfasst jedes der mindestens zwei holographischen Elemente eine Anzahl an Hologrammen. Dabei ist jedes Hologramm mit mindestens einer festgelegten Wellenlänge aufgenommen bzw. generiert. Ein holographisches Element kann zum Beispiel mehrere Hologramme umfassen, welche als Stapel aufeinander angeordnet sein können. Beispielsweise kann ein holographisches Element eine Anzahl, vorzugsweise eine Mehrzahl, monochromatischer Hologramme ausweisen. Alternativ dazu kann ein holographisches Element mindestens ein Hologramm umfassen, welches mit mindestens zwei festgelegten Wellenlängen aufgenommen bzw. generiert ist. Vorzugsweise ist ein solches Hologramm mit drei unterschiedlichen Wellenlängen eines festgelegten Farbraums aufgenommen, beispielsweise als RGB-Hologramm oder CMY-Hologramm oder als aus einer Anzahl an einzelnen Wellenlängen eines anderen Farbraums gebildetes Hologramm ausgestaltet. In den genannten Beispielen steht R für Rot, G für Grün, B für Blau, C für Cyan, M für Magenta und Y für Yellow bzw. Gelb.

Es kann also mindestens eins, vorzugsweise zwei, der mindestens zwei holographischen Elemente mindestens zwei, vorzugsweise drei, Hologramme umfassen, welche für voneinander abweichende Wellenlängen reflektiv ausgestaltet sind. Zusätzlich oder alternativ dazu kann mindestens ein, vorzugsweise zwei, der mindestens zwei holographischen Elemente mindestens ein Hologramm umfassen, welches für mindestens zwei, vorzugsweise drei, voneinander abweichende Wellenlängen reflektiv ausgestaltet ist. Mit anderen Worten sind die genannten Hologramme mit entsprechend voneinander abweichenden Wellenlängen aufgenommen worden.

Die Anordnung der einzelnen Hologramme eines holographischen Elements oder der Gesamtheit der Hologramme der holographischen Anordnung kann als Freiheitsgrad verwendet werden um Filtereffekte zwischen den Hologrammen zu vermeiden. Die einzelnen, sich voneinander unterscheidenden Hologramme eines holographischen Elements können in Bezug auf eine Mittellinie bzw. Mittelachse, welche mit der optischen Achse zusammenfallen kann, oder in Bezug auf einen anderen festgelegten geometrischen Parameter des holographischen Elements nebeneinander und/oder hintereinander angeordnet sein.

Die holographische Anordnung kann ein erstes holographisches Element und ein zweites holographisches Element umfassen, wobei mehrere der Hologramme oder alle Hologramme des jeweiligen holographischen Elements mit Ausnahme der Wellenlänge, für die sie ausgelegt sind, identisch oder gleich ausgestaltet sind. Mit anderen Worten können mehrere oder alle Hologramme des ersten holographischen Elements identisch ausgestaltet sein und sich nur in Bezug auf die Wellenlänge, für die sie ausgelegt sind, voneinander unterscheiden. Analog können mehrere oder alle Hologramme des zweiten holographischen Elements identisch ausgestaltet sein und sich nur in Bezug auf die Wellenlänge, für die sie ausgelegt sind, voneinander unterscheiden.

Vorzugsweise ist das erste holographische Element in Bezug auf die Anordnung der einzelnen Hologramme spiegelsymmetrisch zu dem zweiten holographischen Element angeordnet. Zum Beispiel kann das erste holographische Element ein mit rotem Licht, ein mit grünem Licht und ein mit blauem Licht aufgenommenes Hologramm umfassen, welche in der genannten Reihenfolge aufeinander angeordnet sind. Das zweite holographische Element kann ebenfalls ein mit rotem Licht, ein mit grünem Licht und ein mit blauem Licht aufgenommenes Hologramm aufweisen, welche ebenfalls in dieser Reihenfolge aufeinander angeordnet sind. Das erste holographische Element und das zweite holographische Element sind im Falle einer spiegelsymmetrischen Anordnung so aufeinander oder zueinander benachbart angeordnet, dass beispielsweise das mit rotem Licht

aufgenommene Hologramm des ersten holographischen Elements zu dem mit rotem Licht aufgenommenen Hologramm des zweiten holographischen Elements unmittelbar benachbart angeordnet ist. Alternativ dazu kann die Anordnung der Hologramme des ersten holographischen Elements mit der Anordnung der Hologramme des zweiten holographischen Elements in Bezug auf eine festgelegte Richtung identisch sein. Zum Beispiel können beide holographischen Elemente in Bezug auf eine festgelegte Richtung in der Reihenfolge RGB (R - mit rotem Licht aufgenommenes Hologramm, G - mit grünem Licht aufgenommenes Hologramm, B - mit blauem Licht aufgenommenes Hologramm) angeordnete Hologramme aufweisen, die so aneinander angeordnet sind, dass das Hologramm R des einen holographischen Elements an dem Hologramm B des anderen holographischen Elements angrenzt. Beliebige andere, voneinander abweichende Anordnungen sind ebenfalls möglich, zum Beispiel RGB an GBR angrenzend oder anliegend u.s.w..

In einer weiteren vorteilhaften Variante ist eine Mehrzahl der Hologramme mindestens eines der holographischen Elemente mit zwei Konstruktionswellenfronten aufgenommen. Davon ist mindestens eine Konstruktionswellenfront mindestens eines Hologramms der holographischen Elemente bezüglich der Wellenlänge und des Einstrahlwinkels identisch mit mindestens einer Konstruktionswellenfront eines anderen Hologramms eines der holographischen Elemente, insbesondere des ersten und/oder des zweiten holographischen Elements. Die Verwendung identischer Konstruktionswellenfronten für verschiedene Wellenlängen hat den Vorteil, dass die erforderlichen Hologramme mit geringem Aufwand und hoher Präzision hergestellt werden können.

Die gemeinsam verwendete Konstruktionswellenfront ist bevorzugt definiert als ebene Welle, welche zu einem minimalen Filtereffekt zwischen verschiedenen Wellenlängen führt und zudem den Vorteil hat, dass Positioniertoleranzen der einer Farbe zugeordneten Hologramme zueinander verglichen mit der Verwendung einer nicht-ebenen Welle großzügiger gewählt werden können. Es sind mit anderen Worten variierende Abstände

der Hologramme zueinander in Richtung der optischen Achse und/oder in lateraler Richtung, also senkrecht zur optischen Achse, ohne eine Beeinträchtigung der Abbildungsqualität möglich.

Die holographische Anordnung, insbesondere mindestens eins der holographischen Elemente, ist bevorzugt so ausgestaltet, dass es eine Kugelwelle in eine ebene Welle transformiert. Dadurch hat die holographische Anordnung, insbesondere das holographische Element, eine große Brechkraft, ohne das Volumen und damit den erforderlichen Bauraum zu vergrößern. Weiterhin verringert sich der Strahlquerschnitt auf dem Spiegel, wodurch sowohl die Größe als auch die Brechkraft des Spiegels reduziert werden kann. Dieses ist zudem vorteilhaft, da die Brechkräfte im System besser verteilt werden können und dieses toleranzunempfindlicher wird. Weiterhin kann mindestens eins der holographischen Elemente so ausgestaltet sein, dass es eine Freiform-Wellenfront in eine ebene Wellenfront transformiert oder eine Kugelwelle in eine Freiform-Wellenfront transformiert. Mindestens ein Hologramm kann mit Wellen, die mit mindestens einer Freiform-Welle sind, aufgenommen bzw. belichtet sein. Hierdurch können verschiedene Aberrationen korrigiert und die Performance verbessert werden. Dadurch, dass bei einer solchen Ausgestaltung Licht mit einer beliebigen Wellenfront, wie sie zum Beispiel auch mittels Freiformflächen erzeugt werden kann, transformiert werden kann, kann die Anzahl der Freiformflächen aufweisenden Komponenten, wie Linsen und/oder Spiegel, reduziert werden.

Die Einstrahlrichtung der Konstruktionswellenfront für die mindestens zwei holographischen Elemente der holographischen Anordnung kann als Freiheitsgrad verwendet werden um Filtereffekte zwischen verschiedenen Wellenlängen zu vermeiden. Die Einstrahlrichtung kann für jede Wellenlänge auch unterschiedlich gewählt werden. Vorzugsweise sind die Konstruktionswellenfronten für die mindestens zwei Wellenlängen, vorzugsweise dafür die drei Wellenlängen, die gleichen Konstruktionswellenfronten für jedes holographische Element und unterscheiden sich lediglich in der verwendeten Wellenlänge.

Der Abstand und die Dicke der Hologramme sind vernachlässigbar verglichen mit der Dimension bzw. der Ausdehnung des Wellenfrontmanipulators oder einer den Wellenfrontmanipulator umfassenden optischen Anordnung. Die holographische Anordnung ist daher frei von potenziell durch eine Ausdehnung in Richtung einer optischen Achse verursachte Aberrationen. Die Konstruktionswellenfronten der holographischen Elemente können darüber hinaus als Freiheitsgrad zur Kompensation von Materialtoleranzen verwendet werden, zum Beispiel zur Kompensation von Materialschrumpfungen. In diesem Fall weichen die allgemeinen Konstruktionswellenfronten leicht voneinander ab.

Vorzugsweise sind die mindestens zwei holographischen Elemente in einem Abstand von weniger als einem Millimeter, insbesondere von weniger als 0,5 Millimetern, vorzugsweise von weniger als 0,1 Millimetern, zueinander angeordnet. Der Abstand ist bevorzugt Null oder vernachlässigbar. Dadurch wird einerseits eine hohe Abbildungsqualität erreicht, zudem müssen die einzelnen holographischen Elemente in Bezug auf ihre Position zueinander nicht nachträglich justiert werden.

Die holographische Anordnung kann in Form einer Schicht oder einer Folie oder eines Substrats, zum Beispiel in Form eines Volumenhologramms, oder einer Platte ausgestaltet sein. Zusätzlich oder alternativ dazu kann die holographische Anordnung eine ebene Oberfläche oder eine gekrümmte Oberfläche aufweisen. Die holographische Anordnung kann zum Beispiel an oder auf einer Oberfläche eines Deckglases oder eines anderen ohnehin vorhandenen optischen Bauteils angeordnet sein oder werden. Es wird auf diese Weise kein zusätzlicher Bauraum beansprucht. Zum Beispiel kann der Wellenfrontmanipulator ein transmissiv ausgestaltetes optisches Bauteil umfassen, welches dazu ausgelegt ist, im Strahlengang zwischen der holographischen Anordnung und der Projektionsoberfläche angeordnet zu werden. In diesem Fall kann die holographische Anordnung vorzugsweise an einer der Projektionsoberflächen abgewandte Oberfläche des transmissiv ausgestalteten optischen Bauteils angeordnet sein. Sowohl das transmissiv

ausgestattete optische Bauteil als auch die holographische Anordnung können gekrümmt, vorzugsweise mit der gleichen Krümmung, ausgestaltet sein. Das genannte transmissiv ausgestattete optische Bauteil kann zum Beispiel ein sogenanntes Glare-Trap (Blendfalle) sein, welches üblicherweise an einer Position zwischen einer Windschutzscheibe und einem Head-up-Display angeordnet wird und welches dazu ausgelegt ist, Sonnenlicht in eine festgelegte Richtung zu reflektieren, sodass es nicht über das Head-up-Display in Richtung der Eyebox reflektiert wird. In dieser Ausgestaltungsvariante sind die holographische Anordnung und das Glare-Trap vorzugsweise mit der gleichen Krümmung ausgestaltet und direkt aneinander anliegend angeordnet.

Insgesamt ermöglicht der Wellenfrontmanipulator durch die holographischen Elemente eine deutlich stärkere oder extremere Umlenkung des verwendeten Lichts als es mit klassischen refraktiven optischen Komponenten möglich ist. Zudem sind qualitativ hochwertige mehrfarbige Abbildungen projizierbar.

Die bildgebende Vorrichtung umfasst vorteilhafterweise mindestens eine Ebene, ist also räumlich ausgedehnt, wobei die Ebene dazu ausgelegt ist Licht in einem festgelegten Abstrahlwinkelbereich und mit einer festgelegten maximalen Bandbreite bezüglich der Wellenlängen des ausgesandten Lichts auszusenden. Vorzugsweise strahlt jeder lichtaussendende Punkt der Ebene Licht in Form einer Streukeule oder in einem festgelegten Winkelbereich ab. Dies kann zum Beispiel durch die Verwendung eines Diffusors erreicht werden. Vorzugsweise ist die bildgebende Vorrichtung dazu ausgelegt, Laserlicht, insbesondere Laserstrahlen, auszusenden. Vorteilhafterweise ist die bildgebende Vorrichtung dazu ausgelegt, Laserlicht in mindestens zwei, vorzugsweise mindestens drei, unterschiedlichen Wellen auszusenden. Dabei handelt es sich vorzugsweise um drei unterschiedliche Wellenlängen eines festgelegten Farbraums, zum Beispiel Rot, Grün und Blau oder Cyan, Magenta und Gelb. Da die holographischen Elemente verglichen mit anderen optischen Bauteilen, wie beispielsweise Spiegeln und Linsen, sensitiver bezüglich der Wellenlänge sind, ist es von Vorteil, wenn die bildgebende

Vorrichtung mit einer festgelegten maximalen Bandbreite bezüglich der Wellenlängen des ausgesandten Lichts ausgestaltet ist.

Die erfindungsgemäße optische Anordnung weist vorzugsweise ein Volumen von weniger als 10 Litern auf, nimmt also mit anderen Worten einen Bauraum von weniger als 10 Litern ein. Sie bietet insbesondere ein Head-up-Display, welches sehr kompakt ausgestattet ist, also einen nur geringen Bauraum einnimmt, und gleichzeitig eine sehr hohe Abbildungsqualität auf mehreren Bildebenen gewährleistet. Die erfindungsgemäße optische Anordnung eignet sich für eine Nachrüstung in beispielsweise Kraftfahrzeugen, Flugzeugen oder VR-Anordnungen, zum Beispiel VR-Brillen.

In einer weiteren Variante ist der Wellenfrontmanipulator, insbesondere die mindestens eine holographische Anordnung, dazu ausgelegt, die Abbildungen der verschiedenen Bildebenen spektral zu trennen oder durch Erzeugen von unterschiedlichen Polarisationszuständen für die verschiedenen Bildebenen zu trennen.

Die bildgebende Vorrichtung kann eine Mehrzahl an bildgebenden Einheiten umfassen. Insbesondere kann eine erste bildgebende Einheit den ersten Bereich und eine zweite bildgebende Einheit den zweiten Bereich der bildgebenden Vorrichtung aufweisen. Es kann mit anderen Worten jede bildgebende Einheit zum Generieren von virtuellen Abbildungen in einer festgelegten Bildebene ausgelegt sein. Eine solche Ausgestaltung ermöglicht insbesondere ein einfaches und kostengünstiges Nachrüsten bestehender Head-up-Displays.

Weiterhin kann der Wellenfrontmanipulator eine Mehrzahl an holographischen Anordnungen umfassen, welche jeweils zum Generieren von virtuellen Abbildungen in einer festgelegten Bildebene ausgelegt sind. Ebenso kann der Wellenfrontmanipulator eine Mehrzahl an optischen Elementen umfassen, welche eine Freiformfläche aufweisen und welche zum Generieren von virtuellen Abbildungen in mindestens einer festgelegten Bildebene ausgelegt sind. Auch in diesen Varianten ist ein einfaches und

kostengünstiges Nachrüsten bestehender Head-up-Display-Systeme durch geeignete holographische Anordnungen und/oder Freiformelemente kostengünstig möglich, um ein Head-up-Display mit mehr als einer Bildebene in verschiedenen Bildweiten zu realisieren.

Das erfindungsgemäße Head-up-Display umfasst eine zuvor beschriebene erfindungsgemäße optische Anordnung. Es hat die oben bereits genannten Merkmale und Vorteile. Bei der Projektionsoberfläche kann es sich um eine Oberfläche einer Windschutzscheibe eines Fahrzeuges oder ein Sichtfenster handeln. Die Projektionsoberfläche oder das Sichtfenster können gekrümmt ausgestaltet sein. Bei dem Fahrzeug kann es sich um ein Kraftfahrzeug, ein Flugzeug, ein Schienenfahrzeug oder ein Schiff handeln. Bei dem Sichtfenster kann es sich um eine Brille, insbesondere um eine Datenbrille, einen am Kopf tragbaren transparenten Bildschirm, eine AR-Brille oder einen AR-Helm, ein Visier oder ein Okular eines Mikroskops handeln.

Das erfindungsgemäße Head-up-Display ermöglicht das Erzeugen eines virtuellen Bildes auf mehreren Bildebenen und mit einem großen Sichtfeld. Zum Beispiel können rechteckige virtuelle Bilder erzeugt werden, welches ein Sichtfeld von zum Beispiel mindestens 10 Grad, vorzugsweise mindestens 15 Grad mal 5 Grad (FOV: 15° x 5°), aufweisen und in bestimmten Abständen von der Eyebox entfernt beobachtbar ist, zum Beispiel in einem Abstand zwischen 2 Metern und 12 Metern. Die Eyebox kann eine Abmessung von bis zu 150mm x 150mm aufweisen.

Durch entsprechende Konstruktionswellen der holographischen Elemente kann die Helligkeit und die Einheitlichkeit des virtuellen Bildes optimiert werden. Darüber hinaus kann durch Einstellen des Faktors der Farbmischung, beispielsweise des RGB-Farbraums in der bildgebenden Einheit die Gleichmäßigkeit des Weißgrades eingestellt werden.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren näher erläutert. Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele näher

illustriert und beschrieben wird, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzumfang der Erfindung zu verlassen.

Die Figuren sind nicht notwendigerweise detailgetreu und maßstabsgetreu und können vergrößert oder verkleinert dargestellt sein, um einen besseren Überblick zu bieten. Daher sind hier offenbarte funktionale Einzelheiten nicht einschränkend zu verstehen, sondern lediglich als anschauliche Grundlage, die dem Fachmann auf diesem Gebiet der Technik Anleitung bietet, um die vorliegende Erfindung auf vielfältige Weise einzusetzen.

Der hier verwendete Ausdruck „und/oder“, wenn er in einer Reihe von zwei oder mehreren Elementen benutzt wird, bedeutet, dass jedes der aufgeführten Elemente alleine verwendet werden kann, oder es kann jede Kombination von zwei oder mehr der aufgeführten Elemente verwendet werden. Wird beispielsweise eine Zusammensetzung beschrieben, die die Komponenten A, B und/oder C, enthält, kann die Zusammensetzung A alleine; B alleine; C alleine; A und B in Kombination; A und C in Kombination; B und C in Kombination; oder A, B, und C in Kombination enthalten.

Figur 1 zeigt schematisch den Strahlengang eines Head-up-Displays mit einer Bildebene für eine Windschutzscheibe eines Kraftfahrzeugs in einer Seitenansicht.

Figur 2 zeigt schematisch den Strahlengang eines erfindungsgemäßen Head-up-Displays mit zwei Bildebenen für eine Windschutzscheibe eines Kraftfahrzeugs in einer Seitenansicht.

Figur 3 zeigt schematisch den Strahlengang für unterschiedliche Objektebenen mit den gleichen optischen Komponenten.

Figur 4 zeigt schematisch den Strahlengang für die gleiche Objektebene mit unterschiedlichen optischen Komponenten.

Figur 5 zeigt schematisch eine erste Ausführungsvariante eines erfindungsgemäßen Head-up-Displays mit einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung.

Figur 6 zeigt schematisch eine zweite Ausführungsvariante eines erfindungsgemäßen Head-up-Displays mit einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung.

Figur 7 zeigt schematisch eine dritte Ausführungsvariante eines erfindungsgemäßen Head-up-Displays mit einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung.

Figur 8 zeigt schematisch eine vierte Ausführungsvariante eines erfindungsgemäßen Head-up-Displays mit einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung.

Figur 9 zeigt schematisch eine erste Variante einer holographischen Anordnung.

Figur 10 zeigt schematisch eine zweite Variante einer holographischen Anordnung.

Figur 11 zeigt schematisch den Strahlengang innerhalb der holographischen Anordnung.

Die Figur 1 zeigt schematisch den Strahlengang eines Head-up-Displays 10 mit einer Bildebene. Das Head-up-Display 10 umfasst eine bildgebende Einheit 1, eine Projektionsoberfläche 5, zum Beispiel in Form einer Windschutzscheibe eines Kraftfahrzeugs, und einen Wellenfrontmanipulator 7. Die Projektionsoberfläche 5, zum Beispiel die Windschutzscheibe, kann gekrümmt ausgestaltet sein. Im Falle einer Anwendung für ein Fahrzeug sind die bildgebende Einheit 1 und der Wellenfrontmanipulator 7 vorzugsweise in eine nicht gezeigte Armatur integriert angeordnet. Das Head-up-Display 10

ist so ausgestaltet, dass es auf der Projektionsoberfläche 5, insbesondere auf der Oberfläche der Windschutzscheibe oder im Außenbereich des Fahrzeugs, zum Beispiel in Fahrtrichtung hinter der Oberfläche der Windschutzscheibe, ein virtuelles Bild 8 erzeugt. Der Strahlengang ist mit der Bezugsziffer 6 gekennzeichnet.

In der gezeigten Ausgestaltungsvariante umfasst der Wellenfrontmanipulator 7 eine holographische Anordnung 4 und ein reflektiv ausgestaltetes optisches Element 3, welches eine Freiformfläche aufweist und im Strahlengang 6 ausgehend von der bildgebenden Einheit 1 zwischen der bildgebenden Einheit 1 und der holographischen Anordnung 4 angeordnet ist. Das optische Element 3 ist vorzugsweise als Freiformspiegel ausgestaltet.

Durch die bildgebende Einheit 1 werden Lichtwellen in Richtung des Wellenfrontmanipulators 7 ausgesendet. Die abzugebende Bildinformation bzw. das von der bildgebenden Einheit 1 generierte Bild ist durch einem Pfeil mit der Bezugsziffer 2 gekennzeichnet, die virtuelle Abbildung davon mit der Bezugsziffer 8. Mittels des Wellenfrontmanipulators 7 erfolgt eine Korrektur von Abbildungsfehlern und gegebenenfalls eine Aufweitung des Strahlenganges. Der Wellenfrontmanipulator 7 leitet Lichtwellen in Richtung der Projektionsoberfläche 5, insbesondere der gekrümmten Projektionsoberfläche. An der Projektionsoberfläche 5 werden die Lichtwellen in Richtung einer Eyebox 9 reflektiert. Die Eyebox 9 bildet dabei den Bereich, in welchem sich ein Nutzer befinden muss oder kann, um das durch die Head-up-Display 10 erzeugte virtuelle Abbildung 8 wahrnehmen zu können. Durch die Bildweite der virtuellen Abbildung 8 wird eine Bildebene festgelegt.

Die Figur 2 zeigt schematisch den Strahlengang eines erfindungsgemäßen Head-up-Displays 10 mit zwei Bildebenen, wobei das Head-up-Display 10 eine erfindungsgemäße optische Anordnung 11 umfasst. Eine erste Bildebene entspricht der durch die virtuelle Abbildung 8 festgelegten Bildebene. Eine zweite Bildebene wird durch eine weitere virtuelle Abbildung 18 festgelegt. Der entsprechende Strahlengang ist mit der Bezugsziffer 16

gekennzeichnet. Die erste Bildebene und die zweite Bildebene weisen voneinander abweichende Bildweiten auf. Die Strahlengänge 6 und 16 können dabei eine räumliche Überlagerung aufweisen.

Die Figuren 3 und 4 veranschaulichen das der Erfindung zugrunde liegende optische Prinzip. Betrachtet man das optische System vereinfachend als einzelne Linse 12 mit einer Brennweite f und einer optischen Achse 13, ergibt sich der Abbildungszustand zwischen Objekt (Bildgeber) 14, 17 und Abbildung (virtuelles Bild) 15, 19, wie in der Figur 3 dargestellt. Die Figur 3 zeigt den Strahlengang für Abbildungen 15, 19 für unterschiedliche Objektentfernungen bzw. Objektweiten s1 und s2 mit den gleichen optischen Komponenten 12. Wenn man dasselbe System (nur eine Brennweite f) für entweder unterschiedliche Objektentfernungen (s1 und s2) oder unterschiedliche Abbildungsentfernungen (s1‘ und s2‘) verwendet, ergeben sich zwei unterschiedliche Bildebenen. Das heißt, es ist nicht möglich, zwei Abbildungsentfernungen (s1‘ und s2‘) durch ein einzelnes optisches System mit gleichen Objektabständen (PGU) in ausreichender Qualität zu realisieren.

Wenn die gleiche Bildgeber-Ebene der bildgebende Einheit 1 für beide virtuellen Bilder 15 und 19 verwendet wird, werden zwei unterschiedliche Abbildungssysteme 12a und 12b benötigt. Das bedeutet, dass die Komponenten 12a und 12b und die Positionen der Komponenten 12a und 12b unterschiedlich sein können wie in der Figur 4 dargestellt. Die Figur 4 zeigt den Strahlengang von Abbildungen für gleiche Objektebene mit unterschiedlichen optischen Komponenten 12a und 12b.

Ausführungsvarianten der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden anhand der Figuren 5 bis 8 näher erläutert. Die Figuren 5 bis 8 zeigen jeweils ein erfindungsgemäßes Head-up-Display 10 mit einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung 11 und einer Projektionsoberfläche 5. Bei der Projektionsoberfläche 5 kann es sich zum Beispiel um eine Windschutzscheibe oder ein Sichtfenster handeln.

Die optische Anordnung 11 umfasst jeweils eine bildgebende Vorrichtung 22 und einen im Strahlengang zwischen der bildgebenden Vorrichtung 22 und der Projektionsoberfläche 5 angeordneten Wellenfrontmanipulator 23. In den gezeigten Varianten umfasst der Wellenfrontmanipulator 23 jeweils eine holographische Anordnung 24 und mindestens ein optisches Element 25, welche eine Freiformfläche aufweist.

In der in der Figur 5 gezeigten Variante werden die verschiedenen Bildebenen durch zwei bildgebende Einheiten 26 und 27 realisiert, wobei die erste bildgebende Einheit 26 einen ersten Bereich der bildgebende Vorrichtung 22 bildet und die zweite bildgebende Einheit 27 einen zweiten Bereich der bildgebenden Vorrichtung 22 bildet. Die erste bildgebende Einheit 26 und die zweite bildgebende Einheit 27 weisen jeweils eine Bildgeberebene oder Objektebene auf, welche sich voneinander unterscheiden. In der gezeigten Variante ist die Bildgeberebene der zweiten bildgebenden Einheit 27 dichter an dem Freiformelement 25 platziert, als die Bildgeberebene der ersten bildgebenden Einheit 26. In der in der Figur 5 gezeigten Variante werden für die zwei erzeugten virtuellen Bildebenen dieselbe holographische Anordnung 24 und dasselbe optische Element 25, welches als Freiformspiegel ausgestaltet ist, benutzt. Darüber hinaus sind die Wellenlängen des verwendeten Farbraums, zum Beispiel für rot-grün-blau (RGB) für die beiden erzeugten Bildebenen identisch. In dem gezeigten Beispiel sind die Strahlen des Strahlengangs ausgehend von dem ersten Bereich 26 der bildgebenden Vorrichtung 22 mit der Bezugsziffer 31 und die Strahlen des Strahlengangs ausgehend von dem zweiten Bereich 27 der bildgebenden Vorrichtung 22 mit der Bezugsziffer 32 durch Pfeile gekennzeichnet. Alternativ zu dem RGB-Farbraum können drei Wellenlängen eines anderen Farbraums verwendet werden. Es ist auch eine Ausgestaltung mit weniger als drei verschiedenen Wellenlängen, zum Beispiel mit nur einer oder nur zwei Wellenlängen möglich. Wie in der Figur 5 ersichtlich, ist eine räumliche Überlagerung der Strahlengänge möglich.

Die in der Figur 6 gezeigte Variante unterscheidet sich von der in der Figur 5 gezeigten Variante dadurch, dass anstelle der zwei bildgebenden Einheiten

lediglich eine bildgebende Einheit vorhanden ist. Die bildgebende Vorrichtung 22 weist in dieser Variante einen ersten Bereich 28 und einen zweiten Bereich 29 auf, wobei der erste Bereich 28 Lichtstrahlen für eine Abbildung in einer ersten Bildebene emittiert und der zweite Bereich 29 Lichtstrahlen für eine Abbildung in einer zweiten Bildebene, welche sich von der ersten Bildebene unterscheidet, emittiert. Die so ausgestaltete bildgebende Vorrichtung 22 kann zum Beispiel einzelne Segmente umfassen, welche in derselben Bildgeberebene liegen, aber für das Generieren von virtuellen Abbildungen in verschiedenen Bildebenen ausgelegt sind.

In der in der Figur 6 gezeigten Variante werden die für die verschiedenen Bildebenen im Rahmen des Wellenfrontmanipulators 23 dadurch voneinander getrennt, dass zwei unterschiedliche optische Elemente mit Freiformflächen vorhanden sind. Konkret ist ein erster Freiformspiegel 20 und ein zweiter Freiformspiegel 30 vorhanden, wobei der erste Freiformspiegel 20 von dem ersten Bereich 28 ausgesendete Lichtstrahlen in Richtung der holographischen Anordnung 24 projiziert und der zweite Freiformspiegel 30 von dem zweiten Bereich 29 emittierte Lichtstrahlen in Richtung der holographischen Anordnung 24 projiziert. Alternativ zu der gezeigten Variante kann lediglich eine Freiformfläche 25 mit entsprechend ausgestalteten Bereichen vorgesehen sein. In den Figuren 5 und 6 sind die in den Abbildungen links bzw. weiter oben auf die Projektionsoberfläche 5 auftreffenden drei Lichtstrahlen des ersten Strahlengangs 31 für das Generieren einer virtuellen Abbildung in einer ersten Bildebene ausgelegt und die jeweils rechts bzw. weiter unten auf die Projektionsoberfläche 5 auftreffenden drei beispielhaft gezeigten Lichtstrahlen des zweiten Strahlengangs 32 für das Generieren einer virtuellen Abbildung in einer von der ersten Bildebene abweichenden zweiten Bildebene ausgelegt.

Um die Strahlengänge der in der Figur 6 gezeigten Variante an dem Freiformspiegel 25 bzw. den Bereichen 20 und 30 zu trennen, müssen die zwei virtuellen Bildebenen eine gewisse laterale Entfernung senkrecht zur optischen Achse voneinander aufweisen. Das bedeutet zum Beispiel, dass

für das Sichtfeld (FoV) für die Bildebene die vertikale Bildposition bzw. der Lookdown-Winkel größer gewählt werden muss, als in der in der Figur 5 gezeigten Variante. In diesem Fall können die zwei Strahlengänge mit verschiedenen Freiformspiegeln 20 und 30 korrigiert werden. Auf diese Weise lassen sich zwei voneinander abweichende Bildebenen realisieren. Die Bildgeberebenen bzw. Objektebenen für die zwei virtuellen Bilder können auf derselben Bildgeber-Fläche aber auch auf unterschiedlichen Teilen oder Bereichen, beispielsweise oberhalb oder unterhalb einander oder seitlich nebeneinander angeordnet sein.

Die in der Figur 7 gezeigte Variante unterscheidet sich von der in der Figur 6 gezeigten Variante dadurch, dass einerseits die zwei Bereiche 28 und 29 der bildgebenden Vorrichtung zum Emittierten von voneinander abweichenden Lichtwellen ausgelegt sind und dass der Wellenfrontmanipulator 23 eine erste holographische Anordnung 34 und eine zweite holographische Anordnung 35 umfasst. Die erste holographische Anordnung 34 ist dabei dazu ausgelegt, aus in dem ersten Bereich 28 der bildgebenden Vorrichtung 22 generierten Bildern virtuelle Abbildungen in der ersten Bildebene zu generieren und die zweite holographische Anordnung 35 ist dazu ausgelegt, aus in dem zweiten Bereich 29 der bildgebenden Vorrichtung 22 generierten Bildern virtuelle Abbildungen in der zweiten Bildebene zu generieren.

Das von dem ersten Bereich 28 emittierte Licht einer ersten Farbe 31 weist eine Wellenlänge auf, die sich von durch den zweiten Bereich 29 emittiertem Licht einer ersten Farbe 36 um eine Wellenlängendifferenz unterscheidet, die einen festgelegten Grenzwert überschreitet, zum Beispiel um mehr als 10 Nanometer. Bei dem Licht 31 und 36 kann es sich um rotes Licht handeln. Das von dem ersten Bereich 28 emittierte Licht einer zweiten Farbe 32 weist eine Wellenlänge auf, die sich von durch den zweiten Bereich 29 emittiertem Licht einer zweiten Farbe 37 um eine Wellenlängendifferenz unterscheidet, die einen festgelegten Grenzwert überschreitet, zum Beispiel um mehr als 10 Nanometer. Bei dem Licht 32 und 37 kann es sich um grünes Licht handeln. Das von dem ersten Bereich 28 emittierte Licht einer dritten Farbe 33 weist eine Wellenlänge auf, die sich von durch den zweiten Bereich 29 emittiertem

Licht einer dritten Farbe 38 um eine Wellenlängendifferenz unterscheidet, die einen festgelegten Grenzwert überschreitet, zum Beispiel um mehr als 10 Nanometer. Bei dem Licht 33 und 38 kann es sich um blaues Licht handeln. Der erste Bereich 28 und der zweite Bereich 29 können auch zum Emittieren von Licht voneinander abweichender Farbräumen ausgelegt sein, zum Beispiel der erste Bereich 28 zum Emittieren von Licht des RGB-Farbraums und der zweite Bereich 29 zum Emittieren von Licht des CMY-Farbraums.

Vorzugsweise ist die erste holographische Anordnung 34 nicht effizient für die Beugung von Licht, welches von dem zweiten Bereich 29 emittiert wird und die zweite holographische Anordnung 35 ist nicht effizient für das Licht, welches von dem ersten Bereich 28 emittiert wird. Die von den verschiedenen Bereich emittierten Wellenlängen sind daher für die zwei virtuellen Bildebenen unterschiedlich gewählt. Vorzugsweise werden zwei Wellenlängen-Triplets eines festgelegten Farbraums, beispielsweise Rot, Grün und Blau ausgewählt, welche sich voneinander je nach dem Bereich, von welchem sie emittiert werden, unterscheiden. Zum Beispiel kann der erste Bereich 28 rotes Licht einer Wellenlänge emittieren, welche sich um einen festgelegten Differenzbetrag von dem roten Licht unterscheidet, welches von dem zweiten Bereich 29 emittiert wird. In der gezeigten Variante sind die beiden holographischen Anordnungen 34 und 35 im Strahlengang hintereinander angeordnet. Es ist prinzipiell auch eine Anordnung nebeneinander möglich. Alternativ dazu können die Gitter der zwei Wellenlängen einer zugehörigen Farbe in dasselbe Hologramm geschrieben sein, d.h. die beiden blauen Hologramme der beiden holographischen Anordnungen 34 und 35 können in zwei Hologramme (blaue Multiplex-Hologramme) einer gemeinsamen holographischen Anordnung geschrieben bzw. belichtet sein. Analog zu dem in der Figur 10 gezeigten Beispiel können mehrere Multiplex-Hologramme vorhanden sein, zum Beispiel ein RR‘-Hologramm, ein GG‘-Hologramm und ein BB‘-Hologramm (d.h. 6 Hologramme als ein Stack) oder eine andere geeignete Kombination. Dadurch kann die Anzahl der holographischen Anordnungen reduziert werden ohne die Funktionalität zu beschränken.

Die in der Figur 8 gezeigte Ausführungsvariante kombiniert verschiedene bereits anhand der Figuren 5 bis 7 erläuterte Varianten. Es sind zwei verschiedene bildgebende Einheiten 26 und 27 vorhanden, welche so positioniert sind, dass sich ihre Bildgeberebenen voneinander unterscheiden. Darüber hinaus unterscheiden sich die von den beiden bildgebenden Einheiten 26 und 27 emittierten Wellenlängen um einen festgelegten Mindestbetrag. Das von der ersten bildgebenden Einheit 26 emittierte Licht wird mittels eines ersten Freiformspiegels 20 in Richtung der holographischen Anordnung 24 reflektiert. Das von der zweiten bildgebenden Einheit 27 emittierte Licht wird mittels eines zweiten Freiformspiegels 30 durch die holographische Anordnung 24 hindurch oder an dieser vorbei in Richtung der Projektionsoberfläche 5 reflektiert. In der in der Figur 8 gezeigten Variante ist die holographische Anordnung 24 lediglich effizient für die Beugung von Lichtwellenlängen, welche von der ersten bildgebenden Einheit 26 emittiert werden. Das von der zweiten bildgebenden Einheit 27 emittierte Licht besitzt Wellenlängen, die durch die holographische Anordnung 24 nicht effizient gebeugt werden. Das bedeutet, dass für die Lichtformung von dem mittels der zweiten bildgebenden Einheit 27 emittiertem Licht 33 nur eine Freiformfläche 30 verwendet wird. Für den Strahlengang 31 des durch die bildgebende Vorrichtung 26 emittierten Lichts wird hingegen eine Freiformfläche 20 sowie eine an die Wellenlängen angepasste holographische Anordnung 24 verwendet.

Im Folgenden werden anhand der Figuren 9 bis 11 Varianten für eine Ausgestaltung geeigneter holographischer Anordnungen 24 erläutert.

Die in der Figur 9 gezeigte holographische Anordnung 24 umfasst ein erstes holographisches Element 41 und ein zweites holographisches Element 42. Das erste holographische Element 41 und das zweite holographische Element 42 weisen in der gezeigten Ausführungsvariante jeweils drei aufeinander angeordnete monochromatische Hologramme auf, von welchen beispielhaft ein mit rotem Licht aufgenommenes Hologramm mit der Bezugsziffer 51, ein mit grünem Licht aufgenommenes Hologramm mit der Bezugsziffer 52 und ein mit blauem Licht aufgenommenes Hologramm mit

der Bezugsziffer 53 gekennzeichnet sind. Das erste holographische Element 41 und das zweite holographische Element 42 sind so aneinander angeordnet, dass die einzelnen Hologramme spiegelsymmetrisch zueinander angeordnet sind. In der gezeigten Variante sind die mit rotem Licht aufgenommenen Hologramme 51 unmittelbar zueinander benachbart angeordnet. Das erste holographische Element 41 und das zweite holographische Element 42 können unmittelbar aneinander anliegen oder in einem vernachlässigbaren Abstand zueinander angeordnet sein, vorzugweise in einem Abstand von weniger als 1 Millimeter.

In den Figuren 9 und 10 sind die einfallenden Lichtwellen in Form von Strahlen durch Pfeile mit der Bezugsziffer 49 gekennzeichnet und der Strahlengang des die holographische Anordnung 24 verlassenden Lichts durch Pfeile mit der Bezugsziffer 50 gekennzeichnet. Die einzelnen, sich voneinander unterscheidenden Hologramme 51, 52 und 53 der einzelnen holographischen Elemente 41 und 42 sind in der in der Figur 9 gezeigten Variante in Bezug auf eine Mittellinie bzw. Mittelachse 43, bei welcher es sich um eine optische Achse handeln kann, entlang dieser hintereinander angeordnet. Es können auch einzelne, sich voneinander unterscheidende Hologramme 51, 52 und 53 der einzelnen holographischen Elemente 41 und 42 in Bezug auf eine Mittellinie bzw. Mittelachse 43 lateral zueinander angeordnet sein.

Die Figur 10 zeigt eine weitere Ausführungsvariante eines erfindungsgemäßen Wellenfrontmanipulators 24. Abweichend von der in der Figur 9 gezeigten Variante umfassen das erste holographische Element 41 und das zweite holographische Element 42 jeweils nur ein Hologramm, welches jedoch jeweils mit Licht einer Anzahl an unterschiedlichen Wellenlängen aufgenommen ist. In der gezeigten Variante handelt es sich beispielhaft um zwei RGB-Hologramme. Die Hologramme weisen zum Beispiel mit rotem Licht erzeugte Hologrammgitterstrukturen, mit grünem Licht aufgenommene Hologrammgitterstrukturen und mit blauem Licht aufgenommene Hologrammgitterstrukturen auf.

Die Figur 11 zeigt schematisch den Strahlengang innerhalb der holographischen Anordnung 24. Zur Veranschaulichung sind dabei das erste holographische Element 41 und das zweite holographische Element 42 in einem Abstand zueinander angeordnet. Dies dient jedoch lediglich der Illustration des Strahlenganges. Das einfallende Licht 49 wird dabei wellenlängenspezifisch für bestimmte Einfallswinkelbereiche an den einzelnen Hologrammen 51-53 oder den Hologrammgitterstrukturen 51-53 reflektiert, also blaues Licht mit einem bestimmten Einfallswinkel an den mit blauem Licht aufgenommenen Hologrammen 53, grünes Licht eines bestimmten Einfallswinkelbereichs an den mit grünem Licht aufgenommenen Hologrammen 52 und rotes Licht entsprechend an den mit rotem Licht aufgenommenen Hologrammen 51. In der gezeigten Variante transmittiert einfallendes Licht 49 zunächst das zweite holographische Element 42 und wird an dem ersten holographischen Element 41 reflektiert. Das durch das erste holographische Element 41 reflektierte Licht 48 wird an dem zweiten holographischen Element 42 reflektiert und bildet die die holografische Anordnung verlassende Wellenfront 50.

Das erste holographische Element 41 ist so ausgestaltet, dass es eine Kugelwelle in eine ebene Welle transformiert. Dadurch hat das holographische Element 24 eine große Brechkraft, ohne das Volumen und damit den erforderlichen Bauraum zu vergrößern. Weiterhin verringert sich der Strahlquerschnitt auf dem Spiegel, wodurch sowohl die Größe als auch die Brechkraft des Spiegels reduziert werden kann. Dieses ist zudem vorteilhaft, da die Brechkräfte im System besser verteilt werden können und dieses toleranzunempfindlicher wird. Die übertragende Wellenfront 48 ist vorzugsweise eben. Dadurch wird die Filterwirkung zwischen den Wellenlängen minimiert. Zudem entspannt dieses die Positioniergenauigkeit der holographischen Elemente 41 und 42 in lateraler Richtung zueinander. Im Vergleich zu traditionellen Komponenten, wirkt das erste holographische Element 41 wie ein Konkav-Spiegel und das zweiten holographische Element 42 wie ein Plan-Spiegel. Insgesamt hat die holographischen Anordnung 24, insbesondere das Hologramm-Stack bestehend aus dem ersten

holographische Element 41 und dem zweiten holographische Element 42, die Funktion einer Positivlinse, aber mit minimalem Volumen.

Bezugszeichenliste:

1	bildgebende Einheit
2	abzugebende Bildinformation
3	optisches Element mit Freiformfläche
4	holographische Anordnung
5	Projektionsoberfläche
6	Strahlengang
7	Wellenfrontmanipulator
8	virtuelle Abbildung, Bildebene
9	Eyebox
10	Head-up-Display
11	optische Anordnung
12	Linse
13	optische Achse
14	Objekt
15	Abbildung
16	Strahlengang1
17	Objekt
18	virtuelle Abbildung, Bildebene
19	Abbildung
20	Freiformspiegel
22	bildgebende Vorrichtung
23	Wellenfrontmanipulator
24	holographische Anordnung
25	optisches Element mit Freiformfläche
26	bildgebende Einheit
27	bildgebende Einheit
28	erster Bereich
29	zweiter Bereich
30	Freiformspiegel
31	Strahlengang
32	Strahlengang
33	Strahlengang

34	erste holographische Anordnung
35	zweite holographische Anordnung
41	erstes holographisches Element
42	zweites holographisches Element
43	Mittellinie
48	Strahlengang
49	Strahlengang
50	Strahlengang
51	mit rotem Licht aufgenommenes Hologramm
52	mit grünem Licht aufgenommenes Hologramm
53	mit blauem Licht aufgenommenes Hologramm
s1	Objektweite
s2	Objektweite
s1‘	Bildweite
s2‘	Bildweite

Patentansprüche

1. Optische Anordnung (11) für ein Head-up-Display (10) an einer Projektionsoberfläche (5), welche eine bildgebende Vorrichtung (22), welche mindestens eine bildgebende Einheit (26, 27) umfasst, und mindestens einen im Strahlengang zwischen der bildgebenden Vorrichtung (22) und der Projektionsoberfläche (5) angeordneten Wellenfrontmanipulator (23) umfasst
dadurch gekennzeichnet, dass
die optische Anordnung (11) dazu ausgelegt ist, virtuelle Abbildungen (8, 18) in mindestens zwei unterschiedlichen Bildebenen zu generieren, wobei die bildgebende Vorrichtung (22) mindestens einen ersten Bereich (26, 28) und einen zweiten Bereich (27, 29) aufweist, wobei die bildgebende Vorrichtung (22) und der Wellenfrontmanipulator (23) in Kombination miteinander dazu ausgelegt sind, aus in dem ersten Bereich (26, 28) der bildgebenden Vorrichtung (22) generierten Bildern virtuelle Abbildungen (8) in einer ersten Bildebene zu generieren und aus in dem zweiten Bereich (27, 29) der bildgebenden Vorrichtung (22) generierten Bildern virtuelle Abbildungen (18) in einer zweiten Bildebene zu generieren.

2. Optische Anordnung (11) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der erste Bereich (28) und der zweite Bereich (29) der bildgebenden Vorrichtung (22) eine gemeinsame Bildgeberebene aufweisen oder der erste Bereich (26) der bildgebenden Vorrichtung (22) eine erste Bildgeberebene aufweist und der zweite Bereich (27) der bildgebenden Vorrichtung (22) eine zweite Bildgeberebene aufweist, wobei sich die erste Bildgeberebene und die zweite Bildgeberebene voneinander unterscheiden.

3. Optische Anordnung (11) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der mindestens eine Wellenfrontmanipulator (23) mindestens eine holographische Anordnung (24) und/oder mindestens ein optisches Element (25), welches eine Freiformfläche aufweist, umfasst.

4. Optische Anordnung (11) nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
die mindestens eine holographische Anordnung (24) für die Beugung von Licht einer Mehrzahl an Wellenlängen ausgelegt ist.

5. Optische Anordnung (11) nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Wellenfrontmanipulator (23) mindestens eine erste holographische Anordnung (34) und eine zweite holographische Anordnung (35) umfasst, wobei die erste holographische Anordnung (34) dazu ausgelegt ist, aus in dem ersten Bereich (28) der bildgebenden Vorrichtung (22) generierten Bildern virtuelle Abbildungen (8) in der ersten Bildebene zu generieren, und die zweite holographische Anordnung (35) dazu ausgelegt ist, aus in dem zweiten Bereich (29) der bildgebenden Vorrichtung generierten Bildern virtuelle Abbildungen (18) in der zweiten Bildebene zu generieren.

6. Optische Anordnung (11) nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die erste holographische Anordnung (34) für die Beugung von Licht mindestens einer ersten Wellenlänge ausgelegt ist und die zweite holographische Anordnung (35) für die Beugung von Licht mindestens einer zweiten Wellenlänge ausgelegt ist, wobei die Differenz der ersten und der zweiten Wellenlänge einen festgelegten Grenzwert überschreitet.

7. Optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 3 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die holographische Anordnung (24) und/oder das mindestens eine optische Element (25) reflektiv und/oder transmissiv ausgestaltet sind.

8. Optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 3 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
die holographische Anordnung (24) mindestens zwei holographische Elemente (41, 42) umfasst, welche im Strahlengang (48, 49, 50) unmittelbar hintereinander angeordnet sind.

9. Optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 3 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die holographische Anordnung (24) mindestens zwei holographische Elemente (41, 42) umfasst, welche für mindestens eine festgelegte Wellenlänge und einen festgelegten Einstrahlwinkelbereich reflektiv ausgestaltet sind.

10. Optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 3 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die holographische Anordnung (24) mindestens zwei holographische Elemente (41, 42) umfasst, wobei mindestens ein holographisches Element (41, 42) mehrere Hologramme (51, 52, 53) umfasst, welche als Stapel aufeinander angeordnet sind, oder mindestens ein holographisches Element (41, 42) mindestens ein Hologramm (51, 52, 53) umfasst, welches mit mindestens zwei festgelegten Wellenlängen aufgenommen ist.

11. Optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Wellenfrontmanipulator (23) dazu ausgelegt ist, die Abbildungen der verschiedenen Bildebenen spektral zu trennen oder durch Erzeugen von unterschiedlichen Polarisationszuständen für die verschiedenen Bildebenen zu trennen.

12. Optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
die bildgebende Vorrichtung (22) eine Mehrzahl an bildgebenden Einheiten (26, 27) umfasst.

13. Optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Wellenfrontmanipulator (23) eine Mehrzahl an holographischen Anordnungen (34, 35) umfasst, welche jeweils zum Generieren von virtuellen Abbildungen (8, 18) in einer festgelegten Bildebene ausgelegt sind.

14. Optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellenfrontmanipulator (23) eine Mehrzahl an optischen Elementen (20, 25, 30) umfasst, welche eine Freiformfläche aufweisen und welche jeweils zum Generieren von virtuellen Abbildungen in mindestens einer festgelegten Bildebene ausgelegt sind.

15. Head-up-Display (10), welches eine Projektionsoberfläche (5) umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass das Head-up-Display (10) eine optische Anordnung (11) nach einem der Ansprüche 1 bis 14 umfasst.

16. Head-up-Display (10) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Projektionsoberfläche (5) eine Oberfläche einer Windschutzscheibe eines Fahrzeugs oder ein Sichtfenster handelt.

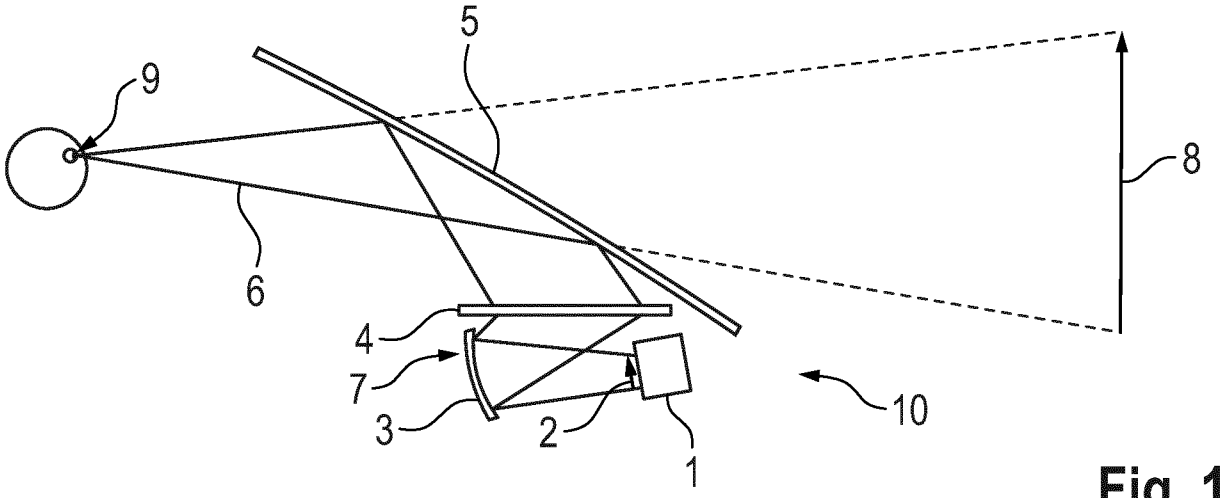

Fig. 1

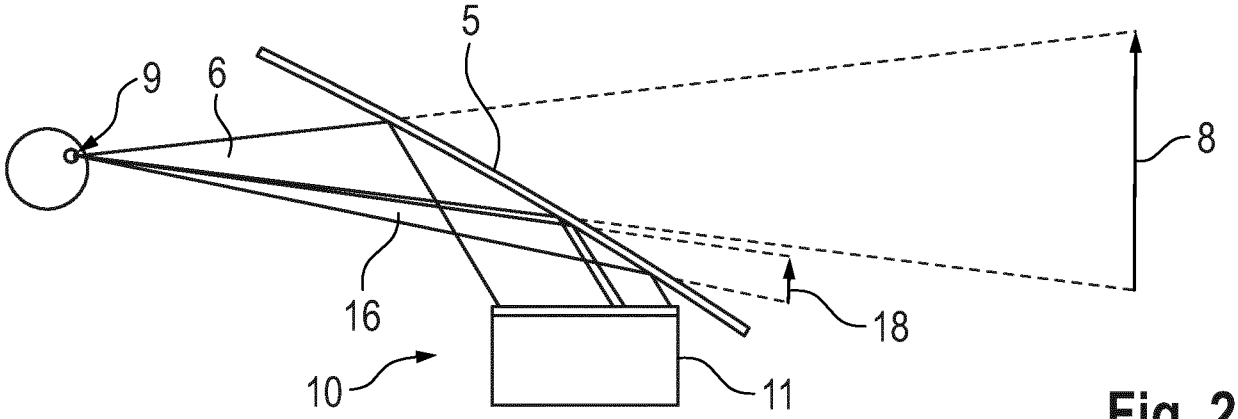

Fig. 2

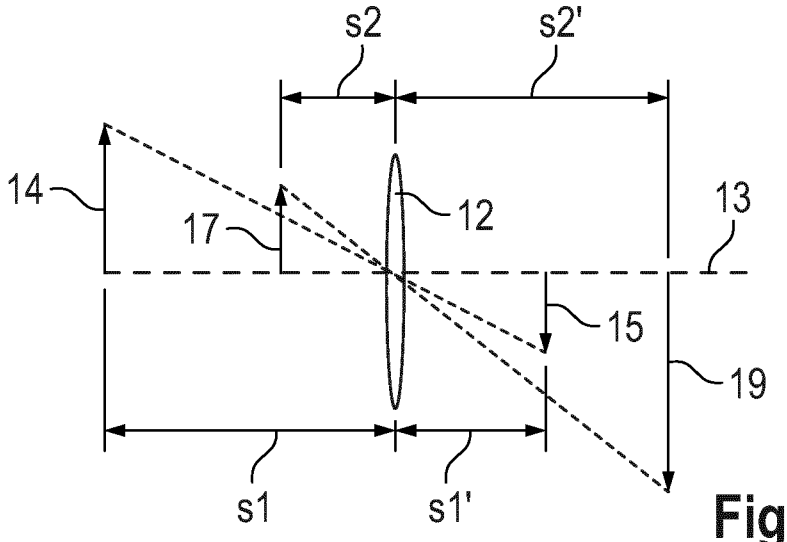

Fig. 3

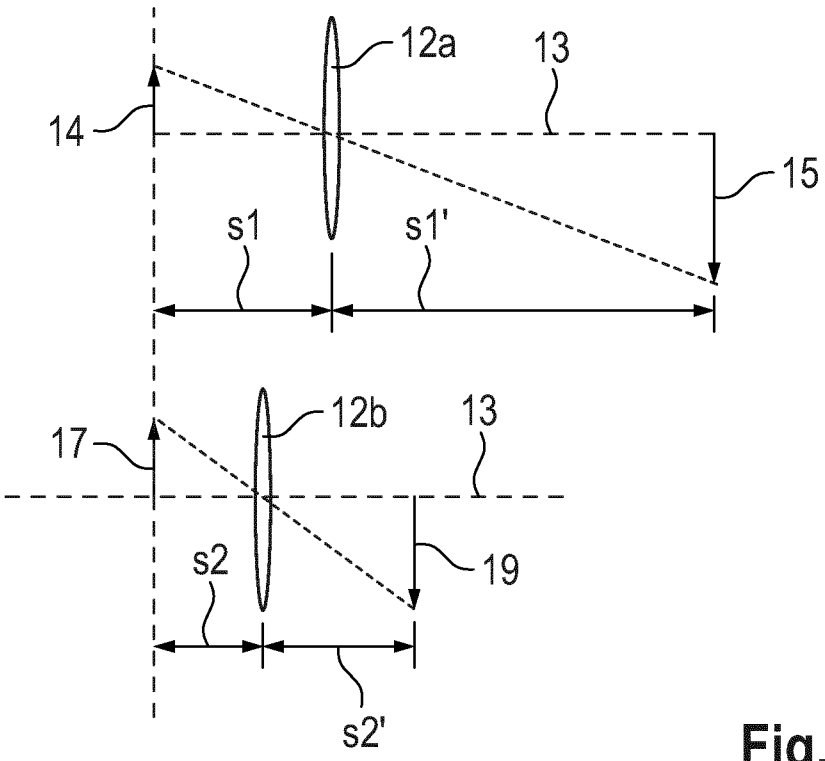

Fig. 4

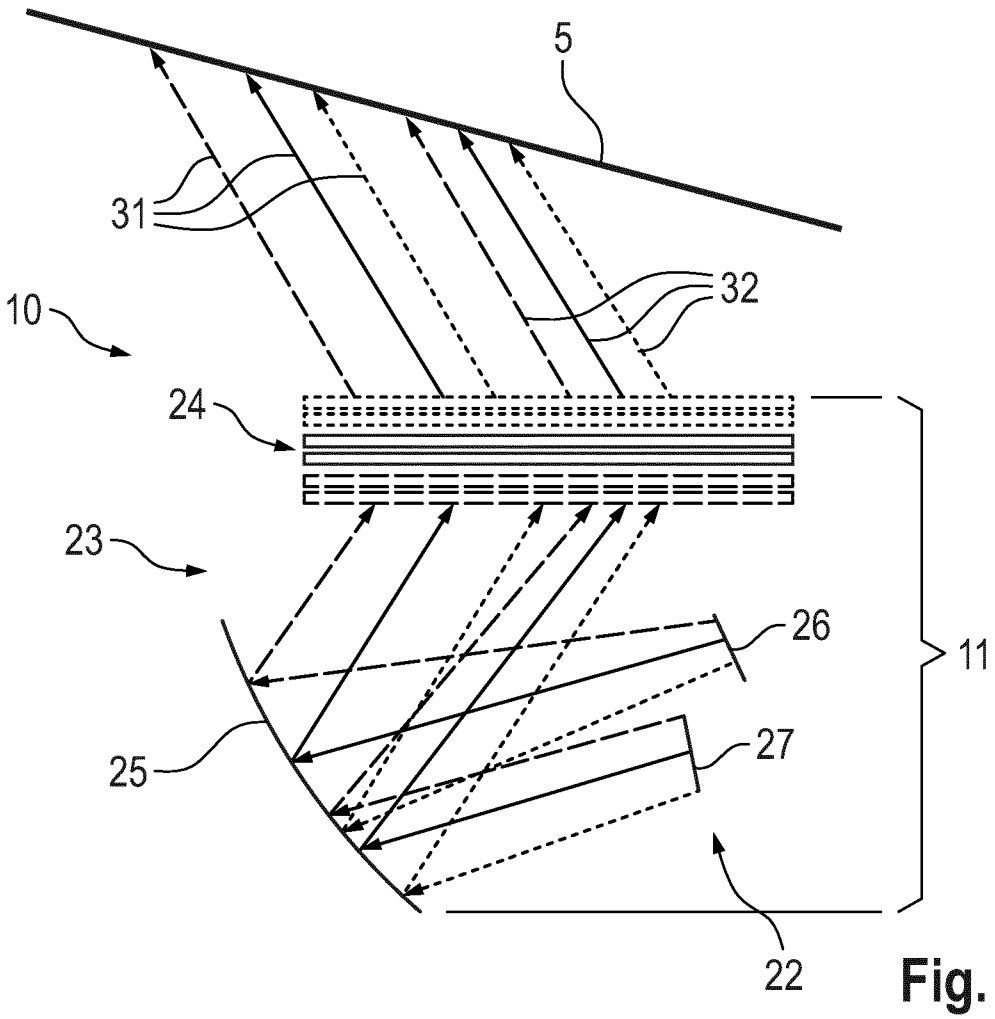

Fig. 5

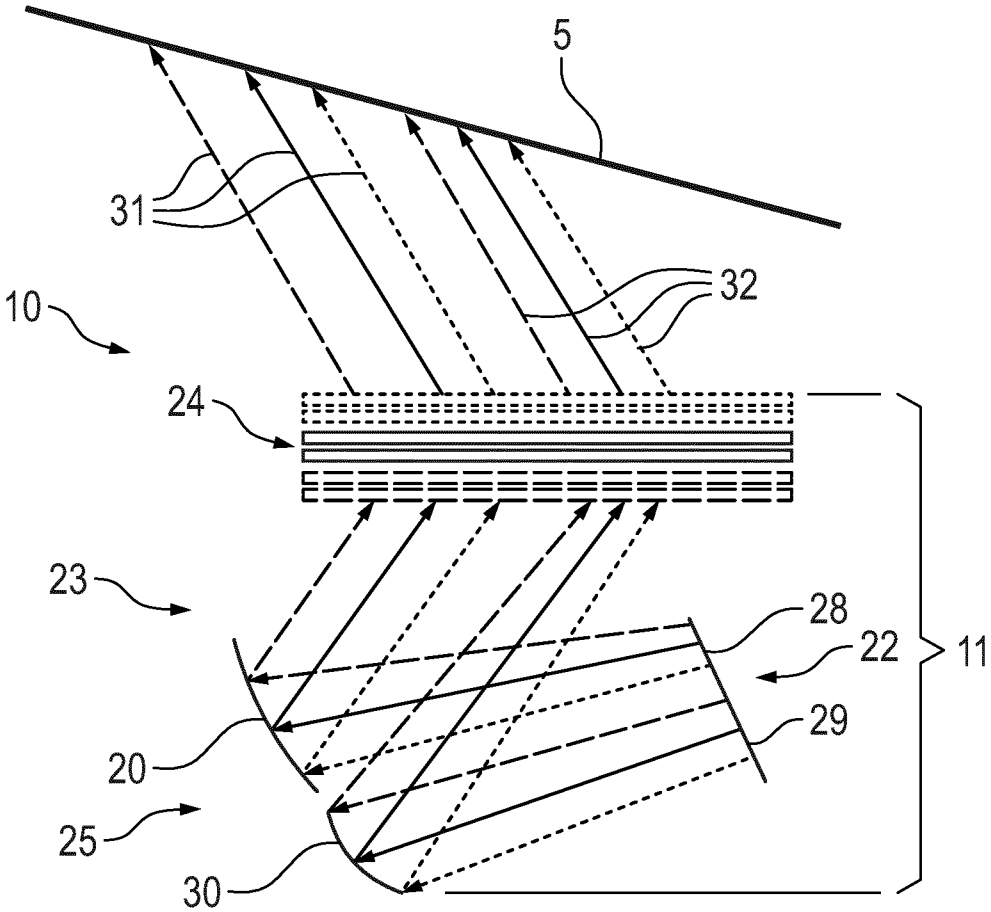

Fig. 6

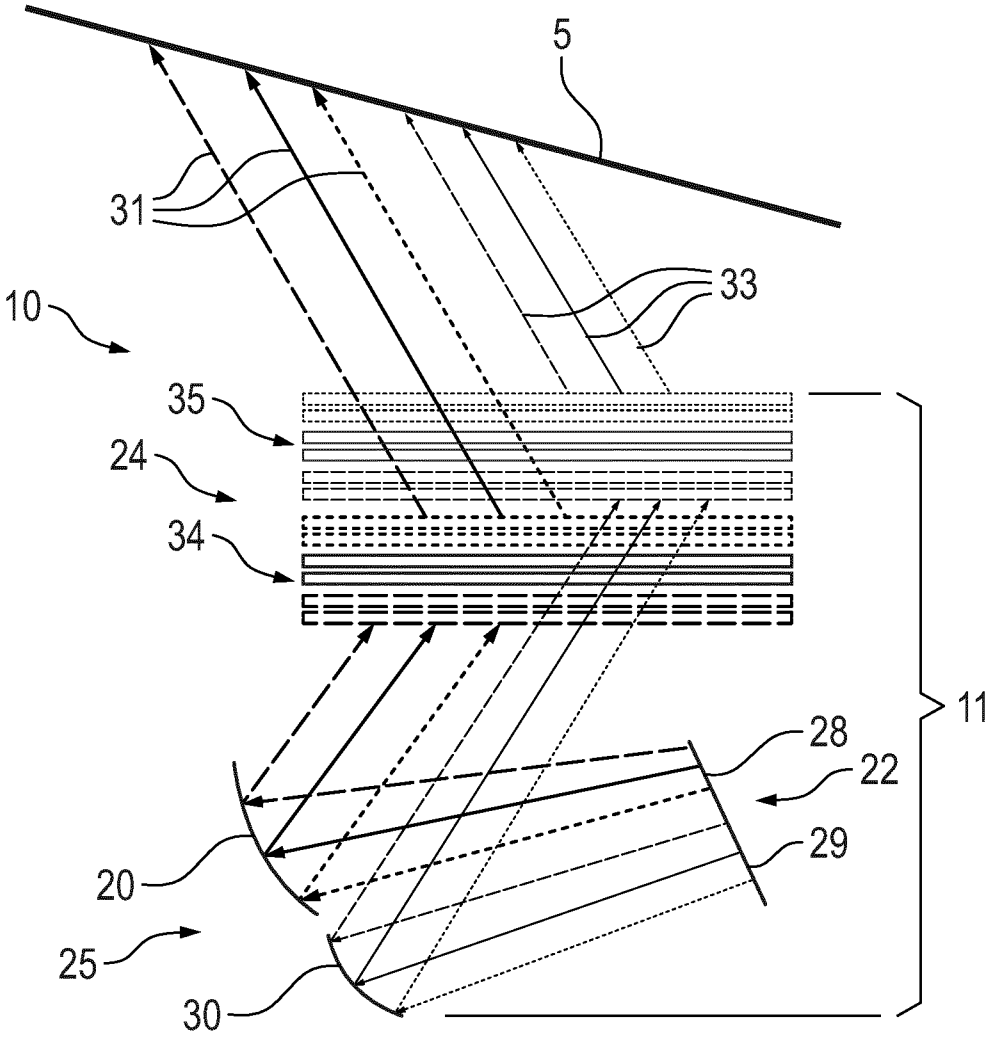

Fig. 7

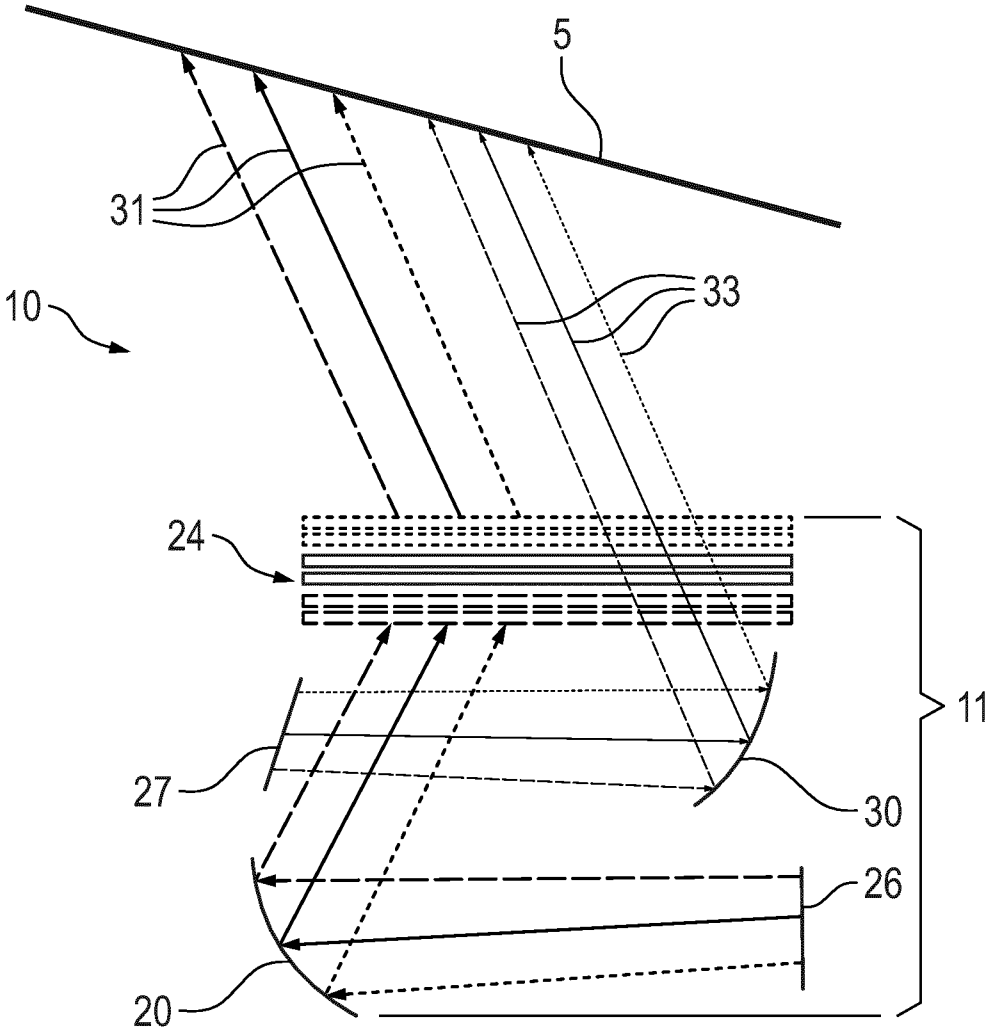

Fig. 8

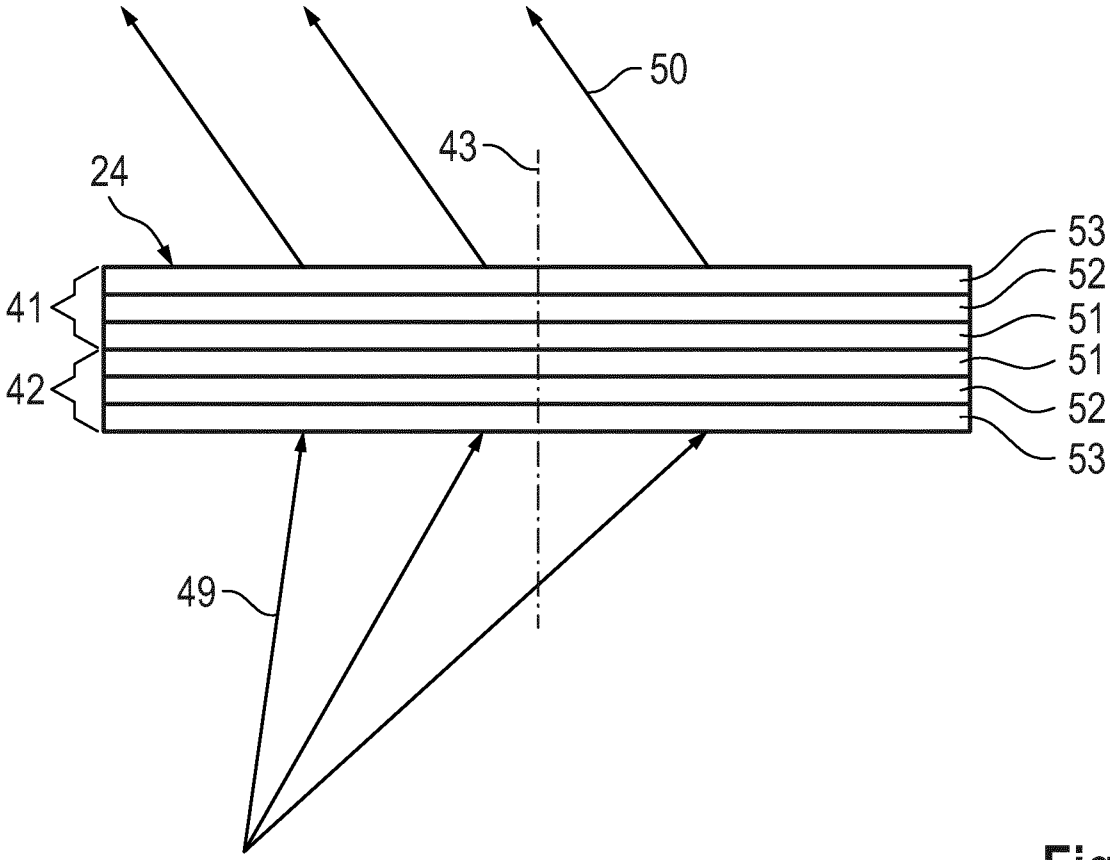

Fig. 9

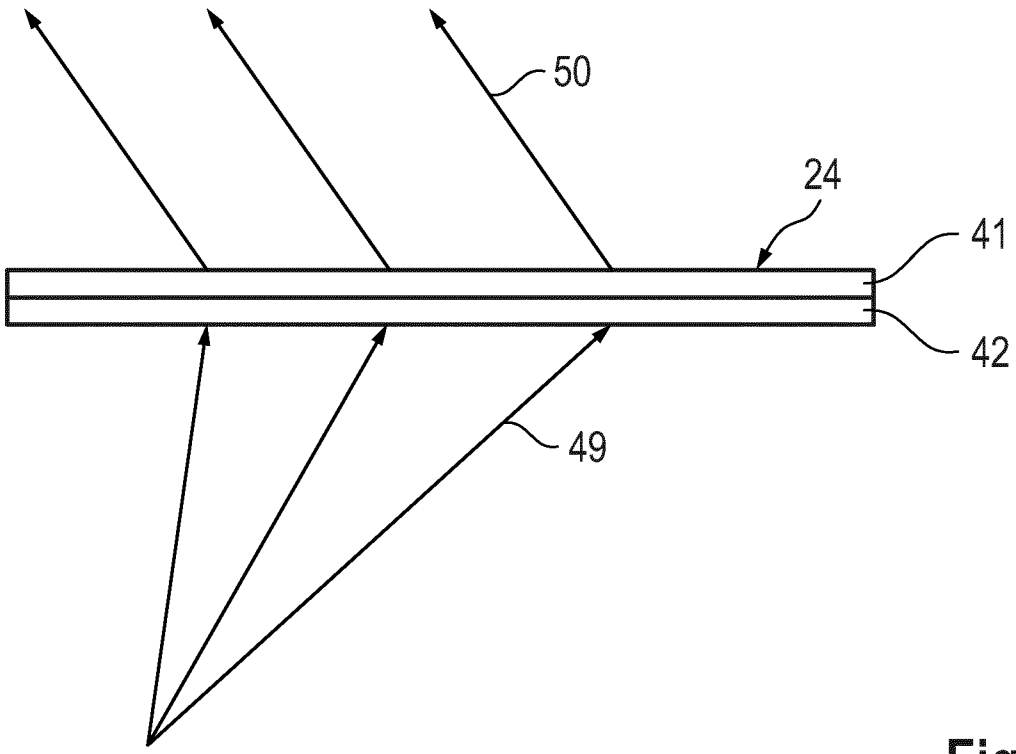

Fig. 10

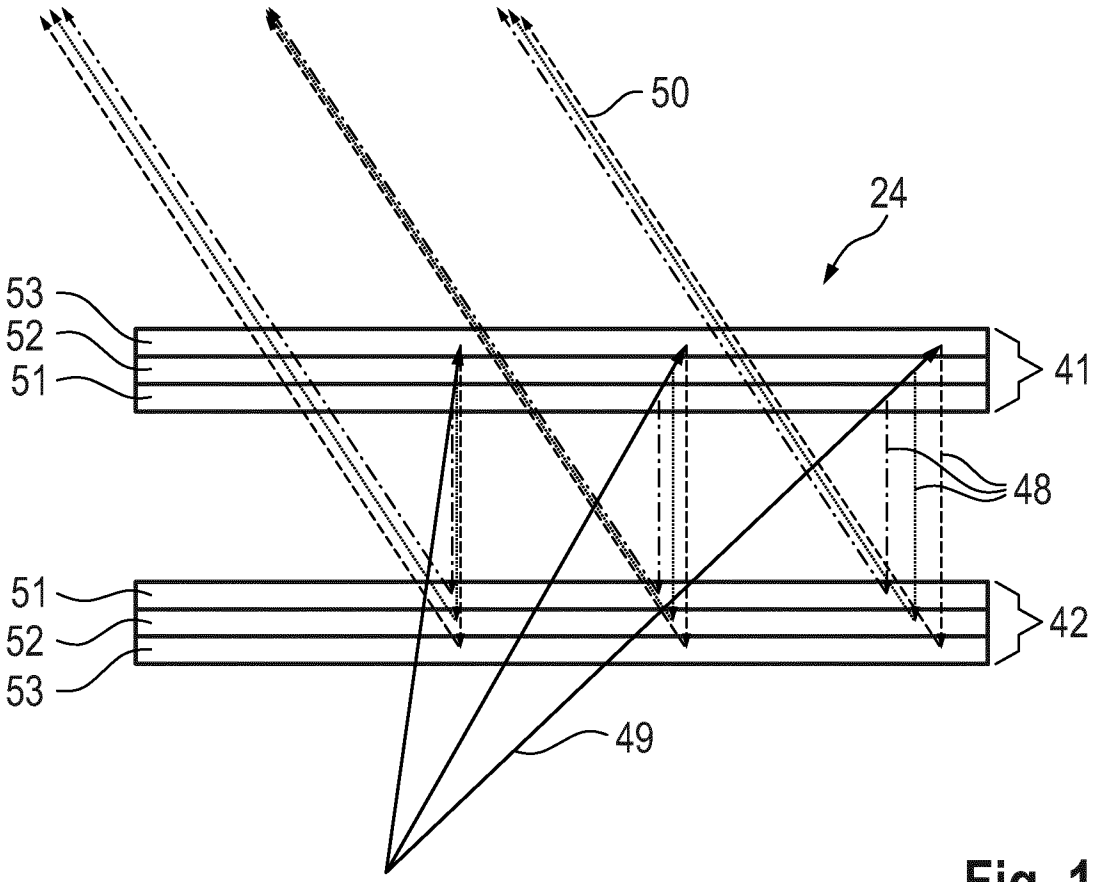

Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2022/066787

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 5/32(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 112017006376 T5 (DENSO CORP [JP]) 05 September 2019 (2019-09-05)	1-3,7,12,15,16
Y	figure 1	3,4,8,9
X	EP 3557307 A1 (ALPS ALPINE CO LTD [JP]) 23 October 2019 (2019-10-23)	1,2,7,15,16
Y	figure 3	3,4,8,9,13
X	US 2018314063 A1 (YATSU MASAHIKO [JP] ET AL) 01 November 2018 (2018-11-01)	1-3,7,15,16
Y	figures 2, 3	3,4,8,9
X	US 2019317322 A1 (HAYAKAWA YUICHIRO [JP] ET AL) 17 October 2019 (2019-10-17)	1-3,7,12,15,16
Y	figure 1	3,4,8,9
X	US 2019265468 A1 (HIRATA KOJI [JP] ET AL) 29 August 2019 (2019-08-29)	1-3,7,15,16
Y	figure 1	3,4,8,9
X	US 2020018977 A1 (QIN ZONG [TW] ET AL) 16 January 2020 (2020-01-16)	1,2,7,15,16
Y	figure 2	3,4,8,9
X	GB 2576738 A (ENVISICS LTD [GB]) 04 March 2020 (2020-03-04)	1-3,7,11,14-16
Y	figure 6	3-6,8-10,13

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
08 September 2022	**19 September 2022**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands**	**Serbin, Jesper**
Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 102017222621 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 13 June 2019 (2019-06-13) figures 6, 8	3,4,13
Y	DE 102017212445 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24 January 2019 (2019-01-24) figures 3, 4	3,13
Y	DE 102007022247 A1 (HOLOGRAM IND RES GMBH [DE]) 22 November 2007 (2007-11-22) figure 1	3,8-10,13
Y	DE 102017212451 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24 January 2019 (2019-01-24) paragraphs [0037] - [0038]; figure 6	3-6,13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2022/066787

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 112017006376 T5	05 September 2019	DE 112017006376 T5	05 September 2019
		JP 6601438 B2	06 November 2019
		JP 2018136420 A	30 August 2018
		US 2019361234 A1	28 November 2019
		WO 2018154956 A1	30 August 2018
EP 3557307 A1	23 October 2019	CN 110073271 A	30 July 2019
		EP 3557307 A1	23 October 2019
		JP 6676782 B2	08 April 2020
		JP WO2018109902 A1	24 October 2019
		US 2019265582 A1	29 August 2019
		US 2021232028 A1	29 July 2021
		WO 2018109902 A1	21 June 2018
US 2018314063 A1	01 November 2018	CN 108351517 A	31 July 2018
		JP 6749334 B2	02 September 2020
		JP WO2017061039 A1	16 August 2018
		US 2018314063 A1	01 November 2018
		WO 2017061039 A1	13 April 2017
US 2019317322 A1	17 October 2019	DE 112017006990 T5	17 October 2019
		JP 6601431 B2	06 November 2019
		JP 2018124508 A	09 August 2018
		US 2019317322 A1	17 October 2019
		WO 2018142806 A1	09 August 2018
US 2019265468 A1	29 August 2019	CN 108139584 A	08 June 2018
		CN 111752046 A	09 October 2020
		JP 6726674 B2	22 July 2020
		JP WO2017064797 A1	06 September 2018
		US 2019265468 A1	29 August 2019
		WO 2017064797 A1	20 April 2017
US 2020018977 A1	16 January 2020	NONE	
GB 2576738 A	04 March 2020	CN 112204433 A	08 January 2021
		EP 3788417 A1	10 March 2021
		GB 2576738 A	04 March 2020
		KR 20200141500 A	18 December 2020
		US 2021191132 A1	24 June 2021
		US 2022244550 A1	04 August 2022
		WO 2020043598 A1	05 March 2020
DE 102017222621 A1	13 June 2019	NONE	
DE 102017212445 A1	24 January 2019	NONE	
DE 102007022247 A1	22 November 2007	NONE	
DE 102017212451 A1	24 January 2019	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2022/066787

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G02B5/32
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G02B

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

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 11 2017 006376 T5 (DENSO CORP [JP]) 5. September 2019 (2019-09-05)	1-3,7, 12,15,16
Y	Abbildung 1	3,4,8,9

X	EP 3 557 307 A1 (ALPS ALPINE CO LTD [JP]) 23. Oktober 2019 (2019-10-23)	1,2,7, 15,16
Y	Abbildung 3	3,4,8,9, 13

X	US 2018/314063 A1 (YATSU MASAHIKO [JP] ET AL) 1. November 2018 (2018-11-01)	1-3,7, 15,16
Y	Abbildungen 2, 3	3,4,8,9

X	US 2019/317322 A1 (HAYAKAWA YUICHIRO [JP] ET AL) 17. Oktober 2019 (2019-10-17)	1-3,7, 12,15,16
Y	Abbildung 1	3,4,8,9

	-/--	

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

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
8. September 2022	19/09/2022

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Serbin, Jesper

1

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2022/066787

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2019/265468 A1 (HIRATA KOJI [JP] ET AL) 29. August 2019 (2019-08-29)	1-3,7, 15,16
Y	Abbildung 1	3,4,8,9

X	US 2020/018977 A1 (QIN ZONG [TW] ET AL) 16. Januar 2020 (2020-01-16)	1,2,7, 15,16
Y	Abbildung 2	3,4,8,9

X	GB 2 576 738 A (ENVISICS LTD [GB]) 4. März 2020 (2020-03-04)	1-3,7, 11,14-16
Y	Abbildung 6	3-6, 8-10,13

Y	DE 10 2017 222621 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 13. Juni 2019 (2019-06-13) Abbildungen 6, 8	3,4,13

Y	DE 10 2017 212445 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24. Januar 2019 (2019-01-24) Abbildungen 3, 4	3,13

Y	DE 10 2007 022247 A1 (HOLOGRAM IND RES GMBH [DE]) 22. November 2007 (2007-11-22) Abbildung 1	3,8-10, 13

Y	DE 10 2017 212451 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24. Januar 2019 (2019-01-24) Absätze [0037] - [0038]; Abbildung 6	3-6,13

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2022/066787

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 112017006376 T5	05-09-2019	DE 112017006376 T5	05-09-2019
		JP 6601438 B2	06-11-2019
		JP 2018136420 A	30-08-2018
		US 2019361234 A1	28-11-2019
		WO 2018154956 A1	30-08-2018
EP 3557307 A1	23-10-2019	CN 110073271 A	30-07-2019
		EP 3557307 A1	23-10-2019
		JP 6676782 B2	08-04-2020
		JP WO2018109902 A1	24-10-2019
		US 2019265582 A1	29-08-2019
		US 2021232028 A1	29-07-2021
		WO 2018109902 A1	21-06-2018
US 2018314063 A1	01-11-2018	CN 108351517 A	31-07-2018
		JP 6749334 B2	02-09-2020
		JP WO2017061039 A1	16-08-2018
		US 2018314063 A1	01-11-2018
		WO 2017061039 A1	13-04-2017
US 2019317322 A1	17-10-2019	DE 112017006990 T5	17-10-2019
		JP 6601431 B2	06-11-2019
		JP 2018124508 A	09-08-2018
		US 2019317322 A1	17-10-2019
		WO 2018142806 A1	09-08-2018
US 2019265468 A1	29-08-2019	CN 108139584 A	08-06-2018
		CN 111752046 A	09-10-2020
		JP 6726674 B2	22-07-2020
		JP WO2017064797 A1	06-09-2018
		US 2019265468 A1	29-08-2019
		WO 2017064797 A1	20-04-2017
US 2020018977 A1	16-01-2020	KEINE	
GB 2576738 A	04-03-2020	CN 112204433 A	08-01-2021
		EP 3788417 A1	10-03-2021
		GB 2576738 A	04-03-2020
		KR 20200141500 A	18-12-2020
		US 2021191132 A1	24-06-2021
		US 2022244550 A1	04-08-2022
		WO 2020043598 A1	05-03-2020
DE 102017222621 A1	13-06-2019	KEINE	
DE 102017212445 A1	24-01-2019	KEINE	
DE 102007022247 A1	22-11-2007	KEINE	
DE 102017212451 A1	24-01-2019	KEINE	