

(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  
05. März 2020 (05.03.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/043352 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
G02B 27/01 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP20 19/067274

(22) Internationales Anmeldedatum:  
28. Juni 2019 (28.06.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
18191436.7 29. August 2018 (29.08.2018) EP

(71) Anmelder: SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE  
[FR/FR]; 18, avenue d'Alsace, 92400 Courbevoie (FR).

(72) Erfinder: ARNDT, Martin; Beverstr. 6, 52066 Aachen (DE). CAPPUCILLI, Michele; Triererstr. 86, 52156

Monschau (DE). BABAJANI, Ninet; Ludwigsallee 49, 52062 Aachen (DE).

(74) Anwalt: FEIST, Florian, Arno; Saint-Gobain Sekurit Deutschland GmbH & Co. KG, Glasstr. 1, 52134 Herzogenrath (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, IR, IS, 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, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: TESTING DEVICE FOR HEAD-UP DISPLAY (HUD)

(54) Bezeichnung: PRÜFVORRICHTUNG FÜR EIN HEAD-UP-DISPLAY (HUD)

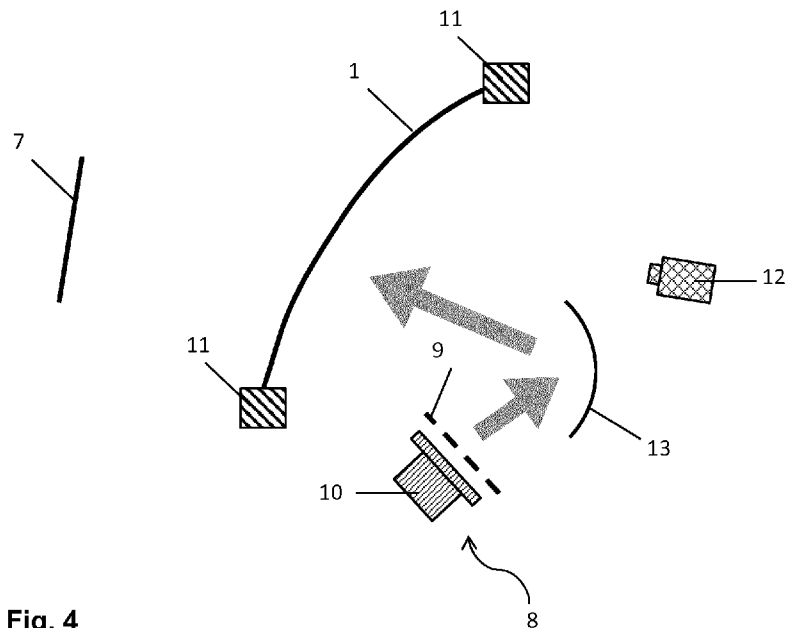


Fig. 4

(57) Abstract: The present invention relates to a testing device for a head-up display (HUD), comprising at least - an imaging unit (8), - an optical element (13), which is suitable for diverting the radiation from the imaging unit (8) in the direction of a windscreen (1) and thereby irradiating an HUD area (B) of the windscreen (1) in order to generate a virtual image (7), - a positioning device (11), which is suitable for fixing the windscreen (1) in a defined arrangement with respect to the optical element (13), and - a camera unit (12), which is suitable for capturing the virtual image (7) through the windscreen (1) from different eye positions, the optical element (13) being configured such that the entire virtual image (7) lies within the depth of field range (Ad) of the camera unit (12).



WO 2020/043352 A1

(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).

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Prüfvorrichtung für ein Head-Up-Display (HUD), mindestens umfassend - eine bildgebende Einheit (8), - ein optisches Element (13), das geeignet ist, die Strahlung der bildgebenden Einheit (8) in Richtung einer Windschutzscheibe (1) umzulenken und dadurch einen HUD-Bereich (B) der Windschutzscheibe (1) zu bestrahlen, um ein virtuelles Bild (7) zu erzeugen, - eine Positionierungsvorrichtung (11), die geeignet ist, die Windschutzscheibe (1) in einer definierten Anordnung zum optischen Element (13) zu fixieren, und - eine Kameraeinheit (12), die geeignet ist, das virtuelle Bild (7) durch die Windschutzscheibe (1) hindurch aus verschiedenen Augpositionen aufzunehmen, wobei das optische Element (13) derart ausgelegt ist, dass das gesamte virtuelle Bild (7) innerhalb des Tiefenschärfebereichs (Ad) der Kameraeinheit (12) liegt.

## Prüfvorrichtung für ein Head-Up-Display (HUD)

Die Erfindung betrifft eine Prüfvorrichtung für ein Head-Up-Display (HUD), insbesondere für ein kontaktanaloges HUD, ein Verfahren zur Prüfung eines solchen HUD sowie die  
5 Verwendung eines optischen Elements bei einer solchen Prüfung.

Moderne Automobile werden in zunehmendem Maße mit sogenannten Head-Up-Displays (HUDs) ausgestattet. Mit einem Projektor, beispielsweise im Bereich des Armaturenbretts oder im Dachbereich, werden Bilder auf die Windschutzscheibe projiziert, dort reflektiert und  
10 vom Fahrer als virtuelles Bild (von ihm aus gesehen) hinter der Windschutzscheibe wahrgenommen. So können wichtige Informationen in das Blickfeld des Fahrers projiziert werden, beispielsweise die aktuelle Fahrgeschwindigkeit, Navigations- oder Warnhinweise, die der Fahrer wahrnehmen kann, ohne seinen Blick von der Fahrbahn wenden zu müssen. Head-Up-Displays können so wesentlich zur Steigerung der Verkehrssicherheit beitragen. Die  
15 Projektionsdistanz (Abstand zwischen virtuellem Bild und Fahrer) eines klassischen HUD zur Anzeige statischer Informationen beträgt typischerweise etwa 2 m.

Eine neuere Variante des HUD wird als kontaktanaloges HUD oder *Augmented Reality* HUD bezeichnet. Diese HUDs zeichnen sich durch einen größeren HUD-Bereich (Projektionsfläche  
20 auf der Scheibe) und eine deutlich größere Projektionsdistanz aus von mindestens 5 m, typischerweise sogar über 7 m. Kontaktanaloge HUDs eröffnen die Möglichkeit, nicht mehr nur abzulesende Informationen statisch auf die Scheibe zu projizieren, sondern die optische Information zur Kennzeichnung von Elementen der realen Fahrzeugumgebung zu verwenden  
- beispielhafte Anwendungen sind die optische Markierung von Fahrbahnbegrenzungen, das  
25 optische Hervorheben von Fußgängern am Straßenrand, Navigationshinweise direkt auf der Fahrbahn oder die Markierung von Fahrzeugen, die vom Fahrassistenzsystem erkannt worden sind. Die größere Projektionsdistanz wird durch eine größere optische Weglänge der Strahlen innerhalb des Projektors erzeugt, etwa durch zusätzliche Spiegel und eines größeres Volumen. Kontaktanaloge HUDs sind beispielsweise bekannt aus DE102014001710A1 ,  
30 WO2014079567A1 , US2013249942A1 , US2014354692A1 , US201437581 6A1 und WO2013136374A1 .

Bei der Konzeption eines HUD ist es üblich, die optische Qualität der Abbildung in einer Prüfvorrichtung zu untersuchen. Dabei wird die Windschutzscheibe mit einer bildgebenden  
35 Einheit bestrahlt, wobei ein der HUD-Abbildung entsprechendes virtuelles Bild erzeugt wird, typischerweise in Form eines charakteristischen Musters an Punkten und Linien. Dieses Bild

wird durch die Windschutzscheibe hindurch mit einer Kameraeinheit aus einer Vielzahl möglicher Augpositionen eines Fahrers aufgenommen. Anhand der der Bilder kann dann das Auftreten von Verzerrungen, Verzeichnungen, Geisterbilder infolge von Mehrfachreflexionen und sonstiger optischer Effekte für verschiedene Augpositionen detailliert ausgewertet werden.

Infolge der gekrümmten Geometrie üblicher Windschutzscheiben und der damit verbundenen Bildfeldwölbung ist das virtuelle HUD-Bild nicht in einer Ebene angeordnet, sondern ebenfalls im Raum gekrümmt. Dies stellt bei der Prüfung herkömmlicher HUDs kein Problem dar, weil das Bild nur eine relativ kleine Ausdehnung aufweist und daher trotz der Krümmung insgesamt scharf mit der Kameraeinheit aufgenommen werden kann. Bei kontaktanalogen HUDs mit ihrer wesentlich ausgedehnteren Bildgröße kann die Bildkrümmung aber dazu führen, dass stets Teile des Bildes infolge der begrenzten Tiefenschärfe der Kameraeinheit unscharf dargestellt werden, was die Auswertung erschwert oder unmöglich macht. Weitere Abbildungsfehler ergeben sich aus dem Astigmatismus, da die Strahlung mit einem Winkel zur optischen Achse auf die Windschutzscheibe trifft.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Prüfvorrichtung für ein Head-Up-Display (HUD) bereitzustellen, welche insbesondere auch auf kontaktanaloge HUDs anwendbar ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Prüfvorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst. Bevorzugte Ausführungen gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Gattungsgemäße Prüfvorrichtungen umfassen mindestens eine bildgebende Einheit, eine Positionierungsvorrichtung und eine Kameraeinheit. Die erfindungsgemäße Prüfvorrichtung für ein Head-Up-Display (HUD) umfasst darüber hinaus ein optisches Element. Die bildgebende Einheit sendet Strahlung aus, um nach Reflexion an einer zu prüfenden Windschutzscheibe ein virtuelles Bild zu erzeugen, dessen Positionierung und Ausdehnung dem späteren HUD-Bild entspricht. Die Windschutzscheibe wird aber nicht direkt von der bildgebenden Einheit bestrahlt, sondern indirekt über das optische Element. Das optische Element ist geeignet und dafür vorgesehen, die Strahlung der bildgebenden Einheit in Richtung der Windschutzscheibe umzulenken und dadurch den HUD-Bereich der Windschutzscheibe zu bestrahlen, um das virtuelle Bild zu erzeugen. Die Positionierungsvorrichtung ist geeignet und dafür vorgesehen, die Windschutzscheibe in einer definierten Anordnung zum optischen Element und zur bildgebenden Einheit zu fixieren. Die

Windschutzscheibe soll dabei von der bildgebenden Einheit in der gleichen Weise bestrahlt werden wie später vom HUD-Projektor im Fahrzeug, damit das in der Prüfvorrichtung erzeugte Bild ein gutes Modell für die spätere HUD-Projektion ist. Die Strahlung der bildgebenden Einheit soll also im Wesentlichen mit gleichem Einstrahlwinkel und gleichem Öffnungswinkel auf den gleichen Bereich der Windschutzscheibe treffen wie später die Strahlung des HUD-Projektors. Die Kameraeinheit ist geeignet und dafür vorgesehen, das virtuelle Bild durch die Windschutzscheibe hindurch aus verschiedenen Augpositionen aufzunehmen. Als Augpositionen werden mögliche Positionierungen der Augen eines späteren Betrachters/Nutzers des HUD bezeichnet.

Durch das optische Element kann die Krümmung des virtuellen Bildes im Raum (Bildfeldwölbung) verringert werden, so dass das gesamte Bild von der Kameraeinheit scharf aufgenommen werden kann, was ein großer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist. Das optische Element ist dazu derart ausgelegt, dass das gesamte virtuelle Bild innerhalb des Tiefenschärfebereichs der Kameraeinheit liegt. Damit ist genauer gesagt gemeint, dass die Ausdehnung des Bildes entlang der optischen Achse (verlaufend zwischen Kameraeinheit und Zentrum des Bildes) kleiner oder gleich der Ausdehnung des Tiefenschärfebereichs der Kameraeinheit ist, so dass es möglich ist, die Kameraeinheit derart auf das Bild zu fokussieren, dass das gesamte Bild innerhalb dieses Tiefenschärfebereichs liegt und somit scharf dargestellt wird. Das Bild umfasst dabei streng genommen die Überlagerung von Hauptbild und Geisterbild, da beide scharf dargestellt werden sollen. Idealerweise ist das Hauptbild in einer einzigen Ebene angeordnet, auf welche die Kameraeinheit fokussiert werden kann. Eine leichte Abweichungen von dieser idealen Planarität, also eine leichte Restkrümmung des Bildes ist aber akzeptabel. Das Maß der akzeptablen Krümmung ist dabei von der verwendeten Kameraeinheit und ihrer Tiefenschärfe abhängig. Neben der Bildfeldwölbung kann auch ein Astigmatismus durch das erfindungsgemäße optische Element kompensiert werden.

Mit der Erfindung wird eine Verkürzung der Bildausdehnung bezweckt, die es erst ermöglicht, das komplette Bild innerhalb des Tiefenschärfebereichs der Kamera aufzunehmen. Dieses Problem tritt insbesondere im Zusammenhang mit kontaktanalogen HUDs auf. In einer bevorzugten Ausgestaltung würde daher das virtuelle Bild ohne Verwendung des optischen Elements nicht vollständig innerhalb des Tiefenschärfebereichs der Kameraeinheit liegen. Anders ausgedrückt ist die Ausdehnung des Bildes entlang der optischen Achse ohne Verwendung des optischen Elements größer als der Tiefenschärfebereich der Kameraeinheit.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass der Strahlengang durch das optische Element gleichsam geknickt wird, wodurch die Prüfvorrichtung deutlich platzsparender gestaltet werden kann, was insbesondere im Zusammenhang mit kontaktanalogen HUDs und ihren großen Projektionsdistanzen vorteilhaft ist.

5

Die Erfindung umfasst gleichermaßen ein Verfahren zur Prüfung eines HUD, umfassend mindestens die folgenden Verfahrensschritte:

(a) Positionierung einer Windschutzscheibe mit einem HUD-Bereich mittels einer Positionierungsvorrichtung in einer definierten Anordnung zu einem optischen Element,

10 (b) Bestrahlung des optischen Elements durch eine bildgebende Einheit, wobei die Strahlung durch das optische Element in Richtung der Windschutzscheibe umgelenkt wird und der HUD-Bereich bestrahlt wird, wobei ein virtuelles Bild erzeugt wird,

(c) Aufnahme des virtuellen Bildes mittels einer Kameraeinheit aus verschiedenen Augenpositionen,

15 wobei das optische Element (13) derart ausgelegt ist, dass das gesamte virtuelle Bild (7) innerhalb des Tiefenschärfebereichs (Ad) der Kameraeinheit (12) liegt.

Die Erfindung wird im Folgenden detailliert beschrieben, wobei sich bevorzugte Ausgestaltungen gleichermaßen auf die Vorrichtung und das Verfahren beziehen.

20

Das optische Element ist bevorzugt ein Spiegel, insbesondere ein gekrümmter Spiegel. Durch eine geeignete Gestaltung der Krümmung des Spiegels ist es möglich, die unerwünschte Bildfeldkrümmung des virtuellen Bildes zu kompensieren und auch einen etwaigen Astigmatismus. So kann sich beispielsweise der Krümmungsradius des Spiegels ausgehend vom Zentrum in Richtung des Randes ändern, um die Positionierung des durch die jeweiligen Spiegelbereiche erzeugten Anteile des Bildes zu beeinflussen. Bei der Konzeptionierung des Spiegels ist die Geometrie der zu prüfenden Scheibe entscheidend und auch die Position der Kameraeinheit zu berücksichtigen. Die erforderliche Gestaltung, insbesondere Krümmung des Spiegels kann durch fachüblichen Methoden bestimmt werden, beispielsweise unter Verwendung der bekannten Coddington-Gleichungen, insbesondere unter Anwendung sogenannter Raytracing-Verfahren. Das optische Element ist besonders bevorzugt ein hochpolierter Metallspiegel, die mit hoher Präzision gefertigt werden können. Alternativ sind aber auch andere optische Elemente denkbar, beispielsweise Linsen mit einem geeigneten Krümmungsprofil.

35

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist das optische Element, insbesondere wenn es als Spiegel ausgebildet ist, nicht drehbar, sondern statisch gelagert. Dadurch kann ein einfacherer und weniger fehleranfälliger Aufbau realisiert werden, der eine höhere Messgenauigkeit und eine schnellere Messung erlaubt. Das optische Element muss dann so ausgelegt sein, dass die gesamte Eyebbox simultan ausgeleuchtet wird. Dies unterscheidet das erfindungsgemäße optische Element insbesondere von einem Spiegel innerhalb eines HUD-Projektors, der nur ein begrenztes Eyebboxfenster bestrahlen kann und zur Abdeckung der gesamten Eyebbox gedreht werden muss.

Die erfindungsgemäße Prüfvorrichtung eignet sich besonders vorteilhaft zur Prüfung von kontaktanalogen HUDs (sogenannten *Augmented Reality Head-Up-Displays* (AR-HUD)). Diese weisen deutlich größere Projektionsdistanzen (Abstand zwischen Bild und Betrachter) auf als klassische HUDs und deutlich größere Projektionsbilder. Dadurch macht sich der Effekt der Krümmung des Projektionsbildes bei der Aufnahme desselben stärker bemerkbar, so dass es eventuell mit herkömmlichen Prüfvorrichtungen nicht möglich ist, das gesamte Bild scharf aufzunehmen, da sich Teile des Bildes außerhalb des Tiefenschärfebereichs der Kameraeinheit erstrecken. Dieser Effekt wird durch die erfindungsgemäße Vorrichtung verringert. Klassische HUDs weisen Projektionsdistanzen kleiner 3 m auf, während kontaktanaloge HUDs Projektionsdistanzen von (teilweise deutlich) über 3 m aufweisen. Das virtuelle Bild wird daher in einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung mit einer Projektionsdistanz von mehr als 3 m erzeugt, bevorzugt mehr als 4 m, besonders bevorzugt mehr als 5 m.

Eine Projektionsanordnung für ein Head-Up-Display (HUD) umfasst mindestens eine Fahrzeug-Windschutzscheibe (insbesondere eines Kraftfahrzeugs, beispielsweise eines Personenkraftwagens) und einen Projektor. Der Projektor bestrahlt einen Bereich der Windschutzscheibe, wo die Strahlung in Richtung des Betrachters (Fahrers) reflektiert wird, wodurch ein virtuelles Bild erzeugt wird, welches der im Fahrzeug befindliche Betrachter von ihm aus gesehen hinter der Windschutzscheibe wahrnimmt. Der durch den Projektor bestrahlbare Bereich der Windschutzscheibe wird als HUD-Bereich bezeichnet. Der Projektor ist auf den HUD-Bereich gerichtet. Die Strahlrichtung des Projektors kann typischerweise durch Spiegel variiert werden, insbesondere vertikal, um die Projektion an die Körpergröße des Betrachters anzupassen. Der Bereich, in dem sich die Augen des Betrachters bei gegebener Spiegelstellung befinden müssen, wird als Eyebboxfenster bezeichnet. Dieses Eyebboxfenster kann durch Verstellung der Spiegel vertikal verschoben werden, wobei der gesamte dadurch zugängliche Bereich (das heißt die Überlagerung aller möglichen

Eyeboxfenster) als Eyebox bezeichnet wird. Ein innerhalb der Eyebox befindlicher Betrachter kann das virtuelle Bild wahrnehmen. Damit ist natürlich gemeint, dass sich die Augen des Betrachters innerhalb der Eyebox befinden müssen, nicht etwa der gesamte Körper. Die Eyebox ist gleichsam die Summe aller möglichen Positionierungen der Augen eines Betrachters, die typischerweise als Augpositionen bezeichnet werden. Der Strahl, der zwischen dem Projektor und der Mitte der Eyebox verläuft, wird gemeinhin als Mittenstrahl bezeichnet. Er ist ein charakteristischer Bezugsstrahl für die Konzeption einer HUD-Projektionsanordnung.

Die hier verwendeten Fachbegriffe aus dem Bereich der HUDs sind dem Fachmann allgemein bekannt. Für eine ausführliche Darstellung sei auf die Dissertation „Simulationsbasierte Messtechnik zur Prüfung von Head-Up Displays“ von Alexander Neumann am Institut für Informatik der Technischen Universität München (München: Universitätsbibliothek der TU München, 2012) verwiesen, insbesondere auf Kapitel 2 „Das Head-Up Display“.

Die Wahrnehmung der HUD-Projektion ist von der Augposition abhängig. So ist ein HUD üblicherweise konzeptionell auf die Mitte der Eyebox optimiert und bei anderen Augpositionen können mitunter Verzerrungen, stärkere Geisterbilder oder sonstige unerwünschte optische Effekte auftreten. Dies soll mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung überprüft werden.

Der HUD-Bereich der Windschutzscheibe wird mittels der bildgebenden Einheit zur Erzeugung eines virtuellen Testbildes bestrahlt. Das Testbild ist typischerweise ein Muster aus Punkten und/oder Linien. Solche Muster lassen sich im Anschluss gut hinsichtlich optischer Kriterien quantitativ auswerten. Das Muster kann eine Vorverzerrung aufweisen, so dass eine etwaige durch die Windschutzscheibe unvermeidbar hervorgerufene Verzerrung kompensiert wird und das Muster im virtuellen Bild (zumindest hinsichtlich des Mittenstrahls) regelmäßig erscheint. In einer bevorzugten Ausgestaltung umfasst die bildgebende Einheit eine Platte und eine flächige Lichtquelle, welche die Platte hinterleuchtet. In die Platte ist das Muster in Form von Durchführungen nach Art einer Lochplatte eingebracht. Die Platte kann beispielsweise aus Metall oder Kunststoff gefertigt sein. Alternativ kann die bildgebende Einheit aber auch beispielsweise als ein Display (Bildschirm) realisiert werden, beispielsweise ein LED-, LCD- oder DLP-Display.

Die Strahlung der bildgebenden Einheit trifft auf das optische Element und wird von diesem auf den HUD-Bereich der in der Positionierungsvorrichtung fixierten Windschutzscheibe geworfen. Die Positionierungsvorrichtung ist beispielsweise eine Halterung, in welche die



Windschutzscheibe eingespannt wird, damit ihre Position reproduzierbar ist. Die relative Anordnung von Windschutzscheibe, optischem Element und bildgebender Einheit ist dabei so gewählt, dass die Strahlung im gleichen Winkel und der gleichen Ausdehnung auf die Windschutzscheibe trifft wie später die Strahlung des HUD-Projektors, damit das Testbild ein realistisches Modell für die HUD-Projektion ist.

Das so erzeugte virtuelle Testbild wird mittels der Kameraeinheit aus verschiedenen Augenpositionen aufgenommen. Hierzu kann eine einzelne Kamera verwendet werden, die beweglich montiert ist, beispielsweise an einem Roboterarm, so dass sie zwischen den verschiedenen Augenpositionen bewegt werden kann. Alternativ kann auch eine Vielzahl von Kameras verwendet werden, die jeweils einer Augenposition zugeordnet sind. Eine Bewegung während der Prüfung ist dann nicht erforderlich und die Kameras sind folglich bevorzugt statisch angebracht.

Mithilfe fachüblicher Bildverarbeitungsprogramme werden die von der Kameraeinheit aufgenommenen Bilder im Anschluss analysiert. So kann in Abhängigkeit von der Augenposition insbesondere das Auftreten und die Intensität von Geisterbildern, Verzerrungen, beispielsweise rotatorische oder trapezförmige Verzerrungen, sowie sonstige optische Effekte untersucht werden.

Eine Windschutzscheibe umfasst üblicherweise eine Außenscheibe und eine Innenscheibe, die über eine thermoplastische Zwischenschicht miteinander verbunden sind. Die Windschutzscheibe ist dafür vorgesehen, in einer Fensteröffnung eines Fahrzeugs den Innenraum gegenüber der äußeren Umgebung abzutrennen. Mit Innenscheibe wird im Sinne der Erfindung die dem Innenraum (Fahrzeuginnenraum) zugewandte Scheibe der Verbundscheibe bezeichnet. Mit Außenscheibe wird die der äußeren Umgebung zugewandte Scheibe bezeichnet. Windschutzscheiben sind typischerweise gekrümmt, wobei übliche Krümmungsradien im Bereich von etwa 10 cm bis etwa 40 m liegen. Im HUD-Bereich treten typischerweise Krümmungsradien von 2 m bis 20 m auf. Die innenraumseitige Oberfläche der Innenscheibe ist dabei im Wesentlichen konkav ausgeführt, die außenseitige Oberfläche der Außenscheibe konvex. Mit innenraumseitiger Oberfläche wird dabei die Oberfläche bezeichnet, die in Einbaulage dem Innenraum des Fahrzeugs zugewandt ist. Mit außenseitiger Oberfläche wird die Oberfläche bezeichnet, die in Einbaulage der äußeren Umgebung zugewandt ist.

Ebenso wie im HUD wird die Windschutzscheibe in der Prüfvorrichtung ausgehend von der Innenseite bestrahlt. Der HUD-Projektor und die bildgebende Einheit sind also innenraumseitig der Windschutzscheibe angeordnet, so dass deren Innenscheibe ihnen zugewandt ist. Die Windschutzscheibe wird als über die innenraumseitige Oberfläche der Innenscheibe bestrahlt.

Bei HUDs ist das Problem sogenannter Geisterbilder verbreitet. Der Projektor ist im Innenraum des Fahrzeugs angeordnet und seine Strahlung trifft auf die innenraumseitige Oberfläche der Innenscheibe, wo ein Teil reflektiert wird in Richtung der Augen des Fahrers, wobei das erwünschte virtuelle Bild erzeugt wird, welches der Fahrer von ihm aus gesehen hinter der Windschutzscheibe, also außenseitig, wahrnimmt. Der Großteil der Strahlung tritt durch die Windschutzscheibe hindurch, wobei an der außenseitigen Oberfläche der Außenscheibe wiederum ein Teil reflektiert wird. Diese Sekundärreflexion erzeugt ein weiteres HUD-Bild - eben das Geisterbild, welches vom Fahrer leicht versetzt zum Hauptbild und mit geringerer Intensität störend wahrgenommen wird. Typischer Windschutzscheiben weisen eine Keilform auf, so dass die innenraumseitige Oberfläche der Innenscheibe und die außenseitige Oberfläche der Außenscheibe gewinkelt zueinander angeordnet sind, um das Geisterbild mit dem Hauptbild zu überlagern oder zumindest deren Abstand zu reduzieren, so dass das Geisterbild weniger störend auffällt. Diese Kompensation ist jedoch häufig nicht ideal und zudem von der Augposition abhängig.

Die Keilform der Windschutzscheibe wird üblicherweise durch die Verwendung einer keilartigen thermoplastischen Zwischenschicht erreicht. Dabei ist die Dicke der Zwischenschicht im vertikalen Verlauf zwischen der Oberkante und der Unterkante der Windschutzscheibe zumindest abschnittsweise veränderlich. Mit „abschnittsweise“ ist hier gemeint, dass der vertikale Verlauf zwischen Oberkante und Unterkante zumindest einen Abschnitt aufweist, in dem sich die Dicke der Zwischenschicht ortsabhängig ändert, die Zwischenschicht also einen Keilwinkel aufweist. Die Dicke der Zwischenschicht ist zumindest im HUD-Bereich veränderlich. Die Dicke kann sich aber auch in mehreren Abschnitten ändern oder im gesamten vertikalen Verlauf, beispielsweise von der Unterkante zur Oberkante im Wesentlichen stetig zunehmen. Mit vertikalem Verlauf ist der Verlauf zwischen Oberkante und Unterkante mit Verlaufsrichtung im Wesentlichen senkrecht zur Oberkante bezeichnet. Da die Oberkante bei Windschutzscheiben stark von einer Geraden abweichen kann, ist der vertikale Verlauf im Sinne der Erfindung präziser ausgedrückt senkrecht zur Verbindungslinie zwischen den Ecken der Oberkante ausgerichtet. Die Zwischenschicht weist zumindest abschnittsweise einen endlichen Keilwinkel auf, also einen Keilwinkel größer  $0^\circ$ , nämlich in dem Abschnitt, in

dem die Dicke veränderlich ist. Mit Keilwinkel wird der Winkel zwischen den beiden Oberflächen der Zwischenschicht bezeichnet. Ist der Keilwinkel nicht konstant, so sind zu seiner Messung an einem Punkt die Tangenten an die Oberflächen heranzuziehen. Typische Keilwinkel liegen im Bereich von 0,2 mrad bis 1 mrad, insbesondere von 0,3 mrad bis 0,7 mrad. Der Keilwinkel kann im vertikalen Verlauf konstant sein, was zu einer linearen Dickenänderung der Zwischenschicht führt, wobei die Dicke typischerweise und bevorzugt von unten nach oben größer wird. Die Richtungsangabe „von unten nach oben“ bezeichnet die Richtung von Unterkante zu Oberkante. Es können aber auch komplexere Dickenprofile vorliegen, bei denen der Keilwinkel von unten nach oben veränderlich (das heißt im vertikalen Verlauf ortsabhängig) ist, linear oder nicht-linear.

Bei einem kontaktanalogen HUD oder *Augmented Reality* HUD wird nicht lediglich eine Information auf einen begrenzten Bereich der Windschutzscheibe projiziert, sondern Elemente der äußeren Umgebung in die Darstellung einbezogen. Beispiele hierfür sind die Markierung eines Fußgängers, die Anzeige des Abstands zu einem vorausfahrenden Fahrzeug oder die Projektion einer Navigationsangabe direkt auf die Fahrbahn, beispielsweise zur Markierung der zu wählenden Fahrspur. Das kontaktanaloge HUD wird dadurch von einem klassischen, statischen HUD unterschieden, dass die Projektionsdistanz größer als 3 m beträgt, bevorzugt größer als 4 m, typischerweise sogar mehr als 5 m. Bei einem statischen HUD ist die Projektionsdistanz deutlich geringer, typischerweise etwa 2 m. Mit Projektionsdistanz wird im Sinne der Erfindung der Abstand zwischen dem virtuellen Bild und dem Betrachter, also in der Regel der Kopf des Fahrers, bezeichnet. Die Projektionsdistanz beträgt bevorzugt mindestens 7 m. Die Projektionsdistanz beträgt bevorzugt höchstens 15 m.

Bei einer Projektionsanordnung eines kontaktanalogen HUDs ist die Projektionsdistanz für alle projizierten Bilder im Wesentlichen konstant. Auch Projektionen, die der Betrachter subjektiv mit unterschiedlichem Abstand wahrnehmen soll, haben in der Realität im Wesentlichen die gleiche Projektionsdistanz. Der subjektive Eindruck eines unterschiedlichen Abstands wird durch geometrische optische Effekte erreicht.

Der Abstand zwischen Windschutzscheibe und virtuellem Bild wird üblicherweise als Bildweite bezeichnet. Da typischerweise der Kopf des Fahrers einen Abstand von etwa einem Meter zur Windschutzscheibe aufweist, ist die Bildweite näherungsweise um 1 m geringer als die Projektionsdistanz. Alternativ zur Projektionsdistanz kann daher mit hinreichender Genauigkeit auch die Bildweite als Kriterium herangezogen werden. Die Bildweite beträgt

demnach bevorzugt mehr als 2 m, besonders bevorzugt mehr als 3 m, ganz besonders bevorzugt mehr als mindestens 4 m und bevorzugt höchstens 14 m.

Der HUD-Bereich ist bei einem kontaktanalogen HUD typischerweise größer als bei einem klassischen statischen HUD. In einer bevorzugten Ausgestaltung beträgt die Fläche des HUD-Bereichs mindestens 7 % der Fläche der Windschutzscheibe, besonders bevorzugt mindestens 8 %. Die Fläche des HUD-Bereichs eines statischen HUDs beträgt typischerweise höchstens 4-5 % der Fläche der Windschutzscheibe.

Die Innenscheibe und die Außenscheibe bestehen bevorzugt aus Glas, besonders bevorzugt Kalk-Natron-Glas, was sich für Fenstergläser bewährt hat. Die Scheiben können aber auch aus anderen Glassorten bestehen, beispielsweise Borosilikatglas oder Aluminosilikatglas. Die Scheiben können grundsätzlich alternativ aus Kunststoff gefertigt sein, insbesondere Polycarbonat oder PMMA. Die Dicken der Außenscheibe und der Innenscheibe können grundsätzlich im Rahmen der fachüblichen Werte frei gewählt werden. Für herkömmliche Windschutzscheiben sind Dicken der Einzelscheiben im Bereich 1 mm bis 5 mm, insbesondere 1,2 mm bis 3 mm üblich. Standardscheibendicken sind beispielsweise 2,1 mm oder 1,6 mm. Die Außenscheibe, die Innenscheibe und die thermoplastische Zwischenschicht können klar und farblos, aber auch getönt oder gefärbt sein. Die Gesamttransmission durch das Verbundglas beträgt in einer bevorzugten Ausgestaltung größer 70%, insbesondere wenn das Verbundglas eine Windschutzscheibe ist. Der Begriff Gesamttransmission bezieht sich auf das durch ECE-R 43, Anhang 3, § 9.1 festgelegte Verfahren zur Prüfung der Lichtdurchlässigkeit von Kraftfahrzeugscheiben.

Die Zwischenschicht ist üblicherweise durch mindestens eine thermoplastische Folie ausgebildet, bevorzugt auf Basis von Polyvinylbutyral (PVB), Ethylvinylacetat (EVA), Polyurethan (PU) oder Gemischen oder Copolymeren oder Derivaten davon, besonders bevorzugt PVB. Die Dicke der Zwischenschicht, gemessen an ihrer dünnen Kante im Falle einer Keilfolie, liegt typischerweise im Bereich von 0,2 mm bis 2 mm, insbesondere 0,5 mm bis 1 mm.

Der Einbauwinkel der Windschutzscheibe liegt typischerweise im Bereich von 55° bis 75° zur Horizontalen, insbesondere von 60° bis 70°, beispielsweise etwa 65°.

Die Erfindung umfasst außerdem eine Prüfanordnung für ein HUD, umfassend die erfindungsgemäße Prüfvorrichtung und eine in der Positionierungsvorrichtung fixierte Windschutzscheibe.

- 5 Die erfindungsgemäß geprüfte HUD wird bevorzugt in einem Fahrzeug verwendet, besonders bevorzugt in einem Kraftfahrzeug, ganz besonders bevorzugt in einem Personenkraftwagen.

Die Erfindung umfasst außerdem die Verwendung eines optischen Elements zur Umlenkung der Strahlung einer bildgebenden Einheit auf einen HUD-Bereich einer Windschutzscheibe, deren Anordnung zum optischen Elements durch eine Positionierungsvorrichtung fixiert ist, wobei ein virtuelles Bild erzeugt wird, welches durch die Windschutzscheibe hindurch zu Prüfzwecken mittels einer Kameraeinheit aus verschiedenen Augpositionen aufgenommen wird, wobei das optische Element derart ausgelegt ist, dass das gesamte virtuelle Bild innerhalb des Tiefenschärfebereichs der Kameraeinheit liegt.

10

15

Im Folgenden wird die Erfindung anhand einer Zeichnung und Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die Zeichnung ist eine schematische Darstellung und nicht maßstabsgetreu. Die Zeichnung schränkt die Erfindung in keiner Weise ein.

5 Es zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf die Windschutzscheibe für ein HUD,

Fig. 2 einen Querschnitt durch die Windschutzscheibe aus Fig. 1 als Projektionsfläche eines HUD,

Fig. 3 eine Seitenansicht durch eine herkömmliche Prüfvorrichtung für HUDs,

10 Fig. 4 eine Seitenansicht durch eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung für HUDs,

Fig. 5 simulierte Beispielbilder einer herkömmlichen Prüfvorrichtung nach Fig. 3 und einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung nach Fig. 4 und

Fig. 6 eine schematische Veranschaulichung der Ausdehnung des virtuellen Bildes und des Tiefenschärfebereichs der Kameraeinheit.

15

Fig. 1 zeigt eine Draufsicht auf eine Windschutzscheibe 1 einer HUD-Projektionsanordnung. Die Windschutzscheibe 1 hat eine Oberkante O, eine Unterkante U und zwei diese verbindende Seitenkanten. Die Oberkante O weist in Einbaulage nach oben zum Fahrzeugdach (Dachkante), die Unterkante U nach unten zum Motorraum (Motorkante). Die Windschutzscheibe 1 weist einen HUD-Bereich B auf, welcher in Einbaulage vom HUD-Projektor bestrahlbar ist und im Betrieb bestrahlt wird.

20

Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch eine HUD-Projektionsanordnung, umfassend die Windschutzscheibe 1 aus Fig. 1 sowie einen HUD-Projektor 5. Die Windschutzscheibe 1 ist durch die Schnittlinie A-A geschnitten. Die Windschutzscheibe 1 besteht aus einer Außenscheibe 2 und einer Innenscheibe 3, die über eine thermoplastische Zwischenschicht 4 miteinander verbunden sind. Die Windschutzscheibe 1 trennt den Fahrzeuginnenraum von der äußeren Umgebung, wobei die Außenscheibe 2 in Einbaulage der äußeren Umgebung zugewandt ist, die Innenscheibe 3 dem Fahrzeuginnenraum. Der Einbauwinkel  $\beta$  zur Horizontalen beträgt beispielsweise 65°.

30

Die Außenscheibe 2 und die Innenscheibe 3 bestehen beispielsweise aus nicht-vorgespanntem Kalk-Natron-Glas. Die Außenscheibe 2 weist beispielsweise eine Dicke von 2,1 mm auf und die Innenscheibe 3 eine Dicke von 1,6 mm. Diese Scheiben sind für Windschutzscheiben gebräuchlich. Die Dicke der Zwischenschicht 4 nimmt im vertikalen Verlauf von der Unterkante U zur Oberkante O stetig zu mit einem im Wesentlichen

35

konstanten Keilwinkel  $\alpha$  zwischen den beiden Oberflächen. Die Zwischenschicht 4 ist aus einer einzelnen Folie aus PVB ausgebildet. Die Dicke der Zwischenschicht 4 an der Oberkante O beträgt beispielsweise 1,0 mm und an der Unterkante U beispielsweise 0,76 mm. Durch die keilförmige Ausbildung der Zwischenschicht 4 werden die beiden Bilder, die durch Reflexion des Projektorbildes an den beiden von der Zwischenschicht 4 abgewandten Oberflächen der Außenscheibe 2 und der Innenscheibe 3 erzeugt werden, miteinander überlagert. Störende Geisterbilder treten daher in geringerem Maße auf.

Der Projektor 5 ist auf den HUD-Bereich B gerichtet. In diesem Bereich sollen Bilder durch den Projektor 5 erzeugt werden. Das Projektorbild wird von der Windschutzscheibe 1 in Richtung des Betrachters 6 (Fahrzeugfahrer) reflektiert. Dadurch entsteht das virtuelle Bild 7, welches der im Fahrzeug befindliche Betrachter 6 von ihm aus gesehen hinter der Windschutzscheibe 1 wahrnimmt. Der Abstand zwischen dem Betrachter 6 und dem virtuellen Bild 7 wird als Projektionsdistanz  $d$  bezeichnet. Der Abstand zwischen der Windschutzscheibe 1 und dem virtuellen Bild 7 wird als Bildweite  $w$  bezeichnet.

Die Projektionsanordnung ist ein sogenanntes kontaktanaloges HUD oder *Augmented Reality-hud*, welches sich durch eine große Projektionsdistanz  $d$  von beispielsweise 10 m auszeichnet. Dies ermöglicht die Einbeziehung der Umgebung in die optische Darstellung, wodurch beispielsweise die zu wählende Fahrspur als Navigationshinweis für den Betrachter 6 scheinbar direkt auf die Fahrbahn projiziert werden kann. Neben der größeren Projektionsdistanz  $d$  unterscheidet sich das kontaktanaloge HUD vom klassischen HUD auch durch einen größeren HUD-Bereich B, dessen Fläche beispielsweise 9 % der Fläche der Windschutzscheibe 1 beträgt.

Der Bereich, innerhalb dessen sich die Augen des Betrachters 6 befinden müssen, um das virtuelle Bild wahrzunehmen, wird als Eyeboxfenster bezeichnet. Das Eyeboxfenster ist durch Spiegel im Projektor 5 vertikal verstellbar, um das HUD an Betrachter 6 unterschiedlicher Körpergröße und Sitzposition anpassen zu können. Der gesamte zugängliche Bereich, innerhalb dessen das Eyebox-Fenster verschoben werden kann, wird als Eyebox E bezeichnet.

Bei einem HUD können eine Reihe unerwünschter optischer Effekte auftreten. Zum einen betrifft dies Verzerrungen der Darstellung, wie Rotationen oder trapezartige Verzerrungen. Zum anderen wird die Projektorstrahlung an beiden äußeren Oberflächen der Windschutzscheibe 1 reflektiert, so dass neben dem Hauptbild auch ein leicht versetztes

Geisterbild erzeugt wird. Durch den Keilwinkel  $\alpha$  sollen Hauptbild und Geisterbild einander weitestgehend überlagert werden, wobei der Konzeption des Keilwinkels meist der Mittenstrahl zugrunde gelegt wird (Strahl zwischen Projektor 5 und Mitte der Eyebox E). Das Auftreten der optischen Effekte ist aber stark von der Augposition abhängig, also der genauen  
5 Anordnung des Betrachters innerhalb der Eyebox E. Daher sollte das Auftreten der Effekte in Abhängigkeit von der Augposition getestet werden, wozu Prüfvorrichtungen dienen, die Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind.

Fig. 3 zeigt eine gattungsgemäße Prüfvorrichtung für HUDs nach dem Stand der Technik.

10 Eine Windschutzscheibe 1 für ein HUD ist in einer Positionierungsvorrichtung 11 fixiert, die ihre Anordnung zu einer bildgebenden Einheit 8 festlegt. Die bildgebende Einheit umfasst eine Platte 9 mit einem charakteristischen Muster aus Durchführungen (Löchern) in Form von Punkten und/oder Linien, und außerdem eine flächige Lichtquelle 10, welche die Platte 9 hinterleuchtet. Die relative Anordnung von Windschutzscheibe 1 und bildgebender Einheit 8  
15 entspricht der relativen Anordnung von Windschutzscheibe 1 und HUD-Projektor 5 im geplanten HUD-Aufbau am Einsatzort. Der HUD-Bereich B der Windschutzscheibe 1 wird durch die bildgebende Einheit 8 bestrahlt, wobei ein virtuelles Bild 7 des charakteristischen Musters an Punkten und/oder Linien hinter der Windschutzscheibe 1 erzeugt wird. Die Strahlung ist durch einen grauen Blockpfeil dargestellt. Das virtuelle Bild 7 wird mit einer  
20 Kameraeinheit 12, beispielsweise einer an einem Roboterarm befestigten Kamera, aus verschiedenen Augpositionen innerhalb der Eyebox E aufgenommen. Die Bilder der Kameraeinheit 12 können im Anschluss mittels einer Bildbearbeitungssoftware detailliert ausgewertet werden. So können insbesondere unerwünschte optische Effekte, wie das Auftreten von Geisterbildern oder Verzerrungen, quantitativ und in Abhängigkeit von der  
25 Augposition ausgewertet werden, um Rückschlüsse auf die Qualität der HUD-Abbildung zu ziehen.

Wie in der Darstellung angedeutet, ist das virtuelle Bild 7 nicht plan, sondern insbesondere aufgrund der Scheibenkrümmung im Raum gekrümmt. Insbesondere bei größeren Bildern 7,  
30 wie sie bei kontaktanalogen HUDs auftreten, können dabei Probleme bei der Aufnahme auftreten. Die Kameraeinheit 12 hat einen begrenzten Tiefenschärfebereich, so dass es mitunter nicht möglich ist, das gesamte Bild scharf aufzunehmen. Stattdessen existieren bei jeder Fokusebene Bereiche des Bildes 7, die sich außerhalb des Tiefenschärfebereichs erstrecken und daher unscharf aufgenommen werden. Dies beeinträchtigt die Auswertung der  
35 Aufnahmen.



Fig. 4 zeigt dagegen eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung für HUDs. Im Gegensatz zur herkömmlichen Prüfvorrichtung aus Fig. 3 wird die Windschutzscheibe 1 nicht direkt von der bildgebenden Einheit 8 bestrahlt. Stattdessen wird die Strahlung durch ein optisches Element 13 in Richtung der Windschutzscheibe 1 umgelenkt. Die Strahlung ist wiederum durch graue Blockpfeile dargestellt. Durch das optische Element 13 kann Einfluss auf das virtuelle Bild 7 genommen werden, so dass dieses so umgestaltet wird, dass es näherungsweise in einer Ebene angeordnet ist, wie in der Darstellung angedeutet. Zumindest wird die Krümmung des Bildes 7 soweit reduziert, dass seine Ausdehnung entlang der optischen Achse höchstens so groß ist wie der Tiefenschärfebereich der Kameraeinheit 12. Die Kameraeinheit 12 kann dann so fokussiert werden, dass das gesamte Bild 7 scharf aufgenommen wird und eine Auswertung problemlos möglich ist.

Das optische Element 13 ist beispielsweise als gekrümmter Spiegel aus einer hochpolierten Metallplatte ausgebildet, wobei der erfindungsgemäße Einfluss auf die Krümmung des Bildes 7 durch ein geeignetes Krümmungsprofil des Spiegels erreicht wird, bei dem sich der Krümmungsradius ausgehend vom Zentrum des Spiegels in Richtung der Seitenränder geeignet ändert.

Fig. 5 zeigt simulierte Aufnahmen eines Beispiels der vorliegenden Erfindung und eines Vergleichsbeispiels. Bei Fig. 5 (a) wurde eine herkömmliche Prüfvorrichtung nach Fig. 3 zugrunde gelegt, bei der die Windschutzscheibe 1 direkt mit der bildgebenden Einheit 8 aus der Position des HUD-Projektors bestrahlt wurde. Es ist deutlich zu erkennen, dass Bereiche des Bildes unscharf abgebildet sind, da sie nicht im Tiefenschärfebereich der Kameraeinheit 12 liegen. Dagegen wurde bei Fig. 5 (b) eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung nach Fig. 4 zugrunde gelegt mit einem asphärischen Spiegel als optisches Element 13. Die Ausdehnung des Bildes 7 entlang der optischen Achse kann durch das optische Element 13 reduziert werden, so dass das Bild 7 vollständig im Tiefenschärfebereich liegt und entsprechend scharf abgebildet wird.

Bei den Simulationen wurde jeweils eine hinterleuchtete Lochplatte mit einem zweidimensionalen Muster an Löchern als bildgebende Einheit angenommen, eine Projektionsdistanz von 10 m und eine Bildgröße von 1600 mm x 800 mm (in der Ebene des virtuellen Bildes gemessen im Abstand von 10 Metern von der zentralen Kamera (Augunkt). In Fig. 5 (a) beträgt der Abstand der Lochplatte zur Verbundscheibe 10 m. In Fig. 5 (b) beträgt der Abstand des asphärischen Spiegels zur Verbundscheibe 300 mm.

Fig. 6 veranschaulicht den angestrebten Effekt der vorliegenden Erfindung. Die Kameraeinheit 12 hat einen begrenzten Tiefenschärfebereich  $\Delta d$ . Dieser ist bei gegebener Fokuseinstellung der Bereich zwischen dem Fernpunkt  $d_f$  (von der Kameraeinheit 12 am weitesten entfernter Punkt, der scharf dargestellt wird) und dem Nahpunkt  $d_n$  (der Kameraeinheit 12 am nächsten gelegener Punkt, der scharf dargestellt wird) entlang der optischen Achse (Verbindungsachse zwischen Kameraeinheit 12 und Zentrum des Bildes 12). Das virtuelle Bild 7 ist im Raum gekrümmt, was in erster Linie durch die Krümmung der Windschutzscheibe 1 hervorgerufen wird. Dies führt zu einer Ausdehnung  $A_x$  des Bildes 7 entlang der optischen Achse. Ist die Ausdehnung  $A_x$  größer als der Tiefenschärfebereich  $\Delta d$ , so existiert keine Fokusebene, mit der das gesamte Bild 7 scharf dargestellt werden kann - es erstreckt sich stets teilweise außerhalb des Tiefenschärfebereichs  $\Delta d$  (Fig. 6a). Durch das erfindungsgemäße optische Element 13 wird die Ausdehnung  $A_x$  verringert, so dass sie geringer ist als der Tiefenschärfebereich  $\Delta d$ . Es kann nun eine Fokusebene gewählt werden, für die das gesamte Bild 7 scharf dargestellt wird und im Anschluss analysiert werden kann (Fig. 6b). Um die Möglichkeit eines insgesamt scharf dargestellten Bildes 7 zu eröffnen, muss allgemein gelten:  $A_x \leq \Delta d$

Das Bild 7 ist hier der Einfachheit halber in Form einer einzelnen Linie dargestellt. In der Realität bezieht sich die Ausdehnung  $A_x$  auf die Gesamtheit aus Hauptbild und Geisterbild, da beide zur Analyse scharf dargestellt werden sollen.

## Bezugszeichenliste:

- (1) Windschutzscheibe  
(2) Außenscheibe  
5 (3) Innenscheibe  
(4) thermoplastische Zwischenschicht  
  
(5) Projektor  
(6) Betrachter / Fahrzeugfahrer  
10 (7) virtuelles Bild  
  
(8) bildgebende Einheit  
(9) (Metall-)platte mit Muster an Durchführungen  
(10) flächige Lichtquelle  
15 (11) Positionierungsvorrichtung für die Windschutzscheibe  
(12) Kameraeinheit  
(13) optisches Element  
  
(O) Oberkante der Windschutzscheibe 1  
20 (U) Unterkante der Windschutzscheibe 1  
(B) HUD-Bereich der Windschutzscheibe 1  
  
 $\alpha$  Keilwinkel der Zwischenschicht 4  
 $\beta$  Einbauwinkel von 1 zur Horizontalen  
25 d Projektionsdistanz / Abstand von 6 und 7  
w Bildweite / Abstand von 1 und 7  
  
 $d_n$  Nahpunkt der Kameraeinheit 12  
 $d_f$  Fernpunkt der Kameraeinheit 12  
30 Ad Tiefenschärfebereich der Kameraeinheit 12  
Ax Ausdehnung des Bildes 7 entlang der optischen Achse  
  
(E) Eyebox  
  
35 A-A' vertikale Schnittlinie

## Patentansprüche

1. Prüfvorrichtung für ein Head-Up-Display (HUD), mindestens umfassend
  - eine bildgebende Einheit (8),
  - 5 - ein optisches Element (13), das geeignet ist, die Strahlung der bildgebenden Einheit (8) in Richtung einer Windschutzscheibe (1) umzulenken und dadurch einen HUD-Bereich (B) der Windschutzscheibe (1) zu bestrahlen, um ein virtuelles Bild (7) zu erzeugen,
  - eine Positionierungsvorrichtung (11), die geeignet ist, die Windschutzscheibe (1) in
  - 10 einer definierten Anordnung zum optischen Element (13) zu fixieren, und
  - eine Kameraeinheit (12), die geeignet ist, das virtuelle Bild (7) durch die Windschutzscheibe (1) hindurch aus verschiedenen Augpositionen aufzunehmen, wobei das optische Element (13) derart ausgelegt ist, dass das gesamte virtuelle Bild (7) innerhalb des Tiefenschärfebereichs (Ad) der Kameraeinheit (12) liegt.
  - 15
2. Projektionsanordnung nach Anspruch 1, wobei die Ausdehnung (Ax) des Bildes (7) entlang der optischen Achse kleiner oder gleich dem Tiefenschärfebereich (Ad) der Kameraeinheit (12) ist, während die Ausdehnung (Ax) des Bildes (7) entlang der optischen Achse ohne Verwendung des optischen Elements (13) größer als der
- 20 Tiefenschärfebereich (Ad) der Kameraeinheit (12) ist.
3. Projektionsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, die geeignet ist, das virtuelle Bild (7) mit einer Projektionsdistanz (d) von mehr als 3 m zu erzeugen, bevorzugt mehr als 4 m, besonders bevorzugt mehr als 5 m.
- 25
4. Projektionsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das optische Element (13) ein gekrümmter Spiegel, insbesondere ein hochpolierter Metallspiegel, ist oder eine Linse.
- 30
5. Projektionsanordnung nach Anspruch 4, wobei der Krümmungsradius des Spiegels oder der Linse vom Zentrum in Richtung der Ränder veränderlich ist.
6. Projektionsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das optische Element (13) nicht drehbar gelagert ist.
- 35

7. Projektionsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die bildgebende Einheit (8) eine Platte (9), insbesondere Metallplatte, mit einem Muster an Durchführungen umfasst, hinterleuchtet von einer flächigen Lichtquelle (10).
- 5 8. Projektionsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Kameraeinheit (12) realisiert ist als eine einzelne, beweglich gelagerte Kamera oder als eine Vielzahl von statisch gelagerten Kameras.
9. Verfahren zur Prüfung eines Head-Up-Displays (HUD), umfassend mindestens die  
10 folgenden Verfahrensschritte:
- (a) Positionierung einer Windschutzscheibe (1) mit einem HUD-Bereich (B) mittels einer Positionierungsvorrichtung (11) in einer definierten Anordnung zu einem optischen Element (13),
- (b) Bestrahlung des optischen Elements (13) durch eine bildgebende Einheit (8), wobei  
15 die Strahlung durch das optische Element (13) in Richtung der Windschutzscheibe (1) umgelenkt wird und der HUD-Bereich (B) bestrahlt wird, wobei ein virtuelles Bild (7) erzeugt wird,
- (c) Aufnahme des virtuellen Bildes (7) mittels einer Kameraeinheit (12) aus  
20 verschiedenen Augpositionen,
- wobei das optische Element (13) derart ausgelegt ist, dass das gesamte virtuelle Bild (7) innerhalb des Tiefenschärfebereichs (Ad) der Kameraeinheit (12) liegt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das virtuelle Bild (7) mit einer Projektionsdistanz (d) von mehr als 3 m erzeugt wird, bevorzugt mehr als 4 m, besonders bevorzugt mehr als  
25 5 m.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei der HUD-Bereich (B) mindestens 7 % der Fläche der Windschutzscheibe (1) ausmacht, bevorzugt mindestens 8 %.
- 30 12. Verfahren nach einem der Ansprüche Anspruch 9 bis 11, wobei die Windschutzscheibe (1) eine Außenscheibe (2) und eine Innenscheibe (3) umfasst, die mittels einer thermoplastischen Zwischenschicht (4) miteinander verbunden sind, wobei die Zwischenschicht (4) zumindest im HUD-Bereich (B) keilförmig ausgestaltet ist.
- 35 13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die Windschutzscheibe (1) über die Innenscheibe (3) bestrahlt wird.

14. Verwendung eines optischen Elements (13) zur Umlenkung der Strahlung einer bildgebenden Einheit (8) auf einen HUD-Bereich (B) einer Windschutzscheibe (1), deren Anordnung zum optischen Elements (13) durch eine Positionierungsvorrichtung (11) fixiert ist, wobei ein virtuelles Bild (7) erzeugt wird, welches durch die Windschutzscheibe (1) hindurch zu Prüfungszwecken mittels einer Kameraeinheit (12) aus verschiedenen Augpositionen aufgenommen wird, wobei das optische Element (13) derart ausgelegt ist, dass das gesamte virtuelle Bild (7) innerhalb des Tiefenschärfebereichs (Ad) der Kameraeinheit (12) liegt.
15. Verwendung nach Anspruch 14, wobei das optische Element (13) ein gekrümmter Spiegel oder eine Linse ist, und wobei der Krümmungsradius des Spiegels oder der Linse vom Zentrum in Richtung der Ränder veränderlich ist.

5

10

15

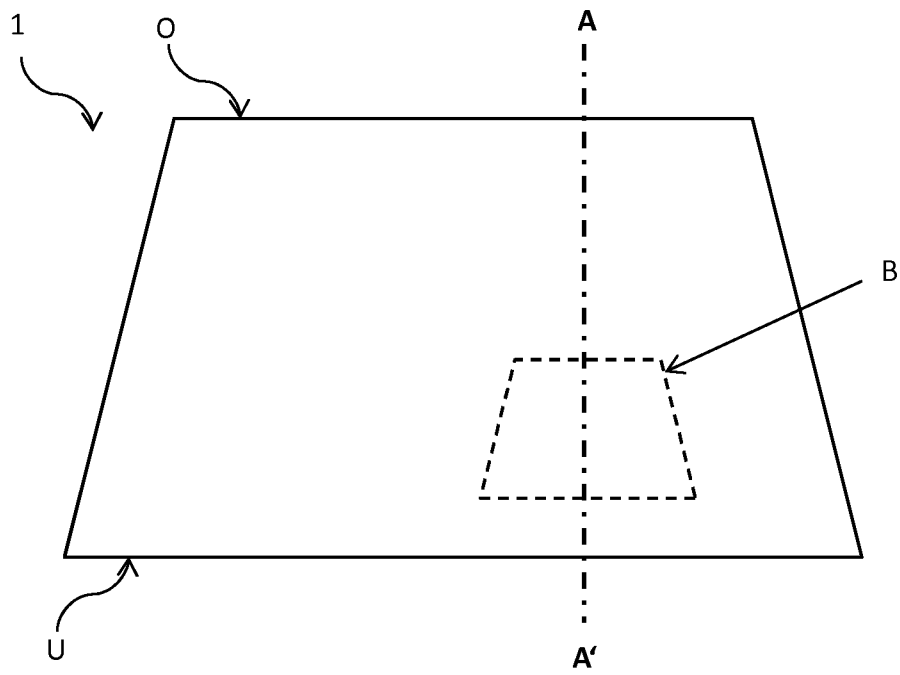


Fig. 1

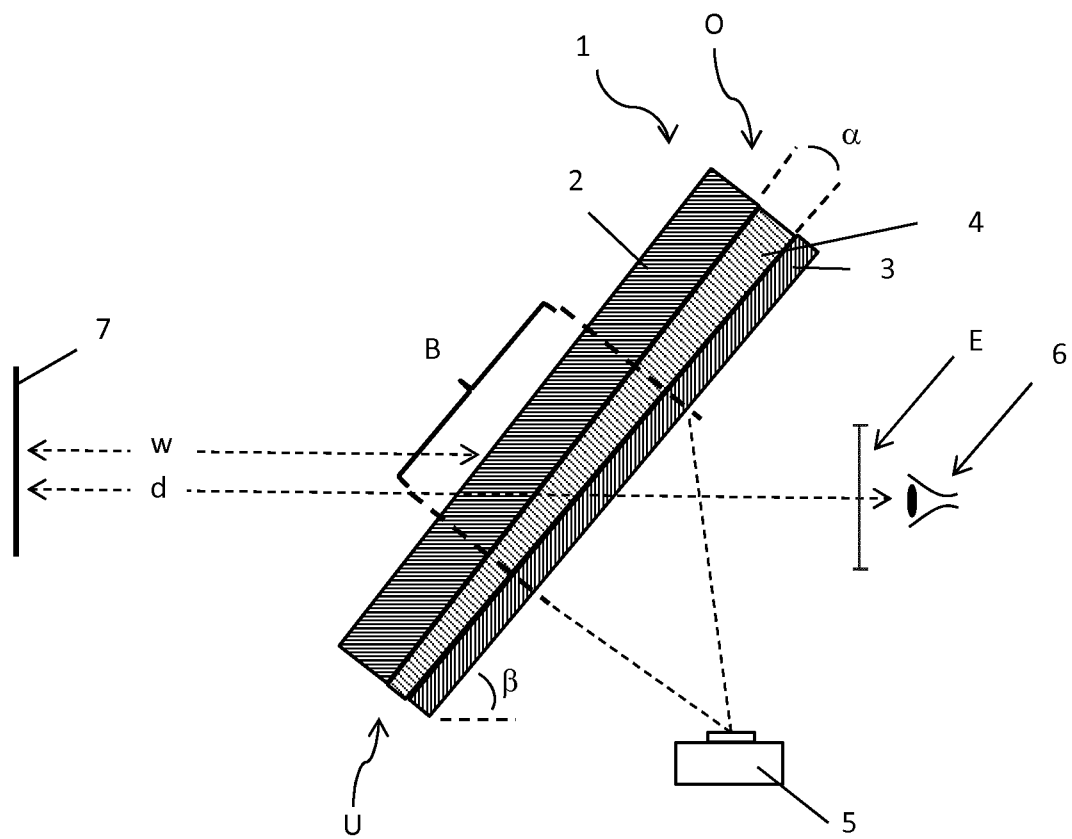
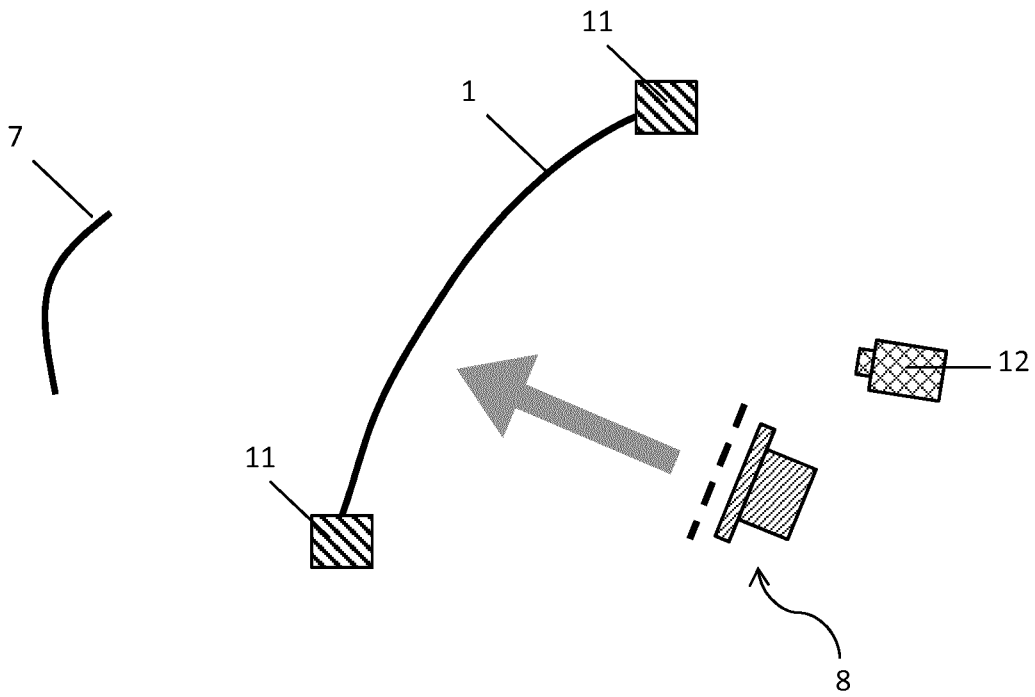
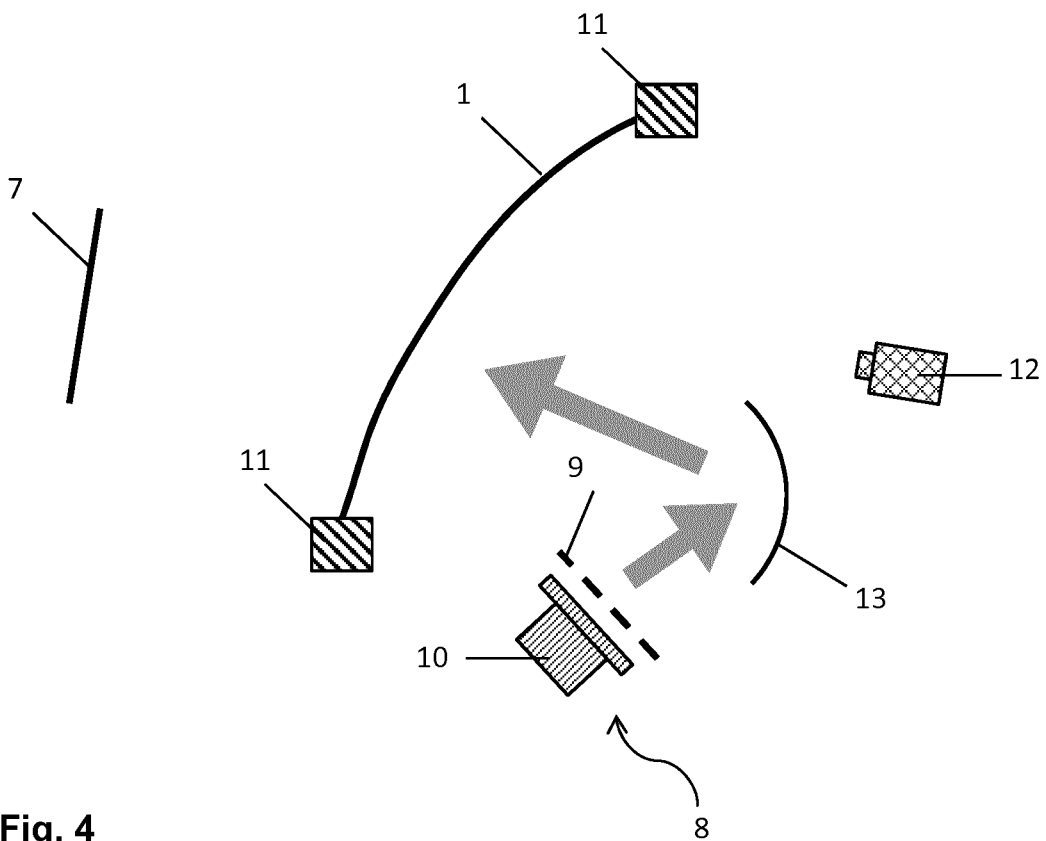


Fig. 2



**Fig. 3 – Stand der Technik**



**Fig. 4**



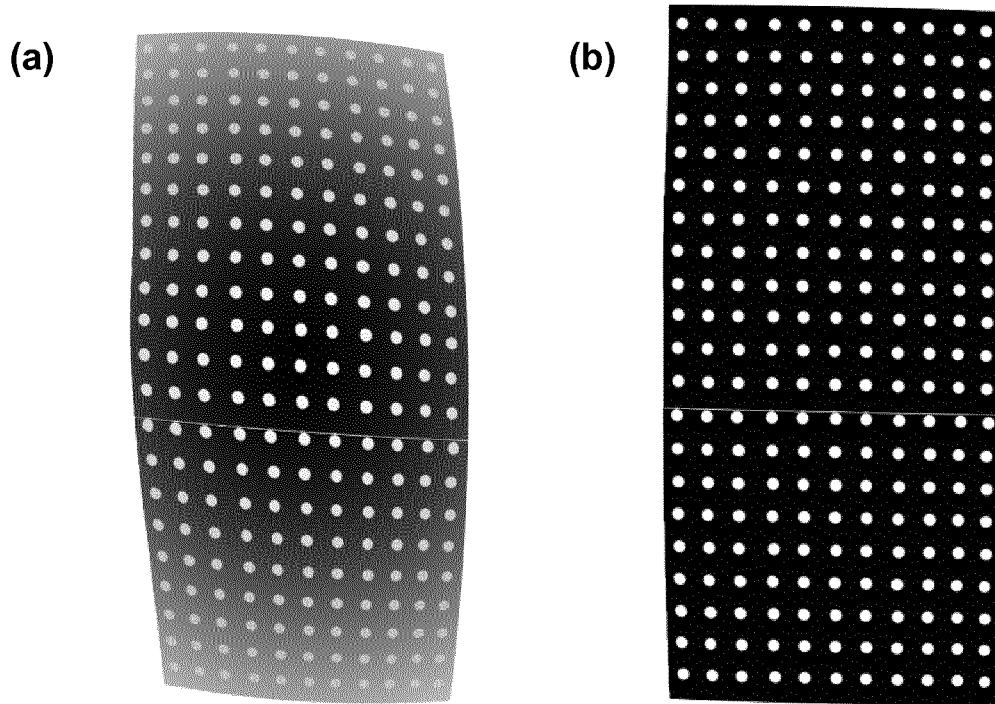


Fig. 5

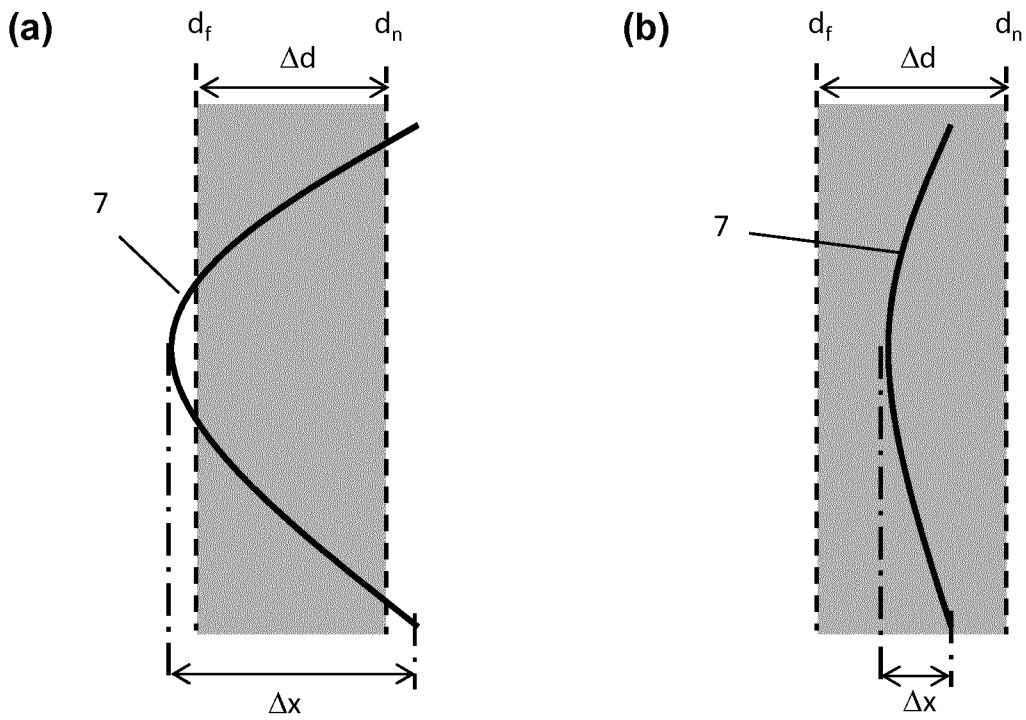


Fig. 6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/067274

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>G02B 27/01(2006.01)i</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national Classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
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-Intental, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Alexander Neumann. "Simulationsbasierte messtechnik zur prüfung von head-up displays" 01 January 2012 (2012-01-01), Retrieved from the Internet: <a href="https://mediatum.ub.tum.de/doc/1079689/1079689.pdf">https://mediatum.ub.tum.de/doc/1079689/1079689.pdf</a> XP055558288 paragraphs [3.1.2], [3.1.3], [3.1.4], [03.5], [4.1.1]; figures 3.2, 3.3	1-15
X	US 2011189426 A1 (DURBIN NEIL JOHN [DE] ET AL) 04 August 2011 (2011-08-04) paragraphs [0012], [0050] - [0053]; claim 1; figure 7	1-15
X	US 2018149867 A1 (KREMERS STEPHAN [DE] ET AL) 31 May 2018 (2018-05-31) paragraphs [0003], [0010], [0026] - [0027], [0053] - [0055]; claim 1; figures 1,2	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>02 September 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>10 September 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Pugno, Roberto</b> Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/067274**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2011189426	A1	04 August 2011	BR	PI0919309	A2	22 December 2015
				CN	102164744	A	24 August 2011
				EP	2331324	A1	15 June 2011
				JP	5749647	B2	15 July 2015
				JP	2012503572	A	09 February 2012
				KR	20110081207	A	13 July 2011
				US	2011189426	A1	04 August 2011
				WO	2010035031	A1	01 April 2010
				-----			
US	2018149867	A1	31 May 2018	CA	2988207	A1	15 December 2016
				CN	106489095	A	08 March 2017
				EA	201890015	A1	31 May 2018
				EP	3308214	A1	18 April 2018
				JP	2018518713	A	12 July 2018
				KR	20180015747	A	13 February 2018
				US	2018149867	A1	31 May 2018
				WO	2016198678	A1	15 December 2016
-----							

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. **G02B27/0 1**

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-Internat I, WPI Data**

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	Alexander Neumann: "Simulationsbasierte messtechnik zur prüfung von head-up displays", 1. Januar 2012 (2012-01-01), XP055558288, Gefunden im Internet: URL:https://mediatum.ub.tum.de/doc/1079689/1079689.pdf Absätze [3.1.2], [3.1.3], [3.1.4], [03.5], [4.1.1]; Abbildungen 3.2, 3.3 -----	1-15
X	US 2011/189426 A1 (DURBIN NEIL JOHN [DE] ET AL) 4. August 2011 (2011-08-04) Absätze [0012], [0050] - [0053]; Anspruch 1; Abbildung 7 ----- -/--	1-15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

"E" 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

"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. September 2019

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

10/09/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pugno, Roberto

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2018/149867 A1 (KREMERS STEPHAN [DE] ET AL) 31. Mai 2018 (2018-05-31) Absätze [0003], [0010], [0026] - [0027], [0053] - [0055]; Anspruch 1; Abbildungen 1,2  -----	1-15

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/EP2019/067274**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>US 2011189426 AI</b>	<b>04-08-2011</b>	<b>BR PI 0919309 A2</b>	<b>22-12-2015</b>
		<b>CN 102164744 A</b>	<b>24-08--2011</b>
		<b>EP 2331324 AI</b>	<b>15-06--2011</b>
		<b>JP 5749647 B2</b>	<b>15-07--2015</b>
		<b>JP 2012503572 A</b>	<b>09-02--2012</b>
		<b>KR 20110081207 A</b>	<b>13-07--2011</b>
		<b>US 2011189426 AI</b>	<b>04-08--2011</b>
		<b>WO 2010035031 AI</b>	<b>01-04--2010</b>
-----			
<b>US 2018149867 AI</b>	<b>31-05-2018</b>	<b>CA 2988207 AI</b>	<b>15-12 -2016</b>
		<b>CN 106489095 A</b>	<b>08-03 -2017</b>
		<b>EA 201890015 AI</b>	<b>31-05 -2018</b>
		<b>EP 3308214 AI</b>	<b>18-04 -2018</b>
		<b>JP 2018518713 A</b>	<b>12-07 -2018</b>
		<b>KR 20180015747 A</b>	<b>13-02 -2018</b>
		<b>US 2018149867 AI</b>	<b>31-05 -2018</b>
		<b>WO 2016198678 AI</b>	<b>15-12 -2016</b>
-----			