

(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
02. Mai 2024 (02.05.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/088985 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 17/08 (2006.01) G01S 17/88 (2006.01)
G01S 17/58 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2023/079520

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Oktober 2023 (23.10.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 211 264.4
24. Oktober 2022 (24.10.2022) DE

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

(72) Erfinder: SCHUETZ, Viktor; c/o Carl Zeiss Jena GmbH,
Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE). VOJTISEK,
Petr; c/o Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10,
07745 Jena (DE). ZDZIAREK, Justyna; 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). ZHONG-SCHIPP,
Yi; c/o Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10,
07745 Jena (DE).

(74) Anwalt: TAUTZ & SCHUHMACHER; Nibelungenstr.
84, 80639 München (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, CV, CZ, DE, DJ,
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,

(54) Title: DEVICE FOR MEASURING A PROPAGATION TIME OF A MEASUREMENT LIGHT BEAM, USER TERMINAL,
DETECTION AND LIGHTING APPARATUS, METHOD FOR MEASURING A PROPAGATION TIME OF A MEASUREMENT
LIGHT BEAM, COMPUTER PROGRAM AND/OR COMPUTER-READABLE MEDIUM AND DATA PROCESSING DEVICE

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR MESSUNG EINER LAUFZEIT EINES MESS-LICHTSTRAHLS,
NUTZERENDGERÄT, DETEKTIONS- UND BELEUCHTUNGSGERÄT, VERFAHREN ZUR MESSUNG EINER LAUFZEIT
EINES MESS-LICHTSTRAHLS, COMPUTERPROGRAMM UND/ODER COMPUTERLESBARES MEDIUM UND
DATENVERARBEITUNGSVORRICHTUNG

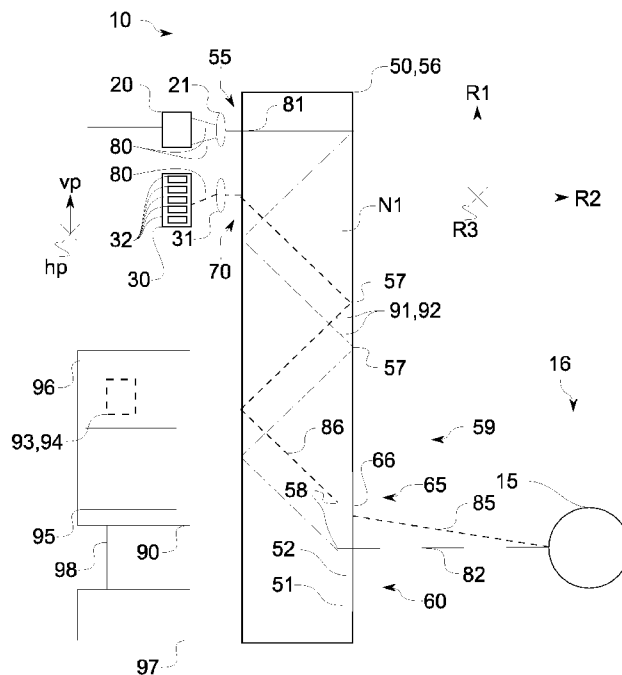


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a device (10) for measuring a propagation time (92) of a measurement light beam (80), comprising a measurement light source (20) for emitting the measurement light beam (80), a light sensor (30) for detecting the measurement light beam (80), a waveguide (50) and a data processing device (90), wherein the waveguide (50) is designed such that the measurement



WO 2024/088985 A1

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, MG, MK, MN, MU, 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, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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)

light beam (80) emitted from the measurement light source (20) is guided to an object (15) in an object region (16) of the device (10) and the measurement light beam (85) reflected from the object (15) is guided to the light sensor (30) at least partially through the waveguide (50), wherein the waveguide (50) has a measurement diffraction structure (51, 52) for deflecting the measurement light beam (81, 86) depending on the wavelength and the measurement light beam (86) covers a wavelength-dependent path length (91) in the waveguide (50), wherein the data processing device (90) is configured to determine, during measurement of the propagation time (92), an optical path length contribution (93) and/or a propagation time contribution (94) for the measurement light beam (80) detected by the light sensor (30) taking into consideration the wavelength-dependent path length (91) of the measurement light beam (86) within the waveguide (50).

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung (10) zur Messung einer Laufzeit (92) eines Mess-Lichtstrahls (80), umfassend eine Mess-Lichtquelle (20) zum Emittieren des Mess-Lichtstrahls (80), einen Lichtsensor (30) zum Detektieren des Mess-Lichtstrahls (80), einen Wellenleiter (50) und eine Datenverarbeitungsvorrichtung (90), wobei der Wellenleiter (50) derart ausgebildet ist, dass der von der Mess-Lichtquelle (20) emittierte Mess-Lichtstrahl (80) zu einem Objekt (15) in einem Objektbereich (16) der Vorrichtung (10) und der von dem Objekt (15) reflektierte Mess-Lichtstrahl (85) zu dem Lichtsensor (30) wenigstens teilweise durch den Wellenleiter (50) geleitet wird, wobei der Wellenleiter (50) eine Mess-Diffraktionsstruktur (51, 52) zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahl (81, 86) aufweist und der Mess-Lichtstrahl (86) in dem Wellenleiter (50) eine wellenlängenabhängige Weglänge (91) zurücklegt, wobei die Datenverarbeitungsvorrichtung (90) dazu eingerichtet ist, bei der Messung der Laufzeit (92) einen optischen Weglängenbeitrag (93) und/oder einen Laufzeitbeitrag (94) für den von dem Lichtsensor (30) detektierten Mess-Lichtstrahl (80) unter Berücksichtigung der wellenlängenabhängigen Weglänge (91) des Mess-Lichtstrahls (86) innerhalb des Wellenleiters (50) zu ermitteln.

**Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls,
Nutzerendgerät, Detektions- und Beleuchtungsgerät, Verfahren zur Messung
einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls, Computerprogramm und/oder
computerlesbares Medium und Datenverarbeitungsvorrichtung**

5

Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls, umfassend eine Mess-Lichtquelle zum Emittieren des Mess-Lichtstrahls, einen Lichtsensor zum Detektieren des Mess-Lichtstrahls, einen Wellenleiter und eine Datenverarbeitungsvorrichtung, wobei der Wellenleiter derart ausgebildet ist, dass der von der Mess-Lichtquelle emittierte Mess-Lichtstrahl zu einem in einem Objektbereich der Vorrichtung befindlichen Objekt und der von dem Objekt reflektierte Mess-Lichtstrahl zu dem Lichtsensor wenigstens teilweise durch den Wellenleiter geleitet wird, wobei der Wellenleiter eine Mess-Diffraktionsstruktur zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahl aufweist und der Mess-Lichtstrahl in dem Wellenleiter eine wellenlängenabhängige Weglänge zurücklegt. Die vorliegende Offenbarung betrifft auch ein Nutzerendgerät, ein Detektions- und Beleuchtungsgerät, ein Verfahren zur Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls, ein Computerprogramm und/oder ein computerlesbares Medium und eine Datenverarbeitungsvorrichtung.

20

Ein Wellenleiter ist aus dem Stand der Technik bekannt. Beispielsweise offenbart WO 2020/157306 A1 einen funktionalisierten Wellenleiter für ein Detektorsystem, wobei der Wellenleiter einen transparenten Wellenleiter mit einer Vorderseite und einer Rückseite aufweist, wobei der Wellenleiter einen teil-transparenten Einkoppelbereich und einen davon in einer ersten Richtung beabstandeten Auskoppelbereich aufweist, wobei der Einkoppelbereich eine diffraktive Struktur umfasst, die von einem zu detektierenden Objekt kommende und auf die Vorderseite treffende Strahlung nur einen Teil so umlenkt, dass der umgelenkte Teil als eingekoppelte Strahlung im Wellenleiter durch Reflexionen bis zum Auskoppelbereich propagiert und auf den Auskoppelbereich trifft, wobei der Auskoppelbereich von der auf ihn treffenden eingekoppelten Strahlung mindestens einen Teil so umlenkt, dass der umgelenkte Teil aus dem Wellenleiter über die

30

Vorderseite oder Rückseite austritt, um auf das Detektorsystem zu treffen, wobei die Ausdehnung des Einkoppelbereichs in einer zweiten Richtung quer zur ersten Richtung größer ist als die Ausdehnung des Auskoppelbereiches in der zweiten Richtung.

5

Vorrichtungen zur Messung der Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls sind aus dem Stand der Technik bekannt.

10

Die Laufzeit des Mess-Lichtstrahls und damit das Ergebnis der Messung der Laufzeit und/oder einer Messung der Entfernung zwischen dem Objekt und der Vorrichtung können durch eine wellenlängenabhängige Umlenkung des Mess-Lichtstrahls und einer damit verbundenen wellenlängenabhängigen optischen Weglänge des Mess-Lichtstrahls beeinflusst werden, da der Mess-Lichtstrahl aufgrund der unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedlich in den Wellenleiter eingekoppelt und aus den Wellenleiter ausgekoppelt wird und so unterschiedliche optische Weglängen zurücklegen kann.

15

Es ist die Aufgabe, den Stand der Technik zu bereichern und eine verbesserte Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls zu ermöglichen. Eine Ausgestaltung der Offenbarung kann die Aufgabe lösen, eine wellenlängenunabhängige Verbesserung der Messung der Entfernung zwischen dem Objekt und der Vorrichtung zu erzielen.

20

Die Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Optionale Weiterbildungen der Offenbarung sind durchabhängige Patentansprüche, die folgende Beschreibung sowie die Figuren offenbart.

25

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird eine Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls bereitgestellt. Die Vorrichtung umfasst eine Mess-Lichtquelle zum Emittieren des Mess-Lichtstrahls, einen Lichtsensor zum Detektieren des Mess-Lichtstrahls, einen Wellenleiter und eine Datenverarbeitungsvorrichtung, wobei der Wellenleiter derart ausgebildet ist, dass

30

der von der Mess-Lichtquelle emittierte Mess-Lichtstrahl zu einem in einem Objektbereich der Vorrichtung befindlichen Objekt und der von dem Objekt reflektierte Mess-Lichtstrahl zu dem Lichtsensor wenigstens teilweise durch den Wellenleiter geleitet wird, wobei der Wellenleiter eine Mess-Diffraktionsstruktur zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahl aufweist und der Mess-Lichtstrahl in dem Wellenleiter eine wellenlängenabhängige Weglänge zurücklegt, wobei die Datenverarbeitungsvorrichtung dazu eingerichtet ist, bei der Messung der Laufzeit einen optischen Weglängenbeitrag und/oder einen Laufzeitbeitrag für den von dem Lichtsensor detektierten Mess-Lichtstrahl unter Berücksichtigung der wellenlängenabhängigen Weglänge des Mess-Lichtstrahls innerhalb des Wellenleiters zu ermitteln.

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird ein Nutzerendgeräte bereitgestellt. Das Nutzerendgeräte umfasst die oben beschriebene Vorrichtung zur Messung der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls.

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird ein Detektions- und Beleuchtungsgerät bereitgestellt. Das Detektions- und Beleuchtungsgerät umfasst die oben beschriebene Vorrichtung zur Messung der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls.

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird ein Verfahren zur Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls bereitgestellt. Dabei weist das Verfahren auf: Leiten des Mess-Lichtstrahls zu einem in einem Objektbereich befindlichen Objekt und des von dem Objekt reflektierten Mess-Lichtstrahls zu einem Lichtsensor wenigstens teilweise durch einen Wellenleiter mit einer Mess-Diffraktionsstruktur zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahls, wobei der Mess-Lichtstrahl in dem Wellenleiter eine wellenlängenabhängige Weglänge zurücklegt; und Ermitteln eines optischen Weglängenbeitrags und/oder eines Laufzeitbeitrags für den von dem Lichtsensor detektierten Mess-Lichtstrahl unter Berücksichtigung der wellenlängenabhängigen Weglänge des Mess-Lichtstrahls in dem Wellenleiter.

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird Computerprogramm und/oder computerlesbares Medium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms bzw. der Befehle durch einen Computer diesen veranlassen, das oben beschriebene Verfahren und/oder die Schritte des Verfahrens durchzuführen, bereitgestellt.

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird eine Datenverarbeitungsvorrichtung bereitgestellt. Dabei ist die Datenverarbeitungsvorrichtung dazu eingerichtet, das oben beschriebene Verfahren zur Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls durchzuführen.

Die Vorrichtung zur Messung der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls gemäß einem Aspekt der Offenbarung kann dazu eingerichtet sein, die Laufzeit des Mess-Lichtstrahls zu ermitteln. Die Laufzeit kann dabei eine Differenz sein zwischen einem ersten Zeitpunkt, an dem der Mess-Lichtstrahl von der Lichtquelle emittiert wird, und einem zweiten Zeitpunkt, an dem der von dem Objekt reflektierte Mess-Lichtstrahl von dem Lichtsensor detektiert wird. Aus der Laufzeit kann sich der von dem Mess-Lichtstrahl zurückgelegte Weg ergeben, aus dem auf einen Abstand zwischen der Vorrichtung und dem Objekt geschlossen werden kann. In mancher Hinsicht kann die Vorrichtung zur Messung der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls hinsichtlich möglicher Anwendungsbereiche den Anwendungsbereichen eines LIDAR-Sensor ähneln, wobei sich die Vorrichtung zumindest darin von einem LIDAR-Sensor unterscheidet, dass es bei einer offenbarungsgemäßen Vorrichtung nicht zwingend erforderlich ist, einen Laserstrahl über den zu beobachtenden Winkelbereich zu bewegen bzw. zu scannen. Vielmehr kann es mit einer offenbarungsgemäßen Vorrichtung möglich sein, mit dem emittierten Mess-Lichtstrahl den gesamten zu erfassenden Messbereich zu erfassen, ohne den Mess-Lichtstrahl bewegen bzw. scannen zu müssen. Zudem kann eine offenbarungsgemäße Vorrichtung unter anderem darin von einem LIDAR-Sensor abweichen, dass eine mögliche Reichweite des Messbereichs von der Reichweite eines LIDAR-Sensors abweicht. So kann optional ein Messbereich einer offenbarungsgemäßen Vorrichtung eine Reichweite von etwa 3 m aufweisen.

Die Vorrichtung ist optional dabei derart eingerichtet, dass der Mess-Lichtstrahl entlang eines optischen Weges zwischen dem in dem Objektbereich befindlichen Objekt und dem Lichtsensor wenigstens teilweise durch den Wellenleiter geleitet wird. Dabei kann der Mess-Lichtstrahl in den Wellenleiter eintreten, kann also in den Wellenleiter eingekoppelt werden, kann innerhalb des Wellenleiters einen optischen Weg zurücklegen und kann aus dem Wellenleiter austreten, kann also aus dem Wellenleiter ausgekoppelt werden. Dabei kann der Objektbereich als ein Erfassungsbereich beziehungsweise Sichtfeld (Field of View) der Vorrichtung definiert werden, innerhalb dessen das Objekt zur Messung der Laufzeit angeordnet sein kann. Der Mess-Lichtstrahl kann innerhalb des Wellenleiters eine wellenlängenabhängige Weglänge zurücklegen, da der Wellenleiter die Mess-Diffraktionsstruktur aufweist, die dazu eingerichtet ist, den Mess-Lichtstrahl wellenlängenabhängig umzulenken. Das wellenlängenabhängige Umlenken des Mess-Lichtstrahls kann bedeuten, dass der Mess-Lichtstrahl je nach Wellenlänge innerhalb des Wellenleiters unterschiedliche Wege zurückgelegt, da der Mess-Lichtstrahl je nach Wellenlänge unterschiedlich, d.h., insbesondere um unterschiedlichen Winkel umgelenkt, in den Wellenleiter eingekoppelt werden kann.

Um die Weglänge des Mess-Lichtstrahls möglichst präzise ermitteln zu können, kann die Datenverarbeitungsvorrichtung einen optischen Weglängenbeitrag des Mess-Lichtstrahls ermitteln. Dabei gibt der optische Weglängenbeitrag optional eine wellenlängenabhängige optische Weglänge innerhalb des Wellenleiters des Mess-Lichtstrahls für eine bestimmte Wellenlängen des Mess-Lichtstrahls an, die durch die Propagation des Mess-Lichtstrahls mit der Wellenlänge durch den Wellenleiter begründet ist. Es wurde erkannt, dass Mess-Lichtstrahlen mit voneinander verschiedenen Wellenlängen unterschiedliche optische Weglängen innerhalb des Wellenleiters zurücklegen können. Der Mess-Lichtstrahl kann innerhalb des Wellenleiters einen optischen Weg zurücklegen, der unterschiedlich zu einem wellenlängenunabhängigen optischen Weg ohne den Wellenleiter ist. Ein erster Teil des Mess-Lichtstrahls und/oder ein erster Mess-Lichtstrahl mit einer ersten Wellenlänge kann somit aufgrund der wellenlängenabhängigen Umlenkung

innerhalb des Wellenleiters einen ersten optischen Weg zurücklegen und ein zweiter Teil des Mess-Lichtstrahls und/oder ein zweiter Mess-Lichtstrahl mit einer zweiten, von der ersten Wellenlänge verschiedenen Wellenlänge einen zweiten optischen Weg zurücklegen. Der optische Weglängenbeitrag kann somit von der Wellenlänge abhängig sein. Bei einer bekannten Propagationsgeschwindigkeit des Mess-Lichtstrahls innerhalb des Wellenleiters kann analog der Laufzeitbeitrag definiert werden. Dabei kann der Laufzeitbeitrag eine wellenlängenabhängige Laufzeit des Mess-Lichtstrahls innerhalb des Wellenleiters für eine bestimmte Wellenlängen des Mess-Lichtstrahls angeben. Mit anderen Worten kann ein erster Teil des Mess-Lichtstrahls und/oder ein erster Mess-Lichtstrahl mit einer ersten Wellenlänge aufgrund der wellenlängenabhängigen Umlenkung innerhalb des Wellenleiters einen ersten optischen Weg mit einer ersten Laufzeit zurücklegen und ein zweiter Teil des Mess-Lichtstrahls und/oder ein zweiter Mess-Lichtstrahl mit einer zweiten, von der ersten Wellenlänge verschiedenen Wellenlänge einen zweiten optischen Weg mit einer zweiten Laufzeit zurücklegen. Der Laufzeitbeitrag kann somit von der Wellenlänge abhängig sein.

Die Offenbarung bietet den Vorteil, dass es durch das Ermitteln des Weglängenbeitrags und/oder des Laufzeitbeitrags möglich ist, den Abstand zwischen dem Objekt und der Vorrichtung mit einem polychromatischen Mess-Lichtstrahl und/oder mit Mess-Lichtstrahlen mit mehreren Wellenlängen präzise zu ermitteln und dabei zu vermeiden, dass die wellenlängenabhängige Umlenkung des Mess-Lichtstrahls innerhalb des Wellenleiters je nach Wellenlänge des Mess-Lichtstrahls zu unterschiedlichen Ergebnissen der Messung der Laufzeit führt. Ferner ist es möglich, gezielt einen polychromatischen Mess-Lichtstrahl verwenden zu können, um den Mess-Lichtstrahl beispielsweise mit unterschiedlichen Winkeln in den Wellenleiter einkoppeln und/oder aus den Wellenleiter auskoppeln zu können, um einen Erfassungsbereich der Vorrichtung zur Messung der Laufzeit zu vergrößern. Durch die wellenlängenabhängige Umlenkung innerhalb des Wellenleiters kann es zudem möglich sein, einen Wellenleiter bereitzustellen, der für das menschliche Auge wenigstens teilweise transparent sein kann, während der Mess-Lichtstrahl umgelenkt werden kann. Dadurch ist es möglich, den Mess-

Lichtstrahl derart umzulenken, dass Komponenten zur Messung der optischen Weglänge, also insbesondere die Mess-Lichtquelle und der Lichtsensor, an einen für einen Nutzer nicht sichtbaren Ort angeordnet werden können.

5 Die Mess-Diffraktionsstruktur kann zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahls in einem nahinfraroten Spektralbereich, NIR-Bereich, eingerichtet sein. Dabei erfolgt die wellenlängenabhängige Umlenkung aufgrund von Beugung an der Mess-Diffraktionsstruktur, wenn der Mess-Lichtstrahl aufgrund seiner Wellenlänge und/oder seines Einfallswinkels relativ zu der Mess-Diffraktionsstruktur
10 einem Bragg-Bedingung erfüllt. Außerhalb des Spektralbereich erfüllt der Mess-Lichtstrahl die Bragg-Bedingung nicht. Damit erfolgt außerhalb des Spektralbereich keine derartige Umlenkung durch die Mess-Diffraktionsstruktur. Damit kann die Mess-Diffraktionsstruktur außerhalb des Spektralbereich transparent sein und Licht außerhalb des Spektralbereichs weitgehend ohne Beugung und/oder Umlenkung
15 transmittieren. In dem Spektralbereich ist der Mess-Lichtstrahl für das menschliche Auge nicht sichtbar, was die Nutzerfreundlichkeit der Vorrichtung erhöht, da eine sichtbare „Beleuchtung“ des Objekts durch den Mess-Lichtstrahl entbehrlich ist. Ferner kann die Vorrichtung in einer Ausführungsform der Offenbarung eine Anzeige und/oder ein Abbildungsobjekt durch sichtbares Licht rekonstruieren, wobei ein Crosstalk, also eine gegenseitige Beeinflussung, zwischen dem
20 sichtbaren Licht und dem Mess-Lichtstrahl vermieden wird. Insbesondere kann die Mess-Diffraktionsstruktur dazu eingerichtet sein, den Mess-Lichtstrahl in einem Spektralbereich von 700 nm bis 940 nm und/oder bis 1100 nm wellenlängenabhängig umzulenken. Damit ist es möglich, auf einen
25 kosteneffektiven Lichtsensor zurückzugreifen. Alternativ ist auch ein anderer Spektralbereich möglich, in dem die Mess-Diffraktionsstruktur zum wellenlängenabhängigen Umlenken eingerichtet ist, wobei dafür eine andere Lichtquelle, ein anderer Lichtsensor und/oder ein Wellenleiter aus einem anderen Material bereitzustellen ist.

30

Der Lichtsensor kann eine Mehrzahl von Pixeln bzw. Bildpunkten aufweisen, und die Datenverarbeitungsvorrichtung kann dazu eingerichtet sein, für mehrere der

Bildpunkte eines jeweils detektierten Teils des Mess-Lichtstrahls den optischen Weglängenbeitrag und/oder Laufzeitbeitrag abzurufen und/oder zu berechnen. Der Lichtsensor weist die Mehrzahl von Bildpunkten bzw. Pixeln auf, wobei die Bildpunkte jeweils dazu eingerichtet sind, den Mess-Lichtstrahl und/oder einen Teil des Mess-Lichtstrahls zu detektieren. Dabei weist der Lichtsensor mehrere Bildpunkte auf, um einen verbesserten Erfassungsbereich der Vorrichtung zur Messung der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls bereitzustellen. Dabei wurde erkannt, dass das wellenlängenabhängige Umlenken des Mess-Lichtstrahls zur Folge hat, dass spektral verschiedene Anteile des Mess-Lichtstrahls, also Teile des Mess-Lichtstrahls und/oder Mess-Lichtstrahle mit unterschiedlichen Wellenlängen, unterschiedlich aus den Wellenleiter in Richtung des Lichtsensors ausgekoppelt werden. Dabei ist eine Zuordnung zwischen der Wellenlänge des Mess-Lichtstrahls und einem der Bildpunkte gegeben, denn ein Teil des Mess-Lichtstrahls mit einer bestimmten Wellenlänge wird von einem bestimmten Bildpunkt detektiert. Damit ist für einen gegebenen Bildpunkt die Wellenlänge des Mess-Lichtstrahls bekannt, woraus auf die optische Weglänge des Mess-Lichtstrahls geschlossen werden kann. Damit ergibt sich für verschiedene Bildpunkte jeweils ein Weglängenbeitrag, der aus den verschiedenen Wellenlängen der auf die Bildpunkte treffenden Teile des Mess-Lichtstrahls resultiert.

Der optischen Weglängenbeitrag und/oder der Laufzeitbeitrag kann einer vertikalen Pixelposition und einer horizontalen Pixelposition entsprechen. Dabei weist der Lichtsensor die Mehrzahl von Bildpunkten auf, und den Bildpunkten ist jeweils eine vertikale Pixelposition und/oder eine horizontale Pixelposition zuordenbar. Beispielsweise sind die Bildpunkte gemäß einer Matrix angeordnet. Anhand der Position eines Pixels kann auf die Wellenlänge des Mess-Lichtstrahls geschlossen werden. Somit kann der optische Weglängenbeitrag entsprechend der Pixelposition ermittelt werden. Anhand der Pixel der Matrix kann der Erfassungsbereich beziehungsweise das Field of View aufgelöst werden und eine optische Weglänge einem jeweiligen Pixel der Matrix zugeordnet werden.

Die Mess-Diffraktionsstruktur kann dazu eingerichtet sein, den von dem Objekt reflektierten und unter einem ersten Einfallswinkel von $\pm 20^\circ$ auf eine Oberfläche des Wellenleiters treffenden Mess-Lichtstrahl in den Wellenleiter einzukoppeln und/oder den von dem Objekt reflektierten und unter einem senkrecht zu dem ersten Einfallswinkel definierten zweiten Einfallswinkel von $\pm 20^\circ$ auf die Oberfläche des Wellenleiters treffenden Mess-Lichtstrahl in den Wellenleiter einzukoppeln. Dabei kann der erste Einfallswinkel einen Erfassungsbereich der Vorrichtung in einer vertikalen Richtung definieren. Der zweite Einfallswinkel kann den Erfassungsbereich der Vorrichtung in einer horizontalen Richtung definieren. Dabei wurde erkannt, dass die angegebenen Bereiche der Einfallswinkel mit dem Wellenleiter und insbesondere mit der Mess-Diffraktionsstruktur zum Umlenken des Mess-Lichtstrahls in dem nahinfraroten Spektralbereich besonders effektiv bereitzustellen sind. Durch ein Ausschöpfen des Spektralbereichs, also das emittieren des Mess-Lichtstrahls mit mehreren Wellenlängen innerhalb des Spektralbereichs, kann somit Licht mit einem verglichen zu einer bekannten Optik großen Bereich von Einfallswinkeln in dem Wellenleiter eingekoppelt werden, was den Erfassungsbereich gegenüber beispielsweise einer Optik mit einer Linse vergrößern kann. Der Wellenleiter kann dazu auch dazu eingerichtet sein, den Mess-Lichtstrahl mit einem analog zu dem ersten Einfallswinkel angeordneten ersten Austrittswinkel von $\pm 20^\circ$ und/oder einem analog zu dem zweiten Einfallswinkel angeordneten zweiten Austrittswinkel von $\pm 20^\circ$ aus dem Wellenleiter auszukoppeln.

Die Datenverarbeitungsvorrichtung kann dazu eingerichtet sein, durch eine Eingabevorrichtung das Objekt betreffende Entfernungsdaten zu erfassen und das Ermitteln der optischen Weglänge und/oder der Laufzeit anhand der Entfernungsdaten zu kalibrieren. Dabei wurde erkannt, dass ein Kalibrieren der Vorrichtung möglich ist, um auch eine Messung der Laufzeit durchführen zu können, wenn beispielsweise die Art des Wellenleiters und/oder der Mess-Diffraktionsstruktur unbekannt sind. Dabei kann die optische Weglänge durch den Wellenleiter mithilfe einer Messung einer Laufzeit des Mess-Lichtsignals mit einer bekannten Wellenlänge und einem bekannten Objektabstand kalibriert werden.

Die Vorrichtung kann eine Bild-Lichtquelle zum Emittieren eines sichtbaren Bild-Lichtstrahls aufweisen und der Wellenleiter kann eine Bild-Diffraktionsstruktur zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Bild-Lichtstrahls aufweisen. Die Bild-Lichtquelle ist optional dazu eingerichtet, den Bild-Lichtstrahl in den Wellenleiter einzukoppeln, damit der Bild-Lichtstrahl durch die Bild-Diffraktionsstruktur umgelenkt wird. Optional kann der Bild-Lichtstrahl durch eine optische Struktur in den Wellenleiter eingekoppelt werden. Der umgelenkte Bild-Lichtstrahl wird aus den Wellenleiter ausgekoppelt, um ein virtuelles oder reelles Bild im sichtbaren Bereich, also eine visuell wahrnehmbare Darstellung, außerhalb des Wellenleiters zu rekonstruieren.

Die Vorrichtung kann dazu eingerichtet sein, die Bild-Lichtquelle in Abhängigkeit der optischen Weglänge und/oder der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls anzusteuern. Damit ist es möglich, dass die Bild-Lichtquelle Bildinformationen emittiert, die auf das Objekt abgestimmt sind. Beispielsweise kann das Objekt ein Körperteil eines Nutzers sein, dessen Position relativ zu dem Wellenleiter erfasst wird, und das Bild kann in Abstimmung mit der Position in der Umgebung des Wellenleiters rekonstruiert bzw. angezeigt werden.

Die Vorrichtung kann dazu eingerichtet sein, eine in einer zweiten Richtung von dem Wellenleiter beabstandete Nutzerschnittstelle abzubilden und eine Nutzereingabe durch die Nutzerschnittstelle anhand der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls zu erfassen. Dabei wurde erkannt, dass durch die Bild-Lichtquelle und die Bild-Diffraktionsstruktur die Nutzerschnittstelle abgebildet werden kann. Die Nutzerschnittstelle wird dabei derart rekonstruiert, dass die Nutzerschnittstelle in eine Umgebung des Wellenleiters beabstandet zu dem Wellenleiter zu schweben scheint. Ein Nutzer kann in Interaktion mit der Nutzerschnittstelle treten, beispielsweise in dem der Nutzer ein Körperteil gemäß der Nutzerschnittstelle positioniert. Die Position des Körperteils des Nutzers kann anhand der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls erfasst werden und als Eingabe des Nutzers interpretiert werden.

Die Vorrichtung kann dazu eingerichtet sein, ein in einer zweiten Richtung von dem Wellenleiter beabstandetes Abbildungsobjekt relativ zu dem Objekt abzubilden. Dabei wurde erkannt, dass die Vorrichtung in dem Beispiel eine vorteilhafte Anwendung im Bereich der augmented reality (AR) bereitstellen kann. Das Objekt
5 kann beispielsweise eine Szenerie beziehungsweise eine Umgebung des Wellenleiters sein, in die das Abbildungsobjekt abgebildet wird. Beispielsweise kann das Abbildungsobjekt in einer Anwendung, in der ein Nutzer durch den Wellenleiter schaut, als ein virtuelles Objekt abgebildet werden. Beispielsweise kann das Abbildungsobjekt in einer Anwendung, in der der Nutzer durch den Wellenleiter auf
10 die Bild-Lichtquelle schaut, als reelles Objekt abgebildet werden. Damit das Abbildungsobjekt vorteilhaft abbildbar ist, erfasst die Vorrichtung die Geometrie des Objektes durch die Messung der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls. Damit kann das Abbildungsobjekt mit einer dem Objekt entsprechenden Tiefe abgebildet werden.

15 Die Vorrichtung kann dazu eingerichtet sein, die Bild-Lichtquelle dynamisch und/oder in Abhängigkeit einer erfassten Bewegung des Objekts anzusteuern. Damit ist es möglich, insbesondere dynamische, also zeitabhängige, Anwendungen im Bereich der augmented reality bereitzustellen.

20 Die Vorrichtung kann einen Spiegel und/oder ein Prisma zum Umlenken des aus dem Wellenleiter austretenden Mess-Lichtstrahls und/oder zum Umlenken des von dem Objekt reflektierten Mess-Lichtstrahls aufweisen. Ein Umlenken des aus dem Wellenleiter austretenden Mess-Lichtstrahls und/oder des von dem Objekt reflektierten Mess-Lichtstrahls kann insbesondere zur Bereitstellung für ein
25 Nutzerendgeräte vorteilhaft sein, da durch das möglich Umlenken die Vorrichtung vielfältig anordenbar ist bzw. deren Komponenten vielfältig anordenbar sind. Dadurch können die Komponenten der Vorrichtung, mit Ausnahme des Wellenleiters, vorteilhaft für einen Nutzer des Nutzerendgeräts nicht sichtbar in einem Gehäuse des Nutzerendgeräts angeordnet werden.

30 Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird ein Nutzerendgeräte bereitgestellt. Das Nutzerendgeräte umfasst die oben beschriebene Vorrichtung zur Messung der

Laufzeit des Mess-Lichtstrahls. Dabei kann die Vorrichtung des Nutzerendgeräts ein oder mehrere der oben beschriebenen optionalen technischen Merkmale aufweisen, um einen damit verbundenen technischen Effekt zu erzielen.

5 Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird ein Detektions- und
Beleuchtungsgerät bereitgestellt. Das Detektions- und Beleuchtungsgerät umfasst
die oben beschriebene Vorrichtung zur Messung der Laufzeit des Mess-
Lichtstrahls. Dabei kann die Vorrichtung des Detektions- und Beleuchtungsgeräts
ein oder mehrere der oben beschriebenen optionalen technischen Merkmale
10 aufweisen, um einen damit verbundenen technischen Effekt zu erzielen.

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird ein Verfahren zur Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls bereitgestellt. Dabei weist das Verfahren auf:
Leiten des Mess-Lichtstrahls zu einem Objekt und des von dem Objekt reflektierten
Mess-Lichtstrahls zu einem Lichtsensor wenigstens teilweise durch einen
Wellenleiter mit einer Mess-Diffraktionsstruktur zum wellenlängenabhängigen
Umlenken des Mess-Lichtstrahls, wobei der Mess-Lichtstrahl in dem Wellenleiter
eine wellenlängenabhängige Weglänge zurücklegt; und Ermitteln eines optischen
Weglängenbeitrags und/oder eines Laufzeitbeitrags für den von dem Lichtsensor
detektierten Mess-Lichtstrahl unter Berücksichtigung der wellenlängenabhängigen
Weglänge des Mess-Lichtstrahls in dem Wellenleiter.

Das Verfahren kann insbesondere mit der oben beschriebenen Vorrichtung zur Messung der Laufzeit des Mess-Lichtstrahls durchgeführt werden. Damit gilt das mit 25 Bezug zu der Vorrichtung beschriebene analog für das Verfahren und umgekehrt.

Der optische Weglängenbeitrag und/oder Laufzeitbeitrag kann abhängig von einer wellenlängenabhängigen Anzahl von Totalreflexionen innerhalb des Wellenleiters und/oder eines wellenlängenabhängigen Umlenk winkels innerhalb des Wellenleiters ermittelt werden. Dabei wurde erkannt, dass die Anzahl der Totalreflexionen und der Umlenk winkel einen Einfluss auf den optischen Weg eines Mess-Lichtstrahls innerhalb des Wellenleiters haben. Unter Berücksichtigung der

Anzahl von Totalreflexionen innerhalb des Wellenleiters und/oder des Umlenk winkels lässt sich bei bekannter Geometrie des Wellenleiters der optische Weglängenbeitrag und/oder der Laufzeitbeitrag berechnen.

- 5 Optional können die Mess-Lichtquelle und/oder die Bild-Lichtquelle eine oder mehrere der folgenden Arten von Lichtquellen aufweisen: Leuchtdioden (LEDs), Laserdioden, Halbleiter-Laser, und Festkörper-Laser.

Ein Emissionsspektrum der Mess-Lichtquelle kann dabei optional im infraroten Spektralbereich liegen. Dies kann den Vorteil bieten, dass das von der Mess-Lichtquelle emittierte Licht für das menschliche Auge nicht sichtbar ist und entsprechend das von der Mess-Lichtquelle emittierte Licht von Menschen nicht als störend wahrgenommen wird. Optional kann das Emissionsspektrum in einem Spektralbereich liegen, in welchem der Wellenleiter optisch transparent ist. Optional
10 kann das Emissionsspektrum der Mess-Lichtquelle in einem Bereich von etwa 780 nm bis etwa 2 μ m liegen. Optional kann das Emissionsspektrum der Mess-Lichtquelle in einem Bereich von etwa 780 nm bis etwa 1.100 nm liegen. Dies kann den Vorteil bieten, dass Silizium-basierte Detektoren für die Detektion des Messlichts verwendbar sein können, wie etwa CMOS Sensoren und/oder CCD
15 Arrays. Für Wellenlängen, welche insbesondere bei längeren Wellenlängen als 1.100 nm liegen, kann die Wahl eines dafür geeigneten Detektors vorteilhaft sein, wie etwa ein AlGaAs-basierter Detektor und/oder ein InGaAs-basierter Detektor. Die Wahl des Detektors kann an die Mess-Lichtquelle und das Emissionsspektrum der Mess-Lichtquelle angepasst sein. Die angegebenen Spektralbereiche bedeuten
20 dabei nicht, dass das Emissionsspektrum zwingend jeweils den gesamten, angegebenen Spektralbereich abdecken muss. Vielmehr kann das Emissionsspektrum einen kleinen spektralen Bereich des angegebenen Spektralbereichs abdecken. Optional kann die Mess-Lichtquelle ein Emissionsspektrum mit einer Halbwertsbreite (Full Width at Half Maximum, FWHM)
25 von 100 nm oder weniger, optional 50 nm oder weniger und optional 10 nm oder weniger aufweisen.
30

Alternativ oder zusätzlich kann die Mess-Lichtquelle dazu ausgelegt sein, ein Emissionsspektrum bei 1,55 μm und/oder in einem Spektralbereich um 1,55 μm herum bereitzustellen. Dieser in der Telekommunikation weit verbreitete Spektralbereich kann den Vorteil bieten, dass die Absorption durch Wasser, auch durch Feuchtigkeit in der Luft, besonders gering sein kann und entsprechend damit verbundene Verluste gering gehalten werden können, wodurch eine Reichweite erhöht und/oder die bereitzustellende Emissionsleistung verringert werden können.

Optional können die eine oder mehreren verwendeten Diffraktionsstrukturen bzw. holographischen Strukturen an das Emissionsspektrum der Mess-Lichtquelle und/oder ein Emissionsspektrum der Bildlichtquelle angepasst sein. Optional können die eine oder mehreren verwendeten Diffraktionsstrukturen bzw. holographischen Strukturen dazu ausgelegt sein, im spektralen Bereich des Messlichts eine besonders hohe Effizienz aufzuweisen. Optional können die eine oder mehreren verwendeten Diffraktionsstrukturen bzw. holographischen Strukturen an einen beabsichtigten Winkelbereich für die Ein- und/oder Auskopplung von Licht aus den jeweiligen Diffraktionsstrukturen bzw. holographischen Strukturen ausgelegt sein.

Ein Emissionsspektrum der Bild-Lichtquelle kann optional im sichtbaren Bereich liegen, also etwa in einem Spektralbereich zwischen 400 nm und 780 nm. Dies kann den Vorteil bieten, dass mittels von der Bild-Lichtquelle emittiertem Licht dargestellte Bildinformationen für das menschliche Auge sichtbar sein können.

Die Verwendung von Leuchtdioden als Mess-Lichtquelle oder als Teil davon kann den Vorteil bieten, dass das Mess-Licht in einem vorgegebenen Emissionswinkelbereich emittiert wird, der größer als Null ist, anstatt eines kollimierten Laserstrahls mit einem Emissionswinkel von nahezu Null. Dadurch kann ein großer Emissionswinkelbereich realisiert werden, welcher zu einem großen Field of View (FOV), also einem großen Messbereich, führen kann. Optional kann der Messbereich bzw. das FOV einem Winkelbereich von 15° oder mehr und optional von 50° entsprechen.

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird Computerprogramm und/oder computerlesbares Medium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms bzw. der Befehle durch einen Computer diesen veranlassen, das oben beschriebene Verfahren und/oder die Schritte des Verfahrens durchzuführen, bereitgestellt.

Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird eine Datenverarbeitungsvorrichtung bereitgestellt. Dabei ist die Datenverarbeitungsvorrichtung dazu eingerichtet, das oben beschriebene Verfahren zur Messung einer Laufzeit eines Mess-Lichtstrahls durchzuführen.

Im Folgenden sind Ausführungsbeispiele der Offenbarung beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung;

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Wellenleiters einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung zur Darstellung einer wellenlängenabhängigen optischen Weglängenbeitrags;

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Wellenleiters einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung zur Darstellung eines wellenlängenabhängigen optischen Weglängenbeitrags;

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Wellenleiters einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung zur Darstellung eines wellenlängenabhängigen optischen Weglängenbeitrags;

- Fig. 6 eine schematische Darstellung einer Ablenkungskurve einer Mess-Diffraktionsstruktur eines Wellenleiters einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung;
- Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Wellenleiters einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung zur Darstellung eines wellenlängenabhängigen optischen Weglängenbeitrag;
- Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Abhängigkeit einer Wellenlänge von einem ersten Einfallswinkel und von einem zweiten Einfallswinkel einer Mess-Diffraktionsstruktur eines Wellenleiters einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung;
- Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Abhängigkeit eines optischen Weglängenbeitrags von einem ersten Einfallswinkel und von einem zweiten Einfallswinkel eines Wellenleiters einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung;
- Fig. 10 eine schematische Darstellung einer Umlenkeffizienz eines durch eine Mess-Diffraktionsstruktur umgelenkten Lichtstrahls;
- Fig. 11 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung;
- Fig. 12 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung; und
- Fig. 13 einen Ablaufschema eines Verfahrens zur Messung einer Laufzeit gemäß einem Aspekt der Offenbarung.
- Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung.

Die Vorrichtung 10 ist dazu eingerichtet, die Laufzeit 92 eines Mess-Lichtstrahls 80 zu messen (Time of Flight). Dafür umfasst die Vorrichtung 10 eine Mess-Lichtquelle 20 zum Emittieren des Mess-Lichtstrahls 80, einen Lichtsensor 30 zum Detektieren des Mess-Lichtstrahls 80, einen Wellenleiter 50 und eine Datenverarbeitungsvorrichtung 90.

Die Mess-Lichtquelle 20 ist dazu eingerichtet, den Mess-Lichtstrahl 80 zu emittieren. Der dabei von der Mess-Lichtquelle 20 emittierte Mess-Lichtstrahl 80 umfasst Licht in einem nahinfraroten Spektralbereich, NIR-Bereich, S und weist eine Wellenlänge L im Bereich von 700 nm bis 940 nm auf. Die Mess-Lichtquelle 20 umfasst beispielsweise eine Leuchtdiode (LED) und emittiert den Mess-Lichtstrahl 80 als polychromatisches Licht mit einer Mehrzahl von Wellenlängen innerhalb des NIR-Bereichs S.

Die Mess-Lichtquelle 20 ist mit der Datenverarbeitungsvorrichtung 90 kommunikationstechnisch verbunden, um von der Datenverarbeitungsvorrichtung 90 gesteuert zu werden. Damit kann die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 das Aussenden beziehungsweise Emittieren des Mess-Lichtstrahls 80 insbesondere zeitlich koordinieren und/oder einen ersten Zeitpunkt des Emittierens des Mess-Lichtstrahls 80 durch die Mess-Lichtquelle 20 erfassen.

Die Vorrichtung 10 weist eine Abbildungsvorrichtung 21 auf, die dazu eingerichtet ist, den Mess-Lichtstrahl 80 in Richtung des Wellenleiters 50 zu lenken. Die Abbildungsvorrichtung 21 umfasst beispielsweise ein Prisma, ein Spiegel und/oder eine Linse.

Der Mess-Lichtstrahl 80 wird in einem Sende-Einkoppelbereich 55 des Wellenleiters 50 in den Wellenleiter 50 eingekoppelt und propagiert als in den Wellenleiter 50 eingekoppelter Mess-Lichtstrahl 81 durch den Wellenleiter 50. Dabei wird der eingekoppelte Mess-Lichtstrahl 81 innerhalb des Wellenleiters 50 reflektiert. Insbesondere erfolgt eine Totalreflexion 57 des eingekoppelten Mess-Lichtstrahls 81.

Der Wellenleiter 50 weist in den folgenden beispielhaften Ausführungsformen folgende Geometrie 56 auf: Höhe 266 mm (Ausdehnung entlang der ersten Richtung R1), Dicke 1.2 mm (Ausdehnung entlang einer zweiten Richtung R2, senkrecht zu der ersten Richtung R1), Breite 150 mm (Ausdehnung entlang einer

schematisch durch ein Kreuz illustrierten, dritten Richtung R3, senkrecht zu der ersten Richtung R1 und senkrecht zu der zweiten Richtung R2). Der Wellenleiter 50 kann beispielsweise aus einem Glas, insbesondere einem Borosilikatglas gefertigt sein und eine nur schwach von der Wellenlänge L in dem Spektralbereich S abhängige Brechzahl N1 im Bereich von 1,45 bis 1,5 aufweisen.

Der in den Wellenleiter 50 eingekoppelte Mess-Lichtstrahl 81 propagiert dabei insbesondere in der ersten Richtung R1 durch den Wellenleiter 50 und trifft in einem Sende-Auskoppelbereich 60 auf eine Mess-Diffraktionsstruktur 51. Die Mess-Diffraktionsstruktur 51 des Sende-Auskoppelbereich 60 ist dazu eingerichtet, den eingekoppelten Mess-Lichtstrahl 81 in Abhängigkeit der Wellenlänge L des Mess-Lichtstrahls 81 um einen sich aus der Wellenlänge L ergebenden Umlenkwinkel 58 umzulenken. Damit kann eine weitere Totalreflexion 57 des Mess-Lichtstrahls 81 an der Grenzschicht zwischen dem Wellenleiter 50 und einer Umgebung 59 des Wellenleiters 50 vermieden werden und der Mess-Lichtstrahl 81 kann aus dem Wellenleiter 50 ausgekoppelt werden und als aus dem Wellenleiter 50 ausgekoppelter Mess-Lichtstrahl 82 in der Umgebung 59 des Wellenleiters 50 propagieren.

In der Umgebung 59 des Wellenleiters 50 ist ein in der Figur 1 schematisch als Kreis illustriertes Objekt 15 angeordnet. Das Objekt 15 weist eine derartige Geometrie auf, dass das Objekt 15 unterschiedlich von dem Wellenleiter 50 beabstandete Abschnitte aufweist. Das Objekt 15 ist in einem Objektbereich 16 angeordnet. Der Objektbereich kann dabei in einem Erfassungsbereich (field of view) der Vorrichtung 10 angeordnet sein. Der Objektbereich 16 ist ein außerhalb des Wellenleiters 50 angeordneter Abschnitt einer Umgebung des Wellenleiters 50. Die Vorrichtung 10 ist dazu eingerichtet, den Mess-Lichtstrahl 82 in den Objektbereich 16 zu emittieren. Damit kann der ausgekoppelte Mess-Lichtstrahl 82 das Objekt 15 erreichen und von dem Objekt 15 zur Messung der Laufzeit 92 von dem Objekt 15 in Richtung des Wellenleiters 50 reflektiert werden. An dem Objekt wird der ausgekoppelte Mess-Lichtstrahl 82 reflektiert und propagiert als von dem Objekt 15 reflektierter Mess-Lichtstrahl 85 in Richtung des Wellenleiters 50. Dabei ist die Propagation des

ausgekoppelten Mess-Lichtstrahls 82 und des reflektierten Mess-Lichtstrahls 85 zur besseren Darstellung stark unterschiedlich voneinander.

Der von dem Objekt 15 reflektierte Mess-Lichtstrahl 85 trifft in einem Sensor-Einkoppelbereich 65 des Wellenleiters 50 als ein in dem Sensor-Einkoppelbereich 65 eingekoppelter Mess-Lichtstrahl 86 auf eine Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65. Die Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 ist dazu eingerichtet, den eingekoppelten Mess-Lichtstrahl 86 in Abhängigkeit der Wellenlänge L des Mess-Lichtstrahls 86 umzulenken. Damit kann sichergestellt werden, dass der Mess-Lichtstrahl 86 in dem Wellenleiter 50 derart umgelenkt wird, dass der Mess-Lichtstrahl 86 in der ersten Richtung $R1$ durch den Wellenleiter 50 propagiert und dabei durch eine Mehrzahl von Totalreflexionen 57 bis zu einem Sensor-Auskoppelbereich 70 propagiert.

Die Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 sind zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahls 81, 86 mit einer Wellenlänge L in dem NIR-Bereich S eingerichtet. Dabei bezeichnet die Wellenlänge L des Mess-Lichtstrahls 80, 81, 82, 85, 86 die im Vakuum beziehungsweise in Luft bestimmbare Wellenlänge L und/oder die Wellenlänge L des Mess-Lichtstrahls 80, wie durch die Mess-Lichtquelle 20 emittiert. Innerhalb des Wellenleiters 50 weist der Mess-Lichtstrahl 81, 86 eine durch die Brechzahl $N1$ des Wellenleiters 50 beeinflusste Wellenlänge L auf.

In dem Sensor-Auskoppelbereich 70 wird der Mess-Lichtstrahl 86 aus dem Wellenleiter 50 derart ausgekoppelt, dass der Mess-Lichtstrahl 80 in Richtung des Lichtsensors 30 gelenkt wird. Dafür umfasst die Vorrichtung 10 eine zwischen dem Wellenleiter 50 und dem Lichtsensor 30 angeordnete Abbildungsvorrichtung 31. Die Abbildungsvorrichtung 31 umfasst beispielsweise ein Prisma, ein Spiegel und/oder eine Linse.

Dabei ist in Figur 1 der von der Mess-Lichtquelle 20 zu dem Objekt 15 propagierende Mess-Lichtstrahl 80, 81, 85 mit einer durchgezogenen Linie

dargestellt und der von dem Objekt 15 reflektierte und zu dem Lichtsensor 30 propagierende Mess-Lichtstrahl 80, 85, 86 ist durch eine gestrichene Linie dargestellt. Insgesamt legt dabei der Mess-Lichtstrahl 80, 81, 82, 85, 86 eine optische Weglänge 91 mit einer Laufzeit 92 zurück. Die optische Weglänge 91 und die Laufzeit 92 ist abhängig von der Geometrie 56 des Wellenleiters 50, der Brechzahl N_1 des Wellenleiters 50 sowie von der wellenlängenabhängigen Umlenkung des Mess-Lichtstrahls 80, 81, 82, 85, 86 durch die von dem Wellenleiter 50 umfassten Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52. Durch die Umlenkung mit je Wellenlänge L unterschiedlichen Umlenkwinkeln 58 durch die Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 ergeben sich verschiedene optische Pfade durch den Wellenleiter 50 und somit eine je Wellenlänge L potentiell verschiedene Anzahl von Totalreflexionen 57 innerhalb des Wellenleiters 50. Somit ergibt sich für den mess-Lichtstrahl 80, 81, 82, 85, 86 ein optischer Weglängenbeitrag 93 und/oder ein Laufzeitbeitrag 94 für den von dem Lichtsensor 30 detektierten Mess-Lichtstrahl 80 innerhalb des Wellenleiters 50. Der Weglängenbeitrag 93 ist dabei der durch den Wellenleiter 50 hervorgerufene Beitrag zu der gesamten von dem Mess-Lichtstrahl 80, 81, 82, 85, 86 zurückgelegten optischen Weglänge 91. Der Laufzeitbeitrag 94 ist der durch den Wellenleiter 50 hervorgerufene Beitrag zu der gesamten von dem Mess-Lichtstrahl 80, 81, 82, 85, 86 benötigten und von der Vorrichtung 10 gemessenen Laufzeit 92 des Mess-Lichtstrahls 80, 81, 82, 85, 86.

Damit ist der Wellenleiter 50 derart angeordnet ist, dass der von der Mess-Lichtquelle 20 emittierte Mess-Lichtstrahl 80 zu dem Objekt 15 und der von dem Objekt 15 reflektierte Mess-Lichtstrahl 85 zu dem Lichtsensor 30 wenigstens teilweise durch den Wellenleiter 50 geleitet wird, wobei der Wellenleiter 50 die Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahl 81, 86 aufweist und der reflektierte Mess-Lichtstrahl 86 in dem Wellenleiter 50 die wellenlängenabhängige Weglänge 91 zurücklegt.

Der Lichtsensor 30 ist mit der Datenverarbeitungsvorrichtung 90 kommunikationstechnisch verbunden, um ein Detektieren des Mess-Lichtstrahls 80 betreffende Informationen an die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 zu übermitteln.

Damit kann die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 einen zweiten Zeitpunkt des Detektierens des Mess-Lichtstrahls 80 durch den Lichtsensor 30 erfassen.

Damit kann die Laufzeit 92 des Mess-Lichtstrahls 80 von der Datenverarbeitungsvorrichtung 60 als Differenz zwischen dem ersten Zeitpunkt des Emittierens des Mess-Lichtstrahls 80 durch die Mess-Lichtquelle 20 und dem zweiten Zeitpunkt des Detektierens des Mess-Lichtstrahls 80 durch den Lichtsensor 30 ermittelt werden.

Die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 ist dazu eingerichtet, bei der Messung der Laufzeit 92 einen optischen Weglängenbeitrag 93 und/oder einen Laufzeitbeitrag 94 für den von dem Lichtsensor 30 detektierten Mess-Lichtstrahl 80 unter Berücksichtigung der wellenlängenabhängigen Weglänge 91 des emittierten und des reflektierten Mess-Lichtstrahls 86 in dem Wellenleiter 50 zu ermitteln. Anhand des Weglängenbeitrags 93 und/oder des Laufzeitbeitrags 94 kann genau die Entfernung zwischen dem Objekt 15 und der Vorrichtung 10 ermittelt werden.

Der Lichtsensor 30 umfasst eine Pixelmatrix mit einer Mehrzahl von Bildpunkten 32. In Figur 1 ist schematisch eine Reihe, also eine eindimensionale Anordnung von Bildpunkten 32 dargestellt. Die Bildpunkte 32 des Lichtsensors 30 sind auch in einer Richtung senkrecht zu der Bildebene von Figur 1 angeordnet und bilden somit eine zweidimensionale Anordnung von Bildpunkten 32. Die Bildpunkte 32 sind relativ zu dem Wellenleiter 50 an einer bestimmten Position angeordnet. Die Positionen der Bildpunkte 32 ist jeweils durch eine schematisch durch einen Pfeil angedeutete vertikale Pixelposition v_p und eine schematisch durch ein Kreuz angedeutete und in die Bildebene hineinreichende horizontale Pixelposition h_p definiert.

Die Bildpunkte 32 sind jeweils dazu eingerichtet, den Mess-Lichtstrahl 80 zu detektieren. Wie mit Bezug zu Figuren 3 bis 9 beschrieben, ist den Bildpunkten 32 jeweils eine Wellenlänge L des Mess-Lichtstrahls 80 zuordenbar. Mit anderen Worten detektieren verschiedene Bildpunkte 32 verschiedene Teile des Mess-Lichtstrahls 80 mit verschiedenen Wellenlängen L , die innerhalb des Wellenleiters

50 verschiedene optische Wege 91 zurücklegen und verschiedene Laufzeiten 92 aufweisen. Damit können den Bildpunkten 32 beziehungsweise Pixelpositionen v_p , h_p jeweils ein optischer Weglängenbeitrag 93 und/oder Laufzeitbeitrag 94 zugeordnet werden. Dabei ist es auch möglich, dass den Bildpunkten 32
5 beziehungsweise deren vertikalen Pixelpositionen v_p ein optischer Weglängenbeitrag 93 und/oder Laufzeitbeitrag 94 zugeordnet werden kann, während jeder horizontalen Winkel des Erfassungsbereich im Wesentlichen auf Grund von Brechung unter einem anderen horizontalen Winkel durch den Wellenleiter 50 propagiert. Dabei ist eine unterschiedliche optische Weglänge für
10 unterschiedliche horizontale Winkel und somit horizontalen Pixelpositionen h_p gegeben, womit jedem Bildpunkt 32 ein horizontaler Einfallswinkel und damit ein horizontaler Propagationswinkel im Wellenleiter 50 zugeordnet werden kann.

Die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 ist dazu eingerichtet, für die Bildpunkte 32
15 eines jeweils detektierten Teils des Mess-Lichtstrahls 80 den optischen Weglängenbeitrag 93 und/oder Laufzeitbeitrag 94 abzurufen. Dafür weist die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 einen Speicher 95 auf, in dem für jede Wellenlänge L , also für den Teil des Mess-Lichtstrahls 80, ein optischer Weglängenbeitrag 93 und/oder ein Laufzeitbeitrag 94 gespeichert ist. Die
20 Pixelposition v_p , h_p , an der der Mess-Lichtstrahls 80 detektiert wird, kann von dem Lichtsensor 30 erfasst und an die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 übermittelt werden. Anhand der Pixelposition v_p , h_p ruft die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 den der Pixelposition v_p , h_p entsprechenden Weglängenbeitrag 93 und/oder Laufzeitbeitrag 94 aus dem Speicher 96 beziehungsweise einem Look-up-table wie
25 in Figur 9 beispielhaft illustriert ab.

Alternativ oder zusätzlich ist die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 dazu eingerichtet, für die Bildpunkte 32 eines jeweils detektierten Teils des Mess-Lichtstrahls 80 den optischen Weglängenbeitrag 93 und/oder Laufzeitbeitrag 94 zu
30 berechnen. Dafür weist die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 einen Prozessor 96 auf. Dabei ist die Geometrie 56 des Wellenleiters 50 und die Brechzahl N_1 des Wellenleiters 50 bekannt. Der optische Weglängenbeitrag 93 und/oder

Laufzeitbeitrag 94 kann in Abhängigkeit von der Anzahl der Totalreflexionen 57 innerhalb des Wellenleiters 50 und/oder des wellenlängenabhängigen Umlenk winkels 58 berechnet werden.

- 5 Bei dem Abrufen und/oder Berechnen des optischen Weglängenbeitrags 93 und/oder des Laufzeitbeitrags 94 entspricht der optische Weglängenbeitrag 93 und/oder der Laufzeitbeitrag 94 der vertikalen Pixelposition v_p und der horizontalen Pixelposition h_p .
- 10 Die Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 60 ist dazu eingerichtet ist, den von dem Objekt 15 reflektierten und unter einem ersten Einfallswinkel A_1 von $\pm 20^\circ$ auf eine Oberfläche 66 des Wellenleiters 50 treffenden Mess-Lichtstrahl 86 in den Wellenleiter 50 einzukoppeln und den von dem Objekt
- 15 Oberfläche 66 des Wellenleiters 50 treffenden Mess-Lichtstrahl 86 in den Wellenleiter 50 einzukoppeln. Der erste Einfallswinkel A_1 ist dabei in einer durch die erste Richtung R_1 und die zweite Richtung R_2 aufgespannten Ebene zwischen einer Richtung des Mess-Lichtstrahls 86 und einem Normalenvektor (nicht eingezeichnet) der Oberfläche 66 definiert. Der zweite Einfallswinkel A_2 ist dabei in
- 20 einer durch die zweite Richtung R_2 und die dritte Richtung R_3 aufgespannten Ebene zwischen einer Richtung des Mess-Lichtstrahls 86 und einem Normalenvektor (nicht eingezeichnet) der Oberfläche 66 definiert.

- Die Vorrichtung 10 weist eine Eingabevorrichtung 97 auf. Die Eingabevorrichtung
- 25 97 und die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 sind kommunikationstechnisch miteinander verbunden, damit durch die Eingabevorrichtung 97 das Objekt 15 betreffende Entfernungsdaten 98 erfasst beziehungsweise eingegeben werden können. Die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 ist dazu eingerichtet, das Ermitteln der optischen Weglänge 91 und/oder der Laufzeit 92 anhand der Entfernungsdaten
- 30 98 zu kalibrieren. Bei einem bekannten Abstand zwischen dem Objekt 15 und der Vorrichtung 10 kann durch die Verwendung eines polychromatischen Mess-Lichtstrahls 80 und/oder durch mehrere Mess-Lichtstrahlen 80 mit verschiedenen

Wellenlängen L der Weglängenbeitrag 93 und/oder der Laufzeitbeitrag 94 insbesondere relativ ermittelt werden. Damit kann die Messung des Abstands zwischen dem Objekt 15 und der Vorrichtung 10 kalibriert werden. In einer anderen Ausführungsform (nicht gezeigt) ist die Vorrichtung 10 mit einer derartigen Eingabevorrichtung 97 verbindbar.

In einer nicht-gezeigten Ausführungsform weist die Vorrichtung 10 einen Spiegel und/oder ein Prisma zum Umlenken des aus dem Wellenleiter 50 austretenden Mess-Lichtstrahls 82 und/oder zum Umlenken des von dem Objekt 15 reflektierten Mess-Lichtstrahls 85 auf.

In der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform der Vorrichtung 10 sind die Mess-Diffraktionsstruktur 51 des Sende-Auskoppelbereichs 60 und die Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 in der ersten Richtung R_1 überlappend angeordnet. In einer nicht gezeigten Ausführungsform können die Mess-Diffraktionsstruktur 51 des Sende-Auskoppelbereichs 60 und die Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 in der ersten Richtung R_1 teilweise überlappend oder nicht überlappend bzw. disjunkt angeordnet sein.

Die von dem Wellenleiter 50 umfassten Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 sind beispielweise reflektive Volumenhologramme, transmittive Volumenhologramme, Flächenhologramme, und/oder Reliefgitter wie in WO 2020/157306 A1 beschrieben. Dabei kann die Anordnung der Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 abhängig von einer Art der Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 sein. Beispielsweise kann eine reflektive Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52 in einem dem Objekt 15 abgewandten Abschnitt des Wellenleiters 50 angeordnet sein und/oder eine transmittive Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52 kann in einem dem Objekt 15 zugewandten Abschnitt des Wellenleiters 50 angeordnet sein.

Die Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 des Sende-Auskoppelbereichs 60 und/oder des Sensor-Einkoppelbereichs 65 beziehungsweise der Sensor-Einkoppelbereich 65 und/oder der Sende-Auskoppelbereich 60 können derart ausgebildet sein, dass

sie neben der Umlenkung keine optische abbildende Funktion bewirken. Es ist jedoch auch möglich, dass die Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 beziehungsweise der Sensor-Einkoppelbereich 65 und/oder der Sende-Auskoppelbereich 60 zusätzlich zur Umlenkung eine optische Abbildungsfunktion bereitstellen und somit eine optische Abbildung bewirken. So kann die optische Abbildungsfunktion beispielsweise die Funktion einer Sammellinse oder Zerstreuungslinse, eines konkaven oder konvexen Spiegels, wobei die gekrümmten Flächen (zentriert oder dezentriert) sphärisch gekrümmt oder asphärisch gekrümmte Flächen sein können, verwirklichen. Damit können die Eigenschaften des Wellenleiters 50 angepasst werden, um beispielsweise eine Bildebene beziehungsweise fokale Ebene in den Objektbereich 16 anordnen zu können.

In einer anderen Ausführungsform (nicht gezeigt) weist der Wellenleiter 50 nur eine der Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52 auf, um einen kostengünstigeren und/oder einfacheren Aufbau der Vorrichtung 10 zu erzielen. Dabei kann ein Strahlteiler vorgesehen sein.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung. Die Vorrichtung 10 der Figur 2 wird mit Bezug zu der Vorrichtung 10 der Figur 1 beschrieben. Dabei werden die Unterschiede der Vorrichtungen 10 gemäß Figuren 1 und 2 beschrieben.

Der Wellenleiter 50 der Vorrichtung 10 gemäß Figur 2 weist in dem Sende-Einkoppelbereich 55 eine Mess-Diffraktionsstruktur 53 auf. Der Wellenleiter 50 weist zudem in dem Sensor-Auskoppelbereich 70 eine Mess-Diffraktionsstruktur 54 auf. In einer anderen, nicht gezeigten Ausführungsform kann die Vorrichtung 10 eine der beiden genannten Mess-Diffraktionsstrukturen 53, 54 aufweisen, also entweder die Mess-Diffraktionsstruktur 53 des Sende-Einkoppelbereichs 55 oder die Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70.

Analog zu der Mess-Diffraktionsstruktur 51 des Sende-Auskoppelbereichs 60 bzw. der Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 sind die Mess-

Diffraaktionsstruktur 53 des Sende-Einkoppelbereichs 55 und des Sensor-Auskoppelbereichs 70 zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahls 81, 86 mit einer Wellenlänge L in dem NIR-Bereich S eingerichtet. Dabei können die Mess-Diffraktionsstruktur 53 des Sende-Einkoppelbereichs 55 und die
5 Mess-Diffraktionsstruktur 51 des Sende-Auskoppelbereichs 70 derart eingerichtet sein, um eine gleichartige wellenlängenabhängige Umlenkung bewirken. Analog können die Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70 und die Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65, derart eingerichtet sein, um eine gleichartige wellenlängenabhängige Umlenkung bewirken. Damit
10 können ein einzukoppelnder Mess-Lichtstrahl 80, 85 und ein ausgekoppelter Mess-Lichtstrahl 80, 82 eine zueinander gleichartige Umlenkung durch die Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 erfahren. Dabei zeigt Figur 2 die Umlenkung durch die Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 rein schematisch. Insbesondere sind die Umlenkwinkel 58 nicht maßstabsgerecht illustriert. Insbesondere der Umlenkwinkel
15 der Mess-Diffraktionsstruktur 53 des Sende-Einkoppelbereichs 55 ist nicht maßstabsgerecht eingezeichnet und kann größer sein als eingezeichnet, um eine Totalreflexion des eingekoppelten Mess-Lichtstrahls 81 zu erzielen.

In der in Figur 2 gezeigten Ausführungsform der Vorrichtung 10 sind die Mess-Diffraktionsstruktur 53 des Sende-Einkoppelbereichs 55 und die Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70 in der ersten Richtung $R1$
20 überlappend angeordnet. In einer nicht gezeigten Ausführungsform können die die Mess-Diffraktionsstruktur 53 des Sende-Einkoppelbereichs 55 und die Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70 in der ersten Richtung $R1$ teilweise überlappend oder nicht überlappend bzw. disjunkt angeordnet sein.
25

Die Mess-Diffraktionsstrukturen 53, 54 des Sende-Einkoppelbereichs 55 und/oder des Sensor-Auskoppelbereichs 70 beziehungsweise der Sende-Einkoppelbereichs 55 und/oder des Sensor-Auskoppelbereichs 70 können derart ausgebildet sein,
30 dass sie neben der Umlenkung keine optische abbildende Funktion bewirken. Es ist jedoch auch möglich, dass die Mess-Diffraktionsstrukturen 53, 54 beziehungsweise Sende-Einkoppelbereichs 55 und/oder des Sensor-Auskoppelbereichs 70

zusätzlich zur Umlenkung eine optische Abbildungsfunktion bereitstellen und somit eine optische Abbildung bewirken. So kann die optische Abbildungsfunktion beispielsweise die Funktion einer Sammellinse oder Zerstreuungslinse, eines konkaven oder konvexen Spiegels, wobei die gekrümmten Flächen (zentriert oder dezentriert) sphärisch gekrümmt oder asphärisch gekrümmte Flächen sein können, verwirklichen.

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Wellenleiters 50 einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung zur Darstellung eines wellenlängenabhängigen optischen Weglängenbeitrags 93. Figur 3 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Wellenleiters 50 der Figur 2. Dabei zeigt Figur 3 den Wellenleiter 50 mit der Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 und der Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70. Die Mess-Diffraktionsstruktur 53 des Sende-Einkoppelbereichs 55 und die Mess-Diffraktionsstruktur 51 des Sende-Auskoppelbereichs 60 sind in Figur 3 nicht dargestellt. Die in Figur 3 schematisch illustrierten Teile des Mess-Lichtstrahls 80, 85, 86 zeigen den von dem Objekt 15 (nicht gezeigt) reflektierten Mess-Lichtstrahl 85, den in dem Sensor-Einkoppelbereich 65 in den Wellenleiter 50 eingekoppelten Mess-Lichtstrahl 86 und den aus dem Wellenleiter 50 in den Sensor-Auskoppelbereich 70 ausgekoppelten Mess-Lichtstrahl 80.

Figur 3 illustriert drei verschiedene Teile des Mess-Lichtstrahls 80, 85, 86 mit jeweils voneinander verschiedenen Wellenlängen L innerhalb des NIR-Bereichs S . Dabei sind die Teile des Mess-Lichtstrahls 80, 85, 86 mit den voneinander verschiedenen Wellenlängen L mit verschiedenen Linientypen dargestellt. Jeweils ein Teil des Mess-Lichtstrahls 80, 85, 86 ist mit Pfeilen mit einer durchgezogenen Linie, mit einer punktgestrichenen Linie und mit einer gestrichenen Linie dargestellt. Der Mess-Lichtstrahl 85 trifft wie mit Bezug zu Figur 1 beschrieben unter einem ersten Einfallswinkel $A1$ auf die Oberfläche 66 des Wellenleiters 50 und wird je nach Wellenlänge L in den Wellenleiter 50 eingekoppelt.

Gemäß Figur 3 werden beim Einkoppeln des Mess-Lichtstrahls 85 in den Wellenleiter 50 in den Sensor-Einkoppelbereich 65 die Teile des Mess-Lichtstrahls 85 durch die Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 umgelenkt. Dabei erfolgt das Umlenken derart, dass die verschiedenen Teile des Mess-Lichtstrahls 85, 86 unterschiedliche Umlenkwinkel 58 aufweisen und innerhalb des Wellenleiters 50 verschiedene optische Wege mit dementsprechend unterschiedlichen optischen Weglängen 91 und unterschiedlichen Laufzeiten 92 zurücklegen, also zu unterschiedlichen Weglängenbeiträgen 93 und/oder der Laufzeitbeiträgen 94 führen.

Der Mess-Lichtstrahl 86 propagiert durch den Wellenleiter 50 und trifft auf die Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70 und wird dort gemäß der jeweiligen Wellenlänge L des jeweiligen Teils des Mess-Lichtstrahls 86 umgelenkt und aus den Wellenleiter 50 ausgekoppelt. Dabei wird der ausgekoppelte Mess-Lichtstrahl 80 in Richtung des Lichtsensors 30 (nicht in Figur 3 gezeigt) gelenkt. Durch das Umlenken des Mess-Lichtstrahls 80, 86 durch die Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70 werden die verschiedenen Teile des Mess-Lichtstrahls 80 auf Bildpunkte 32 (nicht in Figur 3 gezeigt) mit voneinander verschiedenen vertikalen Pixelpositionen v_p gelenkt, wie in Figur 3 schematisch dargestellt. Damit werden die verschiedenen Teile des Mess-Lichtstrahls 80, 85, 86 je nach Wellenlänge L durch unterschiedliche Bildpunkte 32 des Lichtsensors 30 detektiert. Den unterschiedlichen Bildpunkten 32 des Lichtsensors 30 kann ein optischer Pfad und somit einer optische Weglänge 91 und eine Laufzeit 92 des Mess-Lichtstrahls 80, 85, 86 zugeordnet werden.

Die Anordnung der Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 und optional eine zusätzliche Umlenkfunktion der Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 ermöglicht das Licht an einen für einen Nutzer nicht sichtbaren Bereich der Vorrichtung 10 geleitet wird. Somit kann die Mess-Lichtquelle 20 und der Lichtsensor 30 für einen Nutzer verborgen angeordnet werden.

Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Wellenleiters 50 einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung zur Darstellung eines wellenlängenabhängigen optischen Weglängenbeitrags 93. Figur 4 zeigt dabei den Wellenleiter 50 der Vorrichtung 10 wie mit Bezug zu Figuren 2 und 3 beschrieben. Dabei zeigt Figur 4 eine andere Perspektive des Wellenleiters 50. Der Mess-Lichtstrahl 85 trifft wie mit Bezug zu Figur 1 beschrieben unter einem zweiten Einfallswinkel A2 auf die Oberfläche 66 des Wellenleiters 50 und wird je nach Wellenlänge L in den Wellenleiter 50 eingekoppelt.

Gemäß Figur 4 wird der Mess-Lichtstrahl 80, 85, 86 durch die Mess-Diffraktionsstruktur 52, 54 wie mit Bezug zu Figur 3 beschrieben gemäß der Wellenlänge L umgelenkt. Die horizontale Komponente der Umlenkung weist dabei vorzugsweise jedoch keine bzw. nur eine geringe Wellenlängenabhängigkeit auf, sondern wird im Wesentlichen durch die Brechung des Lichtstrahls beim Eintritt in den Wellenleiter 50 durch einen Eintrittswinkel bestimmt. Dies liegt vorteilhafterweise an der Auslegung der Mess-Diffraktionsstruktur 52, 54 und insbesondere an deren Gittervektor. Dadurch wird jeder Teil des Mess-Lichtstrahls 80, 85, 86 aus dem Wellenleiter 50 in dem Sensor-Auskoppelbereich 70 durch die Mess-Diffraktionsstruktur 54 ausgekoppelt und trifft je nach Eintrittswinkel auf einen dem Eintrittswinkel zuordenbaren Bildpunkt 32 mit einer dem Eintrittswinkel zugeordneten horizontalen Pixelposition h_p .

Die Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 weist eine Höhe von 16 mm, eine Breite von 150 mm und eine Dicke von 100 μ m auf. Die Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70 weist eine Höhe von 16 mm, eine Breite von 16 mm und eine Dicke von 100 μ m auf.

Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Wellenleiters 50 einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung zur Darstellung eines wellenlängenabhängigen optischen Weglängenbeitrags 93. Figur 5 zeigt dabei den Wellenleiter 50 der Vorrichtung 10

wie mit Bezug zu Figuren 2 bis 4 beschrieben. Dabei zeigt Figur 5 eine weitere Perspektive des Wellenleiters 50, wobei nur der Mess-Lichtstrahl 86 innerhalb des Wellenleiters 50 illustriert ist. Dabei zeigt die Wellenform des Mess-Lichtstrahls 86, dass der Mess-Lichtstrahl 86 durch den Wellenleiter 50 mit einer Anzahl von

5 Totalreflexionen 57 von der Mess-Diffraktionsstruktur 52 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 zu der Mess-Diffraktionsstruktur 54 des Sensor-Auskoppelbereichs 70 propagiert.

Figur 6 zeigt eine schematische Darstellung einer Ablenkungskurve 200 einer Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 eines Wellenleiters 50 einer Vorrichtung 10 zur

10 Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung. Dabei zeigt Figur 6 eine Beziehung zwischen einem Umlenkwinkel 58 und der Wellenlänge L für die mit Bezug zu Figuren 1 bis 5 gezeigten Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52, 53, 54. Dabei ist ersichtlich, dass mit steigender Wellenlänge L im dem

15 Spektralbereich S ein Einkoppeln bei einem monoton sinkenden Umlenkwinkel 58 erfolgt, wobei der Umlenkwinkel 58 etwa bei einer Wellenlänge L von 720 nm +20° beträgt und etwa bei einer Wellenlänge L von 950 nm -20° beträgt.

Figur 7 zeigt eine schematische Darstellung eines Wellenleiters 50 einer

20 Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung zur Darstellung eines wellenlängenabhängigen optischen Weglängenbeitrags 93. Figur 7 wird unter Bezugnahme zu Figur 3 und deren Beschreibung beschrieben. Dabei werden Ein- und Auskoppelstruktur, also die Mess-Diffraktionsstrukturen 52, 54 des Sensor-Einkoppelbereichs 65 und des

25 Sensor-Auskoppelbereichs 70 so ausgebildet, dass die einfallenden Winkel A1, A2 unverändert aus dem Wellenleiter 50 ausgekoppelt werden, also der Mess-Lichtstrahl 80, 85, 86 je Wellenlänge L beim Einkoppeln und beim Auskoppeln eine Umlenkung um dieselben Umlenkwinkel 58 erfährt. Beide Mess-Diffraktionsstrukturen 52, 54 tragen also die gleiche optische Funktion und lassen

30 sich zueinander gleichartig herstellen. Durch die unterschiedlichen Einfallswinkel und die Dispersion des Waveguide-Materials ergeben sich unterschiedliche Propagationswinkel und optische Weglängen innerhalb des Wellenleiters 50.

Gemäß Figur 7 erfolgt ein Umlenken des Mess-Lichtstrahls 80, 85, 86 durch die Mess-Diffraktionsstrukturen 52, 54 wie mit Bezug zu Figur 6 beschrieben. Ein Mess-Lichtstrahl 80, 85, 86 unter einem Einfallswinkel $A1$ von -20° wird mit einer Wellenlänge L von 951nm eingekoppelt und weist gemäß der mit Bezug zu Figuren 1 und 5 beschriebenen Geometrie 56 des Wellenleiters 50 und der Mess-Diffraktionsstrukturen 52, 54 in dem Wellenleiter 50 durch die Propagation durch den Wellenleiter 50 einen optischen Weglängenbeitrag 93 von 477.4 mm auf. Ein Mess-Lichtstrahl 80, 85, 86 unter einem Einfallswinkel $A1$ von 0° wird mit einer Wellenlänge L von 861nm eingekoppelt und weist einen optischen Weglängenbeitrag 93 von 411.6 mm auf. Ein Mess-Lichtstrahl 80, 85, 86 unter einem Einfallswinkel $A1$ von $+20^\circ$ wird mit einer Wellenlänge L von 725nm eingekoppelt und weist einen optischen Weglängenbeitrag 93 von 365,9 mm auf.

Figur 8 zeigt eine schematische Darstellung einer optionalen Abhängigkeit einer Wellenlänge L von einem ersten Einfallswinkel $A1$ und von einem zweiten Einfallswinkel $A2$ einer Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 eines Wellenleiters 50 einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. Dabei stellt Figur 8 die zwei Einfallswinkel $A1$, $A2$ betreffende Verallgemeinerung der Ablenkungskurve 200 gemäß Figur 6 dar. Figur 8 illustriert unter welchen Einfallswinkeln $A1$, $A2$ welche Wellenlänge L in den Wellenleiter 50 mit einer der Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 ein- und/oder ausgekoppelt werden kann. Dabei ist der erste Einfallswinkel $A1$ ein Winkel zwischen einer Normale der Oberfläche 66 des Wellenleiters 50 und einer Richtung des Mess-Lichtstrahls 80, 81, 86 in einer beziehungsweise projiziert in eine durch die erste Richtung $R1$ und die zweite Richtung $R2$ aufgespannten Ebene. Der zweite Einfallswinkel $A2$ ist ein Winkel zwischen einer Normale der Oberfläche 66 des Wellenleiters 50 und einer Richtung des Mess-Lichtstrahls 80, 81, 86 in einer beziehungsweise projiziert in eine durch die zweite Richtung $R2$ und die dritte Richtung $R3$ aufgespannten Ebene (siehe Figuren 1 bis 7).

Figur 9 zeigt eine schematische Darstellung einer optionalen Abhängigkeit eines optischen Weglängenbeitrags 93 von einem ersten Einfallswinkel A1 und von einem zweiten Einfallswinkel A2 eines Wellenleiters 50 einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

5

Dabei wird ersichtlich, dass von den Einfallswinkeln A1, A2 auf den optischen Weglängenbeitrag 93 geschlossen werden kann. Gemäß Figur 8 wiederum kann von den von den Einfallswinkeln A1, A2 gleichfalls auf die Wellenlänge L geschlossen werden. Damit ergibt sich für jede Wellenlänge L ein entsprechender Weglängenbeitrag 93, der dank der Symmetrie der Figuren 8 und 9 bezüglich des zweiten Einfallswinkels A2 eindeutig ist. Damit stehen die Einfallswinkeln A1, A2, der optische Weglängenbeitrag 93 und die Wellenlänge L in einer durch die Geometrie des Wellenleiters 50 und der Beschaffenheit der Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52, 53, 54 vorbestimmten Beziehung zueinander. Die Informationen gemäß Figur 9 können in einem Speicher 96 einer Vorrichtung gemäß der Figuren 1 bis 7 abrufbar gespeichert sein. Figur 9 kann somit als ein Look-up-Table dienen, wobei die Wellenlänge L des Mess-Lichtstrahl 80 durch die horizontale Pixelposition hp und die vertikale Pixelposition vp bestimmbar ist wie mit Bezug zu Figuren 1, 3 und 4 beschrieben. Von der durch die Laufzeitmessung bestimmten Entfernungsverteilung für die Entfernung zwischen dem Objekt 15 und der Vorrichtung 10 wird die durch den Wellenleiter 50 verursachte Weglängenverteilung, also die Verteilung der Weglängenbeiträge 93 subtrahiert, um ein korrigiertes Messergebnis für die Entfernungsverteilung zu erhalten.

10

15

20

25

30

Figur 10 zeigt eine schematische Darstellung einer Umlenkeffizienz I eines durch eine Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 umgelenkten Mess-Lichtstrahls 80, 81, 82, 85, 86. Eine derartige Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 ist dabei einer der mit Bezug zu den vorangehenden Figuren beschriebenen Mess-Diffraktionsstrukturen 51, 52, 53, 54. Der obere Graph der Figur 10 zeigt dabei die Umlenkeffizienz I in Abhängigkeit von dem Umlenkwinkel 58 und der Wellenlänge L in dem Spektralbereich S. Dabei ist ersichtlich, dass bei vergleichsweise kleinen Wellenlängen L die Umlenkeffizienz I vergleichsweise präzise um einen bestimmten

Umlenkwinkel 58 lokalisiert ist und mit steigender Wellenlänge L die Lokalisierung um den der Wellenlänge L entsprechenden Umlenkwinkel 58 abnimmt. Dies ist ebenso in dem unteren Graph der Figur 10 gezeigt. Darin sind Kurven für verschiedene Wellenlängen L gezeigt, wobei eine niedrige Wellenlänge L eine im Wesentlichen unimodale und lokalisierte Winkelverteilung um einen Umlenkwinkel 58 hervorruft, während die Winkelverteilung um einen jeweiligen Umlenkwinkel 58 bei größeren Wellenlängen L weniger lokalisiert ist. Die Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52, 53, 54 kann durch eine entsprechende Belichtung des Wellenleiters 50 hergestellt werden. Durch einen oder mehrere entsprechende Belichtungswinkel bei der Belichtung des Wellenleiters 50 kann die Umlenkeffizienz I und damit der Objektbereich 16 beziehungsweise das Sichtfeld (field of view, FOV) eingestellt werden. Durch Erhöhung der Dicke des Volumenhologramms (Erhöhung der Anzahl der Braggebenen) kann die Winkelselektivität entsprechend den Anforderungen verbessert werden, so dass in einem jeweiligen Winkel ein schmalbandigeres Spektrum ausgekoppelt wird und damit eine Laufzeitunsicherheit verringert wird.

Figur 11 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung. Bei der Beschreibung der Figur 11 wird auf die Beschreibung der vorherigen Figuren Bezug genommen.

Die Vorrichtung 10 weist eine Bild-Lichtquelle 22 zum Emittieren eines sichtbaren Bild-Lichtstrahls 23 auf. Die Bild-Lichtquelle 22 umfasst beispielsweise eine Matrix von Leuchtdioden und/oder ein LC-Display. Der Wellenleiter 50 weist eine Bild-Diffraktionsstruktur 77 zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Bild-Lichtstrahls 23 auf. Damit wird eine in der zweiten Richtung R2 von dem Wellenleiter 50 beabstandete Nutzerschnittstelle 87 abgebildet beziehungsweise rekonstruiert, wie in WO 2020/157306 A1 mit Bezug zu dem Beleuchtungs- und Projektionssystem beschrieben. Dabei kann die Bild-Lichtquelle 22 derart angeordnet sein, dass die Bild-Lichtquelle 22 und die Bild-Diffraktionsstruktur 77, in der ersten Richtung R1, voneinander beabstandet angeordnet sind. Damit kann

eine wellenlängenabhängige Transparenz der Vorrichtung 10 im Bereich der Bild-Diffraktionsstruktur 77 und/oder eine vielfältigere Anordnung der Komponenten der Vorrichtung 10 erzielt werden.

- 5 Die Datenverarbeitungsvorrichtung 90 ist dazu eingerichtet, eine Nutzereingabe 24 durch die Nutzerschnittstelle 87 anhand der Laufzeit 92 des Mess-Lichtstrahls 80 zu erfassen. Dabei ist das Objekt 15, dessen Entfernung zu der Vorrichtung 10 zu ermitteln ist, beispielsweise ein Körperteil eines Nutzers. Der Nutzer bewegt das Objekt 15, um mit der Nutzerschnittstelle 87 zu interagieren. Um eine Reaktion auf
- 10 die Nutzereingabe 24 abzubilden, ist die Vorrichtung 10 dazu eingerichtet, die Bild-Lichtquelle 22 in Abhängigkeit der optischen Weglänge 91 und/oder der Laufzeit 92 des Mess-Lichtstrahls 80, also der Entfernung zwischen dem Objekt 15 und der Vorrichtung 10 anzusteuern.
- 15 Die in Figur 11 gezeigte Ausführungsform der Vorrichtung 10 ist insbesondere für ein Nutzerendgerät 210 anwendbar und ist dabei von dem Nutzerendgerät 210 umfasst. Das Nutzerendgerät 210 ist beispielsweise ein Smartphone, ein insbesondere tragbarer Computer und/oder eine Vorrichtung an einem Kraftfahrzeug. Damit ist es insbesondere möglich, ein Gestenmonitoring und/oder
- 20 einen Bewegungsmelder zu realisieren. Die Anordnung der Bild-Diffraktionsstruktur 77 und optional eine zusätzliche Umlenkfunktion der Bild-Diffraktionsstruktur 77 ermöglicht das Licht an einen für einen Nutzer nicht sichtbaren Bereich des Nutzerendgeräts 210 geleitet wird.
- 25 Figur 12 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 10 zur Messung einer Laufzeit 91 gemäß einem optionalen Aspekt der Offenbarung. Bei der Beschreibung der Figur 12 wird auf die Beschreibung der vorherigen Figuren Bezug genommen.
- 30 Die Vorrichtung 10 ist dazu eingerichtet, ein in einer zweiten Richtung R2 von dem Wellenleiter 50 beabstandetes Abbildungsobjekt 88 relativ zu dem Objekt 15 virtuell abzubilden. Damit kann ein Nutzer durch den Wellenleiter 50 hindurchschauen und

sieht das Abbildungsobjekt 88 relativ zu dem Objekt 15 angeordnet. Dafür sind die Bild-Lichtquelle 22 und die Bild-Diffraktionsstruktur 77 in der ersten Richtung R1 voneinander beabstandet angeordnet.

- 5 Die Vorrichtung 10 ist dazu eingerichtet, die Bild-Lichtquelle 22 dynamisch und/oder in Abhängigkeit einer erfassten Bewegung des Objekts 15 anzusteuern.

Die in Figur 12 gezeigte Ausführungsform ist insbesondere für ein Detektions- und Beleuchtungsgerät 220 anwendbar und ist dabei von dem Detektions- und Beleuchtungsgerät.

10

Figur 13 zeigt ein Ablaufschema eines optionalen Verfahrens 100 zur Messung einer Laufzeit 92 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. Das Verfahren 100 kann mit ein der in den vorangehenden Figuren beschriebenen Vorrichtungen 10 zur Messung der Laufzeit 92 durchgeführt werden.

15

Das Verfahren 100 ist ein Verfahren 100 zur Messung der Laufzeit 92 eines Mess-Lichtstrahls 80. Das Verfahren 100 weist auf: Leiten 110 des Mess-Lichtstrahls 80 zu einem in einem Objektbereich 16 der Vorrichtung 10 befindlichen Objekt 15 und des von dem Objekt 15 reflektierten Mess-Lichtstrahls 85 zu einem Lichtsensor 30 wenigstens teilweise durch einen Wellenleiter 50 mit einer Mess-Diffraktionsstruktur 51, 52 zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahls 81, 86, wobei der Mess-Lichtstrahl 86 in dem Wellenleiter 50 eine wellenlängenabhängige Weglänge 91 zurücklegt.

20

Es erfolgt ein Ermitteln 120 eines optischen Weglängenbeitrags 93 und/oder eines Laufzeitbeitrags 94 für den von dem Lichtsensor 30 detektierten Mess-Lichtstrahl 80 unter Berücksichtigung der wellenlängenabhängigen Weglänge 91 des Mess-Lichtstrahls 86 in dem Wellenleiter 50.

25

30

Bezugszeichenliste

	10	Vorrichtung zur Messung einer Laufzeit
	15	Objekt
5	16	Objektbereich
	20	Mess-Lichtquelle
	21	Abbildungsvorrichtung
	22	Bild-Lichtquelle
	23	Bild-Lichtstrahl
10	24	Nutzereingabe
	30	Lichtsensoren
	31	Abbildungsvorrichtung
	50	Wellenleiter
	51	Mess-Diffraktionsstruktur des Sende-Auskoppelbereichs
15	52	Mess- Difraktionsstruktur des Sensor-Einkoppelbereichs
	53	Mess-Diffraktionsstruktur des Sende-Einkoppelbereichs
	54	Mess- Difraktionsstruktur des Sensor-Auskoppelbereichs
	55	Sende-Einkoppelbereich
	56	Geometrie
20	57	Totalreflexion
	58	Umlenkwinkel
	59	Umgebung
	60	Sende-Auskoppelbereich
	65	Sensor-Einkoppelbereich
25	70	Sensor-Auskoppelbereich
	75	Bild-Einkoppelbereich
	76	Bild-Auskoppelbereich
	77	Bild-Diffraktionsstruktur
30	80	Mess-Lichtstrahl
	81	eingekoppelter Mess-Lichtstrahl
	82	aus Wellenleiter in Richtung des Objekts austretender Mess-Lichtstrahl

	85	reflektierter Mess-Lichtstrahl
	86	in Sensor-Einkoppelbereich eingekoppelter Mess-Lichtstrahl
	87	Nutzerschnittstelle
	88	Abbildungsobjekt
5	90	Datenverarbeitungsvorrichtung
	91	optische Weglänge
	92	Laufzeit
	93	optischer Weglängenbeitrag
	94	Laufzeitbeitrag
10	95	Speicher
	96	Prozessor
	97	Eingabevorrichtung
	98	Entfernungsdaten
15	100	Verfahren
	110	Leiten des Mess-Lichtstrahls
	120	Ermitteln
	200	Ablenkungskurve
20	210	Nutzerendgerät
	220	Detektions- und Beleuchtungsgerät
	A1	Einfallswinkel
	A2	Einfallswinkel
25		
	I	Umlenkeffizienz
	L	Wellenlänge
	N1	Brechzahl
30		
	R1	erste Richtung
	R2	zweite Richtung

R3 dritte Richtung

S NIR-Bereich

5 hp horizontale Pixelposition

vp vertikale Pixelposition

Patentansprüche

1. Vorrichtung (10) zur Messung einer Laufzeit (92) eines Mess-Lichtstrahls (80), umfassend eine Mess-Lichtquelle (20) zum Emittieren des Mess-Lichtstrahls (80),
5 einen Lichtsensor (30) zum Detektieren des Mess-Lichtstrahls (80), einen Wellenleiter (50) und eine Datenverarbeitungsvorrichtung (90), wobei
- der Wellenleiter (50) derart ausgebildet ist, dass der von der Mess-Lichtquelle (20) emittierte Mess-Lichtstrahl (80) zu einem in einem Objektbereich (16) der Vorrichtung (10) befindlichen Objekt (15) und der von dem Objekt (15) reflektierte
10 Mess-Lichtstrahl (85) zu dem Lichtsensor (30) wenigstens teilweise durch den Wellenleiter (50) geleitet wird, wobei der Wellenleiter (50) eine Mess-Diffraktionsstruktur (51, 52) zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahl (81, 86) aufweist und der Mess-Lichtstrahl (86) in dem Wellenleiter (50) eine wellenlängenabhängige Weglänge (91) zurücklegt, dadurch gekennzeichnet,
15 dass
- die Datenverarbeitungsvorrichtung (90) dazu eingerichtet ist, bei der Messung der Laufzeit (92) einen optischen Weglängenbeitrag (93) und/oder einen Laufzeitbeitrag (94) für den von dem Lichtsensor (30) detektierten Mess-Lichtstrahl (80) unter Berücksichtigung der wellenlängenabhängigen Weglänge (91) des Mess-
20 Lichtstrahls (86) innerhalb des Wellenleiters (50) zu ermitteln.
2. Vorrichtung (10) nach Anspruch 1, wobei die Mess-Diffraktionsstruktur (51, 52) zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahls (81, 86) in einem nahinfraroten Spektralbereich, NIR-Bereich, (S) eingerichtet ist.
- 25
3. Vorrichtung (10) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Lichtsensor (30) eine Mehrzahl von Bildpunkten (32) aufweist, und die Datenverarbeitungsvorrichtung (90) dazu eingerichtet ist, für mehrere der Bildpunkte (32) eines jeweils detektierten Teils des Mess-Lichtstrahls (80) den optischen Weglängenbeitrag (93) und/oder
30 Laufzeitbeitrag (94) abzurufen und/oder zu berechnen.

4. Vorrichtung (10) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der optischen Weglängenbeitrag (93) und/oder der Laufzeitbeitrag (94) einer vertikalen Pixelposition (vp) und einer horizontalen Pixelposition (hp) entspricht.
- 5 5. Vorrichtung (10) nach Anspruch 4, wobei die Mess-Diffraktionsstruktur (52) dazu eingerichtet ist, den von dem Objekt (15) reflektierten und unter einem ersten Einfallswinkel (A1) von $\pm 20^\circ$ auf eine Oberfläche (66) des Wellenleiters (50) treffenden Mess-Lichtstrahl (86) in den Wellenleiter (50) einzukoppeln und/oder den
- 10 Einfallswinkel (A1) definierten zweiten Einfallswinkel (A2) von $\pm 20^\circ$ auf die Oberfläche (66) des Wellenleiters (50) treffenden Mess-Lichtstrahl (86) in den Wellenleiter (50) einzukoppeln.
6. Vorrichtung (10) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die
- 15 Datenverarbeitungsvorrichtung (90) dazu eingerichtet ist, durch eine Eingabevorrichtung (97) das Objekt (15) betreffende Entfernungsdaten (98) zu erfassen und das Ermitteln der optischen Weglänge (91) und/oder der Laufzeit (92) anhand der Entfernungsdaten (98) zu kalibrieren.
- 20 7. Vorrichtung (10) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung (10) eine Bild-Lichtquelle (22) zum Emittieren eines sichtbaren Bild-Lichtstrahls (23) aufweist und der Wellenleiter (50) eine Bild-Diffraktionsstruktur (77) zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Bild-Lichtstrahls (23) aufweist.
- 25 8. Vorrichtung (10) nach Anspruch 7, wobei die Vorrichtung (10) dazu eingerichtet ist, die Bild-Lichtquelle (22) in Abhängigkeit der optischen Weglänge (91) und/oder der Laufzeit (92) des Mess-Lichtstrahls (80) anzusteuern.
9. Vorrichtung (10) nach Anspruch 8, wobei die Vorrichtung (10) dazu eingerichtet
- 30 ist, eine in einer zweiten Richtung (R2) von dem Wellenleiter (50) beabstandete Nutzerschnittstelle (87) abzubilden und eine Nutzereingabe (24) durch die

Nutzerschnittstelle (87) anhand der Laufzeit (92) des Mess-Lichtstrahls (80) zu erfassen.

10. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Vorrichtung dazu
5 eingerichtet ist, ein in einer zweiten Richtung (R2) von dem Wellenleiter (50) beabstandetes Abbildungsobjekt (88) relativ zu dem Objekt (15) abzubilden.

11. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei die Vorrichtung (10)
dazu eingerichtet ist, die Bild-Lichtquelle (22) dynamisch und/oder in Abhängigkeit
10 einer erfassten Bewegung des Objekts (15) anzusteuern.

12. Vorrichtung (10) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung
(10) einen Spiegel und/oder ein Prisma zum Umlenken des aus dem Wellenleiter
(50) austretenden Mess-Lichtstrahls (82) und/oder zum Umlenken des von dem
15 Objekt (15) reflektierten Mess-Lichtstrahls (85) aufweist.

13. Nutzerendgerät (210), umfassend eine Vorrichtung (10) nach einem der
Ansprüche 1 bis 12.

14. Detektions- und Beleuchtungsgerät (220), umfassend eine Vorrichtung (10)
nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

15. Verfahren (100) zur Messung einer Laufzeit (92) eines Mess-Lichtstrahls (80),
wobei das Verfahren (100) aufweist:

- 25 - Leiten (110) des Mess-Lichtstrahls (80) zu einem in einem Objektbereich (16) befindlichen Objekt (15) und des von dem Objekt (15) reflektierten Mess-Lichtstrahls (85) zu einem Lichtsensor (30) wenigstens teilweise durch einen Wellenleiter (50) mit einer Mess-Diffraktionsstruktur (51, 52) zum wellenlängenabhängigen Umlenken des Mess-Lichtstrahls (81, 86), wobei der Mess-Lichtstrahl (86) in dem
30 Wellenleiter (50) eine wellenlängenabhängige Weglänge (91) zurücklegt; und
- Ermitteln (120) eines optischen Weglängenbeitrags (93) und/oder eines Laufzeitbeitrags (94) für den von dem Lichtsensor (30) detektierten Mess-Lichtstrahl

(80) unter Berücksichtigung der wellenlängenabhängigen Weglänge (91) des Mess-Lichtstrahls (86) innerhalb des Wellenleiters (50).

- 5 16. Verfahren (100) nach Anspruch 15, wobei der optische Weglängenbeitrag (93) und/oder Laufzeitbeitrag (94) abhängig von einer wellenlängenabhängigen Anzahl von Totalreflexionen (57) innerhalb des Wellenleiters (50) und/oder eines wellenlängenabhängigen Umlenk winkels (58) innerhalb des Wellenleiters (50) ermittelt ist.
- 10 17. Computerprogramm und/oder computerlesbares Medium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms bzw. der Befehle durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren (100) und/oder die Schritte des Verfahrens (100) nach Anspruch 15 oder 16 durchzuführen.
- 15 18. Datenverarbeitungsvorrichtung (90), wobei die Datenverarbeitungsvorrichtung (90) dazu eingerichtet ist, das Verfahren (100) nach Anspruch 15 oder 16 durchzuführen.

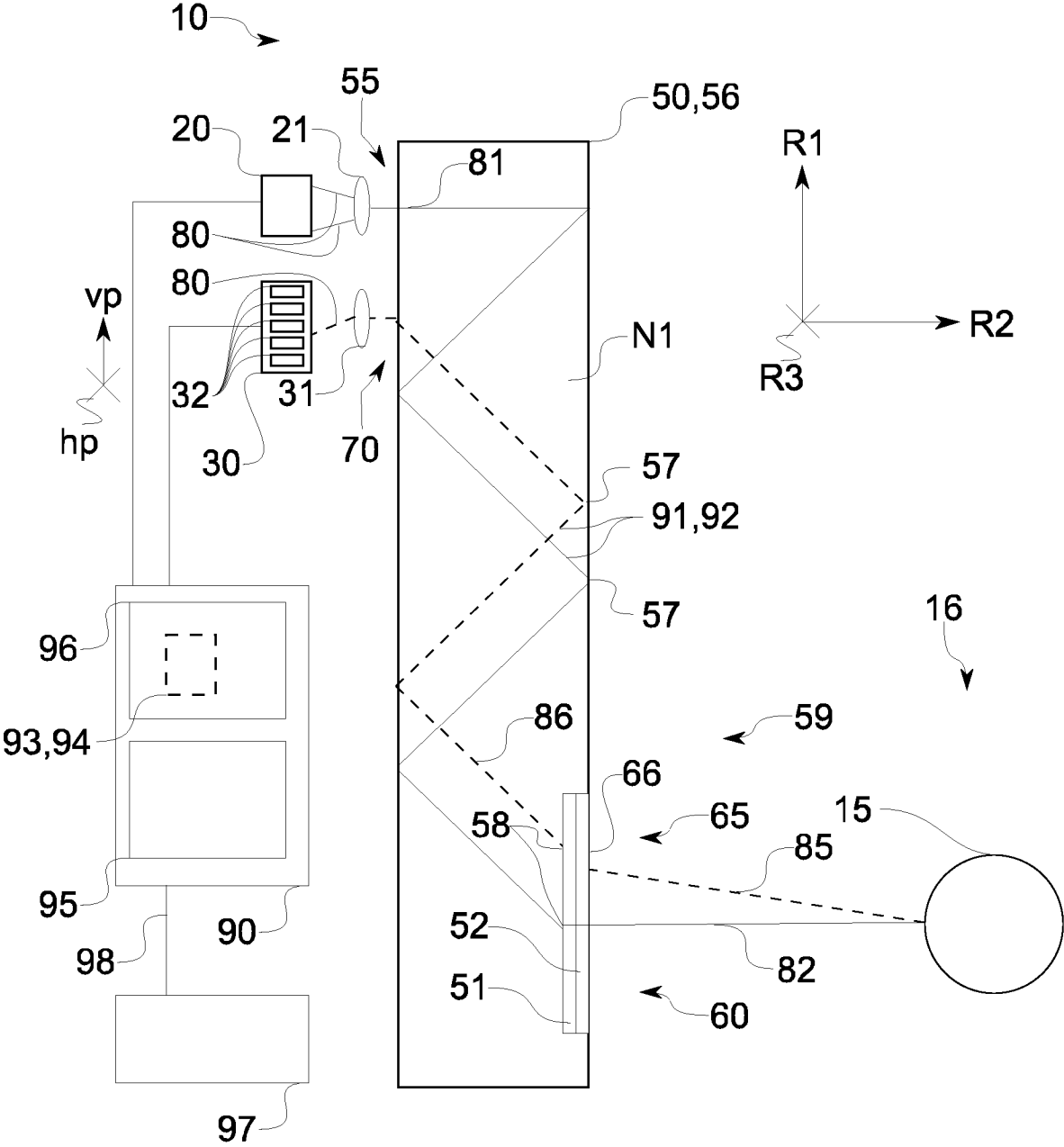
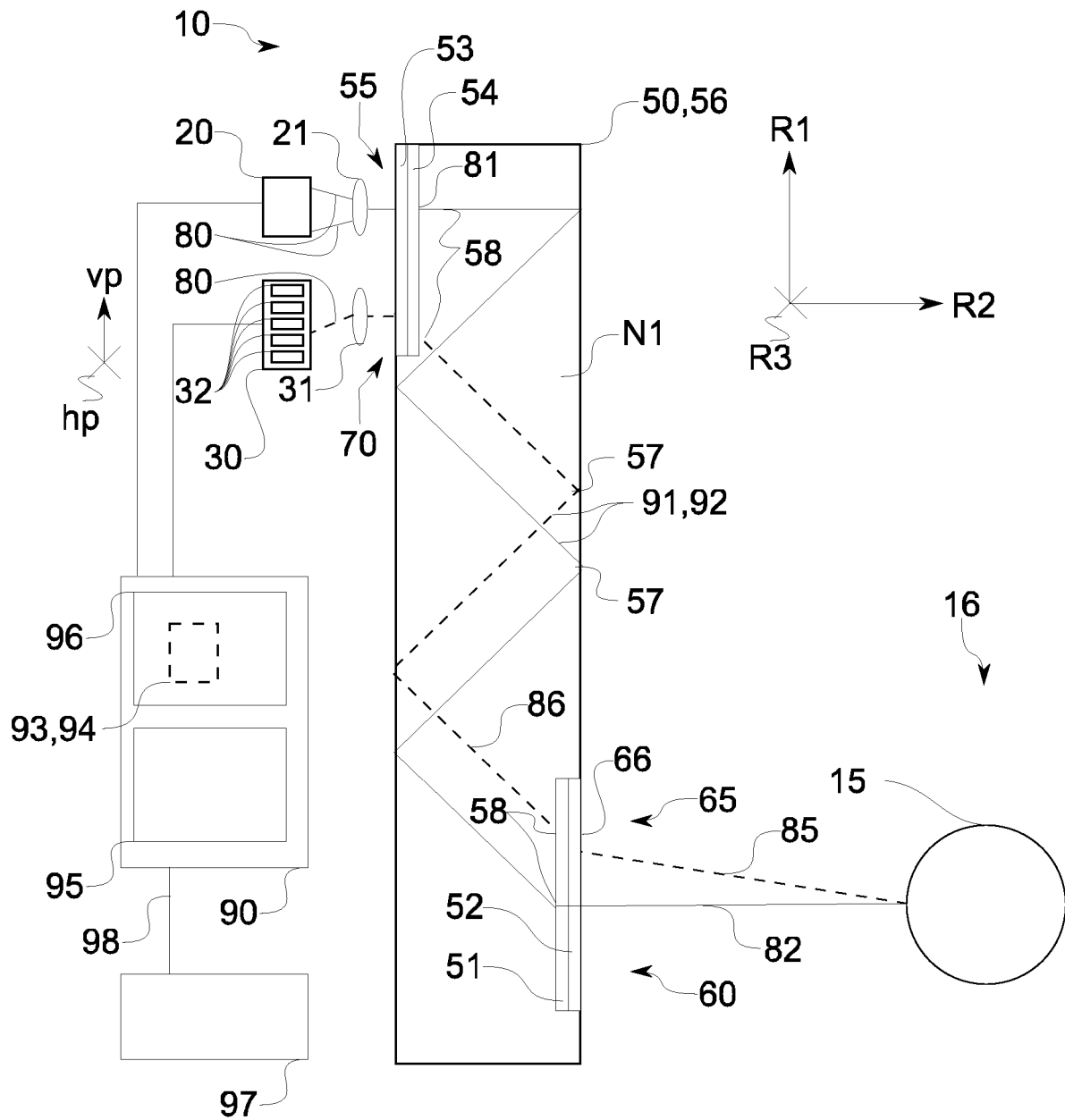


Fig.1

2/10



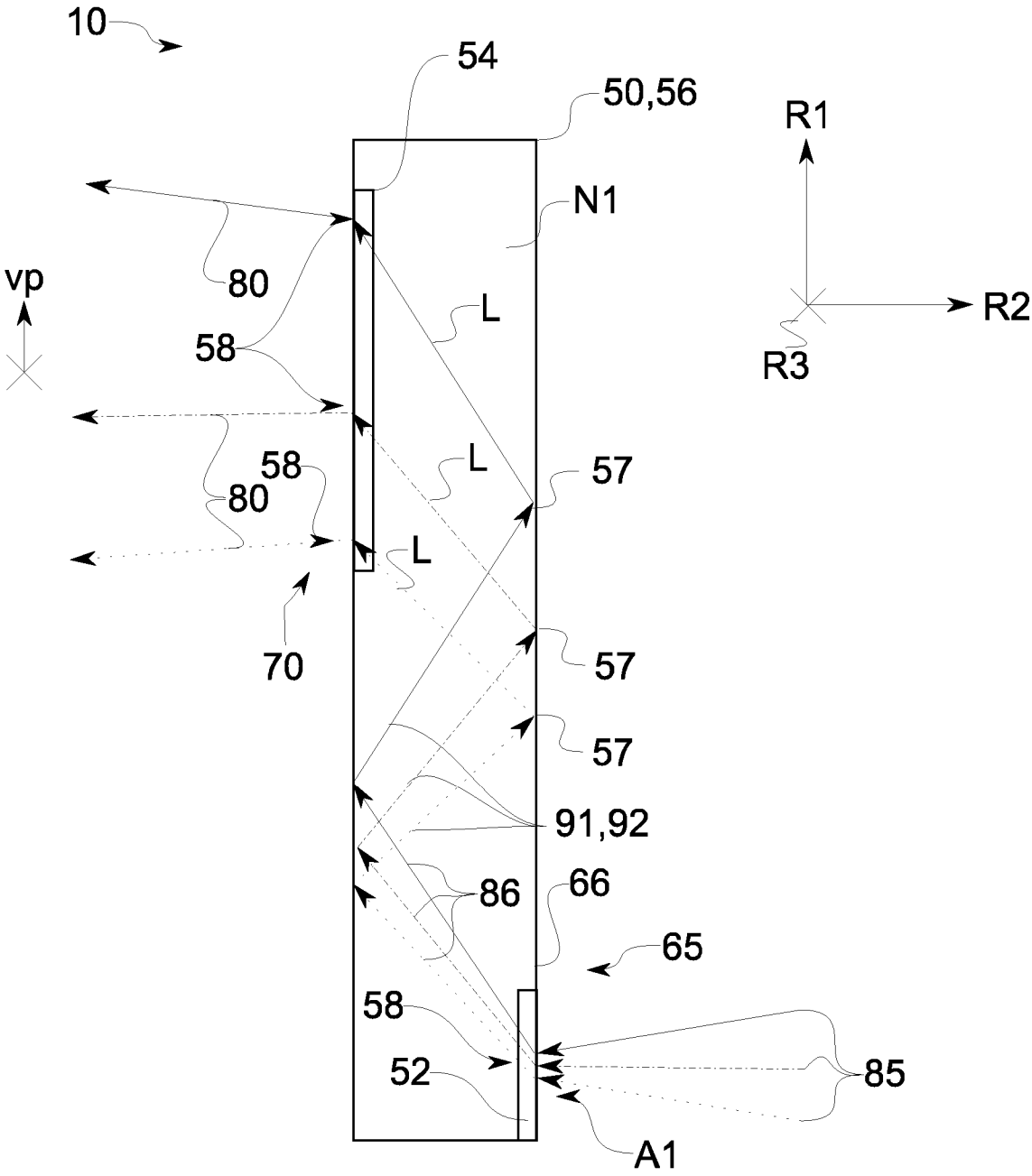


Fig.3

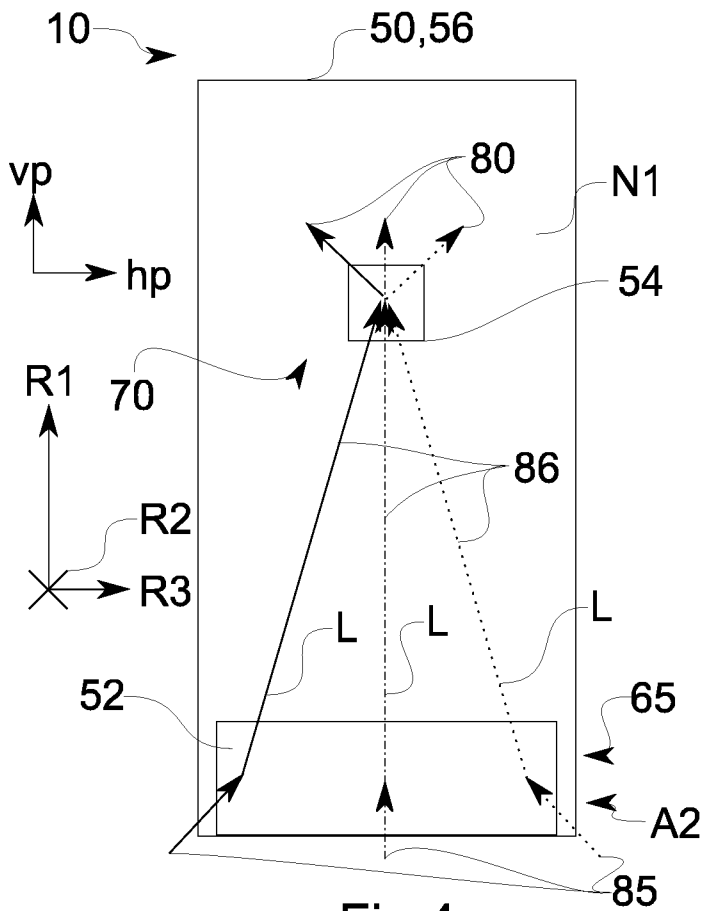


Fig.4

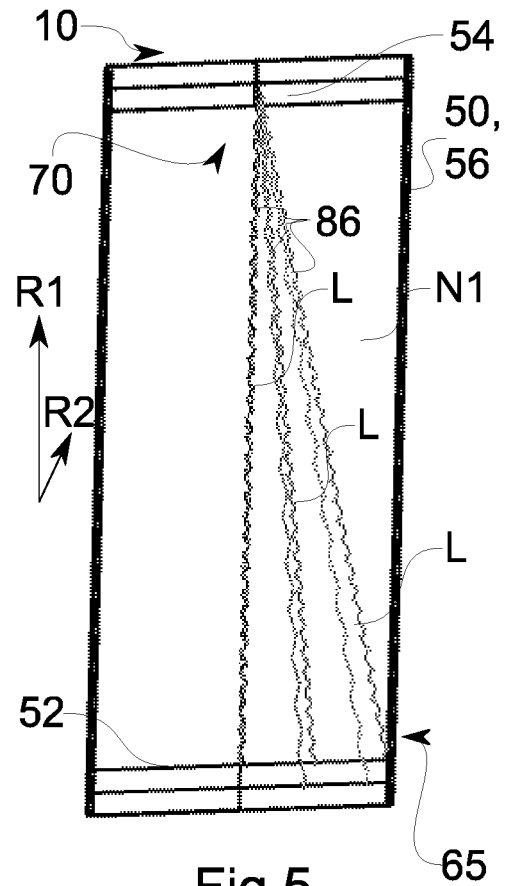


Fig.5

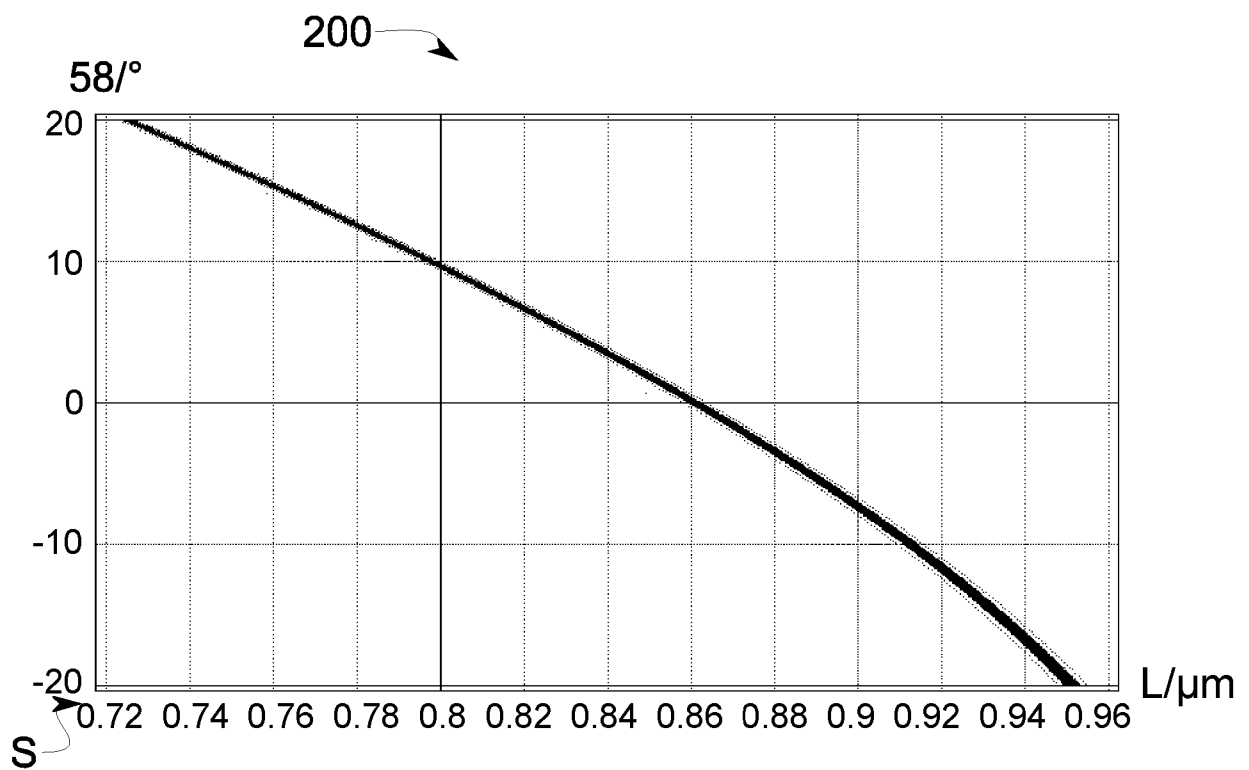


Fig.6

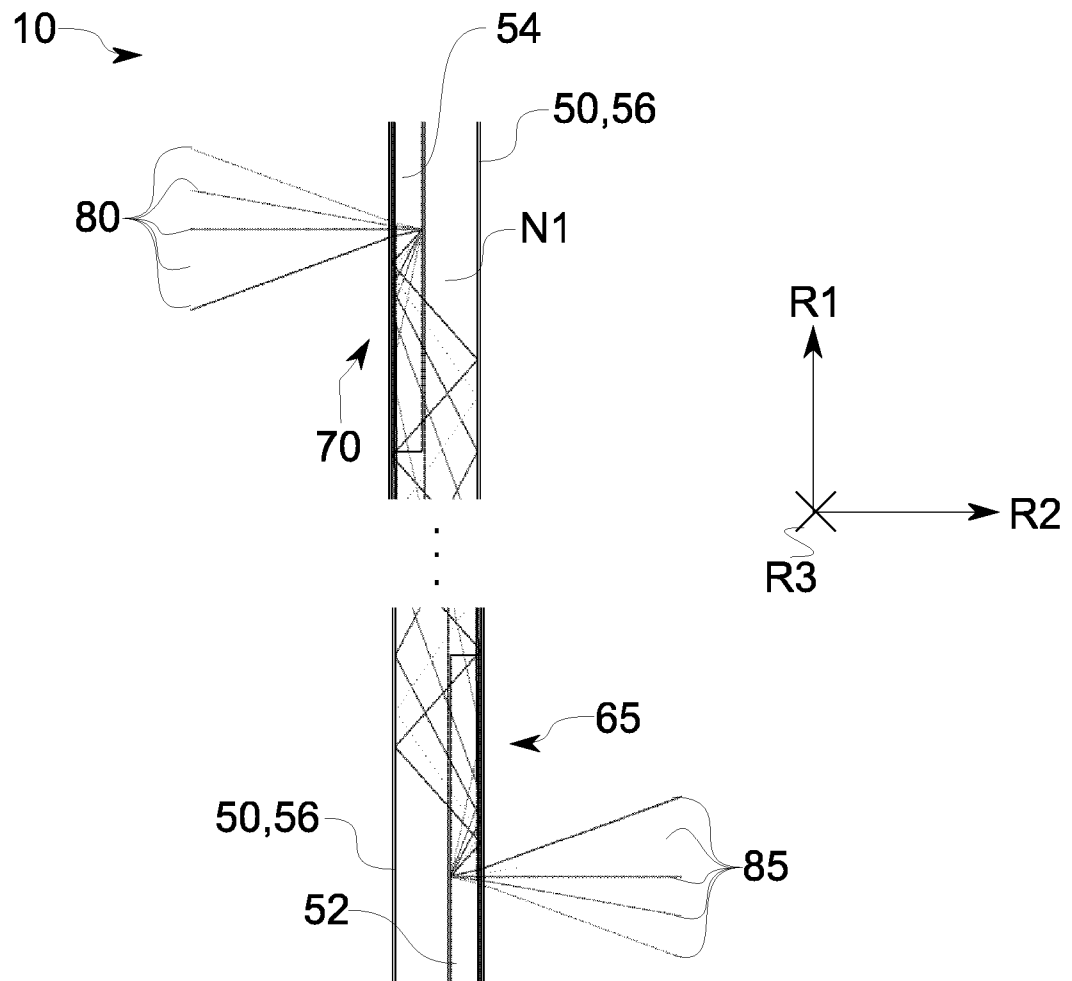


Fig.7

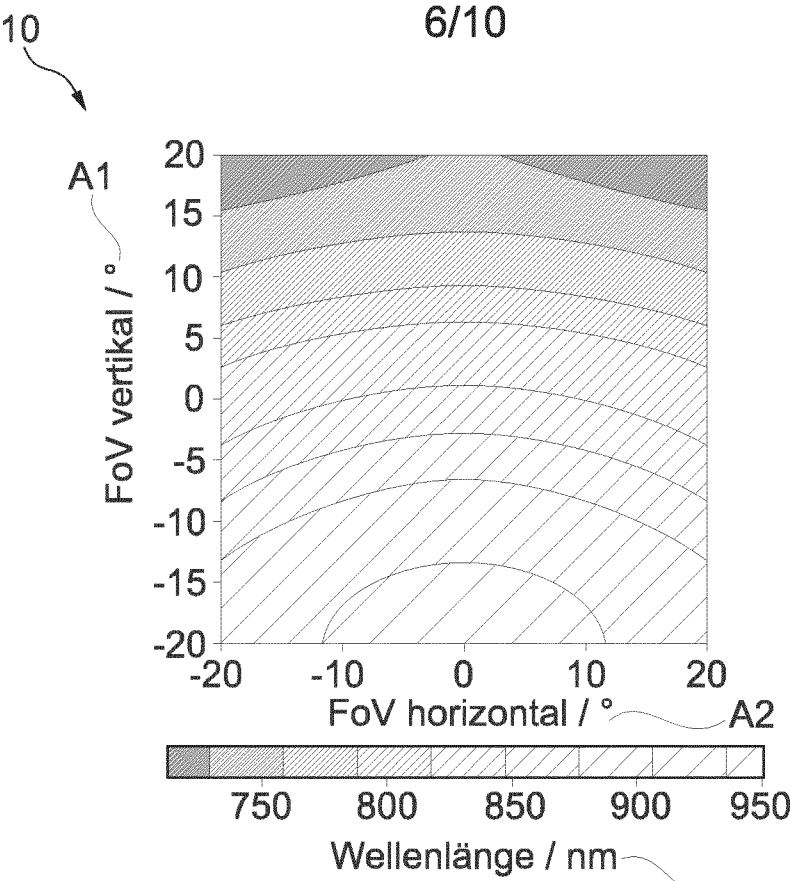


Fig. 8

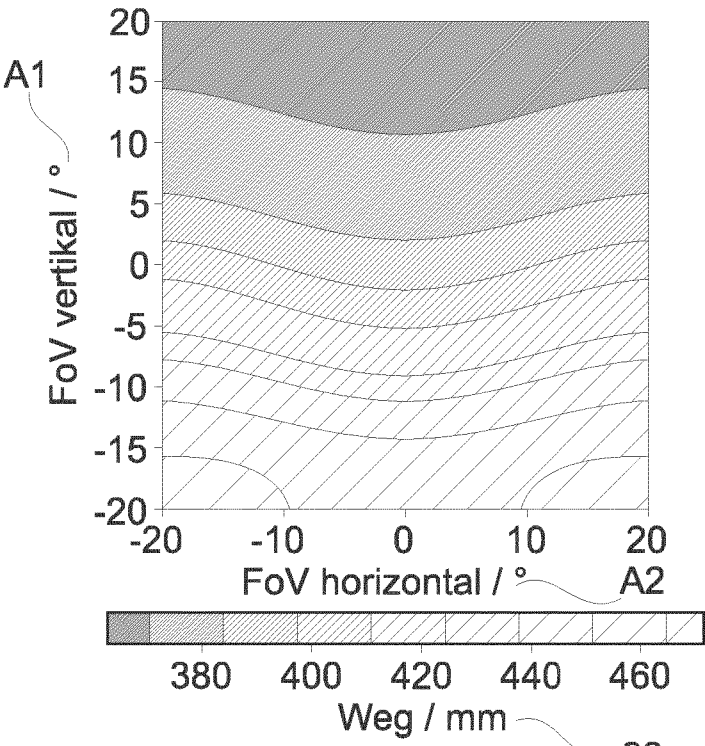


Fig. 9

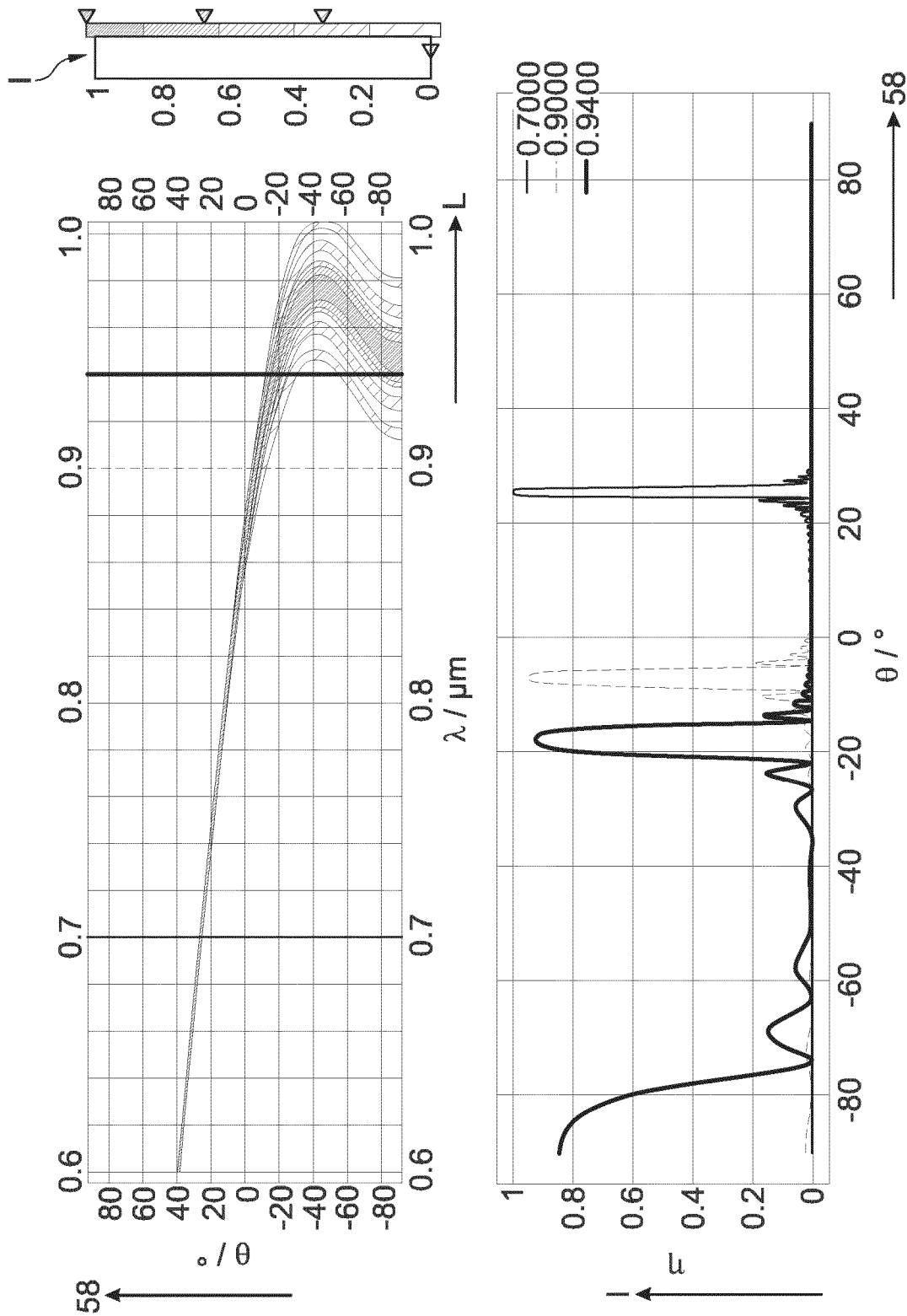


Fig. 10

8/10

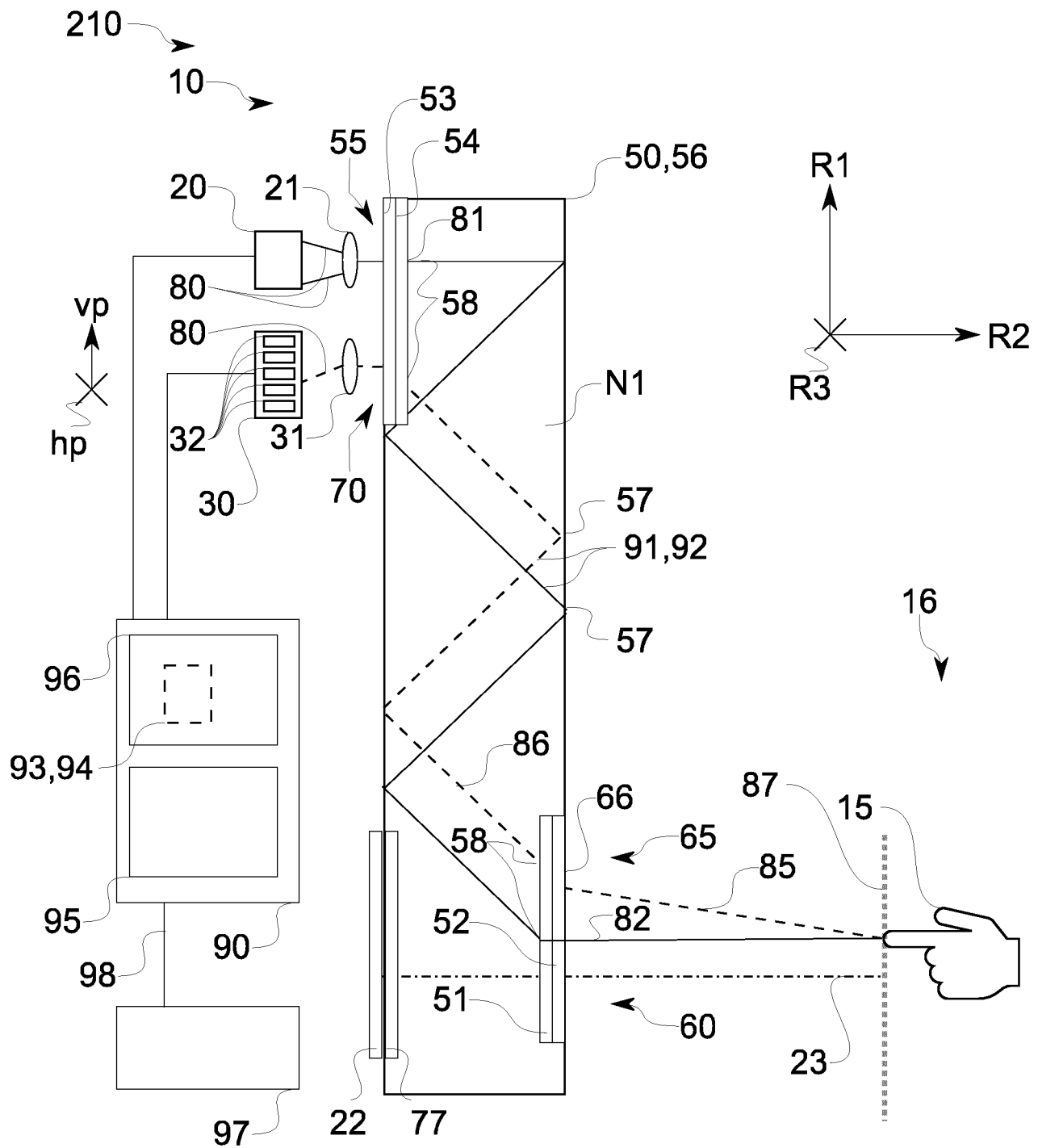


Fig.11

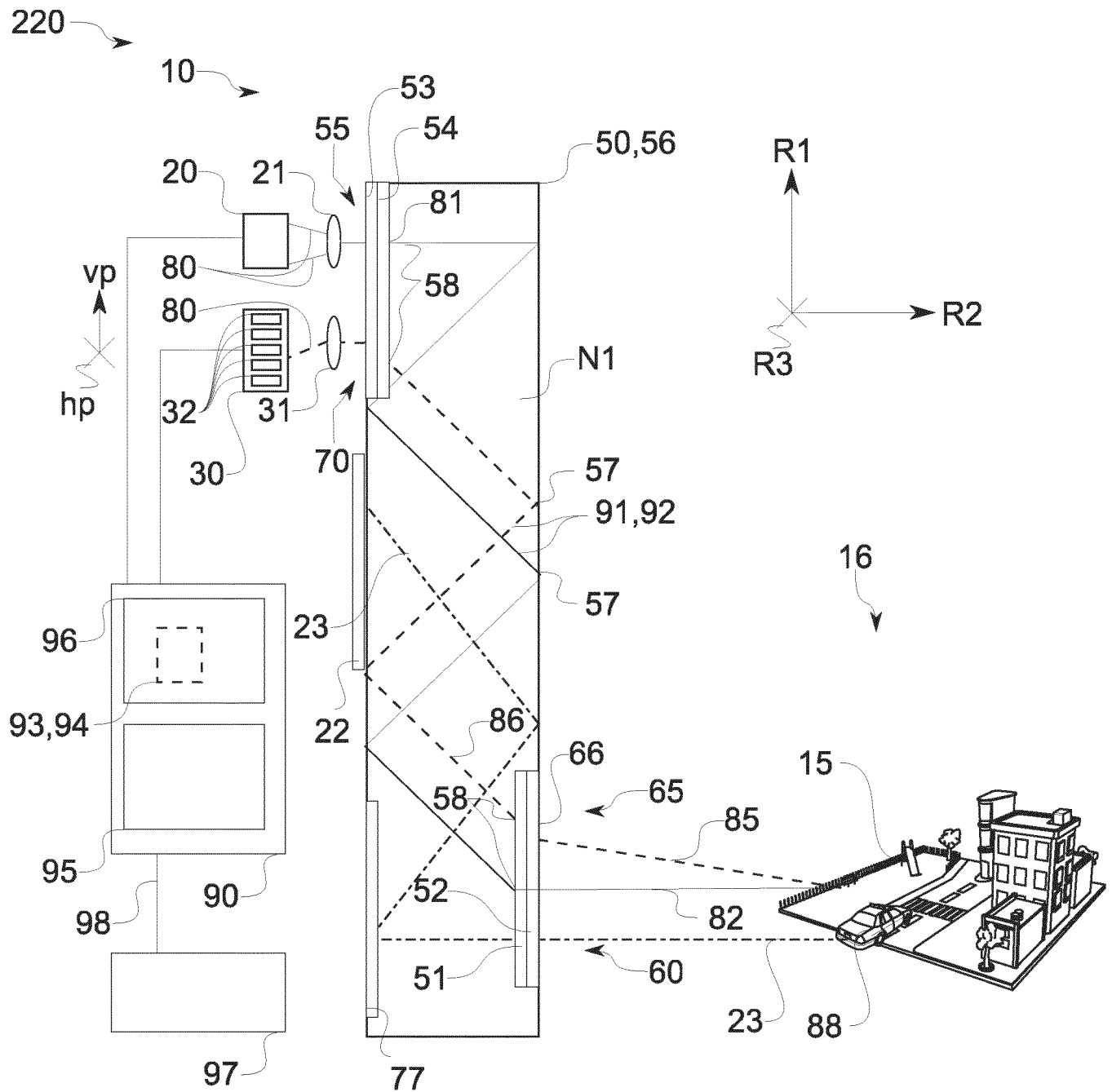


Fig. 12

10/10

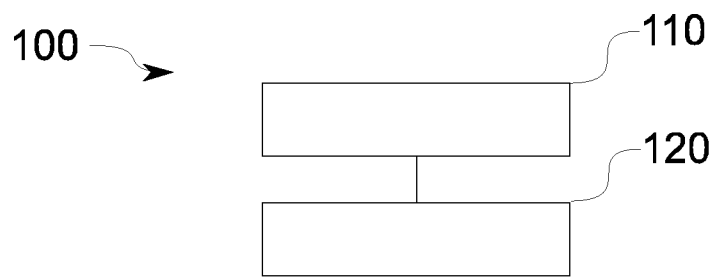


Fig.13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/079520**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****G01S 17/08**(2006.01)i; **G01S 17/58**(2006.01)i; **G01S 17/88**(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)

G01S

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, INSPEC, 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 102019206374 A1 (AUDI AG [DE]) 05 November 2020 (2020-11-05)	1-11, 13-18
Y	paragraphs [0011], [0016], [0024], [0032] - [0034], [0036], [0037], [0045] - [0049]; figures 1-4	12
Y	US 2004008405 A1 (PELOUCH WAYNE S [US] ET AL) 15 January 2004 (2004-01-15) paragraph [0117]; figures 17a-c	12



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

11 January 2024

Date of mailing of the international search report

23 January 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Metz, Carsten

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/079520

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102019206374	A1	05 November 2020	CN	113785218	A	10 December 2021
				DE	102019206374	A1	05 November 2020
				EP	3963358	A1	09 March 2022
				US	2022229188	A1	21 July 2022
				WO	2020225125	A1	12 November 2020
US	2004008405	A1	15 January 2004	AT	E286315	T1	15 January 2005
				AU	3237802	A	29 April 2002
				DE	60108174	T2	02 June 2005
				EP	1391014	A2	25 February 2004
				US	2004008405	A1	15 January 2004
				WO	0233792	A2	25 April 2002

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01S17/08 G01S17/58 G01S17/88
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01S

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, INSPEC, 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 10 2019 206374 A1 (AUDI AG [DE]) 5. November 2020 (2020-11-05)	1-11, 13-18
Y	Absätze [0011], [0016], [0024], [0032] - [0034], [0036], [0037], [0045] - [0049]; Abbildungen 1-4 -----	12
Y	US 2004/008405 A1 (PELOUCH WAYNE S [US] ET AL) 15. Januar 2004 (2004-01-15) Absatz [0117]; Abbildungen 17a-c -----	12



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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Januar 2024

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23/01/2024

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

Metz, Carsten

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2023/079520

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102019206374 A1	05-11-2020	CN 113785218 A	10-12-2021
		DE 102019206374 A1	05-11-2020
		EP 3963358 A1	09-03-2022
		US 2022229188 A1	21-07-2022
		WO 2020225125 A1	12-11-2020

US 2004008405 A1	15-01-2004	AT E286315 T1	15-01-2005
		AU 3237802 A	29-04-2002
		DE 60108174 T2	02-06-2005
		EP 1391014 A2	25-02-2004
		US 2004008405 A1	15-01-2004
		WO 0233792 A2	25-04-2002
