



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 014 275.1**  
(22) Anmelddatum: **03.03.2008**  
(43) Offenlegungstag: **06.08.2009**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.04.2017**

(51) Int Cl.: **G01S 7/481 (2006.01)**  
**G01S 17/89 (2006.01)**  
**G01C 15/00 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:  
**10 2008 008 063.2 01.02.2008**

(72) Erfinder:  
**Ossig, Martin, Dr., 71732 Tamm, DE; Schumann, Philip, Dr., 70469 Stuttgart, DE**

(73) Patentinhaber:  
**Faro Technologies, Inc., Lake Mary, Fla., US**

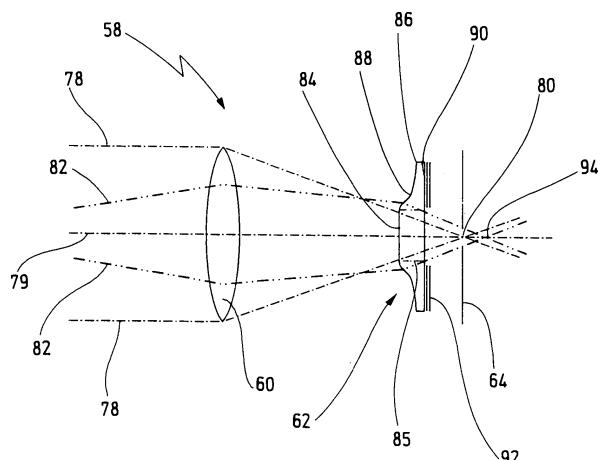
(56) Ermittelter Stand der Technik:

(74) Vertreter:  
**Hosenthien-Held und Dr. Held, 70193 Stuttgart,  
DE**

**DE 103 36 458 A1**  
**DE 20 2006 005 643 U1**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Bestimmen einer Entfernung zu einem Objekt**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Bestimmen einer Entfernung (d) zu einem Objekt (20), mit  
a) einem Lichtsender (12) zum Aussenden eines Sendelichtstrahls (18),  
b) einem Lichtempfänger (14) zum Empfangen eines Empfangslichtstrahls (24), der durch Reflexion des Sendelichtstrahls (18) an dem Objekt (20) entsteht,  
c) einer Auswerteeinheit (16) zum Bestimmen der Entfernung (d) anhand einer Laufzeit des Sende- und Empfangslichtstrahls (18, 24),  
d) einer Empfangsoptik (58) des Lichtempfängers (14) mit einem ersten Linsenelement (60) und einer Lochblende (64),  
e) einem lichtundurchlässigen Element (12), welches einen zentralen Bereich der Empfangsoptik (58) so abschattet, dass der Empfangslichtstrahl (24) in Form eines Lichtrings (102) auf die Lochblende (64) fällt,  
d) einem im Querschnitt weitgehend hutförmigen zweiten Linsenelement (62), das zwischen dem ersten Linsenelement (60) und der Lochblende (64) angeordnet ist und das einen im Querschnitt dickeren Zentralbereich (84), ein im Querschnitt dünneren Peripheriebereich (86) und einen Übergangsbereich (88) aufweist, der den dickeren Zentralbereich (84) und den dünneren Peripheriebereich (86) verbindet, wobei der Zentralbereich (84) im Querschnitt weitgehend eben ist, und  
e) einer Maske (92) aus einem lichtundurchlässigen Material, die den Übergangsbereich (88) teilweise abdeckt und den Zentralbereich (84) frei lässt.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Entfernung zu einem Objekt, mit mit einem Lichtsender zum Aussen- den eines Sendelichtstrahls, mit einem Lichtempfänger zum Empfangen eines Empfangslichtstrahls, der durch Reflexion des Sendelichtstrahls an dem Objekt entsteht, und mit einer Auswerteeinheit zum Bestimmen der Entfernung anhand einer Laufzeit des Sende- und Empfangslichtstrahls, wobei der Lichtempfänger eine Empfangsoptik mit einem ersten Linsenelement und einer Lochblende besitzt, wobei ein licht- undurchlässiges Element einen zentralen Bereich der Empfangsoptik so abschattet, dass der Empfangslichtstrahl in Form eines Lichtrings auf die Lochblende fällt.

**[0002]** Eine solche Vorrichtung ist vom Prinzip her aus DE 20 2006 005 643 U1 bekannt, wobei diese Druckschrift allerdings keine Details einer Empfangsoptik offenbart. Vorrichtungen, wie sie in DE 20 2006 005 643 U1 beschrieben sind, einschließlich einer Empfangsoptik mit einer Lochblende und einem Linsenelement hat die Anmelderin der vorliegenden Erfindung jedoch bereits unter der Produktbezeichnung LS 840/880 vertrieben.

**[0003]** Die bekannte Vorrichtung ist ein so genannter Laserscanner, der dazu ausgebildet ist, einen Raum- bereich und/oder ein Objekt dreidimensional zu ver- messen. Typische Anwendungen beinhalten die Ver- messung des Innenraums einer großen Werkhalle, die Vermessung von großen Objekten wie Gebäuden oder Schiffsrümpfen, oder die forensische Ver- messung eines Tatortes. Der bekannte Laserscanner besitzt einen Messkopf, der um eine vertikale Achse drehbar ist. Der Messkopf enthält einen Rotor mit einem um 45° schräg gestellten Spiegel, der gegenüber von einem Lichtsender und einem Licht- empfänger angeordnet ist. Der Lichtsender erzeugt einen Sendelichtstrahl, der mit Hilfe des drehenden Spiegels so abgelenkt wird, dass ein vertikaler Ab- tastfächern entsteht. Ein von einem Objekt reflektierter Empfangslichtstrahl wird über den Spiegel auf den Lichtempfänger umgeleitet. Aus der Laufzeit des Sende- und Empfangslichtstrahls wird die Entfernung zwischen dem Messkopf und dem Objektpunkt be- stimmt, an dem der Sendelichtstrahl reflektiert wurde. Durch Drehung des Messkopfes um die vertikale Achse lässt sich der (vertikale) Abtastfächern im Azimut drehen, so dass praktisch der gesamte Raumbe- reich um den Laserscanner herum vermessen wer- den kann.

**[0004]** DE 20 2006 005 643 U1 beschreibt eine vor- teilhafte Kombination eines solchen Laserscanners mit einer Bildaufnahmeeinheit, die dazu ausgebildet ist, ein Farbbild von dem Raumbereich in Ergänzung zu den Entfernungsmesswerten aufzunehmen.

**[0005]** Ein bekanntes Problem bei einem solchen Laserscanner oder allgemeiner bei einem Entfernungsmesser, der die Laufzeit eines Sende- und Empfangslichtstrahls auswertet, sind die großen Intensitätsunterschiede, die der Empfangslichtstrahl in Abhängigkeit von der jeweiligen Messentfernung be- sitzen kann. Je größer die Entfernung zwischen dem Lichtsender/Lichtempfänger und dem Objekt ist, des- to geringer ist die Signalleistung, mit der der Emp- fangssichtstrahl den Lichtempfänger erreicht. Um ei- nen großen Messbereich zu ermöglichen, muss der Lichtempfänger einerseits die leistungsstarken Emp- fangssignale aus kurzen Entfernung und anderer- seits die leistungsschwachen Empfangssignale aus großen Entfernung verarbeiten können. Ist die Empfangsleistung zu groß, wird der Lichtdetektor übersteuert, was in extremen Fällen zu einer Zerstö- rung des Lichtempfängers führen kann. Selbst wenn der Lichtempfänger nicht zerstört oder geschädigt wird, ist bei einer zu hohen Empfangssignalleistung keine zuverlässige Entfernungsbestimmung mög- lich. Ist die Empfangsleistung dagegen zu schwach, lässt sich das Empfangssignal nicht mehr von unvermeid- lichen Störungen, wie dem Umgebungs- und Detek- torrauschen, unterscheiden.

**[0006]** Bei dem bekannten Laserscanner sitzt der Lichtsender koaxial vor der Empfangsoptik und schattet deren Zentralbereich ab. Aufgrund dessen erreicht der Empfangslichtstrahl die Empfangsoptik nur in Form eines Lichtrings, aus dem der zentrale Bereich „herausgeschnitten“ ist. Dieser Licht- ring wird von einem Linsenelement auf die Lochblende abgebildet. Wenn der Durchmesser des ab- gebildeten Lichtrings kleiner ist als der Durchmes- ser der Lochblende, passt der Lichtring vollständig durch die Lochblende hindurch. In diesem Fall kann der gesamte Empfangslichtstrahl mit Ausnahme des abgeschatteten zentralen Bereichs auf einen nach der Lochblende angeordneten Lichtdetektor fallen. Ist der Durchmesser des Lichtrings jedoch größer als der Durchmesser der Lochblende, begrenzt die Lochblende die Lichtmenge, die den Lichtdetektor erreicht. Aufgrund der Abbildungseigenschaften der Empfangsoptik hängt der Durchmesser des Lichtrings von der Entfernung ab, die der Empfangslicht- strahl zurücklegt. Für große Entfernung ist der Durchmesser des Lichtrings klein. Zu kurzen Entfer- nungen hin nimmt der Durchmesser des Lichtrings zu. Infolge dieses Verhaltens wird ein Empfangslicht- strahl aus großer Entfernung vollständig (mit Aus- nahme der zentralen Abschattung durch das licht- undurchlässige Element) auf dem Lichtdetektor ab- gebildet, während ein Empfangslichtstrahl aus einer kurzen Entfernung den Lichtdetektor nur teilweise er- reicht. Auf diese Weise werden die unterschiedlichen Empfangssignalleistungen in Abhängigkeit von der Entfernung etwas ausgeglichen.

**[0007]** Es hat sich allerdings gezeigt, dass diese Art des Ausgleichs nicht optimal ist, weil der Lichtring zu kürzeren Entferungen hin so groß werden kann, dass aufgrund der zentralen Abschattung überhaupt kein Empfangslicht mehr durch die Lochblende hindurchtreten kann. Infolgedessen ist der Messbereich des bekannten Laserscanners zu kurzen Entfernungen hin nachteilig begrenzt.

**[0008]** Eine Vorrichtung der eingangs genannten Art wird in der DE 103 36 458 A1 vorgeschlagen. Das erste Linsenelement wird zentral durch einen Blende abgeschattet, aus welcher der Sendelichtstrahl austritt. Als Lochblende dient die Stirnfläche einer Lichtleitfaser. Das zweite Linsenelement ist eine durchlochte Lichtkonvergenzlinse, welche für kurze Entfernungen des Objekts den Empfangslichtstrahl auf die Stirnfläche der Lichtleitfaser fokussiert. Damit wird zwar sichergestellt, dass ausreichend Empfangslicht vorhanden ist, jedoch bleiben die Empfangssignalleistungen unterschiedlich.

**[0009]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, die die Bestimmung einer Entfernung über einen erweiterten Messbereich hinweg ermöglicht. Die Bestimmung der Entfernung soll bei kurzen und bei großen Entfernungen mit hoher Genauigkeit möglich sein.

**[0010]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0011]** Das zweite Linsenelement ist also ein komplex geformtes Linsenelement. Es besitzt im Querschnitt einen relativ dicken Zentralbereich und einen relativ dünnen Peripheriebereich, zwischen denen ein (vorzugsweise gekrümmter) Übergangsbereich angeordnet ist. Aufgrund der komplexen Hutform ist der Übergangsbereich steiler als der Zentralbereich und der Peripheriebereich, wenn man den Querschnitt des zweiten Linsenelements betrachtet. Diese Linsenform mit radial nach außen variierenden Steilheiten, wobei der Übergangsbereich eine im Querschnitt deutlich höhere Steilheit besitzt, hat zur Folge, dass Lichtstrahlen, die im Übergangsbereich auf das Linsenelement fallen, anders gebrochen werden als Lichtstrahlen, die auf den Zentralbereich des Linsenelements fallen. Mit Hilfe eines solchen, positionsabhängigen Verhaltens ist es möglich, Lichtstrahlen aus unterschiedlichen Entfernungen verschieden stark abzulenken. Insbesondere kann das neue zweite Linsenelement dafür sorgen, dass Empfangslichtstrahlen aus kürzeren Entfernungen, die bei dem bekannten Laserscanner nahezu vollständig unterdrückt würden, nun mit einem gewissen Lichtanteil durch die Lochblende hindurchtreten

können. Die neue Vorrichtung besitzt damit einen erweiterten Messbereich zu kurzen Entfernungen hin.

**[0012]** Vorzugsweise ist das lichtundurchlässige Element ein Bestandteil des Lichtsenders, der koaxial zu dem Lichtempfänger vor diesem angeordnet ist. Diese koaxiale Anordnung ermöglicht es, auf Strahlteiler im Sende- und Empfangslichtweg zu verzichten und infolgedessen lässt sich die neue Vorrichtung sehr kostengünstig und kompakt realisieren. Die Messgenauigkeit der neuen Vorrichtung ist über den gesamten Messbereich hoch.

**[0013]** Das hutformige zweite Linsenelement weist einen im Querschnitt dickeren Zentralbereich, einen im Querschnitt dünneren Peripheriebereich und einen Übergangsbereich auf, der den dickeren Zentralbereich und den dünneren Peripheriebereich verbindet, wobei der Zentralbereich im Querschnitt weitgehend eben ist. Vorzugsweise ist der Zentralbereich exakt eben und der Übergangsbereich schließt sich mit einem S-förmigen Verlauf (im Querschnitt) an den Zentralbereich an.

**[0014]** Dies hat den Vorteil, dass Empfangslichtstrahlen, die durch den Zentralbereich hindurchtreten, weitgehend oder sogar vollständig unbeeinflusst bleiben. Der Einfluss des zweiten Linsenelements kann somit auf Empfangslichtstrahlen aus kürzeren Entfernungen begrenzt werden. Für Empfangslichtstrahlen aus größeren Entfernungen ist das neue Linsenelement zumindest weitgehend funktionslos. Diese Ausgestaltung trägt in vorteilhafter Weise dazu bei, eine optimale Empfangsleistungscharakteristik für einen erweiterten Messbereich zu realisieren.

**[0015]** Die neue Vorrichtung besitzt eine Maske aus einem lichtundurchlässigen Material, die den Übergangsbereich teilweise abdeckt und den Zentralbereich frei lässt. Vorzugsweise deckt die Maske auch den Peripheriebereich ab.

**[0016]** Damit lässt sich die Empfangsleistungscharakteristik der neuen Vorrichtung optimieren, indem die (hohe) Lichtintensität eines Empfangslichtstrahls mit Hilfe der Maske begrenzt wird. Andererseits lässt die Maske den Zentralbereich frei, so dass Empfangslichtstrahlen aus größeren Entfernungen weiterhin unbeeinflusst bleiben.

**[0017]** Daher ist die oben angegebene Aufgabe vollständig gelöst.

**[0018]** In einer bevorzugten Ausgestaltung definiert das erste Linsenelement einen Brennpunkt, an dem die Lochblende angeordnet ist.

**[0019]** Diese Ausgestaltung trägt dazu bei, den Messbereich zu großen Entfernungen hin zu optimieren, indem eine nachteilige Abschattung von Emp-

fangslichtstrahlen aus größeren Entfernungen vermieden wird. Alle Empfangslichtstrahlen aus großen Entfernungen werden in dieser Ausgestaltung auf die Lochblende fokussiert.

**[0020]** In einer bevorzugten Ausgestaltung ist das zweite Linsenelement eine Ringlinse mit einer Durchgangsöffnung, die den Zentralbereich bildet. Dabei ist der Zentralbereich ein „Loch“, das in der Mitte des Linsenelements angeordnet ist. Die Lichtstrahlen, die das zweite Linsenelement im Zentralbereich passieren, werden von dem Linsenelement nicht beeinflusst. Vorteilhafterweise erfolgt hier weder eine Dämpfung noch eine Brechung.

**[0021]** In einer alternativen Ausgestaltung ist das zweite Linsenelement demgegenüber ein Vollkörper, d. h. der Zentralbereich ist ebenfalls mit einem lichtdurchlässigen Material „gefüllt“. Diese Ausgestaltung besitzt den Vorteil, dass das komplexe Linsenelement einfacher, kostengünstiger und stabiler hergestellt werden kann.

**[0022]** Vorzugsweise deckt die Maske den Übergangsbereich überwiegend ab.

**[0023]** Diese Ausgestaltung ist vorteilhaft, weil die Lichtmenge der Empfangslichtstrahlen mit abnehmender Entfernung sehr stark ansteigt. Mit einer großflächigen Maske lässt sich dieser starke Anstieg bei kurzen Entfernungen sehr einfach und effizient begrenzen.

**[0024]** In einer weiteren Ausgestaltung besitzt die Maske zumindest eine schlitzförmige Öffnung, die im Übergangsbereich angeordnet ist.

**[0025]** Eine schlitzförmige Öffnung in der Maske ermöglicht auf sehr einfache und kostengünstige Weise eine effiziente Anpassung der Empfangslichtleistung. Insbesondere ist es mit Hilfe einer schlitzförmigen Öffnung leicht möglich, Teile des ringförmigen Empfangslichtstrahls gezielt „herauszuschneiden“, um sie dem nachfolgenden Lichtdetektor zuzuführen.

**[0026]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die schlitzförmige Öffnung vom Zentralbereich zum Peripheriebereich verläuft. Vorzugsweise verläuft die schlitzförmige Öffnung radial vom Zentralbereich zum Peripheriebereich.

**[0027]** Alternativ wäre es beispielsweise denkbar, eine oder mehrere kreisförmige Slitze in der Maske anzuordnen, um jeweils Kreisringe aus dem ringförmigen Empfangslichtstrahl „herauszuschneiden“. Die hier bevorzugte Ausgestaltung besitzt demgegenüber den Vorteil, dass das Empfangslicht aus kürzeren Entfernungen weitgehend unabhängig von der jeweiligen Größe und Lage des Lichtrings durch die Maske hindurchtreten kann. Diese Ausgestaltung

ermöglicht eine sehr gleichmäßige Anpassung der Empfangslichtleistung bei kurzen Entfernungen.

**[0028]** In einer weiteren Ausgestaltung besitzt das hutförmige zweite Linsenelement eine weitgehend ebene Rückseite. Vorzugsweise ist die Maske auf der ebenen Rückseite angeordnet.

**[0029]** Diese Ausgestaltung trägt zu einer einfachen und kostengünstigen Realisierung bei. Darüber hinaus lässt sich mit dieser Ausgestaltung der Einfluss des zweiten Linsenelements auf Empfangslichtstrahlen aus größeren Entfernungen reduzieren, so dass der maximale Messbereich durch das neue zweite Linsenelement nicht nachteilig beeinflusst wird.

**[0030]** In einer weiteren Ausgestaltung besitzt die Lochblende eine zentrale Öffnung und eine weitere schlitzförmige Öffnung, die radial zu der zentralen Öffnung angeordnet ist. Vorzugsweise sind die schlitzförmigen Öffnungen in der Lochblende und in der Maske weitgehend deckungsgleich zueinander angeordnet.

**[0031]** Diese Ausgestaltung führt einen weiteren Freiheitsgrad ein, mit dessen Hilfe sich die Empfangsleistungskurve für einen großen Entfernungsmessbereich optimieren lässt. Der weitere Freiheitsgrad ermöglicht ferner eine einfachere und kostengünstigere Gestaltung des zweiten Linsenelements.

**[0032]** In einer weiteren Ausgestaltung weist der Lichtempfänger einen ersten und zumindest einen zweiten Lichtdetektor auf, wobei der erste Lichtdetektor ein erstes elektrisches Signal in Abhängigkeit von dem Empfangslichtstrahl erzeugt, und wobei der zweite Lichtdetektor ein zweites elektrisches Signal erzeugt, das für eine Farbinformation des Objekts repräsentativ ist.

**[0033]** Das erste elektrische Signal ist insbesondere für die Helligkeit des Messpunktes repräsentativ und wird vorteilhaft in an sich bekannter Weise zur Bestimmung der Entfernung verwendet. Der zweite Lichtdetektor ist ein Farbdetektor, der üblicherweise drei oder mehr lichtempfindliche Pixel beinhaltet, die für verschiedene Wellenlängen empfindlich sind. Aufgrund der wellenlängenabhängigen Empfindlichkeit erhält man eine Farbseparation. In bevorzugten Ausführungsbeispielen liefert der Farbdetektor eine Farbinformation, die für den roten Wellenlängenbereich, den grünen Wellenlängenbereich und den blauen Wellenlängenbereich repräsentativ ist. Diese Ausgestaltung ermöglicht es, in Ergänzung zu der Entfernungsinformation aus dem ersten elektrischen Signal ein optisches Farbbild von dem Messpunkt zu erhalten. Die zusätzliche Information trägt dazu bei, die Messumgebung zu dokumentieren und die Entfernungsmesswerte einfacher zu interpretieren.

**[0034]** In einer weiteren Ausgestaltung besitzt die Vorrichtung einen Drehspiegel mit einer Drehrichtung, um den Sendelichtstrahl über das Objekt zu führen, wobei der zweite Lichtdetektor in Drehrichtung versetzt angeordnet ist.

**[0035]** In dieser Ausgestaltung sind der erste und der zweite Lichtdetektor räumlich so versetzt zueinander angeordnet, dass sie über den Drehs piegel auf verschiedene Objektpunkte innerhalb des umgebenden Raumbereichs blicken.

**[0036]** Im Gegensatz dazu schlägt die eingangs genannte DE 20 2006 005 643 U1 beispielsweise eine Vorrichtung vor, bei der eine Bildaufnahmeeinheit zum Aufnehmen eines optischen Bildes auf denselben Objektpunkt ausgerichtet wird, wie der Sendelichtstrahl. Die hier bevorzugte Ausgestaltung verzichtet bewusst darauf, den Sendelichtstrahl und die Blickrichtung des zweiten Lichtdetektors auf denselben Objektpunkt auszurichten. Dabei macht sich die vorliegende Ausgestaltung zunutze, dass die Blickrichtung des zweiten Lichtdetektors der Blickrichtung des ersten Lichtdetektors bzw. des Sendelichtstrahls aufgrund der Drehung des Drehs piegels mit einer zeitlichen Verzögerung folgt. Aufgrund der festen Anordnung des Lichtsenders und der beiden Lichtdetektoren relativ zueinander sieht der zweite Lichtdetektor einen vermessenen Objektpunkt mit einer zeitlichen Verzögerung (oder Vorauseilung). Diese Ausgestaltung besitzt den Vorteil, dass das optische Bild des Raumbereichs im gleichen Scannumlauf aufgenommen werden kann, wie die Entfernung zu den Objektpunkten bestimmt werden. Darüber hinaus ermöglicht diese Ausgestaltung eine sehr kompakte und bedienungsfreundliche Realisierung.

**[0037]** In einer weiteren Ausgestaltung weist die Lochblende einen Lochblendenkörper auf, an dem der zweite Lichtdetektor angeordnet ist.

**[0038]** Diese neue Ausgestaltung ermöglicht eine sehr kompakte und robuste Bauweise. Außerdem ist die Empfangsleistungscharakteristik für den zweiten Lichtdetektor hier unabhängig von der Empfangsleistungscharakteristik für den ersten Lichtdetektor, d. h. das Empfangslicht für den zweiten Lichtdetektor wird durch die oben beschriebenen Maßnahmen weniger oder gar nicht beeinflusst. Dies ist von Vorteil, weil das Empfangslicht für den zweiten Lichtdetektor nicht die starken, entfernungsabhängigen Intensitätsunterschiede aufweist wie der Empfangslichtstrahl.

**[0039]** In einer weiteren Ausgestaltung besitzt die Vorrichtung ein Grafikdisplay, das dazu ausgebildet ist, ein Entfernungs bild und/oder ein optisches Bild des Objekts anzuzeigen.

**[0040]** Diese Ausgestaltung ist besonders vorteilhaft für einen Laserscanner der eingangs beschriebenen

Art, der aufgrund seiner Scanfähigkeit eine sehr große Menge an Messdaten und/oder optischen Bilddaten erzeugt. Ein Grafikdisplay ermöglicht es, diese Datenmenge direkt (also ohne ergänzendes Notebook etc.) an der Vorrichtung selbst darzustellen. Der Benutzer kann sich somit ein schnelles Bild über die Qualität, Vollständigkeit und Relevanz der Messwerte machen. Darüber hinaus kann ein solches Grafikdisplay sehr vorteilhaft als Benutzerschnittstelle zur Dateneingabe für eine Parametrierung etc. verwendet werden.

**[0041]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind.

**[0042]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

**[0043]** **Fig. 1** einen Laserscanner nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

**[0044]** **Fig. 2** die Empfangsleistungscharakteristik des Laserscanners aus **Fig. 1** in einer idealisierten Darstellung,

**[0045]** **Fig. 3** die Empfangsoptik des Laserscanners aus **Fig. 1** in einer vereinfachten Darstellung,

**[0046]** **Fig. 4** einen Lochblendenkörper mit der Lochblende der Empfangsoptik aus **Fig. 3** in einer ersten Betriebssituation,

**[0047]** **Fig. 5** die Lochblende aus **Fig. 4** in einer zweiten Betriebssituation, und

**[0048]** **Fig. 6** ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel für eine Maske, die in der Empfangsoptik aus **Fig. 3** Verwendung findet.

**[0049]** In **Fig. 1** ist ein Laserscanner in seiner Gesamtheit mit der Bezugsziffer **10** bezeichnet. Der Laserscanner **10** ist ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel für eine Vorrichtung nach der vorliegenden Erfindung. Die neue Vorrichtung kann jedoch auch ein einfacher, eindimensional messender Entfernungs messer sein, der die Entfernung zu einem Objekt mit Hilfe eines Sendelichtstrahls und eines Empfangslichtstrahls bestimmt. Die Erfindung ist auch nicht auf die – bevorzugte – Verwendung von Lichtstrahlen im engeren Sinne (Wellenlängen zwischen 300 und 1.000 nm) beschränkt, sondern kann prinzipiell auch mit elektromagnetischen Wellen aus einem anderen Wellenlängenbereich realisiert werden, so lange eine quasi optische Ausbreitung vorliegt. Der hier verwendete Begriff Lichtstrahl umfasst daher auch solche elektromagnetischen Wellen.

**[0050]** Der Laserscanner **10** beinhaltet einen Lichtsender **12** und einen Lichtempfänger **14**, die mit einer Auswerte- und Steuereinheit **16** verbunden sind. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel beinhaltet der Lichtsender **12** eine Laserdiode, die dazu ausgebildet ist, einen Laserstrahl **18** mit einer Wellenlänge von etwa 790 nm als Sendelichtstrahl zu erzeugen. Der Sendelichtstrahl **18** wird ausgesendet, um einen Objektpunkt an einem Objekt **20** zu beleuchten. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Sendelichtstrahl **18** mit einem rechteckwellenförmigen Modulationssignal amplitudenmoduliert, um durch Auswertung von Phaseninformationen die Entfernung  $d$  zu dem beleuchteten Objektpunkt zu bestimmen. Ein bevorzugtes Modulationssignal ist in einer parallelen Patentanmeldung der vorliegenden Anmelderin beschrieben. Alternativ hierzu kann der Sendelichtstrahl **18** mit einem sinusförmigen Modulationssignal moduliert sein und/oder der Sendelichtstrahl **18** kann pulsweise ausgesendet werden, um die Entfernung  $d$  anhand eines Pulslaufzeitverfahrens zu bestimmen.

**[0051]** Der Sendelichtstrahl **18** wird hier über einen Spiegel **22** zu dem Objekt **20** umgelenkt. Mit der Bezugsziffer **24** ist ein Empfangslichtstrahl bezeichnet, der von dem Objekt **20** reflektiert wird und der über den Spiegel **22** zu dem Empfänger **14** umgelenkt wird. Der Spiegel **22** ist hier an der vorderen Stirnfläche eines Zylinders **26** angeordnet, der über eine Welle **28** mit einem Drehantrieb **30** verbunden ist. Mit Hilfe des Drehantriebs **30** kann der Spiegel **22** um eine Drehachse **32** gedreht werden. Die Drehrichtung ist hier bei Bezugsziffer **33** angedeutet. Die jeweilige Drehstellung des Spiegels **22** lässt sich mit Hilfe eines Encoders **34** bestimmen. Die Ausgangssignale des Encoders **34** sind ebenfalls der Auswerte- und Steuereinheit **16** zugeführt, was hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt ist.

**[0052]** In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Drehachse **32** horizontal angeordnet und der Spiegel **22** ist gegenüber der Drehachse **32** in einem Winkel von etwa 45° geneigt. Eine Drehung des Spiegels **22** um die Horizontalachse **32** hat daher zur Folge, dass der Sendelichtstrahl **18** entlang einer Vertikalebene (also in der Elevation) abgelenkt wird. Der Sendelichtstrahl **18** bildet bei drehendem Spiegel **22** einen Fächer, mit dem der Raumbereich **36** in der Vertikalebene abgetastet wird.

**[0053]** Der Laserscanner **10** besitzt hier eine Gehäusestruktur, die im Wesentlichen zwei Gehäuseteile **38, 40** aufweist. Die Gehäuseteile **38, 40** sind auf einer gemeinsamen Grundplatte **42** angeordnet. Der Sender **12**, der Empfänger **14** und die Auswerte- und Steuereinheit **16** sind in dem in **Fig. 1** links dargestellten Gehäuseteil **38** untergebracht. Der in **Fig. 1** rechts dargestellte Gehäuseteil beherbergt den Drehantrieb mit dem Encoder **34** und dem Zylinder **26**, wobei der Zylinder **26** mit dem Spiegel **22** aus dem Ge-

häuseteil **40** herausragt, so dass der Spiegel **22** etwa mittig zwischen beiden Gehäuseteilen **38, 40** angeordnet ist.

**[0054]** Die Grundplatte **42** ist auf einem Drehantrieb **44** angeordnet, der auf einem Stativ **46** sitzt. Das Stativ **46** ist in der Höhe verstellbar und besitzt eine Skalierung **48**, um eine reproduzierbare Höheneinstellung vornehmen zu können. Mit der Bezugsziffer **50** ist ein weiterer Encoder bezeichnet, mit dessen Hilfe sich die Drehposition des Drehantriebs **44** bestimmen lässt. Die Ausgangssignale des Encoders **50** sind ebenfalls der Auswerte- und Steuereinheit **16** zugeführt (hier nicht dargestellt).

**[0055]** Der Drehantrieb **44** ermöglicht eine Drehung des Laserscanners **10** um eine vertikale Achse **52**, die zusammen mit der Drehachse **32** einen Achsen schnittpunkt definiert. Der Achsenschnittpunkt liegt hier etwa mittig auf dem Spiegel **22** und definiert in bevorzugten Ausführungsbeispielen den Ursprung des Koordinatensystems, auf das sämtliche Entfernungsmesswerte  $d$  bezogen sind. Mit Hilfe des Drehantriebs **44** kann der vertikale „Abtastfächer“ um 360° im Azimut gedreht werden. Damit kann der Sendelichtstrahl **18** praktisch jeden Objektpunkt in der Umgebung des Scanners **10** beleuchten. Eine Abschattung findet lediglich nach unten hin durch die Grundplatte **42** statt, so dass der Blickwinkel des Laserscanners **10** nach unten hin etwas begrenzt ist.

**[0056]** Die Auswerte- und Steuereinheit **16** beinhaltet hier einen Mikroprozessor **54** und ein FPGA (field programmable gate array) **56**. Das FPGA **56** erzeugt hier das binäre rechteckwellenförmiges Modulations signal, mit dem die Laserdiode des Lichtsenders **12** angesteuert wird. Der Mikroprozessor **54** liest digitalisierte Empfangsdaten des Lichtempfängers **14** ein und bestimmt anhand dieser Daten die Entfernung  $d$  zwischen dem Laserscanner **10** und dem Objekt **20**. Der Mikroprozessor **54** und das FPGA **56** kommunizieren miteinander, wobei der Mikroprozessor **54** u. a. die Phaseninformation des Sendelichtstrahls für die Laufzeitbestimmung erhält.

**[0057]** Die Empfangsoptik **58** des Lichtempfängers **14** beinhaltet zumindest ein erstes Linsenelement **60** (es können auch mehrere erste Linsenelemente sein, die zusammen die Funktion des nachfolgend beschriebenen ersten Linsenelements erfüllen), ein zweites Linsenelement **62** und eine Lochblende **64**. Hinter der Lochblende **64** ist der Lichtdetektor **66** angeordnet, der den Empfangslichtstrahl **24** detektiert. Wie leicht nachzuvollziehen ist, schattet der Lichtsender **12** den Empfangslichtstrahl **24** in einem zentralen Bereich der Empfangsoptik ab, da der Lichtsender **12** hier koaxial vor dem Lichtempfänger **14** angeordnet ist. Um diese Abschattung bildlich darzustellen, ist der Empfangslichtstrahl **24** „doppelt“ und übertrieben breit im Vergleich zu dem Sendelichtstrahl **18** darge-

stellt. Tatsächlich erreicht der Empfangslichtstrahl **24** den Lichtdetektor **66** hier in Form eines Lichtrings, dessen inneres Zentrum durch den Lichtsender **12** abgeschattet wird.

**[0058]** **Fig.** 2 zeigt eine idealisierte Empfangsleistungscharakteristik des Lichtempfängers **14** in Abhängigkeit von der Messentfernung  $r$ . Wie man leicht erkennen kann, wird bis zu einer Entfernung von etwa 0,5 Metern überhaupt kein Empfangslichtstrahl **24** detektiert. Mit anderen Worten ist der Lichtempfänger **14** für Ziele in dieser Entfernung „blind“ bzw. nicht empfangsbereit. Diese Blindheit ist hier bewusst realisiert, um insbesondere ein direktes Übersprechen des Sendelichtstrahls **18** in Folge von Streueffekten zu unterdrücken. Die Einschränkung des Messbereichs kann für eine so kurze Entfernung in Kauf genommen werden.

**[0059]** Ab der unteren Messbereichsgrenze von etwa 0,5 Metern „springt“ die Empfangsleistungscharakteristik auf einen Maximalwert. Dieser Maximalwert ist über einen Bereich **72** weitgehend konstant, d. h. Empfangslichtstrahlen **24** aus einer Entfernung, die innerhalb des ersten Entfernungsreichs **72** liegt, erreichen den Lichtdetektor **66** mit weitgehend gleicher Empfangsleistung, obwohl die Empfangsleistung prinzipiell mit zunehmender Entfernung abnimmt. Das Plateau im Entfernungsreich **72** wird hier in erster Linie mit Hilfe der nachfolgend beschriebenen Empfangsoptik realisiert, indem die weit höhere Leistung der Empfangslichtstrahlen aus kurzen Entfernungen mit Hilfe der Empfangsoptik auf optische Weise begrenzt wird.

**[0060]** An das Plateau **72** schließt sich ab einer Entfernung  $R_1$  ein hyperbelartiger Kurvenverlauf an, nach dem die Empfangsleistung mit weiter steigender Entfernung stetig abnimmt. Der Kurvenverlauf im Entfernungsreich **74** entspricht der systembedingten Abnahme der Empfangsleistung. Ab einer Entfernung  $R_{\max}$  ist die Empfangsleistung so gering, dass eine zuverlässige Entfernungsbestimmung nicht mehr möglich ist. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel des bevorzugten Laserscanners liegt die Entfernung  $R_{\max}$  bei etwa 70 Metern.

**[0061]** **Fig.** 3 verdeutlicht die Funktionsweise der Empfangsoptik **58**. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen dieselben Elemente wie zuvor.

**[0062]** Die Lochblende **64** ist hier im Brennpunkt **80** des Abbildungssystems angeordnet, dessen Eigenschaften im Wesentlichen von dem ersten Linsenelement **60** (oder der Gruppe von ersten Linsenelementen) bestimmt wird. Verdeutlicht ist dies anhand der Strahlen **78**, die als Parallelstrahlen auf das erste Linsenelement **60** fallen und von dem Linsenelement **60** so abgelenkt werden, dass sie sich im Brennpunkt **80** treffen. Die Annahme, dass die Strahlen **78** das Lin-

senelement **60** als Parallelstrahlen erreichen, trifft für große Entfernungen mit guter Näherung zu.

**[0063]** Für kleinere Entfernungen trifft die Annahme von Parallelstrahlen jedoch nicht zu. Beispielhaft ist ein Strahlenpaar **82** dargestellt, das divergierend nach außen läuft und auf das Linsenelement **60** trifft. Die Strahlen **82** werden von dem Linsenelement **60** ebenfalls abgelenkt, jedoch nicht in dem Brennpunkt **80** fokussiert. Infolgedessen könnten die Strahlen **82** ohne das zweite Linsenelement **62** nicht durch die Lochblende **64** hindurchtreten.

**[0064]** Das zweite Linsenelement **62** ist zwischen dem ersten Linsenelement **60** und der Lochblende **64** angeordnet. Es besitzt einen hutförmigen Querschnitt mit einem dickeren Zentralbereich **84**, einem dünnen Peripheriebereich **86** und einem Übergangsbereich **88**, der den Zentralbereich **84** und den Peripheriebereich **86** verbindet. Das zweite Linsenelement **60** ist weitgehend senkrecht zur optischen Achse **79** angeordnet, wobei die optische Achse der Empfangsoptik in etwa mittig durch das zweite Linsenelement **60** hindurchtritt. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Zentralbereich **84** eben. Auch der äußere Peripheriebereich **86** ist in bevorzugten Ausführungsbeispielen eben. Dagegen besitzt der Übergangsbereich **88** eine im Querschnitt hier etwa S-förmige Krümmung, wobei der Krümmungsradius bzw. die Steigung des Kurvenverlaufs ausgehend von dem Zentralbereich **84** zunächst kontinuierlich zunimmt, um dann zum Peripheriebereich hin wieder abzunehmen. Die Rückseite **90** des zweiten Linsenelements **62** ist eben. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist an der Rückseite **90** eine Maske **92** (**Fig.** 6) angeordnet, die aus einem lichtundurchlässigen Material besteht.

**[0065]** Wie in **Fig.** 3 dargestellt ist, ist das zweite Linsenelement **62** so angeordnet, dass die Brennpunktstrahlen **80** durch den ebenen Zentralbereich **84** hindurchtreten und infolgedessen weitgehend unbeeinflusst bleiben. In einem Ausführungsbeispiel ist der Zentralbereich **84** eine Durchgangsöffnung, die bei Bezugsziffer **85** angedeutet ist, und das zweite Linsenelement ist eine Ringlinse. In anderen Ausführungsbeispielen ist das zweite Linsenelement **84** ein – vorzugsweise einstückiger – Vollkörper aus transparentem Material.

**[0066]** Aufgrund der ebenen Vorderseite und Rückseite des zweiten Linsenelements **62** im Zentralbereich beeinflusst das zweite Linsenelement **62** die Brennpunktstrahlen **80** gar nicht oder allenfalls wie eine flache Scheibe. Dagegen treffen die Strahlen **82** im gekrümmten Übergangsbereich **88** auf das Linsenelement **62**. Das Linsenelement **62** ist im Übergangsbereich so ausgebildet, dass die hier auftreffenden Strahlen **82** so abgelenkt werden, dass sie durch die Lochblende **64** hindurchtreten. Je weiter

außen die Strahlen auf den Übergangsbereich fallen, desto stärker werden sie auf die Lochblende 64 hin abgelenkt. Allerdings liegt der Brennpunkt 94 für die abgelenkten Strahlen 82 hinter der Lochblende 64, so dass ein durch die Strahlen 82 übertragenes Bild auf der Lochblende 64 unscharf erscheint. Je näher ein Objektpunkt an der Empfangsoptik 58 liegt, desto größer ist die Unschärfe.

**[0067]** Die **Fig. 4** und **Fig. 5** zeigen die Auswirkung der Empfangsoptik 58 anhand von zwei Beispielen. Dargestellt ist die Draufsicht auf einen Lochblendenträger 96, in dem eine kreisförmige Blendenöffnung 98 sowie zwei schlitzförmige Öffnungen 100 angeordnet sind. Die schlitzförmigen Öffnungen 100 verlaufen von der kreisförmigen, zentralen Öffnung 98 radial nach außen. Zusammen bilden die zentrale kreisförmige Öffnung 98 und die schlitzförmigen Öffnungen 100 eine kombinierte Blendenöffnung mit einem zusammenhängenden „strichpunkt-förmigen“ Öffnungsbereich. Mit der Bezugsziffer 102 ist ein Lichtring bezeichnet, der durch die Linsenelemente 60, 62 auf den Lochblendenträger 96 abgebildet wird. **Fig. 4** zeigt einen Fall, in dem der Empfangslichtstrahl 24 aus einer relativ geringen Entfernung auf die Empfangsoptik 58 trifft. Dies hat zur Folge, dass der Durchmesser des Lichtrings 102 groß ist und nur ein Teil 104 (etwas dunkler dargestellt) des Lichtrings 102 durch die kombinierte Blendenöffnung 98 hindurchtreten kann. Der über die Blendenöffnung 98 hinausreichende Teil des Lichtrings 102 wird durch die Blende 64 abgeblckt. Dadurch wird die Empfangsleistung des Empfangslichtstrahls 24 reduziert.

**[0068]** **Fig. 5** zeigt einen zweiten Fall, bei dem der Empfangslichtstrahl 24 aus einer größeren Entfernung auf die Empfangsoptik 58 trifft. Aufgrund der größeren Entfernung wird der Lichtring 102 hier vollständig in die Blendenöffnung 98 abgebildet, d. h. die gesamte Lichtmenge, die die Empfangsoptik 58 erreicht, kann durch die Blende 64 hindurchtreten und den Lichtdetektor 66 erreichen.

**[0069]** Mit der Bezugsziffer 106 ist ein zweiter Lichtdetektor bezeichnet, der hier drei lichtempfindliche Pixel beinhaltet, die für verschiedene Wellenlängen empfindlich sind. Alternativ kann der zweite Lichtdetektor ein flächiger Bildsensor sein, der für verschiedene Wellenlängen empfindlich ist. Letzteres ist vorteilhaft, um sicherzustellen, dass der zweite Lichtdetektor stets vom Lichtring 102/102' beleuchtet wird. Der Lichtdetektor 106 ist ein Farbdetektor, der in bevorzugten Ausführungsbeispielen des Laserscanners 10 auf dem Lochblendenträger 96 angeordnet ist. Die Anordnung ist so gewählt, dass der zweite Lichtdetektor 106 jeweils mit einer zeitlichen Verzögerung auf einen Objektpunkt am Objekt 20 „blickt“, der zuvor von dem Sendelichtstrahl 18 beleuchtet wurde. Die zeitliche Verzögerung ist eine Folge der

Drehung des Spiegels 22 um die horizontale Achse 32.

**[0070]** **Fig. 6** zeigt die Maske 92 auf der Rückseite des zweiten Linsenelements 62 in einer Draufsicht. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel besitzt die Maske einen offenen Zentralbereich 108, der deckungsgleich zu dem ebenen Zentralbereich 84 des Linsenelements 62 angeordnet ist. Der offene Zentralbereich 108 läuft in zwei schlitzförmige Öffnungen 110 aus, die in bevorzugten Ausführungsbeispielen etwa deckungsgleich zu den schlitzförmigen Öffnungen 100 in der Lochblende 64 angeordnet sind. Der dunkel schraffierte Bereich 112 der Maske 92 besteht aus einem lichtundurchlässigen Material. Die Maske 92 ist in bevorzugten Ausführungsbeispielen so auf der Rückseite 90 des Linsenelements 62 befestigt, dass die Bereiche 112 deckungsgleich zu dem Übergangsbereich 88 liegen. Dementsprechend können Lichtstrahlen 82, die im Übergangsbereich 88 auf das Linsenelement 62 treffen, das Linsenelement 62 nur im Bereich der schlitzförmigen Öffnungen 110 verlassen, so dass die Lichtmenge von Empfangslichtstrahlen 24 aus kurzer Entfernung weiter reduziert wird.

**[0071]** Bei dem bevorzugten Laserscanner 10 wirken also vier Elemente zusammen, um die in **Fig. 2** dargestellte Empfangsleistungscharakteristik zu erzeugen. Diese vier Elemente sind die Lochblende 64 (genauer die kreisförmige Blendenöffnung der Lochblende 64), die schlitzförmigen Fortsätze 100 der Blende 64, das hutförmige zweite Linsenelement 62 und die Maske 92. Das Linsenelement 62 sorgt dafür, dass Empfangslichtstrahlen aus kürzeren Entfernungen durch die kombinierte Blendenöffnung 98 hindurchtreten können. Die hohe Lichtintensität dieser Empfangslichtstrahlen aus kurzer Entfernung wird mit Hilfe der Maske 92 wieder begrenzt, um insgesamt zu der Charakteristik aus **Fig. 2** zu kommen.

**[0072]** In einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel besitzt der neue Laserscanner 10 ein Grafikdisplay 114, das hier an einer äußeren Gehäusewand 116 des Gehäuseteils 38 angeordnet ist. Das Grafikdisplay 114 wird von dem Mikroprozessor 54 angesteuert, und es dient als Benutzerschnittstelle. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das Grafikdisplay 114 ein berührungsempfindlicher Bildschirm (touch screen). Ergänzend oder alternativ hierzu sind an der Gehäusewand 116 im Bereich des Grafikdisplays 114 Bedientasten 118 angeordnet, die hier als so genannte Softkeys ausgebildet sind. Bei diesen Softkeys wechselt die Funktion der Bedientasten 118 in Abhängigkeit von der jeweiligen Anzeige auf dem Grafikdisplay 114.

**[0073]** In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel dient das Grafikdisplay 114 ferner dazu, ein Entfernungsbild und/oder ein optisches Bild anzuzeigen, das mit Hilfe des ersten und/oder zweiten Lichtde-

tektors **66, 106** aufgenommen wurde. Das Entfernungs bild zeigt den aufgenommenen Raum bereich **36** in Form eines Schwarzweißbildes oder in Form einer Falschfarbendarstellung, wobei jeder dargestellte Bildpunkt einen Entfernungsmesswert repräsentiert, der angezeigt werden kann, wenn der entsprechende Bildpunkt mit einem Cursor angefahren wird. Das optische Bild ist vorzugsweise ein Farbbild, das mit Hilfe des zweiten Lichtdetektors **106** aufgenommen wurde und das den Raum bereich **36** zeigt.

**[0074]** In bevorzugten Ausführungsbeispielen ist der Laserscanner **10** dazu ausgebildet, auf dem Grafik display **114** ferner eine 3D-Darstellung anzuzeigen, die aus den kombinierten Entfernungs- und Bildinformationen erzeugt wird. Mit Hilfe der Softkeys **118** können außerdem Bedienungsparameter des Laser scanners **10**, wie etwa die Sendeleistung des Sende lichtstrahls **18**, der Scannbereich im Azimut und in der Elevation oder die Scanauflösung eingestellt werden.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Bestimmen einer Entfernung (d) zu einem Objekt (**20**), mit
  - a) einem Lichtsender (**12**) zum Aussenden eines Sende lichtstrahls (**18**),
  - b) einem Lichtempfänger (**14**) zum Empfangen eines Empfangslichtstrahls (**24**), der durch Reflexion des Sende lichtstrahls (**18**) an dem Objekt (**20**) entsteht,
  - c) einer Auswerteeinheit (**16**) zum Bestimmen der Entfernung (d) anhand einer Laufzeit des Sende- und Empfangslichtstrahls (**18, 24**),
  - d) einer Empfangsoptik (**58**) des Lichtempfängers (**14**) mit einem ersten Linsenelement (**60**) und einer Lochblende (**64**),
  - e) einem lichtundurchlässigen Element (**12**), welches einen zentralen Bereich der Empfangsoptik (**58**) so abschattet, dass der Empfangslichtstrahl (**24**) in Form eines Lichtrings (**102**) auf die Lochblende (**64**) fällt,
  - d) einem im Querschnitt weitgehend hutförmigen zweiten Linsenelement (**62**), das zwischen dem ersten Linsenelement (**60**) und der Lochblende (**64**) angeordnet ist und das einen im Querschnitt dickeren Zentralbereich (**84**), ein im Querschnitt dünneren Peripheriebereich (**86**) und einen Übergangsbereich (**88**) aufweist, der den dickeren Zentralbereich (**84**) und den dünneren Peripheriebereich (**86**) verbindet, wobei der Zentralbereich (**84**) im Querschnitt weitgehend eben ist, und
  - e) einer Maske (**92**) aus einem lichtundurchlässigen Material, die den Übergangsbereich (**88**) teilweise abdeckt und den Zentralbereich (**84**) frei lässt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Linsenelement (**62**) eine Ringlinse mit einer Durchgangsöffnung ist, die den Zentralbereich (**84**) bildet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Linsenelement (**62**) ein Vollkörper ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Maske (**92**) den Übergangsbereich (**88**) überwiegend abdeckt.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Maske (**92**) zumindest eine schlitzförmige Öffnung (**110**) besitzt, die im Übergangsbereich (**88**) angeordnet ist.

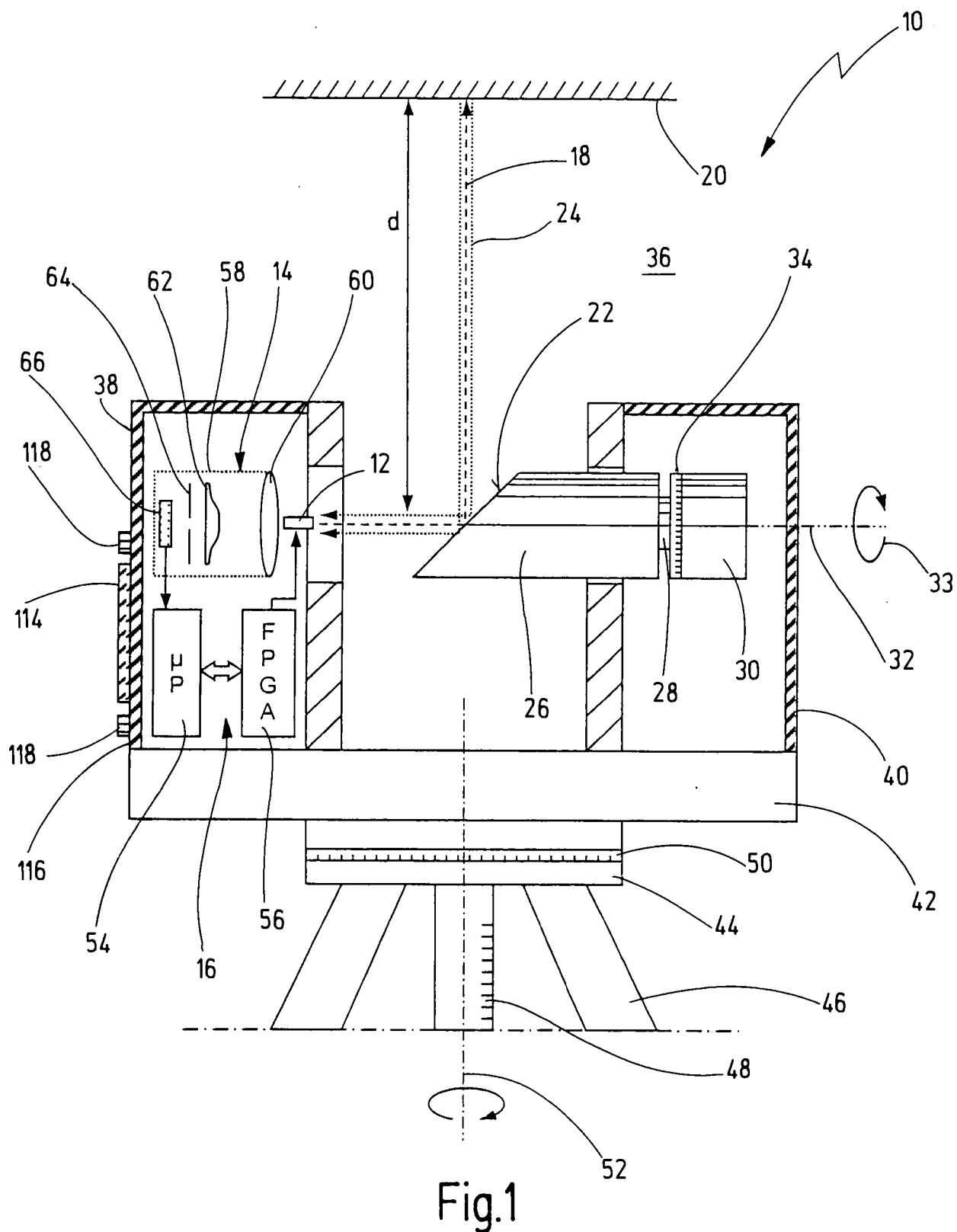
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die schlitzförmige Öffnung (**110**) vom Zentralbereich (**84**) zum Peripheriebereich (**86**) verläuft.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das hutförmige zweite Linsenelement (**62**) eine weitgehend ebene Rückseite (**90**) besitzt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Maske (**92**) auf der ebenen Rückseite (**90**) angeordnet ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen



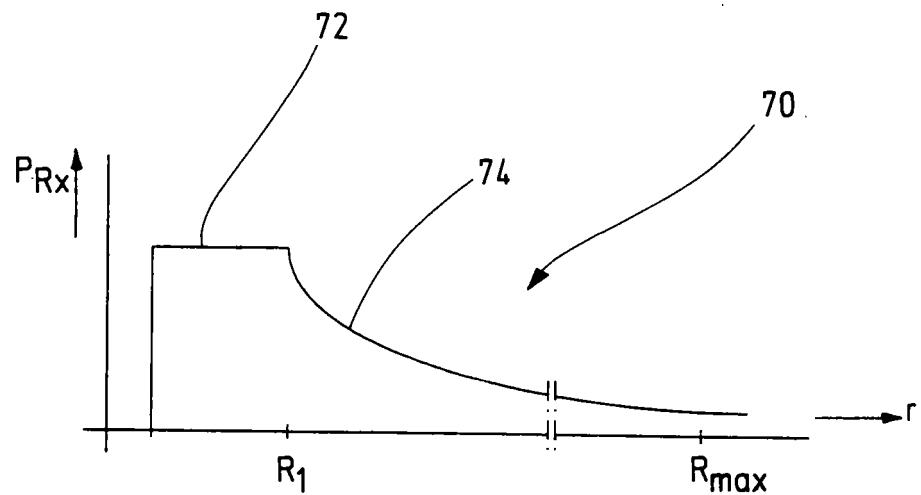


Fig.2

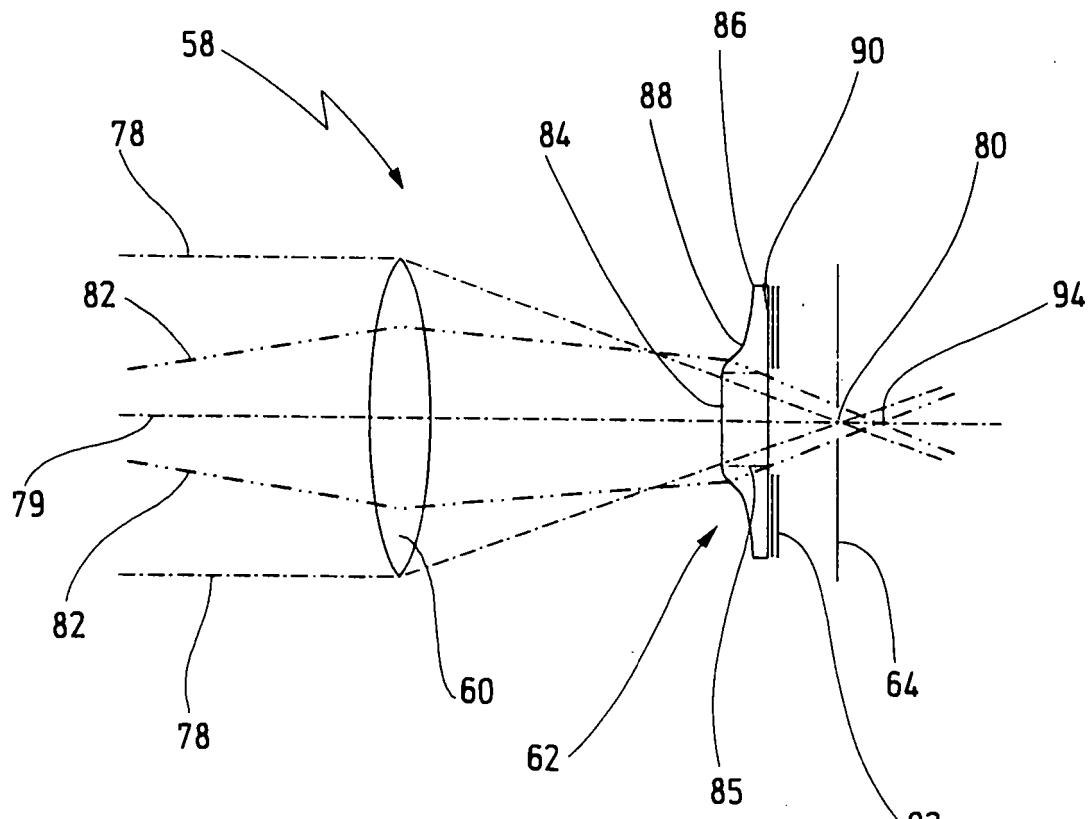


Fig.3

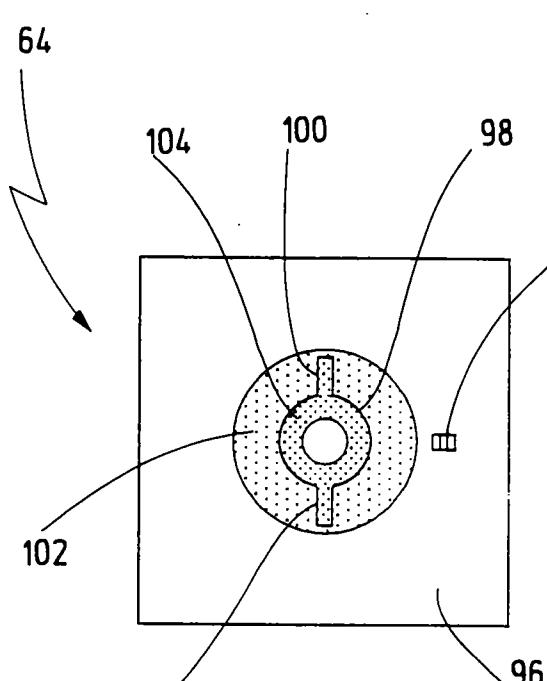


Fig.4

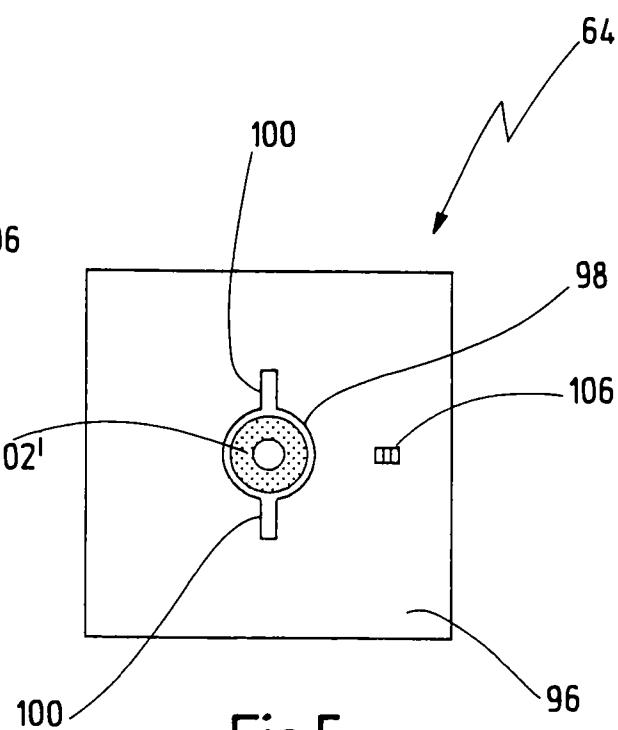


Fig.5

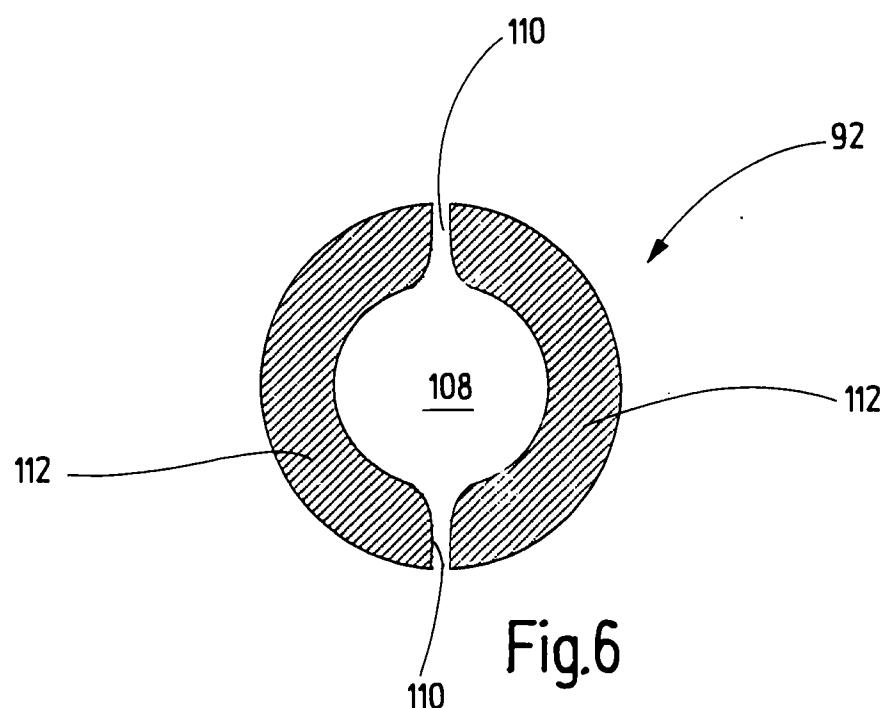


Fig.6