



(10) **DE 10 2009 045 323 A1** 2011.04.07

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 045 323.7**

(22) Anmeldetag: **05.10.2009**

(43) Offenlegungstag: **07.04.2011**

(51) Int Cl.⁸: **G01S 7/497 (2006.01)**
G01S 7/491 (2006.01)

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Eisele, Andreas, 70771 Leinfelden-Echterdingen, DE; Wolst, Oliver, 72622 Nürtingen, DE; Schmidtke, Bernd, 71229 Leonberg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

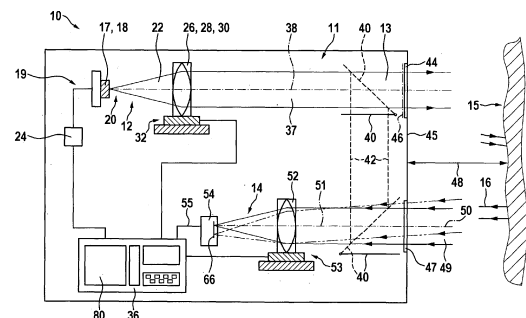
DE 196 43 287 A1
US 2007/01 82 949 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Optisches Entfernungsmessgerät mit Kalibrierungseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Messvorrichtung (10) zur optischen Messung einer Entfernung zu einem Zielobjekt (15) beschrieben. Die Messvorrichtung weist eine Sendeeinrichtung (12) zur Aussendung periodisch modulierter optischer Messstrahlung (13) auf das Zielobjekt hin, eine Empfangseinrichtung (14) zur Detektion von von dem Zielobjekt (15) zurücklaufender optischer Messstrahlung (16) und eine Auswerteeinrichtung (36) zum Empfangen und Auswerten von Detektionssignalen der Empfangseinrichtung (14) auf. Außerdem weist die Messvorrichtung eine Kalibriereinrichtung (80) zum Kalibrieren der Messvorrichtung auf, wobei die Kalibriereinrichtung dazu ausgelegt ist, die Messvorrichtung basierend auf einer Detektion von unkorrelierter Strahlung, die mit der von der Sendeeinrichtung ausgesendeten modulierten Messstrahlung nicht korreliert, zu kalibrieren. Die unkorrelierte Strahlung kann hierbei in Form von Hintergrundstrahlung vorliegen. Alternativ kann unkorrelierte Messstrahlung von der Sendeeinrichtung ausgestrahlt und von der Empfangseinrichtung detektiert werden. Aufgrund der vorzugsweise fehlenden Modulation der zur Kalibrierung verwendeten Strahlung können Zeitdauern von Unter-Perioden, während derer bei der eigentlichen Entfernungsmessung Detektionssignale kumuliert werden, hinsichtlich ihrer Länge kalibriert werden. Auf diese Weise können systembedingte systematische Fehler bei der Entfernungsmessung reduziert werden.



Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung zur Messung einer Entfernung zwischen der Messvorrichtung und einem Zielobjekt mit Hilfe optischer Strahlung. Eine solche Messvorrichtung wird auch als optisches Entfernungsmessgerät bezeichnet und kann als separates, beispielsweise handgehaltenes Gerät oder in einer anderen Vorrichtung, beispielsweise einem Werkzeug, vorgesehen sein. Insbesondere betrifft die Erfindung ein optisches Entfernungsmessgerät, das mit einer Kalibrierungseinrichtung ausgestattet ist, um eine Messgenauigkeit des Entfernungsmessers durch Kalibrieren einer eigentlichen Entfernungsmessung erhöhen zu können.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Es sind optische Entfernungsmessgeräte bekannt, die einen zeitlich modulierten Lichtstrahl in Richtung auf ein Zielobjekt hin, dessen Abstand zu dem Messgerät ermittelt werden soll, ausrichten. Von dem angepeilten Zielobjekt reflektiertes oder rückgestreutes, rücklaufendes Licht wird von dem Messgerät zumindest teilweise detektiert und zur Ermittlung der zu messenden Entfernung verwendet. Ein typischer Messbereich liegt hierbei bei Entfernungen von wenigen Zentimetern bis zu mehreren hundert Metern.

[0003] Aus der US 2007/0182949 A1 ist ein Entfernungsmessgerät bekannt, das eine Lichtquelle zum Beleuchten des Zielobjekts unter Verwendung kontinuierlich modulierten Lichts, einen Festkörperbildsensor, der ein Array aus Lawinenfotodioden aufweist, und eine Mehrzahl von Schaltkreisen zum Verarbeiten von Signalen, die von den Lawinenfotodioden ausgegeben wurden, aufweist, um Daten bereitzustellen, die von dem von dem Zielobjekt auf die Fotodioden reflektierten Licht abhängen. Die Schaltkreise weisen einen Multiplexer auf, der dazu ausgelegt ist, von den Lawinenfotodioden ausgegebene Signale während verschiedener Unterperioden in verschiedenen Speichereinrichtungen zu akkumulieren.

[0004] Die als Photonen-zähler dienenden Lawinenfotodioden empfangen hierbei das vom Zielobjekt rückreflektierte Licht sowie zusätzlich vorhandene Hintergrundstrahlung und erzeugen an ihrem Ausgang jeweils elektrische Impulse, wobei die zeitliche Impulsdichte mit der auftreffenden Lichtleistung korreliert. Das Auslesen der Impulse von den Lawinenfotodioden erfolgt mit Hilfe einer Multiplexer-Anordnung. Diese kann synchron mit einer Modulation eines als Lichtquelle eingesetzten Lasers derart betrieben werden, dass die Impulse der Lawinenfotodioden in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der jeweiligen Detektionsereignisse, das heißt beispielsweise eines in der Lawinenfotodiode absorbierten Photons, unterschiedliche digitale Zähler inkrementieren. Eine zeitliche Periode, mit der die Lichtquelle das Zielobjekt moduliert beleuchtet, wird dabei in eine Mehrzahl von Unterperioden unterteilt. Es wird eine der Anzahl von Unterperioden entsprechende Anzahl von digitalen Zählern bereitgestellt, wobei während jeder Unter-Periode jeweils ein entsprechend zugeordneter digitaler Zähler entsprechend der während der Unter-Periode empfangenen Detektionsimpulse inkrementiert wird. Auf diese Weise können über eine Messzeit Detektionsereignisse kumuliert werden. Während eine einzelne Periode beispielsweise Zeitdauern im Bereich von Nanosekunden aufweisen kann, kann die gesamte Messzeit viele solche Perioden umfassen und beispielsweise mehrere Millisekunden oder mehrere Sekunden dauern. Durch Kumulieren der Messereignisse in den digitalen Zählern kann eine Art Histogramm der Detektionsereignisse bezogen auf das zeitliche Auftreten von Detektionsereignissen innerhalb von Unterperioden aufgenommen werden. Sobald eine dem von der Lichtquelle abgestrahlten modulierten Licht aufgeprägte Modulation in den Zählerständen der digitalen Zähler mit ausreichender statistischer Genauigkeit vorliegt, kann über eine Phasenauswertung auf eine Laufzeit des Lichts zwischen Aussendung und Detektion und damit auf einen Abstand zwischen dem Entfernungsmessgerät und dem Zielobjekt geschlossen werden. Ein solches Prinzip einer Laserentfernungsmessung ist allgemein unter der Bezeichnung „Time of Flight Ranging“ beispielsweise mit kontinuierlicher oder gepulster Modulation der Intensität des Laserstrahls bekannt.

[0005] Eine in dieser Weise arbeitende Auswerteeinrichtung, die innerhalb eines Entfernungsmessgerätes Detektionssignale von einem lichtempfindlichen Detektor empfängt und auswertet, indem sie die Detektionssignale mit einer Referenz synchronisiert registriert, das heißt entsprechend ihrem zeitlichen Auftreten bezogen auf die Periodizität des verwendeten modulierten Messlichts akkumuliert, wird auch als sogenannte „Binning-Architektur“ bezeichnet. Eine derartige Binning-Architektur lässt sich beispielsweise mit einer Delay Locked Delay Line (DLL) realisieren.

[0006] Es wurde beobachtet, dass Entfernungsmessgeräte, die beispielsweise in der oben beschriebenen Art basierend auf Photonenzählern, Multiplexer-Anordnungen und Binning-Architekturen arbeiten, nicht immer zufriedenstellende Messgenauigkeiten liefern können.

OFFENBARUNG UND MÖGLICHE AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

[0007] Es kann daher ein Bedarf an einem Entfernungsmessgerät bestehen, bei dem eine Messgenauigkeit und insbesondere eine Zuverlässigkeit einer Messgenauigkeit verbessert ist.

[0008] Ein solcher Bedarf kann mit einer Messvorrichtung gemäß Anspruch 1 erfüllt werden. Weitere Ausgestaltungen der Messvorrichtung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0009] Aspekte der vorgeschlagenen Messvorrichtung können als auf den folgenden Erkenntnissen und Ideen beruhend angesehen werden:

Es wurde als eine mögliche Quelle für Messfehler bzw. Messungenauigkeiten beispielsweise bei dem oben beschriebenen Entfernungsmessgerät erkannt, dass ein Messergebnis stark von zeitlichen Längen der Unter-Perioden, in die die Gesamt-Periode des modulierten Messlichts unterteilt wird und während derer Detektionssignale durch Inkrementieren eines zugeordneten Zählers akkumuliert werden, beeinflusst sein kann. Unterschiedliche Längen der Unter-Perioden können, insbesondere wenn die Längenunterschiede zufällig begründet und nicht bekannt sind, als systembedingte Fehlerquellen wirken und systematische Fehler bei der Ermittlung eines zu messenden Abstandes hervorrufen. Solche systematischen Fehler sind von rauschbedingten Fehlern grundsätzlich zu unterscheiden, da sie sich nicht durch längere Messzeiten, sondern regelmäßig nur mit Hilfe einer genaueren Kalibrierung des Entfernungsmessgerätes verringern lassen.

[0010] Es wird daher ein Entfernungsmessgerät vorgeschlagen, das zusätzlich eine Kalibrierungseinrichtung aufweist, mit Hilfe derer das Messgerät in vorteilhafter Weise kalibriert werden kann.

[0011] Die vorgeschlagene Messvorrichtung zur optischen Entfernungsmessung weist dabei eine Sendeeinrichtung zur Aussendung von periodisch modulierter optischer Messstrahlung auf ein Zielobjekt hin, eine Empfangseinrichtung zur Detektion von von dem Zielobjekt zurücklaufender optischer Messstrahlung und eine Auswerteeinrichtung zum Empfangen und Auswerten von Detektionssignalen der Empfangseinrichtung auf. Außerdem weist die Messvorrichtung eine Kalibrierungseinrichtung zum Kalibrieren der Messvorrichtung auf, die dazu ausgelegt ist, die Messvorrichtung basierend auf einer Detektion von unkorrelierter Strahlung, die mit der von der Sendeeinrichtung ausgesendeten modulierten Messstrahlung nicht korreliert, zu kalibrieren.

[0012] Ein Grundgedanke hierbei ist, eine Kalibrierung der Messvorrichtung vor, zwischen oder im Anschluss einer eigentlichen Entfernungsmessung durchzuführen zu können. Im Gegensatz zu der eigentlichen Entfernungsmessung, bei der eine Entfernung mit Hilfe periodisch modulierter Messstrahlung anhand einer Phasenverschiebung zwischen ausgesendeter und detektierter Messstrahlung und einer daraus errechenbaren Flugdauer der Messstrahlung ermittelt werden kann, soll die Kalibrierung mit unkorrelierter, vorzugsweise unmodulierter Strahlung erfolgen. Der Begriff „unkorreliert“ soll dabei ausdrücken, dass die für die Kalibrierung verwendete Strahlung hinsichtlich einer von der Empfangseinrichtung detektierten Eigenschaft wie beispielsweise einer Intensität der Strahlung vorzugsweise zeitlich nicht moduliert ist oder zumindest nicht mit einer Modulation, die mit der periodisch arbeitenden Auswerteeinrichtung korreliert, moduliert ist. Mit anderen Worten soll beispielsweise die unkorrelierte Strahlung innerhalb einer Periodendauer, mit der die Sendeeinrichtung während einer normalen Entfernungsmessung die Messstrahlung periodisch moduliert, als im Wesentlichen zeitlich konstant angesehen werden können. Alternativ kann die unkorrelierte Strahlung als hochfrequent modulierte Strahlung erzeugt werden, unter der Bedingung, dass diese nicht synchron zum „Binning“ der Auswerteeinrichtung läuft, und gegebenenfalls über viele Perioden integriert wird.

[0013] Als unmodulierte Strahlung kann beispielsweise Hintergrundstrahlung verwendet werden, beispielsweise in Form normalen Umgebungslichts. Solche Hintergrundstrahlung ist per Definition unkorreliert und trifft bei Entfernungsmessungen üblicherweise ohnehin stets auf die Empfangseinrichtung und erzeugt dort ein im Wesentlichen konstantes Hintergrundsignal. Während bei der Entfernungsmessung dieses Hintergrundsignal regelmäßig ignoriert wird und eine Entfernungsmessung sogar erschweren kann, kann nun das Hintergrundsignal aufgrund seiner zeitlich konstanten Eigenschaften im Rahmen eines Kalibrierungsvorganges verwendet werden.

[0014] Alternativ kann die Sendeeinrichtung der Messvorrichtung selbst zur Aussendung unkorrelierter, vorzugsweise unmodulierter Messstrahlung ausgelegt sein. Mit anderen Worten kann die Sendeeinrichtung dazu

ausgelegt sein, einerseits während einer eigentlichen Entfernungsmessung Messstrahlung periodisch moduliert auszusenden und andererseits während eines Kalibrierungsvorgangs die Modulation gezielt abzuschalten, um Messstrahlung unmoduliert auszusenden. Durch Detektion solcher unmodulierter Messstrahlung kann dann eine gewünschte Kalibrierung erfolgen. Dadurch, dass zusätzlich zu eventuell vorhandener Hintergrundstrahlung auch unmodulierte Strahlung von der Sendeeinrichtung von der Empfangseinrichtung detektiert wird, kann ein von der Empfangseinrichtung detektiertes Messsignal erhöht werden und somit ein Kalibrierungsvorgang beschleunigt werden.

[0015] Die für den Kalibrierungsvorgang verwendete Messstrahlung braucht hierbei nicht notwendigerweise die Messvorrichtung nach außen verlassen, wie dies bei der eigentlichen Entfernungsmessung der Fall wäre. Stattdessen kann die Messstrahlung innerhalb der Messvorrichtung direkt auf den Detektor geleitet werden. Hiermit kann beispielsweise ein von Hintergrundstrahlung unabhängiges Messsignal an dem Detektor generiert werden.

[0016] Die Messvorrichtung kann dazu ausgelegt sein, dass unmodulierte Strahlung mit einer Intensität auf die Empfangseinrichtung auftrifft, die an eine Detektionsempfindlichkeit der Empfangseinrichtung angepasst ist. Beispielsweise kann die Empfangseinrichtung einen paralysierbaren Strahlungsdetektor wie beispielsweise eine SPAD (Single Photon Avalanche Diode) aufweisen, der bei einer bestimmten auftreffenden Strahlungsintensität ein Maximum einer Detektionsereignisrate als Detektorsignal aufweist. Vorteilhafterweise wird hierbei die unmodulierte Strahlung derart auf die Empfangseinrichtung gelenkt, dass ihre Intensität an das Maximum des Detektorsignals angepasst ist. Sofern als unkorrelierte Strahlung Messstrahlung von der Sendeeinrichtung verwendet wird, kann deren Intensität gezielt durch entsprechendes Ansteuern der Sendeeinrichtung eingestellt werden. Alternativ können in einen Strahlengang der auf die Empfangseinrichtung auftreffenden Strahlung auch entsprechende optische Elemente wie zum Beispiel Absorptionselemente in Form von Blenden oder Filtern integriert werden, um die zu detektierende Strahlung in ihrer Intensität gezielt anpassen zu können.

[0017] Die Messvorrichtung kann ferner dazu ausgelegt sein, eine Dauer eines von der Kalibrierungseinrichtung vorzunehmenden Kalibriervorgangs basierend auf einer vorgegebenen Kalibriergenauigkeit sowie einer Intensität der von der Empfangseinrichtung detektierten unmodulierten Strahlung zu bestimmen. Die Kalibriergenauigkeit kann hierbei beispielsweise gerätespezifisch voreingestellt werden oder über eine zugehörige Eingabevorrichtung von einem Anwender vor Durchführung der Kalibrierung vorgegeben werden. Je höher die gewünschte Kalibriergenauigkeit und je geringer die Intensität der detektierten unmodulierten Strahlung ist, desto länger sollte die Dauer des Kalibriervorgangs gewählt werden.

[0018] Mögliche Aspekte, Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung wurden vorangehend mit Bezug auf einzelne Ausführungsformen der Erfindung beschrieben. Die Beschreibung, die zugehörigen Figuren sowie die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Ein Fachmann wird diese Merkmale, insbesondere auch die Merkmale verschiedener Ausführungsbeispiele, auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0019] Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung und darin enthaltene Teilaspekte mit Bezug auf die beigefügten Figuren beschrieben. Die Figuren sind lediglich schematisch und nicht maßstabsgetreu.

[0020] [Fig. 1](#) zeigt eine Messvorrichtung zur optischen Entfernungsmessung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0021] [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Darstellung von digitalen Gate-Signalen einer Binning-Architektur, wie sie in einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung verwendet werden können.

[0022] [Fig. 3](#) zeigt beispielhaft eine zeitliche Abhängigkeit einer Zählrate eines als Empfangseinrichtung verwendeten Photonenzählers bei Beleuchtung mit modulierter Messstrahlung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0023] In [Fig. 1](#) ist in schematischer Weise eine erfindungsgemäße Messvorrichtung **10** zur optischen Entfernungsmessung mit den wichtigsten Komponenten zur Beschreibung ihrer Funktion dargestellt.

[0024] Die Messvorrichtung **10** weist ein Gehäuse **11** auf, in dem eine Sendeeinrichtung **12** zur Aussendung optischer Messstrahlung **13** sowie eine Empfangseinrichtung **14** zur Detektion von von einem Zielobjekt **15** zurücklaufender Messstrahlung **16** angeordnet sind.

[0025] Die Sendeeinrichtung **12** beinhaltet eine Lichtquelle, die im dargestellten Ausführungsbeispiel durch eine Halbleiter-Laserdiode **18** realisiert ist. Die Laserdiode **18** sendet einen Laserstrahl **20** in Form eines für das menschliche Auge sichtbaren Lichtbündels **22** aus. Die Laserdiode **18** wird dazu über ein Steuergerät **24** betrieben, das durch eine entsprechende Elektronik eine zeitliche Modulation eines elektrischen Eingangssignals **19** der Laserdiode **18** erzeugt. Durch eine derartige Modulation des Diodenstromes lässt sich erreichen, dass die optische Messstrahlung **13**, welche zur Entfernungsmessung genutzt wird, ebenfalls in gewünschter Weise zeitlich in ihrer Intensität moduliert wird.

[0026] Das Steuergerät **24** und die Sendeeinrichtung **12** können dazu ausgelegt sein, unmodulierte Messstrahlung **13** auszusenden, beispielsweise während eines Kalibriervorganges. Hierzu kann das Steuergerät **24** die Laserdiode **18** mit einem konstanten Diodenstrom betreiben. Alternativ kann das Steuergerät **24** die Sendeeinrichtung **12** während des Kalibriervorganges gezielt abschalten, sodass nur noch im Wesentlichen unmodulierte Hintergrundstrahlung auf die Empfangseinrichtung **14** trifft.

[0027] Insbesondere während eines Entfernungsmessvorganges durchläuft das Laserstrahlbündel **20** anschließend eine Kollimationsoptik **26** in Form eines Objektivs **28**, das in [Fig. 1](#) in vereinfachter Weise in Form einer einzelnen Linse dargestellt ist. Das Objektiv **28** befindet sich in diesem Ausführungsbeispiel optional auf einer Verstellmimik **32**, die prinzipiell eine Änderung der Position des Objektivs in allen drei Raumrichtungen, beispielsweise zu Justagezwecken, ermöglicht. Alternativ kann die Kollimationsoptik **26** jedoch auch bereits Bestandteil der Laserdiode **18** sein bzw. fest mit dieser verbunden sein.

[0028] Nach Durchlaufen des Objektivs **28** ergibt sich ein beispielsweise Amplitudenmoduliertes Signal der Messstrahlung **13** in Form eines nahezu parallelen Lichtbündels **37**, das sich entlang einer optischen Achse **38** der Sendeeinheit **12** ausbreitet.

[0029] In der Sendeeinrichtung **12** kann sich zudem noch eine vorzugsweise schaltbare Strahlumlenkung **40** befinden, die es gestattet, die Messstrahlung **13** ganz oder teilweise unter Umgehung des Zielobjektes **15** direkt, das heißt geräteintern, auf die Empfangseinrichtung **14** umzulenken. Auf diese Weise kann eine geräteinterne Referenzstrecke **42** erzeugt werden, die eine Kalibrierung bzw. einen Abgleich der Messvorrichtung gestattet. Die Möglichkeit der geräteinternen Lichtumlenkung kann insbesondere während des Kalibriervorganges mit unmodulierter Messstrahlung eingesetzt werden.

[0030] Wird mit der Messvorrichtung **10** eine Entfernungsmessung durchgeführt, verlässt die Messstrahlung **13** das Gehäuse **11** der Messvorrichtung durch ein optisches Fenster **44** in der Stirnwand **45** der Messvorrichtung **10**. Die Öffnung des optischen Fensters **44** kann beispielsweise durch einen Shutter **46** gesichert sein. Zur eigentlichen Messung wird die Messvorrichtung **10** dann auf ein Zielobjekt **15** hin ausgerichtet, dessen Entfernung **48** zur Messvorrichtung **10** ermittelt werden soll. Das an dem gewünschten Zielobjekt **15** reflektierte oder gestreute Signal **16** bildet zurücklaufende optische Messstrahlung **16** in Form eines zurücklaufenden Strahlenbündels **49** bzw. **50**, das zu einem gewissen Teil wieder in die Messvorrichtung **10** zurückgelangt.

[0031] Durch ein Eintrittsfenster **47** an der Stirnseite **45** der Messvorrichtung **10** wird die zurücklaufende Messstrahlung **16** in die Messvorrichtung **10** eingekoppelt und trifft dann, wie in [Fig. 1](#) dargestellt, auf eine Empfangsoptik **52**.

[0032] In [Fig. 1](#) sind exemplarisch zur Verdeutlichung zwei zurücklaufende Messstrahlenbündel **49** bzw. **50** für zwei unterschiedliche Zielobjektentfernungen **48** eingezeichnet. Für große Objektentfernungen, wobei groß als groß gegenüber der Brennweite der Empfangsoptik **52** interpretiert werden kann, fällt die vom Zielobjekt **15** zurücklaufende optische Messstrahlung **16** annähernd parallel zur optischen Achse **51** der Empfangseinrichtung **14** ein. Dieser Fall ist im Ausführungsbeispiel der [Fig. 1](#) durch das Messstrahlenbündel **49** repräsentiert. Mit kleiner werdender Objektentfernung wird die in die Messvorrichtung einfallende zurücklaufende Messstrahlung **16** aufgrund einer Parallaxe immer mehr gegenüber der optischen Achse **51** der Empfangseinrichtung **14** geneigt. Als Beispiel für ein solches rücklaufendes Messstrahlenbündel im Nahbereich der Messvorrichtung ist in [Fig. 1](#) das Strahlenbündel **50** eingezeichnet.

[0033] Die Empfangsoptik **52**, die in [Fig. 1](#) ebenfalls nur schematisch durch eine einzelne Linse symbolisiert ist, fokussiert das Strahlenbündel der zurücklaufende Messstrahlung **16** auf die Detektionsfläche **66** eines in

der Empfangseinrichtung **14** vorgesehenen Empfangsdetektors **54**. Der Detektor **54** weist zur Detektion der optischen Messstrahlung eine Vielzahl von Pixeln auf. Jedes der Pixel weist mindestens eine lichtempfindliche SPAD auf. Durch die in der Detektionsfläche **66** vorgesehenen SPADs, die einzeln oder in Gruppen zusammengefasst in Pixeln Matrix-artig angeordnet und mit einer Auswerteeinrichtung **36** verbunden sind, wird die einfallende zurücklaufende Messstrahlung **16** in ein elektrisches Signal **55** umgewandelt und der weiteren Auswertung in der Auswerteeinrichtung **36** zugeführt. Das elektrische Signal **55** kann dabei aufgrund inhärenter Eigenschaften der SPADs als digitales Signal angesehen werden, das eine Zählrate von auf die jeweiligen Pixel der Detektionsfläche **66** auftreffender Photonen wiedergibt.

[0034] Die von einer einzelnen SPAD oder einer Kombination von SPADs generierten Detektionssignale können einer oder mehreren in einer Auswerteeinrichtung **36** enthaltenen Entfernungsbestimmungseinrichtung(en) zugeführt werden. Die Entfernungsbestimmungseinrichtung kann die Detektionssignale aufsummieren und daraus ein Signal erzeugen, das einer zeitabhängigen Intensität des auf die jeweiligen SPADs auftreffenden Lichtsignals bzw. der Lichtintensität entspricht. Indem dieses Signal in Relation zu einem Anregungssignal gesetzt wird, das den zeitlichen Verlauf der von der Sendeeinrichtung **12** emittierten Photonenrate angibt, kann auf eine Photonenflugzeit von der Sendeeinrichtung **12** hin zu dem Zielobjekt **15** und wieder zurück zu der Empfangseinrichtung **13** geschlossen werden. Falls die Sendeeinrichtung **12** das ausgesendete Licht beispielsweise sinusartig periodisch moduliert, kann eine Flugzeit aus einem Phasenunterschied zwischen der ausgesendeten und der detektierten Messstrahlung ermittelt werden.

[0035] Im Detail kann die Entfernungsbestimmungseinrichtung die von der Empfangseinrichtung **14** empfangenen digitalen Detektionssignale während verschiedener Unterperioden verschiedenen digitalen Zählern zuleiten. Die Entfernungsbestimmungseinrichtung wird hierin teilweise auch als „Binning-Architektur“ bezeichnet und die Unterperioden werden teilweise als „Bin-Breiten“ bezeichnet. Die Summe der Unterperioden sollte hierbei der Periode der modulierten Messstrahlung entsprechen. Mit anderen Worten wird während einer Unterperiode ein sich periodisch wiederholender Phasenbereich des periodisch modulierten Detektionssignals erfasst und die entsprechenden digitalen Detektionssignale in Zählern akkumuliert. Hierzu können die Detektionssignale, zeitlich korreliert mit der Periodizität des Ansteuerungssignals an die Laserdiode **18**, während der verschiedenen Unterperioden über Multiplexer an entsprechende digitale Zähler geleitet werden. Aus den über viele Perioden kumulierten Zählergebnissen der digitalen Zähler kann dann auf den Phasenunterschied zwischen der ausgesendeten und der detektierten Messstrahlung geschlossen und somit die gewünschte Entfernung bestimmt werden.

[0036] Die Auswerteeinrichtung **36** weist ferner eine Kalibriereinrichtung **80** auf. Wie im Anschluss in Details beschrieben, ist die Kalibriereinrichtung dazu ausgelegt, die Messvorrichtung **10** und insbesondere deren Auswerteeinrichtung **36** während eines Kalibriervorganges, bei dem die Detektionseinrichtung mit unmoduliertem Licht beleuchtet wird, zu kalibrieren.

[0037] Die [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Darstellung digitaler Gate-Signale einer Binning-Architektur am Beispiel eines 4-fach-Multiplexers. Die Größe und die Stabilität der tatsächlich realisierten Bin-Breiten kann eine besonders große systematische Fehlerquelle darstellen. Eine Abweichung der Bin-Breiten von ihren Soll-Wert kann sich insbesondere bei starker Hintergrundbeleuchtung erheblich auf das Messergebnis auswirken.

[0038] Eine Kalibrierung der Bin-Breiten kann durch eine Messung mit nicht moduliertem Gleichlicht erfolgen. Dabei kann eine derartige Kalibrierung vor dem Hintergrund einer hohen geforderten Genauigkeit bei einem geringen Signal-Rausch-Verhältnis sehr lange dauern, beispielsweise länger als die eigentliche Entfernungsmessung.

[0039] Des Weiteren kann eine unmodulierte Lichterzeugung für die Kalibrierung durch den nicht modulierten Betrieb der als Sendeeinrichtung **12** dienenden Laserdiode **18** des Messgerätes **10** erfolgen. Die Intensität der Laserdiode **18** kann derart gewählt oder gar geregelt werden, dass der als Empfangseinrichtung **14** dienende paralyisierbare Detektor in Form einer SPAD mit einer hohen Zählrate betrieben wird.

[0040] Ein Vorteil dieser Art der Kalibrierung mittels nicht modulierter Laserstrahlung kann darin liegen, dass die für die Kalibrierung erforderliche Messzeit bei gleicher Genauigkeit verkürzt werden kann.

[0041] Ein weiterer Vorteil kann darin liegen, dass die Kalibrierung vollständig mit bereits vorhandenen Systemkomponenten durchgeführt werden kann. Es wird lediglich das Ausschalten der Laserdioden-Modulation benötigt, was sich sehr leicht realisieren lässt. Somit werden keine zusätzlichen Komponenten benötigt, was eine Kostenersparnis bedeuten kann.

[0042] Im Folgenden wird ein Vorteil der Erfindung gemäß einer Ausführungsform anhand eines Beispiels mit kontinuierlich modulierter Laserstrahlung, im Speziellen mit sinusförmiger Modulation, beschrieben. Mit den in **Fig. 3** gegebenen Bezeichnungen wird die Modulation M auf der Empfangsseite durch

$$(1) \quad M \equiv \frac{m_{L1} \cdot \dot{N}_L}{\dot{N}_L + \dot{N}_{BL} + DCR}$$

definiert. Hierbei ist m_{L1} ein Faktor der die Modulationstiefe der geräteseitig ausgesandten Laserstrahlung beschreibt, ist die zeitlich gemittelte Zählrate (in Counts/s) bezüglich des detektierten Laserlichtes, \dot{N}_{BL} ist die zeitlich gemittelte Zählrate bezüglich Hintergrundstrahlung und DCR ist eine Dunkelzählrate des Detektors.

[0043] Unter typischen Messbedingungen kann die Modulation beispielsweise Werte im Prozent-Bereich annehmen.

[0044] Weiter ergibt eine Abschätzung der Fehlerfortpflanzung des Bin-Breiten-Fehlers $\delta\tau_w$ auf den Phasenfehler $\Delta\phi$ folgenden Zusammenhang:

$$(2) \quad \Delta\phi \propto \frac{1}{M} \cdot \frac{\delta\tau_w}{T}$$

wobei T die Periode der modulierten Messstrahlung wiedergibt.

[0045] Der Phasenfehler ist antiproportional zur Modulation des unter Messbedingungen empfangenen Signals und proportional zur relativen Genauigkeit der Bin-Breite bezogen auf die Modulationsperiode. Damit wird die hohe Sensitivität des Systems auf Abweichungen der Bin-Breiten vom Sollwert deutlich: Bei starker Hintergrundbeleuchtung erfordert eine gleichbleibende Phasengenauigkeit eine höhere Genauigkeit bei der Bin-Breiten-Kalibrierung.

[0046] Erfolgt die Kalibrier-Messung wie vorgeschlagen mit unmoduliertem Gleichlicht, dann ergeben sich nach einer gewissen Messzeit Zählerstände, die direkt proportional zu den effektiven Bin-Breiten sind. Somit lässt sich eine Kalibrierung der Bin-Breiten durchführen. Unter der Annahme, dass die Zählereignisse Poissonverteilt sind, ergibt sich für die zur Kalibrierung benötigte Messzeit:

$$(3) \quad t \propto \frac{1}{\Delta\phi^2} \cdot \frac{1}{M^2 \cdot \dot{N}_{DC}}$$

[0047] Dabei ist $\Delta\phi$ die Unsicherheit der Phase, die mit Kalibrierung noch toleriert wird, M die unter Messbedingung erreichbare Modulation und \dot{N}_{DC} die bei der Kalibrierung verwendete Zählrate.

[0048] Wird die nicht modulierte Laserstrahlung für die Kalibrierung verwendet, so ergibt sich gegenüber der Messung ohne Laser eine relative Zeitersparnis von:

$$(4) \quad \eta \equiv \frac{\text{benötigte Kalibriermesszeit mit Laser}}{\text{benötigte Kalibriermesszeit ohne Laser}} = \frac{\dot{N}_{BL} + DCR}{\dot{N}_L + \dot{N}_{BL} + DCR}$$

[0049] Die Zeitersparnis ist umso größer, je geringer der Hintergrundbeleuchtungsanteil ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2007/0182949 A1 [\[0003\]](#)

Patentansprüche

1. Messvorrichtung (**10**) zur optischen Entfernungsmessung, insbesondere handgehaltene Messvorrichtung, aufweisend:
eine Sendeeinrichtung (**12**) zur Aussendung periodisch modulierter optischer Messstrahlung (**13**) auf ein Zielobjekt (**15**) hin;
eine Empfangseinrichtung (**14**) zur Detektion von von dem Zielobjekt (**15**) zurücklaufender optischer Messstrahlung (**16**); und
eine Auswerteeinrichtung (**36**) zum Empfangen und Auswerten von Detektionssignalen der Empfangseinrichtung (**14**);
eine Kalibriereinrichtung (**80**) zum Kalibrieren der Messvorrichtung (**10**);
wobei die Kalibriereinrichtung (**80**) dazu ausgelegt ist, die Messvorrichtung (**10**) basierend auf einer Detektion von unkorrelierter Strahlung, die mit der von der Sendeeinrichtung ausgesendeten modulierten Messstrahlung nicht korreliert, zu kalibrieren.
2. Messvorrichtung nach Anspruch 1,
wobei eine Periode der periodisch modulierten Messstrahlung in eine Mehrzahl von Unterperioden unterteilt ist;
wobei die Auswerteeinrichtung (**36**) dazu ausgelegt ist, ein von der Empfangseinrichtung (**12**) empfangenes Detektionssignal über vorbestimmte Unterperioden zu kumulieren;
wobei die Kalibriereinrichtung (**80**) dazu ausgelegt ist, eine Länge der Unterperioden basierend auf einer Detektion von unmodulierter Strahlung zu kalibrieren.
3. Messvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Kalibriereinrichtung (**80**) dazu ausgelegt ist, die Messvorrichtung (**10**) basierend auf einer Detektion von unmodulierter Strahlung zu kalibrieren.
4. Messvorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die Kalibriereinrichtung (**80**) dazu ausgelegt ist, die Messvorrichtung (**10**) basierend auf einer Detektion von Hintergrundstrahlung zu kalibrieren.
5. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
wobei die Sendeeinrichtung (**12**) ferner zur Aussendung von unkorrelierter Messstrahlung ausgelegt ist;
wobei die Kalibriereinrichtung (**80**) dazu ausgelegt ist, die Messvorrichtung (**10**) basierend auf einer Detektion von unkorrelierter Messstrahlung zu kalibrieren.
6. Messvorrichtung nach Anspruch 5, wobei die Messvorrichtung (**10**) dazu ausgelegt ist, Messstrahlung innerhalb der Messvorrichtung auf die Empfangseinrichtung (**14**) zu leiten.
7. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Messvorrichtung (**10**) dazu ausgelegt ist, dass unkorrelierte Strahlung mit einer Intensität auf die Empfangseinrichtung (**14**) auftrifft, die an eine Detektionsempfindlichkeit der Empfangseinrichtung (**14**) angepasst ist.
8. Messvorrichtung nach Anspruch 7,
wobei die Empfangseinrichtung (**14**) einen paralyzierbaren Strahlungsdetektor aufweist, und
wobei die unmodulierte Strahlung mit einer Intensität auf die Empfangseinrichtung (**14**) geleitet wird, die an ein Maximum eines Detektorsignals, insbesondere einer maximalen Detektionsereignisrate des paralyzierbaren Strahlungsdetektors angepasst ist.
9. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Empfangseinrichtung (**14**) wenigstens eine SPAD aufweist.
10. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Messvorrichtung (**10**) dazu ausgelegt ist, eine Dauer eines von der Kalibriereinrichtung (**80**) vorzunehmenden Kalibriervorgangs basierend auf einer vorgegebenen Kalibriergenauigkeit sowie einer Intensität des von der Empfangseinrichtung detektierten unmodulierten Strahlung zu bestimmen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

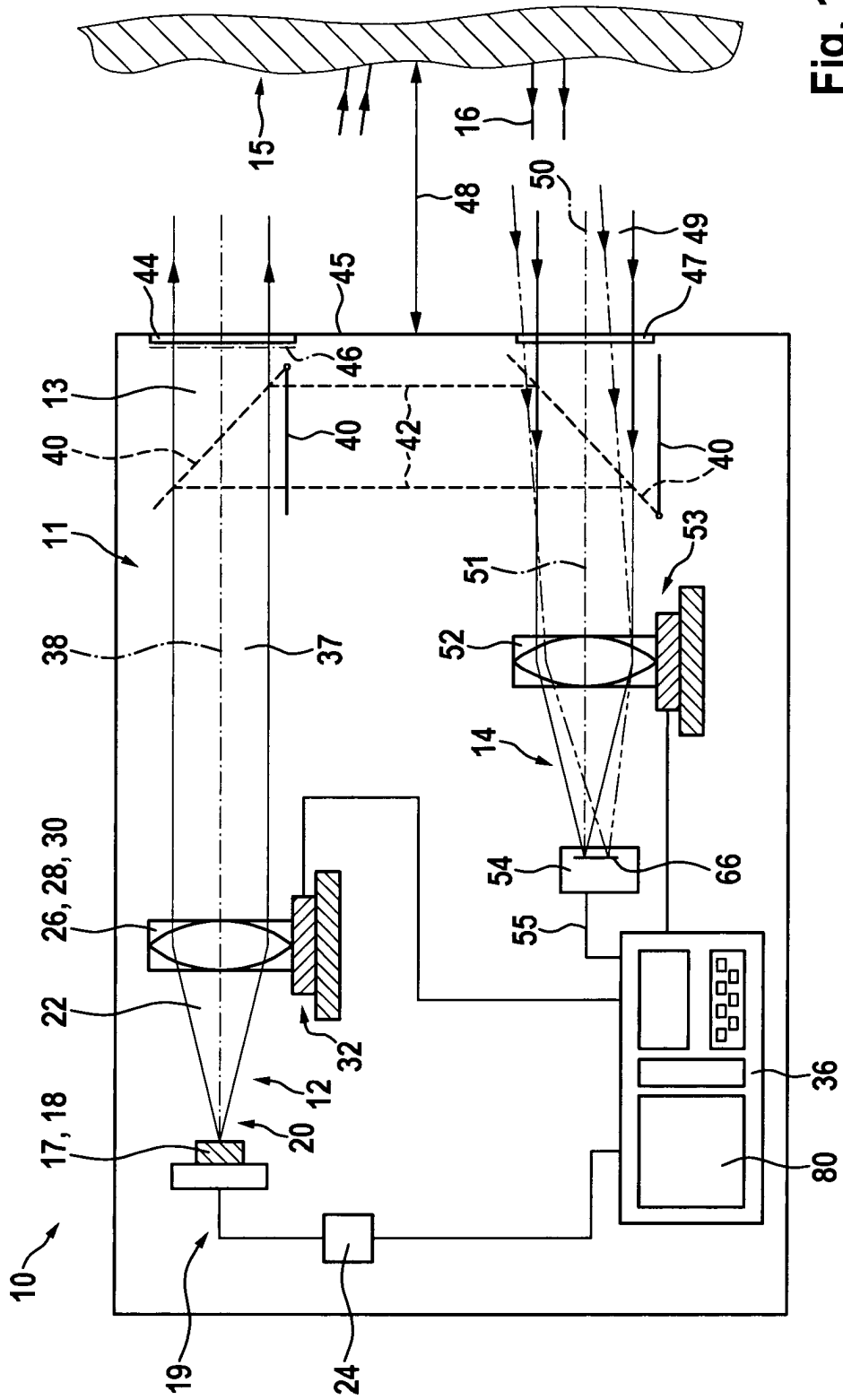


Fig. 1

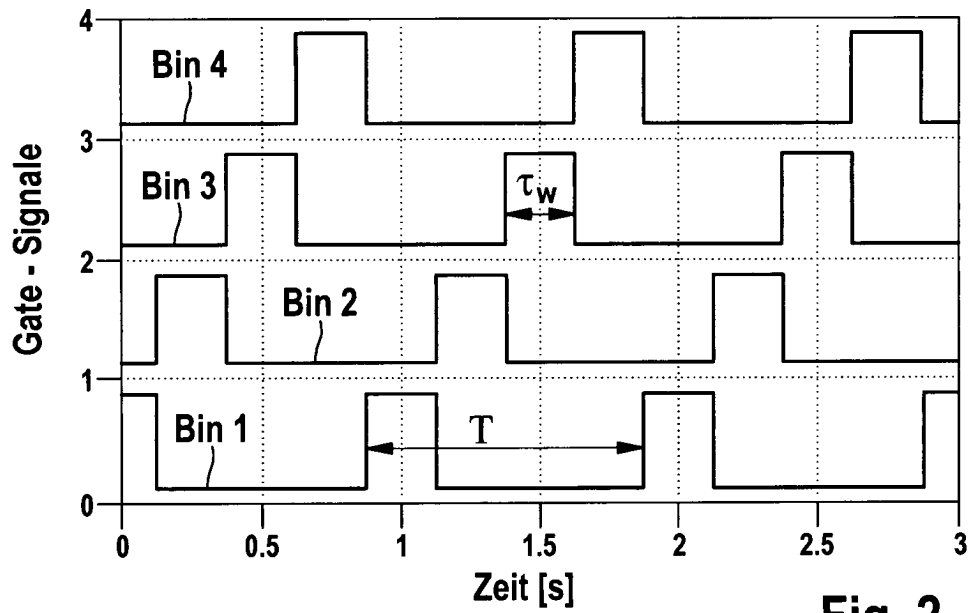


Fig. 2

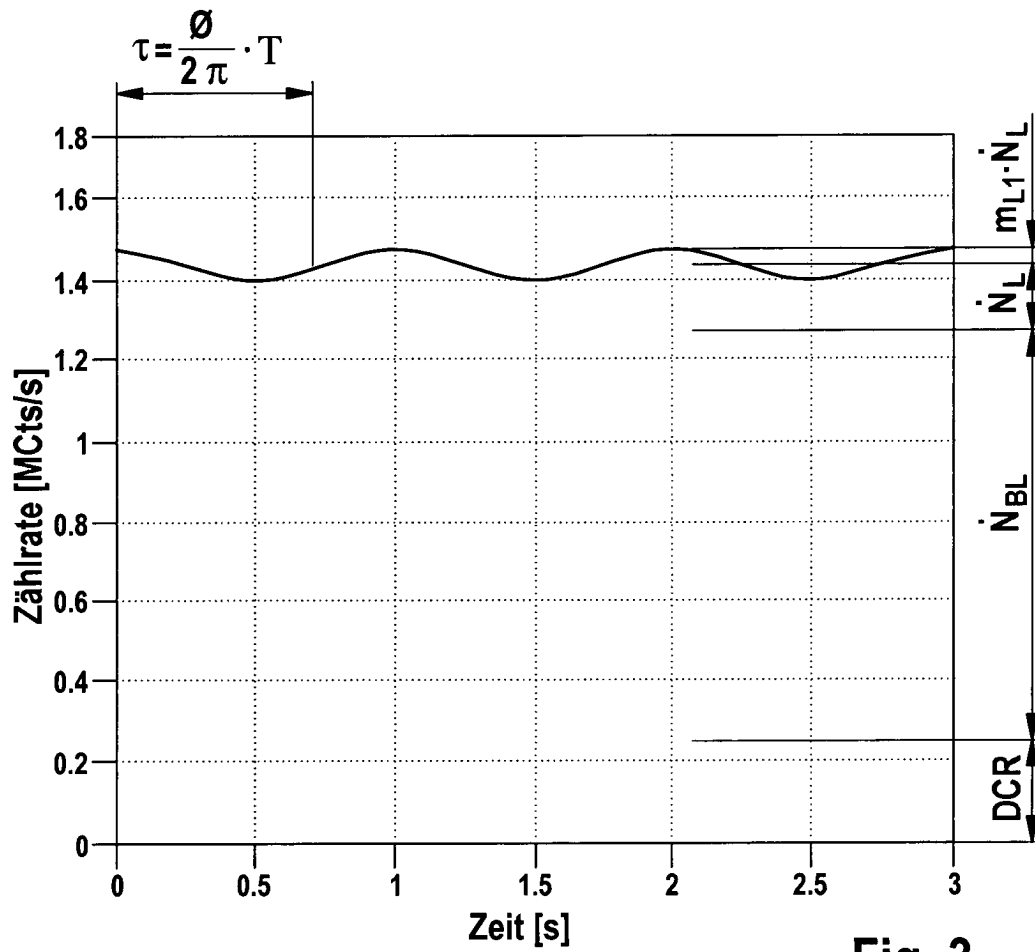


Fig. 3