



(10) **DE 10 2012 112 987 B3** 2013.12.05

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 112 987.8**  
(22) Anmeldetag: **21.12.2012**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **05.12.2013**

(51) Int Cl.: **G01S 7/497 (2013.01)**  
**G01S 17/42 (2013.01)**  
**G01S 7/483 (2013.01)**  
**G01S 7/487 (2013.01)**  
**G01N 21/47 (2013.01)**

Innerhalb von drei 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).

(73) Patentinhaber:  
**SICK AG, 79183, Waldkirch, DE**

(74) Vertreter:  
**Hehl, Ulrich, Dipl.-Phys. Dr. rer. nat., 79183,  
Waldkirch, DE**

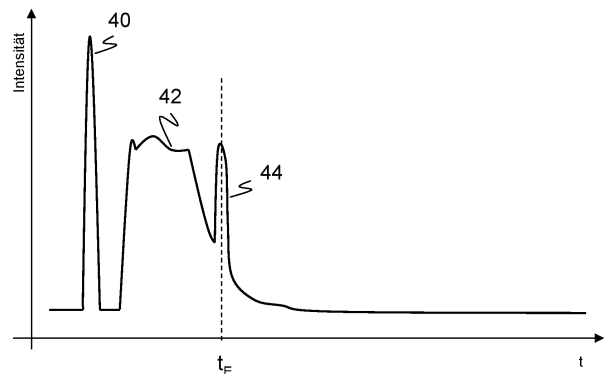
(72) Erfinder:  
**Pastor, Sebastian, 79194, Gundelfingen, DE;  
Schopp, Thomas, 79112, Freiburg, DE**

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

<b>DE</b>	<b>43 40 756</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>197 17 399</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2009 057 104</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>1 302 784</b>	<b>A2</b>
<b>EP</b>	<b>2 182 378</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>2 431 766</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Optoelektronischer Sensor und Verfahren zur Erfassung und Abstandsbestimmung von Objekten**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein optoelektronischer Sensor (10) zur Erfassung und Abstandsbestimmung von Objekten in einem Überwachungsbereich (18) angegeben, der einen Lichtsender (12) zum Aussenden eines Sendelichtstrahls (14), eine drehbare Ablenkeinheit (16) zur periodischen Ablenkung des Lichtstrahls (14), einen Lichtempfänger (24) zum Erzeugen eines Empfangssignals aus dem in dem Überwachungsbereich (18) remittierten Lichtstrahl (20), einen A/D-Wandler (30) zur Abtastung des Empfangssignals sowie eine Auswertungseinheit (32) aufweist, um anhand des Empfangssignals den Abstand der Objekte mit einem Lichtlaufzeitverfahren und ein Sichttrübungsmaß zu bestimmen. Dabei ist die Auswertungseinheit (32) dafür ausgebildet, das Sichttrübungsmaß winkelabhängig für eine Sichttrübung in Richtung des Sendelichtstrahls (14) zu bestimmen, den Abstand aus dem gleichen abgetasteten Empfangssignal zu bestimmen wie das Sichttrübungsmaß und das winkelabhängige Sichttrübungsmaß bei der Bestimmung des Abstands zu berücksichtigen.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen optoelektronischen Sensor und ein Verfahren zur Erfassung und Abstandsbestimmung von Objekten mit Bestimmung eines Sichttrübungsmaßes nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 beziehungsweise 12.

**[0002]** Bei der Objekterfassung durch einen Laserscanner überstreicht ein von einer Laserlichtquelle erzeugter Lichtstrahl mit Hilfe einer beweglichen Ablenkeinheit periodisch einen Überwachungsbereich. Das Licht wird an Objekten in dem Überwachungsbereich remittiert und in dem Laserscanner ausgewertet. Aus der Winkelstellung der Ablenkeinheit wird auf die Winkellage des Objektes und aus der Lichtlaufzeit unter Verwendung der Lichtgeschwindigkeit zusätzlich auf die Entfernung des Objektes von dem Laserscanner geschlossen. Dabei sind zwei grundsätzliche Prinzipien bekannt, die Lichtlaufzeit zu bestimmen. Bei phasenbasierten Verfahren wird das Sendelicht moduliert und die Phasenverschiebung des empfangenen gegenüber dem gesendeten Licht ausgewertet. Bei pulsbasierten Verfahren misst der Laserscanner die Laufzeit, bis ein ausgesandter Lichtpuls wieder empfangen wird.

**[0003]** Mit den Winkel- und Entfernungsangaben ist der Ort eines Objektes in dem Überwachungsbereich in zweidimensionalen Polarkoordinaten erfasst. Die dritte Raumkoordinate kann durch eine Relativbewegung in Querrichtung ebenfalls erfasst werden, beispielsweise durch einen weiteren Bewegungsfreiheitsgrad der Ablenkeinheit in dem Laserscanner oder indem das Objekt relativ zu dem Laserscanner bewegt wird. So können auch dreidimensionale Konturen ausgemessen werden.

**[0004]** Neben solchen Messanwendungen werden Laserscanner auch in der Sicherheitstechnik zur Überwachung einer Gefahrenquelle eingesetzt, wie sie beispielsweise eine gefährliche Maschine darstellt. Ein derartiger Sicherheitslaserscanner ist aus der DE 43 40 756 A1 bekannt. Dabei wird ein Schutzfeld überwacht, das während des Betriebs der Maschine vom Bedienpersonal nicht betreten werden darf. Erkennt der Laserscanner einen unzulässigen Schutzfeldeingriff, etwa ein Bein einer Bedienungsperson, so löst er einen Nothalt der Maschine aus. Andere Eingriffe in das Schutzfeld, beispielsweise durch statische Maschinenteile, können vorab als zulässig eingelernt werden. Oft sind den Schutzfeldern Warnfelder vorgelagert, wo Eingriffe zunächst nur zu einer Warnung führen, um den Schutzfeldeingriff und damit die Absicherung noch rechtzeitig zu verhindern und so die Verfügbarkeit der Anlage zu erhöhen. Sicherheitslaserscanner arbeiten meist pulsbasiert.

**[0005]** In der Sicherheitstechnik eingesetzte Sensoren müssen besonders zuverlässig arbeiten und

deshalb hohe Sicherheitsanforderungen erfüllen, beispielsweise die Norm EN13849 für Maschinensicherheit und die Gerätenorm EN61496 für berührungslos wirkende Schutzvorrichtungen (BWS). Zur Erfüllung dieser Sicherheitsnormen sind eine Reihe von Maßnahmen zu treffen, wie beispielsweise sichere elektronische Auswertung durch redundante, diversifizierte Elektronik, Funktionsüberwachung oder speziell Überwachung der Verschmutzung optischer Bauteile, insbesondere einer Frontscheibe, und/oder Vorsehen von einzelnen Testzielen mit definierten Reflexionsgraden, die unter den entsprechenden Scanwinkeln erkannt werden müssen.

**[0006]** Sollen Laserscanner unter rauen Umgebungsbedingungen und insbesondere im Outdoorbereich eingesetzt werden, so muss mit einer Sichttrübung beispielsweise durch Nebel oder Staub gerechnet werden. Die dadurch verminderte Sichtweite reduziert durch Streuverluste die energetische Reichweite des Laserscanners und dämpft das optische Messsignal. Je nach Vorgehen bei der Auswertung kann es sogar zu Fehlmessungen aufgrund einer Blendung durch das von der Lufttrübung verursachte Signal kommen. Das eigentliche Zielobjekt wird also nicht mehr erkannt beziehungsweise ein von einer Sichttrübung verursachtes Signal wird fälschlich als Objekt interpretiert. Abhängig vom Ausmaß der Sichttrübung sinkt die Reichweite, oder die Messung wird gänzlich verhindert und der Sensor damit nicht mehr verfügbar.

**[0007]** Mit einfachen Auswertungsverfahren durch Vergleich des Empfangssignals mit einer Objektschwelle gelingt die Unterscheidung zwischen Sichttrübungen und Objekten nicht zuverlässig. Denn eine Sichttrübung im Nahbereich erreicht ohne Weiteres die Intensität eines weiter entfernten Objekts. Abhilfemaßnahmen wie das entfernungsabhängige Anpassen der Schwelle reichen nicht aus, derartige Verwechslungen auszuschließen.

**[0008]** Eine andere Klasse von Laserscannern, die auch als mehrrechofähig bezeichnet werden, bewertet das Empfangssignal nicht mit einer Schwelle, sondern betrachtet die vollständige zeitabhängige Echo-Kurve, die auf einen Sendepuls folgt. Dazu wird das Empfangssignal mit einem A/D-Wandler erfasst und der gespeicherte, vollständige Kurvenzug anschließend mit einem Mustererkennungsverfahren bewertet. Dieser Ansatz wird beispielsweise in der EP 2 182 378 A1 verfolgt. Damit ist die Erfassung von hintereinander in dem Scanstrahl befindlichen Objekten ermöglicht, etwa eines Objekts hinter einer Glasscheibe. Um Echos von Objekten und Echos von Sichttrübungen zu unterscheiden, erfolgt ein Vergleich mit einer erwarteten Pulsform der Echos an harten Zielen, also Objekten. Die Echos von Sichttrübungen werden als reine Störung behandelt, eine Auswertung auf Art und Ausmaß der Sichttrü-

bung findet nicht statt. Damit bleiben der Restfehler der Störunterdrückung sowie die Umgebungsbedingungen unbekannt, die zu einer Einschränkung der Messfähigkeit führen können. Der herkömmliche Laserscanner kann deshalb selbst keine verlässliche Meldung über seine Funktionsfähigkeit ausgeben.

**[0009]** Es sind Nebel- oder Staubbmessgeräte bekannt, welche die Sichtweite an einer Stelle messen und als repräsentativ für die Umgebung des Sensors ausgeben. Damit wird eine homogene Verteilung der Sichttrübung angenommen, die häufig nicht zutrifft. Für verschiedene Messrichtungen wird dann die Sichttrübung über- und unterschätzt.

**[0010]** Aus der EP 1 302 784 A2 ist ein Laserscanner mit Sichtweitenbestimmung bekannt, welcher eine Sichttrübung verursachende Störeffekte unterscheidet und das Ausmaß erkennt sowie ob die Störung global oder auf einen Winkelbereich begrenzt ist. Die Klassifizierung erfolgt aufgrund von charakteristischen Störungseigenschaften, wie Position, Kontur, Form, Größe, Ausdehnung, Entfernung, Struktur, zeitliches Verhalten, Reflexionsverhalten oder Umgebung einer Störung. Aus einer vorkalibrierten Tabelle wird dann abhängig von dieser Klassifizierung eine momentane Sichtweite ausgelesen. Diese Sichtweite ist ein globaler Wert und berücksichtigt damit keine richtungsabhängigen Inhomogenitäten. Außerdem beruht die Klassifikation rein empirisch auf eingelernten Erfahrungswerten und wird damit fehleranfällig.

**[0011]** Die DE 197 17 399 A1 offenbart eine Abstandsmessung mit einem optischen Pulslaufzeitverfahren. Dieser Sensor kennt Regeln, um Empfangssignale bestimmten Störungen zuzuordnen, etwa dem typischen Verlauf eines Echos an einer verschmutzten Frontscheibe oder bei Nebel. Die typischen Verläufe sind mit einem breiten Toleranzband versehen, was die DE 197 17 339 A1 als Bewertung mit unscharfer Logik (Fuzzy-Logik) bezeichnet. Mit überlagerten Signalen, also einem Objekt im Nebel, kann dieses System nicht umgehen und jedenfalls nicht die Abstandsbestimmung für das Objekt durch Kenntnis der Störung präzisieren. Außerdem handelt es sich bei dem Sensor nicht um einen Laserscanner, so dass keine richtungsabhängige Erkennung nur lokal auftretender oder sich lokal unterscheidender Störungen diskutiert wird.

**[0012]** Ein Laserscanner gemäß der nachveröffentlichten EP 2 541 273 A1 nutzt ein Splitterelement im analogen Empfangspfad, um das Empfangssignal in ein höherfrequentes Objektsignal und ein niederfrequentes Sichttrübungssignal aufzuteilen, die dann separat ausgewertet werden. In einem weiteren dort diskutierten Ansatz wird die Empfangsoptik gezielt so ausgelegt, dass die abstandsabhängige Signaldynamik mit einer charakteristischen Frequenz mo-

duliert. Dann wird das Sichttrübungssignal beispielsweise durch Korrelation mit dieser Signaldynamik bestimmt. Auch dieser weitere Ansatz geht aber noch davon aus, die Signale schon vorab im Analogpfad physikalisch durch das Splitterelement zu trennen, statt in der Auswertungseinheit das gemeinsame digitale Signal zu verarbeiten. Die strikte Vorabtrennung nach Frequenzen eliminiert damit bereits Signalanteile aus dem Objektsignal, die zu einer Verzerrung und damit einer ungenauen oder sogar verhinderten Auswertung bei einem sich einer Sichttrübung überlagernden Objektsignal führen.

**[0013]** Aus der DE 10 2009 057 104 A1 ist ein entfernungsmessender Laserscanner bekannt, der Empfangspulse seines Empfangssignals identifiziert und anhand einer Pulsform Objektempfangspulse und Störpuls unterscheidet, beispielsweise von Regentropfen oder Staubpartikeln. Als Kriterium dafür wird ausgewertet, wie schnell die Flanke eines Pulses abfällt, allgemein also erste Ableitung der Flanke untersucht. In einer Ausführungsform wird auch die Dauer der steigenden Flanke ermittelt und so die Symmetrie des Pulses bewertet.

**[0014]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, die Erfassung und Abstandsbestimmung von Objekten bei Sichttrübungen zu verbessern.

**[0015]** Diese Aufgabe wird durch einen optoelektronischen Sensor und ein Verfahren zur Erfassung und Abstandsbestimmung von Objekten nach Anspruch 1 beziehungsweise 12 gelöst. Dabei geht die Lösung von dem Grundgedanken aus, die gesamte Signalinformation des abgetasteten Empfangssignals zu nutzen, um sowohl Informationen über den Objektabstand als auch über die Sichttrübung zu erhalten. Dazu wird ein Sichttrübungsmaß nicht global für die Umgebung des Sensors, sondern individuell für die jeweilige Abtastrichtung bestimmt. Das gleiche abgetastete Empfangssignal wird dazu sowohl auf Sichttrübung als auch auf Objektabstand hin ausgewertet. Unter einem Empfangssignal wird dabei beispielsweise eine Abtastung für einen Winkel verstanden, also beispielsweise das Empfangssignal während des Zeitintervalls zwischen zwei Sendezeitpunkten. Da der digitalen Signalverarbeitung das abgetastete Empfangssignal vollständig zugrunde liegt und nicht beispielsweise zuvor eine analoge Auftrennung in ein Sichttrübungs- und ein Objektsignal erfolgt, sind noch alle Messinformationen vorhanden, um eine präzise Bestimmung des Empfangszeitpunkts und damit des Objektabstands zu ermöglichen.

**[0016]** Die Erfindung hat den Vorteil, dass die Bestimmung der Sichttrübung zeitgleich, an derselben Stelle beziehungsweise für denselben Winkel und in derselben Entfernung wie die Abstandsbestimmung für ein Objekt erfolgt. Damit werden keinerlei Annah-

men an zeitliche oder örtliche Homogenitäten der Sichttrübung gemacht. Auch inhomogene Sichttrübungen sind messbar und können ausgegeben werden. Derartige Messdaten enthalten insbesondere auch Aussagen über die Homogenität der Sichttrübung. Da nicht nur ein globales Maß für die Sichttrübung bestimmt wird, erhöht sich die Verfügbarkeit des Sensors, denn in allen noch messbaren Richtungen werden tatsächlich Abstandswerte bestimmt. Das Sichttrübungsmaß stellt zugleich ein Qualitätsmaß für alle bei Sichttrübung noch messbaren Abstandswerte in der betreffenden Richtung dar.

**[0017]** Der Lichtsender sendet bevorzugt Sendepulse mit einer Sendepulsform zu einem Sendezeitpunkt aus. Damit setzt der Laser eine pulsbasierte Lichtlaufzeitmessung ein. Die Auswertungseinheit erkennt dann bevorzugt einen zu einem Objekt in dem Sendelichtstrahl gehörigen Empfangszeitpunkt anhand eines Empfangspulses in dem Empfangssignal. Idealiert hat der Empfangspuls die Form des Sendepulses und kann daran auch praktisch erkannt werden. Die Lichtlaufzeit für das zugehörige Objekt ist die Differenz aus Empfangszeitpunkt und Sendezeitpunkt. Es kann, etwa bei Kantentreffern oder teiltransparenten Objekten, mehrere Echos von mehreren hintereinander in dem Sendelichtstrahl befindlichen Objekten geben. Dann ist möglich, dass die Auswertungseinheit mehrere oder alle Objekte vermisst oder nach einer Heuristik eines der Echos und damit Objekte auswählt, etwa das stärkste Echo, das vorderste Echo oder ein Echo in einem erwarteten Entfernungsbereich.

**[0018]** Die Auswertungseinheit ist bevorzugt dafür ausgebildet, das abgetastete Empfangssignal dann mit einem Filter zur Unterdrückung der Sichttrübung zu bearbeiten, wenn das Sichttrübungsmaß eine Sichttrübung anzeigt. Üblicherweise erfolgt die Bearbeitung durch diskrete Faltung des abgetasteten Empfangssignals mit einem Filterkern.

**[0019]** Andere Arten, Störanteile durch Sichttrübungen zu unterdrücken, sind aber ebenso umfasst. Die Unterdrückung erfolgt nur für Abtastungen beziehungsweise Richtungen oder Winkel, in denen auch tatsächlich zumindest eine gewisse Sichttrübung erkannt wird. Dies wird beispielsweise durch eine Schwellenbewertung des Sichttrübungsmaßes festgestellt. Dabei legt die Schwelle fest, ab welcher Sichttrübung keine freie Sicht mehr angenommen wird und daher eine Unterdrückung der Signalanteile durch Sichttrübung erforderlich wird.

**[0020]** Die Auswertungseinheit ist bevorzugt dafür ausgebildet, anhand des Sichttrübungsmaßes ein Filter zur Unterdrückung der Sichttrübung auszuwählen. Hier wird also über eine einfache Entscheidung hinaus, ob überhaupt Signalanteile durch Sichttrübung vorhanden sind, auch ein zu der gemessenen

nen Sichttrübung passendes Filter ausgewählt. Diese Auswahl kann entsprechend der Art der Sichttrübung, also Nebel, Rauch, Schnee und dergleichen erfolgen, aber auch anhand des Ausmaßes der Sichttrübung, so dass für eine geringe Sichttrübung ein anderes Filter zum Einsatz kommt als für eine starke Sichttrübung.

**[0021]** Die Auswertungseinheit ist bevorzugt dafür ausgebildet, Parameter des Filters an das Sichttrübungsmaß anzupassen. Das Filter wird hier an das Ausmaß der gemessenen Sichttrübung adaptiert, wobei grundsätzlich das gleiche Filter eingesetzt wird. Denkbar ist beispielsweise, Parameter des Filters mit der Sichttrübung zu skalieren, um so eine stärkere Unterdrückung bei stärkerer Sichttrübung zu erreichen.

**[0022]** Der Lichtempfänger weist bevorzugt eine Empfangsoptik mit einer abstandsabhängigen Intensitätscharakteristik auf. Die abstandsabhängige Intensitätscharakteristik, auch als Signaldynamik bezeichnet, ist eine Intensitäts- oder Amplitudenfunktion in Abhängigkeit vom Abstand zu der Empfangsoptik. Sie bestimmt sich, indem ein Ziel mit definierter Reflexivität anfänglich direkt vor dem Sensor angeordnet wird, also im Abstand Null, und dann bis zur maximalen Messreichweite des Sensors verfahren wird. In jedem Abstand wird dann ein Lichtstrahl ausgesandt und die Intensität des von dem Ziel remittierten Lichtstrahls gemessen. Die Intensitätscharakteristik kann simuliert, berechnet oder eingelernt werden, beispielsweise in der Endfertigung. Dadurch ist sie für das Design des Filters bekannt und kann zudem im Sensor gespeichert werden. Die Intensitätscharakteristik ist eine wichtige Eigenschaft der Empfangsoptik, die häufig auf eine bestimmte gewünschte Intensitätscharakteristik hin optimiert ist.

**[0023]** Das Filter ist bevorzugt an die abstandsabhängige Intensitätscharakteristik angepasst. Ein solches Filter eignet sich vorzugsweise gerade dafür, die bekannte Signaldynamik zu unterdrücken. Denn das durch Sichttrübungen verursachte Signal ist eine Faltung der Sendepulsform und der Intensitätscharakteristik. Es soll also kein unbekanntes Störsignal unterdrückt werden, sondern es ist vorab bekannt, wie das Störsignal prinzipiell aussieht. Deshalb kann das Filter gezielt zu dessen Unterdrückung entworfen werden. Zusätzlich erfolgt bevorzugt noch eine Anpassung an das tatsächliche, aus dem gleichen Empfangssignal gemessene Sichttrübungsmaß, denn die Störungen skalieren mit dem Ausmaß der Sichttrübung. Bei solchen Skalierungen sind vorzugsweise zusätzlich Sättigungseffekte wegen Übersteuerung von Verstärkerelementen in dem Empfangspfad zu berücksichtigen.

**[0024]** Die Auswertungseinheit ist bevorzugt dafür ausgebildet, das Sichttrübungsmaß anhand der

abstandsabhängigen Intensitätscharakteristik zu bestimmen. Wie das Filter gezielt an den erwarteten Signalverlauf der durch Sichttrübung verursachten Anteile angepasst werden kann, so lässt sich dieser erwartete Signalverlauf auch nutzen, um diese durch Sichttrübung verursachten Anteile zu erkennen. Dabei sind Skalierungen durch das Ausmaß der Sichttrübung zu erwarten, aus denen das Sichttrübungsmaß bestimmt werden kann. Erneut sollten die im letzten Absatz erwähnten Sättigungseffekte berücksichtigt werden. Um das Wissen über die Form von durch Sichttrübung verursachten Signalanteilen zu nutzen, kann beispielsweise das Messsignal mit künstlichen oder vorab eingelernten Signalzügen bei einer bestimmten Sichttrübung korreliert werden. Denkbar ist weiterhin, dass die Intensitätscharakteristik bestimmte erkennbare Formen aufweist oder solche Formen sogar gezielt in die Empfangsoptik beziehungsweise deren Intensitätscharakteristik ein-  
designt sind. Aus den Amplituden solcher Formen lässt sich dann sehr einfach ein Sichttrübungsmaß ableiten. Allerdings ist beim Design der Empfangsoptik darauf zu achten, dass solche Formen nicht mit Echos von Objekten verwechselbar sind.

**[0025]** Der Sensor weist bevorzugt eine Anzeige oder einen Ausgang auf, um das Sichttrübungsmaß winkelabhängig anzuzeigen oder auszugeben. Das Sichttrübungsmaß ist ein weiterer Messwert neben den Objektabständen, das für jeden Sendelichtstrahl winkelabhängig verfügbar ist. Dieser Messwert kann für den Benutzer wertvolle Informationen enthalten und wird deshalb vorzugsweise verfügbar gemacht. Unter Ausgabe des Sichttrübungsmaßes wird auch eine daraus abgeleitete Größe verstanden, etwa eine mit dem Sichttrübungsmaß korrespondierende Sichtweite oder eine Güte beziehungsweise ein Verlässlichkeitsmaß für in dieser Richtung gewonnene Objektabstände. Man kann alternativ diese richtungsabhängige Ausgabe zu größeren Winkelbereichen zusammenfassen, in denen summarisch beispielsweise eine kompensierbare oder eine zu starke Sichttrübung vorliegt, um noch Objektabstände zu messen.

**[0026]** Der Sensor ist bevorzugt ein sicherer Laserscanner, der einen sicheren Ausgang aufweist und dessen Auswertungseinheit dafür ausgebildet ist, bei Erkennen eines unzulässigen Eingriffs in mindestens ein vorgebbares Schutzfeld innerhalb des Überwachungsbereichs ein Abschaltsignal über den sicheren Ausgang auszugeben. Gerade Sicherheitslaserscanner müssen besonders zuverlässig arbeiten. Bei Sichttrübung muss daher erkannt werden, ob die Sicherheitsfunktion noch gewährleistet bleibt. Durch die Erfindung wird eine sicherheitstechnische Anwendung auch unter gestörten Bedingungen, insbesondere im Outdoorbereich möglich.

**[0027]** Die Auswertungseinheit ist bevorzugt dafür ausgebildet zu prüfen, ob innerhalb der Schutzfel-

der das Sichttrübungsmaß in einem Toleranzbereich liegt. Falls eine nicht kompensierbare Sichttrübung ein Schutzfeld betrifft, folgt eine sicherheitsgerichtete Abschaltung. Der Sensor kann aber seine Sicherheitsfunktion trotz einer Sichttrübung garantieren, solange seine Schutzfelder gar nicht oder jedenfalls nur so weit betroffen sind, dass immer noch eine zuverlässige Objektdetektion möglich ist. Um das festzustellen, wird beispielsweise aus dem Sichttrübungsmaß eine Entfernung abgeleitet, bis zu der Objekte noch sicher erkannt werden. Dann wird verglichen, ob es Schutzfelder oder Teilbereiche davon gibt, die in einer von zu starker Sichttrübung betroffenen Richtung und Entfernung liegen. Nur dann erfolgt wegen der Sichttrübung eine Abschaltung, so dass sich die Verfügbarkeit des Sensors erhöht.

**[0028]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann auf ähnliche Weise weitergebildet werden und zeigt dabei ähnliche Vorteile. Derartige vorteilhafte Merkmale sind beispielhaft, aber nicht abschließend in den sich an die unabhängigen Ansprüche anschließenden Unteransprüchen beschrieben.

**[0029]** Die Erfindung wird nachstehend auch hinsichtlich weiterer Merkmale und Vorteile beispielhaft anhand von Ausführungsformen und unter Bezug auf die beigefügte Zeichnung näher erläutert. Die Abbildungen der Zeichnung zeigen in:

**[0030]** [Fig. 1](#) eine schematische Schnittansicht eines Laserscanners;

**[0031]** [Fig. 2](#) ein beispielhafter zeitabhängiger Intensitätsverlauf des Empfangssignals bei einer Überlagerung eines erfassten Objekts und einer Sichttrübung;

**[0032]** [Fig. 3](#) ein beispielhafter zeitabhängiger Intensitätsverlauf des Empfangssignals bei Sichttrübung ohne Objekt;

**[0033]** [Fig. 4](#) ein beispielhafter zeitabhängiger Intensitätsverlauf des Empfangssignals bei stärkerer Sichttrübung ohne Objekt;

**[0034]** [Fig. 5](#) ein beispielhafter zeitabhängiger Intensitätsverlauf des Empfangssignals bei einer Überlagerung eines erfassten Objekts und einer stärkeren Sichttrübung; und

**[0035]** [Fig. 6](#) eine schematische Draufsicht auf den Überwachungsbereich eines Sensors mit verschiedenen Sichttrübungen und dadurch richtungsabhängig eingeschränkten Reichweiten.

**[0036]** [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Schnittdarstellung durch einen erfindungsgemäßen Laserscanner **10**. Die Erfindung wird an diesem Beispiel beschrieben, umfasst aber auch andere optoelektroni-

sche Sensoren zur Erfassung und Abstandsbestimmung mit den in den Ansprüchen genannten Eigenschaften.

**[0037]** Ein von einem Lichtsender **12**, beispielsweise einem Laser, erzeugter Lichtstrahl **14**, der einzelne Lichtimpulse aufweist, wird über Lichttablenkeinheiten **16a–b** in einen Überwachungsbereich **18** gelenkt und dort von einem gegebenenfalls vorhandenen Objekt remittiert. Die Remission kann auch mehrfach in unterschiedlichen Abständen erfolgen, wie dies bei einer Sichttrübung mit zahlreichen Streuzielen oder teiltransparenten Objekten der Fall ist, die Anteile des Sendelichts sowohl reflektieren als auch transmittieren, etwa einer Glasscheibe. Das remittierte Licht **20** gelangt wieder zu dem Laserscanner **10** zurück und wird dort über die Ablenkeinheit **16b** und mittels einer Empfangsoptik **22** von einem Lichtempfänger **24** detektiert, beispielsweise einer Photodiode.

**[0038]** Die Lichttablenkeinheit **16b** ist in der Regel als Drehspiegel ausgestaltet, die durch Antrieb eines Motors **26** kontinuierlich rotiert. Alternativ kann der Messkopf einschließlich dem Lichtsender **12** rotieren. Die jeweilige Winkelstellung wird über einen Encoder **28** erfasst. Der Lichtstrahl **14** überstreicht somit den durch die Rotationsbewegung erzeugten Überwachungsbereich **18**. Wird ein von dem Lichtempfänger **24** empfangenes reflektiertes Lichtsignal **20** aus dem Überwachungsbereich **18** empfangen, so kann aus der Winkelstellung der Ablenkeinheit **16b** mittels des Encoders **28** auf die Winkellage des Objektes in dem Überwachungsbereich **18** geschlossen werden.

**[0039]** Zusätzlich wird die Laufzeit der einzelnen Lichtpulse von ihrem Aussenden bis zu dem Empfang nach Reflexion an dem Objekt in dem Überwachungsbereich **18** ermittelt. Aus der Lichtlaufzeit wird unter Verwendung der Lichtgeschwindigkeit auf die Entfernung des Objektes von dem Laserscanner **10** geschlossen. Diese Auswertung erfolgt auf Basis des in einem A/D-Wandler **30** abgetasteten Empfangssignals des Lichtempfängers **24** in einer Auswertungseinheit **32**, die dafür außer mit dem A/D-Wandler **30** auch mit dem Lichtsender **12**, dem Motor **26** und dem Encoder **28** verbunden ist. Somit stehen über den Winkel und die Entfernung zweidimensionale Polarkoordinaten aller Objekte in dem Überwachungsbereich **18** zur Verfügung. Zusätzlich bestimmt die Auswertungseinheit **30** in einer noch zu beschreibenden Weise die Sichttrübung in dem Überwachungsbereich **18**. Sämtliche Messwerte, wie Objektpositionen und Sichttrübungen, können über einen Ausgang **34** ausgegeben werden. Alle genannten Funktionskomponenten sind in einem Gehäuse **36** angeordnet, das im Bereich des Lichtaus- und Lichteintritts eine Frontscheibe **38** aufweist.

**[0040]** In einer sicherheitstechnischen Anwendung vergleicht die Auswertungseinheit **32** die Position der erfassten Objekte mit einem oder mehreren Schutzfeldern, deren Geometrie der Auswertungseinheit **32** durch entsprechende Parameter vorgegeben oder konfiguriert ist. Damit erkennt die Auswertungseinheit **32**, ob ein Schutzfeld verletzt ist, also ob sich ein unzulässiges Objekt darin befindet, und schaltet je nach Ergebnis den in dieser Ausführungsform als Sicherheitsausgang (OSSD, Output Signal Switching Device) ausgebildeten Ausgang **34**. Dadurch wird beispielsweise ein Nothalt einer angeschlossenen und von dem Laserscanner **10** überwachten Maschine ausgelöst. Ein solcher Laserscanner wird durch Erfüllung der einleitend genannten Normen und die dafür erforderlichen Maßnahmen als Sicherheitslaserscanner ausgebildet.

**[0041]** Der Laserscanner **10** ist auch unter Umgebungsbedingungen mit eingeschränkter Sicht einsetzbar, also outdoorfähig beziehungsweise robust gegenüber verunreinigten Umgebungen. Zu den möglichen Störquellen in solchen Umgebungen zählen Schnee, Nebel, Regen, Gischt, Staub, Rauch, Ruß, Abgase, Verunreinigungen von Frontscheibe und Optik oder ähnliche Effekte, die alle als Sichttrübung zusammengefasst werden. Dabei sorgt eine Vielzahl von kleinen Partikeln als diffuse Streuzentren für Signalanteile in verschiedenen Reichweiten, denen sich das zu messende Echo von angetasteten Objekten überlagert.

**[0042]** **Fig. 2** zeigt einen beispielhaften Intensitätsverlauf des abgetasteten Empfangssignals, welches die Auswertungseinheit **32** als digitalen Kurvenzug auswertet. Zunächst ergibt sich ein starkes Signalmaximum **40** eines Referenzsendepulses zu einem Sendezeitpunkt, der als Bezug für die Lichtlaufzeitmessung in den Intensitätsverlauf aufgenommen wird. Nach Austritt aus dem Sensor **10** ergibt sich ein breites Sichttrübungsmaximum **42** aufgrund einer Sichttrübung. Dem Sichttrübungsmaximum **42** überlagert sich ein Empfangspuls **44** von einem Objekt im Überwachungsbereich **18**, dessen Empfangszeitpunkt  $t_E$  bestimmt werden soll.

**[0043]** Die Auswertungseinheit **32** hat nun die Aufgabe, ein Maß für die Sichttrübung zu bestimmen und den Empfangspuls **44** zu lokalisieren. Dabei soll das Sichttrübungsmaß die Lokalisierung des Empfangspulses **44** erleichtern und eine sich möglicherweise aus der Überlagerung ergebende Verschiebung des Empfangspulses **44** korrigieren.

**[0044]** Für diese Auswertung gibt es Vorwissen über den erwarteten Kurvenverlauf. Zunächst entspricht die Pulsform des Empfangspulses **44** der Pulsform des Sendepulses und ist damit prinzipiell bekannt. Das breite Sichttrübungsmaximum **42** wird somit von einem Empfangspuls **44** unterscheidbar. In der Situa-

tion der [Fig. 2](#), wo der Empfangspuls **44** noch trotz der Überlagerung noch sehr deutlich ausgebildet ist, kann der Empfangspuls allein an dieser Pulsform erkannt werden.

**[0045]** Aber auch die Signalform der durch Sichttrübung erzeugten Signalanteile ist bekannt. Sie wird nämlich durch eine Faltung der Pulsform des Sendepulses mit der Signaldynamik der Empfangsoptik **22** beschrieben. Dabei ist die Signaldynamik beziehungsweise die abstandsabhängige Intensitätscharakteristik die entfernungsabhängige Detektionsempfindlichkeit für das Antasten eines ebenen, diffus remittierenden Zieles. Wie schon erwähnt, bilden die Partikel, welche die Sichttrübung verursachen, eine Vielzahl von diffusen Streuzentren und damit praktisch in jeder betrachteten Reichweite ein solches diffus remittierendes Ziel.

**[0046]** Die Signaldynamik wird im Idealfall so ausgelegt, dass bis kurz hinter der Frontscheibe **36** praktisch kein Signal auftritt, so dass Reflexe an der Frontscheibe **36** möglichst kein messbares Störsignal verursachen. Danach sollte die Signaldynamik bis zur maximalen Reichweite verlässlicher Messungen möglichst konstant sein. Hinter der maximalen Reichweite fällt die Signaldynamik dann quadratisch ab. Die Signaldynamik als Eigenschaft vor allem der Empfangsoptik **22** kann beispielsweise in der Fertigung eingelernt und in der Auswertungseinheit **32** gespeichert werden.

**[0047]** [Fig. 3](#) illustriert einen beispielhaften Intensitätsverlauf nur aufgrund der Sichttrübung und ohne den Empfangspuls **44**. Die Signaldynamik bestimmt das Verhalten an den Flanken des Sichttrübungsmaximums **42**. Auf dessen Plateau zeigen sich die Abweichungen von dem angestrebten konstanten Verlauf der Signaldynamik sowie möglicherweise je nach Ausmaß der Sichttrübung schon Sättigungseffekte der nicht dargestellten Verstärkerelemente im Empfangspfad des Sensors **10**.

**[0048]** [Fig. 4](#) zeigt zum Vergleich einen beispielhaften Intensitätsverlauf nur aufgrund der Sichttrübung bei stärkerer Sichttrübung. Dementsprechend wird das Sichttrübungsmaximum verbreitert.

**[0049]** Wenn nun, wie in dem beispielhaften Intensitätsverlauf der [Fig. 5](#) gezeigt, der Empfangspuls **44** mit der stärkeren Sichttrübung überlagert, so wird es schon deutlich schwieriger, den Empfangspuls **44** noch zu lokalisieren. Überdies hat sich der Empfangszeitpunkt möglicherweise durch die Überlagerung verschoben.

**[0050]** Die Auswertungseinheit **32** nutzt ihr Vorwissen über die Signalform des Empfangspulses **44** und den Signalverlauf bei einer Sichttrübung. Dadurch stellt die Auswertungseinheit **32** zunächst mit Hilfe

der bekannten Signaldynamik fest, ob es eine Sichttrübung gibt und wie stark diese dann ist. Diese Sichttrübungsmessung erfolgt richtungsabhängig auf Basis des jeweiligen Empfangssignals, das auch auf Empfangspulse **44** von Objekten untersucht wird. Damit steht einerseits ein zusätzlicher, winkelaufgelöster Messwert für die Sichttrübung beziehungsweise die daraus abgeleitete Sichtweite bereit, welcher an dem Ausgang **34** ausgegeben oder angezeigt werden kann. Andererseits ist die Sichttrübung genau für dasjenige Signal bekannt, aus dem die Objektabstände bestimmt werden. Es gibt also keine Unterschiede zeitlicher oder örtlicher Art, welche Fehler in die Zugehörigkeit der gemessenen Sichttrübung und der erfassten Objekte einführen könnten.

**[0051]** Die Sichttrübung gibt richtungsabhängig Auskunft über die Messfähigkeit. Zudem wird sie genutzt, um adaptive Filter auf das abgetastete Empfangssignal anzuwenden oder Parameter solcher Filter anzupassen. Der Sensor **10** reagiert so auf sich verändernde Umgebungsbedingungen, etwa durch schlechtes Wetter, und steigert damit seine Verfügbarkeit.

**[0052]** Beispielsweise wird dann, wenn keine Sichttrübung festgestellt wurde, gar kein Filter zu Unterdrückung von Sichttrübungen angewandt. Es gibt nämlich in dieser Situation keine Sichttrübung, die unterdrückt werden muss, im Gegenteil könnte das Filter noch fälschlich Signalanteile von Echos an Objekten unterdrücken.

**[0053]** In einer einfachen Ausführungsform wird vorab ein Filter entworfen, das bei Erkennen einer Sichttrübung auf das zugehörige abgetastete Empfangssignal angewandt wird. Auch ist denkbar, mehrere feste Filter für verschiedene Arten von Störungen, also Schnee, Regen, Nebel etc. vorab zu entwerfen. Im Betrieb wird dann die erfasste Sichttrübung klassifiziert und das entsprechende Filter angewandt. Schließlich ist denkbar, ein oder mehrere Filter zu entwerfen, die dann anhand der gemessenen Sichttrübung parametrisiert werden. Der einfachste Fall ist eine Skalierung mit der Stärke der vorliegenden Sichttrübung in dem zu filternden abgetasteten Empfangssignal.

**[0054]** Das Filter ist jedenfalls dafür optimiert, den an sich aus der Signaldynamik bekannten Verlauf von Signalanteilen durch Sichttrübungen zu unterdrücken. Zusätzlich kann noch die bekannte Signalform der Empfangspulse **44** berücksichtigt und dafür gesorgt werden, dass Empfangspulse **44** durch die Filterung zumindest möglichst unverändert bleiben oder sogar noch stärker ausgeprägt werden.

**[0055]** [Fig. 6](#) zeigt eine schematische Draufsicht auf den Überwachungsbereich **18** des Sensors **10** mit verschiedenen Sichttrübungen **46** und dadurch

richtungsabhängig eingeschränkten Reichweiten. Es entsteht eine Art effektiver Überwachungsbereich **48**, der für Abtaststrahlen **14**, **20** die maximale Reichweite umfasst. In Bereichen mit einer Sichttrübung **46** dagegen wird der effektive Überwachungsbereich **48** auf eine geringere Reichweite beschränkt, innerhalb derer trotz der Sichttrübung **46** noch eine verlässliche Abstandsmessung möglich ist. Dazu wird das Ausmaß der Sichttrübung winkelabhängig bewertet.

**[0056]** In einer sicherheitstechnischen Anwendung ermöglicht der effektive Überwachungsbereich **48** eine Entscheidung, ob die Sichttrübungen **46** eine sicherheitstechnische Abschaltung erfordern. Dazu wird geprüft, ob die in [Fig. 6](#) nicht gezeigten Schutzfelder für alle relevanten Winkel noch innerhalb der reduzierten Reichweiten liegen. Wenn das der Fall ist, kann die Sicherheit trotz der Sichttrübung weiter gewährleistet werden. Andernfalls erfolgt eine sicherheitsgerichtete Abschaltung.

### Patentansprüche

1. Optoelektronischer Sensor (**10**), insbesondere Laserscanner, zur Erfassung und Abstandsbestimmung von Objekten in einem Überwachungsbereich (**18**), der einen Lichtsender (**12**) zum Aussenden eines Sendelichtstrahls (**14**), eine drehbare Ablenkeinheit (**16**) zur periodischen Ablenkung des Lichtstrahls (**14**) in dem Überwachungsbereich (**18**), einen Lichtempfänger (**24**) zum Erzeugen eines Empfangssignals aus dem in dem Überwachungsbereich (**18**) remittierten oder reflektierten Lichtstrahl (**20**), einen A/D-Wandler (**30**) zur Abtastung des Empfangssignals sowie eine Auswertungseinheit (**32**) aufweist, um anhand des Empfangssignals den Abstand der Objekte mit einem Lichtlaufzeitverfahren und ein Sichttrübungsmaß zu bestimmen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswertungseinheit (**32**) dafür ausgebildet ist, das Sichttrübungsmaß winkelabhängig für eine Sichttrübung in Richtung des Sendelichtstrahls (**14**) zu bestimmen, den Abstand aus dem gleichen abgetasteten Empfangssignal zu bestimmen wie das Sichttrübungsmaß und das winkelabhängige Sichttrübungsmaß bei der Bestimmung des Abstands zu berücksichtigen, wobei das Sichttrübungsmaß das Ausmaß der Sichttrübung winkelabhängig bewertet und so richtungsabhängig Auskunft über die Messfähigkeit gibt.

2. Sensor (**10**) nach Anspruch 1, wobei der Lichtsender (**12**) Sendepulse mit einer Sendepulsform zu einem Sendezeitpunkt aussendet und wobei die Auswertungseinheit (**32**) einen zu einem Objekt in dem Sendelichtstrahl (**14**) gehörigen Empfangszeitpunkt anhand eines Empfangspulses in dem Empfangssignal erkennt.

3. Sensor (**10**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Auswertungseinheit (**32**) dafür ausgebildet ist, das

abgetastete Empfangssignal dann mit einem Filter zur Unterdrückung der Sichttrübung zu bearbeiten, wenn das Sichttrübungsmaß eine Sichttrübung anzeigt.

4. Sensor (**10**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Auswertungseinheit (**32**) dafür ausgebildet ist, anhand des Sichttrübungsmaßes ein Filter zur Unterdrückung der Sichttrübung auszuwählen.

5. Sensor (**10**) nach Anspruch 3 oder 4, wobei die Auswertungseinheit (**32**) dafür ausgebildet ist, Parameter des Filters an das Sichttrübungsmaß anzupassen, insbesondere Parameter des Filters mit der Sichttrübung zu skalieren.

6. Sensor (**10**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Lichtempfänger (**24**) eine Empfangsoptik mit einer abstandsabhängigen Intensitätscharakteristik aufweist.

7. Sensor (**10**) nach Anspruch 6, wobei das Filter an die abstandsabhängige Intensitätscharakteristik angepasst ist.

8. Sensor (**10**) nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Auswertungseinheit (**32**) dafür ausgebildet ist, das Sichttrübungsmaß anhand der abstandsabhängigen Intensitätscharakteristik zu bestimmen.

9. Sensor (**32**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der eine Anzeige oder einen Ausgang (**34**) aufweist, um das Sichttrübungsmaß winkelabhängig anzuzeigen oder auszugeben.

10. Sensor (**10**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der ein sicherer Laserscanner ist, einen sicheren Ausgang (**34**) aufweist und dessen Auswertungseinheit (**32**) dafür ausgebildet ist, bei Erkennen eines unzulässigen Eingriffs in mindestens ein vorgebares Schutzfeld innerhalb des Überwachungsbereichs (**18**) ein Abschaltsignal über den sicheren Ausgang (**34**) auszugeben.

11. Sensor (**10**) nach Anspruch 10, wobei die Auswertungseinheit (**32**) dafür ausgebildet ist zu prüfen, ob innerhalb der Schutzfelder das Sichttrübungsmaß in einem Toleranzbereich liegt.

12. Verfahren zur Erfassung und Abstandsbestimmung von Objekten in einem Überwachungsbereich (**18**), bei dem ein Sendelichtstrahl (**14**) ausgesandt und periodisch in dem Überwachungsbereich (**18**) abgelenkt wird, wobei ein Empfangssignal aus dem in dem Überwachungsbereich (**18**) remittierten oder reflektierten Lichtstrahl (**20**) erzeugt und abgetastet wird und anhand des Empfangssignals der Abstand der Objekte mit einem Lichtlaufzeitverfahren und ein Sichttrübungsmaß bestimmt werden, da-

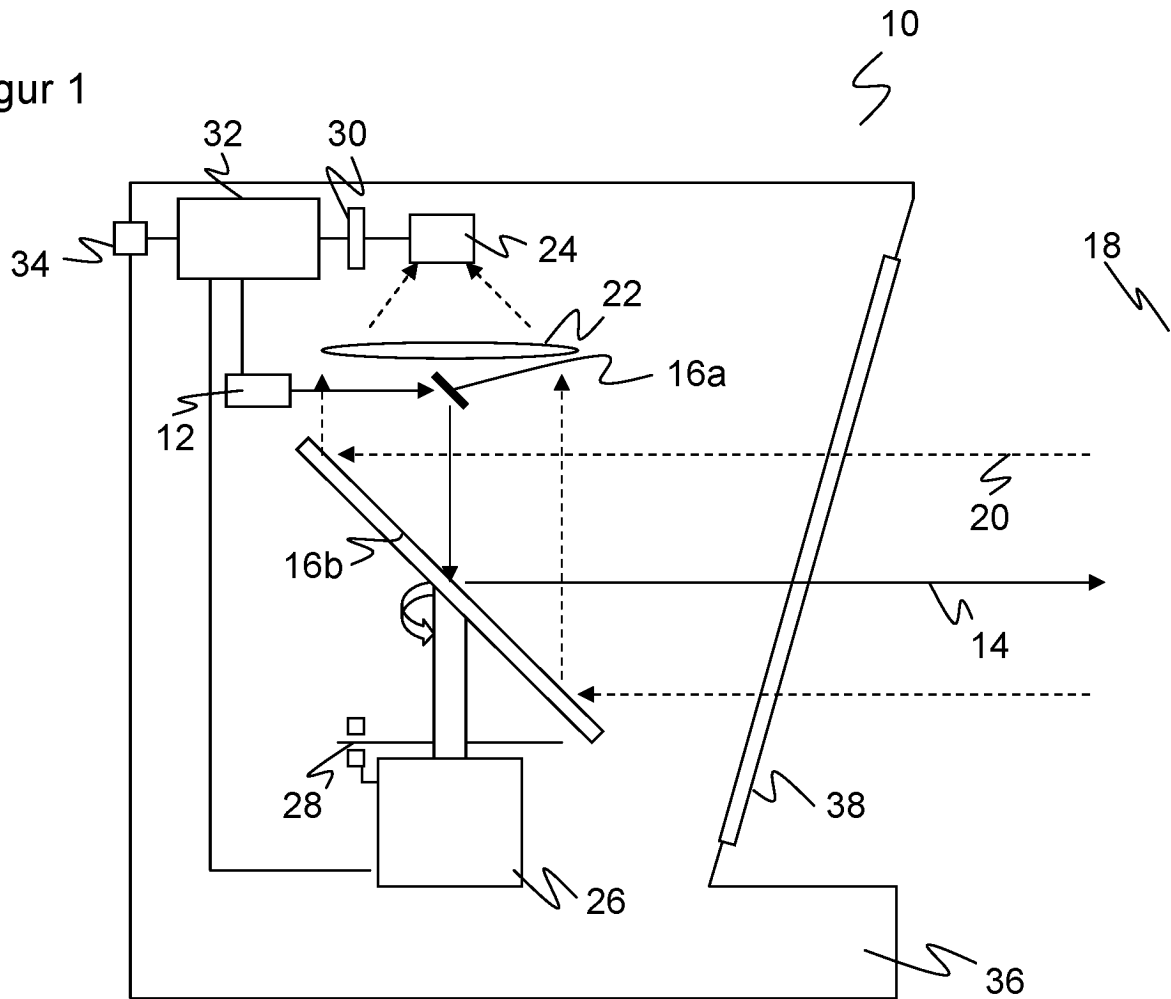


durch gekennzeichnet, dass das Sichttrübungsmaß winkelabhängig für eine Sichttrübung in Richtung des Sendelichtstrahls (**14**) bestimmt wird, der Abstand aus dem gleichen abgetasteten Empfangssignal bestimmt wird wie das Sichttrübungsmaß und das winkelabhängige Sichttrübungsmaß bei der Bestimmung des Abstands berücksichtigt wird, wobei das Sichttrübungsmaß das Ausmaß der Sichttrübung winkelabhängig bewertet und so richtungsabhängig Auskunft über die Messfähigkeit gibt.

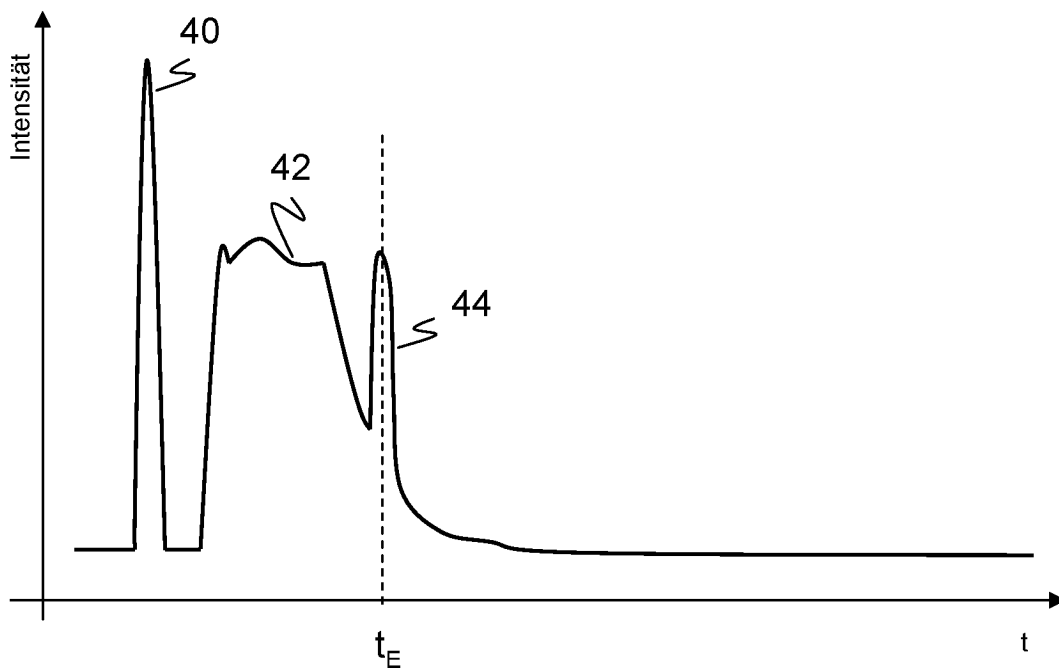
Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

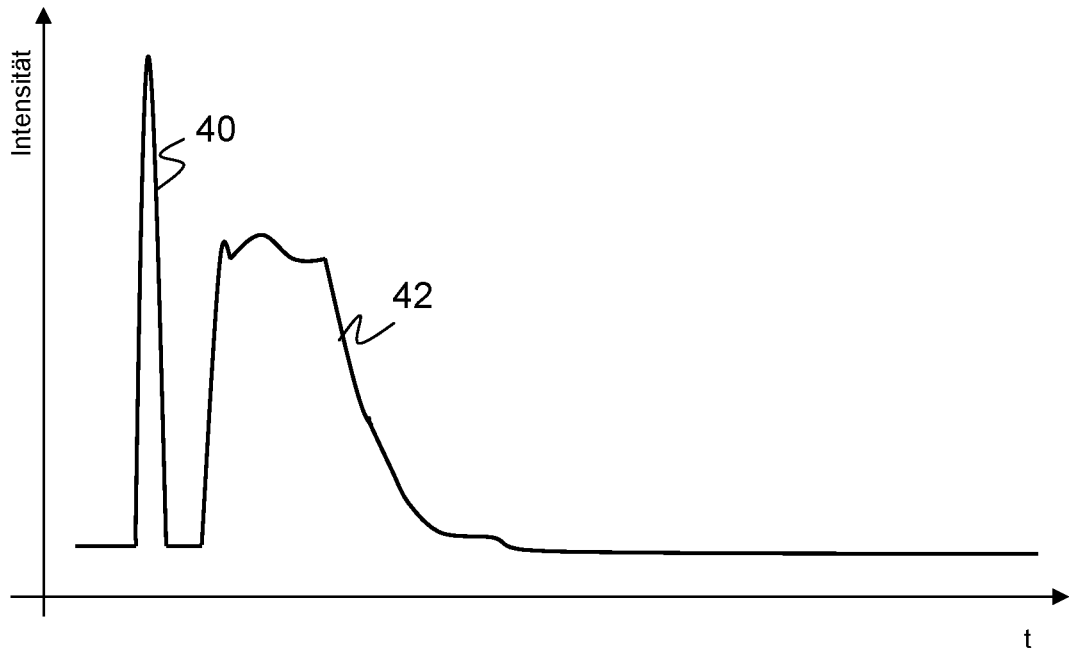
Figur 1



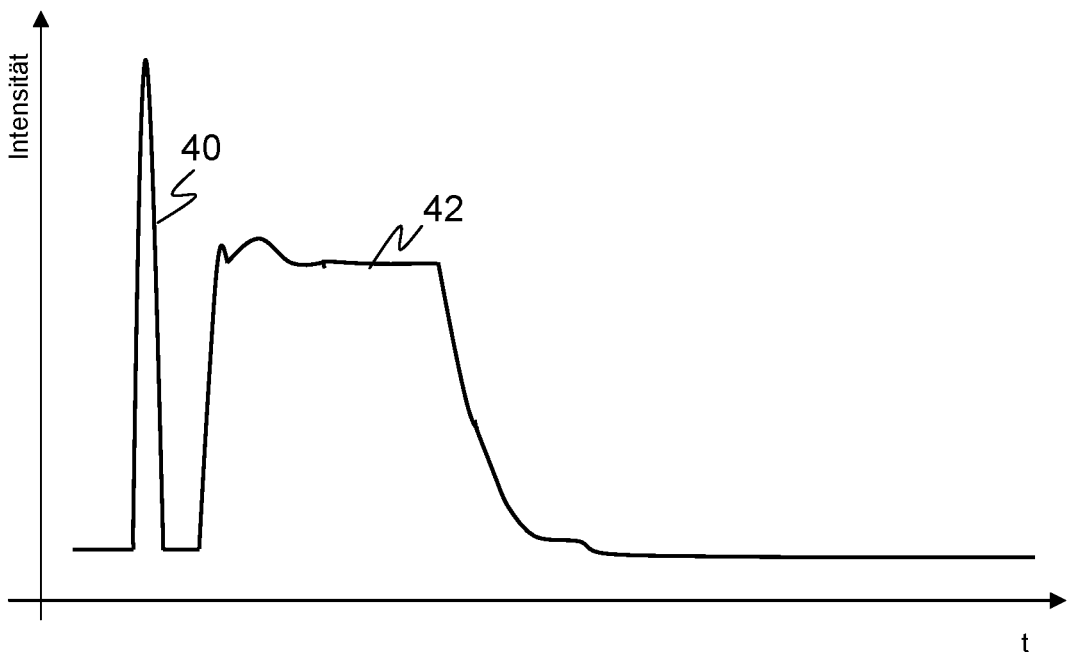
Figur 2



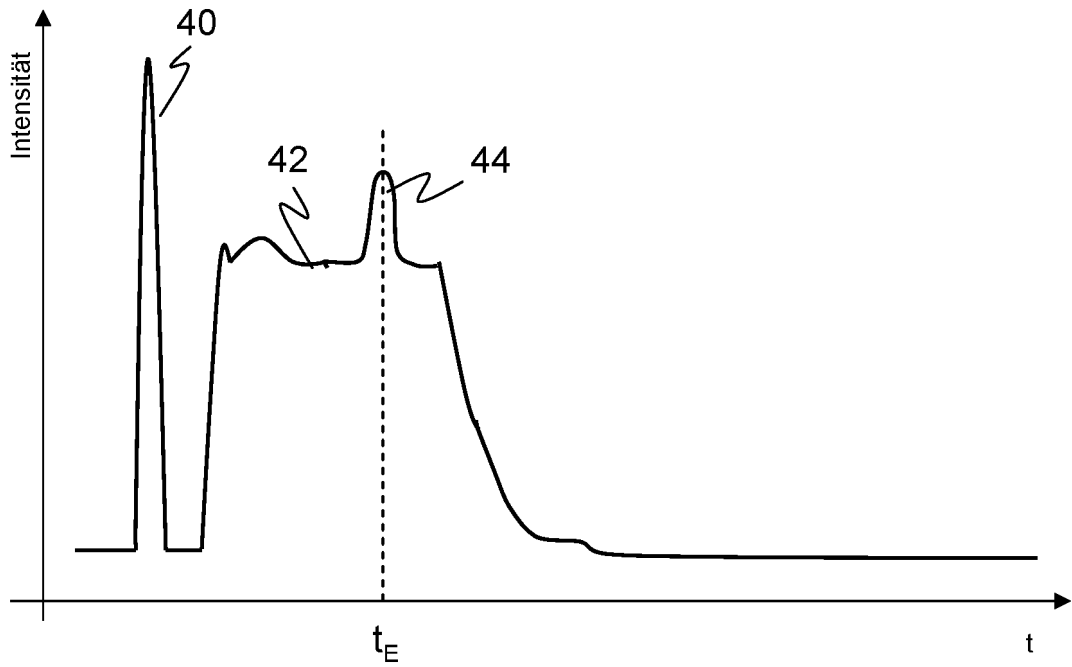
Figur 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6

