

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
20. Juni 2019 (20.06.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/115185 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 17/10 (2006.01) G01S 7/486 (2006.01)  
G01S 17/93 (2006.01) G01S 7/489 (2006.01)  
G01S 7/481 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/081992

(22) Internationales Anmeldedatum:  
20. November 2018 (20.11.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2017 222 972.1  
15. Dezember 2017 (15.12.2017) DE

(71) Anmelder: ZF FRIEDRICHSHAFEN AG [DE/DE]; Löwentaler Straße 20, 88046 Friedrichshafen (DE). **IBEO**

**AUTOMOTIVE SYSTEMS GMBH** [DE/DE]; Merkurring 60-62, 22143 Hamburg (DE).

(72) Erfinder: **BEUSCHEL, Ralf**; Prato-Straße 10/2, 88239 Wangen (DE). **KIEHN, Michael**; Merkurring 60-62, 22143 Hamburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: RECEIVING ARRANGEMENT FOR RECEIVING LIGHT SIGNALS

(54) Bezeichnung: EMPFANGSANORDNUNG ZUM EMPFANG VON LICHTSIGNALEN

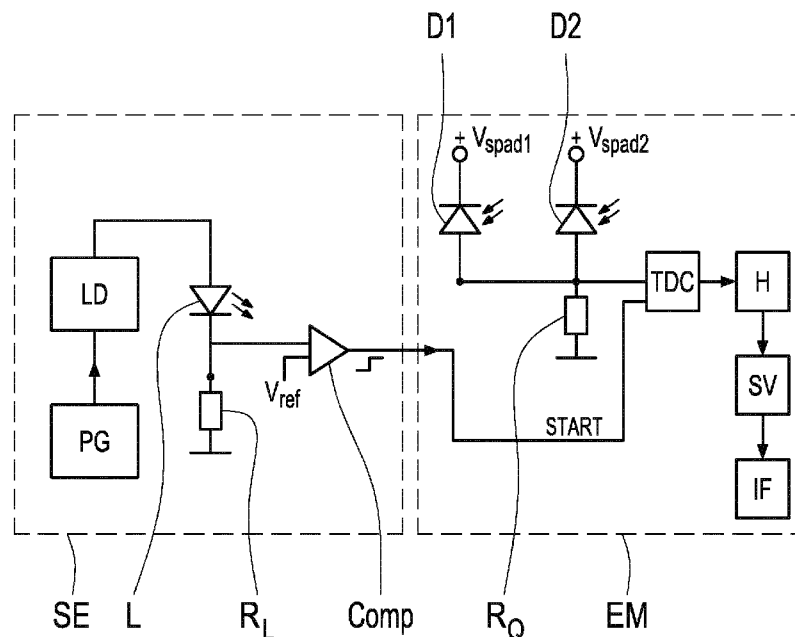


Fig. 2

(57) Abstract: A receiving arrangement for receiving light signals and a method for receiving light signals are proposed, wherein a light receiver is provided, which serves for receiving the light signals and converting them into electrical signals. Furthermore, an evaluation circuit is provided, which, depending on the electrical signals and a start signal for the emission of the light signals, determines a distance between the receiving arrangement and an object at which the light signals are reflected. A characterizing feature is that the light receiver has a first group of light receiving elements (D1), which has a higher sensitivity for receiving the light signals than at least one further group of light receiving elements (D2), wherein the first and the further groups are ready for reception at different times.



WO 2019/115185 A1

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

**(57) Zusammenfassung:** Empfangsanordnung zum Empfang von Lichtsignalen Es wird eine Empfangsanordnung zum Empfang von Lichtsignalen bzw. ein Verfahren zum Empfangen von Lichtsignalen vorgeschlagen, wobei ein Lichtempfänger vorgesehen ist, der zum Empfang der Lichtsignale und wandeln in elektrische Signale dient. Weiterhin ist eine Auswerteschaltung vorgesehen, die in Abhängigkeit von den elektrischen Signalen und einem Startsignal für die Emission der Lichtsignale eine Entfernung zwischen der Empfangsanordnung in einem Objekt, an dem die Lichtsignale reflektiert werden, bestimmt. Kennzeichnend ist, dass der Lichtempfänger eine erste Gruppe von Lichtempfangselementen (D1) aufweist, die eine höhere Empfindlichkeit für den Empfang der Lichtsignale aufweist als wenigstens eine weitere Gruppe von Lichtempfangselementen (D2), wobei die ersten und die weitere Gruppe zu unterschiedlichen Zeiten empfangsbereit sind.

## Empfangsanordnung zum Empfang von Lichtsignalen

Empfangsanordnung zum Empfang von Lichtsignalen und Verfahren zum Empfangen von Lichtsignalen

Die Erfindung betrifft eine Empfangsanordnung zum Empfang von Lichtsignalen bzw. ein Verfahren zum Empfangen von Lichtsignalen nach der Gattung der unabhängigen Patentansprüche.

Aus US 2004/0233942 A1 sind ein System und ein Verfahren zur Messung der Phase eines modulierten optischen Signales bekannt. Dabei werden zum Empfang sogenannte Single-Photon-Detektoren SPDs verwendet. Weiterhin wird angegeben, dass diese Art von Detektoren, zu denen die SPADs (single photon avalanche diodes) gehören, eine sogenannte Totzeit aufweisen.

Die erfindungsgemäße Empfangsanordnung zum Empfang von Lichtsignalen bzw. das erfindungsgemäße Verfahren zum Empfangen von Lichtsignalen mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche haben demgegenüber den Vorteil, dass durch die Verwendung von unterschiedlichen Gruppen von Lichtempfangselementen im Lichtempfänger, die jeweils eine unterschiedliche Empfindlichkeit für den Empfang der Lichtsignale aufweisen, es erreicht wird, in der Totzeit insbesondere während der Eigenblendung empfangsbereit zu sein. Eigenblendung bedeutet, dass die emittierten Lichtsignale die eigene Empfangsanordnung blenden.

Die Überwachung des Nahbereichs bspw. bei einem LiDAR-System ist aus verschiedenen Gründen notwendig: Das Übertragungsverhalten des bspw. einer Glasscheibe, die über der Sende- und Empfangsanordnung angeordnet ist, muss zur Selbstdiagnose des Sensors überwacht werden. Objekte, die direkt vor einem LiDAR-System angeordnet sind, müssen bis auf eine Entfernung von wenigen Zentimetern überwachbar bzw. detektierbar sein, denn solche Objekte dürfen im Nahbereich nicht verschwinden. Die emittierte Lichtleistung muss ggf. reduziert werden, wenn eine Person oder ein anderes Objekt sehr nah am LiDAR-Sensor angeordnet ist. Problematisch ist auch, dass ein reflektierter Lichtimpuls an einer Frontplatte die Lichtemp-

fangselemente, die bspw. als SPAD-Zellen ausgebildet sind, auslösen kann. Nach einer solchen Auslösung haben bspw. die SPAD-Zellen diese sogenannte Totzeit. Dies kann 10-20 Nanosekunden betragen, nach der erst wieder eine erneute Detektion von Lichtsignalen möglich ist. Auch ist während des Versendens der Lichtsignale, die Impulsbreite ist dann bspw. 5 Nanosekunden, ist keine Messung möglich. Durch eine Frontscheibe kann eine direkte optische Rückkopplung zwischen Sender und Empfänger entstehen. Das System ist auf große Reichweiten von mehreren hundert Metern ausgelegt und verwendet daher Lichtsignale mit hoher Energie und sehr empfindliche Empfangselemente. Daher reicht eine geringe Rückstreuung der Frontscheibe von z.B. 1% zur vollständigen Blendung des Empfängers. Bei typischen SPAD Empfangszellen ergibt sich eine Totzeit von 10 bis 20 Nanosekunden, die einem Nahbereich von 1,5 bis 3 Metern entspricht, in dem kein Objekt erkannt werden könnte. Neben dem LiDAR-System ist die Erfindung auch für verwandte Systeme einsetzbar.

Die erfindungsgemäße Empfangsanordnung kann als eine Baugruppe bspw. ausgebildet sein, die als solche bspw. in ein Fahrzeug zu Umfelderkennung eingebaut wird. Es ist möglich, dass die Empfangsanordnung jedoch auch verteilt ausgebildet ist, d. h. aus verschiedenen Baugruppen oder Bauteilen. Zumindest Teile der Empfangsanordnung oder auch ganz können als integrierte Schaltkreis oder insbesondere als ein einziger Schaltkreis ausgebildet sein.

Bei den Lichtsignalen handelt es sich vorzugsweise um periodische Lichtsignale, die also mit einer bestimmten Wiederholfrequenz abgestrahlt werden. Dabei werden bspw. Laserimpulse mit einer Periode im Mikrosekundenbereich versendet, wobei die Impulsbreite des Laserimpulses bspw. einige Nanosekunden beträgt. Diese Lichtsignale werden vorzugsweise mit Halbleiterlasern bspw. sogenannten VCSEL (vertical cavity surface emitting laser) erzeugt.

Bei dem Lichtempfänger handelt es sich um eine Einrichtung, die mehrere Lichtempfangselemente aufweist. Erfindungsgemäß gibt es zumindest zwei Gruppen von solchen Lichtempfangselementen. Eine erste Gruppe von Lichtempfangselementen weist eine höhere Empfindlichkeit auf als wenigstens eine weitere Gruppe von sol-

chen Lichtempfangselementen. Die erste Gruppe wird für den Fernbereich verwendet und die wenigstens eine weitere Gruppe für den Nahbereich. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass durch das Auftreten der sogenannten Totzeit bei bspw. SPADs die Deaktivierung der SPADs mit höherer Empfindlichkeit während bspw. der Laseremissionsphase und dabei dann die Aktivierung der SPADs mit niedriger Empfindlichkeit auch der Nahbereich zuverlässig erfasst werden kann. Mit dem Nahbereich sind dann Entfernungen von wenigen Zentimetern bis 3 Meter gemeint.

Bei der Auswerteschaltung kann es sich um eine Kombination aus Software- und Hardwarekomponenten handeln oder auch nur Software- oder nur Hardware-Bausteine. Diese Auswerteschaltung kann aus mehreren Bausteinen bestehen oder auch nur einen einzigen aufweisen. Die Lichtempfangselemente wandeln die Lichtsignale in elektrische Signale, diese elektrischen Signale werden zur Bestimmung der Entfernung zwischen der Empfangsanordnung und einem Objekt, an dem die Lichtsignale reflektiert wurden, verwendet. Für die Entfernungsbestimmung wird zusätzlich ein Startsignal, das den Zeitpunkt der Lichtemission markiert und die Messung startet. Dieses Startsignal kann elektrisch oder optisch aus der Lichtpulserzeugung ausgekoppelt werden.

Bei dem Objekt kann es sich um ein anderes Fahrzeug, ein feststehendes Objekt wie einen Baum oder Personen oder andere Dinge handeln. Die Entfernungsbestimmung wird üblicherweise bis zu einer Entfernung von 300 Metern im Fahrzeugbereich vorgenommen. Als Messprinzip wird das sogenannte Time-of-flight-Prinzip verwendet. Um die 300 Meter dabei zu realisieren ist eine Zeitperiode von 2 Mikrosekunden erforderlich.

Der Lichtempfänger weist eine Gruppe von Lichtempfangselementen auf, d. h. es sind wenigstens 2 Lichtempfangselemente pro Lichtempfänger vorhanden. Üblicherweise sind es jedoch deutlich mehr, sodass ein ganzes Feld von bspw. Photodioden vorliegt - ein sogenanntes Array, das vorzugsweise spaltenweise ansteuerbar ist und zwar so, dass wenn bei dem Laserarray eine Spalte angesteuert wird, auch die entsprechende Spalte im Lichtempfängerarray angesteuert wird. D. h. wird die erste

Spalte im Laserarray angesteuert, wird auch die erste Spalte im Lichtempfängerarray angesteuert.

Unter der Empfindlichkeit der Lichtempfangselemente für den Empfang von Lichtsignalen ist zu verstehen, wie der Zusammenhang zwischen eingestrahlttem Licht und dem Ausgangssignal aussieht. Bei analogen Photodetektoren bedeutet eine niedrige Empfindlichkeit, dass mehr Licht erforderlich ist, um den gleichen Photostrom zu bewirken, als bei solchen Lichtempfangselementen mit höherer Empfindlichkeit. Bei SPAD Photodetektoren weisen Photozellen mit niedriger Empfindlichkeit eine niedrigere Wahrscheinlichkeit für die Detektion eines Photons auf als Empfangszellen mit hoher Empfindlichkeit.

Dadurch dass die erste und die zweite Gruppe der Lichtempfangselemente zu unterschiedlichen Zeiten empfangsbereit sind, ist gegeben, dass die Gruppen niemals gleichzeitig Licht empfangen. D. h. es liegt eine disjunkte Ansteuerung der Empfangsbereitschaft der beiden Gruppen vor. Empfangsbereit heißt, dass das Lichtempfangselement empfangene Lichtsignale in elektrische Signale wandeln kann und entsprechend ausgewertet werden.

Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Empfangsanordnung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Empfang von Lichtsignalen möglich.

Es ist vorteilhaft, dass die weitere Gruppe in Abhängigkeit von dem Startsignal einer Sendeschaltung zum Versenden der Lichtsignale empfangsbereit ist. D. h. die Empfangsanordnung empfängt von einer Senderschaltung, die also üblicherweise das Lichtsignal mittels eines Halbleiter-Laserarrays ausgibt, ein elektrisches und/oder optisches Startsignal, das dazu verwendet wird, die Empfangsbereitschaft der weiteren Gruppe zu schalten. Dies bedeutet dann insbesondere, dass diese weitere Gruppe empfangsbereit ist, wenn dieses Startsignal anzeigt, dass Lichtsignale versendet werden. In diesem Zeitraum ist dann die erste Gruppe nicht empfangsbereit.

Vorteilhafterweise wird die niedrigere Empfindlichkeit der weiteren Gruppe durch eine Maskierung erreicht, indem vor jedem Lichtempfangselement dieser weiteren Gruppe eine verkleinerte Öffnung vorgesehen ist im Vergleich zu der Öffnung der Maskierung vor den Lichtempfangselementen der ersten Gruppe. Durch solche eine verkleinerte Öffnung bzw. Apertur wird die auf das Lichtempfangselement auftreffende Lichtenergie reduziert. Damit geht dann eine Reduzierung der Empfindlichkeit einher. Solch eine Öffnung wird in der Optik mit Apertur bezeichnet.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Maskierung unterschiedlich ist, d. h. die Öffnungen sind verschieden groß. Die Öffnungen können bspw. im Verhältnis von 1:5, 1:20 bzw. 1:100 ausgebildet im Verhältnis zu den Öffnungen der ersten Gruppe sein. Der Grund hierfür ist, dass im Nahbereich die räumliche Auflösung nicht erforderlich ist, aber die Dynamik kritisch, denn es liegt eine hohe Signalenergie in diesem Nahbereich vor. Sind Objekte sehr nah an der Empfangsanordnung wird auch sehr viel Licht reflektiert und ist nicht durch die größere Entfernung gedämpft bzw. die Streuung ist geringer.

Darüber hinaus ist es vorteilhaft, dass die Lichtempfangselemente der ersten Gruppe direkt an der Position der empfangenen Lichtsignale bei unendlicher Objektdistanz angeordnet sind. Die Lichtempfangselemente der weiteren Gruppe sind versetzt zu den Lichtempfangselementen der ersten Gruppe angeordnet, sodass die Lichtempfangselemente der weiteren Gruppe außerhalb der Position der empfangenen Lichtsignale bei unendlicher Objektdistanz liegen. Dies hat den Vorteil, dass im Nahbereich die Lichtsignale und die Lichtempfangselemente nicht im Fokus liegen. Außerdem ist es auch nicht notwendig, dass in diesem Nahbereich eine korrekte räumliche Überlappung von der Empfangsanordnung und der Sendeeinrichtung vorliegt.

Weiterhin ist es vorteilhaft, dass die Lichtempfangselemente Single-Photon-Avalanche-Dioden aufweisen. Diese SPADs sind mit einer hohen Sperrspannung versehen, sodass bereits ein Photon ausreichen kann, um den Lawineneffekt in diesen Dioden auszulösen. In LiDAR-Anwendungen kann es sein, dass verschiedene solcher Dioden zu Makrodioden zusammengefasst werden, indem die Ausgangssignale miteinander bspw. verodert werden oder aufsummiert werden. Solche Single-

Photon-Avalanche-Dioden werden üblicherweise aus Silizium hergestellt. Es sind jedoch auch Verbindungshalbleiter möglich. Der Betriebsmodus solcher Dioden wird auch als Geigermodus bezeichnet.

Weiterhin ist es vorteilhaft, dass die elektrischen Signale der ersten und der weiteren Gruppe mit wenigstens einem logischen Oder-Gatter verknüpft werden. Durch eine solche Verknüpfung ist es möglich, die Signalverarbeitung einfach zu halten, da der gleiche Signalverarbeitungsstrang für verschiedene Gruppen von Dioden oder einzelnen Dioden verwendet werden kann.

Weiterhin ist es vorteilhaft, dass die Maskierung Metall aufweist. Diese Maskierung aus Metall oder zumindest teilweise aus Metall kann aufgedampft werden bspw. auf eine Glasplatte oder auch direkt auf den Halbleiter und dann mit Photolackstrukturierung wieder entfernt werden und entsprechenden Ätzworgängen. Auch eine elektrolytische Aufbringung solch einer Metallisierung ist möglich.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Anordnung von LiDAR-Modulen in einem Fahrzeug,

Fig. 2 in einem Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Empfangsanordnung mit einer angeschlossenen Sendeeinrichtung,

Fig. 3 einer ersten Konfiguration der beiden Gruppen von Lichtempfangselementen,

Fig. 4 eine weitere Konfiguration der beiden Gruppen von Lichtempfangselementen und

Fig. 5 ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens.

In Fig. 1 zeigt ein Fahrzeug V, das sich in die Richtung R bewegt. Das Fahrzeug V weist die LiDAR-Module Li1 bis Li6 auf. Bei einem LiDAR-Modul handelt es sich um eine Sendeeinrichtung zur Versendung von Lichtsignalen und der erfindungsgemäßen Empfangsanordnung zum Empfang von den dann reflektierten Lichtsignalen. Diese LiDAR-Module erfassen die Umgebung des Fahrzeugs V. Es können mehr



oder weniger LiDAR-Module verwendet werden und auch an weiteren Stellen des Fahrzeugs V. Daher wird das Objekt OB durch das LiDAR-Modul Li1 erfasst. Durch eine Entfernungsbestimmung und entsprechende Charakterisierung anhand der Bewegungsparameter des Objekts ist es möglich, auf eine mögliche Kollision zu schließen und entsprechende Bewegungen des Fahrzeugs V zu beeinflussen, um nicht mit dem Objekt OB zu kollidieren.

Die LiDAR-Module Li1 bis Li6 weisen eine erfindungsgemäße Empfängeranordnung auf und eine Sendereinrichtung, die wie oben beschrieben mit einem Laserarray die Laserimpulse versendet, um die am Objekt OB reflektierten Laserimpulse dann mit einem SPAD-Array zu empfangen und dann entsprechend mit der zeitkorrelierten Photonen-zählung auszuwerten, um die Entfernung zwischen dem Objekt OB und dem Fahrzeug V zu bestimmen. Dafür wird die Time-of-Flight-Methode verwendet. Die Objektdetektion kann vorliegend beispielsweise mit dem Messprinzip TCSPC (Time-Correlated Single Photon Counting) vorgenommen werden. Diese in Deutsch als zeitkorrelierte Photonen-zählung bezeichnete Messmethode ist eine Technik zur Messung sich zeitlich schnell ändernder Lichtintensitäten. Dabei wird eine Messung vielfach wiederholt und die einzelnen zeitlich korrelierten Photonen in Bezug zum Anregungsimpuls werden entsprechend ihrer gemessenen Zeit in ein sogenanntes TCSPC-Histogramm einsortiert. Dieses besitzt typischerweise eine zeitliche Kanalauf-  
lösung bzw. Klassenbreite von 0,1 bis 1 ns und gibt den zeitlichen Verlauf des von einem Laserpuls zurückgestreuten Lichts wieder. Dadurch gelingt eine sehr genaue Zeitmessung des Laserimpulses. Bspw. wird ein Objekt von einer Sendeeinrichtung mit vielen Photonen getroffen, die dann durch die Empfängeranordnung empfangen werden. Durch das häufige Wiederholen dieser Photonenbestimmung ist es möglich, den Lichtimpuls bzgl. seiner Flugzeit und Amplitude genau zu bestimmen. Nachdem die Messung abgeschlossen wurde, werden die Zeiten der lokalen Maximalwerte im Histogramm ermittelt. Die zeitliche Lage der Maximalwerte ermöglicht die Distanzmessung zu einem oder mehreren Objekten.

Fig. 2 zeigt in einem Blockschaltbild die erfindungsgemäße Empfangsanordnung EM, die mit einer Senderschaltung SE verbunden ist. Die Senderschaltung SE weist einen Puls-generator PG auf, der einen Lasertreiber LD ansteuert. Wie oben dargestellt

ist es vorteilhaft, wenn die Lichtsignale in Pulsen mit einer Impulsbreite des Impulspaketes von 5 Nanosekunden mit einer Zeitperiode von 2 Mikrosekunden ausgestrahlt werden. Daher ist ein Pulsgenerator, der hardware- und/oder softwaretechnisch erstellt werden kann, von Vorteil.

In Fig. 2 ist beispielhaft ein Lasertreiber dargestellt, der ein elektrisches Startsignal für die zeitkorrelierte Photonenmessung bereitstellt. Das Startsignal kann aber auch auf andere Art und Weise bereitgestellt werden. Beispielsweise ist es auch möglich, direkt das Signal des Pulsgenerators zu verwenden, wenn die Verzögerungszeit des Lasertreibers konstant ist.

Der Lasertreiber LD setzt dieses um, indem er die Laserdioden L im Halbleiterlasersarray mit einem entsprechenden Pulsstrom versorgt. Die Laserdioden L sind über einen Widerstand RL, der einen Shuntwiderstand darstellt, gegen Masse geschaltet. Strombegrenzung darstellt, gegen Masse geschaltet. Zwischen den Laserdioden L und dem Shuntwiderstand RL wird das Ausgangssignal auf einen Komparator Comp gegeben, wo dieses Ausgangssignal mit einer Referenzspannung Vref verglichen wird. Das Startsignal START wird in der Empfangsanordnung verwendet, um mittels einer Zeit-Digital-Wandlung (TDC) die Zeitpunkte der Photonenergebnisse bezogen auf die Lichtaussendung zu messen und diese in einem Histogramm H zu akkumulieren.

In Abhängigkeit von diesem Signal werden dann die einzelnen Empfängerdioden angesteuert. Dieses Startsignal Start ist der Empfangsanordnung EM auf eine Zeit-Digital-Wandlung TDC gegeben, um die Signalverarbeitung auszulösen. Dieses Startsignal wird aber weiterhin, wie hier nicht dargestellt ist, dazu genutzt während der Emission der Laserimpulse die weitere Gruppe von SPADs, hier mit D2 symbolisch bezeichnet, empfangsbereit zu schalten. In diesem Zeitabschnitt werden die Dioden D1 nicht auf Empfangsbereitschaft geschaltet. Sie sind also gesperrt. Nur die Dioden D2 können in diesem Zeitraum Lichtsignale in elektrische Signale wandeln. Diese weitere Gruppe der SPADs D2 weist eine niedrigere Empfindlichkeit für den Empfang von Lichtsignalen aus als die erste Gruppe von SPADs D1. Beispielhaft

sind hier beide SPADs D1 und D2 über eine einfache Verknüpfung, die eine Oderverknüpfung darstellt, an die Zeit-Digital-Wandlung TDC angeschlossen.

Weiterhin sind sie an einen sogenannten Quench-Widerstand RQ angeschlossen, der wiederum gegen Masse geschaltet ist. Über den Quenchwiderstand RQ erfolgt das sogenannte Quenching: Der Lawineneffekt wird gedrosselt und letztlich gestoppt, vorliegend durch den Widerstand RQ. Auch dies geschieht in einer Zeit, die sehr viel kleiner als 1 ns ist. Dieses Quenchen ist notwendig, um die Selbstzerstörung der Photodiode zu verhindern. Das Quenchen mit einem Widerstand wird als passives Quenchen bezeichnet. Nach dem Stoppen des Lawineneffekts wird die SPAD Zelle über den Widerstand wieder auf die höhere Biasspannung Vspad1 bzw. Vspad2 aufgeladen.

Die Dioden D1 werden vor, mit oder nach dem Sendeimpuls auf Empfangsbereitschaft geschaltet und dann werden die Dioden D2 in den Sperrbetrieb gegeben und sind dann nicht mehr empfangsbereit. Diese nicht Empfangsbereitschaft wird dadurch erzielt, dass die Spannung SPAD1 bzw. Vspad2 kurz unter der Durchbruchspannung gelegt wird.

Diese Ansteuerung der Spannungen wird durch ein nicht dargestellten Steuerbaustein oder eine Steuersoftware über entsprechende Hardware bewirkt. Werden dann in diesen disjunkten Zeitabschnitten durch eine der Gruppen von Lichtempfangselementen Lichtsignale in elektrische Signale gewandelt, ist ein sogenanntes Eventsignal vorhanden, das in die Zeit-Digital-Wandlung TDC eingeht. Mit dem Startsignal wird auch das Taktsignal für die Zeit-Digital-Wandlung TDC entsprechend eingestellt. Die Zeit-Digital-Wandlung TDC kann auch mit Hilfe des Startsignals bestimmen, welcher Zeit das Eventsignal zuzuordnen ist, d. h. wie lange haben die Photonen gebraucht, um von der Sendeeinrichtung SE zur Empfangseinrichtung EM zu gelangen. Diese Zeit für dieses Event wird dann in einem Histogramm H abgelegt. Das wird oft wiederholt. Ist der Zeitabschnitt bzw. die Zeitperiode vergangen, wird durch eine Maximumsuche im Histogramm die Entfernung, die durch die abgelegte Zeit bestimmt wird, die das stärkste Signal aufweist, also die größte Photonenanzahl aufweist. Daraus wird dann in der Signalverarbeitung SV die Entfernung bestimmt und über

den Schnittstellenbaustein IF weitergegeben. Daraus können dann entsprechende Fahrfunktionen abgeleitet werden. Damit ist eine sogenannte zeitkorrelierte Photonen-zählung realisiert.

Fig. 3 zeigt eine erste Konfiguration der beiden Gruppen von Lichtempfangselementen. Die erste Gruppe ist mit SPAD1 bezeichnet und die zweite Gruppe mit SPAD2, die eine Apertur in der Mitte aufweisen. Dargestellt ist auch durch den Kreis ein sogenannter Leuchtfleck, indem manche SPADs die schwarz gezeichnet sind, dann auch Lichtsignale in elektrische Signale wandeln. Die grauen SPAD1-Dioden sind nicht durch das Lichtsignal aktiviert. Kennzeichnend ist, dass die SPAD2 jeweils die gleiche Apertur aufweisen.

In Fig. 4 ist eine Variante gezeigt. Hier ist die erste Gruppe von SPADs mit SPAD41 bezeichnet, wobei wiederum die schwarz gefärbten, die aktivierten SPADs sind. Die weitere Gruppe von SPADs wird durch die Sechsecke mit unterschiedlich großen Aperturen bezeichnet, die mit SPAD42, 43, 44 bezeichnet sind. Wie oben angegeben, können diese Aperturen Verhältnisse aufweisen von bspw. 1:5, 1:20 und 1:100. Für jede Aperturgröße und damit einhergehende Empfindlichkeitsstufe ergibt sich so eine reduzierte räumliche Auflösung. Der Grund hierfür ist, dass im Nahbereich die Vertikalauflösung nicht notwendig ist, aber der Dynamikumfang ist kritisch wegen der hohen Signalenergie.

Fig. 5 zeigt ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens. In Verfahrensschritt 500 werden die Lichtsignale empfangen und gewandelt. In Verfahrensschritt 502 erfolgt eine Entfernungsbestimmung. Dabei werden jeweils 2 Gruppen von SPADs wie oben dargestellt, jeweils empfangsbereit geschaltet. Während der Emission von Lichtsignalen werden die SPADs empfangsbereit geschaltet, die eine niedrigere Empfindlichkeit bzgl. des Empfangs von Lichtsignalen haben. Ansonsten werden die SPADs mit höherer Empfindlichkeit geschaltet. Damit wird erreicht, dass auch eine Nahbereichsdetektion, die notwendig bspw. für den Fahrzeugbetrieb ist, möglich wird.

Bezugszeichen

OB	Objekt
R	Richtung
Li1-6	Lidarmodule
V	Fahrzeug
SE	Senderschaltung
PG	Pulsgenerator
LD	Lasertreiber
L	Laser
RL	Widerstand
Comp	Komparator
Vref	Referenzspannung
D1,2	Lichtempfangselement
VSPAD	Vorspannung Lichtempfangselement
RQ	Quenchwiderstand
TDC	Zeit-Digital-Wandlung
H	Histogramm
SV	Signalverarbeitung
IF	Schnittstelle
SPAD	Single Photon Avalanche Diode
500,502	Verfahrensschritt

### Patentansprüche

1. Empfangsanordnung (EM) zum Empfang von Lichtsignalen mit:
  - einem Lichtempfänger zum Empfang der Lichtsignale und Wandeln in elektrische Signale,
  - einer Auswerteschaltung, die in Abhängigkeit von elektrischen Signalen und einem Startsignal für die Emission der Lichtsignale eine Entfernung zwischen der Empfangsanordnung und einem Objekt bestimmt, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtempfänger eine erste Gruppe von Lichtempfangselementen aufweist, die eine höhere Empfindlichkeit für den Empfang der Lichtsignale aufweist als wenigstens eine weitere Gruppe von Lichtempfangselementen, wobei die erste und die zweite und die weitere Gruppe zu unterschiedlichen Zeiten empfangsbereit sind.
2. Empfangsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die weitere Gruppe in Abhängigkeit von dem Startsignal empfangsbereit ist.
3. Empfangsanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass dieses Startsignal das Versenden der Lichtsignale anzeigt, sodass die weitere Gruppe zumindest während dem Versenden der Lichtsignale empfangsbereit ist.
4. Empfangsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die weitere Gruppe maskiert sind, indem vor jedem Lichtempfangselement der Gruppen eine Öffnung vorgesehen ist.
5. Empfangsanordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass verschiedene Öffnungen vorgesehen sind, wobei die Öffnungen der weiteren Gruppe kleiner als die der ersten Gruppe sind.
6. Empfangsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtempfangselemente der weiteren Gruppe versetzt zu den Lichtempfangselementen der ersten Gruppe angeordnet sind, sodass die Lichtempfangselemente der weiteren Gruppe außerhalb der Position der empfangenen Lichtsignale bei unendlicher Objektdistanz liegen.

7. Empfangsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtempfangselemente Single-Photon-Avalanche-Dioden (SPAD) sind.
8. Empfangsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Signale der ersten und der weiteren Gruppe wenigstens mit einem logischen Oder-Glied verknüpft werden.
9. Empfangsanordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Maskierung Metall aufweist.
10. Verfahren zum Empfang von Lichtsignalen mit folgenden Verfahrensschritten:
  - Empfang der Lichtsignale und Wandeln in elektrische Signale mit einem Lichtempfänger,
  - Bestimmen einer Entfernung zwischen dem Lichtempfänger und einem Objekt in Abhängigkeit von den elektrischen Signalen und einem Startsignal für die Emission der Lichtsignale, dadurch gekennzeichnet, dass zu unterschiedlichen Zeiten eine erste Gruppe von Lichtempfangselementen oder wenigstens eine weitere Gruppe von Lichtempfangselementen empfangsbereit sind, wobei die Lichtempfangselemente der ersten Gruppe eine höhere Empfindlichkeit für den Empfang der Lichtsignale aufweisen, als die Empfangselemente der wenigstens einer weiteren Gruppe.

1/3

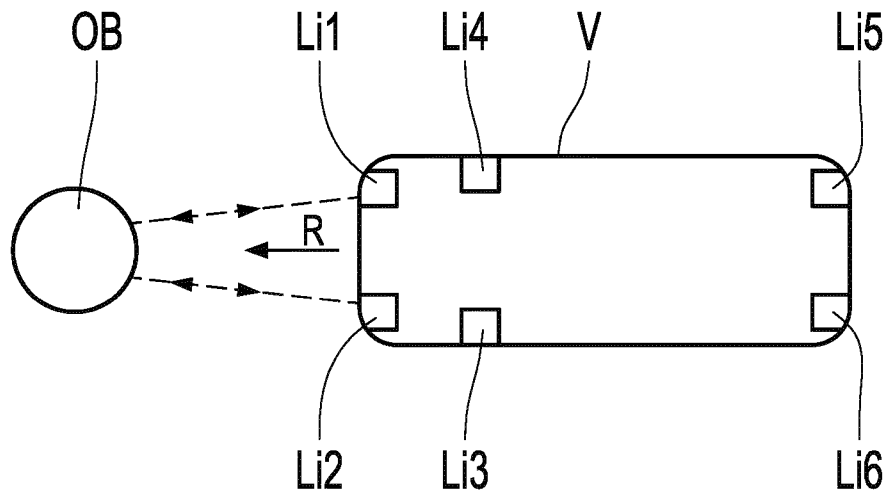


Fig. 1

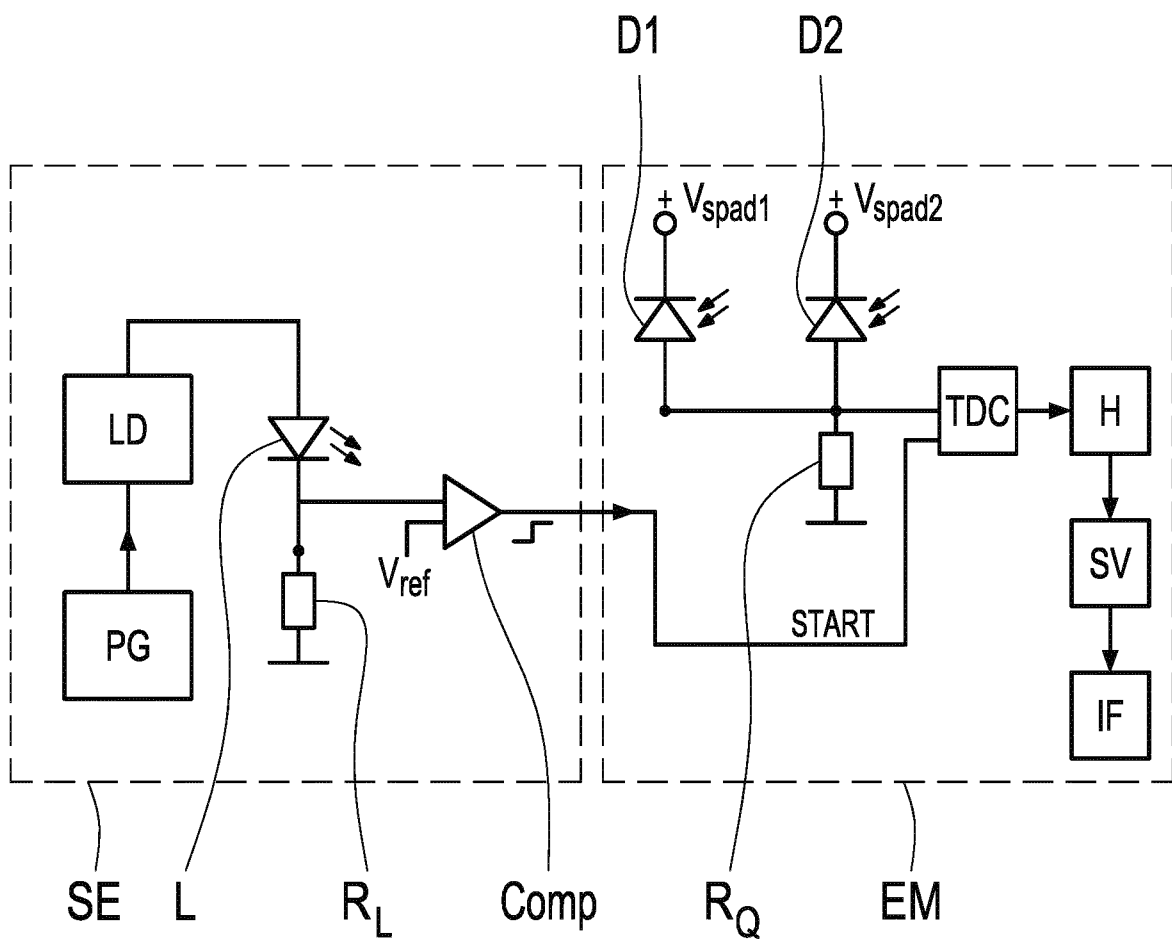


Fig. 2



2/3

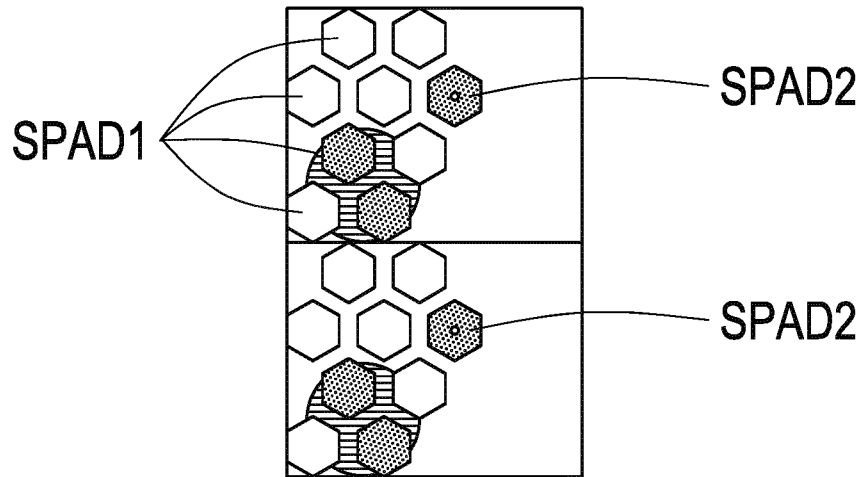


Fig. 3

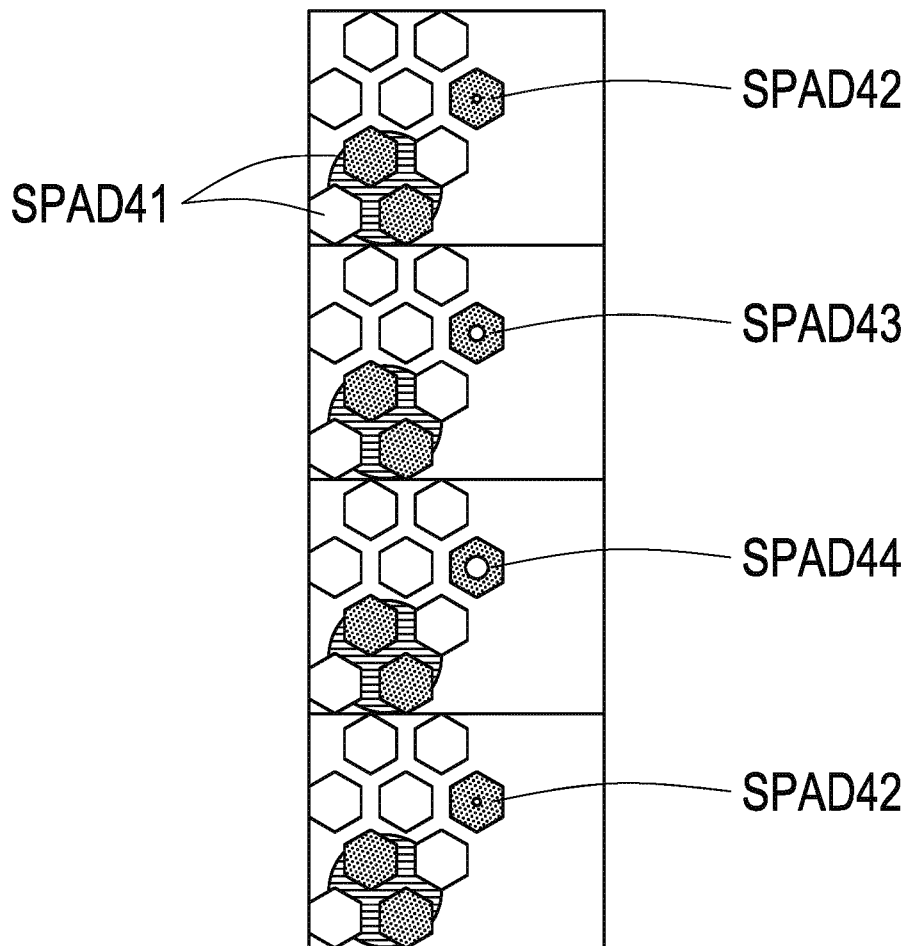


Fig. 4

3/3

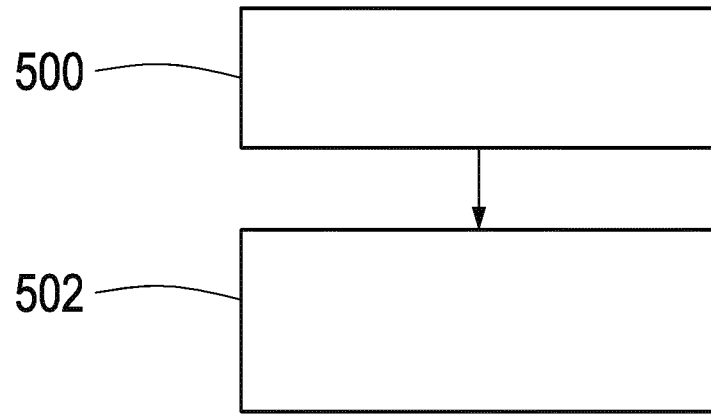


Fig. 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2018/081992**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>G01S 17/10(2006.01)i; G01S 17/93(2006.01)i; G01S 7/481(2006.01)i; G01S 7/486(2006.01)i; G01S 7/489(2006.01)i</b>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102014207599 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 29 October 2015 (2015-10-29) paragraph [0064] - paragraph [0066]; figures 6a,b paragraph [0040] - paragraph [0063]; figures 1-5	1-3,7,8,10
Y	US 2016266253 A1 (KUBOTA HIROSHI [JP]) 15 September 2016 (2016-09-15) paragraph [0020] - paragraph [0053]; figures 1-5	1-10
Y	DE 102006013290 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 27 September 2007 (2007-09-27) paragraph [0015] - paragraph [0018] paragraph [0065] - paragraph [0067]; figure 3	1-10
Y	US 2016284743 A1 (MELLOT PASCAL [FR] ET AL) 29 September 2016 (2016-09-29) paragraph [0024] - paragraph [0041]; figures 1-7	5,9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>30 January 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>14 February 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Kaleve, Abraham</b>  Telephone No.

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

International application No.

**PCT/EP2018/081992**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102014207599	A1	29 October 2015	CN	105043539	A	11 November 2015
				DE	102014207599	A1	29 October 2015
US	2016266253	A1	15 September 2016	JP	2016170114	A	23 September 2016
				US	2016266253	A1	15 September 2016
DE	102006013290	A1	27 September 2007	CN	101405565	A	08 April 2009
				DE	102006013290	A1	27 September 2007
				EP	2002208	A1	17 December 2008
				US	2009009747	A1	08 January 2009
				WO	2007107408	A1	27 September 2007
US	2016284743	A1	29 September 2016	FR	3034204	A1	30 September 2016
				US	2016284743	A1	29 September 2016
				US	2018026058	A1	25 January 2018

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01S17/10 G01S17/93 G01S7/481 G01S7/486 G01S7/489 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01S		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2014 207599 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 29. Oktober 2015 (2015-10-29) Absatz [0064] - Absatz [0066]; Abbildungen 6a,b Absatz [0040] - Absatz [0063]; Abbildungen 1-5 -----	1-3,7,8, 10
Y	US 2016/266253 A1 (KUBOTA HIROSHI [JP]) 15. September 2016 (2016-09-15) Absatz [0020] - Absatz [0053]; Abbildungen 1-5 -----	1-10
Y	DE 10 2006 013290 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 27. September 2007 (2007-09-27) Absatz [0015] - Absatz [0018] Absatz [0065] - Absatz [0067]; Abbildung 3 ----- -/--	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
30. Januar 2019	14/02/2019	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Kaleve, Abraham	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2016/284743 A1 (MELLOT PASCAL [FR] ET AL) 29. September 2016 (2016-09-29) Absatz [0024] - Absatz [0041]; Abbildungen 1-7  -----	5,9

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/081992

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102014207599 A1	29-10-2015	CN 105043539 A DE 102014207599 A1	11-11-2015 29-10-2015
-----			
US 2016266253 A1	15-09-2016	JP 2016170114 A US 2016266253 A1	23-09-2016 15-09-2016
-----			
DE 102006013290 A1	27-09-2007	CN 101405565 A DE 102006013290 A1 EP 2002208 A1 US 2009009747 A1 WO 2007107408 A1	08-04-2009 27-09-2007 17-12-2008 08-01-2009 27-09-2007
-----			
US 2016284743 A1	29-09-2016	FR 3034204 A1 US 2016284743 A1 US 2018026058 A1	30-09-2016 29-09-2016 25-01-2018
-----			