



(10) **DE 10 2021 109 727 A1** 2022.10.20

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 109 727.4**

(22) Anmeldetag: **19.04.2021**

(43) Offenlegungstag: **20.10.2022**

(51) Int Cl.: **G01S 7/481 (2006.01)**

**G01S 17/931 (2020.01)**

(71) Anmelder:  
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,  
80809 München, DE**

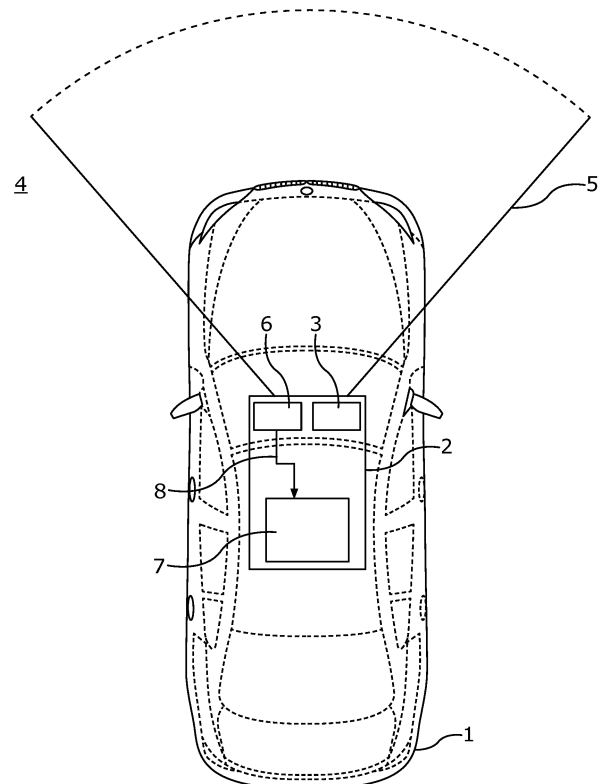
(72) Erfinder:  
**Fischer, Jonathan, Dr., 80687 München, DE**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Lidar-Sensor für ein Fahrzeug mit Empfangselement zum Fokussieren in einem Brennpunktbereich, Fahrzeug umfassend einen Lidar-Sensor sowie Verfahren zum Betreiben eines Lidar-Sensors**

(57) Zusammenfassung: Ein erfindungsgemäßer Lidar-Sensor für ein Fahrzeug umfasst eine optische Sendeeinrichtung zum Abtasten einer Umgebung des Fahrzeugs innerhalb eines vorbestimmten Erfassungsbereichs mittels einzelner Laserstrahlen. Der Lidar-Sensor umfasst darüber hinaus eine optische Empfangseinrichtung, welche ein Empfangselement zum Empfangen der in der Umgebung reflektierten einzelnen Laserstrahlen und einen Detektor zum Wandeln der reflektierten einzelnen Laserstrahlen in ein elektrisches Signal umfasst. Zudem umfasst der Lidar-Sensor eine Auswerteeinrichtung zum Bestimmen einer Repräsentation der Umgebung in dem Erfassungsbereich anhand des elektrischen Signals. Ferner umfasst das Empfangselement des Lidar-Sensors zumindest eine optische Linse, wobei die zumindest eine optische Linse dazu eingerichtet ist, die aus dem gesamten Erfassungsbereich zu der zumindest einen optischen Linse zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen in einem vorbestimmten Brennpunktbereich zu fokussieren. Des Weiteren ist der Detektor dazu eingerichtet, die in dem Brennpunktbereich fokussierten einzelnen Laserstrahlen in das elektrische Signal zu wandeln.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Lidar-Sensor für ein Fahrzeug. Zudem betrifft die vorliegende Erfindung ein Fahrzeug umfassend einen derartigen Lidar-Sensor. Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Lidar-Sensors.

**[0002]** Fahrzeuge mit modernen Assistenzsystemen umfassen oftmals Lidar-Sensoren, welche beispielsweise dazu dienen, Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs zu detektieren. Dazu werden von dem Lidar-Sensor einzelne Lichtimpulse oder Laserstrahlen in die Umgebung ausgesendet. Üblicherweise senden Lidar-Sensoren für automobiler Anwendungen Laserstrahlen in einem für das menschliche Auge nicht sichtbaren Wellenlängenbereich aus. Dabei handelt es sich meist um Infrarotstrahlung mit einer Wellenlänge von 800 nm bis 2500 nm. Wird der einzelne Laserstrahl von einem Objekt in der Umgebung, beispielsweise einem Fahrzeug, zum Lidar-Sensor zurückreflektiert, so kann anhand der Laufzeit des einzelnen Laserstrahls auf die Entfernung zwischen dem Lidar-Sensor und dem Objekt geschlossen werden.

**[0003]** Durch wiederholtes Aussenden des Lichtimpulses oder des Laserstrahls in unterschiedliche Richtungen kann so ein Bereich der Umgebung gescannt oder abgetastet werden. Der abgetastete Bereich der Umgebung wird auch Sichtfeld oder Erfassungsbereich des Lidar-Sensors genannt. Die Reflexionspunkte, also diejenigen Punkte in der Umgebung, die den Lichtimpuls oder Laserstrahl des Lidar-Sensors reflektiert haben, werden zu einer so genannten Lidar-Punktewolke zusammengefasst. Diese Lidar-Punktewolke dient als eine Repräsentation der Umgebung.

**[0004]** Um die Lichtimpulse oder Laserstrahlen in unterschiedliche Richtungen auszusenden, zu empfangen und zu einem Detektor zu führen, sind im Zusammenhang mit Lidar-Sensoren gemäß dem Stand der Technik verschiedene Spiegelsysteme bekannt. Mit derartigen Spiegelsystemen kann der Lichtimpuls oder Laserstrahl in eine bestimmte Richtung der Umgebung gelenkt werden. Die Umgebung wird so mit mehreren Tausend Lichtimpulsen oder Laserstrahlen abgetastet. Dazu ist es nötig, dass die Spiegelsysteme zum Empfangen der zum Lidar-Sensor zurückreflektierten Laserstrahlen genau in Senderichtung ausgerichtet sind.

**[0005]** Aus dem Stand der Technik sind ferner Lidar-Sensoren bekannt, welche MEMS-Spiegel bzw. mikroelektromechanische Spiegel umfassen. Hier werden auf Empfangsseite oft mehrere mikroelektromechanische Spiegel parallel geschaltet, um die Empfangsfläche im Vergleich zu einer Auslegung

einer Empfangseinrichtung mit einem Spiegel zu erhöhen. Dieser Ansatz funktioniert nur, wenn die mikroelektromechanischen Spiegel alle synchron bewegt werden. Die Anforderungen an die synchrone Bewegung sind hoch. Sie sind definiert durch die Strahldivergenz und die Winkelauflösung. Typische Werte liegen im Bereich von kleiner  $0,025^\circ$  oder allgemein  $\frac{1}{4}$  der Winkelauflösung. Die mikroelektromechanischen Spiegel bewegen sich beispielsweise mit einer Winkelgeschwindigkeit von  $9000^\circ/\text{s}$ . Dabei ist die synchrone Bewegung dynamisch zu erhalten, unabhängig von äußeren Einwirkungen oder der Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Vibrationen oder mechanischen Schocks oder dergleichen.

**[0006]** Die Druckschrift US 2018/0128920 A1 offenbart ein Lidar-System umfassend einen Prozessor, der eingerichtet ist, die Lichtausbreitung einer Lichtquelle zu steuern und das Sichtfeld durch wiederholtes Bewegen zumindest eines Lichtdeflektors, also eines Spiegels zum Ablenken einzelner Laserstrahlen, abzuscannen, während sich zumindest ein weiterer Lichtdeflektor in identischer Ausrichtung befindet. Des Weiteren ist das Lidar-System dazu eingerichtet, die reflektierten Laserstrahlen mittels zumindest eines weiteren Deflektors zu empfangen.

**[0007]** Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lösung aufzuzeigen, wie ein Lidar-Sensor für ein Fahrzeug robuster ausgebildet werden kann. Zudem soll ein Fahrzeug mit einem solchen Lidar-Sensor bereitgestellt werden.

**[0008]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Lidar-Sensor für ein Fahrzeug, durch ein Verfahren sowie durch ein Fahrzeug mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0009]** Ein erfindungsgemäßer Lidar-Sensor für ein Fahrzeug umfasst eine optische Sendeeinrichtung zum Abtasten einer Umgebung des Fahrzeugs innerhalb eines vorbestimmten Erfassungsbereichs mittels einzelner Laserstrahlen beziehungsweise sequentiell gesendeter Lichtimpulse. Der Lidar-Sensor für ein Fahrzeug umfasst darüber hinaus eine optische Empfangseinrichtung, welche ein Empfangselement zum Empfangen der in der Umgebung reflektierten einzelnen Laserstrahlen bzw. Lichtimpulse und zumindest einen Detektor zum Wandeln der reflektierten einzelnen Laserstrahlen in ein elektrisches Signal umfasst. Zudem umfasst der Lidar-Sensor eine Auswerteeinrichtung zum Bestimmen einer Repräsentation der Umgebung in dem Erfassungsbereich anhand des elektrischen Signals. Ferner umfasst das Empfangselement des Lidar-Sensors zumindest eine optische Linse, wobei die zumindest eine optische Linse dazu eingerichtet ist,

die aus dem gesamten Erfassungsbereich zu der zumindest einen optischen Linse zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen in einem vorbestimmten Brennpunktbereich zu fokussieren. Des Weiteren ist der Detektor dazu eingerichtet, die in dem Brennpunktbereich fokussierten einzelnen Laserstrahlen in das elektrische Signal zu wandeln.

**[0010]** Mit Hilfe des Lidar-Sensors können die zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen ohne eine mechanische Ausrichtung eines Empfangselements und/oder Teilen davon empfangen werden. Der Lidar-Sensor wird dazu verwendet, eine Repräsentation der Umgebung in dem Erfassungsbereich mittels einer Lidar-Punktewolke zu erstellen. Diese Repräsentation der Umgebung in dem Erfassungsbereich kann beispielsweise zur Bestimmung eines sogenannten Umfeldmodells verwendet. Der Lidar-Sensor kann vorzugsweise hinter der Windschutzscheibe oder am Dach des Fahrzeugs verbaut sein. Der Lidar-Sensor kann aber auch zumindest teilweise in einen Bereich der Außenhaut des Fahrzeugs integriert sein. Der Lidar-Sensor kann auch verteilt über das Fahrzeug eingebaut sein.

**[0011]** Eine Lichtquelle der optischen Sendeeinrichtung des Lidar-Sensors kann einzelne Laserstrahlen generieren und beispielsweise eine Laserdiode umfassen. Mittels der optischen Sendeeinrichtung können die Laserstrahlen in die Umgebung des Fahrzeugs innerhalb des vorbestimmten Erfassungsbereichs ausgesendet werden. Dabei wird der vorbestimmte Erfassungsbereich mittels zahlreicher einzelner Laserstrahlen abgetastet. Beim Abtasten des vorbestimmten Erfassungsbereichs werden beispielsweise in horizontalen Schritten von  $0,1^\circ$  und vertikalen Schritten von  $0,5^\circ$  Laserstrahlen ausgesendet. Erstreckt sich der vorbestimmte Erfassungsbereich horizontal über  $120^\circ$  und vertikal über  $10^\circ$  so können innerhalb des vorbestimmten Erfassungsbereichs bis zu  $1201 \times 21 = 25221$  einzelne Laserstrahlen ausgesendet werden. Mit anderen Worten wird in diesem Beispiel der vorbestimmte Erfassungsbereich gescannt und dabei mit bis zu 25221 einzelnen Laserstrahlen sequentiell abgetastet.

**[0012]** Wird der einzelne Laserstrahl in der Umgebung des Fahrzeugs zum Lidar-Sensor zurückreflektiert, so kann dieser von der optischen Empfangseinrichtung empfangen werden.

**[0013]** Dabei wird der empfangene und zum Lidar-Sensor zurückreflektierte einzelne Laserstrahl von einem Detektor in ein elektrisches Signal gewandelt. Der Detektor kann beispielsweise als Photodiode ausgebildet sein oder zumindest eine Photodiode umfassen. Anhand der verstrichenen Zeitdauer bzw. der Laufzeit, die zwischen Aussenden des einzelnen Laserstrahls und Empfangen des zum Lidar-

Sensors zurückreflektierten einzelnen Laserstrahls vergangen ist, kann der Abstand zwischen dem Lidar-Sensoren und dem Reflexionspunkt bestimmt werden. Um den zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahl überhaupt empfangen zu können, ist sicherzustellen, dass das Empfangselement den zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahl zum Detektor der optischen Empfangseinrichtung führen kann.

**[0014]** Es ist vorteilhaft, wenn das Empfangselement der optischen Empfangseinrichtung keine mechanischen ausrichtbaren oder beweglichen Komponenten zum Führen des zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahls umfasst. Mechanisch ausrichtbare oder bewegliche Komponenten reagieren sensitiv auf Umwelteinflüsse wie beispielsweise Vibrationen und/oder auf Temperatureinflüsse. Vibrationen können sich nachteilig auf die Empfangsqualität, der zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen auswirken. Die Umgebungstemperatur und/oder die Luftfeuchtigkeit in der Umgebung kann die Bewegung der Komponenten zudem beeinflussen.

**[0015]** Im Gegensatz dazu ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Empfangselement zumindest eine optische Linse umfasst, die dazu eingerichtet ist, die zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen im gesamten Erfassungsbereich des Lidar-Sensors in einem vorbestimmten Brennpunktbereich zu fokussieren. Der Brennpunkt oder Fokus der optischen Linse ist der Punkt, in dem sich die Strahlen schneiden, die parallel zur optischen Achse einfallen. Fallen die Strahlen jedoch nicht parallel zur optischen Achse ein, wie es im Falle des Lidar-Sensors mit einem entsprechenden Erfassungsbereich der Fall sein kann, so schneiden sich die Strahlen nicht immer in demselben Punkt, sondern in einem Bereich um den Brennpunkt. Dieser Bereich um den Brennpunkt wird vorliegend als Brennpunktbereich bezeichnet. Der Detektor der optischen Empfangseinrichtung ist bevorzugt derart eingerichtet, dass die in dem Brennpunktbereich fokussierten und zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen in das elektrische Signal gewandelt werden können. Somit kann auf eine mechanische Ausrichtung des Empfangselements verzichtet werden. Mit anderen Worten wird erfindungsgemäß ein Empfangselement verwendet, welches keine beweglichen Komponenten aufweist. Insgesamt kann somit ein Lidar-Sensor bereitgestellt werden, welcher gegen Umwelteinflüsse robust ist.

**[0016]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass die optische Empfangseinrichtung zumindest ein Lichtwellenleiter mit einer Faser umfasst, wobei der zumindest eine Lichtwellenleiter derart zu der zumindest einen optischen Linse angeordnet ist, dass die in dem Brennpunktbereich fokussierten einzelnen Laserstrahlen in

die Faser einkoppeln können. Insbesondere kann die Faser eine so genannte Multimodefaser sein. Unter anderem unterscheidet man Lichtwellenleiter üblicherweise anhand der Anzahl von ausbreitungsfähigen Schwingungsmoden, die durch den Kerndurchmesser der Faser limitiert werden. Die Faser ist dabei so ausgebildet, dass die zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen, die von der zumindest einen optischen Linse im Brennpunktbereich fokussiert werden, in die Faser des Lichtwellenleiters einkoppeln können und vom Lichtwellenleiter zum Detektor geführt werden können.

**[0017]** Die zumindest eine optische Linse und der zumindest eine Lichtwellenleiter können derart zueinander angeordnet sein, dass der Brennpunktbereich der Faser des Lichtwellenleiters zugeordnet ist. Dabei kann die zumindest eine optische Linse und der zumindest eine Lichtwellenleiter zueinander beabstandet angeordnet sein. Beispielsweise kann der Abstand zwischen der zumindest einen optischen Linse und dem zumindest einen Lichtwellenleiter der Brennweite der zumindest einen optischen Linse entsprechen. Idealerweise entspricht die Querschnittsfläche der Faser der Fläche des Brennpunktbereichs. Die Querschnittsfläche der Faser kann auch größer als die Fläche des Brennpunktbereichs sein. Die zumindest eine optische Linse und der zumindest eine Lichtwellenleiter können auch miteinander verbunden sein.

**[0018]** Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es also vorgesehen, dass die zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen, die vom Empfangselement im Brennpunktbereich fokussiert werden, mittels eines Lichtwellenleiters durch Totalreflexion innerhalb des Lichtwellenleiters zum Detektor geführt werden. Da Lichtwellenleiter geringe Verluste aufweisen und aufgrund der Flexibilität des Lichtwellenleiters, ist es somit möglich, den Detektor nahezu beliebig zu platzieren. Dadurch ist es möglich, dass der Bauraum des Lidar-Sensors variabel gestaltet werden kann.

**[0019]** Es ist also möglich, dass das Empfangselement und der Detektor der Empfangseinrichtung nahezu beliebig zueinander angeordnet sein können. Das Empfangselement kann somit beispielsweise optisch ansprechend in das Fahrzeug integriert werden, ohne entsprechenden Bauraum in unmittelbarer Nähe zum Empfangselement für den Detektor vorhalten zu müssen.

**[0020]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst die optische Empfangseinrichtung des Lidar-Sensors eine Mehrzahl von optischen Linsen und eine Mehrzahl von Lichtwellenleitern, wobei jeweils eine der optischen Linsen einem der Lichtwellenleiter zugeordnet ist. Durch eine Mehrzahl von optischen Linsen kann die effektive Fläche des Empfangselements der

optischen Empfangseinrichtung vergrößert werden. Je größer die effektive Fläche des Empfangselements der optischen Empfangseinrichtung ist, desto höher kann die Intensität des empfangenen, zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahls sein, der zum Detektor geführt wird. Mit anderen Worten: Je größer die effektive Fläche des Empfangselements der optischen Empfangseinrichtung ist, desto mehr Photonen können empfangen werden und desto besser kann der zum Lidar-Sensor zurückreflektierte einzelne Laserstrahl vom Detektor erfasst werden. Die Fläche einer einzelnen optischen Linse des Empfangselements kann dabei so gewählt werden, dass die Materialdicke der optischen Linse einen vorbestimmten Grenzwert nicht überschreitet.

**[0021]** Durch die Verwendung einer Mehrzahl von optischen Linsen kann die Fläche des Empfangselements der optischen Empfangseinrichtung vergrößert werden. Jeder optischen Linse kann ein Lichtwellenleiter zugeordnet sein, der derart angeordnet ist, dass die zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen, die zumindest teilweise im jeweiligen Brennpunktbereich fokussiert werden, in die Faser des jeweiligen Lichtwellenleiters einkoppeln können. Somit ist es möglich, dass eine möglichst große Anzahl an Photonen von dem Empfangselement der optischen Empfangseinrichtung empfangen und zum Detektor geführt werden kann. Dadurch ist gewährleistet, dass eine Reflexion an einem Objekt in der Umgebung des Fahrzeugs zuverlässig erkannt werden kann, obwohl Empfangselemente mit einer geringen Fläche verwendet werden. Die von jeder einzelnen optischen Linse des Empfangselements fokussierte elektromagnetische Strahlung, welche von den zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen stammen, können genutzt werden, um so in Summe gesamthaft eine Reflexion in der Umgebung des Fahrzeugs zu detektieren.

**[0022]** Darüber hinaus ist es möglich, eine Mehrzahl von optischen Linsen und eine Mehrzahl von Lichtwellenleitern zu nutzen, sodass eine der optischen Linsen nur einen Teilbereich des vorbestimmten Erfassungsbereichs abdeckt. Gesamthaft kann die Mehrzahl der optischen Linsen den gesamten vorbestimmten Erfassungsbereich abdecken. So kann sichergestellt werden, dass ein großer vorbestimmter Erfassungsbereich von dem Empfangselement abgedeckt werden kann, obwohl eine einzelne optische Linse den zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahl nicht in einem entsprechenden Brennpunktbereich fokussieren kann, sodass der fokussierte Laserstrahl in die Faser des jeweiligen Lichtwellenleiters einkoppeln kann.

**[0023]** Die Mehrzahl von optischen Linsen kann in mehreren Spalten und/oder mehreren Reihen nebeneinander angeordnet sein. Ein Lidar-Sensor

mit einer derartigen Anordnung kann beispielsweise zwischen zwei und mehreren Hundert optischen Linsen umfassen. Die optischen Linsen können aus einem Glas oder aus einem Kunststoff gefertigt sein. Insbesondere können die optischen Linsen als Mikrolinsen ausgebildet sein oder mittels eines mikrotechnischen Verfahrens hergestellt sein.

**[0024]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst der Detektor der optischen Empfangseinrichtung eine Mehrzahl von Photodetektoren, wobei jeweils einer der Photodetektoren einem der Lichtwellenleiter zugeordnet ist. Eine derartige Ausgestaltung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Mehrzahl von optischen Linsen des Empfangselements dazu verwendet wird, dass einzelne Linsen nur einen Teilbereich des vorbestimmten Erfassungsbereichs abdecken. Beispielsweise kann der vorbestimmte Erfassungsbereich  $120^\circ$  betragen und das Empfangselement kann zwei optische Linsen umfassen, die jeweils einen Bereich von  $60^\circ$  abdecken. In diesem Fall kann ein Photodetektor jeweils einer optischen Linse beziehungsweise einem der Lichtwellenleiter zugeordnet sein. In diesem Sinne ist es auch denkbar, dass die optischen Linsen so ausgerichtet sind, dass deren optischen Achsen paarweise nicht parallel zueinander sind.

**[0025]** Die Photodetektoren und die Lichtwellenleiter können derart zueinander angeordnet sein, dass die in dem Lichtwellenleiter geführten Laserstrahlen zu dem Photodetektor gelangen. Dabei können die jeweiligen Lichtwellenleiter und die Photodetektoren zueinander beabstandet angeordnet sein und/oder miteinander verbunden sein.

**[0026]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform sind zumindest zwei der Lichtwellenleiter gespleißt und die gespleißten Lichtwellenleiter sind einem Photodetektor des Detektors der Empfangseinrichtung zugeordnet. Mit anderen Worten sind zumindest zwei der Lichtwellenleiter miteinander verbunden und deren gemeinsames Ende ist einem Photodetektor des Detektors der Empfangseinrichtung zugeordnet. Eine derartige Ausführungsform wird auch fasergekoppelter Photodetektor genannt. Eine derartige Ausführungsform ist sinnvoll, wenn eine Mehrzahl von optischen Linsen verwendet wird, um die effektive Gesamtfläche des Empfangselements zu erhöhen. Die von jeder optischen Linse empfangenen Photonen der zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen können so aufsummiert werden, dass sich die Intensität erhöht und ein Element oder ein Objekt der Umgebung zuverlässiger detektiert werden kann. Je mehr Photonen zum Photodetektor geführt werden, desto zuverlässiger können die zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen in ein elektrisches Signal gewandelt werden und desto zuverlässiger

kann ein Element oder ein Objekt der Umgebung detektiert werden.

**[0027]** Insgesamt kann also eine Mehrzahl von optischen Linsen dazu verwendet werden, die Empfangsleistung zu erhöhen und/oder einzelne Teilbereiche des vorbestimmten Erfassungsbereichs abzudecken. Beispielsweise kann das Empfangselement vier optische Linsen und der Detektor kann beispielsweise zwei Photodetektoren umfassen. Jeweils zwei der den vier optischen Linsen zugeordneten Lichtwellenleiter sind gespleißt. Mit anderen Worten sind jeweils zwei der insgesamt vier Lichtwellenleiter miteinander verbunden und deren gemeinsames Ende ist jeweils einem der Photodetektoren des Detektors zugeordnet. Die vier optischen Linsen können nun so angeordnet sein, dass zwei unterschiedliche Teilbereiche des vorbestimmten Erfassungsbereichs abgedeckt werden. Dabei decken jeweils zwei der optischen Linse den gleichen Teilbereich ab, sodass die effektive Gesamtfläche des Empfangselements für diesen Teilbereich durch zwei der vier optischen Linsen gegeben ist. Insgesamt werden in diesem Beispiel also eine vier optische Linsen dazu verwendet werden, die effektive Gesamtfläche des Empfangselements zu erhöhen und um einzelne Teilbereiche des vorbestimmten Erfassungsbereichs abzudecken.

**[0028]** Weiterhin ist vorteilhaft, wenn die zumindest eine optische Linse des Empfangselements des Lidar-Sensors als eine optische Sammellinse mit einer numerischen Apertur größer 0,25 ausgebildet ist. Die numerische Apertur charakterisiert das Vermögen einer optischen Linse Licht zu fokussieren. In Luft ist die numerische Apertur immer ein Wert zwischen 0 und 1. Je größer die numerische Apertur ist, desto besser können Strahlen, die nicht parallel zur optischen Achse der optischen Linse einfallen, im Brennpunkt fokussiert werden. Mit anderen Worten bedeutet das, dass eine große numerische Apertur einen möglichst kleinen Brennpunktbereich garantiert. Eine numerische Apertur von 0,25 erlaubt einen vorbestimmten Erfassungsbereich von etwa  $30^\circ$  beziehungsweise etwa  $\pm 15^\circ$ . Alternativ dazu erlaubt eine numerische Apertur von 0,25 die Abdeckung eines Teilbereichs des vorbestimmten Erfassungsbereichs von etwa  $30^\circ$ . Fallen die zum Lidar-Sensor zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen in dem Winkelbereich von etwa  $\pm 15^\circ$  auf das Empfangselement ein, so werden diese im Brennpunkt der zumindest einen optischen Linse fokussiert.

**[0029]** Eine weitere Ausgestaltung des Lidar-Sensors sieht vor, dass die Mehrzahl der optischen Linsen des Empfangselements zumindest bereichsweise sphärisch oder zylindrisch angeordnet ist. Jeweils ein Richtungsvektor der optischen Achse der Mehrzahl der optischen Linse sowie ein Normalenvektor einer Sphäre beziehungsweise eines Zylinders

ders können folglich kollinear sein. Mit anderen Worten können die optischen Linsen also nebeneinander auf einer sphärischen oder zylindrischen Fläche angeordnet sein. Die optischen Linsen können auf einem für die Laserstrahlen transparenten Grundkörper oder Trägerelement angeordnet sein. Dieser Grundkörper kann sphärisch oder zylindrisch ausgebildet sein. Insbesondere sind infolgedessen auch die jeweiligen Brennpunktbereiche sphärisch oder zylindrisch angeordnet. Wird darüber hinaus für einen bestimmten Teilbereich des vorbestimmten Erfassungsbereichs eine Mehrzahl an optischen Linsen verwendet, so können auch nur die jeweiligen Brennpunktbereiche sphärisch oder zylindrisch angeordnet sein.

**[0030]** Gegenüber einer planaren Anordnung hat dies den Vorteil, dass ein größerer vorbestimmter Erfassungsbereich möglich ist. Eine zylindrische Anordnung der Mehrzahl der optischen Linsen des Empfangselements ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der vorbestimmte Erfassungsbereich des Lidar-Sensors einen großen horizontalen Winkelbereich umfasst. Eine sphärische Anordnung der Mehrzahl der optischen Linsen des Empfangselements des Lidar-Sensors ist insbesondere dann sinnvoll, wenn der vorbestimmte Erfassungsbereich neben einem großen horizontalen Winkelbereich auch einen großen vertikalen Winkelbereich aufweist.

**[0031]** In einer weiteren Ausführungsform steuert die optische Sendeeinrichtung die Richtung der einzelnen Laserstrahlen mittels eines mikroelektromechanischen Spiegels oder einer elektronischen Strahlschwenkung. Mikroelektromechanische Spiegel, auch MEMS-Spiegel genannt, werden dazu verwendet, den von einer Lichtquelle erzeugten Laserstrahl horizontal und vertikal zu lenken. Somit können einzelne Laserstrahlen in den gesamten vorbestimmten Erfassungsbereich ausgesendet werden. Die Steuerung der einzelnen Laserstrahlen kann auch mittels einer elektronischen Strahlschwenkung erfolgen. Mittels eines phasengesteuerten Feldes, auch optical phased-array genannt, kann die Richtung der einzelnen Laserstrahlen elektronisch gesteuert werden. Innerhalb der Empfangseinrichtung sind keine Informationen zur Richtung der einzelnen Laserstrahlen, die zum Lidar-Sensor zurückreflektiert werden, vorhanden. Daher benötigt die Auswerteeinrichtung zum Bestimmen der Repräsentation der Umgebung in dem Erfassungsbereich zusätzlich zu dem elektrischen Signal auch eine Information über Senderichtung des aktuell ausgesendeten einzelnen Laserstrahls.

**[0032]** Ein erfindungsgemäßes Fahrzeug umfasst einen erfindungsgemäßen Lidar-Sensor. Das Fahrzeug kann insbesondere als Personenkraftwagen ausgebildet sein. Der Lidar-Sensor kann beispielsweise am Dach des Fahrzeugs oder hinter der Wind-

schutzscheibe des Fahrzeugs angeordnet sein. Alternativ dazu kann der Lidar-Sensor auch optisch ansprechend zumindest teilweise in die Außenhaut des Fahrzeugs integriert sein. Das Fahrzeug kann auch mehrere Lidar-Sensoren umfassen. Bevorzugt umfasst das Fahrzeug Fahrerassistenzsysteme, die die vom Lidar-Sensor bestimmte Repräsentation der Umgebung des Fahrzeugs Steuerung der Längs- und/oder Querführung des Fahrzeugs nutzen.

**[0033]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben eines Lidar-Sensors eines Fahrzeugs dient zum Abtasten einer Umgebung des Fahrzeugs innerhalb eines vorbestimmten Erfassungsbereichs mittels einzelner Laserstrahlen mittels einer optischen Sendeeinrichtung. Das Verfahren umfasst das Empfangen der in der Umgebung reflektierten einzelnen Laserstrahlen und umfasst das Wandeln der reflektierten einzelnen Laserstrahlen in ein elektrisches Signal mittels einer optischen Empfangseinrichtung. Ferner umfasst das Verfahren das Bestimmen einer Repräsentation der Umgebung in dem Erfassungsbereich anhand des elektrischen Signals mittels einer Auswerteeinrichtung. Des Weiteren ist vorgesehen, dass die aus dem gesamten Erfassungsbereich zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen in einem vorbestimmten Brennpunkt mittels zumindest einer optischen Linse des Empfangselements fokussiert werden. Es ist auch vorgesehen, dass die in dem Brennpunktbereich fokussierten einzelnen Laserstrahlen mittels eines Detektors in das elektrische Signal gewandelt werden.

**[0034]** Die mit Bezug auf den erfindungsgemäßen Lidar-Sensor vorgestellten bevorzugten Ausführungsformen und deren Vorteile gelten entsprechend für das erfindungsgemäße Fahrzeug sowie für das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben des Lidar-Sensors.

**[0035]** Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, den Figuren und deren Figurenbeschreibung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen, sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

**[0036]** Die Erfindung wird nun anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen sowie unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Fahrzeugs, welches einen Lidar-Sensor aufweist,

**Fig. 2** eine schematische Darstellung eines Lidar-Sensors gemäß dem Stand der Technik, umfassend eine optische Sendeeinrichtung und eine optische Empfangseinrichtung, und

**Fig. 3** eine schematische Darstellung einer optischen Empfangseinrichtung, umfassend eine Mehrzahl an optischen Linsen als Empfangselemente und teilweise mit gespleißten Lichtwellenleitern ausgeführt.

**[0037]** In den Figuren werden gleiche oder funktionsgleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

**[0038]** **Fig. 1** zeigt in einer schematischen Darstellung ein Fahrzeug 1, welches einen Lidar-Sensor 2 aufweist. Das Fahrzeug 1 ist als Personenkraftwagen ausgebildet und in Draufsicht dargestellt. Der Lidar-Sensor 2 umfasst eine optische Sendeeinrichtung 3, welche dazu dient, eine Umgebung 4 des Fahrzeugs 1 innerhalb eines vorbestimmten Erfassungsbereichs 5 mittels einzelner Laserstrahlen abzutasten. Der Lidar-Sensor 2 umfasst eine optische Empfangseinrichtung 6, welche dazu dient, die von einem Objekt in der Umgebung 4 zum Lidar-Sensor 2 zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen 10 zu empfangen und mittels eines Detektors in ein elektrisches Signal zu wandeln. Ferner umfasst der Lidar-Sensor 2 eine Auswerteeinrichtung 7 zum Bestimmen einer Repräsentation der Umgebung 4 in den Erfassungsbereich 5 anhand des elektrischen Signals. Das elektrische Signal wird von der optischen Empfangseinrichtung 6 zur Auswerteeinrichtung 7 mittels eines Lichtwellenleiters 8 übertragen.

**[0039]** **Fig. 2** zeigt in einer schematischen Darstellung einen Lidar-Sensor 2 gemäß dem Stand der Technik. Der Lidar-Sensor 2 umfasst eine optische Empfangseinrichtung 6, dessen Empfangselemente in dem vorliegenden Beispiel drei mikroelektromechanische Spiegel 9 umfassen. Die optische Sendeeinrichtung 3 weist ebenfalls einen mikroelektromechanischen Spiegel 9' zum Steuern der Richtung der ausgesendeten einzelnen Laserstrahlen 10 auf. Die mikroelektromechanischen Spiegel 9 der optischen Empfangseinrichtung 6 sind identisch zu dem mikroelektromechanischen Spiegel 9' der optischen Sendeeinrichtung 3 ausgerichtet bzw. synchronisiert. Wird der einzelne Laserstrahl 10 von einem Objekt in der Umgebung 4 des Fahrzeugs zurück zum Lidar-Sensor 2 reflektiert, so trifft die ebene Wellenfront 11 des zum Lidar-Sensor zurückreflektierten Laserstrahls 12 auf die mikroelektromechanischen Spiegel 9 der optischen Empfangseinrichtung 6. Von dort wird der zum Lidar-Sensor 2 zurückreflektierte Laserstrahl 12 zum Detektor der Empfangseinrichtung 6 geführt.

**[0040]** Anhand der Laufzeit der einzelnen Laserstrahlen 10 sowie der Laufzeit der zum Lidar-Sensor

zurückreflektierten Laserstrahlen 12 kann die Distanz zu einem Objekt in der Umgebung 4, das die einzelnen Laserstrahlen 10 reflektiert hat, bestimmt werden. Anhand der aktuellen Ausrichtung der mikroelektromechanischen Spiegel 9 kann zudem der Winkel des Objekts in der Umgebung 4, das die Laserstrahlen 10 reflektiert, bestimmt werden. Dadurch kann eine Repräsentation der Umgebung 4 in dem Erfassungsbereich 5 bestimmt werden.

**[0041]** Nachteilig am aktuellen Stand der Technik eines derartigen Lidar-Sensors 2, der mikroelektromechanische Spiegel 9, 9' nutzt, ist, dass die mikroelektromechanischen Spiegel 9, 9' empfindlich gegenüber Vibrationen in der Umgebung 4 des Fahrzeugs sind. Zudem müssen die jeweiligen mikroelektromechanischen Spiegel 9, 9' synchron bewegt werden. Ferner ist eine Positionsüberwachung pro mikroelektromechanischem Spiegel 9, 9' erforderlich.

**[0042]** **Fig. 3** zeigt in einer schematischen Darstellung die optische Empfangseinrichtung 6 eines Lidar-Sensors 2 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Die optische Empfangseinrichtung 6 des Lidar-Sensors 2 umfasst einen Detektor 13. Der Detektor 13 weist in dem vorliegenden Beispiel zwei Photodetektoren 16 auf. Die optische Empfangseinrichtung 6 umfasst zudem vier optische Linsen 14. Drei der optischen Linsen 14 empfangen die zum Lidar-Sensor 2 zurückreflektierten Strahlen 12 aus einem Teilbereich 19 des vorbestimmten Erfassungsbereichs 5. Eine der vier optischen Linsen 14 empfängt die zum Lidar-Sensor 2 zurückreflektierten Strahlen aus einem Teilbereich 20. Der Teilbereich 19 und der Teilbereich 20 decken den gesamten vorbestimmten Erfassungsbereich 5 ab.

**[0043]** Die empfangenen, zum Lidar-Sensor 2 zurückreflektierten Strahlen werden von den optischen Linsen 14 in ihrem jeweiligen Brennpunktbereich 18 fokussiert. Der Brennpunkt oder Fokus der optischen Linse ist der Punkt, in dem sich die Strahlen schneiden, die parallel zur optischen Achse einfallen. Fallen die Strahlen jedoch nicht parallel zur optischen Achse ein, wie es im Falle des Lidar-Sensors mit einem entsprechenden vorbestimmten Erfassungsbereich der Fall sein kann, so schneiden sich die Strahlen nicht immer in demselben Punkt, sondern in einem Bereich um den Brennpunkt. Dieser Bereich um den Brennpunkt wird vorliegend als Brennpunktbereich bezeichnet. Die Distanz zwischen dem Brennpunktbereich 18 und der jeweiligen optischen Linse 14 entspricht der Brennweite der jeweiligen optischen Linse 14. Die optische Linse 14 und der zugeordnete Lichtwellenleiter 8 sind in dem vorliegenden Beispiel zueinander beabstandet angeordnet. Die Distanz zwischen der optischen Linse 14 und den zugeordneten Lichtwellenleitern 8 beziehungsweise deren Fasern 17 entspricht in etwa

der Brennweite der optischen Linse 14. Die Querschnittsfläche der Faser 17 entspricht idealerweise der Fläche des Brennpunktbereichs 18. Die Querschnittsfläche der Faser 17 kann auch größer als die Fläche des Brennpunktbereichs 18 sein.

**[0044]** Den optischen Linsen 14 ist jeweils ein Lichtwellenleiter 8 zugeordnet. Jeder Lichtwellenleiter 8 umfasst eine Faser 17, die die empfangenen, zum Lidar-Sensor 2 zurückreflektierten einzelnen Laserstrahlen 12 zum Detektor 13 führt. In dem Beispiel sind drei der Lichtwellenleiter 8 gespleißt. Die gespleißten Lichtwellenleiter 15 sind einem Photodetektor 16 des Detektors 13 zugeordnet. Durch die Mehrzahl der optischen Linsen 14, deren zugeordnete Lichtwellenleiter 8 gespleißt sind, kann die effektive Empfangsfläche des Empfangselements der optischen Empfangseinrichtung 6 vergrößert werden. Zudem wird eine weitere optische Linse 14 dazu verwendet, einen Teilbereich 20 des vorbestimmten Erfassungsbereichs 5 abzudecken. Diese optische Linse 14 ist über einen Lichtwellenleiter 8 direkt mit einem Photodetektor 16 gekoppelt. Somit ist es beispielsweise denkbar, dass die optischen Linsen 14, deren zugeordnete Lichtwellenleiter 8 gespleißt sind, einen Teilbereich 19 des vorbestimmten Erfassungsbereichs 5 abdecken und der fehlende Teilbereich des vorbestimmten Erfassungsbereichs von einer weiteren optischen Linse 14 abgedeckt wird.

**[0045]** Die optische Empfangseinrichtung 6 kann so ausgeführt sein, dass jede einzelne der optischen Linsen 14 mit jeweils einem Lichtwellenleiter 8 direkt mit einem Photodetektor 16 gekoppelt ist. Die optische Empfangseinrichtung 6 kann auch nur gespleißte Lichtwellenleiter 15 aufweisen. Ferner kann die optische Empfangseinrichtung 6 beliebige Kombinationen von Lichtwellenleitern 8 und gespleißten Lichtwellenleiter 15 aufweisen. In dem Beispiel von **Fig. 3** sind die optischen Linsen 14 planar angeordnet. Es kann ferner vorgesehen sein, dass die optischen Linsen 14 zylindrisch oder sphärisch angeordnet sind.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

**Zitierte Patentliteratur**

- US 2018/0128920 A1 [0006]

### Patentansprüche

1. Lidar-Sensor (2) für ein Fahrzeug (1), umfassend:

- eine optische Sendeeinrichtung (3) zum Abtasten einer Umgebung (4) des Fahrzeugs (1) innerhalb eines vorbestimmten Erfassungsbereichs (5) mittels einzelner Laserstrahlen (10),
- eine optische Empfangseinrichtung (6), welche ein Empfangselement zum Empfangen der in der Umgebung (4) reflektierten einzelnen Laserstrahlen (12) und einen Detektor (13) zum Wandeln der reflektierten einzelnen Laserstrahlen (12) in ein elektrisches Signal umfasst, und
- eine Auswerteeinrichtung (7) zum Bestimmen einer Repräsentation der Umgebung (4) in dem Erfassungsbereich (5) anhand des elektrischen Signals, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- das Empfangselement zumindest eine optische Linse (14) umfasst, wobei die zumindest eine optische Linse (14) dazu eingerichtet ist, die aus dem gesamten Erfassungsbereich (5) zu der zumindest einen optischen Linse (14) zurück reflektierten einzelnen Laserstrahlen (12) in einem vorbestimmten Brennpunktbereich zu fokussieren, und
- der Detektor (13) dazu eingerichtet ist, die in dem Brennpunktbereich fokussierten einzelnen Laserstrahlen (12) in das elektrische Signal zu wandeln.

2. Lidar-Sensor (2) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Empfangseinrichtung (6) zumindest einen Lichtwellenleiter (8) mit einer Faser (17) umfasst, wobei der zumindest eine Lichtwellenleiter (8) derart zu der zumindest einen optischen Linse (14) angeordnet ist, dass die in dem Brennpunktbereich (18) fokussierten einzelnen Laserstrahlen (12) in die Faser (17) einkoppeln.

3. Lidar-Sensor (2) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Empfangseinrichtung (6) eine Mehrzahl von optischen Linsen (14) und eine Mehrzahl von Lichtwellenleitern (8) umfasst, wobei jeweils eine der optischen Linsen (14) einem der Lichtwellenleiter (8) zugeordnet ist.

4. Lidar-Sensor (2) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Detektor (13) der optischen Empfangseinrichtung (6) eine Mehrzahl von Photodetektoren (16) umfasst, wobei jeweils einer der Photodetektoren (16) einem der Lichtwellenleiter (8) zugeordnet ist.

5. Lidar-Sensor (2) nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei der Lichtwellenleiter (8) gespleißt sind und die gespleißten Lichtwellenleiter (8) einem Photodetektor (16) des Detektors (13) zugeordnet sind.

6. Lidar-Sensor (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine optische Linse (14) als eine optische Sammellinse mit einer numerischen Apertur größer 0,25 ausgebildet ist.

7. Lidar-Sensor (2) nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mehrzahl der optischen Linsen (14) zumindest bereichsweise sphärisch oder zylindrisch angeordnet sind.

8. Lidar-Sensor (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Sendeeinrichtung (3) die Richtung der einzelnen Laserstrahlen (10) mittels eines mikroelektromechanischen Spiegels (9') oder einer elektronischen Strahlschwenkung steuert.

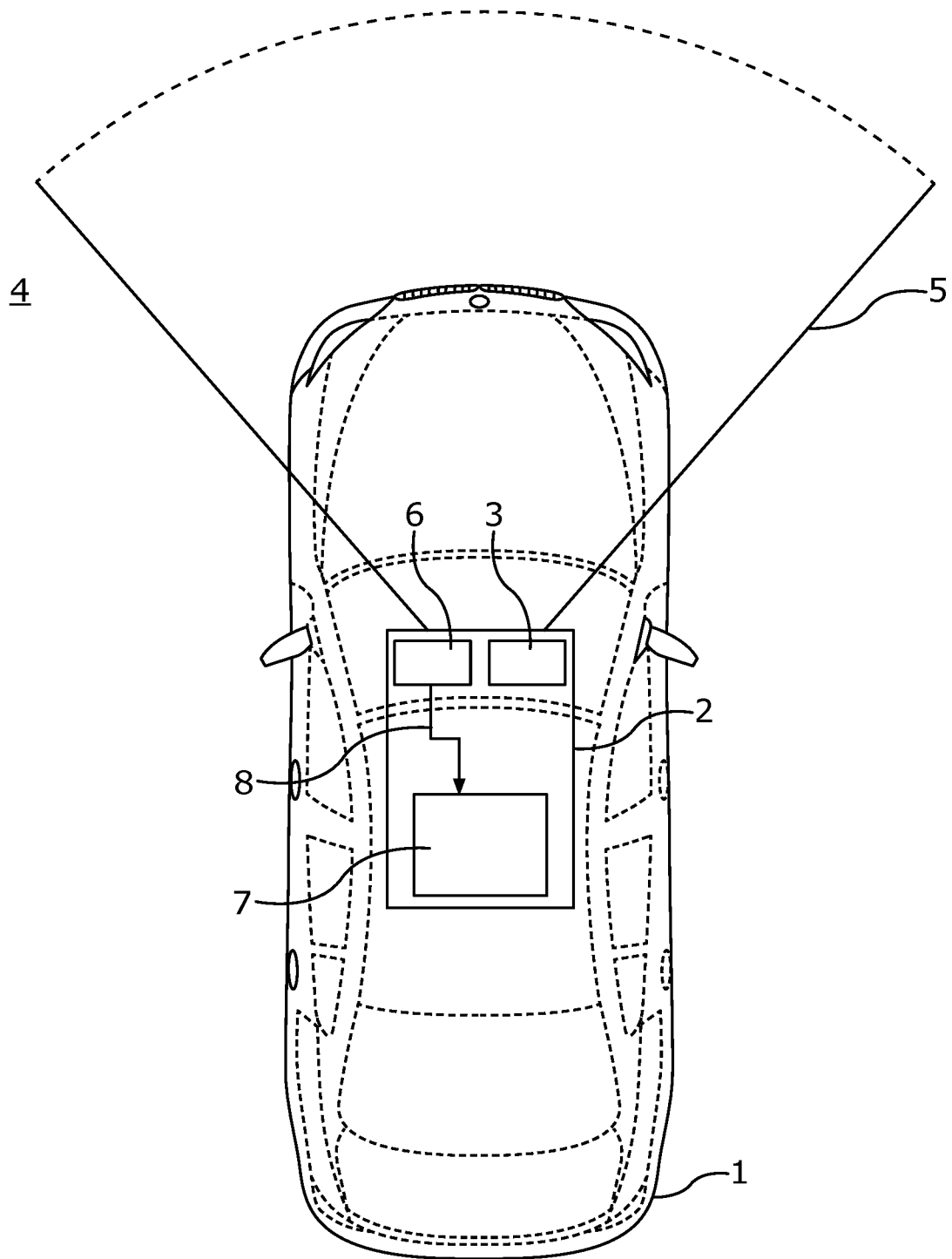
9. Fahrzeug (1), insbesondere Personenkraftwagen, umfassend zumindest einen Lidar-Sensor (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

10. Verfahren zum Betreiben eines Lidar-Sensors (2) eines Fahrzeugs (1), umfassend die Schritte:

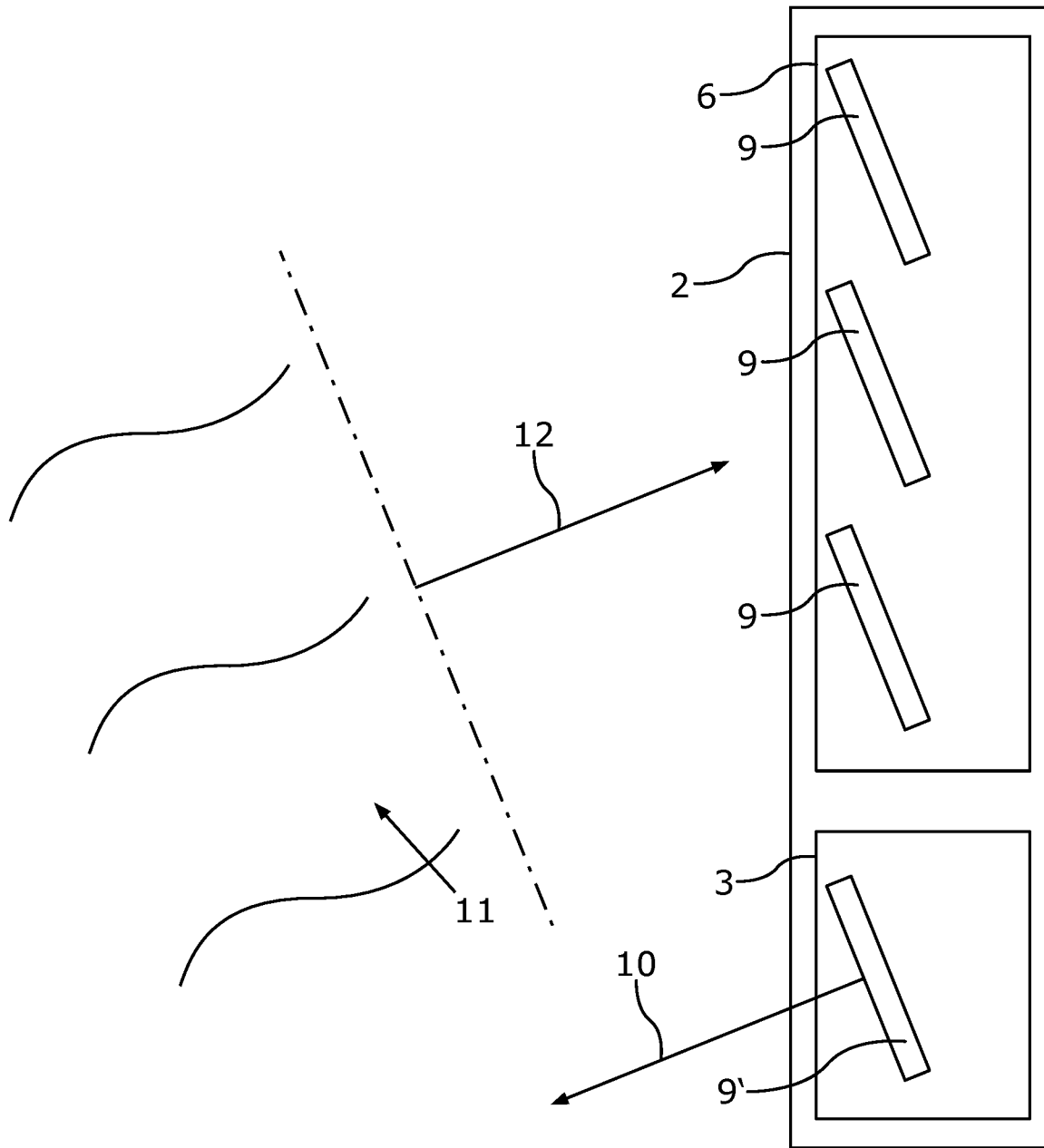
- Abtasten einer Umgebung (4) des Fahrzeugs (1) innerhalb eines vorbestimmten Erfassungsbereichs (5) mittels einzelner Laserstrahlen (10) mittels einer optischen Sendeeinrichtung (3),
- Empfangen der in der Umgebung (4) reflektierten einzelnen Laserstrahlen (12) und wandeln der reflektierten einzelnen Laserstrahlen (12) in ein elektrisches Signal mittels einer optischen Empfangseinrichtung (6), und
- Bestimmen einer Repräsentation der Umgebung (4) in dem Erfassungsbereich (5) anhand des elektrischen Signals mittels einer Auswerteeinrichtung (7), **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die aus dem gesamten Erfassungsbereich (5) zurück reflektierten einzelnen Laserstrahlen (12) in einem vorbestimmten Brennpunktbereich (18) mittels zumindest einer optischen Linse (14) des Empfangselements fokussiert werden, und
- die in dem Brennpunktbereich (18) fokussierten einzelnen Laserstrahlen (12) mittels eines Detektors (13) in das elektrische Signal gewandelt werden.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



*Fig. 1*



*Fig.2*

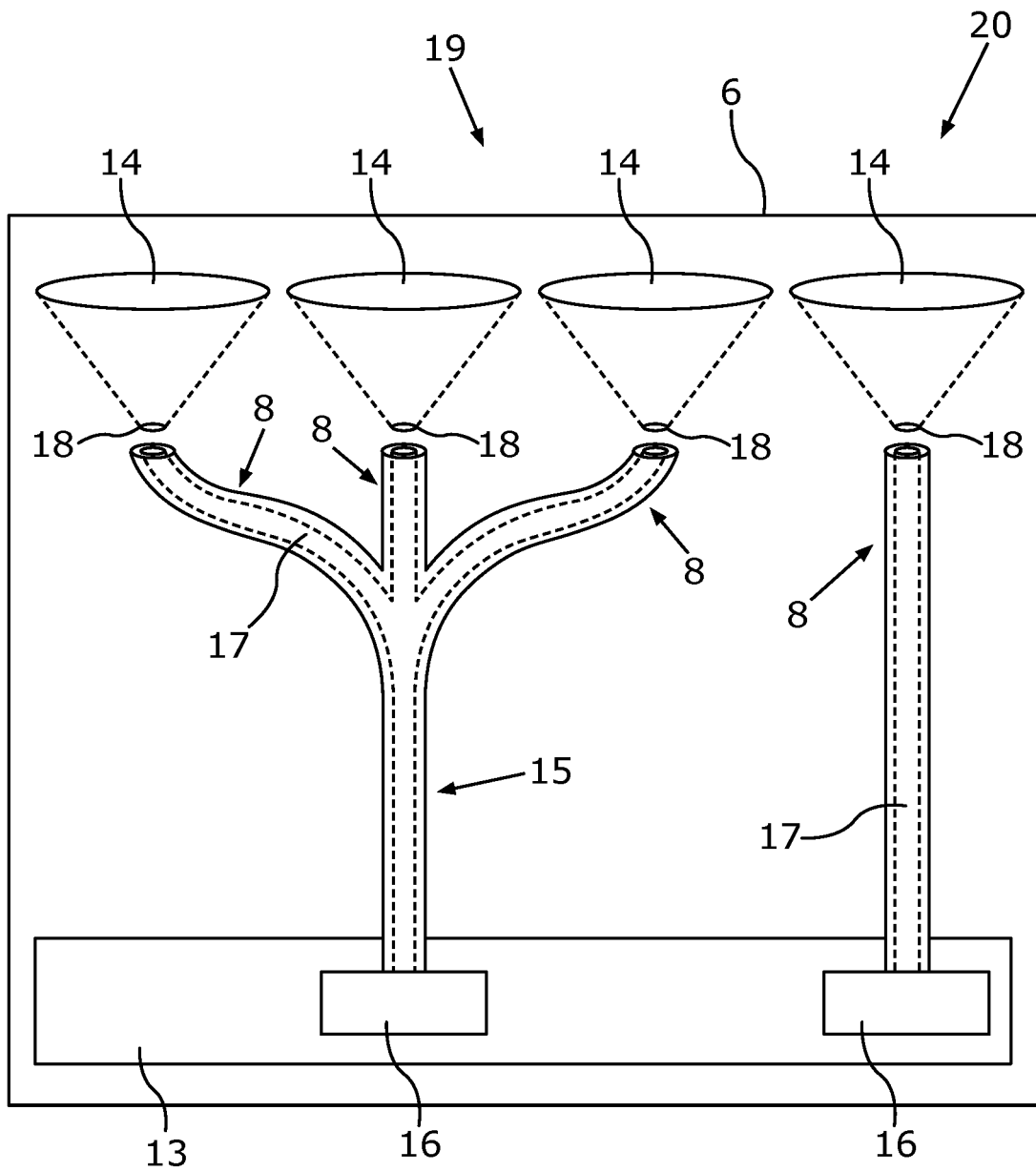


Fig.3