



(10) **DE 10 2018 206 548 A1** 2019.10.31

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 206 548.9**

(22) Anmeldetag: **27.04.2018**

(43) Offenlegungstag: **31.10.2019**

(51) Int Cl.: **G01N 21/958 (2006.01)**

**G02B 6/00 (2006.01)**

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

(72) Erfinder:  
**Holleczek, Annemarie, 71638 Ludwigsburg, DE;**  
**Albuquerque, Andre, Penalva do Castelo, PT;**  
**Peterseim, Tobias, 71032 Böblingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

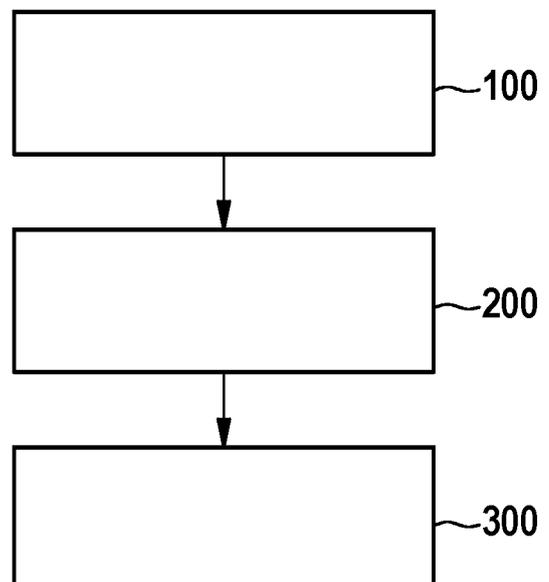
DE	10 2007 003 023	B4
DE	103 39 696	A1
DE	103 51 254	A1
DE	10 2007 052 704	A1
DE	10 2011 083 455	A1
DE	20 2017 000 356	U1
US	6 226 080	B1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Detektion von Beschädigungen und/oder Verunreinigungen auf einem transparenten Abdeckmaterial eines optoelektronischen Sensors, System, optoelektronischer Sensor und Fortbewegungsmittel**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Detektion von Verunreinigungen auf einem transparenten Abdeckmaterial eines optoelektronischen Sensors umfassend die Schritte: Einkoppeln (100) eines Lichtstrahls an einer ersten Einkoppelposition einer ersten Randfläche des Abdeckmaterials über ein Einkoppelement, wobei ein Einkoppelwinkel derart gewählt wird, dass eine mehrfache totale interne Reflexion des Lichtstrahls innerhalb des Abdeckmaterials stattfindet; Auskoppeln (200) des Lichtstrahls an einer ersten Auskoppelposition durch ein Auskoppelement an einer zweiten Randfläche des Abdeckmaterials; und Ermitteln (300) einer Transmission und/oder Reflexion eines ausgekoppelten Lichtstrahls mithilfe eines Detektors.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion von Beschädigungen und/oder Verunreinigungen auf einem transparenten Abdeckmaterial eines optoelektronischen Sensors, ein System, einen optoelektronischen Sensor und ein Fortbewegungsmittel.

**[0002]** Heutzutage sind zur Gewährleistung der einwandfreien Funktionsweise optoelektronischer Sensoren, z.B. LiDAR-Sensoren, unterschiedliche Systeme bekannt, welche die Verschmutzung eines transparenten Abdeckmaterials dieser Sensoren feststellen können. Derartige Systeme umfassen eine Lichtquelle, welche als eine elektromagnetische Sendeinheit aufgefasst werden kann, sowie einen Detektor. Dabei kann mithilfe der Lichtquelle und des Detektors die Menge des von der Verschmutzung des Abdeckmaterials gestreuten Lichtes ermittelt werden. Das gestreute Licht ist also ein Grad für die Verschmutzung des transparenten Abdeckmaterials. Aus US 2012/182553 A1, EP 1983334 A1 und EP 19883899 A1 sind zudem Methoden zur Feststellung einer Verschmutzung des Abdeckmaterials bekannt, deren Messprinzipien darauf basieren, Abbildungen auf einem Detektor mittels entsprechender Algorithmen auszuwerten und daraus Rückschlüsse auf die Menge der Verschmutzung zu ziehen. Derartige Methoden basieren allerdings auf komplexen elektronischen Auswertemechanismen, welche teuer in der Umsetzung und überdies fehleranfällig sind.

**[0003]** Ferner ist eine Detektion von Wasser auf Windschutzscheiben aus WO 2015/140181, DE 102009053825 A1, DE 102008023845 A1, DE 102008020171 A1, DE 2007025981 A1, DE 102006040213 A1, JP 2012/150041 A und WO 2013/091619 A1 bekannt.

**[0004]** Bei den dort offenbarten Messsystemen werden Lichtstrahlen über Einkoppelelemente in die Windschutzscheibe eingekoppelt und nach einer totalen internen Reflexion über Auskoppelelemente ausgekoppelt. Hierbei kann die an einem etwaigen Wassertropfen, welcher sich auf der Windschutzscheibe befindet, gestreute Strahlung eine Schwächung der am Detektor auftretenden Intensität des Lichtstrahls verursachen. Bei diesen Systemen ist allerdings eine großflächige Untersuchung der Windschutzscheibe aufgrund der nur einmal stattfindenden totalen internen Reflexion nicht möglich.

**[0005]** DE 102013211738 A1 offenbart einen Regensensor für Windschutzscheiben, bei dem das oben genannte Messprinzip über eine mehrfache totale interne Reflexion in der Windschutzscheibe realisiert wird. Dennoch erfolgt hier eine Einkopplung des

Lichtes in einem kleinen Winkel ( $< 40^\circ$ ). Zudem ist der Sensor sehr kleinbauend. Hieraus ergeben sich Nachteile hinsichtlich der Lichtpropagation bei der Einkopplung in der Windschutzscheibe. Die Windschutzscheibe kann nur in einem geringen Teil durch derartige kleinbauende Sensoren auf Oberflächenwasser untersucht werden.

## Offenbarung der Erfindung

**[0006]** Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Detektion einer Beschädigung und/oder Verunreinigung auf einem transparenten Abdeckmaterial eines optoelektronischen Sensors. Als „Verunreinigungen“ können im Rahmen der vorliegenden Offenbarung jegliche Fremdsubstanzen verstanden werden, welche sich auf dem transparenten Abdeckmaterial abgeschieden haben. Ferner kommen im weiteren Sinne auch Beschädigungen des Abdeckmaterials infrage. Hierbei kommen insbesondere Staubpartikel und/oder Flüssigkeiten, z.B. Wasser, und/oder Rußpartikel und/oder sonstige Feststoffabscheidungen und/oder Abnutzungserscheinungen der Oberfläche, z.B. Kratzer und/oder Aufrauungen und/oder punktuelle Kavitäten der Oberfläche, in Betracht. Der Begriff „transparentes Abdeckmaterial“ umfasst insbesondere optisch durchlässige Materialien, welche zur Abdeckung, z.B. zum Schutz, von optoelektronischen Sensoren zum Einsatz kommen. Insbesondere sollen die Abdeckmaterialien das Eindringen von Verunreinigungen in die empfindlichen Teile der Sensoren verhindern. Als Beispiel seien hier Schutzgläser genannt. Insbesondere sind unter einem transparenten Abdeckmaterial jegliche transparenten Materialien zu verstehen, welche den Sensor gegen die äußere Umgebung abschirmen und selbst mit ihrer äußeren Oberfläche mit der Umgebung des Sensors in Kontakt stehen. Als optoelektronische Sensoren kommen insbesondere Laserscanner und/oder LiDAR-Sensoren und/oder Videokameras und/oder Überwachungskameras und/oder Autoscheinwerfer infrage. Als Fortbewegungsmittel im Sinne der Erfindung kommen z.B. Automobile, insbesondere PKW und/oder LKW, und/oder Flugzeuge und/oder Schiffe und/oder Motorräder infrage.

**[0007]** In einem ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt ein Einkoppeln eines Lichtstrahls an einer ersten Einkoppelposition einer ersten Randfläche des transparenten Abdeckmaterials über ein Einkoppelelement. Der Begriff „Lichtstrahl“ kann gemäß dem Strahlenmodell des Lichtes als eine vereinfachte Beschreibung für eine Gesamtheit elektromagnetischer Wellen aufgefasst werden, welche für das betrachtete System, z.B. das transparente Abdeckmaterial, relevant sind. Als elektromagnetische Strahlung, welche im Rahmen der vorliegenden Offenbarung in einem Lichtstrahl enthalten sein kann, kommt insbesondere UV-Strahlung (Wellenlängen-

bereich: 10 nm bis 380 nm) und/oder sichtbares Licht (Wellenlängenbereich: 380 bis 780 nm) und/oder Infrarotstrahlung (Wellenlängenbereich: 780 nm bis 30  $\mu\text{m}$ ) infrage. Hierbei wird der Einkoppelwinkel, z.B.  $> 40^\circ$  bis  $90^\circ$  oder  $> 40^\circ$  bis  $< 180^\circ$ , derart gewählt, dass eine mehrfache totale interne Reflexion des Lichtstrahls innerhalb des Abdeckmaterials stattfindet.

**[0008]** Als „Einkoppelwinkel“ wird vorliegend jener Winkel definiert, welcher durch die Oberflächennormale der äußeren Oberfläche, insbesondere bei gekrümmten Abdeckmaterialien an der Schnittkante zwischen der ersten Randfläche und der äußeren Oberfläche, und dem eingekoppelten Lichtstrahl beschrieben wird.

**[0009]** Das Abdeckmaterial kann insbesondere planar oder gewölbt bzw. gekrümmt sein. Die Einkoppelposition des Lichtstrahls befindet sich an einer ersten Randfläche des Abdeckmaterials. Hierbei wird der Lichtstrahl von einer Lichtquelle, insbesondere einer LED und/oder einem Laser und/oder einer Glühlampe, durch ein Einkoppelement, insbesondere eine Linse und/oder ein Mikrolinsen-Array und/oder ein diffraktives Element und/oder eine Glasfaser und/oder eine abgeschrägte Fläche zur Unterdrückung der Fresnelreflexion und/oder über MMI-Wellenleiter und/oder über ein Prisma, eingekoppelt. Beispielsweise kann über die Einkoppelemente divergentes oder kollimiertes Licht erzeugt werden. Im Rahmen der vorliegenden Offenbarung wird insbesondere die Randfläche des transparenten Abdeckmaterials als jene Fläche verstanden, welche einen geringeren Flächeninhalt als die „äußere Oberfläche“ aufweist. Mit anderen Worten säumt eine Randfläche die äußere Oberfläche. Die äußere Oberfläche schirmt hierbei insbesondere den optoelektronischen Sensor von der Umgebung ab. Die „innere Oberfläche“ ist insbesondere die Oberfläche des transparenten Abdeckmaterials, welche dem optoelektronischen Sensor am nächsten ist. Diese verläuft z.B. im Wesentlichen parallel zur äußeren Oberfläche und grenzt an diese nicht direkt an. Mit anderen Worten grenzen die Randflächen direkt an die äußere Oberfläche und/oder die innere Oberfläche an. Die Randflächen können entweder eben oder gewölbt sein. Hierbei ist ein Einkoppeln an einer beliebigen Position dieser Randflächen denkbar. Allerdings wird hierbei das Licht insbesondere nicht an der äußeren Oberfläche bzw. an der inneren Oberfläche des transparenten Abdeckmaterials eingekoppelt. Dies hätte zur Folge, dass die Effizienz der Lichteinkopplung zur großflächigen Detektion der Verunreinigungen zu gering wäre. Der Einkoppelwinkel wird hierbei derart gewählt, dass eine mehrfache totale interne Reflexion des Lichtstrahls innerhalb des Abdeckmaterials stattfindet. Mit anderen Worten wird das transparente Abdeckmaterial im Wesentlichen vollständig von dem Lichtstrahl durchdrungen. Dies bedeutet insbesondere, dass der Einkoppelwinkel bei einem planaren Ab-

deckmaterial nicht  $90^\circ$  sein kann, da ansonsten keine mehrfache totale interne Reflexion möglich wäre. Hingegen kann der Einkoppelwinkel bei einem gekrümmten transparenten Abdeckmaterial  $90^\circ$  betragen, da durch die Krümmung eine mehrfache totale interne Reflexion ermöglicht wird. Die mehrfache totale interne Reflexion wird insbesondere dadurch bedingt, dass außerhalb des transparenten Abdeckmaterials ein dünneres optisches Medium, d.h. ein optisches Medium mit einem geringeren Brechungsindex vorliegt. Dies ist beispielsweise Luft.

**[0010]** Die Beschichtung kann beispielsweise ein Anti-Reflex-Coating, ein Hard-Coating, oder einen Bandpassfilter oder andere optische Filter (z.B. Lang- oder Kurzpassfilter) umfassen. Alternativ kann die Oberfläche auch eine eingeprägte Struktur besitzen, beispielsweise eine Mikro- oder Nanostruktur, oder eine diffraktive Struktur.

**[0011]** Das Licht wird in einem weiteren Schritt an einer zweiten Randfläche, welcher der ersten Randfläche insbesondere gegenüberliegt, ausgekoppelt. Hierbei liegt insbesondere die erste Auskoppelposition der ersten Einkoppelposition gegenüber. Das Auskoppeln erfolgt über ein Auskoppelement. Das Auskoppelement kann dieselben Materialien aufweisen wie das Einkoppelement. Insbesondere wird der Gang des Lichts von der ersten Einkoppelposition bis zur ersten Auskoppelposition als Lichtpropagation innerhalb des transparenten Materials bezeichnet.

**[0012]** In einem weiteren Schritt wird der ausgekoppelte Lichtstrahl z.B. zu einem Detektor geleitet. Dies kann beispielsweise direkt über das Auskoppelement erfolgen. Mithilfe des Detektors wird die Transmission und/oder Reflexion des ausgekoppelten Lichtstrahls ermittelt. Der ausgekoppelte Lichtstrahl erzeugt beim Auftreffen auf den Detektor zunächst elektronische Signale innerhalb des Detektors, welche von der Intensität des Lichtstrahls abhängen. Ein derartiger Detektor kann insbesondere einen CCD und/oder einen CMOS-Chip und/oder eine Diode und/oder ein 1D- und/oder ein 2D-Detektor-Array umfassen. Eine Auswerteeinheit, z.B. eine CPU und/oder ein Mikroprozessor kann mit dem Detektor verbunden sein und die durch den Detektor entstandenen Signale in Transmission und/oder Reflexion umrechnen und eine entsprechende Hinterlegung, z.B. in einem Speicher und/oder eine Ausgabe, z.B. auf einem Monitor, dieser Werte veranlassen. Hierbei vergleicht die Auswerteeinheit insbesondere die bekannte Intensität des Lichtstrahls an der Lichtquelle mit der Intensität, welche durch den Detektor gemessen wird. Der Detektion der Verunreinigungen liegt hierbei insbesondere folgendes Messprinzip zugrunde: Durch die Einkopplung des Lichtstrahls an einer seitlichen Randfläche kann eine vollständige Lichtpropagation mittels mehrfacher totaler interner Reflexion durch das Abdeckmaterial er-

folgen. Sollten sich auf einer inneren oder äußeren Oberfläche des Abdeckmaterials, vorzugsweise auf der äußeren Oberfläche, Verunreinigungen befinden, kann das sog. evaneszente bzw. elektromagnetische Feld (der Lichtstrahl), mit den Verunreinigungen auf der Oberfläche wechselwirken. Dadurch kann ein Teil des Lichtstrahls von der Verunreinigung absorbiert und/oder in verschiedene Raumrichtungen gestreut werden. Somit propagiert nicht mehr der Lichtstrahl mit der ursprünglichen Intensität durch das zu untersuchende Abdeckmaterial. Auf der anderen Seite trifft ein intensitätsmäßig abgeschwächter Lichtstrahl auf den Detektor. Mithilfe der mehrfachen totalen internen Reflexion werden durch den Lichtstrahl große Teile der Oberfläche erfasst, wobei eine beliebig angeordnete Verunreinigung durch diesen erreicht werden kann. Insbesondere erfolgt das Einkoppeln in die erste Randfläche in einem Einkoppelwinkel von  $> 40^\circ$ . Ein Kriterium bei der Einkopplung besagt, dass eine mehrfache Totalreflexion vor der Auskopplung stattfindet. Insbesondere kann der Einkoppelwinkel hierbei wie folgt definiert werden:

**[0013]** Wenn die erste Randfläche gekrümmt ist, so ist der Einkoppelwinkel als Winkel zwischen dem Lichtstrahl und einer Oberflächennormalen an der Schnittgeraden zwischen erster Randfläche und äußerer Oberfläche definiert.

**[0014]** Aus dem erfindungsgemäßen Verfahren ergibt sich zunächst der Vorteil, dass nur ein kleines Einbauvolumen zur Realisierung desselben vonnöten ist. Das Verfahren kann über den Einbau der entsprechenden Komponenten in ein konventionelles Sensorgehäuse realisiert werden. Überdies kann auf effiziente Art und Weise eine Verunreinigung durch die umfassende Lichtpropagation durch das transparente Material erkannt werden. Überdies ist keine komplexe Elektronik notwendig. Zudem können im Vergleich zu konventionellen Verfahren Kosten eingespart werden. Ferner kann durch die umfassende Lichtpropagation durch das transparente Abdeckmaterial eine Verunreinigung jederzeit detektiert werden. Hierdurch können unnötige Reinigungsvorgänge, welche die Oberfläche beschädigen können, vermieden werden. Zudem kann auch durch die Feststellung einer Beschädigung der Oberfläche die Notwendigkeit ermittelt werden, ein transparentes Abdeckmaterial auszutauschen. Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere im Ansprechen auf ein Aktivieren eines Ruhemodus' des Sensors und/oder im Ansprechen auf ein Hochfahren des Sensors und/oder im Ansprechen auf ein Abschalten des Sensors und/oder im ausgeschalteten Zustand des Sensors automatisiert erfolgen.

**[0015]** Die Unteransprüche zeigen bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung.

**[0016]** In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist das Abdeckmaterial eine Krümmung auf. Die Krümmung kann beispielsweise in Form eines Zylinderschnitts und/oder in Form eines Kugelschnitts und/oder in Form eines Schnitts durch einen Rotationsellipsoid ausgebildet sein. Hierbei umfasst der Durchmesser eines in die Krümmung einbeschriebenen Kreises, insbesondere 1 bis 60 cm, bevorzugt 5 bis 40 cm. Hierbei bedeutet „in die Krümmung einbeschrieben“ insbesondere, dass ein Querschnitt durch die Krümmung den Bogen des einbeschriebenen Kreises entspricht. Insbesondere kann der Einkoppelwinkel zwischen  $70^\circ$  und  $120^\circ$  im Falle der Krümmung betragen. Insbesondere kommt ein Einkoppelwinkel von  $90^\circ$  in Betracht. Hierbei ist es lediglich entscheidend, dass eine mehrfache totale interne Reflexion des Lichtstrahls ermöglicht wird.

**[0017]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das transparente Abdeckmaterial Glas und/oder ein Kunststoff, insbesondere Polycarbonat und/oder Polymethylmethacrylat (PMMA). Hierbei ist es insbesondere entscheidend, dass das transparente Abdeckmaterial einen höheren Brechungsindex als Luft bzw. das Umgebungsmedium des transparenten Abdeckmaterials hat.

**[0018]** Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist das Einkoppelement über mehrere lichtleitende Fasern mit dem Abdeckmaterial verbunden. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass mehrere Lichtstrahlen an mehreren Einkoppelpositionen der ersten Randfläche eingekoppelt werden. Somit existiert nicht nur eine erste Einkoppelposition, sondern auch eine zweite bzw. dritte bzw. vierte Einkoppelposition, wobei deren Anzahl abhängig von der Anzahl der in das transparente Abdeckmaterial integrierten lichtleitenden Fasern ist. Die lichtleitenden Fasern können insbesondere Glasfasern umfassen. Hierbei kann eine einzige punktförmige Lichtquelle mit der Anzahl der lichtleitenden Fasern verbunden werden, um das Licht einzukoppeln. Hierdurch wird die Lichteinkoppeffizienz nochmals gesteigert, wodurch eine umfassendere Propagation durch das transparente Abdeckmaterial erfolgen kann, um Verunreinigungen in einem größeren Ausmaß festzustellen. Hierbei kann es ebenso vorgesehen sein, dass nur ein Teil der lichtleitenden Fasern mit derselben Lichtquelle verbunden ist. Eine Ausführungsform der Lichtquelle und der lichtleitenden Fasern kann beispielsweise mit einem MMI (multi mode interferometer chip) realisiert werden. Zusätzlich oder alternativ kann es vorgesehen sein, dass auch das Auskoppelement über mehrere lichtleitende Fasern mit dem Abdeckmaterial verbunden ist. Beispielsweise können sowohl für die lichtleitenden Fasern des Einkoppelements als auch für die lichtleitenden Fasern des Auskoppelements eine An-

zahl von 1 bis 1000, vorzugsweise 1 bis 100, besonders bevorzugt 1 bis 10, lichtleitende Fasern mit dem transparenten Abdeckmaterial verbunden werden. Zudem können Ein- und Auskoppелеlement eine unterschiedliche Anzahl lichtleitender Fasern aufweisen.

**[0019]** In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das Einkoppелеlement ein Prisma, welches z.B. mittels Spritzgussverfahrens in das Abdeckmaterial integriert ist. Hierbei kann, wenn beispielsweise das transparente Abdeckmaterial einen Kunststoff umfasst, das Abdeckmaterial gemeinsam mit einem integrierten Prisma gefertigt werden. Ferner oder alternativ kann das Prisma auch aufgesetzt sein. Hierbei ist das Prisma insbesondere in einem Randbereich der äußeren und/oder inneren Oberfläche des transparenten Abdeckmaterials angeordnet. Somit stellt das Prisma eine Erweiterung der ersten Randfläche, welche die Einkoppelposition umfasst, dar. Nach vorstehend offenbarten Prinzipien, kann das Licht durch Prisma eingekoppelt werden. Ferner oder alternativ kann das Prisma auch als Auskoppелеlement verwendet werden. Das Prisma, welches nicht in das transparente Abdeckmaterial integriert ist, kann beispielsweise über herkömmliche Verfahren wie beispielsweise ein Ankleben. Alternativ kann auch ein Kleber mit einem „matched refraktive index“ verwendet werden. Alternativ oder ergänzend kann ein Prisma über ein Hardpress-Verfahren aufgedrückt sein.

**[0020]** Des Weiteren besteht die Möglichkeit das Prisma mechanisch zu klemmen und die Lücke mit einem Material dessen Brechungsindex mit dem Prisma und dem Deckglas übereinstimmt zu füllen. Im Falle des Herstellens mittels Spritzgussverfahrens ist das Einkoppелеlement besonders kostengünstig herstellbar.

**[0021]** Nach einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das Abdeckmaterial eine Länge von 5 bis 40 cm und/oder eine Breite von 10 bis 30 cm. Bevorzugt umfasst das transparente Abdeckmaterial eine Länge von 10 cm und eine Breite von 5 cm. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das transparente Abdeckmaterial eine Länge von 15 cm und eine Breite von 10 cm. Ferner kann das Abdeckmaterial auch im Falle eines kreisförmigen Querschnitts einen Durchmesser von 5 bis 30 cm, bevorzugt 5 bis 20 cm, umfassen.

**[0022]** Das transparente Abdeckmaterial weist gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Dicke von < 5 mm auf. Insbesondere kann die Dicke 3 bis 4 mm betragen. Hierbei ist die Dicke insbesondere als der Abstand zwischen der inneren Oberfläche des Abdeck-

materials und der äußeren Oberfläche des Abdeckmaterials definiert.

**[0023]** In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung umfasst das erfindungsgemäße Verfahren ein Einkoppeln einer Mehrzahl von Lichtstrahlen an einer Mehrzahl von Einkoppelpositionen, welche an einer Mehrzahl entsprechender Auskoppelpositionen ausgekoppelt wird. Hierbei befindet sich eine erste Einkoppelposition gegenüber einer ersten Auskoppelposition, womit der propagierende Lichtstrahl ideal ein- bzw. ausgekoppelt werden kann. Ferner befindet sich insbesondere eine zweite Einkoppelposition gegenüber einer zweiten Auskoppelposition, usw. Beispielsweise können zwischen 1 bis 100 Einkoppelpositionen 1 bis 100 Auskoppelpositionen gegenüber liegen. Überdies kann im Falle einer quadratischen und/oder rechteckigen Grundfläche des transparenten Abdeckmaterials an jeder der Randflächen eingekoppelt bzw. ausgekoppelt werden. Dies bedeutet insbesondere, dass sich Einkoppелеlemente an zwei angrenzenden Randflächen befinden können, wobei an den beiden anderen sich einander angrenzenden Randflächen Auskoppелеlemente angeordnet sind. Dieses Prinzip kann entsprechend für eine 5 bis n-eckige Grundfläche des transparenten Abdeckmaterials fortgesetzt werden. Auf diese Weise kann durch die unterschiedlichen durch das Material propagierenden Lichtstrahlen ein Raster im transparenten Abdeckmaterial generiert werden, wobei Verunreinigungen bezüglich ihrer Position lokalisiert werden können. Dies kann insbesondere über eine mit dem Detektor verbundene Auswerteeinheit, z.B. eine CPU oder einen Mikroprozessor, erfolgen.

**[0024]** Der Einkoppelwinkel kann größer als 40° und kleiner als 180° sein. Hierbei ist der Einkoppelwinkel im Falle eines planaren transparenten Abdeckmaterials insbesondere größer als 40° und kleiner als 90° und beträgt bevorzugt 45° bis 70° und besonders bevorzugt 50° bis 60°. Alternativ ist der Einkoppelwinkel größer als 90° und kleiner als 180° und beträgt bevorzugt 95° bis 150° bzw. besonders bevorzugt 100° bis 120°. Im Falle eines gekrümmten transparenten Abdeckmaterials ist der Einkoppelwinkel größer als 40° und kleiner als 180° und beträgt bevorzugt 80° bis 120° besonders bevorzugt 90°.

**[0025]** Die folgenden erfindungsgemäßen Aspekte umfassen die vorteilhaften Ausgestaltungen und Weiterbildungen sowie die generellen Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und jeweils die damit verbundenen technischen Effekte gleichsam.

**[0026]** Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein System, welches eingerichtet ist, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Ein derartiges System kann insbesondere eine Lichtquelle, ein Einkoppелеlement, welches optisch mit der Lichtquelle verbunden ist, und ein transparen-

tes Abdeckmaterial, welches optisch mit dem Einkoppelement verbunden ist, umfassen. Das Einkoppelement kann eingerichtet sein, einen Lichtstrahl an einer ersten Position einer ersten Randfläche des transparenten Abdeckmaterials in einem Einkoppelwinkel einzukoppeln. Das erfindungsgemäße System umfasst ferner ein Auskoppelement, welches eingerichtet ist, den Lichtstrahl an einer ersten Auskoppeposition einer zweiten Randfläche des Abdeckmaterials auszukoppeln. Ferner umfasst das erfindungsgemäße System einen Detektor, mit dessen Hilfe die Transmission und/oder die Reflexion des ausgekoppelten Lichtstrahls ermittelt werden kann.

**[0027]** Gemäß einem dritten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung einen optoelektronischen Sensor mit einem System gemäß dem zweiten Aspekt.

**[0028]** Gemäß einem vierten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Fortbewegungsmittel umfassend einen optoelektronischen Sensor gemäß dem dritten Aspekt.

#### Figurenliste

**[0029]** Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die begleitende Zeichnung im Detail beschrieben. In der Zeichnung ist:

**Fig. 1** eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems;

**Fig. 2** eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems;

**Fig. 3a** eine teilweise Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems, wobei ein Einkoppeln des Lichts über mehrere lichtleitende Fasern stattfindet;

**Fig. 3b** eine teilweise Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems, bei dem eine Auskopplung über mehrere lichtleitende Fasern stattfindet;

**Fig. 4** eine theoretische Betrachtung der Reflexion für Polycarbonat und Luft;

**Fig. 5a** eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems mit einem aufgesetzten Prisma;

**Fig. 5b** eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems mit einem in das transparente Abdeckmaterial integrierten Prisma;

**Fig. 6a** eine optische Simulation einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**Fig. 6b** eine Intensitätsverteilung bezüglich der optischen Simulation ohne Verunreinigungen;

**Fig. 6c** eine Intensitätsverteilung resultierend aus der optischen Simulation im Falle einer Ver-

unreinigung des transparenten Abdeckmaterials;

**Fig. 7** eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems mit mehreren Detektoren und Lichtquellen;

**Fig. 8** ein Querschnitt durch eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems für ein gekrümmtes transparentes Abdeckmaterial;

**Fig. 9** eine theoretische Betrachtung der Reflexion bei einer Benetzung der Oberfläche mit einer Flüssigkeit;

**Fig. 10** ein Flussdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**Fig. 11** einen Laserscanner, der das erfindungsgemäße System umfasst; und

**Fig. 12** eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Automobils.

#### Ausführungsformen der Erfindung

**[0030]** **Fig. 1** zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems bezüglich eines Einkoppelns zweier Lichtstrahlen **1a**, **1b** in ein transparentes Abdeckmaterial **6**. Das Licht wird an einer ersten Randfläche **2**, welche planar ist, an einer jeweils ersten Einkoppelposition **5a**, **5b** eingekoppelt. Dies kann beispielsweise über ein Einkoppelement **10**, wie oben definiert, realisiert werden. Nach dem Einkoppeln der Lichtstrahlen **1a**, **1b** propagieren diese unter einer mehrfachen totalen internen Reflexion durch das transparente Abdeckmaterial **6**. Beim Einkoppeln wird ein Einkoppelwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  der Lichtstrahlen **1a**, **1b** derart realisiert, dass eine mehrfache totale interne Reflexion möglich ist. Die Einkoppelwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  werden durch die Richtung der Lichtstrahlen **1a**, **1b** bei der Einkopplung an der ersten Randfläche **2** und ein Lot **3** definiert. Hierbei verläuft das Lot **3** auf der ersten Randfläche **2**. Ferner stellt das Lot **3** an der ersten Einkoppelposition **5a**, **5b** eine Normale zur äußeren Oberfläche **20** des transparenten Abdeckmaterials **6** dar. Im Falle eines gekrümmten transparenten Abdeckmaterials **6**, wie hier gezeigt, kann der Einkoppelwinkel  $\theta_1 > 90^\circ$  betragen, da durch die Krümmung des transparenten Abdeckmaterials **6** eine mehrfache totale interne Reflexion hervorgerufen wird. Im Falle eines planaren transparenten Abdeckmaterials **6** wäre ein derartiger Einkoppelwinkel  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  unvorteilhaft, da die Lichtstrahlen **1a**, **1b** dann geradewegs ohne eine mehrfache totale interne Reflexion zu durchlaufen, durch das transparente Abdeckmaterial **6** propagieren würde. An der zweiten Randfläche **4** können die Lichtstrahlen **1a**, **1b** ausgekoppelt werden.

**[0031]** **Fig. 2** zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems. Hierbei ist das transparente Abdeckmaterial **6** planar. Die Lichtstrahlen **1a** und

**1b** werden durch ein Einkoppelement in das transparente Abdeckmaterial **6** eingekoppelt. Das Einkoppelement **10** ist hierbei mit einer Lichtquelle **9**, welche beispielsweise eine LED und/oder ein Laser und/oder eine Glühlampe umfassen kann, optisch verbunden. Ein Einkoppelement **10** kann beispielsweise eine Linse und/oder ein Mikrolinsen-Array und/oder diffraktives Element umfassen. Die Pfeile der Lichtstrahlen **1a** und **1b** zeigen die Propagationsrichtung der Lichtstrahlen **1a** und **1b** durch das transparente Abdeckmaterial **6** an. Hierbei sind Verunreinigungen **8**, beispielsweise Staubpartikel, auf der äußeren Oberfläche **20** des transparenten Abdeckmaterials **6** vorhanden. Die Lichtstrahlen **1a**, **1b** wechselwirken hier mit den Verunreinigungen **8**. Die Verunreinigungen **8** können die elektromagnetische Strahlung der Lichtstrahlen **1a**, **1b** teilweise absorbieren und/oder streuen. Im Falle der Streuung wird an den Verunreinigungen **8** Streulicht **7** abgestrahlt. Hierbei wird die Intensität der Lichtstrahlen durch die Absorption und/oder die Streuung geschwächt. Der über das Auskoppелеlement **11** ausgekoppelte Lichtstrahl **1a**, **1b**, welcher eine geringere Intensität aufweist, wird über einen Detektor **12** erfasst. Mithilfe des Detektors **12** kann somit die Transmission und/oder die Reflexion der ausgekoppelten Lichtstrahlen **1a**, **1b** ermittelt werden. Im Falle einer Absorption bzw. Abstrahlung über Streulicht **7** ist die Transmission geringer. Somit kann festgestellt werden, dass eine Verunreinigung **8** auf dem transparenten Abdeckmaterial **6** bzw. auf dessen äußerer Oberfläche **20** vorhanden ist.

**[0032]** Fig. 3a zeigt eine teilweise Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems, wobei die Einkoppelemente **10a** bis **10k** mit der Lichtquelle **9** optisch verbunden sind. Aus der Lichtquelle **9** wird über die Einkoppelemente **10a** bis **10k**, welche beispielsweise Glasfasern umfassen, Licht an die jeweilige erste Einkoppelposition **5a** bis **5k** geleitet. Somit kann eine punktförmige Lichtquelle **9** sozusagen aufgefächert werden, und der Lichtstrahl **1** kann an mehreren Positionen **5a** bis **5k** der ersten Randfläche **2** eingekoppelt werden.

**[0033]** Fig. 3b zeigt das Prinzip aus Fig. 3a für das Auskoppeln. Hierbei kann an der zweiten Randfläche **4** an Auskoppelpositionen **13a** bis **13e** das Licht über Auskoppелеlemente **10a** bis **10d** ausgekoppelt werden. Somit kann über die lichtleitenden Auskoppелеlemente **10a** bis **10d**, z.B. Glasfasern, die Lichtstrahlen **1a** bis **1d** zum Detektor **12** geleitet werden.

**[0034]** Fig. 4 zeigt eine theoretische Betrachtung zur Berechnung des Einkoppelwinkels  $\theta_1$  bei einer Reflexion in Polycarbonat **6** mit Licht einer Wellenlänge von 905 nm.  $n_0$  ist hierbei der Brechungsindex von Luft, welcher näherungsweise 1 ist. Hierbei wird der Lichtstrahl **1a** innerhalb einer theoretischen Betrachtung nach einem Einkoppeln in einem Einkoppelwinkel  $\theta_1$  über einen Auskoppelwinkel  $\theta_0$  ausge-

koppelt, nachdem eine Brechung innerhalb des Polycarbonats **6** erfolgte. Der theoretischen Betrachtung liegen folgende Formeln zugrunde:

$$\left. \begin{aligned} n_0 \sin(\theta_0) &= n_{PC} \sin(\theta_i) \\ n_1 \sin(\theta_1) &= n_{PC} \sin(\theta_r) \\ \theta_i &= \frac{\pi}{2} - \theta_r \end{aligned} \right\} n_0^2 \sin^2(\theta_0) + n_1^2 \sin^2(\theta_1) = n_{PC}^2$$

$$\begin{aligned} \sin^2(\pi/2) + \sin^2(\theta_1) &= n_{PC}^2 \\ \Leftrightarrow \sin(\theta_1) &= \sqrt{n_{PC}^2 - n_0^2} \\ \Leftrightarrow \sin(\theta_1) &= 1.2068 \end{aligned}$$

**[0035]** Die Formeln sagen aus, dass in Abwesenheit von Wasser auf der Oberfläche des Abdeckmaterials **6**, das gesamte Licht intern reflektiert wird und nicht ausgekoppelt wird, da der Sinus des kritischen Winkels höher ist als 1.

**[0036]** Fig. 5a zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems. Hierbei ist ein Prisma **14** auf das transparente Abdeckmaterial **6** aufgesetzt. Das Prisma **14** wird hierbei als Einkoppelement **10** verwendet und umfasst zudem die erste Randfläche **2**. Hierbei wird der Lichtstrahl **1a** über eine erste Randfläche **2** des Einkoppelprismas **14** eingekoppelt.

**[0037]** Fig. 5b zeigt ein Prisma **15**, welches in das transparente Abdeckmaterial **6** integriert ist. Dies kann beispielsweise über ein Spritzgussverfahren während der Fertigung des transparenten Abdeckmaterials **6** erfolgen. An einer zweiten Randfläche **2** und einer ersten Einkoppelposition **5a** wird der Lichtstrahl **1a** über das Prisma **15** in das transparente Abdeckmaterial **6** eingekoppelt.

**[0038]** Fig. 6a zeigt eine optische Simulation einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Hierbei wird innerhalb der Simulation das transparente Abdeckmaterial **6** dargestellt. Hierbei wird innerhalb der Simulation ein Untersuchungssegment **16** definiert. Hierbei wird die äußere Oberfläche **20** des transparenten Abdeckmaterials **6** als lambertscher Lichtstreuver definiert.

**[0039]** Fig. 6b zeigt eine Intensitätsverteilung, wenn keine Verunreinigung **8** auf der Oberfläche vorhanden ist

**[0040]** Ferner zeigt die Figur Farbbalken **21**, **22**, welche als Referenz für die Strahlungsintensitätswerte, welche im Untersuchungssegment **16** und dessen Darstellung **23** verwendet werden, dienen.

**[0041]** Fig. 6c zeigt eine Simulation einer verschmutzten Oberfläche **20**. Aufgrund der Streuung im Untersuchungssegment **16** kommt es zu einer un-

gleichmäßigen Verteilung der Intensität bei der Detektion des Lichtstrahls **1a** am Ende des transparenten Abdeckmaterials **6**.

**[0042]** Fig. 7 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems. Hierbei sind mehrere Detektoren **12i** bis **12n** an einer vierten Randfläche **18** angeordnet. Zur Vereinfachung sind hier weder Einkoppelemente **10** noch Auskoppelemente **11** gezeigt. Gegenüber dieser vierten Randfläche **18** befinden sich an einer dritten Randfläche **17** Lichtquellen **9i** bis **9n**. Ferner sind an der ersten Randfläche **2** Lichtquellen **9a** bis **9h** angeordnet, während an der zweiten Randfläche **4** die Detektoren **12a** bis **12h** angeordnet sind. Lichtstrahlen **1a**, **1b** und **1c** können auf diese Weise über Kreuz propagieren. Durch die Anordnung der Detektoren **12a** bis **12n** und der Lichtquellen **9a** bis **9h** wird ein Raster definiert. Sollten alle Detektoren **12a** bis **12n** und alle Quellen **9a** bis **9n** gleichzeitig aktiviert sein, so kann eine Verunreinigung **8** an der jeweiligen Position genau lokalisiert werden. Mit anderen Worten ist dieses Raster als eine Matrix ausgebildet, welche an den jeweiligen Schnittpunkten der Lichtstrahlen **1a** bis **1c** eine Verunreinigung **8** feststellen kann.

**[0043]** Fig. 8 zeigt eine Schnittdarstellung eines erfindungsgemäßen Systems, wobei das transparente Abdeckmaterial **6** eine gekrümmte Struktur aufweist. Hierbei ist die gekrümmte Struktur nicht abgeschlossen. Mit anderen Worten bildet die gekrümmte Struktur keine vollzylindrische Struktur und keinen Vollzylinderring aus.

**[0044]** Fig. 9 zeigt eine theoretische Berechnung des Einkoppelwinkels  $\theta_1$ . Hierbei wird das Licht des Streulichts an einer Flüssigkeit **8**, insbesondere Wasser, beim Auskoppeln berücksichtigt.  $n_{PC}$  bedeutet hierbei den Brechungsindex des transparenten Abdeckmaterials, im Falle, dass dieses Polycarbonat umfasst.  $\theta_r$  ist hierbei der Winkel des Lichtstrahls **1a** nach Einkoppeln, welcher durch die Senkrechte zum Lot **3** und dem Lichtstrahl **1a** definiert wird. Der theoretischen Berechnung liegen folgende Formeln zugrunde:

**[0045]** Die Abschätzung dieser Figur betrifft Verunreinigungen **8**; beispielsweise in Form von Wassertropfen und/oder Schmutzpartikeln.

$$\left. \begin{aligned} n_0 \sin(\theta_0) &= n_{PC} \sin(\theta_i) \\ n_1 \sin(\theta_1) &= n_{PC} \sin(\theta_r) \\ \theta_i &= \frac{\pi}{2} - \theta_r \end{aligned} \right\} n_0^2 \sin^2(\theta_0) + n_1^2 \sin^2(\theta_1) = n_{PC}^2$$

$$\begin{aligned} n_0^2 \sin^2(\theta_0) + \sin^2(\theta_1) &= n_{PC}^2 \\ \Leftrightarrow \sin(\theta_1) &= \sqrt{n_{PC}^2 - n_0^2} \\ \Leftrightarrow \sin(\theta_1) &= 0.8324 \\ \Rightarrow \theta_1 &= 56.34^\circ \end{aligned}$$

**[0046]** Die Formeln sagen aus, dass in Anwesenheit von Verunreinigungen **8** auf dem Abdeckmaterial **6** das gesamte Licht ab einem Einstrahlwinkel von  $56^\circ$  ausgekoppelt wird, da der Sinus des kritischen Winkels kleiner als 1 ist.

**[0047]** Fig. 10 zeigt ein Flussdiagramm einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Detektion von Verunreinigungen **8** auf einem transparenten Abdeckmaterial **6** eines optoelektronischen Sensors **19**. In einem ersten Schritt **100** wird der Lichtstrahl **1a** an einer ersten Einkoppelposition **5a** einer ersten Randfläche **2** des transparenten Abdeckmaterials **6** über ein Einkoppelement **10** eingekoppelt. Das Einkoppelement **10** ist beispielsweise eine Linse. Der Einkoppelwinkel  $\theta_1$  wird hierbei derart gewählt, dass eine mehrfache totale interne Reflexion des Lichtstrahls **1a** innerhalb des Abdeckmaterials **6** stattfindet. Hierbei ist das Abdeckmaterial **6** insbesondere gekrümmt, wobei der Einkoppelwinkel  $\theta_1$ , insbesondere  $90^\circ$  beträgt. Hierbei wird die elektromagnetische Strahlung des Lichtstrahls **1a** während der mehrfachen totalen internen Reflexion an einem Staubpartikel **8** gestreut, so dass Intensität des Lichtstrahls **1a** über Streulicht **7** verloren geht. In einem zweiten Schritt **200** wird der Lichtstrahl **1a** an einer ersten Auskoppelposition **13** über eine Linse **11** ausgekoppelt und zu einem Detektor **12** geführt. In einem dritten Schritt **300** wird hierbei die Transmission des Lichtstrahls mithilfe des Detektors **12** und eine Auswerteeinheit ermittelt. Hierbei ist die Transmission kleiner als 1, da eine Reflexion des Lichtstrahls **1a** an einem Staubpartikel **8** stattfand.

**[0048]** Fig. 11 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Laserscanners **19**, welcher ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Systems aufweist. Hierbei weist der Laserscanner **19** ein transparentes Abdeckmaterial **6** auf. Das transparente Abdeckmaterial **6** ist mit einer Lichtquelle **9** und einem Einkoppelement **10** verbunden. Das transparente Abdeckmaterial **6** ist hierbei gekrümmt, wie beispielsweise auch in Fig. 8 illustriert. Durch das transparente Abdeckmaterial **6** kann nach Einkoppeln eines Lichtstrahls **1a** dieser propagieren und über ein Auskoppelement **11** zu einem Detektor **12** geführt werden. Auf diese Weise kann die Verunreinigung **8** des transparenten Abdeckmaterials **6** des Laserscanners **19** untersucht werden.

**[0049]** Fig. 12 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Automobils **25**, welches ein Ausführungsbeispiel des

erfindungsgemäßen optoelektronischen Sensors **19**  
aufweist.

**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- US 2012182553 A1 [0002]
- EP 1983334 A1 [0002]
- EP 19883899 A1 [0002]
- WO 2015/140181 [0003]
- DE 102009053825 A1 [0003]
- DE 102008023845 A1 [0003]
- DE 102008020171 A1 [0003]
- DE 2007025981 A1 [0003]
- DE 102006040213 A1 [0003]
- JP 2012150041 A [0003]
- WO 2013/091619 A1 [0003]
- DE 102013211738 A1 [0005]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Detektion von Beschädigungen und/oder Verunreinigungen (8) auf einem transparenten Abdeckmaterial (6) eines optoelektronischen Sensors (19) umfassend die Schritte:

- Einkoppeln (100) eines Lichtstrahls (1a-1c) an einer ersten Einkoppelposition (5a-5k) einer ersten Randfläche (2) des Abdeckmaterials (6) über ein Einkoppelement (10a-10k), wobei ein Einkoppelwinkel ( $\theta_1, \theta_2$ ) derart gewählt wird, dass eine mehrfache totale interne Reflexion des Lichtstrahls (1a-1c) innerhalb des Abdeckmaterials (6) stattfindet;
- Auskoppeln (200) des Lichtstrahls (1a-1c) an einer ersten Auskoppelposition (13a-13e) durch ein Auskoppelement (11a-11e) an einer zweiten Randfläche (4) des Abdeckmaterials (6); und
- Ermitteln (300) einer Transmission und/oder Reflexion eines ausgekoppelten Lichtstrahls (1a-1c) mithilfe eines Detektors (12a bis 12n).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Abdeckmaterial (6) eine Krümmung aufweist.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei das Abdeckmaterial (6) Glas und/oder Kunststoff umfasst.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Einkoppelement (10a-10k) und/oder das Auskoppelement (11a-11e) mehrere lichtleitende Fasern umfassen.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Einkoppelement (10a-10k) ein Prisma (14,15) umfasst, welches mittels Spritzgussverfahrens in das Abdeckmaterial (6) integriert ist und/oder auf dem Abdeckmaterial (6) befestigt ist.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Mehrzahl von Lichtstrahlen (1a-1c) an einer Mehrzahl von Einkoppelpositionen (5a-5k) eingekoppelt und an einer Mehrzahl von Auskoppelpositionen (13a-13e) ausgekoppelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Abdeckmaterial (6) eine Länge von 2 bis 30 cm und/oder eine Breite von 2 bis 40 cm aufweist.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Abdeckmaterial (6) eine Dicke von < 5 mm aufweist.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Einkoppelwinkel ( $\theta_1, \theta_2$ ) für das Abdeckmaterial (6), welches eine Krümmung aufweist, größer als 40° bis kleiner als 180° ist und/oder der Einkoppelwinkel ( $\theta_1, \theta_2$ ) für ein planares transparentes Abdeckmaterial (6) größer als 40° und/oder

kleiner als 90° oder größer als 90° und kleiner als 180° ist.

10. System, welches eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 auszuführen, umfassend:

- ein transparentes Abdeckmaterial (6);
- ein Einkoppelement (10a-10k), welches optisch mit dem transparenten Abdeckmaterial (6) verbunden ist und welches eingerichtet ist, einen Lichtstrahl (1a-1c) an einer ersten Einkoppelposition (5a-5k) an einer ersten Randfläche (2) des Abdeckmaterials (6) in einem derartigen Einkoppelwinkel ( $\theta_1, \theta_2$ ) einzukoppeln, dass eine mehrfache totale interne Reflexion des Lichtstrahls (1a-1c) innerhalb des Abdeckmaterials (6) stattfindet;
- ein Auskoppelement (13a-13e), welches optisch mit dem Abdeckmaterial (6) verbunden ist und eingerichtet ist, den Lichtstrahl (1a-1c) an einer ersten Auskoppelposition (13a-13e) an einer zweiten Randfläche (4) des Abdeckmaterials (6) auszukoppeln; und
- einen Detektor (12a-12n), welcher mit dem Auskoppelement (13a-13e) optisch verbunden ist und mithilfe dessen eine Transmission und/oder Reflexion des ausgekoppelten Lichtstrahls (1a-1c) gemessen werden kann.

11. Optoelektronischer Sensor (19) umfassend ein System nach Anspruch 10.

12. Fortbewegungsmittel (25) umfassend einen optoelektronischen Sensor (19) nach Anspruch 11.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

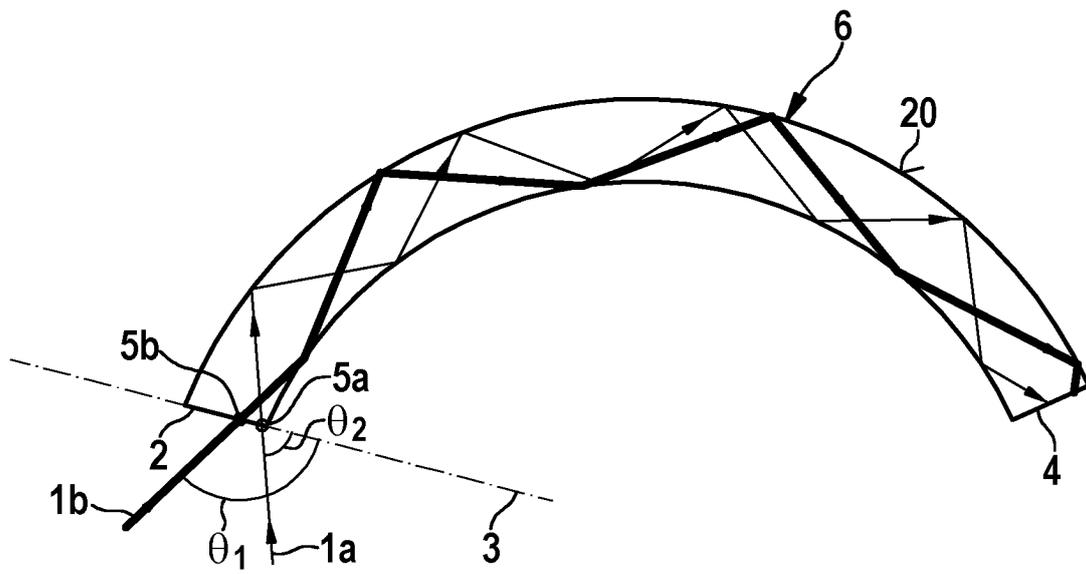


Fig. 1

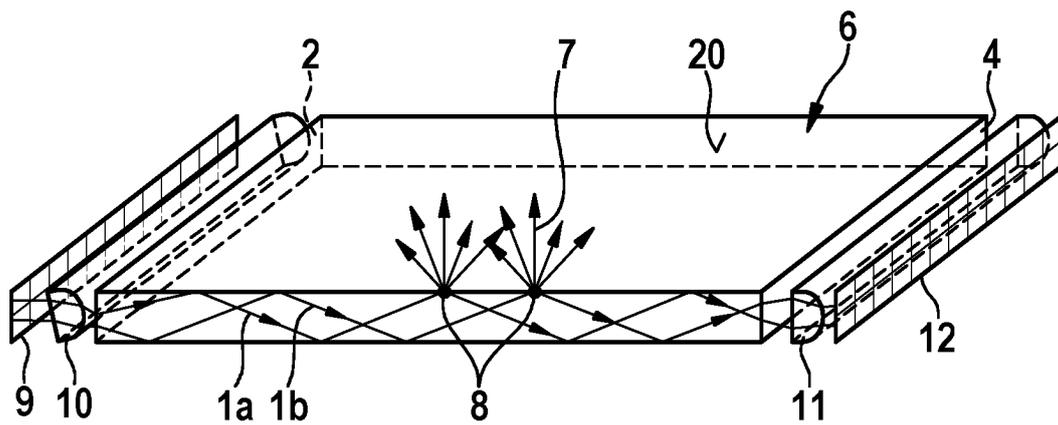


Fig. 2

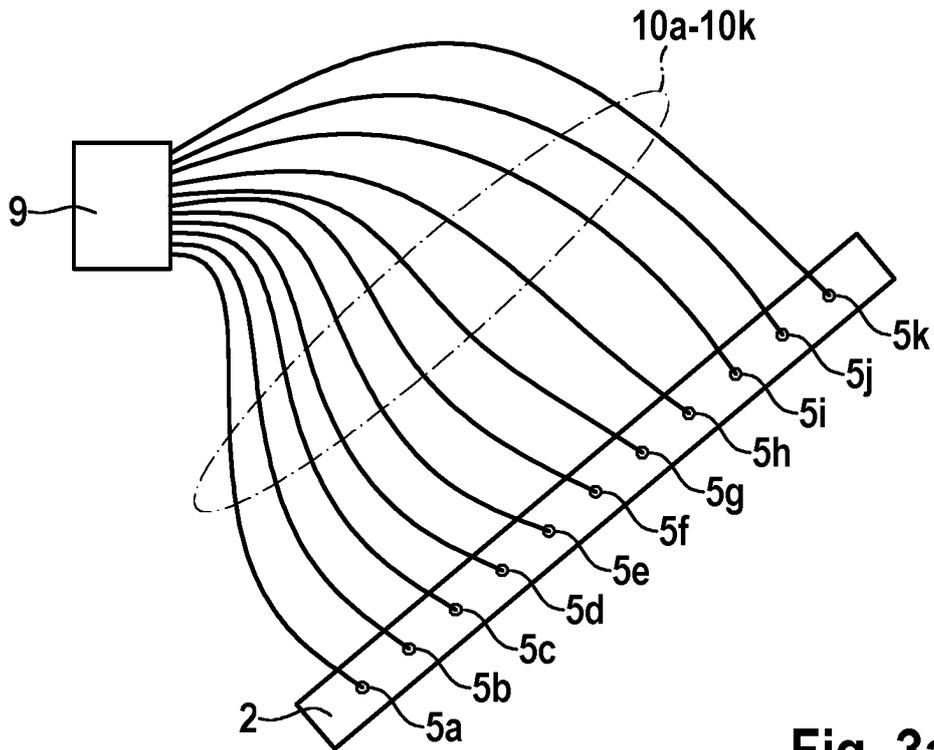


Fig. 3a

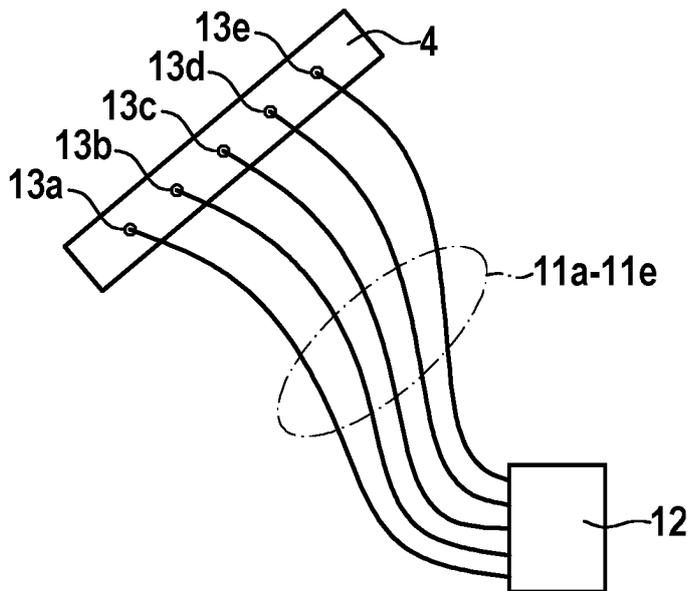
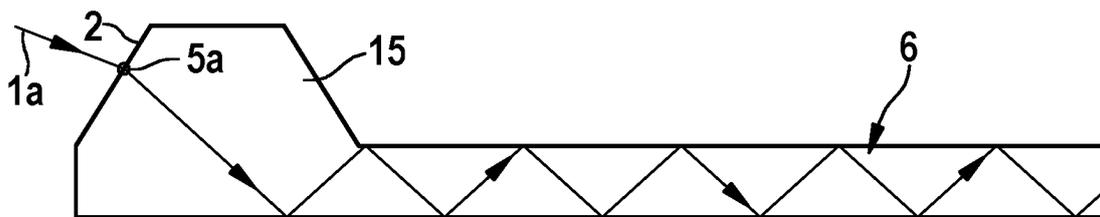
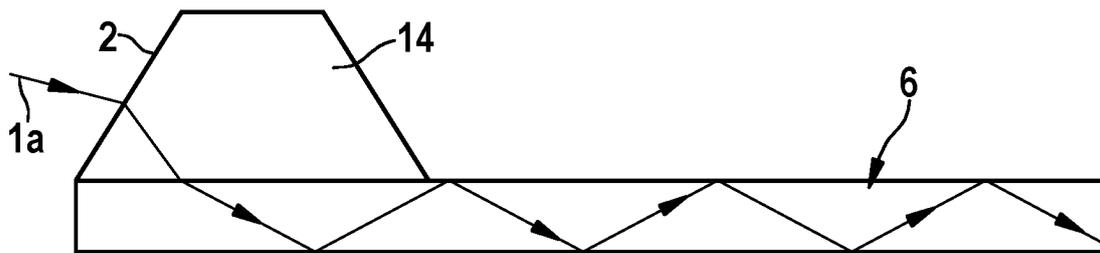
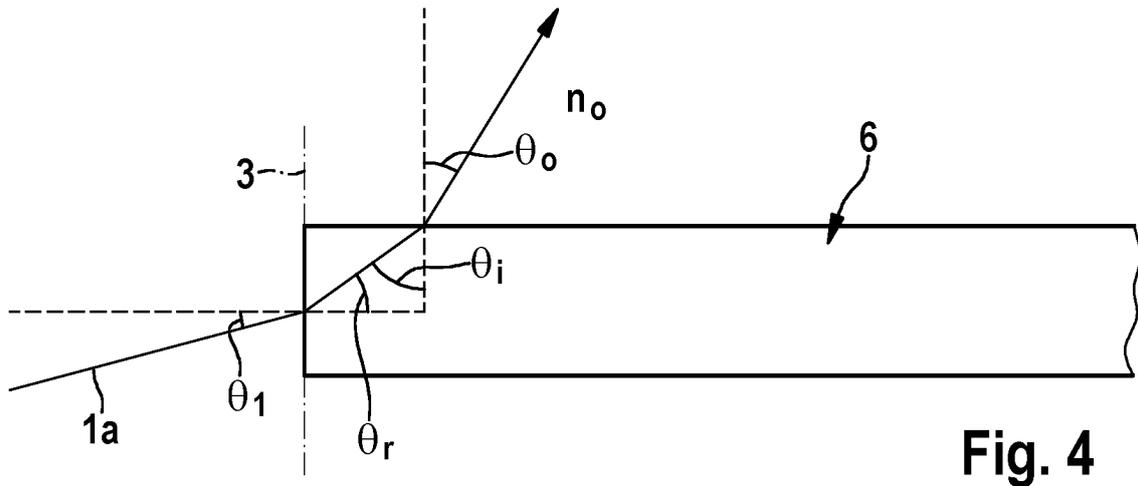


Fig. 3b



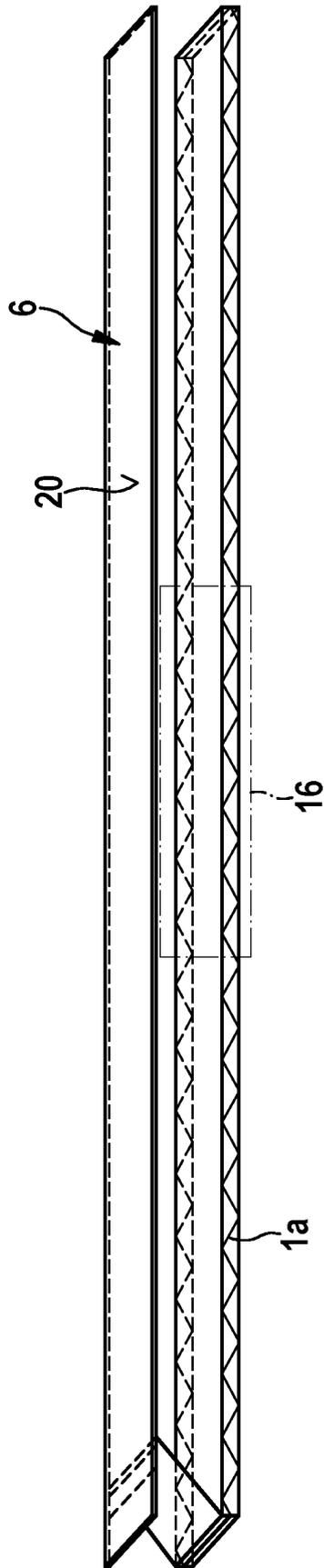


Fig. 6a

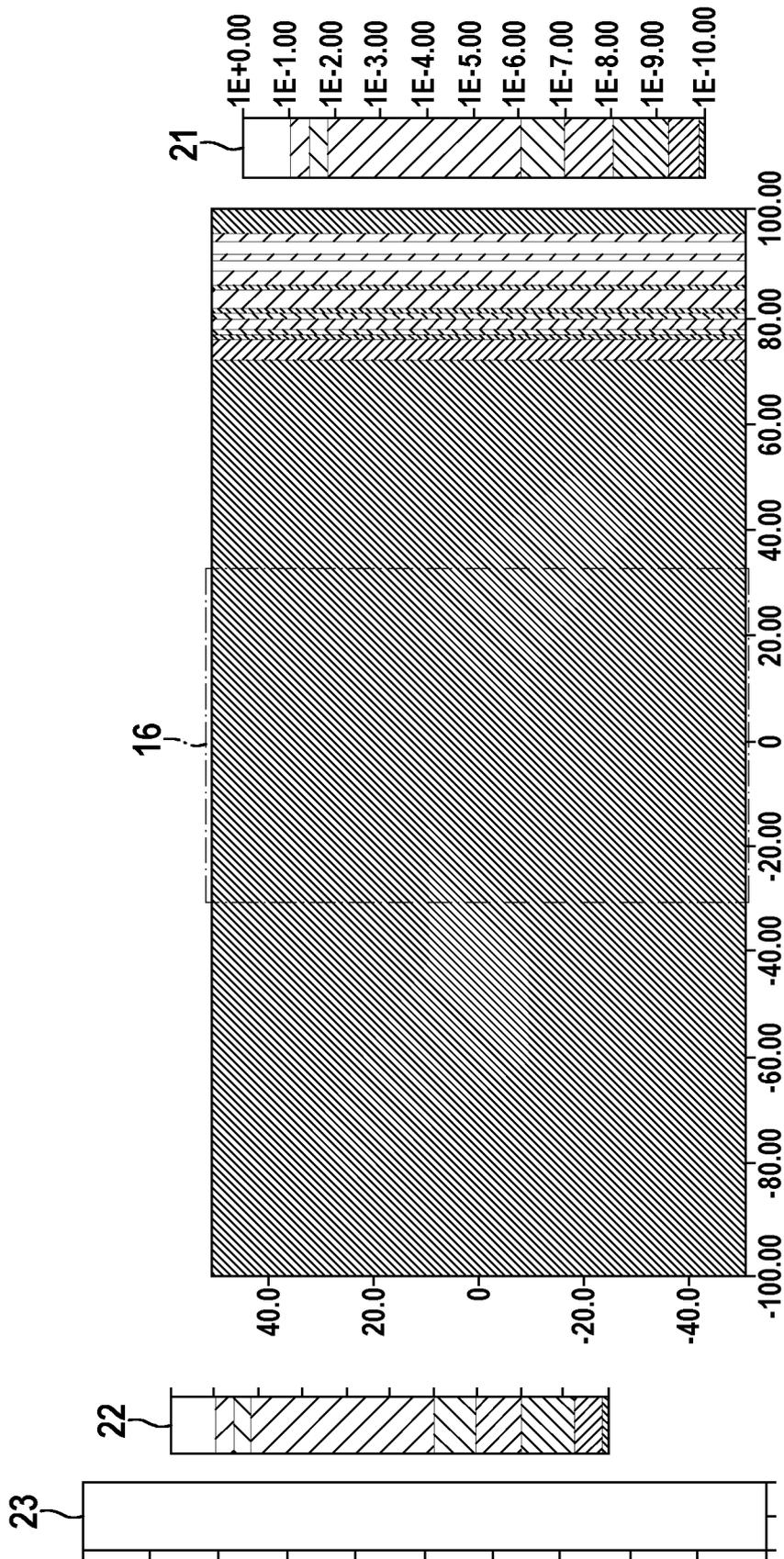


Fig. 6b

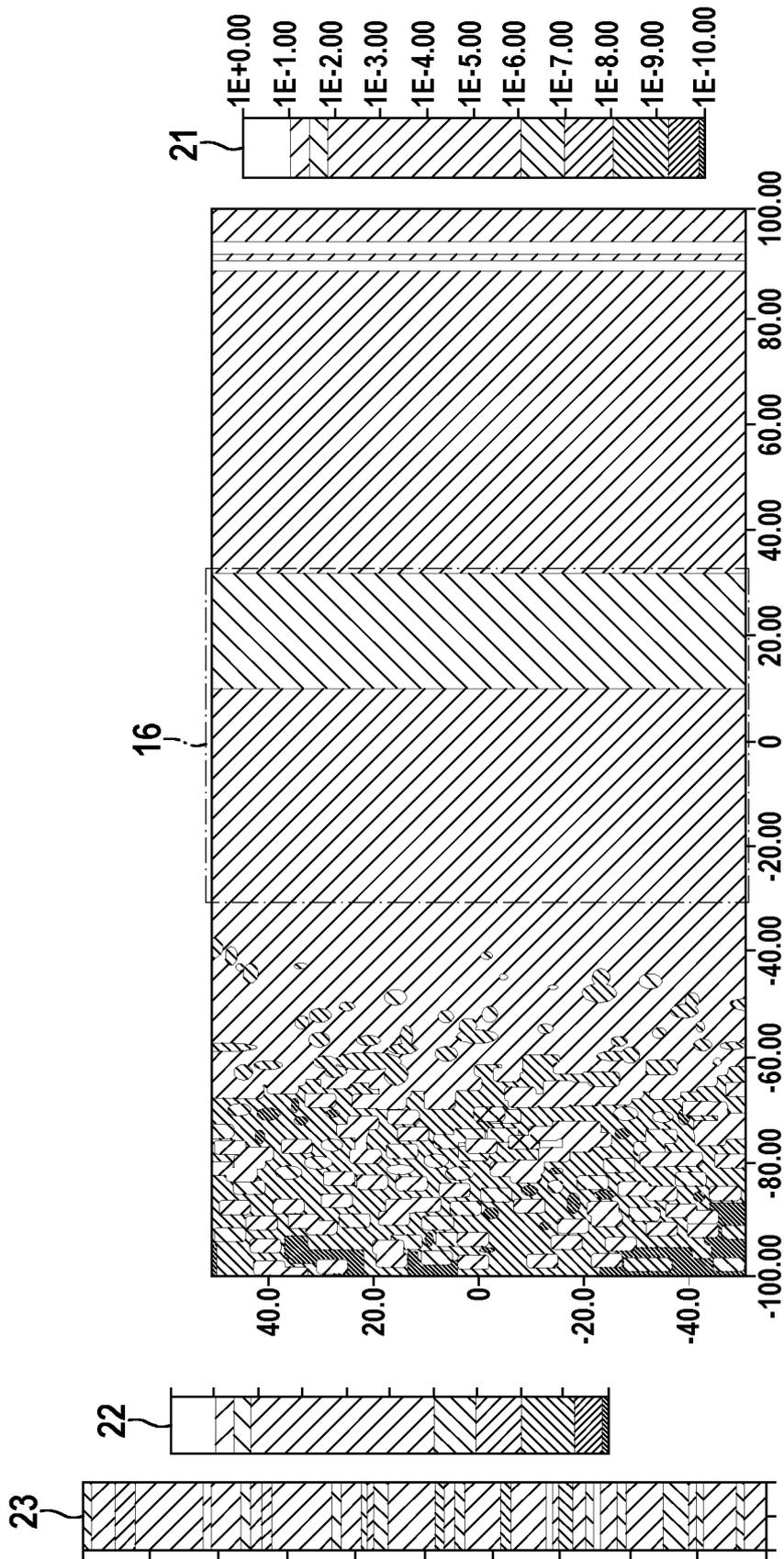


Fig. 6c

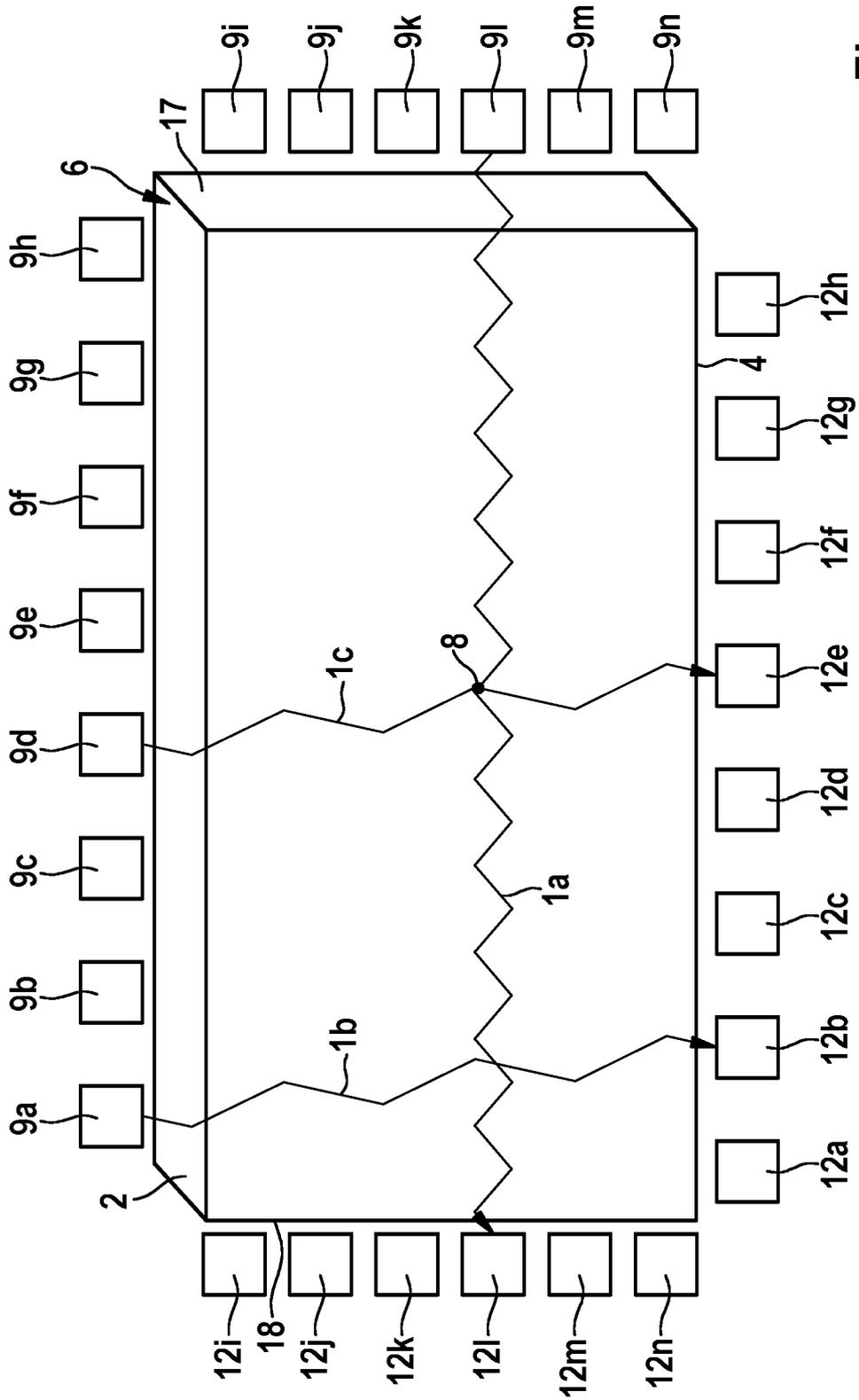


Fig. 7

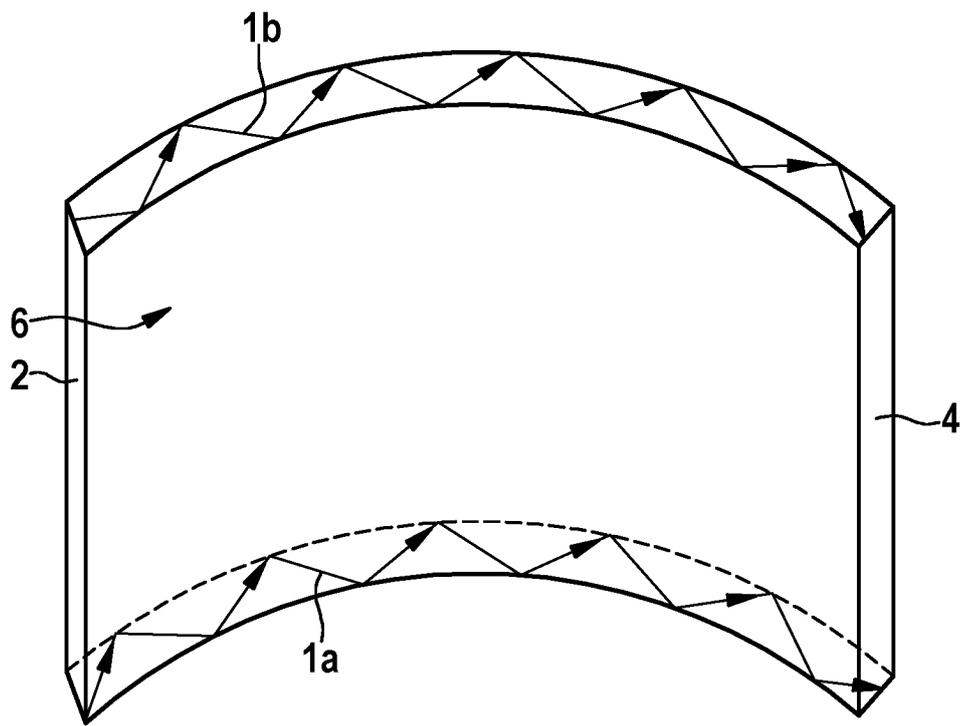


Fig. 8

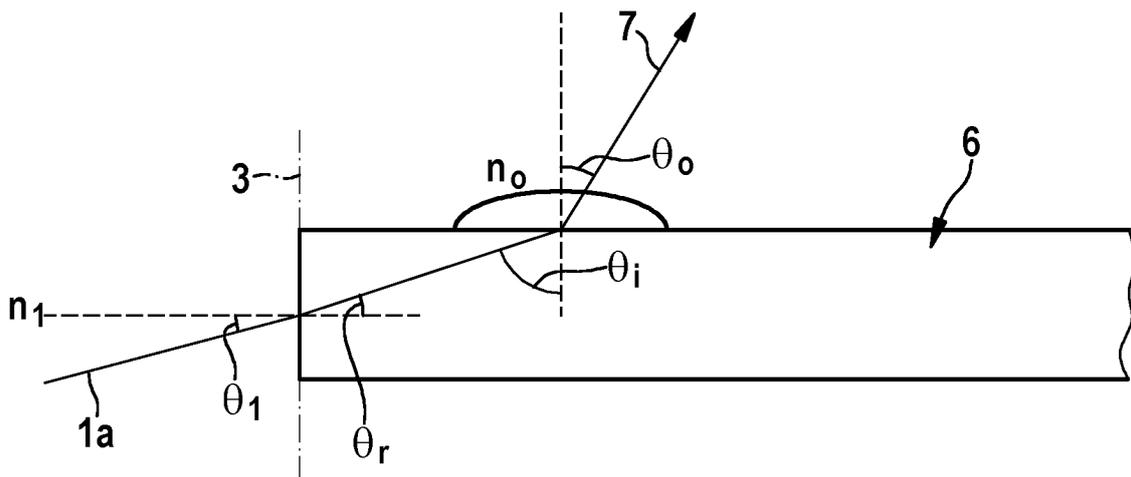


Fig. 9

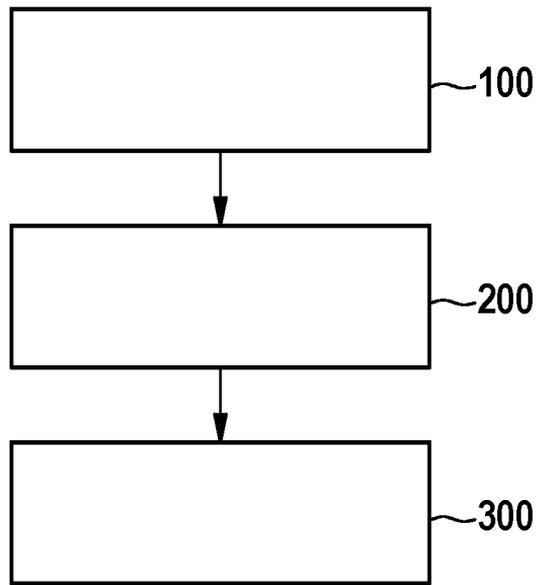


Fig. 10

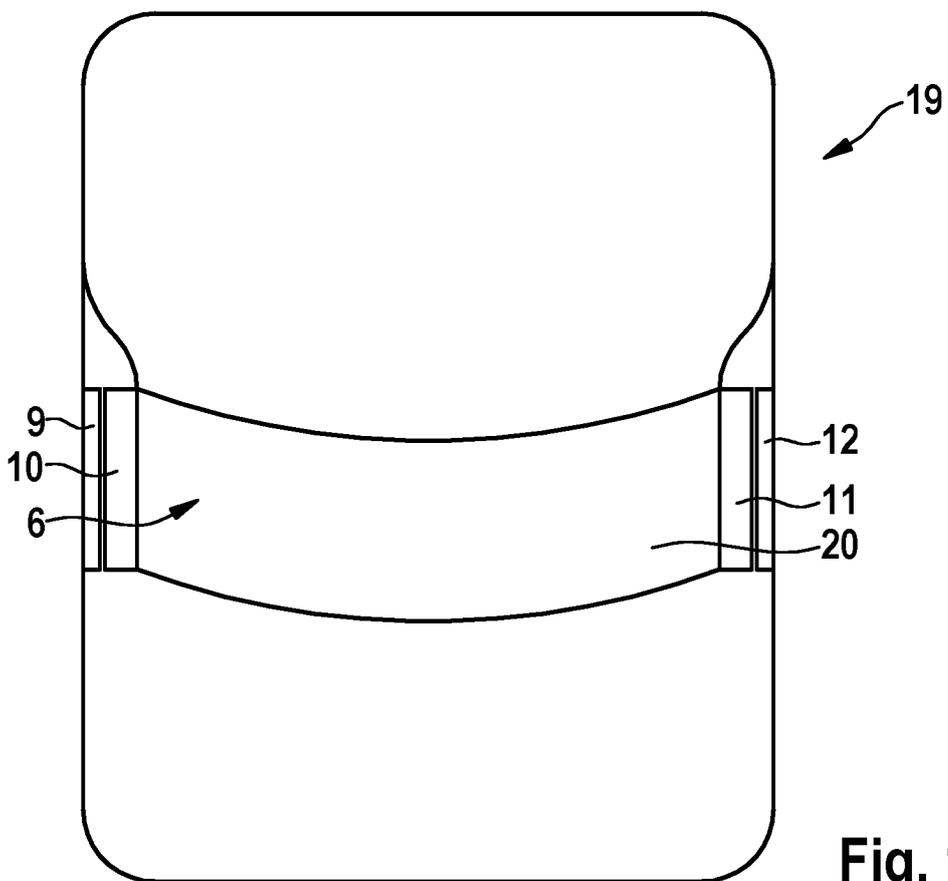
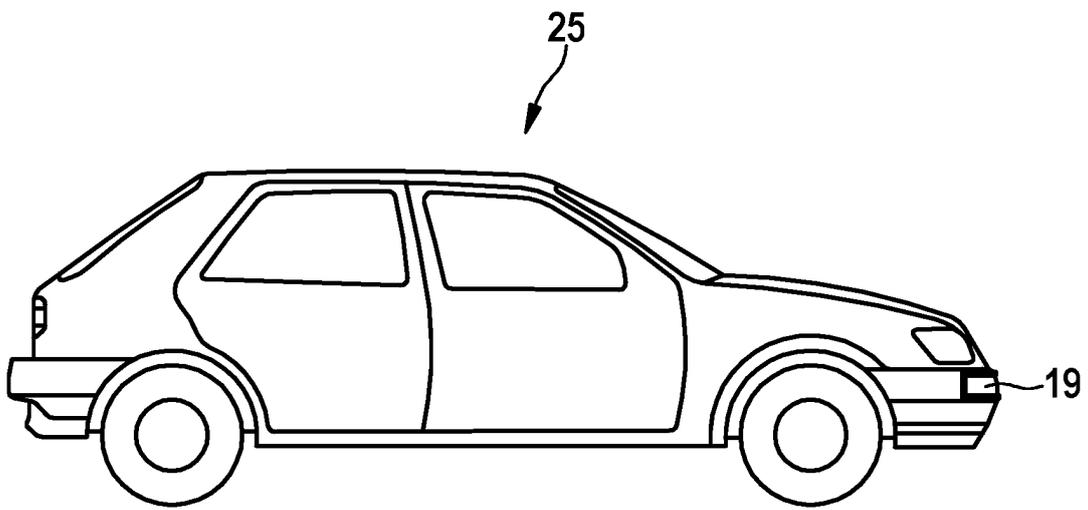


Fig. 11



**Fig. 12**