



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 197 41 730 B4 2006.02.02**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **197 41 730.2**
 (22) Anmeldetag: **22.09.1997**
 (43) Offenlegungstag: **01.04.1999**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **02.02.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 11/24 (2006.01)**
G01B 11/25 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Sick AG, 79183 Waldkirch, DE

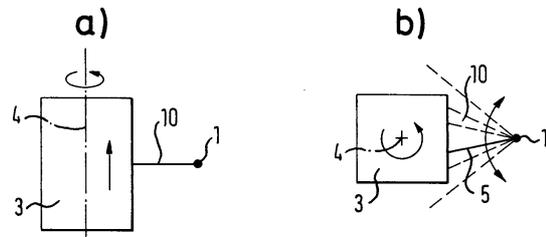
(74) Vertreter:
Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336 München

(72) Erfinder:
Schwarz, Franz, 79286 Glottertal, DE; Jaksic, Davorin, 79211 Denzlingen, DE; Fetzer, Günter, 79194 Gundelfingen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 44 45 464 A1
DE 44 34 042 A1
DE 43 01 538 A1
DE 39 34 236 A1
DE 38 04 079 A1
US 50 28 799
US 42 26 536
EP 05 47 364 A2
BUDZYNSKI, Edgar, ARETZ, Rudolf M.: 3D-Digitalisierung von Freiformflächen mit Laser. In: VDI-Z, 132, 1990, Nr.7, Juli, S.49-52;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenkontur von Meßobjekten**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenkontur von in einem Messraum angeordneten Messobjekten (3), bei dem mit wenigstens einem in einer Abtastebene (10) abtastenden Lasermesssystem (1) die Oberfläche des jeweiligen Messobjekts (3) zumindest bereichsweise abgetastet und für jeden ertasteten Punkt auf der Messobjektoberfläche dessen Position im Messraum ermittelt wird, wobei das Lasermesssystem während der Abtastung einen Lichtstrahl (5) aussendet, welcher in der Abtastebene nacheinander in unterschiedliche Richtungen abgelenkt wird, wobei vom jeweiligen Messobjekt (3) reflektiertes Licht vom Lasermesssystem nachgewiesen und aus der Lichtlaufzeit der Abstand des jeweiligen Reflexionspunkts vom Lasermesssystem ermittelt wird, und wobei während der Abtastung das jeweilige Messobjekt (3) und das Lasermesssystem (1) derart relativ zueinander bewegt werden, dass die Relativbewegung aus einer linearen Bewegung und einer Drehbewegung zusammengesetzt ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenkontur von Meßobjekten.

Stand der Technik

[0002] Es ist bekannt, mit einem in einer Abtastebene abtastenden Lasermeßsystem Konturen von unter dem Lasermeßsystem hindurch bewegten Gegenständen zu ermitteln. Dabei werden jedoch nur die Teile der Objektoberfläche abgetastet, die dem Lasermeßsystem zugewandt sind. Die vom Lasermeßsystem abgewandten Oberflächenbereiche der Objekte können nicht erfaßt werden, da sie im Schatten der im Sichtbereich des Lasermeßsystems befindlichen Objektoberfläche liegen.

[0003] Bei kompliziert geformten Gegenständen müssen selbst zur Abtastung lediglich eines Teils der Objektoberfläche mehrere Lasermeßsysteme eingesetzt werden, was eine aufwendige Gesamtanordnung erforderlich macht.

[0004] Eine derartige, im folgenden als Schatten-Abtastung bezeichnete Vorgehensweise kann für manche Anwendungen ausreichen, wenn beispielsweise bestimmte Oberflächenbereiche des jeweiligen Objekts bekannt oder nicht von Interesse sind. Insbesondere in Fällen, in denen keine oder nur wenig Informationen über die abzutastenden Objekte vorliegen oder in denen eine vollständige Ermittlung der Oberflächenkontur, im folgenden als Voll-Abtastung bezeichnete Vorgehensweise gewünscht ist, lassen sich mit einer Schatten-Abtastung keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielen.

[0005] EP 0 547 364 A2 beschreibt die Untersuchung von Reifenprofilen mittels einer in eine einzige Richtung abtastenden Lasereinrichtung, die in vertikaler Richtung relativ zu einem sich drehenden Reifen verfahren werden kann.

[0006] In dem Artikel E. Budzynski et al., "3D-Digitalisierung von Freiformflächen mit Laser", VDI-Z 132, 1990, Nr. 7, S. 49–52, wird ein nach dem Triangulationsprinzip arbeitendes Lichtschnittverfahren beschrieben, wobei ein Laserstrahl eine Linie auf das zu messende Objekt projiziert. Um die gesamte Oberfläche des Objekts zu erfassen, wird das Objekt unter dem Laserstrich schrittweise gedreht.

[0007] Aus der DE 38 04 079 A1 ist eine Vorrichtung zum Erzeugen, Abtasten und Analysieren eines Rasterbildes der Kontur eines Gegenstandes bekannt, bei der ein schmaler, konzentrischer Lichtstrahl in Richtung einer Ablenkeinrichtung abgegeben wird, die den Lichtstrahl wiederholt in einer Ebene schwenkt.

[0008] Die DE 43 01 538 A1 offenbart ein Verfahren und eine Anordnung zur berührungslosen dreidimensionalen Messung, insbesondere zur Messung von Gebissmodellen. Dabei werden zwei Dimensionen optoelektronisch aufgenommen und die dritte durch Relativbewegung des Messguts realisiert.

[0009] Aus DE 44 34 042 A1 ist die Erzeugung eines Kegelmantels mit Hilfe eines Laserstrahls bekannt, wobei die Symmetrieachse des Kegelmantels orthogonal oder geneigt zu einer Überwachungsfläche verläuft, auf der sich Objekte – insbesondere Fahrzeuge – bewegen, die erfasst und vermessen werden sollen, um insbesondere verkehrsbezogene Daten zu ermitteln.

Aufgabenstellung

[0010] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, Verfahren zu schaffen, mit denen auf möglichst einfache Weise die Oberflächenkontur beliebig geformter Meßobjekte ermittelt werden können und die insbesondere eine im wesentlichen vollständige Abtastung der Meßobjekte gestatten.

[0011] Zur Lösung dieser Aufgabe werden erfindungsgemäß mehrere Verfahren geschaffen, denen die gemeinsame erfinderische Idee zugrunde liegt, daß wenigstens ein Lasermeßsystem, das eine Abtastung entweder in einer oder in mehreren Abtastebenen durchführt, vorgesehen wird und in Abhängigkeit von der Anzahl der Lasermeßsysteme, deren Abtastcharakteristik und der äußeren Form der Meßobjekte während der Abtastung eine Relativbewegung zwischen dem jeweiligen Meßobjekt und dem Lasermeßsystem bzw. den Lasermeßsystemen erfolgt.

[0012] Konkrete Lösungsvorschläge sind jeweils in den unabhängigen Ansprüchen 1, 3, 5 und 9 angegeben.

[0013] Vorteilhafte Ausgestaltungen der einzelnen Verfahren sind Gegenstand der Unteransprüche.

Ausführungsbeispiel

[0014] Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Verfahren werden im folgenden beispielhaft unter Bezugnahme auf die schematische Zeichnung beschrieben; in dieser zeigt:

[0015] Fig. 1 die Abtastung eines sich drehenden und geradlinig bewegten Meßobjekts durch ein in einer Abtastebene abtastendes Lasermeßsystem,

[0016] Fig. 2 die Abtastung eines sich drehenden Meßobjekts durch ein in einer Abtastebene abtastendes Lasermeßsystem,

[0017] Fig. 3 die Abtastung eines sich drehenden

Meßobjekts durch zwei jeweils in einer Abtastebene abtastende Lasermeßsysteme,

[0018] Fig. 4 die Abtastung eines geradlinig bewegten Meßobjekts durch zwei jeweils in einer Abtastebene abtastende Lasermeßsysteme,

[0019] Fig. 5 die Abtastung eines sich drehenden Meßobjekts durch ein in mehr als einer Abtastebene abtastendes Lasermeßsystem, und

[0020] Fig. 6 die Abtastung eines unbewegten Meßobjekts durch drei jeweils in mehr als einer Abtastebene abtastende Lasermeßsysteme, wobei die Fig. 1a–6a jeweils eine Seitenansicht und die Fig. 1b–6b jeweils die entsprechende Draufsicht darstellen.

[0021] Gemäß der Seitenansicht von Fig. 1a ist als Abstands- oder Positionssensor ein bezüglich der Umgebung ortsfestes Lasermeßsystem 1 vorgesehen, mit welchem ein Meßobjekt 3, das in einem nicht dargestellten Meßraum angeordnet ist, in einer einzigen Abtastebene 10 abgetastet wird. Ein derartiges Lasermeßsystem wird im folgenden mit LMS bezeichnet.

[0022] Das abzutastende Meßobjekt 3 wird in Pfeilrichtung im wesentlichen geradlinig am LMS 1 vorbeibewegt. Zusätzlich wird es außerdem um eine durch das Meßobjekt 3 verlaufende Drehachse 4 gedreht. Dabei können Drehung und Linearbewegung gleichzeitig und jeweils kontinuierlich erfolgen.

[0023] Es ist jedoch auch möglich, die Drehung und die Linearbewegung abschnittsweise nacheinander beispielsweise derart durchzuführen, daß das Meßobjekt 3 zunächst geradlinig am LMS 1 vorbeibewegt und dabei vom LMS abgetastet wird. Anschließend wird das Meßobjekt 3 um 180° gedreht und dann – wiederum bei gleichzeitiger Abtastung – geradlinig in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Somit erfolgt eine Voll-Abtastung durch Kombination einer einzigen Drehbewegung mit einer einzigen Hin- und Herbewegung.

[0024] Falls gewünscht, können auch mehrere Drehintervalle vorgesehen werden, wobei jeweils im Anschluß an eine vollständige Hin- bzw. Herbewegung des Meßobjekts 3 dieses um z.B. 90° gedreht wird. In diesem Beispiel umfaßt die erfindungsgemäße Relativbewegung folglich vier Drehbewegungen und zwei vollständige Hin- und Herbewegungen des Meßobjekts 3. Auf diese Weise wird eine größere Meßgenauigkeit erreicht, da einige Bereiche der Meßobjektoberfläche mehrmals abgetastet werden.

[0025] Der gestrichelte dargestellte Pfeil in Fig. 1a deutet eine weitere Alternative an, wonach das Meßobjekt 3 lediglich gedreht und die Linearbewegung

durch geradliniges Verfahren des z.B. entlang einer Schiene bewegbaren LMS 1 in Richtung des gestrichelt gezeichneten Pfeils vorgenommen wird.

[0026] Grundsätzlich ist in Abhängigkeit von den jeweiligen Gegebenheiten jede Zusammenstellung einer im wesentlichen linearen und einer Drehbewegung zu der erfindungsgemäßen Relativbewegung zwischen Meßobjekt und LMS möglich.

[0027] Während der Abtastung erfolgt somit in jedem Fall eine Relativbewegung zwischen Meßobjekt 3 und LMS 1, die sich aus einer linearen Bewegung und einer Drehbewegung zusammensetzt. Die konkrete Ausführung dieser Relativbewegung wird auch durch die gewünschte Ortsauflösung – die Genauigkeit, mit der die Oberflächenkontur ermittelt wird – sowie durch die für die Auswertung der Positionsdaten zur Verfügung stehende Rechenkapazität bestimmt.

[0028] Durch die Drehung des Meßobjekts 3 wird erreicht, daß jeder Bereich der Objektoberfläche während der Abtastung wenigstens zu einem Zeitpunkt in den Sichtbereich des LMS 1 gelangt. Im Schatten liegende und daher nicht abtastbare Oberflächenbereiche werden auf diese Weise vermieden.

[0029] In der Draufsicht gemäß Fig. 1b ist ein von einer Laserquelle des LMS 1 ausgesandter und nacheinander innerhalb der Abtastebene 10 in unterschiedliche Winkelrichtungen ausgesandter Lichtstrahl 5 dargestellt. Die gestrichelten Linien deuten den bevorzugt gepulsten Lichtstrahl 5 zu verschiedenen Zeiten während der Abtastung an.

[0030] Vom Meßobjekt 3 reflektiertes Licht wird von einer Empfangseinheit des LMS 1 nachgewiesen. Aus der gemessenen Lichtlaufzeit kann anschließend der Abstand des jeweiligen Reflexionspunkts vom LMS 1 ermittelt werden. Die Ablenkung des Lichtstrahls 5 innerhalb der Abtastebene 10 – angedeutet durch den Doppelpfeil – erfolgt bevorzugt durch eine rotierende Ablenkeinheit des LMS 1, die vorzugsweise eine Ablenkung über einen etwa 180° umfassenden Winkelbereich ermöglicht.

[0031] Zumindest zu jedem Reflexionspunkt auf der Meßobjektoberfläche wird die Winkelrichtung des diesen Punkt ertastenden Lichtstrahls 5 insbesondere aus der Winkelstellung der Ablenkeinheit ermittelt. Aus der Winkel-, d.h. Richtungsinformation und dem gemessenen Abstandswert kann die Position des betreffenden Reflexionspunkts im Raum, d.h. dessen Lage in einem zuvor festgelegten Koordinatensystem abgeleitet werden.

[0032] Erfindungsgemäß erfolgt somit eine rasterförmige Abtastung der Oberfläche des Meßobjekts 3. In Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit des Lichtstrahls 5, die durch die Drehgeschwindigkeit der

Ablenkeinheit bestimmt ist, und der Entfernung zwischen Meßobjekt **3** und LMS **1** werden insbesondere bei einer kontinuierlichen Relativbewegung die Linear- und die Drehgeschwindigkeit des Meßobjekts **3** derart gewählt, daß eine ausreichend große Zahl von Punkten auf der Meßobjektoberfläche abgetastet wird, um eine dem jeweiligen Zweck der Abtastung genügende Ortsauflösung zu erreichen.

[0033] In dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** verläuft die Drehachse **4** der Meßobjekt-Drehung etwa parallel zur Linearbewegung des Meßobjekts **3** und somit etwa senkrecht zur Abtastebene **10** des LMS **1**. In Abhängigkeit von der äußeren Form des Meßobjekts **3** sind jedoch grundsätzlich beliebige Relativorientierungen von Drehachse **4**, Richtung der Objektbewegung und Abtastebene **10** möglich.

[0034] In Fällen, in denen die äußere Gestalt des Meßobjekts **3** teilweise bekannt ist, kann die Abtastung mit einer geeigneten Anordnung derart durchgeführt werden, daß die Oberflächenbereiche des Meßobjekts **3**, die von besonderem Interesse sind, optimal bzw. mit höherer Auflösung abgetastet werden können. Zu diesem Zweck können auch die vorstehend erwähnten Drehintervalle verkleinert werden, wodurch sich die Anzahl der einzelnen, nacheinander erfolgenden Relativbewegungsabschnitte erhöht. Alternativ oder zusätzlich kann auch die Winkelgeschwindigkeit des Abtastlichtstrahls **5** während der Abtastung derart variiert werden, daß die interessanten Oberflächenbereiche mit hoher Ortsauflösung und die übrigen Bereiche des Meßobjekts **3** oder Bereiche, in denen kein abzutastendes Objekt vorhanden ist, lediglich grob oder überhaupt nicht abgetastet werden.

[0035] Die Abtastzeit pro Objekt kann damit ohne Einbußen bei den gewünschten Informationen über die Oberflächenkontur minimiert werden. Von Vorteil ist eine gezielt vorgenommene Gesamtanordnung insbesondere bei kompliziert geformten Meßobjekten, deren Oberflächen zahlreiche Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen, die bei „ungeschickter“ Anordnung einen größeren Aufwand bei der Abtastung erfordern würden.

[0036] Die erfindungsgemäß vorgesehene relative Drehbewegung kann alternativ zum einen auch dadurch realisiert werden, daß das Meßobjekt um eine nicht durch das Meßobjekt verlaufende Drehachse gedreht wird, indem es beispielsweise auf einer drehbaren Unterlage entfernt von dessen Drehachse angeordnet wird. Zum anderen ist es auch möglich, das LMS um ein bezüglich der Umgebung keine Drehbewegung vollführendes Meßobjekt herumzubewegen. Die Linear- und/oder die Drehbewegung können, falls gewünscht oder durch die jeweiligen Umstände bedingt, jeweils auch dadurch realisiert werden, daß sowohl das Meßobjekt als auch das LMS jeweils ge-

radlinig bewegt bzw. gedreht werden.

[0037] Zur Auswertung der bevorzugt mittels des erwähnten Lichtlaufzeitverfahrens ermittelten Abstands- sowie der Richtungsdaten ist vorzugsweise eine mit dem LMS **1** eine Einheit bildende oder separate Auswerteeinheit vorgesehen, die für jeden abgetasteten Punkt des Meßobjekts **3** dessen Position im Meßraum errechnet. Die Gesamtheit dieser Positionsdaten repräsentiert die gewünschte Oberflächenkontur des abgetasteten Meßobjekts **3**, die für weitere Operationen zur Verfügung steht, wie beispielsweise den Vergleich mit Soll- oder Referenzkonturen und/oder eine Volumenberechnung.

[0038] Folglich wird die Möglichkeit geschaffen, beliebige Gegenstände wie Werkstücke, Karosserieteile oder Gepäckstücke aufgrund der vollständigen Abtastung mit hoher Genauigkeit zu vermessen, zu klassifizieren, zu sortieren und/oder zu positionieren.

[0039] Eine weitere Anwendung des erläuterten Verfahrens besteht darin, den menschlichen Körper zu vermessen, um Kleidungsstücke, z.B. Anzüge oder Schuhe, nach Maß anfertigen oder Modelle von Körperteilen z.B. zu orthopädischen Zwecken herstellen zu können.

[0040] Zur Anfertigung von Maßanzügen beispielsweise wird der das Meßobjekt im vorstehend erläuterten Sinne darstellende Kunde in einer Art Umkleide- oder Meßkabine vermessen. Dazu wird entweder der Kunde um seine Körperlängsachse gedreht, indem er beispielsweise auf einer motorbetriebenen Drehscheibe steht, oder ein entlang der Kabinenwand verfahrbares LMS wird während der Abtastung um den Kunden herum bewegt. In beiden Fällen wird außerdem das LMS vertikal, d.h. im wesentlichen parallel zur Körperlängsachse des Kunden bewegt.

[0041] Die dabei ermittelten kundenspezifischen Daten können anschließend durch entsprechende Aufbereitung in individuelle Schnittmuster umgesetzt werden.

[0042] Die **Fig. 2a** und **2b** veranschaulichen ein erfindungsgemäßes Verfahren, bei dem wiederum lediglich ein einziges in einer Ebene **10** abtastendes LMS **1** verwendet wird. Das LMS **1** ist jedoch derart angeordnet, daß seine Abtastebene **10** bezüglich jener in dem Beispiel gemäß **Fig. 1**, d.h. bezüglich einer im wesentlichen senkrecht zur Drehachse **4** verlaufenden Ebene, um 90° verkippt ist, und zwar um eine Achse, die senkrecht auf der Drehachse **4** steht und durch das LMS **1** verläuft. Eine lineare Relativbewegung zwischen Meßobjekt **3** und LMS **1** ist für eine Voll-Abtastung dadurch nicht erforderlich, da allein durch die Drehung des Meßobjekts **3** um die Drehachse **4** die interessierenden Oberflächenbereiche des Meßobjekts **3** in den Sichtbereich des LMS **1** ge-

langen.

[0043] Auf die geradlinige Relativbewegung könnte in dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** auch dann verzichtet werden, wenn die Abtastebene **10** um weniger als 90° in der vorstehend erwähnten Weise verkippt wird. Erforderlich ist lediglich, daß die Abtastbewegung des Lichtstrahls **5** innerhalb der Abtastebene **10** eine Komponente in Richtung der Drehachse **4** des Meßobjekts besitzt, und daß das gesamte Bewegungsausmaß des Lichtstrahls **5** in dieser Richtung mindestens so groß wie die Längserstreckung des Meßobjekt **3** in dieser Richtung ist.

[0044] In dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 3a** und **3b** sind zwei LMS **1a, b** vorgesehen, deren Abtastebenen **10** wie in dem zuvor erläuterten Beispiel gemäß **Fig. 2** jeweils nicht senkrecht zur Drehachse **4** verlaufen. Wie aus **Fig. 3b** hervorgeht, sind die LMS **1a, b** auf verschiedenen Seiten des Meßobjekts **3** derart angeordnet, daß ihre Verbindungslinie durch das Meßobjekt **3** und die Drehachse **4** verläuft.

[0045] Eine geradlinige Relativbewegung zwischen Meßobjekt **3** und den LMS **1a, b** ist auch bei dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht erforderlich. Darüber hinaus braucht aufgrund des Vorsehens von zwei LMS **1a, b** für eine Voll-Abtastung keine 360° -Drehung mehr vorgenommen zu werden. Bei der Anordnung gemäß **Fig. 3b** würde bereits ein Drehwinkel von etwa 180° ausreichen.

[0046] Es ist auch möglich, mehr als zwei LMS vorzusehen und diese um die Drehachse **4** verteilt anzuordnen. Auf diese Weise ließe sich eine Voll-Abtastung bereits mit noch kleineren Drehwinkeln erzielen.

[0047] **Fig. 4** veranschaulicht ein Verfahren gemäß der Erfindung, bei dem mehrere jeweils in einer Abtastebene abtastende LMS **1a, b** eingesetzt werden. Nach **Fig. 4a** sind zwei LMS **1a, b** derart angeordnet, daß das Meßobjekt **3** im wesentlichen geradlinig zwischen den beiden LMS **1a, b** hindurchbewegt wird. Eine Drehbewegung findet nicht statt. Die Relativbewegung gemäß dieser Ausführungsform besteht im wesentlichen nur aus der Linearbewegung. Alternativ zum Meßobjekt **3** können auch die beiden LMS **1a, b** linear bewegt werden.

[0048] Der Draufsicht gemäß **Fig. 4b** ist zu entnehmen, daß durch die Anordnung der LMS **1a, b** auf verschiedenen Seiten der durch die lineare Bewegung des Meßobjekts **3** definierten Linie gewährleistet ist, daß diejenigen Oberflächenbereiche des Meßobjekts **3**, die zur Konturbestimmung eines einfach geformten, z.B. einen quadratischen oder kreisförmigen Querschnitt aufweisenden Meßobjekts abgetastet werden sollen, im Sichtbereich wenigstens eines LMS **1a, b** liegt. Durch den Einsatz von mehr als ei-

nem LMS kann somit ohne einen Drehbewegungsanteil an der Relativbewegung eine Voll-Abtastung erreicht werden.

[0049] Falls die örtlichen Gegebenheiten eine derartige optimale Anordnung nicht zulassen, ist entsprechend des anhand von **Fig. 1** erläuterten Ausführungsbeispiels während der Abtastung zusätzlich eine Drehung des Meßobjekts vorzunehmen. Dabei kann es ausreichen, wenn das Meßobjekt nur um einen kleinen Winkelbereich verdreht wird, so daß eine vollständige Drehung um 360° nicht erforderlich ist, um eine Voll-Abtastung zu gewährleisten.

[0050] Im Fall eines kompliziert geformten Meßobjekts **3** können mehr als zwei LMS erforderlich sein, um jeden Punkt auf der Objektoberfläche zu ertasten, wenn eine Verdrehung des Meßobjekts **3** entweder ganz unterbleiben soll oder nur kleine Verdrehungswinkel erwünscht oder möglich sind. Aus **Fig. 4b** geht hervor, daß eine gestrichelt dargestellte Vertiefung **6**, die sich auf einer keinem LMS **1a, b** zugewandten Seite des Meßobjekts **3** befindet, nicht einsehbar und somit ein weiteres LMS erforderlich wäre, um in diese Vertiefung „hineinsehen“ zu können. Dagegen wäre durch eine zusätzliche Drehung des Meßobjekts **3** gemäß dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 1** – beispielsweise um etwa 90° – die Vertiefung **6** auch ohne ein zusätzliches LMS möglich.

[0051] Gemäß **Fig. 4a** sind die beiden LMS **1a, b** außerdem derart angeordnet, daß deren Abtastebenen **10** nicht parallel zueinander verlaufen, sondern gegeneinander verkippt sind. Eine derartige Anordnung ist beispielsweise dann von Vorteil, wenn eine bestimmte „Blickrichtung“ eines LMS deshalb bevorzugt wird, da bestimmte zu ermittelnde Informationen über das jeweilige Meßobjekt dadurch mit geringem Aufwand oder größerer Zuverlässigkeit erhalten werden können.

[0052] So läßt sich z.B. die Anzahl von in einer Getränkebox vorhandenen Flaschen einfacher, d.h. bei geringerer Ortsauflösung, ermitteln, wenn mit Hilfe eines LMS etwa schräg von oben in die Getränkebox „hineingesehen“ wird. Während beispielsweise eines der LMS zur Identifizierung der Getränkebox deren Größe ermittelt, wird mit Hilfe des weiteren, schräg von oben in die Getränkebox „hineinsehenden“ LMS deren Füllstand festgestellt.

[0053] Durch Ausnutzen der Kenntnis bestimmter geometrischer Eigenschaften der Meßobjekte und entsprechende „geschickte“ Anordnung der LMS gestattet die Erfindung somit eine für den jeweiligen Zweck ausreichende Voll-Abtastung bei geringstem Material- und Meßaufwand.

[0054] Die vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiele machen deutlich, daß für eine Voll-Abtastung

mittels lediglich eines LMS eine Drehbewegung erforderlich ist, welche dann entbehrlich ist, wenn wenigstens zwei LMS eingesetzt werden und die örtlichen Gegebenheiten sowie die konkrete Form der Meßobjekte eine optimale Anordnung der LMS gestatten. Dabei kann einerseits die Verwendung einer größeren Anzahl von LMS den erforderlichen Drehwinkel verkleinern, während andererseits eine zusätzliche Drehung des Meßobjekts die Verringerung der Anzahl der LMS gestatten kann.

[0055] In **Fig. 5** ist eine Ausführungsform der Erfindung dargestellt, bei der ein Lasermeßsystem **2** verwendet wird, mit dem eine Abtastung in mehreren Abtastebenen **20** möglich ist und das im folgenden mit 3D-LMS **2** bezeichnet wird.

[0056] Erreicht wird die Abtastung in mehreren Abtastebenen **20** beispielsweise dadurch, daß zumindest ein Teil der vorstehend bezüglich des LMS **1** erwähnten Ablenkeinheit um eine zusätzliche Achse verdreht wird, die bevorzugt senkrecht zu jener Drehachse verläuft, um die die Ablenkung des Lichtstrahls **5** jeweils innerhalb einer Abtastebene erfolgt. Mittels eines derartigen 3D-LMS **2** kann das Meßobjekt **3** folglich zeilenförmig abgetastet werden, wie dies in **Fig. 5a** durch den Doppelpfeil angedeutet ist.

[0057] Das Meßobjekt **3** wird während der Konturermittlung entsprechend dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 1** um eine Drehachse **4** gedreht, wobei allerdings aufgrund der Verwendung des 3D-LMS **2** eine Linearbewegung des Meßobjekts **3** nicht erforderlich ist, da die zusätzliche Ablenkung des Lichtstrahls **5** ein Überstreichen des gesamten in **Fig. 5a** und **5b** links vom 3D-LMS **2** gelegenen Halbraums gestattet.

[0058] **Fig. 6** veranschaulicht eine Ausführungsform der Erfindung, die unter bestimmten Bedingungen ohne Relativbewegung zwischen Meßobjekt **3** und 3D-LMS eine Voll-Abtastung des Meßobjekts **3** ermöglicht.

[0059] In **Fig. 6a** sind drei 3D-LMS **2a-c** gezeigt, die um das Meßobjekt **3** verteilt angeordnet sind. Dabei ist der Einfachheit halber bei dem in dieser Ansicht vor dem Meßobjekt **3** angeordneten 3D-LMS **2b** für die einzelnen Abtastebenen **20** jeweils nur ein repräsentativer Lichtstrahl dargestellt.

[0060] In Abhängigkeit von der Form des jeweiligen Meßobjekts **3** können auch lediglich zwei oder auch mehr als drei 3D-LMS für eine Voll-Abtastung genügen bzw. erforderlich sein. Während bei einer einfachen Geometrie oder bei Kenntnis bestimmter geometrischer Eigenschaften der Meßobjekte **3** wenige, insbesondere zwei 3D-LMS möglicherweise ausreichen, kann eine auch nur teilweise stark gekrümmte Objektoberfläche mit Vertiefungen und/oder Erhebungen eine größere Anzahl von 3D-LMS erfordern.

[0061] Beispielhaft ist in der Draufsicht gemäß **Fig. 6b** gezeigt, daß eine gestrichelt angedeutete Vertiefung **7** des Meßobjekts **3** nicht vollständig einsehbar und daher ein geeignet angeordnetes viertes 3D-LMS erforderlich wäre, um eine vollständige Abtastung zu gewährleisten.

[0062] Entsprechend den Ausführungen zu **Fig. 4** gilt, daß dann, wenn möglichst wenige 3D-LMS eingesetzt werden sollen und/oder deren optimale Anordnung nicht möglich ist, für eine Voll-Abtastung eine Verdrehung des Meßobjekts **3** vorgenommen werden und dabei eine Verdrehung um kleine Winkelbereiche ausreichen kann.

[0063] Die Ausführungsbeispiele der Erfindung gemäß **Fig. 5** und **6**, die einen möglichen Einsatz der erläuterten 3D-LMS betreffen, machen deutlich, daß bei Verwendung eines einzigen 3D-LMS für eine Voll-Abtastung lediglich eine Drehbewegung als Relativbewegung genügt. Eine Relativbewegung kann sogar ganz entfallen, wenn wenigstens zwei derartige 3D-LMS eingesetzt werden und die örtlichen Gegebenheiten sowie die konkrete Form der Meßobjekte **3** eine optimale Anordnung der 3D-LMS gestatten.

[0064] Die Erfindung kann auch zum Bestimmen der Bahn von im Raum bewegten Objekten insbesondere in Echtzeit verwendet werden, wobei dies insbesondere für sogenannte Virtual-Reality-Anwendungen denkbar ist, in denen mittels wenigstens eines 3D-LMS Bewegungen von Personen oder von Körperteilen, z.B. der Hand, von Personen verfolgt werden.

[0065] Darüber hinaus kann die Erfindung auch zum Vermessen von Innenräumen verwendet werden. Dazu wird wenigstens ein Abstands- bzw. Positionsensor innerhalb des zu vermessenden Raumes angeordnet. Falls zwei 3D-LMS eingesetzt werden, können diese gewissermaßen „Rücken an Rücken“ angeordnet werden, wodurch über den gesamten Raumwinkelbereich, d.h. die gesamte Innenwand des Raumes abgetastet werden kann. Eine Relativbewegung ist in diesem Fall nicht notwendig, kann aber dann erfolgen, wenn lediglich ein 3D-LMS oder jeweils nur in einer Abtastebene abtastende LMS verwendet werden. Als abzutastende Innenräume kommen insbesondere auch Zimmer, Küchen, Gewerberäume und dgl. in Betracht.

[0066] Ein Sonderfall der Abtastung von Innenräumen ist die Vermessung von Tunneln, die ebenfalls durch die Erfindung ermöglicht wird. Dazu kann beispielsweise an jeder Seite eines den zu vermessenden Tunnel durchfahrenden Fahrzeugs ein LMS angebracht werden. Jedes LMS tastet dabei über einen Winkelbereich ab, der von der ihm zugewandten Schnittlinie zwischen Tunnelwand und Fahrbahn bis wenigstens zu dem vom jeweils anderen LMS abge-

deckten Bereich der Tunnelwand reicht.

[0067] Die Verwendung eines einzigen LMS ist dann ausreichend, wenn dieses über einen Winkelbereich von mehr als 180° abtasten kann und derart genügend weit über der Fahrbahn auf dem Fahrzeug montiert ist, daß die Schnittlinien von Fahrbahn und Tunnelwand nicht im Schatten des Fahrzeugs liegen.

[0068] Zur Tunnelvermessung können ebenso ein oder mehrere 3D-LMS eingesetzt werden.

[0069] Allgemein ist es im Fall des Einsatzes mehrerer LMS, 3D-LMS oder auch einer Misch-Verwendung beider Sensor-Arten gemeinsam in einer Anwendung möglich, lediglich einen der Sensoren als Master und den oder die anderen Sensoren als Slave derart zu betreiben, daß der Master-Sensor mit einem Steuerorgan versehen oder verbunden ist, mit dem er die Steuerung der Slave-Sensoren übernimmt. Bevorzugt ist außerdem lediglich der Master-Sensor mit der Auswerteeinheit versehen oder verbunden, mit der die von allen Sensoren ermittelten Daten in die Oberflächenkontur des Meßobjekts umgesetzt werden.

[0070] Die Slave-Sensoren, die somit lediglich mit den zur Bestimmung der Positionsdaten unbedingt erforderlichen Bauteilen versehen sein müssen, können gewissermaßen als „Augen“ des das (ebenfalls mit einem „Auge“ versehene) „Gehirn“ der Gesamtnordnung darstellenden Master-Sensors angesehen werden.

[0071] Mit Hilfe der Auswerteeinheit und/oder einer die Abtastbewegung des oder der Sensoren steuernden Steuereinheit läßt sich ein definierter Überwachungsbereich oder ein zumindest in diesem Fall abstrakt zu verstehender Meßraum derart vorgeben, daß nur solche Punkte auf der Oberfläche des Meßobjekts in die Konturbestimmung Eingang finden, die sich innerhalb dieses Überwachungsbereichs bzw. Meßraums befinden, der z.B. im wesentlichen kugel-, würfel-, quader-, kegel-, pyramiden- oder torusförmig sein kann.

[0072] Die Beschränkung der Positionsbestimmung oder Auswertung von Positionswerten auf einen derartigen Überwachungsbereich bzw. Meßraum hat den Vorteil, daß die notwendige Meß- und Auswertzeit minimiert wird, da unnötige Messungen und Rechnungen, die sich auf für die jeweilige Anwendung uninteressante Oberflächenbereiche des Meßobjekts beziehen, vermieden werden.

[0073] Alle im Rahmen der Erläuterung einzelner Ausführungsformen der Erfindung, insbesondere gemäß **Fig. 1**, genannten Weiterbildungen, Modifizierungen, Alternativen, konkreten Ausgestaltungen und/oder Verwendungen sind grundsätzlich in Ver-

bindung mit allen Ausführungsbeispielen entsprechend möglich, soweit sie sich nicht auf ausschließlich für die jeweilige Ausführungsform Sinnvolles beziehen.

Bezugszeichenliste

1; 1a, 1b	Lasermesssystem (LMS) mit Abtastung in einer Abtastebene
2; 2a–c	Lasermesssystem (3D-LMS) mit Abtastung in mehr als einer Abtastebene
3	Meßobjekt
4	Drehachse des Meßobjekts
5	Lichtstrahl
6, 7	Vertiefungen
10	Abtastebene eines LMS
20	Abtastebenen eines 3D-LMS

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenkontur von in einem Messraum angeordneten Messobjekten (**3**), bei dem mit wenigstens einem in einer Abtastebene (**10**) abtastenden Lasermesssystem (**1**) die Oberfläche des jeweiligen Messobjekts (**3**) zumindest bereichsweise abgetastet und für jeden erasteten Punkt auf der Messobjektoberfläche dessen Position im Messraum ermittelt wird, wobei das Lasermesssystem während der Abtastung einen Lichtstrahl (**5**) aussendet, welcher in der Abtastebene nacheinander in unterschiedliche Richtungen abgelenkt wird, wobei vom jeweiligen Messobjekt (**3**) reflektiertes Licht vom Lasermesssystem nachgewiesen und aus der Lichtlaufzeit der Abstand des jeweiligen Reflexionspunkts vom Lasermesssystem ermittelt wird, und wobei während der Abtastung das jeweilige Messobjekt (**3**) und das Lasermesssystem (**1**) derart relativ zueinander bewegt werden, dass die Relativbewegung aus einer linearen Bewegung und einer Drehbewegung zusammengesetzt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Lasermesssystem (**1**) im wesentlichen linear am Messobjekt (**3**) vorbeibewegt und zuvor, gleichzeitig und/oder anschließend das Messobjekt (**3**) um eine bevorzugt um eine durch das Messobjekt (**3**) verlaufende Drehachse (**4**) gedreht wird.

3. Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenkontur von in einem Messraum angeordneten Messobjekten (**3**), bei dem mit wenigstens zwei jeweils in einer eigenen Abtastebene (**10**) abtastenden Lasermesssystemen (**1**) die Oberfläche des jeweiligen Messobjektes (**3**) zumindest bereichsweise abgetastet und für jeden abgetasteten Punkt auf der Messobjektoberfläche dessen Position im Messraum ermittelt wird, wobei jedes Lasermesssystem während der Abtastung einen Lichtstrahl (**5**) aussendet, welcher in der Abtastebene nacheinander in unterschiedliche

Richtungen abgelenkt wird, wobei vom jeweiligen Messobjekt (3) reflektiertes Licht vom Lasermesssystem nachgewiesen und aus der Lichtlaufzeit der Abstand des jeweiligen Reflexionspunkts vom Lasermesssystem ermittelt wird, wobei während der Abtastung das jeweilige Messobjekt (3) und die Lasermesssysteme (1) derart relativ zueinander bewegt werden, dass die Relativbewegung eine lineare Bewegung ist, und wobei die Lasermesssysteme das Messobjekt (3) aus unterschiedlichen Blickrichtungen erfassen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lasermesssysteme (1a, 1b) in Abhängigkeit vom jeweiligen Messobjekt (3) derart angeordnet werden, dass wenigstens zwei der Abtastebenen (10) gegeneinander verkippt sind.

5. Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenkontur von in einem Messraum angeordneten Messobjekten (3), bei dem mit wenigstens einem in einer oder in mehr als einer Abtastebene (10; 20) abtastenden Lasermesssystem (1; 1a-b; 2; 2a-c) die Oberfläche des jeweiligen Messobjekts (3) zumindest bereichsweise abgetastet und für jeden ertasteten Punkt auf der Messobjektoberfläche dessen Position im Messraum ermittelt wird, wobei das Lasermesssystem während der Abtastung einen Lichtstrahl (5) aussendet, welcher in der Abtastebene nacheinander in unterschiedliche Richtungen abgelenkt wird, wobei vom jeweiligen Messobjekt (3) reflektiertes Licht vom Lasermesssystem nachgewiesen und aus der Lichtlaufzeit der Abstand des jeweiligen Reflexionspunkts vom Lasermesssystem ermittelt wird, und wobei während der Abtastung das jeweilige Messobjekt (3) und das Lasermesssystem (1; 1a-b; 2; 2a-c) derart relativ zueinander bewegt werden, dass die Relativbewegung eine Drehbewegung ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Messobjekt (3) um eine bevorzugt durch das Messobjekt (3) verlaufende Drehachse (4) gedreht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei in mehr als einer Abtastebene (20) abtastende Lasermesssysteme (2a-c) verwendet und um das Messobjekt (3) verteilt angeordnet werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Relativbewegung zwischen dem Messobjekt (3) und dem Lasermesssystem oder den Lasermesssystemen diskontinuierlich erfolgt und die Abtastung der Messobjektoberfläche zwischen den einzelnen Abschnitten der Relativbewegung durchgeführt wird.

9. Verfahren zur Ermittlung der Oberflächenkon-

tur von in einem Messraum angeordneten Messobjekten (3), bei dem mit wenigstens zwei jeweils in mehr als einer Abtastebene (20) abtastenden Lasermesssystemen (2a-c) die Oberfläche des jeweiligen Messobjekts (3) zumindest bereichsweise abgetastet und für jeden ertasteten Punkt auf der Messobjektoberfläche dessen Position im Messraum ermittelt wird, wobei jedes Lasermesssystem während der Abtastung einen Lichtstrahl (5) aussendet, welcher in der Abtastebene nacheinander in unterschiedliche Richtungen abgelenkt wird, wobei vom jeweiligen Messobjekt (3) reflektiertes Licht vom Lasermesssystem nachgewiesen und aus der Lichtlaufzeit der Abstand des jeweiligen Reflexionspunkts vom Lasermesssystem ermittelt wird, und wobei zumindest während der Abtastung die Lasermesssysteme (2a-c) relativ zum Messobjekt (3) unbewegt sind.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Messobjekt (3) rasterförmig abgetastet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nur von den Punkten auf der Meßobjektoberfläche die Position ermittelt wird, die innerhalb eines vorgebbaren, vorzugsweise im wesentlichen kugel-, würfel-, quader-, kegel-, pyramiden- oder torusförmigen Meßraums liegen.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mittels wenigstens eines Master-Lasermesssystems weitere Slave-Lasermesssysteme gesteuert und vorzugsweise von allen Lasermesssystemen ermittelte Daten verarbeitet werden.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtstrahl (5) von einer beweglichen, insbesondere rotierenden Ablenkeinheit innerhalb einer Abtastebene (10; 20) in vorgebbare Winkelrichtungen abgelenkt wird, wobei vorzugsweise die Ablenkung über einen etwa 180° umfassenden Winkelbereich erfolgt.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest für jeden Reflexionspunkt der Meßobjektoberfläche die Winkelrichtung des jeweiligen Lichtstrahls (5) insbesondere aus der Winkelstellung der Ablenkeinheit ermittelt wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ablenkung des Lichtstrahls (5) nacheinander innerhalb unterschiedlicher Abtastebenen (20) zumindest ein Teil der Ablenkeinheit um eine zusätzliche Achse verdreht wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit vom jeweiligen Meßobjekt (3) während der Abtastung die Winkelgeschwindigkeit des Lichtstrahls (5) verändert wird, indem insbesondere die Drehgeschwindigkeit der Ablenkeinheit variiert wird.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus den ermittelten Positionen die dreidimensionale Oberflächenkontur des jeweiligen Meßobjekts (3) berechnet wird.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Vermessen von zumindest Teilen des menschlichen Körpers, insbesondere zum Zweck der Maßanfertigung von Kleidungsstücken und/oder Schuhen oder der Herstellung von Modellen von Körperteilen eingesetzt wird.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Vermessen, Klassifizieren, Sortieren und/oder Positionieren von Stückgütern, insbesondere Karosserieteilen, Gepäckstücken, bereits bearbeiteten und/oder noch zu bearbeitenden Werkstücken eingesetzt wird.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Vermessen von Innenräumen, insbesondere Tunneln, Zimmern und dgl. eingesetzt wird.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Bestimmen der Bahn von im Raum bewegten Objekten insbesondere in Echtzeit verwendet wird, vorzugsweise in Virtual-Reality-Anwendungen zur Verfolgung der Bewegungen von Personen und/oder Körperteilen von Personen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

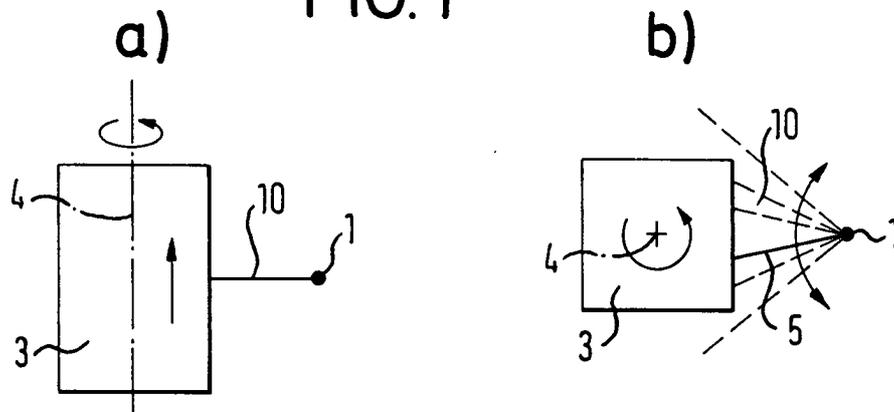


FIG. 2

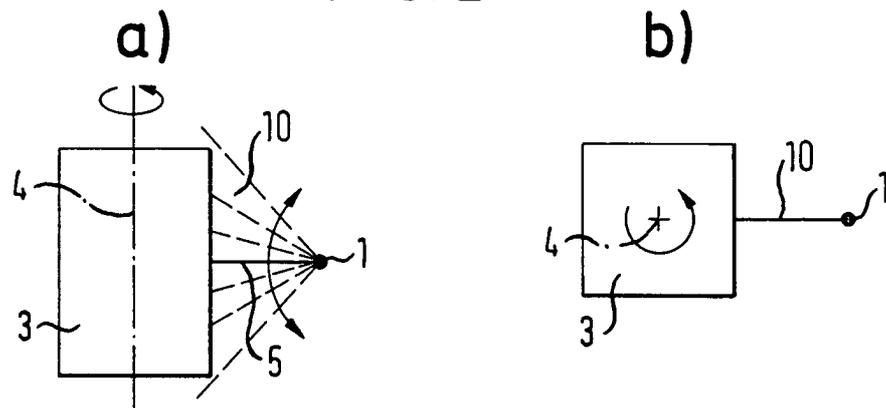


FIG. 3

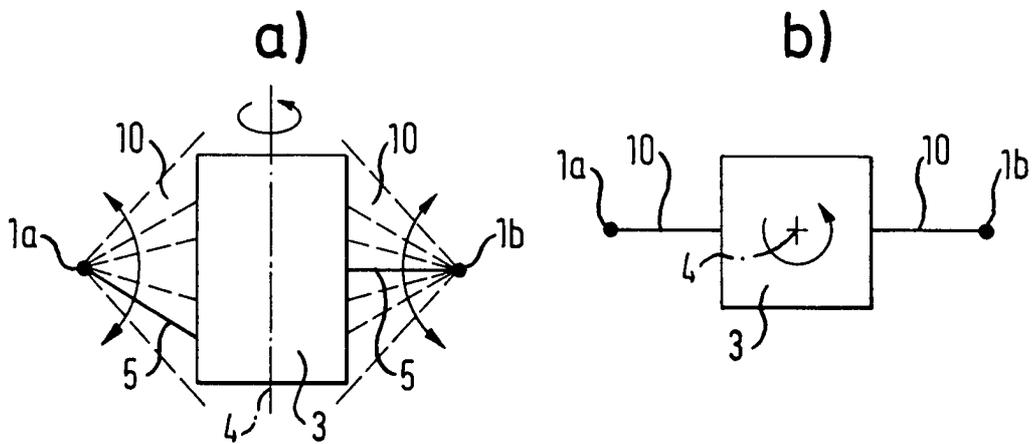


FIG. 4

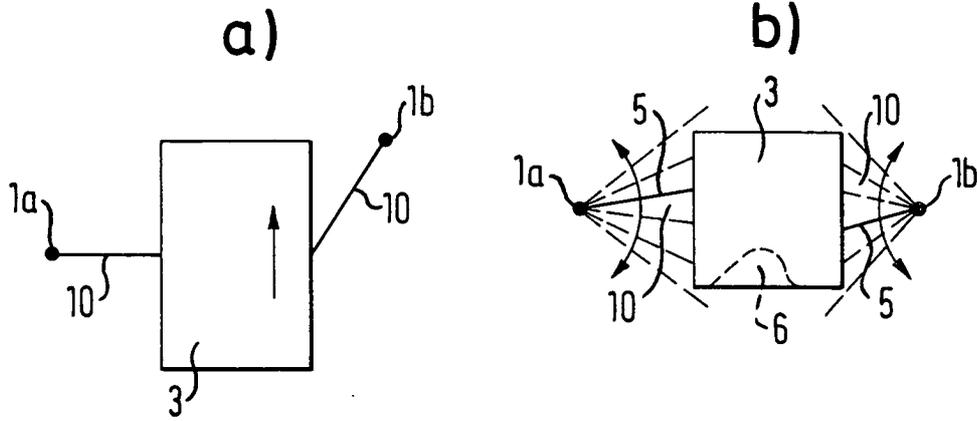


FIG. 5

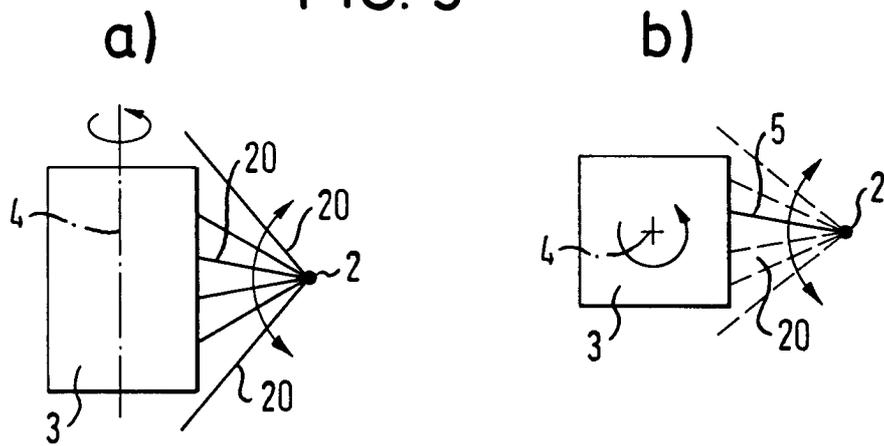


FIG. 6

