



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 022 292.5**
(22) Anmeldetag: **28.04.2008**
(43) Offenlegungstag: **29.10.2009**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **10.07.2014**

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

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**OBE Ohnmacht & Baumgärtner GmbH & Co. KG,
75228, Ispringen, DE**

(72) Erfinder:
**Wagner, Christoph, Dr., 75203, Königsbach-Stein,
DE**

(74) Vertreter:
**Gleiss Große Schrell und Partner mbB
Patentanwälte Rechtsanwälte, 70469, Stuttgart,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
US 4 677 473 A
WO 2004/ 051 186 A1
WO 2006/ 100 077 A1

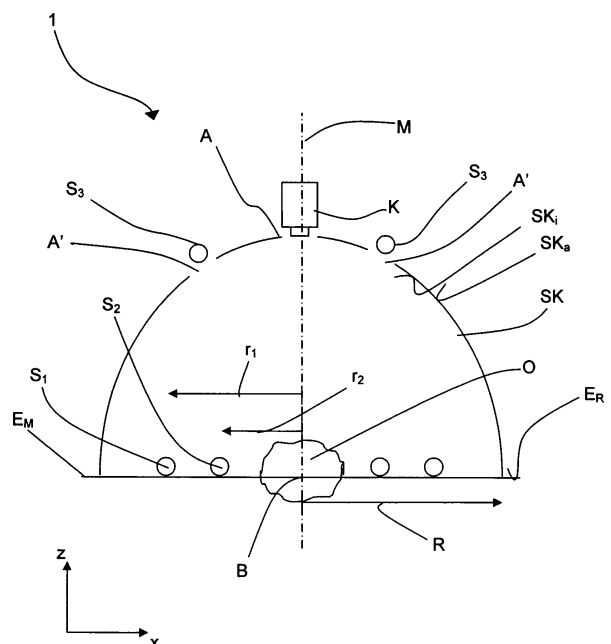
(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Formerfassung und/oder zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils eines Objekts**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung (1) zur Formerfassung und/oder zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils von Objekten (O), mit

- mindestens einer Aufnahmeeinheit (Kamera (K)),
- mehreren Lichtquellen (S_1, S_2) sowie mit
- mindestens einem durch die Lichtquellen (S_1, S_2) beleuchteten Streukörper (SK),

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Vorrichtung eine Kombination von Lichtquellen (S_2) mit breiter Abstrahlcharakteristik
- mit Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik, oder
- mit im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen (S_3), die den Streukörper beleuchten, oder
- mit Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik und mit im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen (S_3), die den Streukörper beleuchten, aufweist, und dass
- mindestens zwei Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik und/oder mindestens zwei im Bereich des Streukörpers (SK) angeordnete Lichtquellen (S_3) vorgesehen sind, die derart ausgerichtet sind, dass sich die Beleuchtungsverteilungen je zweier dieser Lichtquellen (S_1, S_3) auf dem Streukörper (SK) nicht oder nur geringfügig überlappen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Formerfassung und/oder zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils eines Objekts nach Anspruch 1 sowie ein Verfahren nach Anspruch 14.

[0002] Vorrichtungen und Verfahren der hier angesprochenen Art sind beispielsweise aus WO 2006/100077 A1 und WO 2004/051186 A1 bekannt. Sie dienen zur optischen 3D-Formerfassung von Gegenständen und weisen mindestens eine Aufnahmeeinheit, beispielsweise eine Matrix- oder eine Zeilenkamera auf, die in einem Abstand zu einem zu inspizierenden Gegenstand angeordnet ist und diesen erfasst, wobei der Gegenstand von mehreren Lichtquellen sequentiell beleuchtet wird. Besondere Schwierigkeiten ergeben sich bei der 3D-Formerfassung von glänzenden Gegenständen, die nicht optisch glatt sind, Licht also nur gerichtet reflektieren, oder optisch rau sind, Licht also nur diffus reflektieren, sondern die vielmehr einem Übergangsbereich zuzuordnen sind. Beispiele für optisch glänzende Materialien, die auch als hybride Materialien bezeichnet werden, sind Metall oder Kunststoff. Derartige Materialien weisen also sowohl einen diffus reflektierenden als auch einen gerichtet reflektierenden Anteil auf. Bei einer bekannten Vorrichtung zur Formerfassung von glänzenden Gegenständen kommt ein Streukörper zum Einsatz, der undurchsichtig oder durchsichtig ausgebildet sein kann und der durch eine Lichtquelle beleuchtet wird, die entweder auf der Seite des zu inspizierenden Objekts oder auf der dem Objekt abgewandten Seite des Streukörpers angeordnet ist. Der Streukörper streut das Licht der Lichtquelle und beleuchtet so den zu inspizierenden Gegenstand. Auf diese Weise kann ein bekanntes Neigungsmessendes, insbesondere ein photometrisches Verfahren zur 3D-Formerfassung von diffus reflektierenden Gegenständen mit einem ebenfalls neigungsmessenden deflektometrischen Verfahren zur 3D-Formerfassung von gerichtet reflektierenden Gegenständen kombiniert werden. Es hat sich bei der Formerfassung der hier angesprochenen Art gezeigt, dass die gemessenen Neigungsdaten des aufgenommenen Objekts nicht mit den realen Neigungsdaten übereinstimmen, sondern verfälscht wiedergegeben werden. Dies lässt sich, wie in WO 2006/100077 A1 beschrieben ist, beispielsweise mittels eines Kalibriergegenstandes mit einfacher geometrischer Form nachweisen, dessen Neigungsdaten bekannt sind. Insbesondere bei der Formerfassung von glänzenden Objekten ergeben sich Probleme dadurch, dass der Wert der gemessenen Neigungsdaten zusätzlich davon abhängt, ob die Neigungsdaten auf der Grundlage von gerichteter oder von diffuser Reflexion gemessen beziehungsweise berechnet wurden. Die Messung des Neigungswinkels an einem und desselben Orts auf einer Objekt Oberfläche kann demnach bei einer gerichtet reflektierenden Beschaffenheit beispielsweise 45° und bei einer diffus reflektierenden Beschaffenheit beispielsweise nur 10° ergeben, sodass die Neigungsdaten je nach Oberflächenbeschaffenheit unterschiedlich von dem realen Wert abweichen. Bei glänzenden Gegenständen, die einen diffusen und einen gerichtet reflektierenden Oberflächenanteil aufweisen, geht somit eine zufriedenstellende Korrektur der Neigungsdaten fehl, da nicht bekannt ist, ob die fehlerhaften Neigungsdaten diffuser oder gerichteter Reflexion zuzuschreiben sind. Dies liegt daran, dass die Reflexionseigenschaften des zu inspizierenden glänzenden Gegenstands, das heißt seine diffus und gerichteten Oberflächenreflexionsanteile, nicht bekannt sind. Zudem können die Reflexionseigenschaften in Abhängigkeit von dem Ort auf der Oberfläche variieren. Bei bekannten Vorrichtungen und Verfahren zur 3D-Formerfassung resultiert somit durch die Messung falscher Neigungsdaten, also die partiellen Ableitungen der Oberfläche in x- und y-Richtung, eine von der realen Form abweichende gemessene Form des zu erfassenden Objekts.

[0003] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Formerfassung und/oder zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils zu schaffen, welche die oben genannten Nachteile nicht aufweisen.

[0004] Zur Lösung dieser Aufgabe wird eine Vorrichtung zur Formerfassung und/oder zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils von Objekten mit den Merkmalen des Anspruchs 1 vorgeschlagen. Die Vorrichtung weist mindestens eine Aufnahmeeinheit, mehrere Lichtquellen sowie mindestens einen durch die Lichtquellen beleuchtbaren Streukörper auf. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass die Vorrichtung eine Kombination aus zum einen Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik und zum anderen Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik und/oder im Bereich des Streukörpers angeordnete Lichtquellen aufweist, die den Streukörper beleuchten, und dadurch, dass mindestens zwei Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik und/oder mindestens zwei im Bereich des Streukörpers angeordnete Lichtquellen vorgesehen sind, die derart ausgerichtet sind, dass sich die Beleuchtungsverteilungen je zweier dieser Lichtquellen auf dem Streukörper nicht oder nur wenig überlappen. Vorzugsweise sind die Lichtquellen, die sich im Bereich des Streukörpers befinden, an dessen Innenseite, das heißt dem Objekt zugewandten, oder an dessen Außenseite, also dem Objekt abgewandten Seite, vorgesehen. In diesem Fall können Öffnungen in dem Streukörper eingebracht sein, die eine Beleuchtung des Objekts durch die Lichtquellen im Bereich des Streukörpers ermöglichen. Es kann vorzugsweise vorgesehen sein, dass die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik und die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik jeweils auf gedachten Kreisen angeordnet sind, die

verschiedene Radien bezüglich eines Bezugspunktes der Vorrichtung aufweisen, wobei die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik den Streukörper diffus ausleuchten, und die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik so ausgebildet sind, dass sie im Wesentlichen einen Lichtfleck auf dem Streukörper erzeugen. Alternativ sind andere Anordnungen möglich, bei denen die Lichtquellen nicht auf Kreisen angeordnet sind. Die im Bereich des Streukörpers SK angeordneten Lichtquellen sind vorzugsweise auf der Innen- und/oder auf der Außenseite des Streukörpers vorgesehen, das heißt auf der dem Objekt zugewandten oder abgewandten Seite. Falls die Lichtquellen an der Außenseite des Streukörpers vorgesehen sind, ist der Streukörper vorzugsweise mit Öffnungen versehen, durch die das Objekt beleuchtbar ist.

[0005] Mit der hier vorgeschlagenen Vorrichtung können die realen Neigungsdaten eines Objekts gemessen beziehungsweise berechnet werden. Dabei dienen die Lichtquellen mit breiter, das heißt mit diffuser Abstrahlcharakteristik dazu, den gerichteten und/oder den diffusen Reflexionsanteil, und die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik, die einen kleinen Lichtfleck auf dem Streukörper erzeugen oder die im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen, dazu, im Wesentlichen den diffusen Reflexionsanteil der zu erfassenden Oberfläche zu bestimmen. Durch diese Anordnung kann der diffuse und/oder der gerichtete Oberflächenreflexionsanteil für jeden Ort eines zu erfassenden Objekts bestimmt werden, sodass auch eine Korrektur der Neigungsdaten für jeden Ort des zu erfassenden Gegenstands möglich ist. Auch ist es durch die Lichtquellen mit breiter und mit schmaler Abstrahlcharakteristik möglich, abweichende Neigungsdaten für diffus und gerichtet reflektierende Oberflächenteile dadurch auszuschließen, dass die Position der Lichtquellen solange verändert wird, bis ähnliche Neigungsergebnisse und damit im Wesentlichen gleiche Formergebnisse für die diffuse und für die gerichtete Reflexion eines Objekts gemessen werden. Die Vorrichtung ermöglicht es somit, auch glänzende Objekte zu vermessen, wobei die realen Neigungsdaten entweder dadurch gewonnen werden, dass die diffusen und/oder gerichteten Oberflächenreflexionsanteile berechnet werden, oder dass die Vorrichtung so angepasst wird, dass die Neigungsdaten von diffusen und gerichteten Oberflächenreflexionsanteilen ähnlich sind.

[0006] Bei einem Ausführungsbeispiel der Vorrichtung ist vorgesehen, dass die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik auf einem gedachten inneren Kreis und die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik auf einem gedachten äußeren Kreis bezüglich des Bezugspunktes der Vorrichtung angeordnet sind. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass der gedachte innere Kreis einen Radius von 0,5 und der gedachte äußere Kreis einen Radius von 0,75 des Streukörperradius aufweist. Dadurch, dass die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik auf einem äußeren Kreis bezüglich des Bezugspunktes angeordnet sind, ist es möglich, diese derart auszurichten, dass sich die Beleuchtungsverteilungen auf dem Streukörper, welche durch die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik erzeugt werden, nicht überlappen.

[0007] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der Vorrichtung ist vorgesehen, dass die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik symmetrisch zu dem Bezugspunkt der Vorrichtung angeordnet sind. Um eine gleichmäßige Ausleuchtung des zu vermessenden Objekts zu erlangen, ist eine symmetrische Anordnung der Lichtquellen besonders vorteilhaft. Vorzugsweise ist noch vorgesehen, dass auch die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik symmetrisch zu dem Bezugspunkt der Vorrichtung angeordnet sind.

[0008] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel der Vorrichtung ist vorgesehen, dass die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik eine lambertsche Abstrahlcharakteristik aufweisen. Derartige Lambertstrahler zeichnen sich dadurch aus, dass die Strahldichte mit dem Kosinus des Abstrahlwinkels variiert. Eine lambertsche Abstrahlcharakteristik kann beispielsweise mit speziellen LEDs erreicht werden. Auf diese Weise ist der Streukörper besonders großflächig und gleichmäßig beleuchtbar. Vorzugsweise sind vier Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik vorgesehen, denkbar ist es jedoch auch mehr als vier, beispielsweise acht oder sechzehn Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik vorzusehen. Andererseits ist es auch denkbar, weniger Lichtquellen, insbesondere zwei oder drei Lichtquellen zu verwenden.

[0009] Außerdem wird ein Ausführungsbeispiel der Vorrichtung bevorzugt, bei der die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik eine Kollimationsoptik aufweisen. Als Lichtquellen für die schmale Abstrahlcharakteristik können demnach herkömmliche LEDs verwendet werden, die mit einer Kollimationsoptik versehen werden, die zur Lichtbündelung dient, sodass auf dem Streukörper ein Lichtfleck erzeugt wird. Eine solche Kollimationsoptik kann als Reflektor, Linse oder als mehrere Linsen ausgeführt sein. Alternativ oder zusätzlich können Blenden verwendet werden. Vorzugsweise ist noch vorgesehen, dass mindestens eine Lichtquelle mit schmaler Abstrahlcharakteristik so ausgerichtet ist, dass die Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt in mindestens einem Punkt der Oberfläche maßgeblich auf diffusen Oberflächenreflexionsanteilen beruht.

[0010] Weiterhin bevorzugt wird ein Ausführungsbeispiel der Vorrichtung, die sich dadurch auszeichnet, dass die Lichtquellen bezüglich einer Mittelachse der Vorrichtung in unterschiedliche Richtungen geneigt sind. Sowohl die Lichtquellen mit schmäler als auch die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik können demnach auf unterschiedliche Bereiche des Streukörpers ausgerichtet sein und somit den Streukörper in verschiedenen Bereichen beleuchten. Auf diese Weise kann eine besonders gleichmäßige oder auch eine geeignet strukturierte Beleuchtung des Streukörpers und damit des zu erfassenden Objekts erfolgen.

[0011] Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass der Streukörper halbkugelförmig ausgebildet ist. Denkbar ist jedoch auch eine Ausbildung des Streukörpers als Kugel. Hierdurch kann eine besonders gleichmäßige und großflächige Ausleuchtung des zu vermessenden Objekts erfolgen. Alternativ kann der Streukörper auch als Ellipsoid, Zylinder, Freiformfläche, Ebene oder Teilen hiervon ausgeführt sein.

[0012] Zur Lösung der oben genannten Aufgabe wird außerdem ein Verfahren zur Formerfassung und/oder zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils von Objekten vorgeschlagen, welches die Merkmale des Anspruchs 14 aufweist. Das Verfahren zeichnet sich durch das Positionieren einer Aufnahmeeinheit (Kamera), eines Streukörpers, eines zu erfassenden Objekts sowie von Lichtquellen mit schmaler und breiter Abstrahlcharakteristik oder im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen und Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik aus. Die Lichtquellen mit schmaler und mit breiter Abstrahlcharakteristik werden vorzugsweise auf gedachten Kreisen mit unterschiedlichen Radien bezüglich eines Bezugspunktes der Vorrichtung und um das Objekt herum angeordnet. Alternativ sind andere Anordnungen denkbar. Anschließend werden die Lichtquellen mit schmaler und mit breiter Abstrahlcharakteristik oder der im Bereich des Streukörpers angeordnete Lichtquellen und die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik nacheinander aktiviert und das beleuchtete Objekt mit der Aufnahmeeinheit aufgenommen, wobei die Reihenfolge der aktivierten Beleuchtungen unerheblich ist. Anschließend erfolgt das punktweise Bestimmen des Grauwertminimums aus mindestens zwei mit schmaler Abstrahlcharakteristik oder mit im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen aufgenommenen Bildern. Mit punktweise ist hier gemeint, dass jeder Bildpunkt (Pixel) eines aufgenommenen Bildes mit dem gleichen Bildpunkt eines anderen Bildes verglichen wird. Hieraus wird eine Grauwertminima-Verteilung erhalten. Es wird nun punktweise der Quotient von Werten der bestimmten Grauwertminima-Verteilung und der entsprechenden Werte der Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt bei breiter Abstrahlcharakteristik gebildet. Insbesondere wird das Verhältnis oder dessen Kehrwert von der Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt bei schmaler Abstrahlcharakteristik oder der im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen zu der Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt bei breiter Abstrahlcharakteristik gebildet und zwar unter Verwendung der Beleuchtungsverteilung des mit schmaler Abstrahlcharakteristik oder der im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen aufgenommenen Bildes, welches punktweise den minimalen Grauwert aufweist. Auf diese Weise kann auf den diffusen und/oder den gerichteten Oberflächenreflexionsanteil des erfassten Objekts geschlossen werden.

[0013] Bei einem Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Lichtquellen mit schmaler und mit breiter Abstrahlcharakteristik gruppenweise aktiviert werden. Insbesondere bei den Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik kann vorgesehen sein, dass jeweils zwei paarweise gegenüberliegende Lichtquellen jeweils zeitgleich aktiviert werden. Auf diese Weise wird eine gleichmäßige Ausleuchtung des zu erfassenden Objekts bewirkt. Gleichwohl können die Beleuchtungen auch einzeln aktiviert werden und die Einzelbilder anschließend summiert werden.

[0014] Bei einer anderen Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik auf einem gedachten inneren Kreis und die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik auf einem gedachten äußeren Kreis bezüglich eines Bezugspunktes angeordnet werden. Insbesondere durch die äußere Anordnung der Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik wird verhindert, dass sich Beleuchtungsverteilungen der Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik auf dem Streukörper und damit auf Oberflächenpunkten des Objekts überlappen. Außerdem wird gewährleistet, dass für Punkte der Objektoberfläche jeweils bei zumindest einer Beleuchtungsverteilung mit schmaler Abstrahlcharakteristik kein direkter Reflex von der Aufnahmeeinheit erfasst wird, sodass die Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt für zumindest diese Lichtquelle mit schmaler Abstrahlcharakteristik ausschließlich auf diffuser Reflexion beruht. Auf diese Weise ist es möglich, zwischen diffusen und gerichteten Oberflächenreflexionsanteilen des Objekts zu unterscheiden.

[0015] Bei einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass mit den Lichtquellen schmaler Abstrahlcharakteristik der diffuse Oberflächenreflexionsanteil und mit den Lichtquellen breiter Abstrahlcharakteristik der gerichtete und/oder der diffuse Oberflächenreflexionsanteil des Objekts bestimmt wird.

[0016] Bei einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik verschiedene Bereiche des Streukörpers punktförmig beleuchten. Alternativ können die Lichtquellen, vorzugsweise Quellen mit kleiner Ausdehnung, auf der Streukörperinnenfläche oder der Streukörperaußenfläche befestigt werden. Für Quellen auf der Außenfläche können Öffnungen im Streukörper vorgesehen sein, durch die das Licht ins Innere des Streukörpers gelangt.

[0017] Es wird auch ein nicht zur Erfindung gehörendes Verfahren beschrieben, bei dem zur Vermeidung von fehlerhaften Neigungsdaten, die Position der Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik so lange angepasst wird, bis für den diffusen und den gerichteten Oberflächenreflexionsanteil ein ähnliches Neigungsergebnis ermittelt wird. Hierbei können auch ausschließlich Beleuchtungen mit breiter und mit schmaler Abstrahlcharakteristik zum Einsatz kommen. Auf diese Weise kann eine Berechnung des diffusen und/oder des gerichteten Oberflächenreflexionsanteils entfallen, da die Lichtquellen derart positioniert sind, dass sowohl für die diffus reflektierenden als auch für die gerichtet reflektierenden Oberflächenabschnitte ein ähnliches Neigungsergebnis und damit ein im Wesentlichen gleiches Formergebnis erzielt wird.

[0018] Bei dem Verfahren ist gegebenenfalls vorgesehen, dass sich zum Anpassen der Position der Lichtquellen der Radius der gedachten Kreise verändert wird oder aber die Position der Lichtquellen unabhängig von diesen Kreisen angepasst wird. Auch kann vorgesehen sein, dass die Beleuchtungsrichtung der Lichtquellen bezüglich des Streukörpers oder aber auch deren Abstrahlcharakteristik verändert wird.

[0019] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0020] Fig. 1 einen schematischen Längsschnitt einer Vorrichtung;

[0021] Fig. 2 eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung;

[0022] Fig. 3 eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung gemäß Fig. 2 mit einer ersten Gruppe aktivierter Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik;

[0023] Fig. 4 eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung gemäß Fig. 2 mit einer zweiten Gruppe aktivierter Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik;

[0024] Fig. 5 eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung gemäß Fig. 2 mit einer dritten Gruppe aktivierter Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik;

[0025] Fig. 6 eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung gemäß Fig. 2 mit einer vierten Gruppe aktivierter Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik;

[0026] Fig. 7 eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung gemäß Fig. 2 mit zwei aktivierten Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik, und

[0027] Fig. 8 eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung gemäß Fig. 2 mit zwei weiteren aktivierten Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik.

[0028] Fig. 1 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch eine Vorrichtung **1**. Sie weist eine Aufnahmeeinheit auf, die hier beispielhaft als Kamera **K** dargestellt ist, bei der es sich beispielsweise um eine Matrix- oder eine Zeilenkamera handeln kann. Die Vorrichtung **1** umfasst außerdem einen Streukörper **SK**, der mit einer Blendenöffnung **A** versehen ist, durch welche die Kamera **K** ein insbesondere glänzendes Objekt **O**, dessen 3D-Form erfasst werden soll, aufnehmen kann. Der Streukörper **SK** ist hier rein beispielhaft halbkugelförmig ausgebildet, denkbar ist jedoch auch eine Ausbildung als Kugel, Ellipsoid, Zylinder, Freiformfläche, Ebene, Teile hiervon oder dergleichen.

[0029] Die optische Achse der Kamera **K** fällt vorzugsweise mit einer Mittelachse **M** der Vorrichtung **1** zusammen, die eine Referenzebene **ER** schneidet, in der das zu erfassende Objekt **O** angeordnet ist und auf der der Streukörper **SK** angeordnet ist. Der Schnittpunkt der Mittelachse **M** und der Referenzebene **ER** definieren einen Bezugspunkt **B** der Vorrichtung **1**. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass das zu erfassende Objekt **O** im Bereich dieses Bezugspunkts **B** in der Referenzebene **ER** angeordnet ist.

[0030] Vorzugsweise verläuft liegt die Referenzebene **ER** in einer Mittelebene **EM** des Streukörpers **SK**, für den Fall, dass dieser als Halbkugel oder als Kugel ausgebildet ist. Alternativ kann die Referenzebene **ER** aber

auch versetzt zu der Mittelebene EM angeordnet sein. Alternativ ist es möglich, Teile der Halbkugel in der Nähe der Referenzebene zu entfernen, um ein einfaches Einbringen des Objekts O zu gewährleisten.

[0031] In Fig. 1 ist eine erste Lichtquelle S_1 angedeutet, die in einem Abstand r_1 zu dem Bezugspunkt B, beziehungsweise zu der Mittellinie M, vorgesehen ist, außerdem eine zweite Lichtquelle S_2 , die in einem Abstand r_2 zu dem Bezugspunkt B angeordnet ist.

[0032] Alternativ oder auch zusätzlich können im Bereich des Streukörpers SK noch Lichtquellen S_3 vorgesehen sein, die an der Innenseite SK_i oder an der Außenseite SK_a des Streukörpers SK angebracht sein können, also auf der dem Objekt O zugewandten oder auf der abgewandten Seite. Falls die Lichtquellen S_3 auf der dem Objekt O abgewandten Außenseite SK_a vorgesehen sind, weist der Streukörper SK, wie in Fig. 1 dargestellt, vorzugsweise Öffnungen A' auf, durch welche die mindestens eine Lichtquelle S_3 das Objekt O indirekt beleuchten kann. Alternativ kann auch vorgesehen sein, dass der Streukörper SK durchsichtig ausgebildet ist. In diesem Fall kann auf die Öffnungen A' verzichtet werden.

[0033] Bei den Lichtquellen S_1 handelt es sich vorzugsweise um Lichtquellen mit schmaler und bei den Lichtquellen S_2 um solche mit breiter Abstrahlcharakteristik. Die hier vorgeschlagene Vorrichtung 1 weist also eine Kombination von Lichtquellen mit breiter und Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik auf, wobei die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik durch die im Bereich des Streukörpers SK vorgesehenen Lichtquellen S_3 ersetzt werden können. Es kann auch vorgesehen sein, zusätzlich zu den Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik Lichtquellen S_3 im Bereich des Streukörpers SK vorzusehen. Dass die Lichtquellen S_3 „im Bereich“ des Streukörpers SK angeordnet sind soll hier zum Ausdruck bringen, dass die Lichtquellen S_3 vorzugsweise an dem Streukörper SK angebracht sind oder zumindest in dessen näherer Umgebung angeordnet sind.

[0034] Entscheidend ist nicht nur die Kombination von Lichtquellen mit unterschiedlichen Abstrahlcharakteristika, sondern auch die Ausrichtung der Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik und/oder der im Bereich des Streukörpers SK angeordneten Lichtquellen S_3 . Der Streukörper SK weist ausgehend von dem Bezugspunkt B einen Radius R auf und ist vorzugsweise aus Metall, aus undurchsichtigem Kunststoff oder anderen diffus streuenden Materialien ausgebildet. Vorzugsweise kann auch vorgesehen sein, dass der Streukörper SK mit einer diffus reflektierenden Farbe beschichtet ist, die einfallendes Licht ungerichtet streut. Durch die vorzugsweise halbkugelförmige Ausbildung des Streukörpers SK ist dessen Innenseite SK_i besonders großflächig, sodass viel Licht von der Innenseite SK_i des Streukörpers SK auf das zu erfassende Objekt O gestreut werden kann, dieses also besonders hell und aus einem großen Raumwinkel beleuchtbar ist. Insbesondere ist mit einem derartigen Streukörper eine in WO 2004/051186 beschriebene Kodierung der Oberfläche möglich.

[0035] Fig. 2 zeigt eine schematische Draufsicht auf eine Vorrichtung 1 gemäß Fig. 1, wobei die Kamera K hier zur Vereinfachung nicht dargestellt ist. Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die Beschreibung zu Fig. 1 verwiesen wird.

[0036] Wie in der Beschreibung zu Fig. 1 bereits angedeutet wurde, sind in dem Streukörper SK vorzugsweise mehrere Lichtquellen S_2 mit breiter und Lichtquellen S_1 mit schmaler Abstrahlcharakteristik und/oder Lichtquellen S_3 vorgesehen, welche derart ausgerichtet sind, dass sie die Innenseite SK_i des Streukörpers SK von innen beleuchten. Für den Fall, dass Lichtquellen S_3 im Bereich des Streukörpers SK vorgesehen sind, beleuchten diese das Objekt O direkt.

[0037] Bei den äußeren Lichtquellen S_1 handelt es sich bei dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel vorzugsweise um Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik, wohingegen es sich bei den inneren Lichtquellen S_2 vorzugsweise um Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik handelt. Zur Vereinfachung werden die Lichtquellen S_1 mit schmaler Abstrahlcharakteristik im Folgenden als Spotbeleuchtungen S_1 bezeichnet, da sie gemäß der Erfindung derart ausgerichtet sind, dass sie einen Lichtspot, also einen kleinen Lichtfleck, auf der Innenseite SK_i des Streukörpers SK erzeugen.

[0038] Wie bereits ausgeführt wurde, können alternativ oder auch zusätzlich ein oder mehrere Lichtquellen an der Innenseite SK_i des Streukörpers SK oder an dessen Außenfläche SK_a vorgesehen werden. Sie erzeugen ebenfalls einen Lichtfleck am Ort des Streukörpers SK. Hierbei handelt es sich dann um eine indirekte Beleuchtung des Objekts O.

[0039] Die Lichtquellen S_2 mit breiter Abstrahlcharakteristik werden im Folgenden als Hellfeldbeleuchtungen S_2 bezeichnet, da sie die Innenseite SK_i des Streukörpers SK möglichst hell und nicht punktförmig wie die

Spotbeleuchtungen S_1 ausleuchten. Ferner werden im Folgenden sämtliche Spotbeleuchtungen, die rein beispielhaft auf einem äußeren Kreis K_1 angeordnet sind mit S_1 und sämtliche Hellfeldbeleuchtungen, die ebenfalls rein beispielhaft auf einem inneren Kreis K_2 angeordnet sind mit S_2 bezeichnet.

[0040] Wie bereits ausgeführt wurde, sind die Spotbeleuchtungen S_1 vorzugsweise auf einem gedachten äußeren Kreis K_1 und die Hellfeldbeleuchtungen S_2 auf einem gedachten inneren Kreis K_2 um das zu erfassende Objekt O herum angeordnet, wobei der gedachte innere Kreis K_2 einen Radius r_2 und der gedachte äußere Kreis K_1 einen Radius r_1 ausgehend von dem Bezugspunkt B aufweist, der hier im Übrigen gleichzeitig der Mittelpunkt des Streukörpers SK in der Referenzebene ER ist. Denkbar ist auch eine Anordnung, bei der die Spotbeleuchtungen S_1 auf einem inneren Kreis und die Hellfeldbeleuchtungen S_2 auf einem äußeren Kreis angeordnet sind, auch können Lichtquellen verschiedenen Typs, also Spotbeleuchtungen S_1 und Hellfeldbeleuchtungen S_2 auf einem gemeinsamen Kreis angeordnet sein, besonders günstig für die Funktion der Vorrichtung 1 ist jedoch die hier dargestellte Variante, bei der also die Spotbeleuchtungen S_1 auf einem gedachten äußeren Kreis K_1 angeordnet sind, wie später noch deutlich wird. Grundsätzlich ist die Anordnung der Lichtquellen auf gedachten Kreisen für die Funktion der hier vorgeschlagenen Vorrichtung und des vorgeschlagenen Verfahrens nicht erforderlich, jedoch lassen sich auf diese Weise besonders gute Ergebnisse erzielen.

[0041] Als Hellfeldbeleuchtungen S_2 kommen insbesondere Lambertstrahler in Betracht, die eine breite, also diffuse Abstrahlcharakteristik aufweisen, bei denen es sich beispielsweise um LEDs handeln kann. Auf diese Weise ist der Streukörper SK besonders hell durch die Hellfeldbeleuchtungen S_2 und damit das zu erfassende Objekt O besonders hell ausleuchtbar.

[0042] Zur Realisierung einer Spotbeleuchtung S_1 , die einen kleinen Lichtpunkt auf dem Streukörper SK erzeugen soll, ist vorzugsweise vorgesehen, dass jede Spotbeleuchtung S_1 mit einer nicht dargestellten Blende, insbesondere mit einer Kollimationsoptik versehen ist, die das Licht bündelt und auf diese Weise einen punktförmigen Lichtfleck auf dem Streukörper SK erzeugt. Auch bei den Spotbeleuchtungen S_1 können vorzugsweise LEDs eingesetzt werden. Sämtliche Lichtquellen S_1 und S_2 sind hier im Übrigen rein schematisch durch Kreise und ohne eventuell vorgesehene Kollimationsoptiken, Blenden oder dergleichen dargestellt.

[0043] In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung 1 sind rein beispielhaft insgesamt vier Spotbeleuchtungen S_1 und acht Hellfeldbeleuchtungen S_2 vorgesehen. Prinzipiell ist es für die Funktionsfähigkeit der Vorrichtung 1 jedoch ausreichend, wenn wenigstens zwei Spotbeleuchtungen S_1 und/oder Lichtquellen S_3 im Bereich des Streukörpers SK und wenigstens zwei Hellfeldbeleuchtungen S_2 vorgesehen sind. Ebenso können mehr als vier, beispielsweise acht oder mehr Spotbeleuchtungen S_1 und mehr als acht, beispielsweise sechzehn oder mehr Hellfeldbeleuchtungen S_2 vorgesehen sein.

[0044] Besonders bevorzugt wird eine Vorrichtung 1, bei welcher der Radius r_2 des Kreises K_2 , auf dem die Hellfeldbeleuchtungen S_2 angeordnet sind, $0,5 \times R$, also die Hälfte des Streukörperradius beträgt. Darüber hinaus ist es besonders vorteilhaft, wenn der Radius r_1 des Kreises K_1 $0,75 \times R$, also dreiviertel des Streukörperradius beträgt. Die Lichtquellen S_1 und S_2 müssen im Übrigen nicht in der Referenzebene ER angeordnet sein. Denkbar ist es vielmehr auch, die Lichtquellen in Richtung der Mittelachse M etwas oberhalb oder unterhalb der Referenzebene ER anzuordnen, im vorliegenden Beispiel also versetzt zu der Mittelebene E_M . Die Spotbeleuchtungen S_1 und Hellfeldbeleuchtungen S_2 sind, wie in Fig. 2 dargestellt ist, vorzugsweise symmetrisch zu dem Bezugspunkt B und symmetrisch zu zwei Durchmesserlinien D_1 und D_2 , die sich in dem Bezugspunkt B der Vorrichtung 1 unter einem rechten Winkel schneiden, angeordnet. Die Anordnung der Spotbeleuchtungen S_1 auf dem gedachten äußeren Kreis K_1 ist besonders vorteilhaft, da diese dadurch so angeordnet werden können, dass sich die Beleuchtungsverteilung jeweils zweier gegenüberliegender Spotbeleuchtungen S_1 nicht überschneiden. Durch die äußere Positionierung der Spotbeleuchtungen S_1 kann im Übrigen sichergestellt werden, dass keine oder nur wenige direkte Reflexe die Kamera K treffen, worauf später noch näher eingegangen wird.

[0045] Durch die Durchmesserlinien D_1 und D_2 wird der Streukörper SK quasi in vier Quadranten I, II, III und IV unterteilt. Es wird deutlich, dass bei dem hier gezeigten Beispiel in jedem Quadranten zwei Hellfeldbeleuchtungen S_2 und auf jeder Durchmesserlinie D_1 und D_2 jeweils zwei Spotbeleuchtungen S_1 vorgesehen sind.

[0046] Anhand der Fig. 3 bis Fig. 8 wird das vorgeschlagene Verfahren im Folgenden näher erläutert.

[0047] Fig. 3 zeigt eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung 1 gemäß Fig. 2 mit einer ersten aktivierten Gruppe von Hellfeldbeleuchtungen S_2 . Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die Beschreibung zu den vorangegangenen Figuren verwiesen wird.

[0048] Zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils des Objekts O wird zunächst eine Gruppe G_1 von Hellfeldbeleuchtungen S_2 aktiviert, die hier beispielhaft vier Hellfeldbeleuchtungen S_2 umfasst, während alle anderen Lichtquellen der Vorrichtung **1** ausgeschaltet bleiben. Die Gruppe G_1 kann auch lediglich eine Hellfeldbeleuchtung S_2 umfassen. Die aktivierten Hellfeldbeleuchtungen S_2 befinden sich in dem I. und III. Quadranten des Streukörpers SK und sind so ausgerichtet, dass sie einen Bereich der Innenseite SK_i des Streukörpers SK besonders hell beleuchten, nämlich den Bereich links der Durchmesserlinie D_1 beziehungsweise die Quadranten I und III. Weiter von den I. und III. Quadranten entfernte Bereiche des Streukörpers SK werden weniger stark von der Gruppe G_1 beleuchtet und weisen demnach eine geringere Beleuchtungsstärke auf. Der Streukörper SK wiederum reflektiert das Licht der Gruppe G_1 diffus auf das Objekt O, dessen Form erfasst werden soll. Für die Beleuchtungsverteilung der Gruppe G_1 wird von dem beleuchteten Objekt O mittels der hier nicht dargestellten Kamera K ein erstes Bild aufgenommen.

[0049] Fig. 4 zeigt eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung **1** gemäß Fig. 2 mit einer zweiten Gruppe aktivierter Hellfeldbeleuchtungen. Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die Beschreibung zu den vorangegangenen Figuren verwiesen wird.

[0050] In einem weiteren Schritt wird nun eine zweite Gruppe G_2 von vier Hellfeldbeleuchtungen S_2 aktiviert, die vorzugsweise so ausgerichtet sind, dass sie die Innenseite SK_i des Streukörpers SK vornehmlich in dem II. und IV. Quadranten beleuchten. Außerhalb der II. und IV. Quadranten nimmt die Beleuchtungsverteilung des Streukörpers SK stetig ab.

[0051] Das Licht wird an der Innenseite SK_i des Streukörpers SK wiederum auf das Objekt O diffus reflektiert, welches von der hier nicht dargestellten Kamera K erfasst wird. Es folgt die Aufnahme eines zweiten Bildes des Objekts O unter der Hellfeldbeleuchtung der Gruppe G_2 . Auch hier kann vorgesehen sein, dass die Gruppe G_2 lediglich eine Hellfeldbeleuchtung S_2 umfasst.

[0052] Fig. 5 zeigt eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung gemäß Fig. 2 mit einer dritten aktivierten Gruppe von Hellfeldbeleuchtungen S_2 . Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die Beschreibung zu den vorangegangenen Figuren verwiesen wird.

[0053] In Fig. 5 ist eine dritte Gruppe G_3 mit insgesamt vier Hellfeldbeleuchtungen S_2 aktiviert, welche oberhalb von einer Durchmesserlinie D_2 des Streukörpers SK in den I. und II. Quadranten des Streukörpers angeordnet ist. Die Gruppe G_3 von Hellfeldbeleuchtungen S_2 beleuchtet die Innenseite SK_i des Streukörpers SK vornehmlich in dem Bereich des I. und II. Quadranten, sodass die Beleuchtungsverteilung bei weiter entfernten Bereichen weiter abnimmt. Die Gruppe G_3 kann auch nur eine Hellfeldbeleuchtung S_2 umfassen.

[0054] Das Licht wird an der Innenseite SK_i wiederum auf das Objekt O reflektiert, welches von der Kamera K erfasst wird. Hierauf folgt die Aufnahme eines dritten Bildes des Objekts O unter der Beleuchtung der Gruppe G_3 .

[0055] Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung der Vorrichtung **1** gemäß Fig. 2 mit einer vierten Gruppe G_4 von aktivierten Hellfeldbeleuchtungen S_2 . Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die Beschreibung zu den vorangegangenen Figuren verwiesen wird.

[0056] Auch die vierte Gruppe G_4 umfasst insgesamt vier Hellfeldbeleuchtungen S_2 , welche in den III. und IV. Quadranten angeordnet sind und die Innenseite SK_i des Streukörpers SK in diesem Bereich ausleuchten. Das Licht der Gruppe G_4 , die auch nur eine Hellfeldbeleuchtung S_2 umfassen kann, wird an der Innenseite SK_i reflektiert und beleuchtet das Objekt O auf diese Weise. Auch von dieser Beleuchtungssituation des Objekts O durch die vierte Gruppe G_4 erfolgt eine Aufnahme mittels der Kamera K.

[0057] Insgesamt liegen also vier Bilder des Objekts O vor, die unter vier verschiedenen Beleuchtungssituationen aufgenommen wurden. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass durch die Summation der vier Bilder ein Summationsbild des Objekts O gewonnen wird. Alternativ kann vorgesehen sein, sämtliche Hellfeldbeleuchtungen S_2 gleichzeitig zu aktivieren und das Objekt O beleuchten, um das Summationsbild des Objekts O zu gewinnen.

[0058] Ziel des vorgeschlagenen Verfahrens und der Vorrichtung ist es, mit den Spotbeleuchtungen S_1 den diffusen Oberflächenreflexionsanteil des Objekts O und mit den Hellfeldbeleuchtungen S_2 den gerichteten und/oder den diffusen Oberflächenreflexionsanteil zu bestimmen. Im Folgenden wird daher anhand der Fig. 7 und Fig. 8 die Gewinnung des diffusen Oberflächenreflexionsanteils mittels der Spotbeleuchtungen S_1 erläutert.

Gleiches gilt im Übrigen auch für die im Bereich des Streukörpers SK angeordneten Lichtquellen S_3 , für welche die nachfolgenden Erläuterungen ebenfalls gelten.

[0059] Fig. 7 zeigt eine schematische Draufsicht der Vorrichtung **1** unter Beleuchtung von zwei Spotbeleuchtungen S_1 . Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die Beschreibung zu den vorangegangenen Figuren verwiesen wird.

[0060] In Fig. 7 sind zwei der insgesamt vier Spotbeleuchtungen S_1 aktiviert, die symmetrisch zu dem Bezugspunkt B auf der Durchmesserlinie D_1 angeordnet sind und die durch eine Schraffierung hervorgehoben sind. Alternativ ist es möglich, insgesamt eine kleinere oder größere Anzahl an Spotbeleuchtungen zu verwenden, beispielsweise 2, 3, 6, 8 oder auch mehr. Wie eingangs bereits erwähnt wurde, sind die Spotbeleuchtungen S_1 vorzugsweise auf einem gedachten Kreis K_1 angeordnet, der einen Radius von vorzugsweise $0,75 \times R$ aufweist. Durch diese Anordnung der Spotbeleuchtung S_1 in einem äußeren Randbereich des Streukörpers SK wird eine punktförmige Beleuchtung der Innenseite SK_i des Streukörpers SK am Rande des Streukörpers SK erzeugt. Die punktförmige Beleuchtung des Streukörpers SK bewirkt eine Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt O, die von der Kamera K aufgenommen wird.

[0061] Fig. 8 zeigt eine schematische Draufsicht auf die Vorrichtung mit zwei anderen aktivierten Spotbeleuchtungen S_1 . Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, sodass insofern auf die Beschreibung zu den vorangegangenen Figuren verwiesen wird.

[0062] In Fig. 8 sind die zwei anderen der vier Spotbeleuchtungen S_1 aktiviert. Die aktivierten Spotbeleuchtungen S_1 sind wie die anderen beiden Spotbeleuchtungen symmetrisch zu dem Bezugspunkt B und auf einer zweiten Durchmesserlinie D_2 angeordnet, die senkrecht zu der Durchmesserlinie D_1 verläuft. Die zwei aktivierten Spotbeleuchtungen S_1 sind auf dem gedachten äußeren Kreis K_1 angeordnet und beleuchten die Innenseite SK_i des Streukörpers SK punktförmig in einem äußeren Bereich des Streukörpers SK. Entscheidend ist dabei, dass sich die Beleuchtungsverteilung der Spotbeleuchtungen S_1 auf der Innenseite SK_i des Streukörpers SK nicht oder nur unwesentlich überlappen. Auf diese Weise wird das Objekt O durch die Spotbeleuchtungen S_1 , deren Licht an dem Streukörper SK reflektiert wird, aus unterschiedlichen Richtungen beleuchtet.

[0063] Entscheidend ist, dass die Spotbeleuchtungen S_1 so ausgerichtet sind, dass in einem Bildpunkt (Pixel) eines aufgenommenen Bildes mindestens eine der Spotbeleuchtungen S_1 möglichst keinen direkten Reflex an der Oberfläche des Objekts O in die Kamera K erzeugt, sodass die Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt O bei Spotbeleuchtung S_1 im Wesentlichen dem diffusen Oberflächenreflexionsanteil zuzuschreiben ist.

[0064] Dadurch, dass sich die Beleuchtungsverteilungen der Spotbeleuchtungen S_1 auf dem Streukörper SK nicht oder nur geringfügig überlappen, kann erreicht werden, dass für im Wesentlichen jeden sichtbaren Punkt der Objektoberfläche, abhängig von der jeweiligen Neigung in der Umgebung des Punktes, zumindest eine Lichtquelle gefunden werden kann, bei der kein direkter Reflex auftritt.

[0065] Die Auswahl, welche Spotbeleuchtung S_1 für jeden Punkt der Gegenstandsoberfläche gerade keinen Reflex erzeugt, erfolgt Bildpunkt für Bildpunkt getrennt. Das heißt, dass die einzelnen Bildpunkte der unter Spotbeleuchtung S_1 aufgenommenen Bilder Bildpunkt für Bildpunkt verglichen werden und derjenige Bildpunkt, beziehungsweise dessen Grauwert, eines Bildes ausgewählt wird, der nicht von gerichteter Reflexion herrührt. Hierzu wird für jeden Bildpunkt (Pixel) der Kamera K aus der Serie der mit schmaler Beleuchtungscharakteristik aufgenommenen Bilder jeweils der Grauwert desjenigen Bildes gewählt, welches den minimalen Grauwert aufweist. Hierbei werden immer entsprechende, beziehungsweise übereinstimmende Bildpunkte mehrerer Bilder verglichen, beispielsweise der Bildpunkt der 1. Reihe und der 1. Spalte des Bildes der ersten Spotbeleuchtung S_1 mit dem Bildpunkt der 1. Reihe und der 1. Spalte des Bildes der zweiten Spotbeleuchtung S_1 . Das bedeutet, es wird punktweise oder pixelgleich das Minimum der Grauwerte von Bildern bei unterschiedlicher Beleuchtung bestimmt.

[0066] Die paarweise Anordnung der Spotbeleuchtungen S_1 ist hier rein beispielhaft, um eine gleichmäßige Ausleuchtung zu erreichen. Vielmehr ist es ausreichend nur zwei Spotbeleuchtungen S_1 vorzusehen oder die Spotbeleuchtungen S_1 einzeln nacheinander zu aktivieren. Auch die Anzahl der Spotbeleuchtungen ist beispielhaft gewählt. Es kann eine größere oder auch eine kleinere Zahl von Spotbeleuchtungen gewählt werden.

[0067] Die einzelnen Spotbeleuchtungen S_1 sind vorzugsweise so weit auseinander anzuordnen, dass sich die erzeugten Beleuchtungsverteilungen auf dem Streukörper SK nicht oder nur wenig überschneiden. Dies ist entscheidend, weil in einem weiteren Verfahrensschritt, wie oben bereits erläutert wurde, punktweise der

Grauwert desjenigen Bildes ausgewählt wird, welcher von den Bildern, die mit aktivierten Spotbeleuchtungen S_1 von dem Objekt O aufgenommen wurden, am geringsten ist, welches also am dunkelsten ist.

[0068] Die Kamera K soll damit Beleuchtungsverteilungen auf dem Objekt O, die aus der Spotbeleuchtung S_1 resultieren, im Wesentlichen aufgrund von diffuser Reflexion des Objekts O wahrnehmen und nicht aufgrund von gerichteter Reflexion. Ein Vergleich der Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt O unter Hellfeldbeleuchtung S_2 , bei der sowohl diffuse also auch gerichtete Oberflächenreflexionsanteile zur Beleuchtungsverteilung beitragen, mit der Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt O unter Spotbeleuchtung S_1 , die im Wesentlichen von diffus reflektierenden Oberflächenanteilen erzeugt wird, erlaubt dann eine Unterscheidung zwischen diffus und gerichtet reflektierendem Oberflächenanteil an jedem Ort des Objekts O.

[0069] Die Beleuchtungsverteilung für die Spotbeleuchtung S_1 ist dann repräsentativ für die diffusen Reflexionsanteile, wenn die Spotbeleuchtungen S_1 möglichst weit voneinander entfernt im äußeren Bereich des Streukörpers SK angeordnet sind, sodass eine Überlappung der Beleuchtungsverteilungen möglichst vermieden wird. Besonders geeignet ist die Anordnung der hier insgesamt vier Spotbeleuchtungen S_1 auf einem gedachten äußeren Kreis K_1 mit einem Radius r_1 , der 0,75 von dem Radius R des Streukörpers SK beträgt. Auf diese Weise trifft der Lichtfleck der Spotbeleuchtung S_1 in einem äußeren Randbereich auf die Innenseite S_1 des Streukörpers SK.

[0070] Wünschenswert ist ein deutlicher Unterschied zwischen Bildern, welche durch die Hellfeldbeleuchtungen S_2 aufgenommen wurden zu Bildern, welche mit den Spotbeleuchtungen S_1 aufgenommen wurden. Wünschenswert ist insbesondere auch ein großer Unterschied in der Beleuchtungsverteilung zwischen diesen Bildern.

[0071] Gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren wird also punktweise, das heißt jeweils für einen entsprechenden Bildpunkt (Pixel) der verschiedenen Bilder, das Verhältnis der Grauwerte bei Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt O mit schmaler Abstrahlcharakteristik, also mit Spotbeleuchtung S_1 , zu den Grauwerten bei Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt O bei breiter Abstrahlcharakteristik, also bei Hellfeldbeleuchtung S_2 , gebildet und zwar punktweise unter Verwendung derjenigen Beleuchtungsverteilung des mit Spotbeleuchtung S_1 aufgenommenen Bildes, welches den minimalen Grauwert aufweist. Die punktweise Bestimmung des unter Spotbeleuchtung S_1 aufgenommenen Bildes mit dem minimalen Grauwert wurde oben bereits ausführlich erläutert, sodass hier nicht noch einmal darauf eingegangen werden soll.

[0072] Die Beleuchtungsverteilung bei Spotbeleuchtung S_1 und bei Hellfeldbeleuchtung S_2 wird dann ins Verhältnis gesetzt, wodurch sich ein direktes Maß für den Lambertanteil des Objekts O, also für den diffusen Oberflächenreflexionsanteil ergibt:

$$\frac{\text{punktweiser Grauwert Spotbeleuchtungsverteilung (diffuser Anteil)}}{\text{punktweiser Grauwert Hellfeldbeleuchtungsverteilung (diffuser und gerichteter Anteil)}}$$

[0073] Die Beleuchtungsstärke der Spotbeleuchtungen S_1 ist üblicherweise geringer als die Beleuchtungsstärke der Hellfeldbeleuchtung S_2 . Um die beiden Beleuchtungsverteilungen dennoch vergleichen zu können, werden diese normiert, insbesondere werden die maximale Spotbeleuchtung S_1 und die maximale Hellfeldbeleuchtung S_2 mit 100% angesetzt. Alternativ oder zusätzlich kann eine größere oder kleinere Anzahl von Spotbeleuchtungen gewählt werden, um annähernd gleiche Beleuchtungsstärken zu erzielen.

[0074] Es sei noch einmal festgehalten, dass das obige Verhältnis nur dann ein zuverlässiges Maß für den diffusen Oberflächenreflexionsanteil des Objekts O ist, wenn die Spotbeleuchtungen S_1 so ausgerichtet sind, dass ihr ausgestrahltes Licht sich auf dem Streukörper SK nicht oder nur geringfügig überlappt, sodass vorzugsweise wenigstens eine Spotbeleuchtung S_1 in jeweils einem Bildpunkt keinen direkten Reflex in die Kamera K bewirkt, wenn also die Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt O, die von der Kamera K aufgenommen wird, im Wesentlichen auf diffuser Oberflächenreflexion beruht.

[0075] Die Spotbeleuchtung S_1 hat demnach die Funktion, diffus streuende Bereiche von gerichtet streuenden Bereichen des Objekts O unterscheiden zu können. Im Übrigen kann auch der Kehrwert des oben stehenden Verhältnisses verwendet werden, um den diffusen und/oder gerichteten und/oder den gesamten Oberflächenreflexionsanteil zu bestimmen.

[0076] Es wird deutlich, dass das oben dargestellte Verhältnis bei einem ausschließlich gerichtet reflektierenden Objekt im Wesentlichen 0% ergibt, da aufgrund der fehlenden diffusen Oberflächenreflexion die Kamera K bei Spotbeleuchtung S_1 keine Beleuchtungsverteilung wahrnimmt. Dies setzt voraus, wie oben bereits erläutert wurde, dass in jedem Bildpunkt vorzugsweise wenigstens eine Spotbeleuchtung S_1 so ausgerichtet ist, dass sie keinen direkten Reflex in die Kamera K erzeugt.

[0077] Im Gegensatz dazu wird das oben stehende Verhältnis bei einem ausschließlich diffus reflektierenden Objekt im Wesentlichen 100% ergeben, da hier der diffuse Reflexionsanteil des Objekts O auf die Spotbeleuchtung S_1 und auf die Hellfeldbeleuchtung S_2 anspricht und eine Beleuchtungsverteilung des Objekts O sowohl bei Spotbeleuchtung S_1 als auch bei Hellfeldbeleuchtung S_2 somit maßgeblich auf diffuse Reflexion zurückzuführen ist.

[0078] Eine hybride Oberfläche, also eine Oberfläche des Objekts O, welche sowohl diffuse als auch gerichtete Oberflächenreflexionsanteile aufweist, liefert einen Wert zwischen 0% und 100%, da durch die Spotbeleuchtung S_1 lediglich die diffusen Oberflächenreflexionsanteile, bei Hellfeldbeleuchtung S_2 aber die diffusen und die gerichtet reflektierenden Anteile ansprechen, sodass das Verhältnis durch den gerichteten Oberflächenreflexionsanteil kleiner als 100% ist.

[0079] Aus dem Verhältnis der Beleuchtungsverteilungen können die diffusen und/oder die gerichteten Oberflächenreflexionsanteile bestimmt werden. Mit den berechneten Reflexionsanteilen kann wiederum die Neigungsmessung so angepasst werden, dass die realen Neigungsdaten aus den vier Bildern unter Hellfeldbeleuchtung S_2 ermittelt werden.

[0080] Bei Beleuchtung mit Lichtquellen mit schmaler Beleuchtungsverteilung ist eine ausschließlich diffuse Reflexion erwünscht. In der Praxis kann es allerdings vorkommen, dass bei einer Spotbeleuchtung ein Teil des Lichts über den eng begrenzten Bereich des eigentlichen Lichtflecks hinaus auf dem Streukörper auftrifft, z. B. in Form von Streulicht. Für diesen Fall handelt es sich immer noch maßgeblich um eine diffuse Reflexion am Objekt, jedoch nicht ausschließlich; es kann ein Anteil an gerichteter Reflexion am Objekt dazukommen. Somit erreichen die Verhältnisse unter Umständen bei rein gerichteter Reflexion beziehungsweise bei rein diffuser Reflexion nicht 0% und 100%, sondern beispielsweise nur 20% und 80%. Andere Zahlenwerte sind möglich, das Funktionsprinzip bleibt hiervon unberührt.

[0081] Insgesamt zeigt sich, dass eine Berechnung der Neigungsbilder anhand der vier Bilder des Objekts O unter Hellfeldbeleuchtung S_2 erfolgt, und dass die speziell ausgerichtete Spotbeleuchtung S_1 dazu dient, diffuse von gerichteten Oberflächenanteilen zu unterscheiden. Entscheidend ist somit die Kombination von Lichtquellen mit schmaler und Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik, die eine Berechnung der realen Neigungswerte eines zu vermessenden Objekts O ermöglicht. Zur Berechnung der Neigungswerte kann insbesondere auch ein in WO 2004/051186 beschriebenes Verfahren eingesetzt werden, worauf hier nicht näher eingegangen wird.

[0082] Bei einem nicht zur Erfindung gehörenden Verfahren können folgende Schritte vorgesehen sein:

- Positionieren einer Aufnahmeeinheit (Kamera (K)), eines Streukörpers (SK), eines zu erfassenden Objekts (O) sowie Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_2);
- Aktivieren der Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_2) und jeweils Aufnahmen des beleuchteten Objekts (O) mit der Aufnahmeeinheit (Kamera (K)), und
- Anpassen der Position der Lichtquellen (S_2) mit breiter Abstrahlcharakteristik so lange, bis für den diffusen und den gerichteten Oberflächenreflexionsanteil ein ähnliches Neigungsergebnis ermittelt wird.

[0083] Insbesondere kann der Radius r_2 der Lichtquellen S_2 mit breiter Abstrahlcharakteristik bezüglich des Bezugspunkts B verändert werden. Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass die Abstrahlcharakteristik und/oder der Neigungswinkel der Lichtquellen gegenüber der Mittelachse M verändert werden, bis für den diffusen und den gerichteten Oberflächenreflexionsanteil ein ähnliches Neigungsergebnis, beziehungsweise ein gleiches Formergebnis ermittelt wird. Eine Berechnung der diffusen und/oder des gerichteten Oberflächenreflexionsanteils kann dann entfallen, sodass alleine durch die Positionierung der Lichtquellen die realen Neigungsdaten des Objekts O gewonnen werden können.

[0084] Insgesamt zeigt sich, dass die hier vorgeschlagene Vorrichtung und die Verfahren den Nachteil von herkömmlichen Vorrichtungen und Verfahren zur 3D-Formfassung insbesondere von hybriden Objekten O

vermeiden, dass also eine 3D-Formerfassung mit den realen Neigungsdaten, ohne vorherige Kenntnis des diffusen und/oder des gerichteten Oberflächenreflexionsanteils des zu erfassenden Objekts O, möglich ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Formerfassung und/oder zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils von Objekten (O), mit
 - mindestens einer Aufnahmeeinheit (Kamera (K)),
 - mehreren Lichtquellen (S_1 , S_2) sowie mit
 - mindestens einem durch die Lichtquellen (S_1 , S_2) beleuchtbaren Streukörper (SK),
dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Vorrichtung eine Kombination von Lichtquellen (S_2) mit breiter Abstrahlcharakteristik
 - mit Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik, oder
 - mit im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen (S_3), die den Streukörper beleuchten, oder
 - mit Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik und mit im Bereich des Streukörpers angeordneten Lichtquellen (S_3), die den Streukörper beleuchten,
 - aufweist, und dass
 - mindestens zwei Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik und/oder mindestens zwei im Bereich des Streukörpers (SK) angeordnete Lichtquellen (S_3) vorgesehen sind, die derart ausgerichtet sind, dass sich die Beleuchtungsverteilungen je zweier dieser Lichtquellen (S_1 , S_3) auf dem Streukörper (SK) nicht oder nur geringfügig überlappen.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen (S_2) mit breiter Abstrahlcharakteristik den Streukörper (SK) diffus ausleuchten und die Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik so ausgebildet sind, dass sie den Streukörper (SK) im Wesentlichen punktförmig beleuchten oder einen kleinen Flächenanteil in Bezug auf die Gesamfläche des Streukörpers (S) ausleuchten.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik und die Lichtquellen (S_2) mit breiter Abstrahlcharakteristik jeweils auf gedachten Kreisen (K_1 , K_2) angeordnet sind, die verschiedene Radien (r_1 , r_2) bezüglich eines Bezugspunktes (B) der Vorrichtung (1) aufweisen.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen (S_2) mit breiter Abstrahlcharakteristik auf einem gedachten inneren Kreis (K_2) und die Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik auf einem gedachten äußeren Kreis (K_1) bezüglich des Bezugspunktes (B) der Vorrichtung (1) angeordnet sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der gedachte innere Kreis (K_2) einen Radius (r_2) von 0,5 und der gedachte äußere Kreis (K_1) einen Radius (r_1) von 0,75 des Streukörperradius (R) aufweist.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen (S_2) mit breiter Abstrahlcharakteristik symmetrisch zu dem Bezugspunkt (B) der Vorrichtung (1) angeordnet sind.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik symmetrisch zu dem Bezugspunkt (B) der Vorrichtung (1) angeordnet sind.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen (S_1) mit schmaler Abstrahlcharakteristik paarweise symmetrisch bezüglich des Bezugspunktes (B) der Vorrichtung (1) angeordnet sind.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_2) eine Lambertsche Abstrahlcharakteristik aufweisen.
10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik (S_1) eine Kollimationsoptik aufweisen.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die im Bereich des Streukörpers (SK) angeordneten Lichtquellen (S_3) an dessen Innenseite (SK_i) und/oder an dessen Außenseite (SK_a) vorgesehen sind.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen (S_1, S_2) bezüglich einer Mittelachse (M) der Vorrichtung (1) in unterschiedliche Richtungen geneigt sind.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Streukörper (SK) halbkugelförmig ausgebildet ist.

14. Verfahren zur Formerfassung und/oder zur Bestimmung des diffusen und/oder des gerichteten Reflexionsanteils von Objekten (O), insbesondere mit einer Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Positionieren einer Aufnahmeeinheit (Kamera (K)), eines Streukörpers (SK), eines zu erfassenden Objekts (O) sowie Lichtquellen mit schmaler und breiter Abstrahlcharakteristik (S_1, S_2) oder im Bereich des Streukörpers (SK) angeordnete Lichtquellen und Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_2);
- Aktivieren der Lichtquellen mit schmaler und mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_1, S_2) oder der im Bereich des Streukörpers (SK) angeordnete Lichtquellen und der Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_2) nacheinander und jeweils Aufnahmen des beleuchteten Objekts (O) mit der Aufnahmeeinheit (Kamera (K));
- punktweises Bestimmen des Grauwertminimums aus mindestens zwei mit schmaler Abstrahlcharakteristik oder mit im Bereich des Streukörpers (SK) angeordneten Lichtquellen aufgenommenen Bildern, woraus eine Grauwertminima-Verteilung erhalten wird, und
- punktweises Bilden des Quotienten von Werten der bestimmten Grauwertminima-Verteilung und der entsprechenden Werte der Beleuchtungsverteilung auf dem Objekt bei breiter Abstrahlcharakteristik.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen mit schmaler und mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_1, S_2) auf gedachten Kreisen (K_1, K_2) mit unterschiedlichen Radien (r_1, r_2) bezüglich eines Bezugspunktes (B) der Vorrichtung (1) um das Objekt (O) herum angeordnet werden.

16. Verfahren nach Anspruch 14 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen mit schmaler und mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_1, S_2) gruppenweise aktiviert werden.

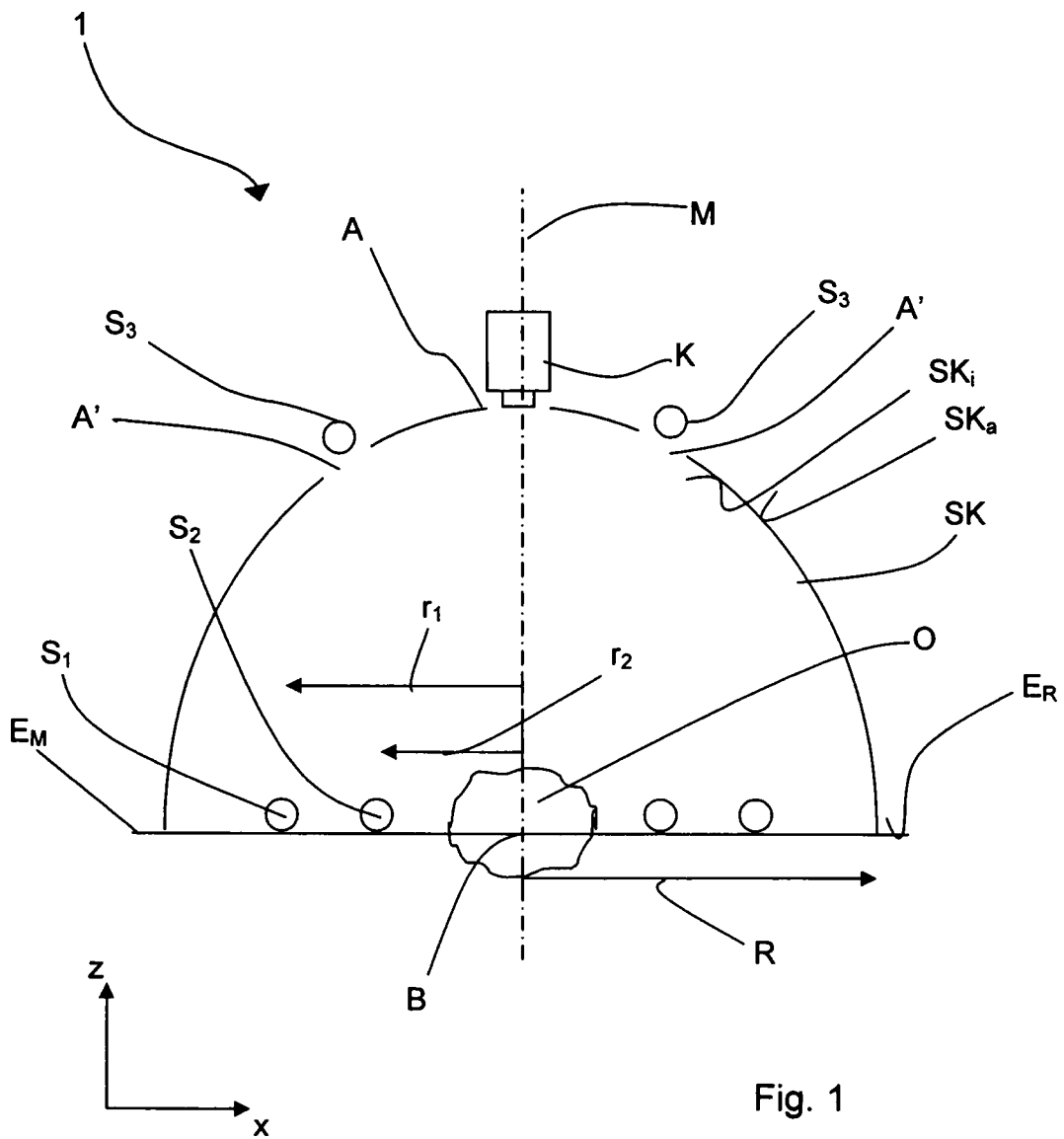
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen mit breiter Abstrahlcharakteristik (S_2) auf einem gedachten inneren Kreis (K_1) und die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik (S_1) auf einem gedachten äußeren Kreis (K_2) bezüglich eines Bezugspunktes (B) angeordnet werden.

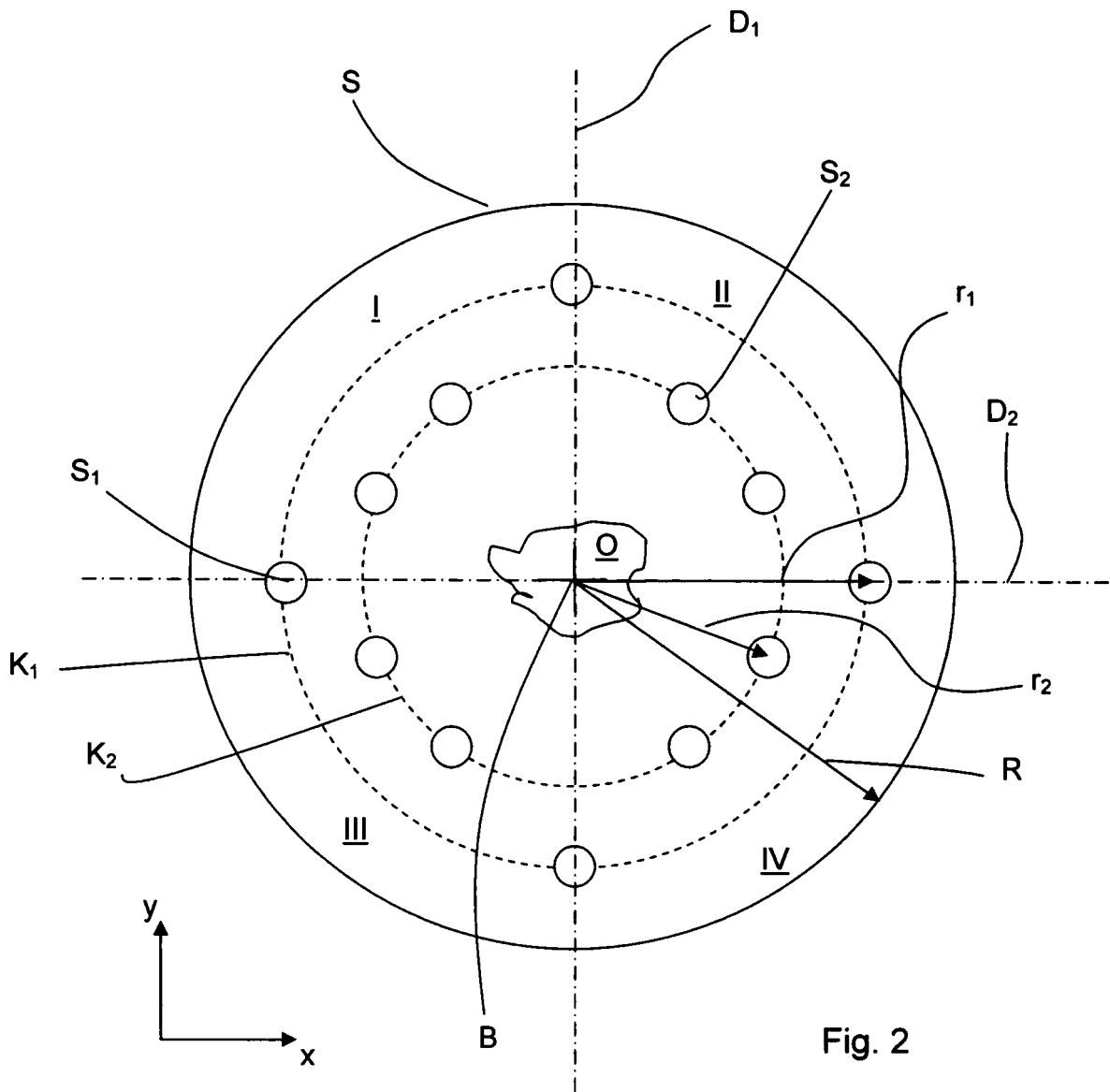
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit den Lichtquellen schmaler Abstrahlcharakteristik (S_1) der diffuse Oberflächenreflexionsanteil und mit den Lichtquellen breiter Abstrahlcharakteristik (S_2) der gerichtete und/der diffuse Oberflächenreflexionsanteil des Objekts (O) bestimmt wird.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquellen mit schmaler Abstrahlcharakteristik (S_1) verschiedene Bereiche des Streukörpers (SK) im Wesentlichen punktförmig beleuchten.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





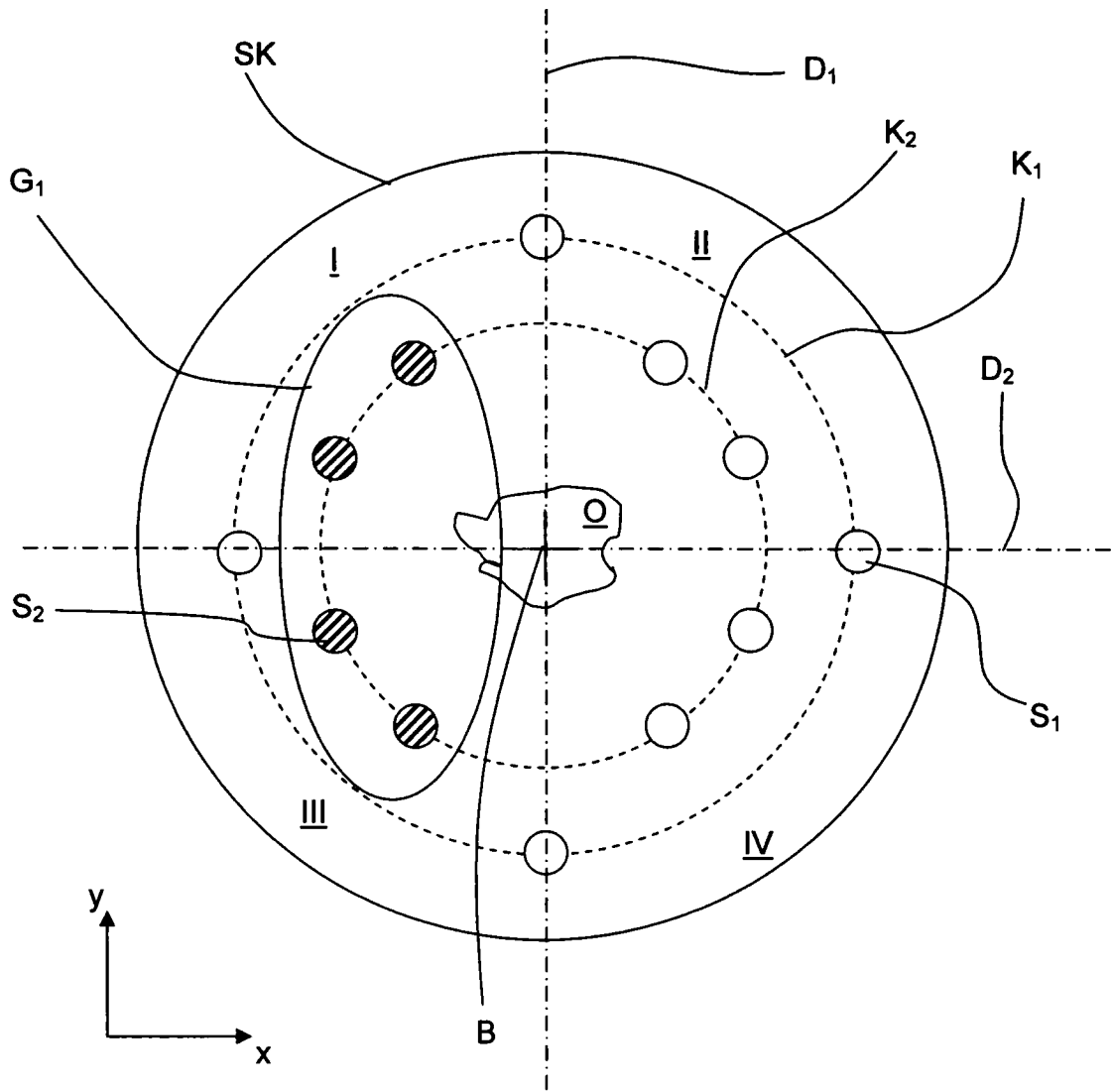


Fig. 3

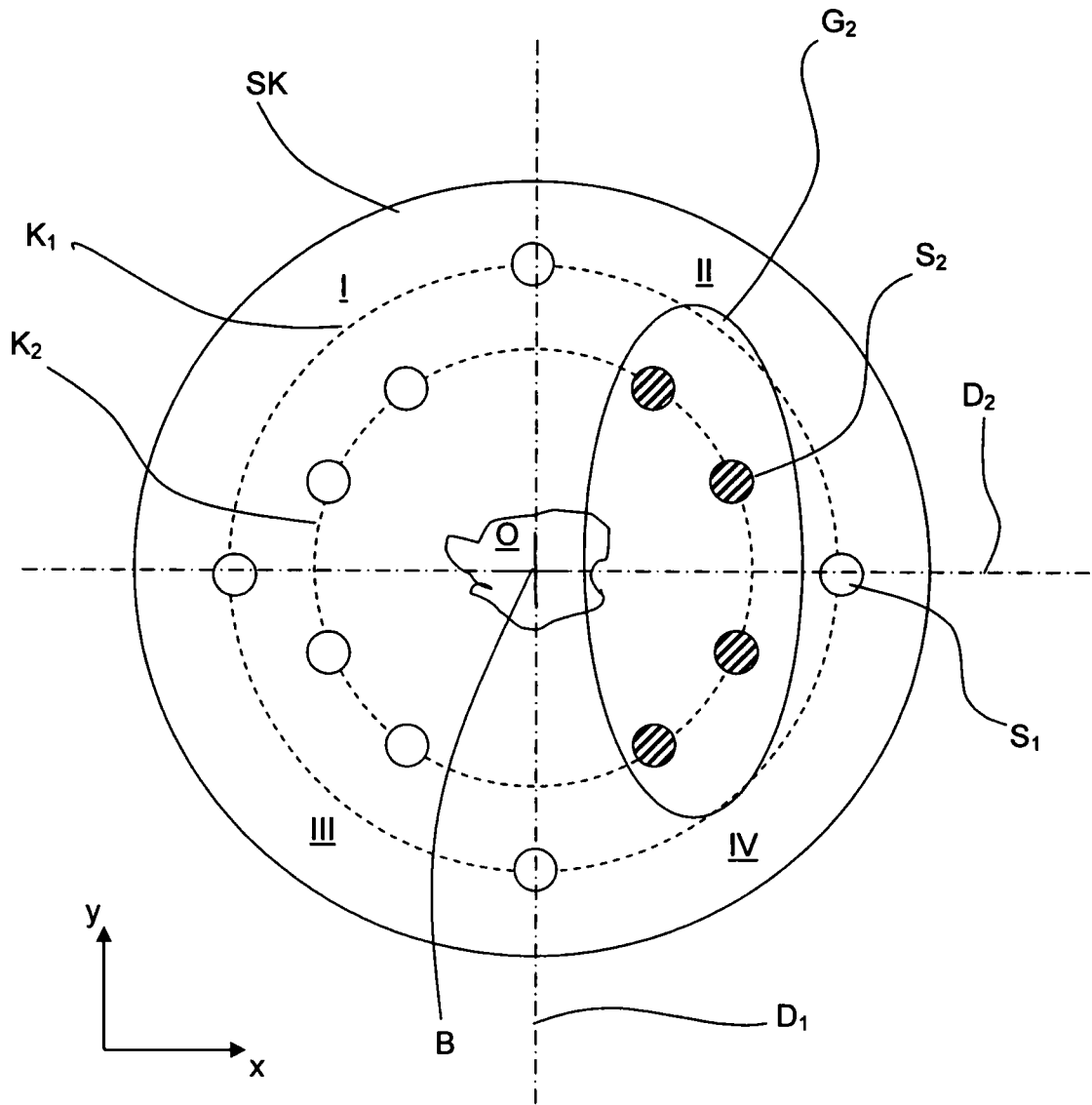


Fig. 4

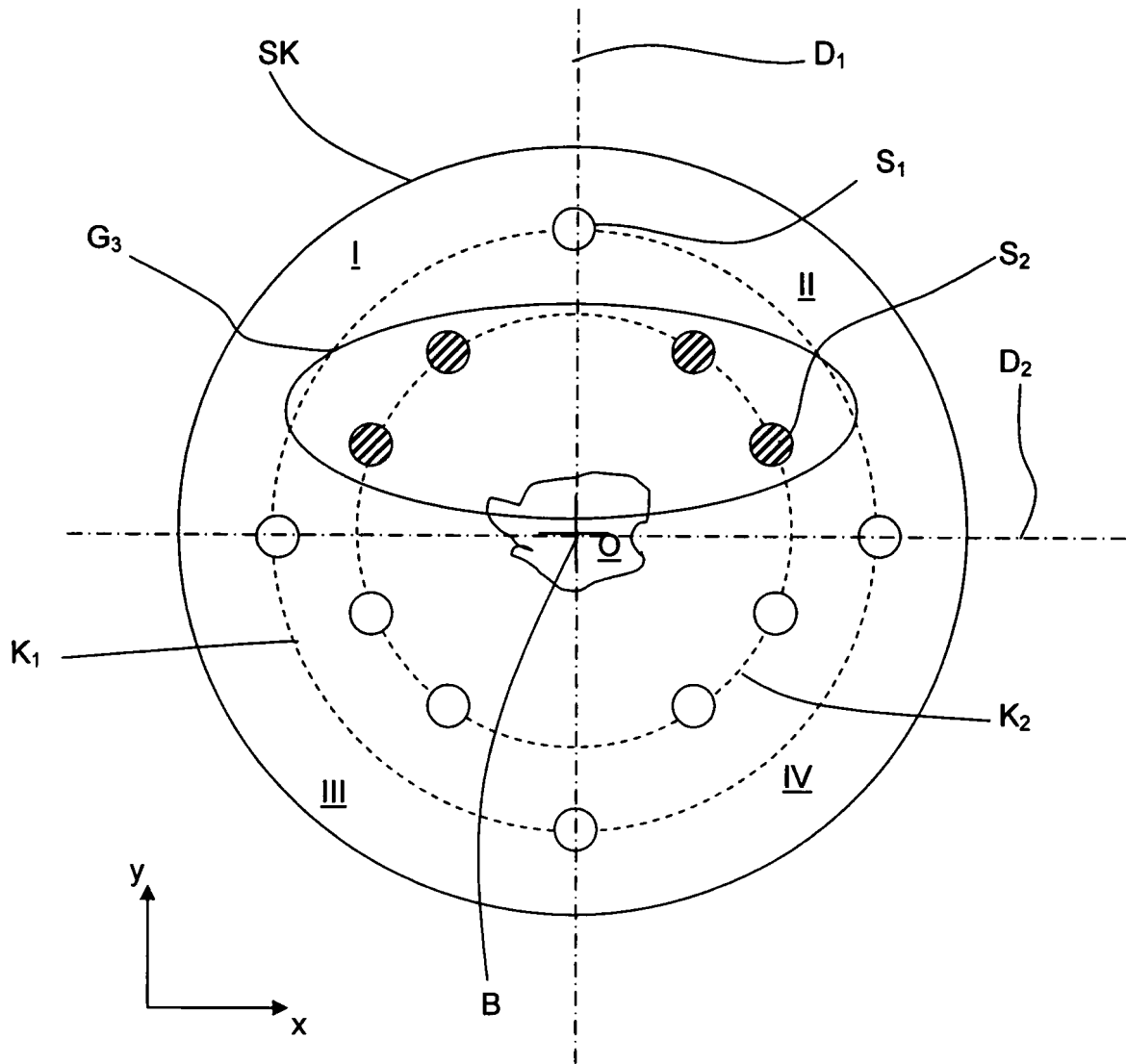


Fig. 5

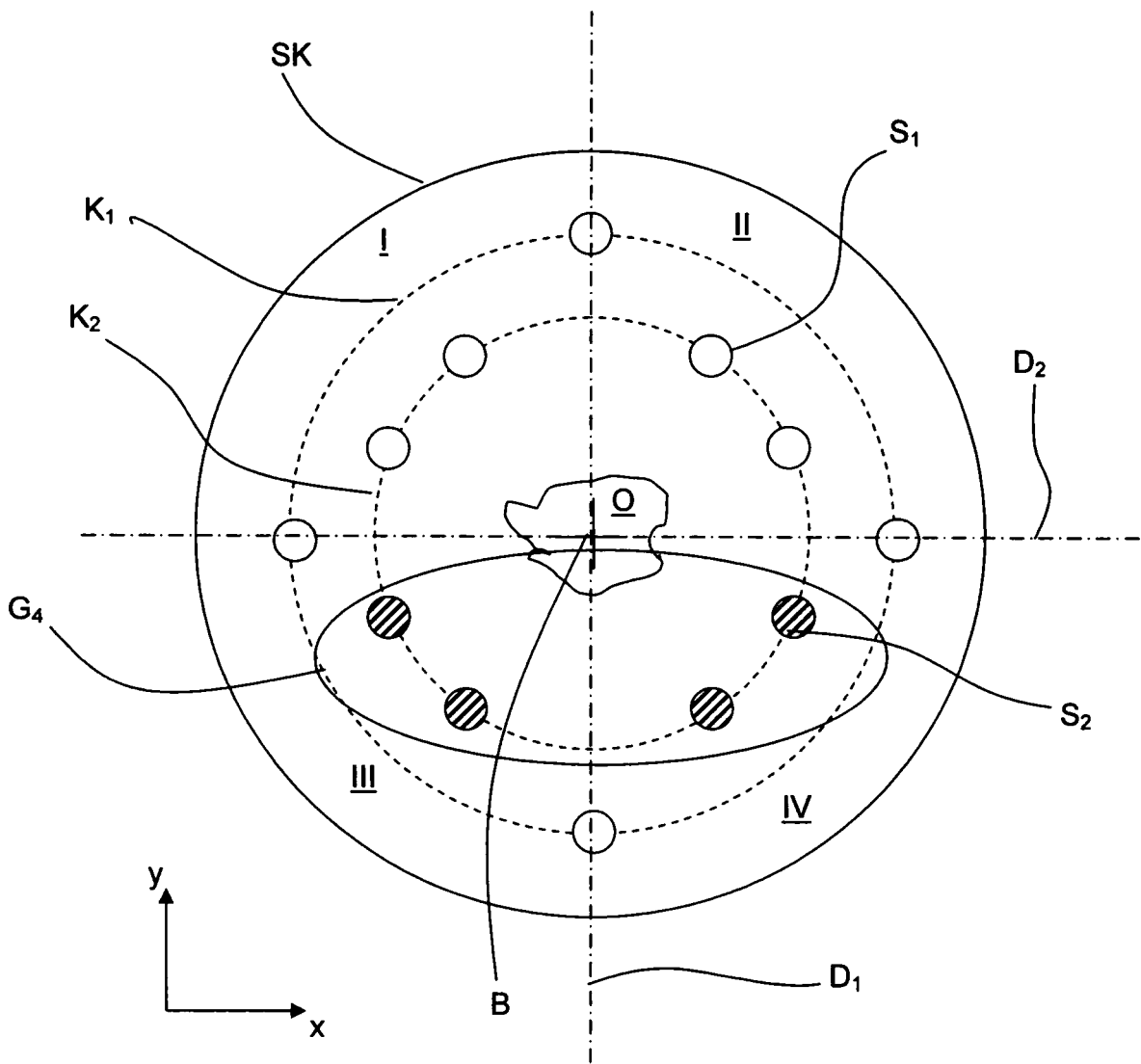
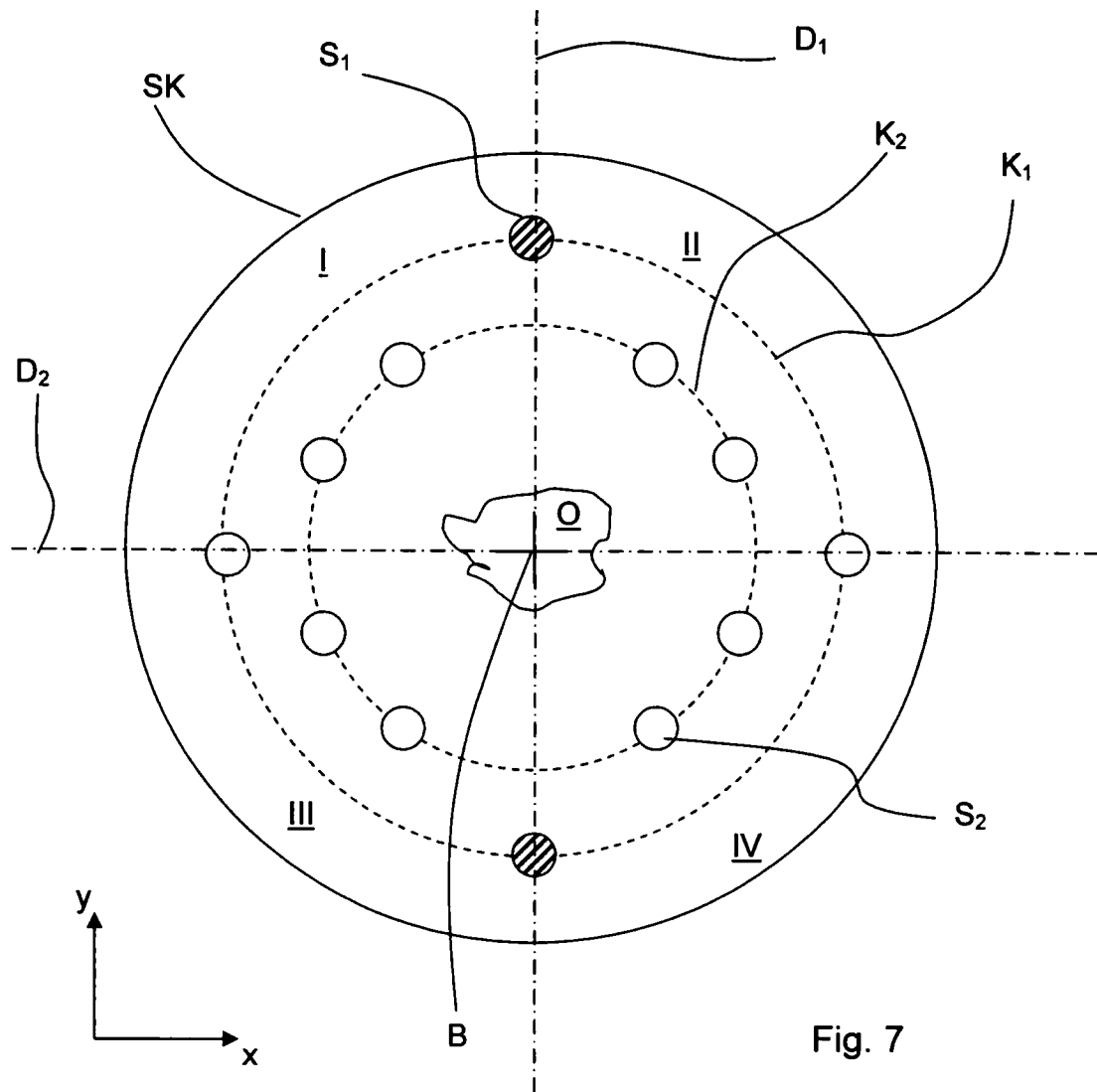


Fig. 6



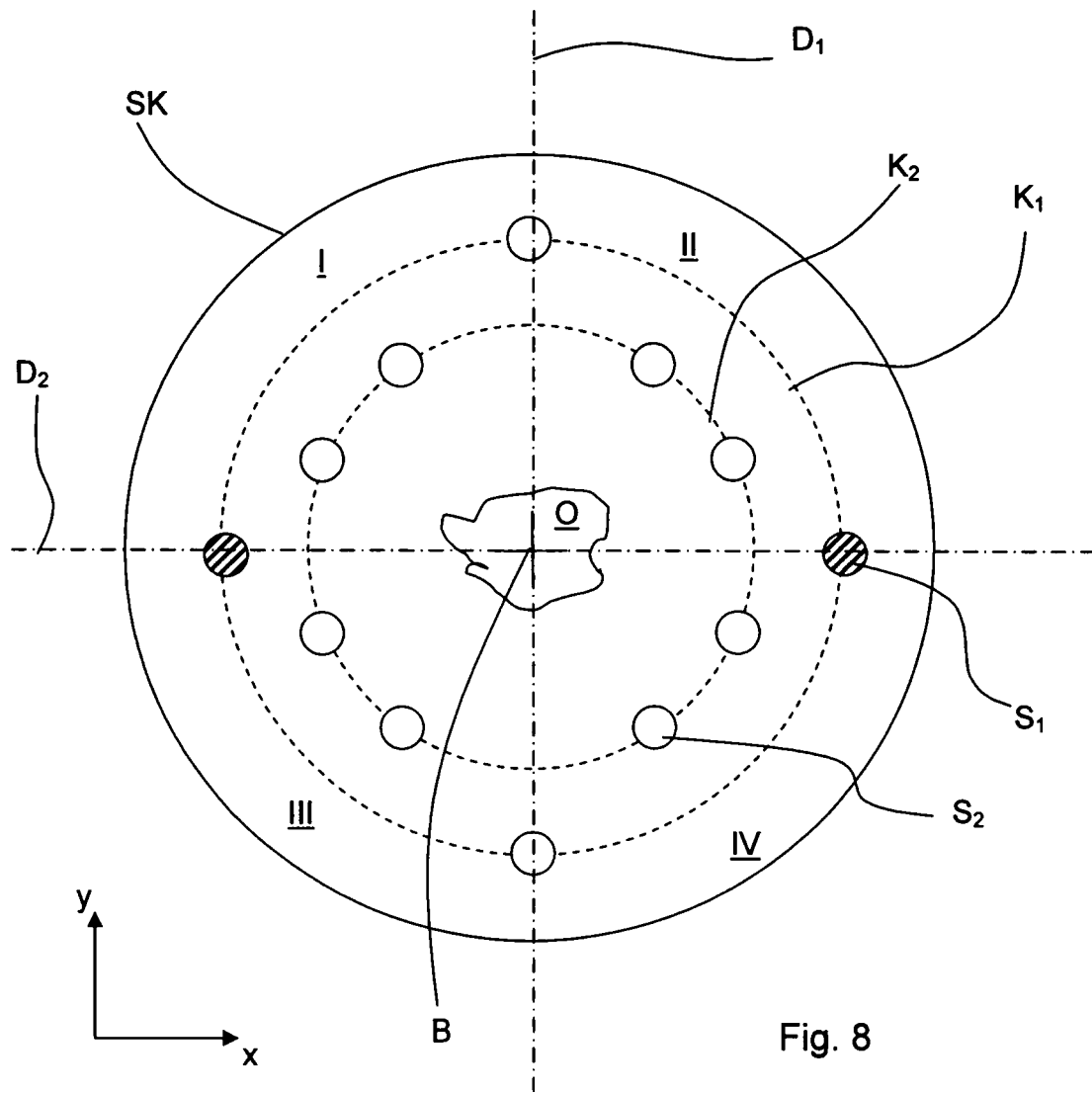


Fig. 8