



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 201 526.3**  
(22) Anmeldetag: **06.02.2019**  
(43) Offenlegungstag: **06.08.2020**

(51) Int Cl.: **G01B 11/00 (2006.01)**  
**G01B 11/26 (2006.01)**  
**G01B 11/14 (2006.01)**  
**G01B 11/03 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,  
US**

(72) Erfinder:  
**Heymer, Arne, 50737 Köln, DE**

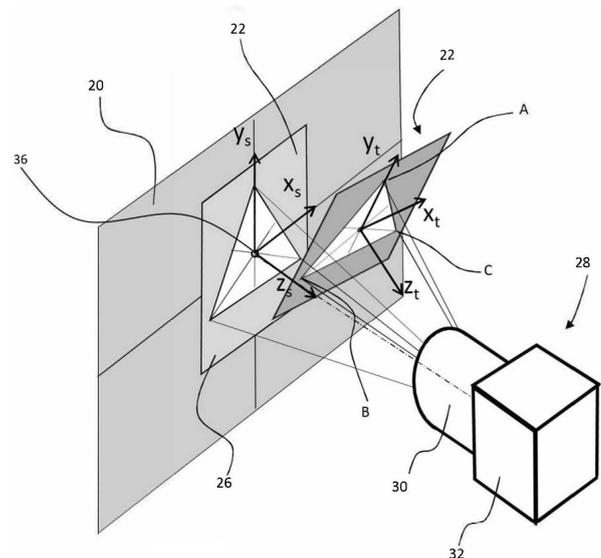
(74) Vertreter:  
**Dörfler, Thomas, Dr.-Ing., 50735 Köln, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zum Erfassen und Messen der Position eines Bauteils gegenüber einer Referenzposition sowie der Verschiebung und der Verdrehung eines sich relativ zu einem Bezugssystem bewegenden Bauteils**

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren zum Erfassen und Messen der Verschiebung und/oder Verdrehung eines sich relativ zu einem Bezugssystem bewegenden Bauteils (20) schlägt vor:

- a) Anbringen eines Markers (22) am Bauteil (20), wobei der Marker (22) auf einer Oberseite (26) mindestens drei Punkte (A, B, C) aufweist, die nicht auf einer Geraden liegen,
- b) zur Verfügung stellen eines Messsystems (28), das eine in dem Bezugssystem angeordnete Kamera (30) und eine Auswerteeinheit (32) aufweist, in der die Geometrie der Oberseite (26) und damit insbesondere der drei Punkte (A, B, C) abgespeichert ist,
- c) Ausrichten der Kamera (30) auf die drei Punkte (A, B, C),
- d) Erfassen eines ersten Bildes des Markers (22) und des Bauteils (20), die sich in einer ersten Position befinden, und Bestimmen der Lage der drei Punkte (A, B, C) im ersten Bild, wobei in der Bildebene des ersten Bildes die x- und y- Koordinaten der drei Punkte (A, B, C) und gegebenenfalls ihre Ausrichtung bestimmt werden,
- e) Erfassen eines zweiten Bildes des Markers (22) und des Bauteils (20), die sich in einer von der ersten Position unterschiedlichen zweiten Position befinden, und Bestimmen der Lage der drei Punkte (A, B, C) im zweiten Bild, wobei in der Bildebene des zweiten Bildes die x- und y- Koordinaten der drei Punkte (A, B, C) und gegebenenfalls ihre Ausrichtung bestimmt werden,
- f) Berechnen der Verschiebung und/oder Verdrehung des Bauteils (20) im dreidimensionalen Raum zwischen der ersten und der zweiten Position des Bauteils (20).



## Beschreibung

**[0001]** Eine Vielzahl von praktischen Anwendungen benötigt die vollständige Beschreibung der Position und der Bewegung eines Bauteils eines Kraftfahrzeugs in Bezug auf ein Bezugs- bzw. Referenzsystem, und zwar in allen sechs Freiheitsgraden, nämlich den drei Freiheitsgraden der Translation und den drei Freiheitsgraden der Rotation dieses Bauteils. Als Beispiele seien hierfür angegeben:

- die Bewegungen des Motors und des Getriebes während eines Anlassvorgangs, insbesondere während eines Wiederstartens nach einem Abschaltvorgang, und während eines Lastwechsels,
- die Bewegungen von Federn, elastischen Lagern und dergleichen während der Fahrt und
- die Bewegungen von Karosseriebauteilen und damit die Änderung von Spaltmaßen während der Fahrt, insbesondere einer Fahrt im Gelände.

**[0002]** Nach dem Stand der Technik werden diese Bewegungen durch verschiedene Verfahren erfasst. Diese bekannten Verfahren haben eine Reihe von Nachteilen:

- Die von Sensoren erhaltenen Signale müssen entweder einmal, bei Geschwindigkeitsmessungen, oder zweimal, bei Beschleunigungsmessungen, integriert werden, um die örtliche Position zu erhalten.
- Es kommt zu Ungenauigkeiten des Ergebnisses aufgrund von Drift und Abweichungen, insbesondere Streuung, der von den Sensoren gelieferten Signale, dies macht sich insbesondere bei langsamen Bewegungen bemerkbar.

**[0003]** Benötigt werden dreidimensionale Messungen in allen sechs Freiheitsgraden. Hierfür wird im Stand der Technik ein Satz spezieller Sensoren, die eine örtliche Verschiebung erfassen, eingesetzt. Sie können mechanisch, optisch, induktiv oder dergleichen arbeiten. Üblicherweise ist ein Sensor pro Freiheitsgrad oder pro Dimension vorgesehen:

- Ein Sensor wird für jede zu erfassende Dimension an einem Ort des Bauteils benötigt, d.h. drei Sensoren für die dreidimensionale örtliche Verschiebung, sechs Sensoren für das Erfassen von Bewegungen in allen sechs Freiheitsgraden.
- Es wird eine relativ aufwändige Messordnung benötigt, es ist der Zugang zu dem Bauteil von zumindest drei Seiten des Bauteils erforderlich.

**[0004]** Bei einem bekannten Messverfahren wird mit Markern gearbeitet, die auf dem Bauteil befestigt sind. Sie werden mit zwei CCD-Kameras, die sich in der Referenzposition befinden, erfasst. Durch Triangulation wird die Position errechnet, bekannte Verfahren bzw. Systeme sind hier zum Beispiel GOM PONTOS, Metris K-System usw., dabei kann es sich um eingetragene Marken handeln. Bei diesen Verfahren wird eine spezielle Beleuchtung benötigt. Es wird ein Platz für die Positionierung der beiden Kameras in einem angepassten, teilweise erheblichen Abstand voneinander benötigt. Die Verfahren sind kostspielig.

**[0005]** Aus der US 8 073 201 B2 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erfassen und Messen der Position und Orientierung eines Objekts und insbesondere eines Bildes eines Objekts bekannt, das mit einer Kamera erfasst wird. Auf dem Objekt ist eine Vielzahl unterschiedlicher Marker Q1 bis Qn angebracht. Die Koordinaten dieser Marke auf dem Objekt werden erfasst und über einen Algorithmus wird die Position und Orientierung der einzelnen sichtbaren Marker ermittelt. Wenn die Marker über einen ausreichend großen Bereich verteilt sind, können sechs Parameter der Position und Orientierung als Unbekannte erfasst werden. Wenn der Verteilungsbereich der Marker kleiner wird, ist die Anzahl der Freiheitsgrade, die erfasst werden kann, geringer.

**[0006]** Aus der US 2003/0063292 A1 ist ein Verfahren zum Verfolgen der Lage und Winkelstellung eines Objekts im dreidimensionalen Raum unter Verwendung einer einzigen Kamera bekannt. Bei dem Objekt handelt es sich bevorzugt um ein chirurgisches Instrument. Auf dem Objekt werden mindestens drei Marker angebracht. Deren Position wird optisch verfolgt und es wird hieraus die Lage im Raum des Objekts ermittelt.

**[0007]** Bei diesen beiden US-Veröffentlichungen ist die Position der Marker auf dem Objekt nicht vorgegeben, sondern beliebig. Die Marker werden so auf dem Objekt angeordnet, wie es das Objekt ermöglicht.

**[0008]** Aus EP 2 952 953 A1 sind ein Verfahren zum Ausrichten eines Kamerasystems auf ein Zielobjekt und ein entsprechendes Kamerasystem bekannt.

**[0009]** Aufgabe der Erfindung ist es, eine Erfassungsvorrichtung für sechs Freiheitsgrade unter Verwendung von nur einem Marker auf dem Bauteil zu schaffen und die nach den vorbekannten Messverfahren arbeitenden Erfassungsvorrichtungen dahingehend zu verbessern, dass eine einfache Versuchsanordnung mit nur einer Kamera in einer Position im Bezugssystem ausreicht, wobei das Bauteil nur von einer Richtung erfasst werden muss.

**[0010]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Erfassen und Messen der Verschiebung und der Verdrehung eines sich relativ zu einem Bezugssystem bewegenden Bauteils, insbesondere eines Bauteils eines Kraftfahrzeugs, im dreidimensionalen Raum und bei sechs Freiheitsgraden mit folgenden Schritten:

- a) Anbringen eines Markers am Bauteil, wobei der Marker einen starren Träger, ein an diesem angeordnetes Befestigungsmittel für die Befestigung am Bauteil und auf einer Oberseite mindestens drei Punkte aufweist, die nicht auf einer Geraden liegen,
- b) zur Verfügungstellen eines Messsystems, das eine in dem Bezugssystem angeordnete Kamera, gegenüber der die Verschiebung und Verdrehung des sich bewegenden Bauteils erfasst wird, und eine an dieser Kamera angeschlossene Auswerteeinheit aufweist, in der die Geometrie der Oberseite und damit insbesondere der drei Punkte abgespeichert ist,
- c) Ausrichten der Kamera auf die drei Punkte, insbesondere einen Mittelpunkt der drei Punkte und vorzugsweise den Mittelpunkt P des Kreises durch die drei Punkte,
- d) Erfassen eines ersten Bildes des Markers und des Bauteils, die sich in einer ersten Position befinden, und Bestimmen der Lage der drei Punkte im ersten Bild, wobei in der Bildebene des ersten Bildes die x- und y- Koordinaten der drei Punkte und ihre Ausrichtung bestimmt werden,
- e) Erfassen eines zweiten Bildes des Markers und des Bauteils, die sich in einer von der ersten Position unterschiedlichen zweiten Position befinden, und Bestimmen der Lage der drei Punkte im zweiten Bild, wobei in der Bildebene des zweiten Bildes die x- und y- Koordinaten der drei Punkte und ihre Ausrichtung bestimmt werden,
- f) Berechnen der Verschiebung und Verdrehung des Bauteils im dreidimensionalen Raum zwischen der ersten und der zweiten Position des Bauteils.

**[0011]** Im Schritt d) erfolgt die Berechnung einer ersten Position des Markers im dreidimensionalen Raum. Hiermit wird eine Referenzposition erhalten. Eine andere Referenzposition zu anderer Zeit ist möglich. Im Schritt e) erfolgt die Berechnung einer zweiten Position des Markers im dreidimensionalen Raum bezüglich Verschiebung und Verdrehung gegenüber der Referenzposition. Im Schritt f) kann ein Vergleich der x- und y-Koordinaten und der Ausrichtung der drei Punkte in den beiden Bildern erfolgen.

**[0012]** Die Punkte sind spezielle Symbole oder Flächen, die sich klar vom Hintergrund der Oberseite abheben. Wenn man den Kontrast zwischen schwarz und weiß mit eins bezeichnet und den Kontrast zwischen weiß und weiß mit null, weiterhin den Übergang von Kontrast null zu Kontrast eins linear gestaltet, soll der Kontrast zwischen den Punkten und dem Hintergrund möglichst nahe bei eins liegen, insbesondere größer als 0,3, vorzugsweise größer als 0,5 und idealerweise größer als 0,7 sein. Der Kontrast 0,5 liegt zwischen einerseits einer weißen (schwarzen) Fläche und einer Fläche vor, die 50 % weiß und 50 % schwarz ist. Der Übergang zwischen einerseits den Punkten und einem gegebenenfalls vorgesehenen zusätzlichen Markierung und andererseits dem Hintergrund ist möglichst scharf, es sollen keine weichen Übergänge vorliegen. Der Übergang soll der mathematischen Sprungfunktion entsprechen. Vorzugsweise ist der Hintergrund schwarz und sind die Punkte bzw. die zusätzliche Markierung weiß oder umgekehrt. Eine farbige Ausbildung des Hintergrunds und/oder der Punkte ist möglich.

**[0013]** Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein System zum Erfassen und Messen der Verschiebung und der Verdrehung eines sich relativ zu einem Bezugssystem bewegenden Bauteils, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche und vorzugsweise zum Erfassen und Messen der Verschiebung und der Verdrehung eines Bauteils eines Kraftfahrzeugs, im dreidimensionalen Raum und bei sechs Freiheitsgraden mit:

- einem Marker, der einen starren Träger, ein Befestigungsmittel für die Befestigung am Bauteil und eine Oberseite aufweist, auf der mindestens drei Punkte auf einem Hintergrund angeordnet sind, die nicht auf einer Geraden liegen, und
- einem Messsystem, das eine Kamera und eine an dieser Kamera angeschlossene Auswerteeinheit aufweist, wobei die Kamera in dem Bezugssystem angeordnet und mit der Auswerteeinheit verbunden ist, und wobei die Auswerteeinheit einen Rechner, in dem ein Programm zur Bilderfassung und Auswertung abläuft, und einen Speicher aufweist, in dem die Geometrie der Oberseite und damit insbesondere der drei Punkte abgespeichert ist.

**[0014]** Im Gegensatz zu den bisher bekannten Verfahren, insbesondere den Lasersystemen, bei denen die Position eines dreidimensionalen Bauteils durch seine Profillinien erfasst wird, hat das erfindungsgemäße System den Vorteil, dass es nur eine Kamera verwendet, die auf einen speziellen, zweidimensionalen Marker gerichtet ist. Es soll nur ein Marker auf dem Bauteil bzw. Objekt erforderlich sein.

**[0015]** Die Kamera ist mit dem Referenzsystem verbunden. Das Referenzsystem ist in bekannter Weise ein Bezugssystem, gegenüber dem alle Messungen erfolgen. Dies ist so, wie im Stand der Technik. Der Marker ist mit dem sich bewegenden Bauteil verbunden und bewegt sich mit diesem. Vorzugsweise erfolgt die Bewegung innerhalb des Messbereichs, den die Kamera zulässt, bzw. wird der Messbereich der Kamera entsprechend vorgegeben.

**[0016]** Gegenüber den genannten US-Veröffentlichungen besteht der Vorteil darin, dass nicht eine Vielzahl von Markern benötigt wird. Es wird nur ein Marker benötigt, dieser hat eine spezielle Geometrie, die dem Erfassungssystem bekannt ist. Der Marker wird nicht als Punkt erfasst, wie im Stand der Technik, sondern als zweidimensionaler Gegenstand, auf dem die mindestens drei Punkte definiert sind, die man ihrerseits als Untermarker verstehen kann. Dadurch ist es möglich, die Position des Markers selbst zu erfassen, ohne dass weitere Marker notwendig wären. Damit kommt es auf das Objekt bzw. Bauteil, an dem der erfindungsgemäße Marker befestigt ist, nicht an. Der Marker muss lediglich fest mit diesem Bauteil verbunden sein, denn seine Position steht für die Position des Bauteils. Da die Position des erfindungsgemäßen Markers auf dem Bauteil bekannt ist, ist es auch einfacher als im Stand der Technik, die Lage des Bauteils selbst im Raum zu ermitteln, denn dieses ist fest mit dem einzigen Marker verbunden. Im Gegensatz zum Stand der Technik ist es nicht notwendig, dass der erfindungsgemäße Marker überhaupt mit einem Bauteil verbunden ist, da seine Position innerhalb der sechs Freiheitsgrade ermittelt wird, ohne Berücksichtigung des Bauteils. Während der Messung darf die Position der mindestens drei Punkte des Markers relativ zum Bauteil nicht verändert werden. Der Marker muss also ausreichend fest mit dem Bauteil verbunden sein, er darf während der Messung nicht seine Lage zum Bauteil verändern. Zudem soll der Marker durch die Bewegung des Bauteils möglichst nicht in Schwingungen versetzt werden. Dem kann durch eine entsprechende Ausgestaltung des Trägers, zum Beispiel in Schichtbauweise, entgegengewirkt werden. Der Träger soll möglichst nicht zu erzwungenen Schwingungen und Eigenschwingungen neigen, vielmehr sollen diese gedämpft werden. Es ist vorteilhaft, den Träger möglichst großflächig mit dem Bauteil zu verbinden. Weiterhin darf durch das Anbringen am Bauteil die geometrische Lage und Ausrichtung der mindestens drei Punkte zueinander nicht verändert werden. Der Marker darf beispielsweise nicht durch das Anbringen verbogen werden. Vorteilhafterweise hat der Marker einen starren Träger, auf dem die mindestens drei Punkte angebracht sind, der starre Träger wird über ein geeignetes Befestigungsmittel am Bauteil befestigt. Dadurch ist sichergestellt, dass beim Befestigen und während der Messung keine Verformung der mindestens drei Punkte zueinander erfolgt.

**[0017]** Gegenüber den laserbasierten Profilometern haben das erfindungsgemäße Verfahren und das entsprechende System den Vorteil, dass das Erfassen und Messen auch von größeren Auslenkungen, sowohl für Translation, als auch für Rotation, erfasst werden kann, der Messbereich, auch Messfeld genannt, ist nur durch die Erkennbarkeit des Markers (Messfeld, Auflösung der Kamera) und ausreichende Reflexion des Markers begrenzt, in der Regel plusminus  $45^\circ$  für Rotation um die x-Achse sowie die y-Achse und plusminus  $180^\circ$  für die Rotation um die z-Achse, wenn ein rechtshändiges, orthogonales Koordinatensystem mit den drei Achsen x, y, und z zugrunde gelegt wird. Für viele Anwendungen ist das erfindungsgemäße, auf einer Kamera basierte System deutlich kostengünstiger als die Lösungen des Standes der Technik. Es kann mit einer konventionellen CCD-Kamera und konventioneller Technologie für Bilderkennung realisiert werden, die Bilderkennung ist auf die relevanten Merkmale des speziellen Markers abgestimmt und ausgerichtet.

**[0018]** Der spezielle Marker, auch Target genannt, ist so ausgelegt und ausgeführt, dass die jeweilige Position und Ausrichtung und damit die örtliche Veränderung des Markers durch Analyse von nur einem Bild der einzigen Kamera erfolgen kann. Es werden zumindest drei spezielle Elemente auf dem Marker in definierten, dem System bekannten Positionen vorgegeben und benötigt, um eine volle Beschreibung und ein volles Erfassen

aller sechs Freiheitsgrade aus dem jeweiligen Abbild des Markers zu gewinnen. Entscheidend hierbei ist, dass das System den Marker exakt kennt, also die konkrete geometrische Ausbildung des Markers im System hinterlegt ist und verglichen wird mit dem aktuell erfassten Abbild des Markers.

**[0019]** Falls die Punkte auf dem Marker eine Drehsymmetrie aufweisen, was beispielsweise der Fall ist, wenn sie auf den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks liegen und zudem alle drei Punkte kongruent sind, muss nicht, aber kann eine zusätzliche Markierung auf dem Marker angebracht werden, die die Ausrichtung vorgibt. Wenn eine Markierung auf dem Marker vorgesehen ist, ist sie auch in dem Messsystem eingespeichert. Wenn die Punkte auf dem Marker eine Drehsymmetrie aufweisen, ist es vorteilhaft, diese Drehsymmetrie im Messsystem zu speichern.

**[0020]** Um dem Messsystem, insbesondere dessen Kamera, das Erkennen der drei Punkte A, B und C zu erleichtern, besteht ein möglichst hoher Kontrast zwischen den drei Punkten sowie einer eventuell vorgesehenen zusätzlichen Markierung für das Erfassen der Ausrichtung und ihrer Umgebung, also dem Hintergrund. Aus diesem Grund werden nur die Farben schwarz und weiß für den Marker verwendet. Dies schließt allerdings andere Farbgebungen nicht aus. Weiterhin ist der Übergang von einem Punkt zu einem Hintergrund auf der Oberseite des Markers möglichst abrupt bzw. sprunghaft.

**[0021]** Es ist möglich, dass der Marker permanent mit dem Bauteil verbunden ist. Dann ist ein Befestigungsmittel nicht notwendig. Das Befestigungsmittel ermöglicht ein möglichst rückstandsfreies Lösen des Markers, nachdem die Messung abgeschlossen ist.

**[0022]** Bei der Messung sollen sich der Marker genauso wie das Bauteil mit diesem bewegen.

**[0023]** Im Folgenden werden zwei nicht einschränkend zu verstehenden Ausführungsbeispielen der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert und beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

**Fig. 1** eine perspektivische Darstellung eines Bauteils in einer ersten Position, auf dem ein Marker befestigt ist, des Markers ohne Bauteil in einer zweiten Position und eines Messsystems,

**Fig. 2** eine Draufsicht auf eine erste Ausbildung des Markers vom Typ A,

**Fig. 3** eine Draufsicht auf eine zweite Ausbildung des Markers vom Typ A,

**Fig. 4** eine Draufsicht auf eine dritte Ausbildung des Markers vom Typ A,

**Fig. 5** eine Draufsicht auf eine vierte Ausbildung des Markers vom Typ A,

**Fig. 6** eine geometrische Darstellung der relevanten Dimensionen,

**Fig. 7** eine geometrische Darstellung unterschiedlicher Ansichten in Parallelprojektion des Markers,

**Fig. 8** eine vereinfachte geometrische Darstellung des Strahlengangs,

**Fig. 9** eine Draufsicht auf eine erste Ausbildung des Markers vom Typ B,

**Fig. 10** eine Draufsicht auf eine zweite Ausbildung des Markers vom Typ B,

**Fig. 11** eine Draufsicht auf eine dritte Ausbildung des Markers vom Typ B,

**Fig. 12** eine Draufsicht auf eine vierte Ausbildung des Markers vom Typ B,

**Fig. 13** eine geometrische Darstellung der relevanten Dimensionen ähnlich **Fig. 6**,

**Fig. 14** eine geometrische Darstellung ähnlich **Fig. 7**, und

**Fig. 15** eine geometrische Darstellung zur Erläuterung der Berechnung

**[0024]** **Fig. 1** zeigt ein hier nur schematisch dargestelltes Bauteil **20** in einer ersten Position, auf dem ein Marker **22** durch aus dem Stand der Technik bekannte Befestigungsmittel, beispielsweise Heißkleben, möglichst flächig lösbar befestigt ist. Der Marker **22** hat einen quadratischen Träger **24** mit einer Oberseite **26**. Der Träger **24** ist einerseits starr und andererseits möglichst schwingungsarm, vorzugsweise aus einem Schichtwerkstoff, beispielsweise Alu- Schaumstoff- Alu, gefertigt. Durch die Verbindung mit dem Bauteil **20** wird er nicht verformt. Während der Bewegungen des Bauteils **20** bewegt er sich starr mit diesem Bauteil **20** und hat keine Eigenschwingungen.

**[0025]** Weiterhin ist derselbe Marker **22** in einer zweiten Position dargestellt, dabei befindet er sich vor der ersten Position. Das Bauteil **20** ist nicht in der zweiten Position dargestellt.

**[0026]** Ein Messsystem **28**, das hier in einem ortsfesten Bezugssystem angeordnet ist, hat eine Kamera **30** und eine Auswerteeinheit **32**. Die Kamera **30** hat einen Sensor und eine optische Achse **34**, sie ist auf einen Mittelpunkt **36**, auch Auswertepunkt genannt, des Markers **22** gerichtet. Die Auswerteeinheit **32** hat Mittel zur Bildererkennung, in ihr sind die geometrischen Daten des konkret verwendeten Markers **22** abgespeichert. Hierzu gehören die drei Eckpunkte eines auf dem Marker **22** befindlichen Dreiecks, diese Eckpunkte sind die zu erfassenden Punkte **A**, **B** und **C**. Die **Fig. 2** bis **Fig. 5** zeigen konkrete, mögliche Ausführungsbeispiele. Die Schraffur bedeutet jeweils eine vollständige Schwärzung, alles nicht schraffierte ist weiß, ausgenommen die dicken schwarzen Striche in den **Fig. 3** bis **Fig. 5**. Der Übergang zwischen schwarz und weiß ist jeweils abrupt. In den **Fig. 2** bis **Fig. 5** ist jeweils noch eine Markierung **38** für die Ausrichtung dargestellt, sie ist vorteilhaft. Auch ihre Position auf dem Marker **22** ist in der Auswerteeinheit **32** abgespeichert.

#### Marker **22** vom Typ **A**:

**[0027]** In dieser Ausführung sind die drei Punkte **A**, **B** und **C** als Eckpunkte eines gleichseitigen Dreiecks mit der Seitenlänge „ $l$ “ definiert. Diese Eckpunkte sind identisch, d.h. nach  $120^\circ$  Drehung um den Mittelpunkt **P** des Umkreises des Dreiecks erhält man wieder dasselbe Dreieck, somit Rotationssymmetrie um  $120^\circ$ . Für die Ausrichtung ist eine zusätzliche Markierung **38** vorgesehen, aber nicht notwendig. In den **Fig. 2**, **Fig. 4** und **Fig. 5** ist es eine kleine Kreisfläche, in **Fig. 3** ist es ein kleiner Balken. Die **Fig. 2** bis **Fig. 5** zeigen auch Alternativen unterschiedlicher Ausbildung der Punkte **A**, **B** und **C**. In **Fig. 2** sind sie durch die Eckpunkte des weißflächigen Dreiecks gegeben, in **Fig. 3** durch kongruente schwarze Kreisflächen auf den Eckpunkten des Dreiecks, in **Fig. 4** durch die Eckpunkte eines in schwarzer Umrandungslinie ausgeführten Dreiecks und in **Fig. 5** durch weiße Stellen in einem schwarzen Kreisring. Der Hintergrund ist in **Fig. 2** schwarz und in den **Fig. 3** bis **Fig. 5** jeweils weiß. Die Markierung **38** ist für **Fig. 2** weiß, ansonsten jeweils schwarz. Auch sie hat einen möglichst guten Kontrast und einen abrupten Übergang zum Hintergrund auf der Oberseite **26**.

**[0028]** Die in **Fig. 6** dargestellten Abmessungen werden für die Berechnung verwendet. Die Wahl anderer Abmessungen ist möglich, dadurch werden in der Regel andere Algorithmen erforderlich.

**[0029]** Die **Fig. 6**, **Fig. 7** und **Fig. 8** dienen zur Erläuterung der nun folgenden Beschreibung der verwendeten Transformationen.

**[0030]** Vorgegeben sind folgende Abmessungen:

Seitenlänge des gleichseitigen Dreiecks:	$l = a = b = c$
Fokuslänge (Brennweite) des Objektivs der Kamera <b>30</b> :	$f_{\text{Obj}}$
Abstand der Kamera <b>30</b> vom Marker <b>22</b> :	$D'$
aktive Sensorbreite (CCD chip der Kamera):	$w_s$
aktive Sensorhöhe (CCD chip der Kamera):	$h_s$

**[0031]** Abmessungen des Markers **22**:

$h$  = Höhe des Dreiecks

$$h = \sqrt{\frac{3}{4}} l$$

$r_{\text{cc}}$  = Radius des Umkreises des Dreiecks:

$$r_{\text{cc}} = \sqrt{\frac{3}{9}} l$$

**[0032]** Gemessene Koordinaten:  $A_0 (A_{0x}|A_{0y})$ ,  $B_0 (B_{0x}|B_{0y})$ ,  $C_0 (C_{0x}|C_{0y})$ ,  $A_0$  ist die Koordinate, die der Basis des Dreiecks gegenüberliegt und durch die zusätzliche Markierung **38** definiert ist.

**[0033]** Für die verwendete Nomenklatur wird folgendes Beispiel gegeben: „ $A_{0y}$ “ =  $y_s$ -Koordinate von  $A_0$  in der Ebene des Bildsensors (Sensorkoordinatensystem).

**[0034]** Diese Werte repräsentieren die Position der drei in der Ebene des Sensors erfassten Punkte. Wurden die gemessenen Koordinaten zunächst in Bildpunkten („Pixeln“) des Sensorbildes erfasst, so können ihre tatsächlichen Positionen, die sie in der Ebene des Sensors der Kamera **30** haben, erhalten werden, indem die Höhe des erhaltenen Bildes und seine Breite in Bezug auf die aktive Sensorhöhe und Sensorbreite  $h_s$  bzw.  $w_s$  gesetzt werden. Es ist möglich, Korrekturfaktoren einzusetzen, um die Bildkrümmung und andere Linsenfehler des Objektivs der Kamera **30** zu korrigieren.

**[0035]** Die Seitenlängen des Dreiecks in der Ebene des Sensors betragen:

$$a_0 = \overline{B_0C_0} = \sqrt{(C_{0x} - B_{0x})^2 + (C_{0y} - B_{0y})^2}$$

$$b_0 = \overline{A_0C_0} = \sqrt{(C_{0x} - A_{0x})^2 + (C_{0y} - A_{0y})^2}$$

$$c_0 = \overline{A_0B_0} = \sqrt{(B_{0x} - A_{0x})^2 + (B_{0y} - A_{0y})^2}$$

**[0036]** Es werden nun die Mittelpunkte dieser Dreiecksseiten ermittelt:

**[0037]** Mittelpunkte der Seiten des Dreiecks:

$$M_{a0x} = \frac{(C_{0x} + B_{0x})}{2}; \quad M_{a0y} = \frac{(C_{0y} + B_{0y})}{2}$$

$$M_{b0x} = \frac{(C_{0x} + A_{0x})}{2}; \quad M_{b0y} = \frac{(C_{0y} + A_{0y})}{2}$$

$$M_{c0x} = \frac{(A_{0x} + B_{0x})}{2}; \quad M_{c0y} = \frac{(A_{0y} + B_{0y})}{2}$$

**[0038]** Berechnen des Mittelpunktes **P** des Umkreises des Dreiecks:

**[0039]** Im nicht verformten Dreieck, also wenn die optische Achse **34** der Kamera **30** rechtwinklig auf die Fläche des Markers **22** trifft, ist **P** der Mittelpunkt eines Umkreises des Dreiecks, er ist bestimmt durch den Schnittpunkt zweier Seitenmittelsenkrechten, die zugleich Winkelhalbierende sind. Sie können auch als Geraden beschrieben werden, die jeweils einen Eckpunkt mit dem Mittelpunkt der gegenüberliegenden Seite verbindet:

**[0040]**  $P_0$  = Schnittpunkt der Geraden durch  $\overline{B_0M_{b0}}$  und  $\overline{C_0M_{c0}}$ :

$$P_{0x} = \frac{(M_{c0x} - C_{0x}) \cdot (M_{b0x} \cdot B_{0y} - B_{0x} \cdot M_{b0y}) - (M_{b0x} - B_{0x}) \cdot (M_{c0x} \cdot C_{0y} - C_{0x} \cdot M_{c0y})}{(M_{c0y} - C_{0y}) \cdot (M_{b0x} - B_{0x}) - (M_{b0y} - B_{0y}) \cdot (M_{c0x} - C_{0x})}$$

$$P_{0y} = \frac{(B_{0y} - M_{b0y}) \cdot (M_{c0x} \cdot C_{0y} - C_{0y} \cdot M_{c0y}) - (C_{b0y} - M_{c0y}) \cdot (M_{b0x} \cdot B_{0y} - B_{0x} \cdot M_{b0y})}{(M_{c0y} - C_{0y}) \cdot (M_{b0x} - B_{0x}) - (M_{b0y} - B_{0y}) \cdot (M_{c0x} - C_{0x})}$$

**[0041]** Dieser Punkt ist der Mittelpunkt **36** der Ellipse, die die Projektion des Umkreises des Dreiecks ist. Weitere Punkte der Ellipse können aufgrund der Rotationssymmetrie der Ellipse wie folgt gefunden werden:

$$D_{0x} = P_{0x} - (A_{0x} - P_{0x}); \quad D_{0y} = P_{0y} - (A_{0y} - P_{0y})$$

$$E_{0x} = P_{0x} - (B_{0x} - P_{0x}); \quad E_{0y} = P_{0y} - (B_{0y} - P_{0y})$$

$$F_{0x} = P_{0x} - (C_{0x} - P_{0x}); \quad F_{0y} = P_{0y} - (C_{0y} - P_{0y})$$

**[0042]** Die Parameter dieser Ellipse werden für die Ermittlung des Abstands des Markers **22** vom Sensor benötigt und werden wie folgt berechnet:

**[0043]** Algorithmus zur Ermittlung der translatorischen Verschiebung und der Verdrehung des Markers **22**:

**[0044]** Berechnung der Ellipse, projiziertes Bild des Umkreises wie in **Fig. 7**:

**[0045]** Allgemein wird die Ellipse beschrieben durch folgende Formel:

$$c_a x^2 + c_b xy + c_c y^2 + c_d x + c_e y + c_f = 0$$

**[0046]** Dabei kann einer der Koeffizienten  $c$  frei gewählt werden, beispielsweise  $c_a=1$ , so dass 5 Unbekannte verbleiben (z.B.  $c_b \dots c_f$ ). Sie können durch fünf lineare Gleichungen ermittelt werden, wobei jede dieser linearen Gleichungen die  $x$ - und  $y$ - Koordinaten eines der 5 Punkte auf dem Umkreis der Ellipse verwendet. Dieses System linearer Gleichungen kann über konventionelle Verfahren gelöst werden, vorausgesetzt, dass die drei Eckpunkte des Dreiecks erkannt werden und nicht auf einer Geraden liegen.

**[0047]** Mit den ermittelten Koeffizienten  $c_a \dots c_f$  kann eine Achsentransformation verwendet werden, um die große Halbachse der Ellipse zu bestimmen. Hierfür wird die folgende Formel verwendet:

$$\begin{pmatrix} x & y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_a & c_b/2 \\ c_b/2 & c_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + (c_d \quad c_e) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + c_f = 0$$

oder vereinfacht dargestellt:

$$v^T A v + u^T v + c_f = 0$$

**[0048]** Dies kann in die folgende Form umgewandelt werden:

$$v'^T D v' + u^T T v' + c_f = 0$$

mit:

$D$  = in die Diagonalform gebrachte Matrix **A**:

$$\det A_\lambda = \begin{vmatrix} (c_a - \lambda) & c_b/2 \\ c_b/2 & (c_c - \lambda) \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow D = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}; \lambda_{1,2} : \text{Eigenwerte von } A$$

$T$  = Transformationsmatrix (Rotation der Ellipse):

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix}$$

$$\text{mit } t_1 = \begin{pmatrix} t_{11} \\ t_{21} \end{pmatrix} \text{ und } t_2 = \begin{pmatrix} t_{12} \\ t_{22} \end{pmatrix}:$$

normalisierte Eigenvektoren zu den Eigenwerten  $\lambda_{1,2}$  so dass  $\det T = 1$  (Rotationsmatrix)

**[0049]** Die Berechnung der genannten Terme führt zu einer Beschreibung einer Ellipse gleicher Größe, aber rotiert in eine Position mit der großen Halbachse parallel zum Koordinatensystem:

$$\lambda_1 x^2 + \lambda_2 y^2 + (c_d t_{11} + c_e t_{21}) x + (c_d t_{12} + c_e t_{22}) y + c_f = 0$$

dies wird umgewandelt in

$$\lambda_1 \left( x + \frac{p_x}{2} \right)^2 + \lambda_2 \left( y + \frac{p_y}{2} \right)^2 + q = 0 (*)$$

mit:

$$p_x = \frac{(c_d t_{11} + c_e t_{21})}{\lambda_1}; \quad p_y = \frac{(c_d t_{12} + c_e t_{22})}{\lambda_2}; \quad q = -\lambda_1 \left( \frac{p_x}{2} \right)^2 - \lambda_2 \left( \frac{p_y}{2} \right)^2 + c_f$$

**[0050]** Die Koordinaten des Mittelpunkts **36** der rotierten Ellipse sind:

$$x_c = -\frac{p_x}{2}$$

und

$$y_c = -\frac{p_y}{2}$$

**[0051]** Setzt man  $y = y_c$  und  $x = x_c$  in (\*), so führt dies zu den Schnittpunkten der durch die große und die kleine Achse bestimmten Geraden mit der Ellipse:

$$x_{1,2} = -\frac{p_x}{2} \pm \sqrt{-\frac{q}{\lambda_1}}; \quad y_{1,2} = -\frac{p_y}{2} \pm \sqrt{-\frac{q}{\lambda_2}};$$

**[0052]** Demzufolge sind die Längen der Halbachsen:

$$r_1 = \sqrt{-\frac{q}{\lambda_1}}; \quad r_2 = \sqrt{-\frac{q}{\lambda_2}}$$

**[0053]** Dabei gilt der größere Wert für die halbe Hauptachse  $r_a$ :

$$r_a = \max(r_1; r_2)$$

**[0054]** Der so berechnete Wert wurde speziell für den Marker vom Typ **A** durchgeführt und wird später benutzt zur Bestimmung der Verschiebung.

Marker **22** vom Typ **B**:

**[0055]** Die **Fig. 9** bis **Fig. 12** zeigen Marker **22**, die ähnlich ausgebildet sind wie die bereits beschriebenen Marker **22** nach den **Fig. 2** bis **Fig. 5**, nun aber eine andere Geometrie der Punkte und gegebenenfalls der Markierung aufweisen. Es wird auf diese Beschreibung zurückverwiesen, es werden daher nur Unterschiede erklärt: Ein Unterschied liegt darin, dass die Punkte **A**, **B**, **C** nicht mehr auf den Eckpunkten eines gleichseitigen, sondern eines rechtwinkligen, gleichschenkligen Dreiecks liegen. Weiterhin sind die Punkte nun nicht mehr

kongruent. Vielmehr ist in **Fig. 9** der Punkt **A** durch eine deutlich größere Kreisfläche dargestellt als die beiden anderen Punkte **B** und **C**, damit ist eine Markierung nicht erforderlich, kann aber vorteilhaft sein, wie **Fig. 11** zeigt.

**[0056]** Im Folgenden wird die Berechnung für den Sensor vom Typ **B** erläutert:

Sensoren vom Typ **B** ermöglichen einen deutlich einfacheren Algorithmus für die Berechnung der Ellipse des Umkreises, da sie spezielle Punkte der Ellipse definieren (konjugierte Durchmesser):

**[0057]** Für das zweite Ausführungsbeispiel sind die Punkte „A“, „B“ und „C“ die Eckpunkte eines rechtwinkligen, gleichschenkligen Dreiecks. Sie liegen damit auf drei Eckpunkten eines Quadrats. Der Punkt „A“ ist der Scheitelpunkt des rechten Winkels. „A“ kann beispielsweise durch eine besondere Geometrie dieses Punktes, eine unterschiedliche Größe, eine unterschiedliche Form, unterschiedliche Farbe oder durch eine zusätzliche Markierung vorgegeben werden und so in der Auswerteeinheit **32** erkannt werden. Die in **Fig. 13** angegebenen Größen werden für die Berechnung verwendet. Andere Geometrien sind möglich, sie erfordern eventuell andere Algorithmen.

**[0058]** Algorithmus zur Berechnung der translatorischen Verschiebung und der Verdrehung im Raum des Markers **22** vom Typ **B**:

**[0059]** Die **Fig. 8** und **Fig. 14** zeigen die Variablen, die im Algorithmus für die Berechnung verwendet werden:

**[0060]** Vorgegeben sind folgende Abmessungen:

Seitenlänge des gleichschenkligen Dreiecks:	$l = b = c$
Fokuslänge (Brennweite) des Objektivs der Kamera <b>30</b> :	$f_{\text{Obj}}$
Abstand der Kamera <b>30</b> vom Marker <b>22</b> :	$D'$
aktive Sensorbreite (CCD chip):	$w_s$
aktive Sensorhöhe (CCD chip):	$h_s$

**[0061]** Abmessungen des Markers **22**:

$h$  = Höhe des Dreiecks

**[0062]** Parameter des Markers **22**:

$a$  = Länge der Basis des Dreiecks:

$$a = l\sqrt{2}$$

$h$  = Höhe des gleichseitigen Dreiecks des Markers **22** und  $r_{\text{cc}}$  = Radius des Umkreises des Dreiecks:

$$h = r_{\text{cc}} = \frac{l}{2}\sqrt{2}$$

**[0063]** Gemessene Koordinaten (in der Ebene des Sensors):  $A_0 (A_{0x}|A_{0y})$ ,  $B_0 (B_{0x}|B_{0y})$ ,  $C_0 (C_{0x}|C_{0y})$ ,  $A_0$  ist der Scheitelpunkt des rechten Winkels.

**[0064]** Für die verwendete Nomenklatur wird folgendes Beispiel gegeben: „ $A_{0y}$ “ =  $y_s$ -Koordinate von  $A_0$  im Kamerabild (Sensorebene der Kamera **30**).

**[0065]** Diese Werte repräsentieren die Position der drei in der Ebene des Sensors erfassten Punkte. Wurden die gemessenen Koordinaten zunächst in Bildpunkten („Pixeln“) des Sensorbildes erfasst, so können ihre tatsächlichen Positionen, die sie in der Ebene des Sensors der Kamera **30** haben, erhalten werden, indem die Höhe des erhaltenen Bildes und seine Breite in Bezug auf die aktive Sensorhöhe und Sensorbreite  $h_s$  bzw.  $w_s$  gesetzt werden. Es ist möglich, Korrekturfaktoren einzusetzen, um die Bildkrümmung und andere Linsenfehler des Objektivs der Kamera **30** zu korrigieren.

**[0066]** Erfassen von Punkt **P**, dem Mittelpunkt:

**[0067]**  $P_0$  ist der Mittelpunkt zwischen  $B_0$  und  $C_0$ :

$$P_{0x} = \frac{(C_{0x} + B_{0x})}{2}; \quad P_{0y} = \frac{(C_{0y} + B_{0y})}{2};$$

**[0068]** Seitenlängen des Dreiecks im Bild der Kamera **30** (Ebene des Sensors):

$$a_0 = \overline{B_0C_0} = \sqrt{(C_{0x} - B_{0x})^2 + (C_{0y} - B_{0y})^2}$$

$$b_0 = \overline{A_0C_0} = \sqrt{(C_{0x} - A_{0x})^2 + (C_{0y} - A_{0y})^2}$$

$$c_0 = \overline{A_0B_0} = \sqrt{(B_{0x} - A_{0x})^2 + (B_{0y} - A_{0y})^2}$$

**[0069]** Der Umkreis des Dreiecks, der identisch ist mit dem Umkreis des mit einem kongruenten Dreieck ergänzten Rechtecks, erscheint als Ellipse mit dem Mittelpunkt  $P_0$  in der Sensorebene der Kamera **30**, wobei eine Parallelprojektion vorausgesetzt ist. Der Punkt **A** ist Endpunkt des Halbmessers „h“ dieses Umkreises, der Punkt **D** der genau gegenüberliegende Punkt auf dem Umkreis und die Punkte **B** und **C** sind Endpunkte eines Durchmessers rechtwinklig zu h. Demzufolge bilden die projizierten Punkte  $A_0$ ,  $B_0$ ,  $C_0$ ,  $D_0$  zwei konjugierte Durchmesser der Ellipse. Die Parameter dieser Ellipse werden für die Bestimmung der Entfernung des Markers **22** vom Sensor benötigt und werden basierend auf einer Konstruktion nach Rytz, wie in **Fig. 15** gezeigt, wie folgt ermittelt:

- Kreis um  $P_0$  mit dem Radius  $r_A (= 1/2 B_0C_0)$
- Lotrechte zu  $B_0 C_0$ , Schnitt mit dem Kreis  $\Rightarrow Q$
- Linie durch  $Q$  und  $A_0 \Rightarrow g$
- Mittelpunkt zwischen  $Q$  und  $A_0 \Rightarrow R$
- Kreis um das Zentrum  $R$  mit dem Radius  $r_B (= RP_0)$
- Schnitt dieses Kreises und  $g \Rightarrow S$  und  $T$
- die Abstände  $QS$  und  $QT$  repräsentieren die Längen der Halbachsen der Ellipse: die längere (hier:  $QT$ ) repräsentiert die halbe Hauptachse  $r_a$ , die kürzere repräsentiert die halbe Nebenachse.
- Demzufolge stellen Linien durch  $P_0S$  und  $P_0T$  die Richtungen der Halbachsen der Ellipse dar: die Gerade durch  $P_0$  und denjenigen Punkt  $S$  oder  $T$  mit größerer Entfernung zu  $Q$  (hier:  $T$ ) stellt die Richtung der halben Hauptachse dar; die Gerade durch  $P_0$  und den Punkt  $S$  oder  $T$  mit dem kürzeren Abstand zu  $Q$  (hier:  $S$ ) stellt die Richtung der halben Nebenachse (rechtwinklig zur halben Hauptachse, Nachweis durch den sogenannten Thales-Kreis) dar.

**[0070]** Diese Berechnungen sind wesentlich einfacher als Berechnungen für den Marker **22** vom Typ **A** (gleichseitiges Dreieck), da keine Achsentransformation benötigt wird, um die Halbachsen zu bestimmen und somit entfällt der erhöhte Zeitaufwand für das Lösen eines Satzes linearer Gleichungen.

**[0071]** Unter Verwendung der Koordinaten in der Sensorebene (Ursprung in der oberen linken Ecke, +x nach rechts, +y nach unten), wird folgendes berechnet:

$$P_{0x} = \frac{B_{0x} + C_{0x}}{2}; \quad P_{0y} = \frac{B_{0y} + C_{0y}}{2}$$

$$Q_x = P_{0x} - (B_{0y} - P_{0y}); \quad Q_y = P_{0y} + (B_{0x} - P_{0x});$$

(Dies ist eine Rotation um  $90^\circ$  im mathematisch positiven Sinne im gegebenen Koordinatensystem, im Bild somit in Drehrichtung des Uhrzeigersinns.)

$$R_x = \frac{A_{0x} + Q_x}{2}; \quad R_y = \frac{A_{0y} + Q_y}{2}$$

$$r_B = \sqrt{(R_x - P_{0x})^2 + (R_y - P_{0y})^2}$$

$$S_x = R_x - r_B \cdot \frac{Q_x - A_x}{\sqrt{(Q_x - A_x)^2 + (Q_y - A_y)^2}}; \quad S_y = R_y - r_B \cdot \frac{Q_y - A_y}{\sqrt{(Q_x - A_x)^2 + (Q_y - A_y)^2}}$$

$$T_x = R_x + r_B \cdot \frac{Q_x - A_x}{\sqrt{(Q_x - A_x)^2 + (Q_y - A_y)^2}}; \quad T_y = R_y + r_B \cdot \frac{Q_y - A_y}{\sqrt{(Q_x - A_x)^2 + (Q_y - A_y)^2}}$$

**[0072]** Die Halbachsen sind:

$$r_S = \overline{QS} = \sqrt{(Q_x - S_x)^2 + (Q_y - S_y)^2}; \quad r_T = \overline{QT} = \sqrt{(Q_x - T_x)^2 + (Q_y - T_y)^2}$$

**[0073]** Dabei ist die große Halbachse  $r_a$ :

$$r_a = \max(r_S; r_T)$$

**[0074]** Berechnung des Abstandes des Markers **22** (Typ **A** und **B**) vom Sensor:

Wenn ein Kreis auf eine Ebene projiziert wird, um eine Ellipse zu bilden, behält die große Halbachse die Länge des Radius des Kreises (für parallele Projektion) bei. Da die Ellipse durch Rotation des Umkreises des Dreiecks des Markers **22** gebildet wurde, repräsentiert die große Halbachse der Ellipse den Radius des Umkreises. Daher kann der Vergleich der realen Größe des Kreises mit der Länge der Halbachse verwendet werden, um den Abstand des Markers **22** zum Sensor (in Richtung der z-Koordinate) bzw. der Hauptebene des Objektivs zu bestimmen, da ein Verhältnis  $\neq 1$  durch die (nicht parallele) Projektion, nämlich durch ein entozentrisches Objektiv des Sensors verursacht wird.

**[0075]** Das Abbildungsverhältnis bei Verwendung einer dünnen Linse (siehe **Fig. 8**) ist definiert als:

$$\frac{r_a}{r_{cc}} = \frac{t'}{t} = m = \frac{D'}{D} = \frac{1}{\frac{D}{f_{obj}} - 1} \Rightarrow D = \left( \frac{1}{m} + 1 \right) f_{obj}$$

**[0076]** Die Position des Targets und eines fest damit verbundenen Koordinatensystems relativ zu dem Sensor- oder Bezugskordinatensystem kann durch eine gedachte Verlagerung aus einer ursprünglich deckungsgleichen Lage beider Koordinatensysteme hin zu der betrachteten Position des Targets erzeugt werden. Diese Verlagerung kann zusammengesetzt werden aus drei Translationen (jeweils eine in Richtung der drei Achsen des Bezugssystems) sowie drei nacheinander ablaufende Rotationen um die Achsen des Targetkoordinatensystems in seiner jeweiligen, durch die vorhergehenden Verlagerungen erzeugten Lage, wobei die Reihenfolge der verschiedenen Rotationen beachtet werden muss (Eulerwinkel). Kennzeichnet man die Lagen des Targetkoordinatensystems nach den einzelnen gedachten Verlagerungen mit Hochstrichen, nämlich einem Strich nach den Translationen, zwei Strichen nach der ersten Rotation und drei Strichen nach der zweiten Rotation, dann ergeben sich wie in **Fig. 14** gezeigt:

$\psi$ : Rotation um die  $z'_1$ -Achse:

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{C_{0y} - B_{0y}}{C_{0x} - B_{0x}} \right)$$

$\Theta$ : Rotation um die  $y_t''$ -Achse:

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{a_0}{m \cdot a}\right)$$

$\Phi$ : Rotation um die  $x_t'''$ -Achse:

$$\beta_0 = \cos^{-1}\left(\frac{a_0^2 + c_0^2 - b_0^2}{2 \cdot a_0 \cdot c_0}\right); [\text{Kosinussatz}]$$

$$s_0 = c_0 \cdot \cos(\beta_0); \quad h_1 = \frac{s_0 - \frac{a_0}{2}}{\sin(\theta)}$$

$$\Phi = \sin^{-1}\left(\frac{h_1}{m \cdot h}\right)$$

**[0077]** Die Verschiebung des Mittelpunktes beträgt:

$$x = \frac{P_{0x}}{m}; \quad y = \frac{P_{0y}}{m}; \quad z = D_{ref} - D$$

dabei ist  $D_{ref}$  die Distanz des Sensors vom Nullpunkt des Bezugssystems.

**[0078]** Damit sind die Position des Markers **22** und seine Verschiebung und Verdrehung gegenüber dem Sensor beschrieben.

**[0079]** Mit dem System kann man nicht nur die Verschiebung und Verdrehung eines sich relativ zu einem Bezugssystem bewegendem Bauteils messen (auch wenn das ein bevorzugter Einsatzzweck ist), sondern allein schon mit einem einzigen Bild die Position bezüglich Verschiebung und Verdrehung eines Bauteils gegenüber einer Referenzposition (z.B. Target in der Mitte des Bildes, Targetoberfläche senkrecht zur optischen Achse der Kamera) ermitteln, auch wenn sich das Objekt gar nicht bewegt, sondern eben nur gegenüber der Referenzposition anders positioniert ist.

**[0080]** Die Berechnung einer Bewegung erfolgt vorzugsweise auch immer so, dass zunächst für jedes Bild die Position des Targets bezogen auf die Referenzposition berechnet wird und dann durch den Vergleich der Positionen (Differenz der Werte zweier Bilder) die Bewegung von einem Bild zum anderen beschrieben wird.

**[0081]** Der Punkt **P** bzw. der Mittelpunkt **36** ist der Messpunkt oder Auswertepunkt, also der Punkt des Targets (und damit auch des Bauteils), für den die Bewegung des Targets (und des Objekts) berechnet bzw. ausgewertet wird.

**[0082]** Der Punkt **P** bzw. der Mittelpunkt **36** ist vorzugsweise identisch mit dem Mittelpunkt des Umkreises um die drei Submarkerpunkte, nur beim Target Typ **A** auch der Mittelpunkt des von den drei Punkten geformten Dreiecks.

**[0083]** Das Verfahren zum Erfassen und Messen der Verschiebung und der Verdrehung eines sich relativ zu einem Bezugssystem bewegendem Bauteils **20** schlägt vor:

a) Anbringen eines Markers **22** am Bauteil **20**, wobei der Marker **22** auf einer Oberseite **26** mindestens drei Punkte **A**, **B**, **C** aufweist, die nicht auf einer Geraden liegen,

b) zur Verfügungstellen eines Messsystems **28**, das eine in dem Bezugssystem angeordnete Kamera **30** und eine Auswerteeinheit **32** aufweist, in der die Geometrie der Oberseite **26** und damit insbesondere der drei Punkte **A**, **B**, **C** abgespeichert ist,

- c) Ausrichten der Kamera **30** auf die drei Punkte **A, B, C**, insbesondere einen Mittelpunkt **P** der drei Punkte **A, B, C**,
- d) Erfassen eines ersten Bildes des Markers **22** und des Bauteils **20**, die sich in einer ersten Position befinden, und Bestimmen der Lage der drei Punkte **A, B, C** im ersten Bild, wobei in der Bildebene des ersten Bildes die x- und y- Koordinaten der drei Punkte **A, B, C** und gegebenenfalls ihre Ausrichtung bestimmt werden,
- e) Berechnung einer ersten Position des Markers im dreidimensionalen Raum bezüglich Verschiebung und Verdrehung gegenüber einer Referenzposition zum Zeitpunkt der Erstellung des ersten Bildes,
- f) Erfassen eines zweiten Bildes des Markers **22** und des Bauteils **20**, die sich in einer von der ersten Position unterschiedlichen zweiten Position befinden, und Bestimmen der Lage der drei Punkte **A, B, C** im zweiten Bild, wobei in der Bildebene des zweiten Bildes die x- und y- Koordinaten der drei Punkte **A, B, C** und gegebenenfalls ihre Ausrichtung bestimmt werden,
- g) Berechnung einer zweiten Position des Markers im dreidimensionalen Raum bezüglich Verschiebung und Verdrehung gegenüber einer Referenzposition zum Zeitpunkt der Erstellung des zweiten Bildes,
- h) Vergleich der x- und y- Koordinaten und der Ausrichtung der drei Punkte **A, B, C** in den beiden Bildern und Berechnen der Verschiebung und Verdrehung des Bauteils **20** im dreidimensionalen Raum zwischen der ersten und der zweiten Position des Bauteils **20**.

**[0084]** Bei der Berechnung der Verschiebung und/oder Verdrehung des Bauteils **20** erfolgt vorzugsweise ein Vergleich der x- und y- Koordinaten und der Ausrichtung der drei Punkte (**A, B, C**) in den beiden Bildern.

#### Bezugszeichenliste

<b>20</b>	Bauteil
<b>22</b>	Marker
<b>24</b>	Träger
<b>26</b>	Oberseite
<b>28</b>	Messsystem
<b>30</b>	Kamera
<b>32</b>	Auswerteeinheit
<b>34</b>	optische Achse
<b>36</b>	Mittelpunkt
<b>38</b>	Markierung
<b>A, B, C</b>	Punkte
<b>P</b>	Mittelpunkt

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- US 8073201 B2 [0005]
- US 2003/0063292 A1 [0006]
- EP 2952953 A1 [0008]

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Erfassen und Messen der Verschiebung und der Verdrehung eines sich relativ zu einem Bezugssystem bewegenden Bauteils (20), insbesondere eines Bauteils eines Kraftfahrzeugs, im dreidimensionalen Raum und bei sechs Freiheitsgraden mit folgenden Schritten:

- a) Anbringen eines Markers (22) am Bauteil (20), wobei der Marker (22) auf einer Oberseite (26) mindestens drei Punkte (A, B, C) aufweist, die nicht auf einer Geraden liegen,
- b) zur Verfügungstellen eines Messsystems (28), das eine in dem Bezugssystem angeordnete Kamera (30), gegenüber der die Verschiebung und/oder Verdrehung des sich bewegenden Bauteils (20) erfasst wird, und eine an dieser Kamera (30) angeschlossene Auswerteeinheit (32) aufweist, in der die Geometrie der Oberseite (26) und damit insbesondere der drei Punkte (A, B, C) abgespeichert ist,
- c) Ausrichten der Kamera (30) auf die drei Punkte (A, B, C),
- d) Erfassen eines ersten Bildes des Markers (22) und des Bauteils (20), die sich in einer ersten Position befinden, und Bestimmen der Lage der drei Punkte (A, B, C) im ersten Bild, wobei in der Bildebene des ersten Bildes die x- und y- Koordinaten der drei Punkte (A, B, C) und gegebenenfalls ihre Ausrichtung bestimmt werden,
- e) Erfassen eines zweiten Bildes des Markers (22) und des Bauteils (20), die sich in einer von der ersten Position unterschiedlichen zweiten Position befinden, und Bestimmen der Lage der drei Punkte (A, B, C) im zweiten Bild, wobei in der Bildebene des zweiten Bildes die x- und y- Koordinaten der drei Punkte (A, B, C) und gegebenenfalls ihre Ausrichtung bestimmt werden,
- f) Berechnen der Verschiebung und/oder Verdrehung des Bauteils (20) im dreidimensionalen Raum zwischen der ersten und der zweiten Position des Bauteils (20).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- entweder die drei Punkte unterschiedlich ausgebildet sind, und dass aus dem Unterschied der Punkte die Ausrichtung der drei Punkte (A, B, C) ermittelt wird,
- oder die drei Punkte (A, B, C) identisch ausgebildet sind und der Marker (22) auf seiner Oberseite (26) eine zusätzliche Markierung (38) aufweist, und dass die Ausrichtung der drei Punkte (A, B, C) durch Erfassen der zusätzlichen Markierung (38) ermittelt wird.

3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die drei Punkte (A, B, C) auf den Ecken eines Dreiecks, vorzugsweise eines gleichschenkligen und dann insbesondere rechtwinkligen Dreiecks oder eines gleichseitigen Dreiecks, angeordnet sind.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für jedes Bild aus den x- und y- Koordinaten der drei Punkte (A, B, C) ein Umkreis des von den drei Punkten (A, B, C) gebildeten Dreiecks berechnet wird, dass das Zentrum dieses Umkreises ermittelt wird, und dass vorzugsweise das Zentrum als Mittelpunkt (P) verwendet wird, auf den eine optische Achse (34) der Kamera (30) in einer Ausgangsstellung gerichtet ist.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der folgenden Parameter, möglichst alle, erfasst und in der Auswerteeinheit (32) abgespeichert sind: Entfernung der Kamera (30) vom Marker (22), Brennweite des Objektivs der Kamera (30), aktive Breite und aktive Höhe des Sensors der Kamera (30), insbesondere CCD- Sensors.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Marker (22) einen starren Träger (24) und vorzugsweise ein an diesem angeordnetes Befestigungsmittel für die Befestigung am Bauteil (20) hat.

7. System zum Erfassen und Messen der Verschiebung und der Verdrehung eines sich relativ zu einem Bezugssystem bewegenden Bauteils (20), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche und vorzugsweise zum Erfassen und Messen der Verschiebung und der Verdrehung eines Bauteils (20) eines Kraftfahrzeugs, im dreidimensionalen Raum und bei sechs Freiheitsgraden mit:

- einem Marker (22), der eine Oberseite (26) aufweist, auf der mindestens drei Punkte (A, B, C) auf einem Hintergrund angeordnet sind, die nicht auf einer Geraden liegen, und
- einem Messsystem (28), das eine Kamera (30) und eine an dieser Kamera (30) angeschlossene Auswerteeinheit (32) aufweist, wobei die Kamera (30) in dem Bezugssystem angeordnet und mit der Auswerteeinheit (32) verbunden ist, und wobei die Auswerteeinheit (32) einen Rechner, in dem ein Programm zur Bilderfassung und Auswertung abläuft, und einen Speicher aufweist, in dem die Geometrie der Oberseite (26) und damit insbesondere der drei Punkte (A, B, C) abgespeichert ist.

8. System nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Träger (24) schwingungsarm ausgebildet ist, insbesondere als Schichtmaterial realisiert ist.
9. System nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der drei Punkte (A, B, C) als Kreisscheibe ausgebildet ist.
10. System nach einem der Ansprüche 6-8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die drei Punkte (A, B, C) auf den Ecken eines Dreiecks, vorzugsweise eines gleichschenkligen und dann insbesondere rechtwinkligen Dreiecks oder eines gleichseitigen Dreiecks, angeordnet sind.
11. System nach einem der Ansprüche 6-9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberseite (26) des Trägers (24) eben ist.
12. System nach einem der Ansprüche 6-10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Punkte (A, B, C) in einer ersten Farbe und ein Hintergrund der Oberseite (26) in einer zweiten Farbe ausgeführt ist, und dass ein möglichst hoher Kontrast zwischen der ersten Farbe und der zweiten Farbe vorliegt, vorzugsweise ist eine dieser Farben weiß und die andere ist schwarz.
13. System nach einem der Ansprüche 6-11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Übergang von einem Punkt (A, B, C) zu dem Hintergrund der Oberseite (26) sprunghaft erfolgt, vorzugsweise, dass der Übergang ein farblicher Übergang ist.
14. System nach einem der Ansprüche 6-13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Marker (22) einen starren Träger (24) und vorzugsweise ein an diesem angeordnetes Befestigungsmittel für die Befestigung am Bauteil (20) hat.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

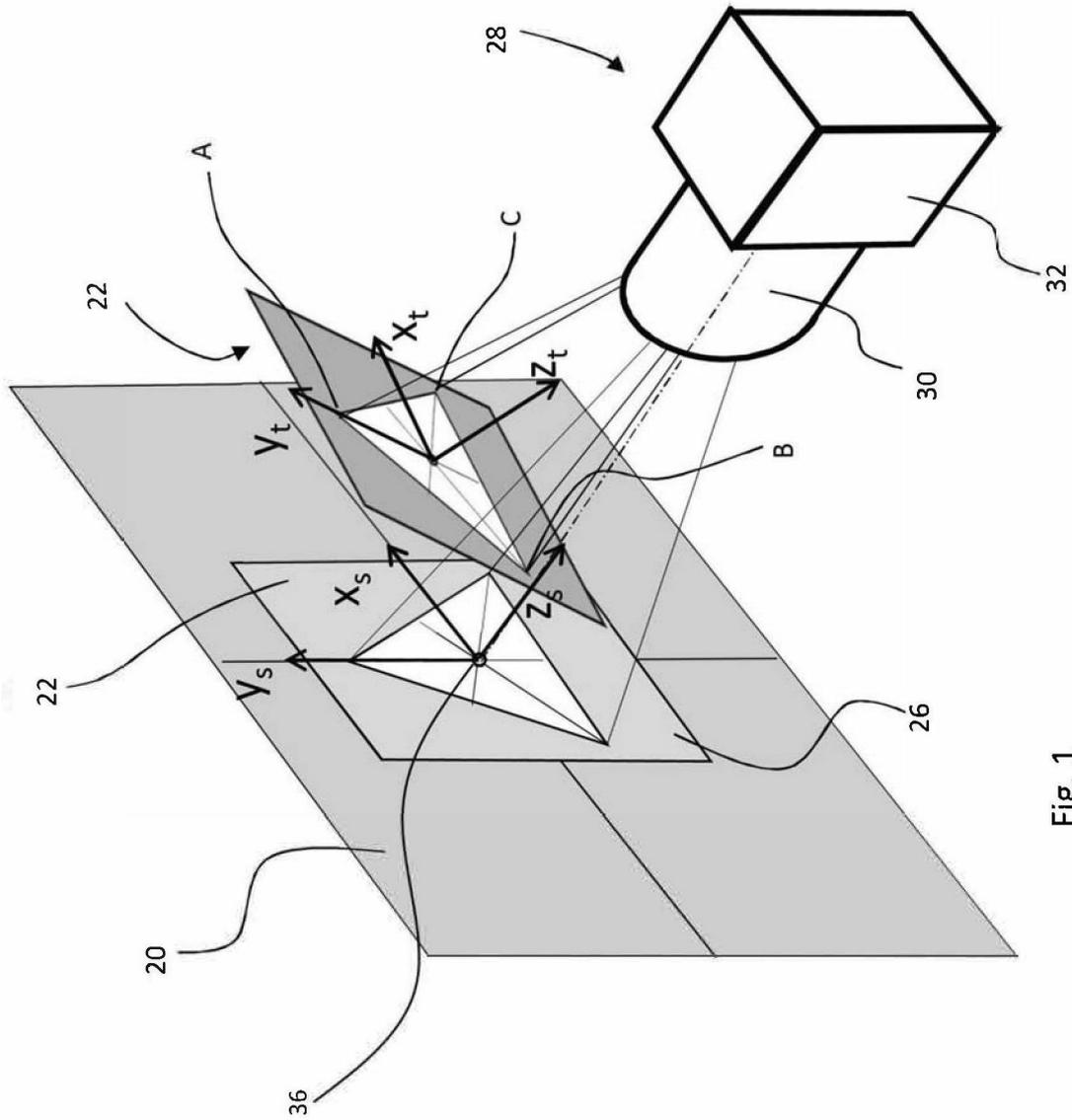


Fig. 1

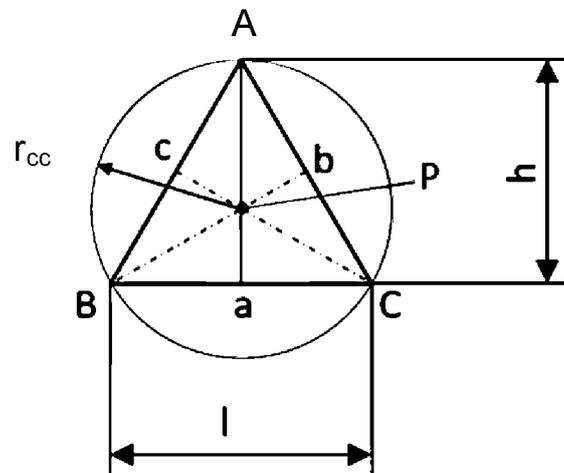
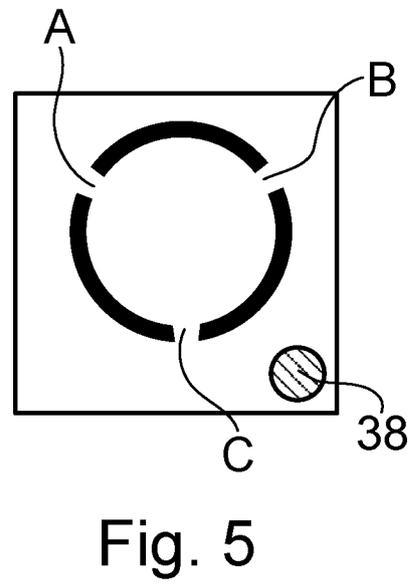
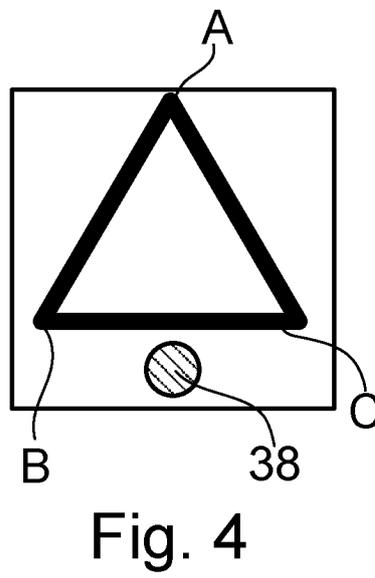
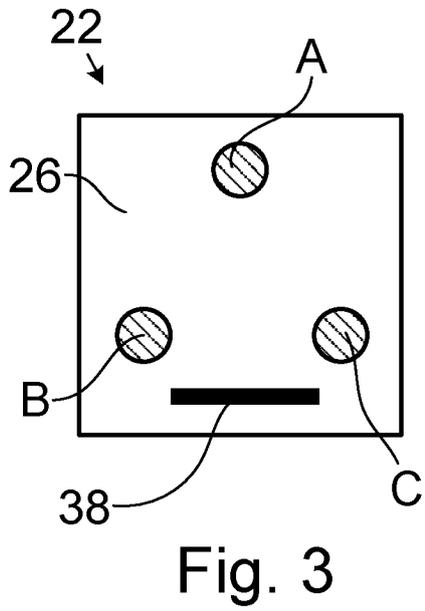
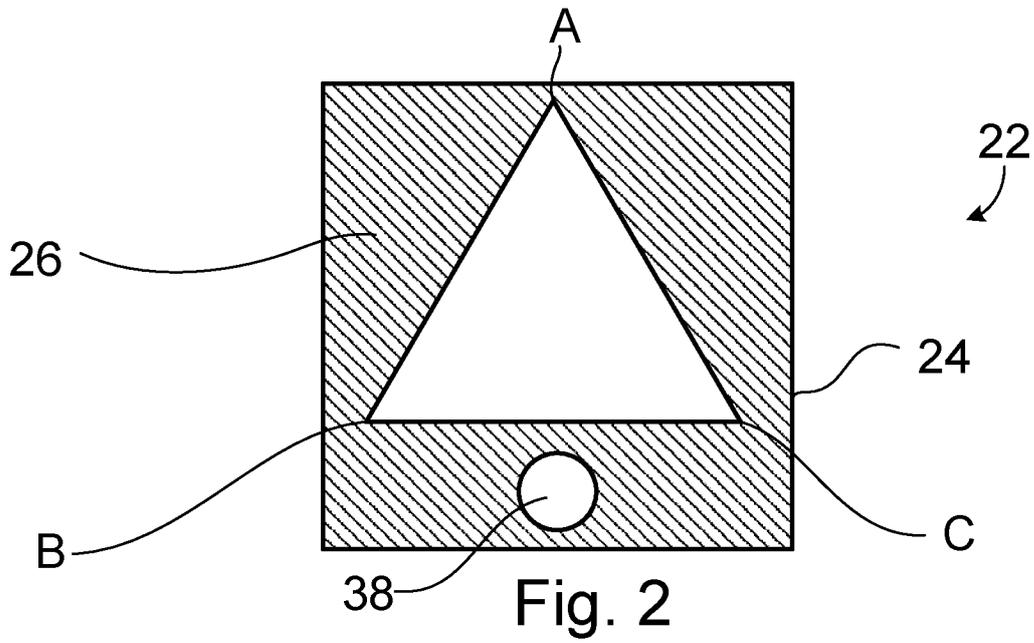
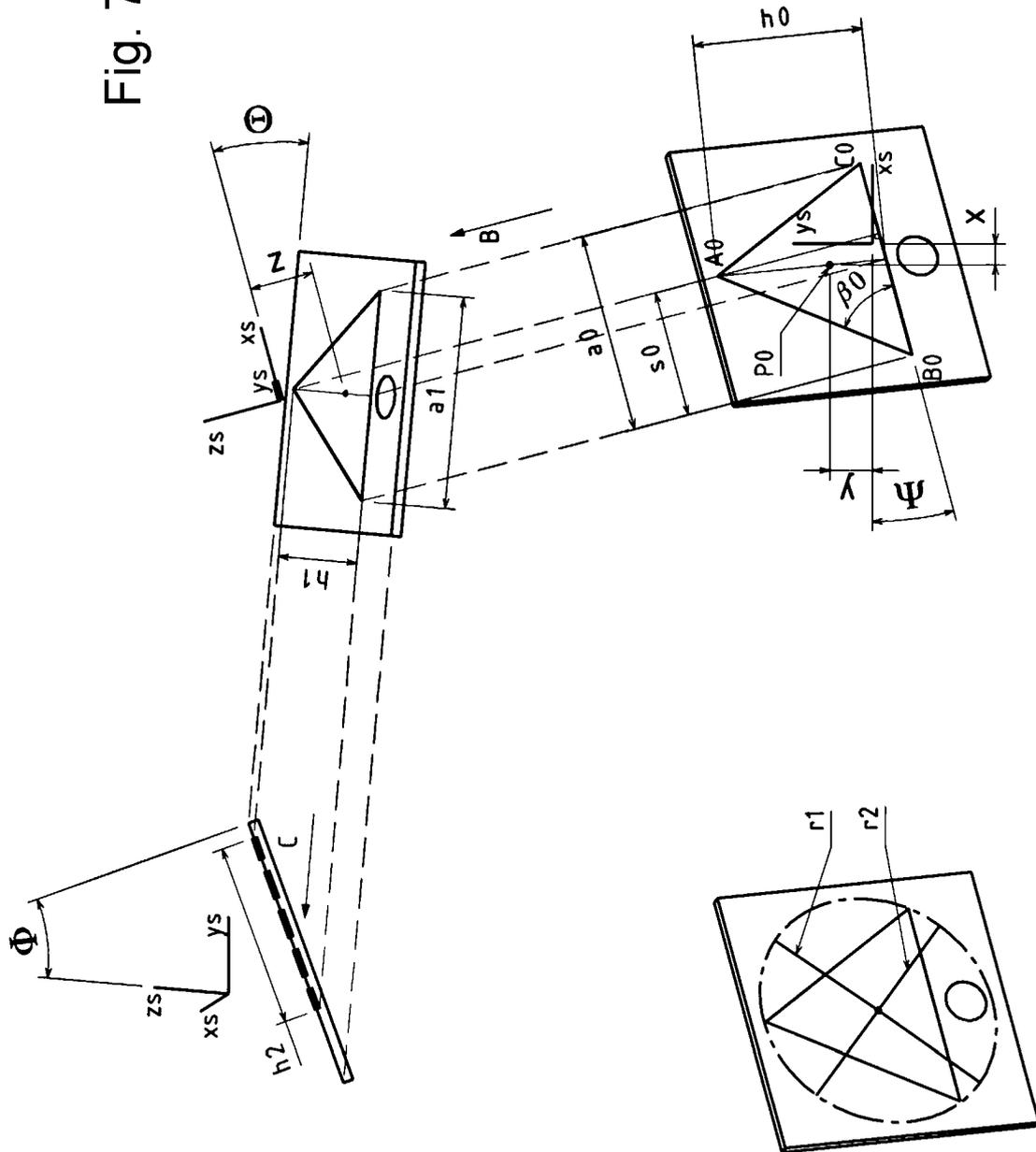


Fig. 7



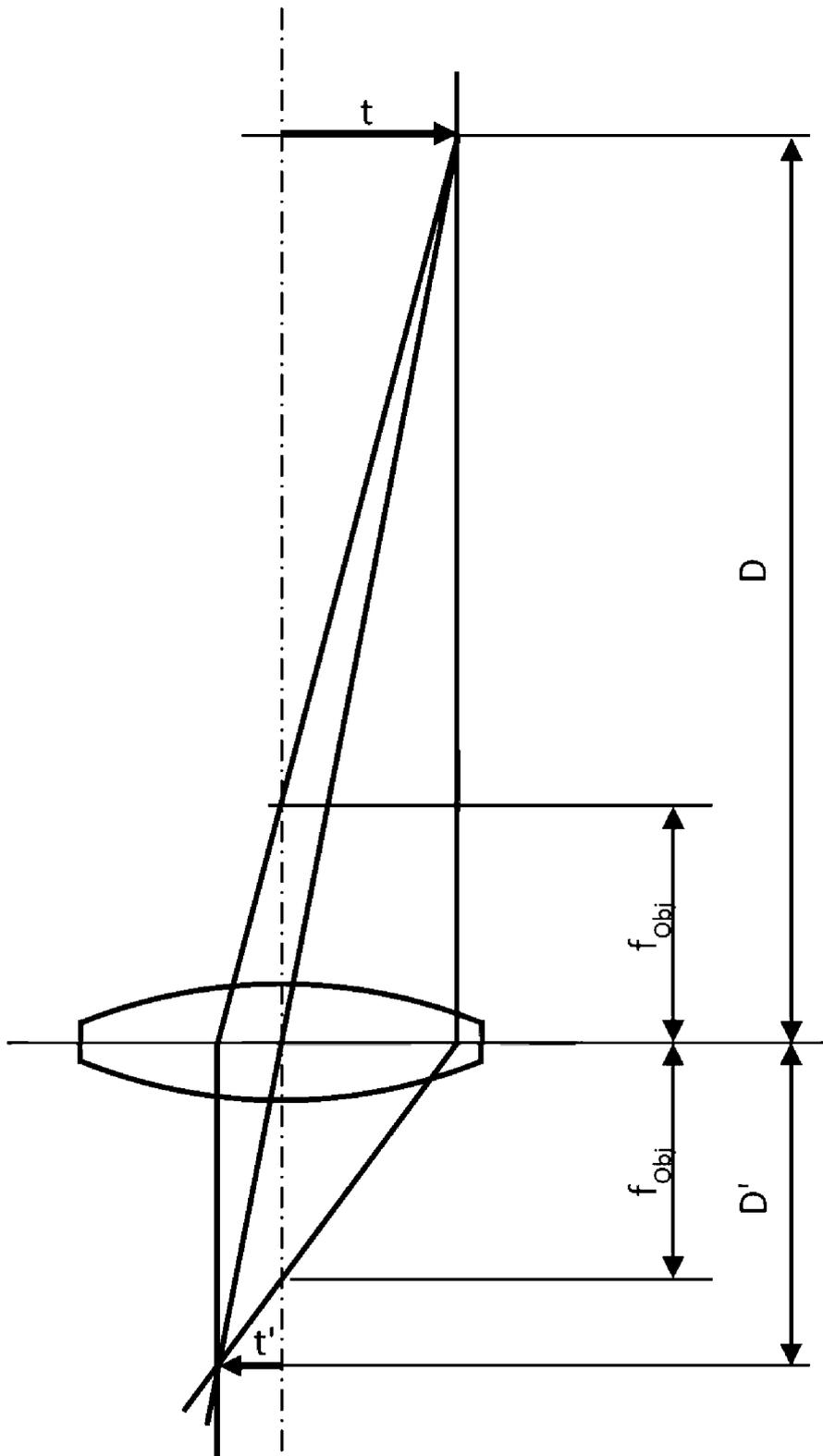


Fig. 8

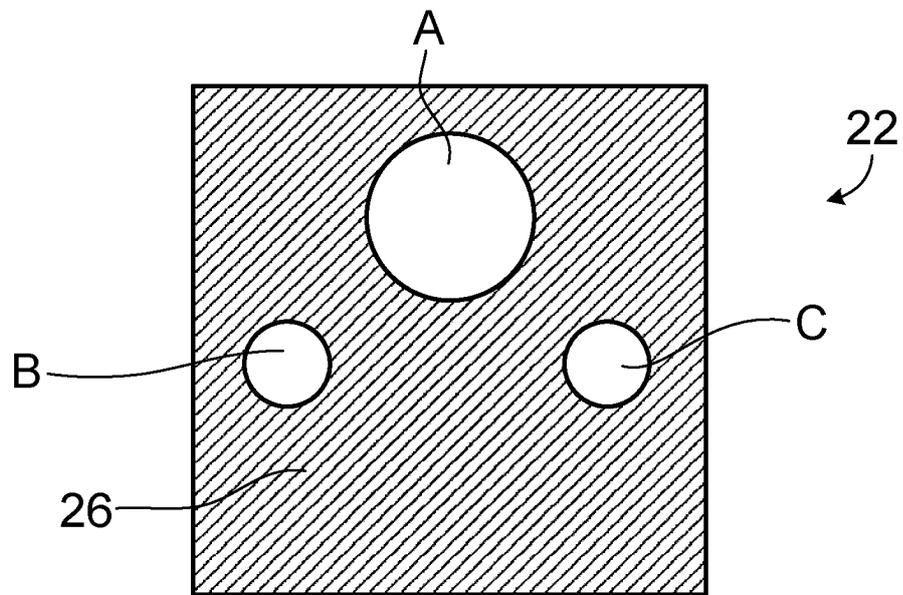


Fig. 9

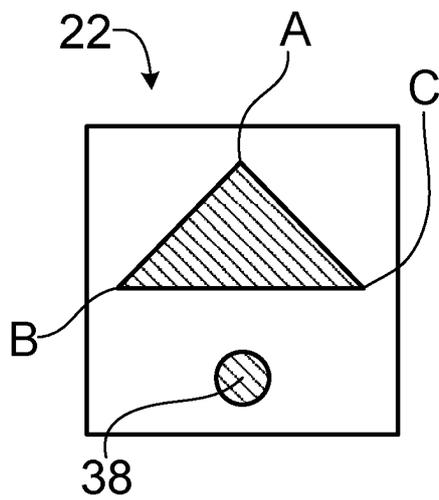


Fig. 10

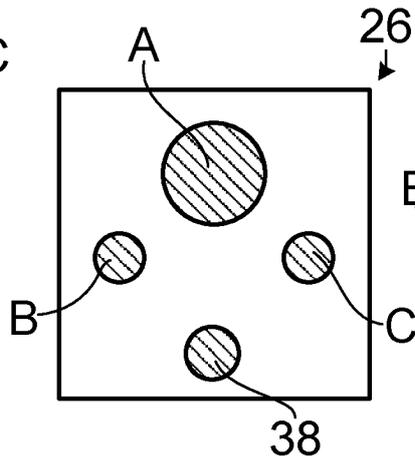


Fig. 11

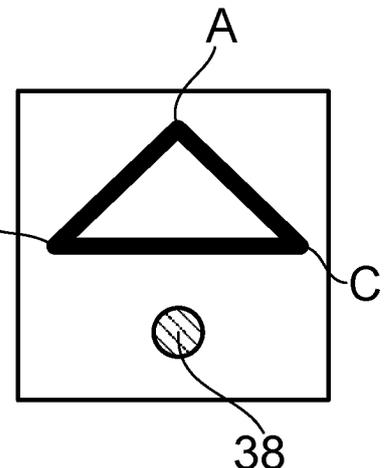


Fig. 12

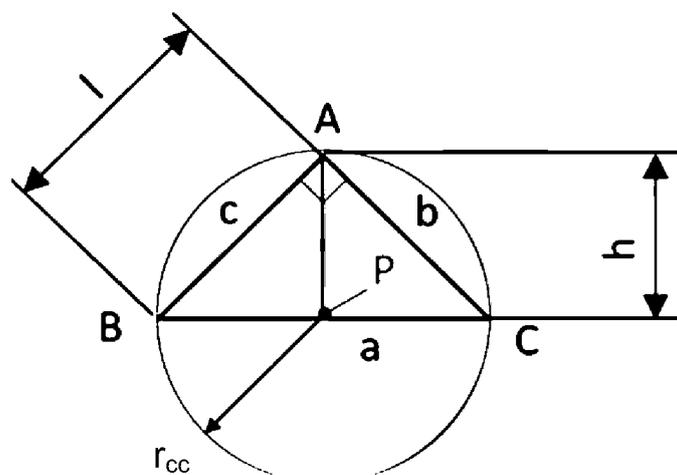
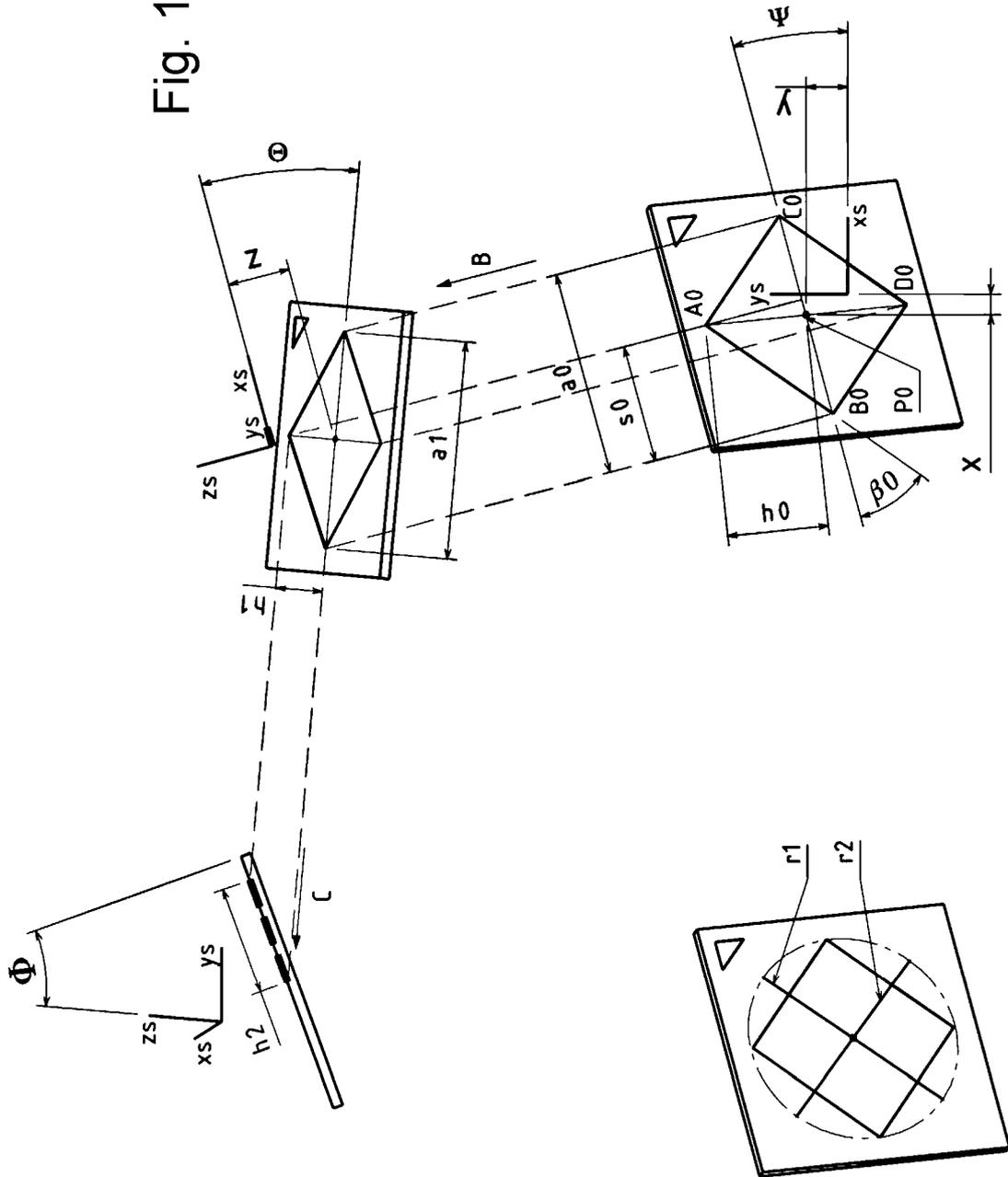


Fig. 13

Fig. 14



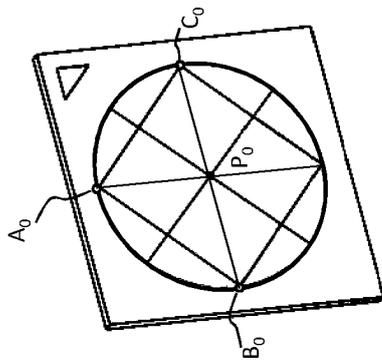


Fig. 15a

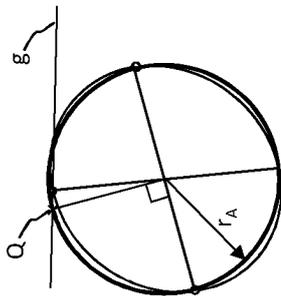


Fig. 15b

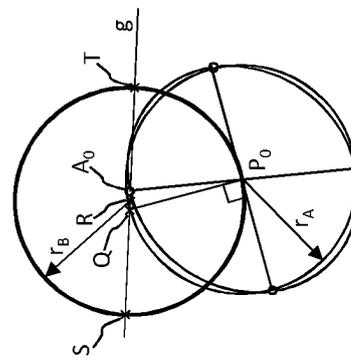


Fig. 15c

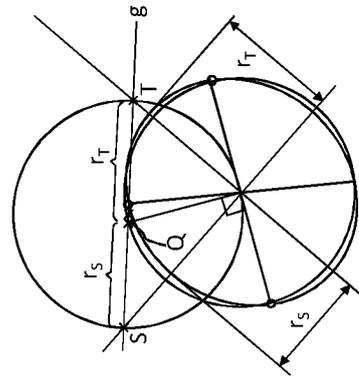


Fig. 15d