

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
21. Februar 2008 (21.02.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/019855 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01D 5/347 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/007248

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. August 2007 (16.08.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
06119146.6 18. August 2006 (18.08.2006) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **LEICA GEOSYSTEMS AG** [CH/CH]; Heinrich-
Wild-Strasse, CH-9435 Heerbrugg (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BRAUNECKER,**
Bernhard [DE/CH]; Haldenweg 10, CH-9445 Rebstein

(CH). **KIPFER, Peter** [DE/CH]; Spitzigerfeldstr. 10,
CH-9437 Marbach (CH). **LIPPUNER, Heinz** [CH/CH];
Im Fuertli 9, CH-9445 Rebstein (CH).

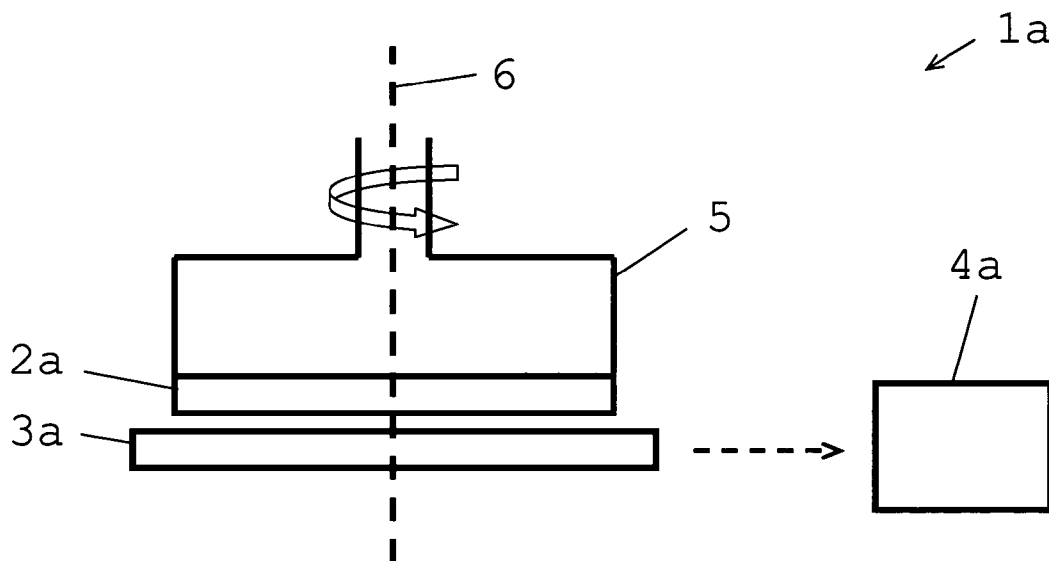
(74) Anwalt: **HARMANN, Bernd-Günther;** BÜCHEL
KAMINSKI & PARTNER PATENTANWÄLTE EST,
Austrasse 79, FL-9490 Vaduz (LI).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE,
EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID,
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN,
MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,
PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV,
SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,
ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTOELECTRONIC ANGLE SENSOR AND METHOD FOR DETERMINING A ROTATIONAL ANGLE ABOUT
AN AXIS

(54) Bezeichnung: OPTOELEKTRONISCHER WINKELSENSOR UND VERFAHREN ZUM BESTIMMEN EINES DREH-
WINKELS UM EINE ACHSE



(57) Abstract: The invention relates to an optoelectronic angle sensor (1a) for determining a rotational angle about an axis (6), comprising a circular disk (2a) that can be rotated about the axis. Said circular disk comprises a coding, essentially over the entire surface, a flat photosensitive detector (3a), a device for producing an evaluable image of the coding on the detector and a memory and evaluation component (4a) for determining the rotational angle. A largely complete, or in particular an entire image of the coding is produced on the detector. The rotational angle is determined using a parameter-varying stochastic comparison method, from the image and a parameterised electronic reference pattern that is provided by means of the memory and evaluation component.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/019855 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(57) **Zusammenfassung:** Ein optoelektronischer Winkelsensor (1a) zum Bestimmen eines Drehwinkels um eine Achse (6) weist eine um die Achse (6) drehbare Kreisscheibe (2a) mit einer im Wesentlichen vollflächigen Codierung, einen flächigen photosensitiven Detektor (3a), eine Einrichtung zum Erzeugen eines auswertbaren Bildes der Codierung auf dem Detektor und eine Speicher- und Auswertkomponente (4a) zum Bestimmen des Drehwinkels auf. Es wird ein weitgehend vollständiges, insbesondere gesamthaftes, Bild der Codierung auf dem Detektor erzeugt. Aus dem Bild und einem mittels der Speicher- und Auswertkomponente bereitgestellten parametrisierten elektronischen Referenzmuster wird unter Verwendung eines parametervariierenden stochastischen Vergleichsverfahrens der Drehwinkel bestimmt.

Optoelektronischer Winkelsensor und Verfahren zum Bestimmen eines Drehwinkels um eine Achse

5 Die Erfindung betrifft einen optoelektronischen Winkelsensor nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zum Bestimmen eines Drehwinkels um eine Achse nach Anspruch 10.

10 Wie in vielen anderen Bereichen werden auch im Bereich der optoelektronischen Winkelsensoren immer kleinere Bauformen angestrebt. Übliche optoelektronische Winkelsensoren zum Bestimmen eines Drehwinkels um eine Achse weisen einen Codeträger und einen optischen Detektor auf, die relativ
15 zueinander drehbar sind. Der optische Detektor ist beispielsweise ein Photodetektor, ein CCD-Zeilen-Array oder ein CCD-Flächen-Array. Der Codeträger ist im Allgemeinen als Kreisscheibe oder als Kreisring ausgebildet und trägt entlang seines Umfangs einen optisch erfassbaren
20 Positionscode, von dem ein Ausschnitt auf den Detektor abgebildet wird.

In seinen Abmessungen ist im Allgemeinen der Detektor wesentlich kleiner als der Codeträger. Zur Miniaturisierung
25 des Winkelsensors ist daher in erster Linie eine Verkleinerung des Codeträgers erforderlich. Mit einem Codeträger mit verringertem Durchmesser kann das Verhältnis von Detektor-Fläche zu Codeträger-Fläche erhöht und so ein grösserer Bereich des auf dem Codeträger aufgebrachten
30 Codes erfasst werden. Zusätzlich ist für einen Winkelsensor mit dem Codeträger als drehender Komponente und dem Detektor als feststehender Komponente eine höhere Betriebsstabilität erreichbar, da sich die auf den

Codeträger wirkenden Zentrifugalkräfte verringern. Im Allgemeinen dreht sich der Codeträger des Winkelsensors. Es ist jedoch ebenso möglich, den Codeträger feststehend und den Detektor drehend auszubilden.

5

Bei der Miniaturisierung des Winkelsensors stellt sich nun das Problem, dass eine Verkleinerung der Codeträger-Fläche auch eine Verkleinerung und/oder Verfeinerung der Code-Strukturen erfordert. Die Codierung kann jedoch insofern
10 nicht beliebig verfeinert werden, als mit immer feineren Strukturen immer grössere Beugungseffekte auftreten und die Strukturen nicht mehr mit der erforderlichen Genauigkeit aufgelöst werden können. Die Winkelauflösung wird durch die Auflösung der Codierung mittels des Detektors bestimmt und
15 hängt damit vom Auflösungsvermögen des Detektors ab. Dieses ist jedoch beschränkt, da eine Verkleinerung der Pixelgrösse durch das Signal-zu-Rausch-Verhältnis limitiert ist. Alternativ ist eine höhere Winkelauflösung durch Vergrößerung des Durchmessers des Codeträgers erreichbar,
20 was jedoch im Widerspruch zu allen Miniaturisierungsbestrebungen steht.

Im Stand der Technik werden Winkelsensor-Bauformen verkleinert, indem optische oder mechanische Komponenten
25 reduziert werden. Es ist jedoch keine Lösung bekannt, einen Winkelsensor mittels Verkleinerung seiner codetragenden Fläche zu miniaturisieren, ohne an Winkelauflösung und damit Messgenauigkeit zu verlieren bzw. die Winkelauflösung bei gleichbleibender Grösse des Codeträgers zu erhöhen.

30

Die DE 197 50 474 A1 beschreibt eine Reduktion des Durchmessers einer Teilscheibe eines Winkelsensors, indem die Teilscheibe in die Achse der rotierenden Welle direkt

eingesetzt wird. Damit kann der Durchmesser der Teilscheibe um eine äussere Einfassung, wie einen Metallring, derselben verringert werden.

5 Diese mechanische Lösung ermöglicht jedoch lediglich die Verkleinerung der Teilscheibe um die äussere Einfassung und bietet daher nur Spielraum für eine Verkleinerung des Winkelsensors im Bereich einiger Prozent. Sie stellt keine Möglichkeit bereit, den Durchmesser der codetragenden
10 Fläche des Sensors wesentlich, beispielsweise um 80%, zu reduzieren und den Winkelsensor damit zu miniaturisieren.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, einen optoelektronischen Winkelsensor bereitzustellen, mit welchem Winkelsensor auch
15 mit einem im Durchmesser reduzierten Codeträger eine genaue Bestimmung des Drehwinkels möglich ist.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung eines in Bezug auf die Genauigkeit der Winkelbestimmung
20 verbesserten optoelektronischen Winkelsensors.

Ebenfalls eine Aufgabe der Erfindung ist es, einen hinsichtlich der Flächennutzung des Codeträgers verbesserten optoelektronischen Winkelsensor
25 bereitzustellen.

Eine weitere Aufgabe ist es, ein Verfahren zur Bestimmung eines Drehwinkels bereitzustellen, welches die Drehwinkelbestimmung mit einem Codeträger mit reduziertem
30 Durchmesser ermöglicht.

Eine weitere Aufgabe ist die Bereitstellung eines Verfahrens zur Bestimmung eines Drehwinkels mit verbesserter Genauigkeit.

- 5 Diese Aufgaben werden durch die Gegenstände der Ansprüche 1, 10 oder der abhängigen Ansprüche gelöst bzw. die Lösungen weitergebildet.

Die Erfindung beruht darauf, dass die Codierung der Kreisscheibe eines erfindungsgemässen optoelektronischen Winkelsensors weitgehend vollständig als Bild erfasst und die erfassten Bilder - respektive die Detektor-Messsignale - als Realisationen eines statistischen Parameters interpretiert werden. Zur Auswertung der Messsignale wird
10 aus einer konstruierten Verteilung von Parameterwerten der die Messsignale charakterisierende Parameterwert ermittelt.
15

Hierzu wird mittels einer Einrichtung des Winkelsensors ein weitgehend vollständiges, insbesondere gesamthafes, auswertbares Bild der Codierung der Kreisscheibe auf dem Detektor des Winkelsensors erzeugt. Beispielsweise werden
20 90% der Codierung als Bild erfasst. Das Bild beinhaltet eine Information über die Relativposition von Kreisscheibe und Detektor, die relativ zueinander bewegbar sind. Die Relativbewegung umfasst zumindest eine Relativ-Drehbewegung
25 um eine Achse. Zusätzlich können Kreisscheibe und Detektor auch - äusserst kleine - translatorische Relativbewegungen und/oder Taumelbewegungen, die z.B. aus Montage- und/oder Fertigungsungenauigkeiten resultieren, ausführen.

30

Unter auswertbarem Bild ist in diesem Zusammenhang ein Bild, aus welchem die Information über die Relativposition ermittelt werden kann, zu verstehen. Das Bild muss dabei

nicht notwendigerweise eine scharfe Abbildung der Codierung darstellen. Im Rahmen der Beschreibung der Erfindung werden für das auswertbare Bild auch die Begriffe Abbildung, Projektion, Messsignale oder Messmuster verwendet.

5

Die Codierung der Kreisscheibe eines erfindungsgemässen Winkelsensors ist derart ausgeführt, dass im Wesentlichen die gesamte Fläche der Scheibe genutzt wird. Dies wird realisiert, indem der weitgehend gesamte Flächenbereich der

10 Scheibe mit Code versehen wird. Insbesondere weist die auf die Kreisscheibe aufgebrachte Codierung einen Code auf, der sich sowohl in azimuthaler als auch radialer Richtung erstreckt und sich in beiden Richtungen winkelabhängig verändert. Z. B. wird ein üblicher Code, der auf einer

15 üblichen Kreisscheibe im äusseren Bereich der Kreisscheibe entlang deren Umfangs aufgebracht ist und sich in Umfangsrichtung winkelabhängig verändert, sowohl in Umfangsrichtung als auch quer dazu auf die Kreisscheibe des erfindungsgemässen Winkelsensors aufgebracht,

20 beispielsweise mäanderförmig - der Code wird sozusagen auf die Scheibe „gefaltet“. Damit trägt der Code entgegen dem üblichen Code zusätzlich auch in radialer Richtung winkelabhängige Code-Information.

25 Der Informationsgehalt der Codierung wird durch die Anzahl der Übergänge - auch als „Nervosität“ des Codes bezeichnet - bestimmt. Die Übergänge werden durch die Wechsel der Eigenschaften der Codeelemente, wie Licht-Durchlässigkeit/Licht-Undurchlässigkeit oder Reflexion/

30 Absorption, erzeugt. Durch die weitgehend vollflächige Aufbringung der Codierung und damit Nutzung im Wesentlichen der gesamten Fläche der Kreisscheibe wird eine maximierte Zahl von Übergängen erhalten.

Die solcherart codierte Kreisscheibe entspricht sozusagen einer „codierten Achse“. Anhand dieser Codierung ist auch auf eine im Durchmesser verkleinerte Kreisscheibe eine
5 grosse Anzahl von Übergängen zur gattungsgemäss genauen Winkelbestimmung aufbringbar. Mit einer räumlich verdichteten Aufbringung der Codierung kann der Durchmesser der Kreisscheibe wesentlich, beispielsweise um über 90% gegenüber üblichen in Theodoliten eingesetzten Glas- oder
10 Kunststoff-Kreisscheiben mit einem Durchmesser von ca. 78 mm, verringert werden. Beispielsweise ist die Kreisscheibe als „Minischeibe“ mit einem Durchmesser zwischen 6 mm und 10 mm ausführbar. Eine solche Verkleinerung der Kreisscheibe ermöglicht eine starke
15 Reduzierung der Abmessungen des Winkelsensors als Ganzes und damit die Realisierung eines miniaturisierten Winkelsensors.

Wird die Kreisscheibe bzw. der Winkelsensor nicht
20 verkleinert, so kann mit einer entsprechenden Ausbildung der Kreisscheibe ein Winkelsensor zur Winkelbestimmung mit verbesserter Genauigkeit verwirklicht werden.

In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die Codierung
25 der Kreisscheibe mehrere Teilcodes. Der vorgängig erwähnte, azimuthal und radial ausgedehnte Code kann z.B. einen Teilcode bilden. Zusätzlich kann ein Teilcode als entlang des Umfangs, z.B. im äusseren Bereich der Kreisscheibe, aufgebracht Absolutcode vorgesehen sein, dessen Erfassung
30 einen Grobwert des Drehwinkels liefert, der eine Verbesserung der Drehwinkel-Bestimmung in Bezug auf die Geschwindigkeit des Auswertealgorithmus ermöglicht.

Ein weiterer Teilcode kann als zusätzlicher Code zur Erfassung translatorischer Bewegungen der Kreisscheibe ausgebildet sein, beispielsweise als azimuthal erstreckter Radialcode, wie in Form konzentrischer Kreise um den
5 Mittelpunkt der Kreisscheibe, also im inneren Bereich derselben. Durch Auslesen einzelner Detektor-Zeilen in azimuthaler und radialer Richtung, ist aus dem Bild des Radialcodes eine schnelle absolute Achstaumelbestimmung möglich. Indem der Teilcode für translatorische Bewegungen
10 in einem inneren Segment der Kreisscheibe aufgebracht ist, wird auch diese innere Fläche, die für die Bestimmung des Drehwinkels wenig geeignet ist, sinnvoll genutzt.

Um von der Codierung das Bild zu erzeugen, ist eine
15 Einrichtung zum Abbilden respektive Projizieren der Codierung auf den Detektor des Winkelsensors vorgesehen. Die Einrichtung, die Kreisscheibe und der Detektor des erfindungsgemässen Winkelsensors sind derart ausgebildet und angeordnet, dass die Codierung weitgehend vollständig,
20 insbesondere gesamthaft, auf den Detektor abgebildet wird. Vorzugsweise wird ein Bild respektive Messmuster erstellt, welches wenigstens 50%, insbesondere mehr als 75% und vorteilhaft 100% der Codierung aufweist.

25 Die weitgehend vollständige Erfassung mit zur Auswertung ausreichender Auflösung der Codierung kann anhand eines entsprechenden Beleuchtungskonzepts, einer verkleinerten Kreisscheibe, der Ausbildung und Anordnung von Einrichtung, Kreisscheibe und Detektor bzw. anhand einer Kombination des
30 genannten verwirklicht werden.

Zum Erzeugen des Bildes umfasst die Einrichtung eine Strahlungsquelle, wie eine oder mehrere Photodioden zum

Beleuchten der Kreisscheibe. Je nach Ausbildung der Codierung - z.B. mit lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen oder durch unterschiedliches Reflexionsvermögen unterscheidbaren Code-Elementen - erfolgt die Bilderzeugung in Durchlicht oder Auflicht. Beim Durchlicht-Verfahren empfängt der Detektor die durchgelassene, durch die Code-Elemente modulierte Strahlung, beim Auflicht-Verfahren die reflektierte, durch die Code-Elemente modulierte Strahlung.

10

Eine möglichst homogene Ausleuchtung der Kreisscheibe bzw. eines Kreisscheiben-Bereichs ist durch Strahl-Aufweitung mittels einer entsprechenden Optik, die beispielsweise durch einen Umlenkspiegel oder ein streuendes Medium gebildet sein kann, realisierbar. Die Einrichtung ist insbesondere zum Projizieren eines Bereichs der Kreisscheibe, der dem Bereich der Detektorelemente entspricht, ausgelegt. Gegebenenfalls kann die Einrichtung auch einen selbstleuchtenden Code, z.B. mit organischen Leuchtdioden, darstellen.

20

Die Kreisscheibe kann - wie vorgängig erwähnt - vorteilhaft verkleinert werden. Dies ermöglicht eine - wirtschaftliche - Ausführungsform eines erfindungsgemässen Winkelsensors mit einem Detektor, dessen Fläche im Wesentlichen der Fläche der Kreisscheibe entspricht. Insbesondere ist ein Detektor einsetzbar, dessen Längen- und Breitenabmessungen dem Durchmesser der Kreisscheibe entsprechen. Eine solche Ausführungsform, in welcher die codetragende Kreisscheibe und der Detektor weitgehend gleich dimensioniert sind, ermöglicht auf einfache Art und Weise die Erfassung der im Wesentlichen gesamten Kreisscheiben-Fläche respektive der darauf aufgetragenen Codierung auf dem Detektor. Zusätzlich

30

kann damit vorteilhaft eine Beabstandung des Kreisscheiben-Zentrums von der Drehachse - eine Exzentrizität - festgestellt werden. In einer Ausführungsform der Erfindung sind die Kreisscheibe und der Detektor weitgehend
5 deckungsgleich und coaxial zentriert angeordnet.

Der Detektor stellt einen, z.B. durch Anordnungen von CCD-Zeilen-Arrays und CCD-Spalten-Arrays gebildeten, flächigen photosensitiven Detektor dar. Eine matrizenförmige
10 Anordnung photosensitiver Bereiche ist mit einem CCD-Flächensensor oder CMOS-Flächensensor realisierbar. Ebenso können alternative übliche Sensoren eingesetzt werden.

Das Bild respektive die Messsignale des Detektors
15 beinhalten Informationen über die Relativposition von Kreisscheibe und Detektor, welche Informationen durch einen Vergleich mit einem elektronischen Referenzmuster unter Anwendung eines parametervariierenden Vergleichsverfahrens ausgewertet werden. Anhand dieser Auswertung können auch
20 sehr kleine und feine Code-Strukturen noch mit hoher Genauigkeit aufgelöst und der Drehwinkel genau bestimmt werden.

Das elektronische Referenzmuster wird mittels einer
25 Speicher- und Auswertekomponente des erfindungsgemässen Winkelsensors bereitgestellt. Die Speicher- und Auswertekomponente ist weiters zum Auswerten der Detektor-Messsignale anhand des erwähnten Auswerteverfahrens ausgebildet. Dazu weist die Speicher- und
30 Auswertekomponente ein Computerprogrammprodukt auf, welches Programmcode enthält, der so angepasst ist, dass er das Verfahren ausführt, wenn er auf der Komponente abläuft. Zum Auswerten der Bildinformation, die z.B. als elektrische

digitale Detektor-Signale vorliegt, insbesondere zum numerischen Bearbeiten einer grossen Datenmenge, wie z.B. der Datenmenge eines 1000 x 1000 CMOS-Pixelsensors, ist die Speicher- und Auswertekomponente z.B. als Mikroprozessor
5 ausgebildet. Auch ein FPGA (field-programmable gate array) oder ein ASIC (Application Specific Integrated Circuit) ist als Speicher- und Auswertekomponente geeignet.

Das Referenzmuster ist als statistische Verteilung für eine
10 unbekannte charakteristische Grösse der Winkelbestimmung respektive der Detektor-Messsignale modellierbar. Beispielsweise stellt das Referenzmuster eine Schätzfunktion der Grösse dar. Die charakteristische Grösse kann der Drehwinkel sein. Die unbekannte Grösse des
15 statistischen Modells ist anhand statistischer Methoden, wie Schätzmethoden, ermittelbar.

Das Referenzmuster kann auch durch einen Algorithmus, der das Messmuster respektive das Bild respektive die Detektor-
20 Messsignale und/oder die Codierung simuliert oder dupliziert, gebildet sein. Z. B. werden für eine möglichst realistische Beschreibung des Messmusters die Codestruktur, die Abbildungsparameter der Einrichtung und des Detektors, sowie Abbildungsfehler berücksichtigt.

25

In einer Ausführungsform der Erfindung wird als stochastische Vergleichsmethode zum Auswerten des Messmusters die Maximum-Likelihood-Methode angewandt. Das erfindungsgemässe Verfahren weist dann z.B. die folgenden
30 Schritte auf:

- o Erzeugen eines Messmusters,

- o Erzeugen eines das Messmuster möglichst realistisch beschreibenden Referenzmusters als Funktion eines Parameters,
- o Vergleichen des Messmusters mit dem Referenzmuster,
- 5 o Variieren des Parameters bis das Referenzmuster die maximale bzw. maximal erreichbare Ähnlichkeit zum Messmuster zeigt,
- o Festlegen des Parameters als besten Schätzer und Bestimmen des Drehwinkels aus der Parameterschätzung.

10

Der Parameter stellt beispielsweise einen Referenz-Drehwinkel, der den Drehwinkel respektive die relative rotatorische Lage von Kreisscheibe und Detektor beschreibt, dar. Aus der Parameterschätzung erhält man den Wert für den

15 Referenz-Drehwinkel, der mit der grössten Wahrscheinlichkeit das Messmuster hervorbringen würde.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird das Messmuster anhand einer, auf einem integralen Vergleich des

20 Messmusters mit dem parametrisierten elektronischen Referenzmuster beruhenden, mathematischen Korrelationsmethode ausgewertet. Der Parameter stellt einen Korrelationsfaktor, der ein Mass für die Übereinstimmung von Mess- und Referenzmuster ist, dar. Im Rahmen der

25 Korrelation wird der Parameter solange variiert, bis eine vorgegebene Korrelationsbedingung - z.B. ein maximaler oder minimaler Korrelationswert - erreicht ist.

Beispielsweise wird für eine solche Korrelationsbildung das

30 Messmuster als Faltung der Intensitätsfunktion c des Bildes, der optischen Unschärfefunktion b des Schattenwurfs und der elektrischen Signalantwort d eines Detektor-Pixels betrachtet: $Q = c * b * d$, wobei $*$ der Faltungsoperator

ist. Da die Intensitätsfunktion c auch den zu bestimmenden Drehwinkel α beschreibt, ist die Messmuster-Funktion Q auch eine Funktion des zu bestimmenden Drehwinkels α : $Q = Q(\alpha)$.

- 5 Das Referenzmuster wird als das Messmuster beschreibende Musterfunktion eines Referenz-Drehwinkels α' , der den Drehwinkel beschreibt, erzeugt: $P = P(\alpha')$. Zur Bestimmung der Positionsinformation des Messmusters werden die Messsignale mit den synthetischen Referenz-
- 10 Signalen verglichen, wobei als Gütemass die Korrelationsfunktion $\rho = Q(\alpha) * P(\alpha')$ verwendet wird, mit $*$ als Korrelationsoperator.

- Beim Vergleichen der Signale wird der Referenz-
- 15 Drehwinkel α' mathematisch variiert, bis ρ ein Maximum erreicht - was eine maximale Übereinstimmung der Signale beschreibt. Der Referenz-Drehwinkel α' bei $\rho = \max.$ gibt dann den besten Schätzwert des gesuchten Drehwinkels α an. Mit einem derartigen Korrelationsverfahren sind hohe
- 20 Auflösungswerte - beispielsweise von Pixel/100 - erreichbar.

- Zum Vergleichen des Messmusters mit dem Referenzmuster kann auch eine Moire-ähnliche Methode angewandt werden. Das
- 25 Referenzmuster wird - z.B. modelltheoretisch - als stationäres, mit zur Frequenz eines hochfrequenten Gitters als Codierung leicht verschiedener Hochfrequenz versehenes Gitter bereitgestellt, sodass eine digitale Überlagerung der Gitter zu den bekannten Moire-Strukturen führt. Die
- 30 Positionsinformation des Messmusters wird anhand eines integralen Vergleichs des Mess- mit dem Referenzmuster ausgewertet. Als Gitterstrukturen sind beispielsweise

radiale Gitterstrukturen, wie ein Siemensstern, oder Strukturen wie radiale Fresnelzonengitter - radialer „Chirp“ - geeignet.

- 5 Je nach Ausführung der Codierung der Kreisscheibe kann das erfindungsgemässe Verfahren zusätzlich weitere Positionsinformationen verwenden. Weist die Codierung einen als Absolutcode ausgeführten Teilcode auf, so kann aus dem Bild des Absolutcodes ein grober Absolutwert für den
10 Drehwinkel bestimmt werden, welcher Grobwert als Anfangswert des Vergleichsverfahrens verwendbar ist. Weiters kann das Verfahren auch die Bildinformationen gewichten, insbesondere radial gewichten. So werden z.B. am äusseren Rand der Kreisscheibe aufgebrachte Codestrukturen,
15 die bezüglich der Information über die relative rotatorische Lage von Kreisscheibe und Detektor besser auswertbar sind als innere Strukturen, im erfindungsgemässen Verfahren für die Auswertung des Drehwinkels stärker gewichtet als weiter innen - zur Drehachse hin - liegende
20 Codestrukturen.

Der erfindungsgemässe Winkelsensor und das erfindungsgemässe Verfahren werden nachfolgend anhand von in den Zeichnungen schematisch dargestellten
25 Ausführungsbeispielen rein beispielhaft näher beschrieben oder erläutert. Im Einzelnen zeigen:

- Fig. 1 zwei Teilfiguren mit Ausführungsformen eines optoelektronischen Winkelsensors;
30
Fig. 2 eine Teilfigur mit einer Ausführungsform einer codierter Kreisscheibe eines Winkelsensors und

eine Teilfigur zur Erläuterung des Korrelationsverfahrens;

5 Fig. 3 zwei Teilfiguren mit weiteren Ausführungsformen codierter Kreisscheiben eines Winkelsensors und eine dritte Teilfigur zur Erläuterung des Korrelationsverfahrens;

10 Fig. 4 vier Teilfiguren zur Erläuterung eines erfindungsgemässen Verfahrens zur Bestimmung eines Drehwinkels;

15 Fig. 5 in drei Teilfiguren Anordnungen von Kreisscheibe und Detektor;

Fig. 6 vier Teilfiguren mit Einrichtungen eines optoelektronischen Winkelsensors zum Erzeugen des Bildes.

20 In Figur 1A ist ein Aufbau eines optoelektronischen Winkelsensors 1a zur Bestimmung eines Drehwinkels um eine Achse skizziert. Eine um die Achse 6 - Drehachse - angeordnete Kreisscheibe 2a als Codeträger ist in eine Einfassung 5 eingesetzt. Beispielsweise ist die
25 Einfassung 5 mit einem Werkzeug oder einem Motor verbunden. Die Einfassung 5 kann auch in die Alhidade eines Theodoliten eingesetzt sein und sich mit dieser drehen. Die Kreisscheibe 2a dreht sich - wie durch den Pfeil angedeutet - gegenüber einem elektrooptischen Detektor 3a, welcher
30 relativ zur Kreisscheibe 2a derart angeordnet ist, dass auf der dem Detektor 3a zugewandten Fläche der Kreisscheibe 2a aufgebrachte Codeelemente auf dem Detektor 3a abgebildet werden. Kreisscheibe 2a und Detektor 3a sind hier koaxial

zentriert angeordnet. Die Abbildung - respektive die winkelproportionalen Messsignale - wird in einem Elektronikbauteil 4a als Speicher- und Auswertekomponente weiterverarbeitet. Erfindungsgemäss ist im

5 Elektronikbauteil 4a ein durch einen Parameter parametrisch variierbares elektronisches Referenzmuster abgespeichert, das mit den Messsignalen verglichen wird. Anhand einer Parameterschätzung wird der Drehwinkel um die Achse 6 bestimmt.

10

Figur 1B zeigt einen Winkelsensor 1b mit einer relativ zu einem Detektor 3b drehbaren Kreisscheibe 2b und einer Strahlungsquelle 7 einer Abbildungseinrichtung. Der Detektor 3b ist im Wesentlichen gleich gross dimensioniert

15 wie die Kreisscheibe 2b. Mittels der von der Strahlungsquelle 7 ausgesandten optischen Strahlung wird die Codierung der Kreisscheibe 2b vollständig auf dem Detektor 3b abgebildet. Strahlungsquelle 7 und Kreisscheibe 2b sind in einem gemeinsamen - durch

20 gestrichelte Linien dargestellten - Gehäuse 8 angeordnet, sodass sich Strahlungsquelle 7 und Kreisscheibe 2b gemeinsam drehen. Die Strahlungsquelle 7 kann auch ausserhalb der drehenden Teile angeordnet werden und feststehend sein. Alternativ kann der Detektor 3b als

25 drehende Komponente ausgebildet und angeordnet sein. Die Kreisscheibe 2b ist aus optisch transparentem Material, wie Glas oder Kunststoff, ausgebildet und weist - nicht dargestellte - für die Strahlung durchlässige und undurchlässige Bereiche als Codierung auf. Mittels der auf

30 die Kreisscheibe 2b auftreffenden und teilweise durchtretenden Strahlung wird ein gesamthaftes Bild der Codierung auf dem Detektor 3b erzeugt. Wie in Figur 1A wird die Abbildung in einer Speicher- und Auswertekomponente 4b,

z.B. einem FPGA (field-programmable gate array), mit einem elektronischen Referenzmuster verglichen und im Rahmen des Vergleichsverfahrens der Drehwinkel ermittelt.

- 5 In Figur 2A ist eine Ausführungsform einer Kreisscheibe 2c eines erfindungsgemässen optoelektronischen Winkelsensors dargestellt. Die Kreisscheibe 2c trägt eine weitgehend vollflächige Codierung, die hier einen ersten, zweiten und dritten Teilcode aufweist. Der erste Teilcode ist ein im
- 10 äusseren Bereich der Kreisscheibe 2c aufgebracht azimutal erstreckter binärer Absolutcode c1. Der zweite Teilcode ist als polar verteilter Punktcode c2 ausgeführt. Die konzentrischen Kreise c3 um das Kreisscheibenzentrum bilden den dritten Teilcode. Anhand einer entsprechenden Erfassung
- 15 des dritten Codes sind Exzentrizitätsfehler bestimmbar. Die gezeigte Kreisscheibe 2c ermöglicht die Bestimmung des Drehwinkels anhand folgender Schritte: Die Codierung wird so auf dem Detektor abgebildet, dass der erste, zweite und dritte Teilcode weitgehend vollständig - z.B. zu 95% -
- 20 erfasst werden. Aus dem Bild des Absolutcodes c1 kann ein Grobwert des Drehwinkels ermittelt werden. Die das Bild des Punktcodes c2 repräsentierenden Messsignale werden anhand einer Korrelationsbildung algorithmisch mit den idealisierten Daten eines das Referenzmuster bildenden
- 25 Abbildungsmodells des Punktcodes c2 verglichen. Der Punktcode c2 auf der Kreisscheibe 2c ist ein mehrdeutiger Code, liefert also keine eindeutige Positionsinformation. Da der Punktcode c2 nicht eindeutig ist, entstehen bei der Korrelation der idealisierten Daten mit den Messsignalen
- 30 mehrere Korrelationspeaks, wie in der Darstellung der Korrelation der Daten in Abhängigkeit des Drehwinkels der Figur 2B gezeigt. Nun wird anhand des aus der Auswertung des Absolutcodes c1 bestimmten Grobwinkelwerts das

relevante Winkelintervall und der korrekte Korrelationspeak p ausgewählt.

Die Figur 3A zeigt eine Kreisscheibe 2d mit zwei Teilcodes als Codierung, wobei der Drehwinkel grundsätzlich aus dem Bild und der Auswertung des polar verteilten Punktcodes c_4 als Teilcode bestimmbar ist. Der dargestellte weitere Teilcode - der azimuthal erstreckte Radialcode c_3' - ist zur Eliminierung von Exzentrizitäts- und Achstaumelfehlern vorgesehen. Der in Umfangs- und Radialrichtung erstreckte, polar verteilte Punktcode c_4 trägt eine eindeutige Positionsinformation. Bei einer mathematischen Korrelation des Bildes - des Messmusters - mit dem elektronischen Referenzmuster entsteht daher ein einzelner scharfer Korrelationspeak p' beim gesuchten Drehwinkel, wie in Figur 3C dargestellt. Der gesuchte Drehwinkel wird als der dem maximalen Korrelationswert zugeordnete Drehwinkel bestimmt.

Die Kreisscheibe 2e in Figur 3B weist eine zur Codierung aus Figur 2B ähnliche vollflächige Codierung auf. Im Gegensatz zu Figur 2B ist der Punktcode c_4' der mittleren Codespur jedoch, wie der Punktcode aus Figur 3A, eindeutig. Der Absolutcode c_2' der äusseren Codespur ist vorgesehen, um einen Anfangswert für die mittels einer Software durchgeführte Korrelationsbildung des Punktcodes c_4' mit einem Referenzmuster zu erhalten. Damit wird die Korrelationsbildung beschleunigt und die erforderliche Rechnerleistung reduziert. So kann ein aus dem Absolutcode c_2' bestimmter Winkelwert als Anfangswert in eine das Referenzmuster darstellende winkelabhängige Funktion eingesetzt und variiert werden, bis die Korrelation ein Maximum oder einen vorgegebenen Korrelationswert erreicht.

In Figur 4A ist eine absolut codierte Kreisscheibe 2f eines Winkelsensors mit einem, im Wesentlichen über die gesamte Scheibenfläche aufgebracht, Binärcode c5 in einem Koordinatensystem in der 0°-Winkelstellung dargestellt. Der

5 Binärcode c5 ist aus lichtdurchlässigen und lichtundurchlässigen Code-Elementen gebildet und verändert sich sowohl in azimuthaler als auch radialer Richtung winkelabhängig. Die Darstellung des Binärcodes c5 ist rein beispielhaft. Die Kreisscheibe 2f ist miniaturisiert. Indem

10 der Binärcode c5 im Wesentlichen vollflächig aufgebracht ist, ist dennoch eine hohe Anzahl von Übergängen - und damit eine Codierung mit hohem Informationsgehalt - realisierbar. Da die Kreisscheibe 2f miniaturisiert ist, ist weiters eine - wirtschaftliche - Ausführungsform eines

15 Winkelsensors mit einem Detektor, dessen Fläche in etwa zur Fläche der Kreisscheibe korrespondiert, verwirklichtbar.

Figur 4B zeigt die Kreisscheibe 2f nach einer Drehung um etwa 45°. In Figur 4B ist auch die Position eines flächigen

20 photosensitiven Detektors des Winkelsensors mit gestrichelten Linien eingezeichnet. Anhand der Ausbildung der Kreisscheibe und des Detektors mit in etwa denselben Abmessungen ist auf dem Detektor ein weitgehend vollständiges auswertbares Bild der Codierung erzeugbar.

25 Aufgrund der Aufbringung auf eine miniaturisierte Kreisscheibe 2f sind auch die Strukturen der Codierung verkleinert und verfeinert. Dem wird einerseits durch die vollflächige Codierung - hohe Anzahl von Übergängen - Rechnung getragen, welche die Unschärfe in der Positions-

30 respektive Winkelbestimmung verringern. Weiters wird zur Winkelbestimmung ein Auswerteverfahren verwendet, welches es ermöglicht, die abgebildeten Codestrukturen auszuwerten. Das Auswerteverfahren umfasst hier die Bereitstellung eines

elektronischen Referenzmusters, welches eine statistische Verteilung einer Zufallsvariable - hier des Drehwinkels - beschreibt - die Beschreibung erfolgt anhand einer Schätzfunktion. Die Messfunktion - das Bild - und die
5 Schätzfunktion werden miteinander verglichen, wobei die Zufallsvariable - der Drehwinkel - systematisch verändert wird. Der Vergleich respektive die Schätzung liefert einen besten Schätzer für den Drehwinkel.

10 Die Figuren 4C und 4D dienen - unter Bezugnahme auf die Figuren 4a und 4B - einer anschaulichen Erläuterung verfahrensseitiger Schritte. Figur 4C stellt den Bereich des Binärcodes c5 dar, der als Bild auf dem Detektor abgebildet wird. Figur 4D zeigt eine bildhafte, rein der
15 Anschaulichkeit dienende, Darstellung eines Referenzmusters, welches den Binärcode c5 dupliziert. Das Referenzmuster ist als Nachbildung c5' des Binärcodes c5 an der 0°-Position - Referenzposition - aus Figur 4A gezeichnet. Die eigentliche Nachbildung erfolgt mittels
20 einer entsprechenden Software. Zum Auswerten der Bildinformation erfolgt ein Vergleich von Bild und Referenzmuster und Verändern eines Parameterwerts des Referenzmusters - im Bild von Figur 4D durch einen Pfeil als Verdrehung angedeutet - bis die höchste Übereinstimmung
25 zwischen Bild und Referenzmuster gefunden ist. Der entsprechende Parameterwert wird zur Bestimmung des gesuchten Drehwinkelwerts verwendet.

In den Figuren 5A-5C dargestellt sind jeweils eine Kreis-
30 scheibe und ein Detektor mit photosensitiven Detektorelementen eines Winkelsensors in teilweiser Draufsicht. In Figur 5A entspricht die detektierende Fläche des Detektors 3g in etwa der Fläche der Kreisscheibe 2g,

sodass im Wesentlichen die gesamte auf die Kreisscheibe 2g aufgebrachte Codierung in einfacher Art und Weise auf den Detektor 3g abgebildet werden kann. Der Detektor 2g ist z.B. ein 1000 x 1000 CMOS-Pixelsensor. Die Drehachse 6' des Winkelsensors fällt mit den geometrischen Achsen von Kreisscheibe 2g und Detektor 3g zusammen - Kreisscheibe 2g und Detektor 3g sind coaxial zentriert angeordnet. Dies ist auch in Figur 5B der Fall. Hier ist der als CCD-Flächensensor 3h ausgebildete Detektor weniger gross, sodass zur weitgehend vollständigen Erfassung der Codierung ein spezielles Beleuchtungskonzept erforderlich ist. Figur 5C zeigt eine Ausführungsform mit einem Detektor 3i, dessen Zentrum nicht mit der Drehachse des Winkelsensors zusammenfällt. In allen Ausführungsformen 5A-5C sind die Einrichtung zur Bilderzeugung und die Speicher- und Auswertekomponente des Winkelsensors nicht gezeigt. Die Einrichtung zum Erzeugen des Bildes wird so ausgebildet und angeordnet, dass ein möglichst grosser, insbesondere der gesamte, Bereich der Codierung der Kreisscheibe auf den Detektorelementen abgebildet wird. Das Bild entspricht elektrischen Messsignalen, die beispielsweise pixelweise mit aus einem Abbildungsmodell der Codierung oder des Bildes abgeleiteten idealen Daten oder - wie vorgängig beschrieben - auf alternative Art und Weise mit einem alternativen elektronischen Referenzmuster verglichen werden.

Die Figuren 6A-6D sind Darstellungen eines Winkelsensors mit unterschiedlichen Einrichtungen zum Erzeugen eines auswertbaren Bildes der Kreisscheiben-Codierung. Die Abbildung der Codierung kann grundsätzlich von aussen oder innen in Auf- oder Durchlicht, oder durch einen

selbstleuchtenden Code erfolgen. Dargestellt ist nur die Beleuchtung von aussen.

In den Figuren 6A und 6B erfolgt die Beleuchtung in Durchlicht: Die Strahlung zweier Photodioden 10a und 10b bzw. 10a' und 10b' wird auf die Kreisscheibe 2j bzw. 2j' projiziert und anhand einer hier als Linse 11 bzw. 11' beispielhaft dargestellten Optikeinheit auf den Detektor 3j bzw. 3j' abgebildet. Um eine möglichst homogene Beleuchtung der Kreisscheibe 2j bzw. 2j' zu erreichen, wird die Strahlung der Photodioden 10a und 10b bzw. 10a' und 10b' aufgeweitet, in Figur 6A mittels eines streuenden Umlenkspiegels 12 und in Figur 6B durch ein streuendes Medium 13.

15

Die Figuren 6C und 6D zeigen die Beleuchtung der Kreisscheibe in Auflicht. Die von einer Strahlungsquelle 14 ausgesandte Strahlung wird in Figur 6C über einen Strahlteiler 15 auf die Kreisscheibe 2k gelenkt. Die an der Kreisscheibe 2k reflektierte Strahlung gelangt durch den Strahlteiler 15 über eine Abbildungsoptik 16 auf den Detektor 3k. In Figur 6D erfolgt die Beleuchtung unter schrägem Einfall des Lichts der Strahlungsquelle 14' auf die Kreisscheibe 2k'. Das reflektierte Licht wird wiederum über eine Abbildungsoptik 16' auf den Detektor 3k' gelenkt. Die Abbildungsoptik kann jeweils aus Linsen mit konischen und/oder sphärischen und/oder asphärischen Oberflächen gebildet sein.

25

Patentansprüche

1. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) zum Bestimmen eines Drehwinkels um eine Achse (6) mit
- 5 ▪ einer um die Achse (6) drehbaren Kreisscheibe (2a,2b,2c,2d,2e,2f,2g,2k) mit einer im Wesentlichen vollflächigen Codierung,
- einem flächigen photosensitiven Detektor (3a,3b,3g,3h, 3i,3j,3k),
- 10 wobei die Kreisscheibe (2a,2b,2c,2d,2e,2f,2g,2k) und der Detektor (3a,3b,3g,3h,3i,3j,3k) relativ zueinander bewegbar sind,
- einer Einrichtung zum Erzeugen eines auswertbaren Bildes der Codierung auf dem
- 15 Detektor (3a,3b,3g,3h,3i,3j,3k) derart, dass das Bild eine Information über die Relativposition von Kreisscheibe (2a,2b,2c,2d,2e,2f,2g, 2k) und Detektor (3a,3b,3g,3h,3i,3j,3k) beinhaltet, und
- einer Speicher- und Auswertekomponente (4a,4b) zum
- 20 Bestimmen des Drehwinkels,
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- die Einrichtung ein weitgehend vollständiges, insbesondere gesamthaftes, Bild der Codierung erzeugt und die Speicher- und Auswertekomponente (4a,4b)
- 25 ▪ ein der Codierung zuordenbares parametrisiertes elektronisches, insbesondere modellbasiertes, Referenzmuster bereitstellt und
- den Drehwinkel aus Referenzmuster und Bild mittels eines parametervariierenden stochastischen
- 30 Vergleichsverfahrens bestimmt.
2. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass das Bild wenigstens 50%, insbesondere mehr als 75% und vorzugsweise 100% der Codierung aufweist.

- 5 3. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flächen von Detektor (3a,3b,3g) und Kreisscheibe (2a,2b,2g) in ihrer Dimensionierung aneinander angepasst sind, insbesondere weitgehend deckungsgleich sind.

10

4. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kreisscheibe (2a,2b,2g) und der Detektor (3a,3b,3g,3h) koaxial zentriert angeordnet sind.

15

5. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Referenzmuster mit einem Referenz-Drehwinkel, der die rotatorische Lage des Referenzmusters zum Bild beschreibt, parametrisiert ist.

20

6. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Referenzmuster auf

25

- einem mathematisches Modell des Bildes oder der Codierung, oder
 - einer reproduzierenden Duplikation oder Simulation des Bildes oder der Codierung
- basiert.

30

7. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vergleichsverfahren ein

- Schätzverfahren, insbesondere Maximum-Likelihood-Verfahren oder Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate, oder
 - mathematisches Korrelationsverfahren
- 5 verwendet.
8. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Vergleichsverfahren eine radiale Gewichtung von
- 10 Codierungsbestandteilen aufweist.
9. Optoelektronischer Winkelsensor (1a,1b) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Codierung einen
- 15
- sich sowohl in azimuthaler als auch radialer Richtung winkelabhängig verändernden Code (c5) und/oder
 - Inkrementalcode, beispielsweise Siemensstern, und/oder
 - polar verteilten Punktcode (c2,c4) und/oder
 - 20 ▪ Absolutcode (c2') und/oder
 - azimuthal erstreckten Radialcode (c3') als Teilcode aufweist.
10. Verfahren zur Bestimmung eines Drehwinkels um eine
- 25 Achse (6) mit
- einer um die Achse (6) drehbaren Kreisscheibe (2a,2b,2c, 2d,2e,2f,2g,2k) mit einer im Wesentlichen vollflächigen Codierung und
 - einem flächigen photosensitiven
 - 30 Detektor (3a,3b,3g,3h,3i, 3j,3k),
- wobei die Kreisscheibe (2a,2b,2c,2d,2e,2f,2g,2k) und der Detektor (3a,3b,3g,3h,3i,3j,3k) relativ zueinander bewegbar sind,

mit einem

- Erzeugen eines weitgehend vollständigen, insbesondere gesamthaften, auswertbaren Bildes der Codierung auf dem Detektor (3a,3b,3g,3h,3i,3j,3k) derart, dass das Bild eine Information über die Relativposition von Kreisscheibe (2a,2b,2c,2d,2e,2f,2g,2k) und Detektor (3a, 3b,3g,3h,3i,3j,3k) beinhaltet,
- Bereitstellen eines der Codierung zuordenbaren, durch mindestens einen Parameter parametrisch variierbaren elektronischen Referenzmusters,
- Ableiten des Drehwinkels durch Vergleichen von Referenzmuster und Bild und durch Variieren des Parameters.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Referenzmuster
- als mathematisches Modell des Bildes,
 - als mathematisches Modell der Codierung,
 - als algorithmische Beschreibung des Bildes,
 - als algorithmische Beschreibung der Codierung,
 - als das Bild reproduzierende Simulation oder Duplikation, oder
 - als die Codierung reproduzierende Simulation oder Duplikation
- bereitgestellt wird.

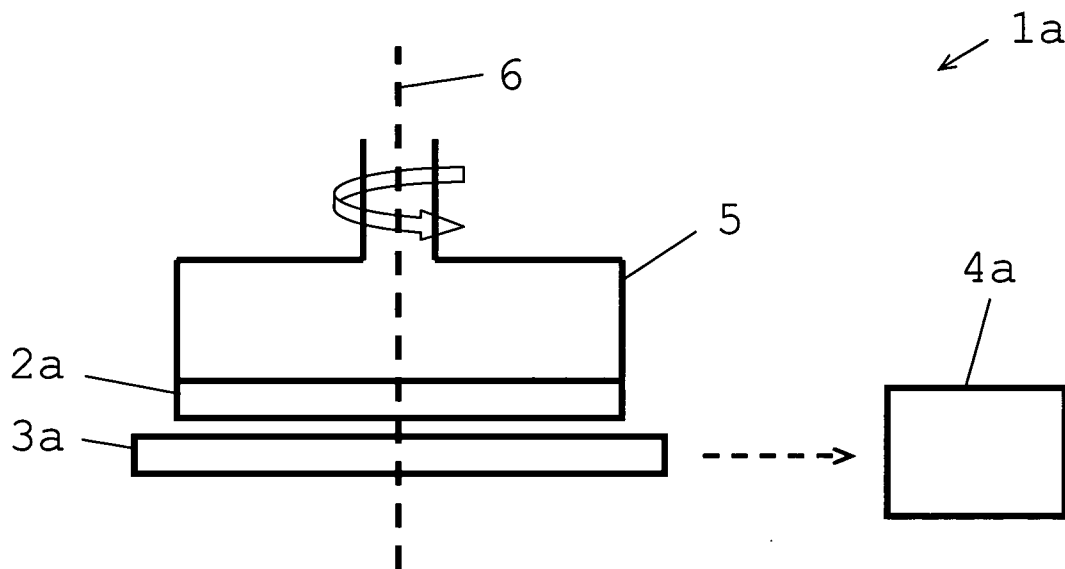
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Vergleichen das Referenzmuster und das Bild digital überlagert werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Ableiten ein

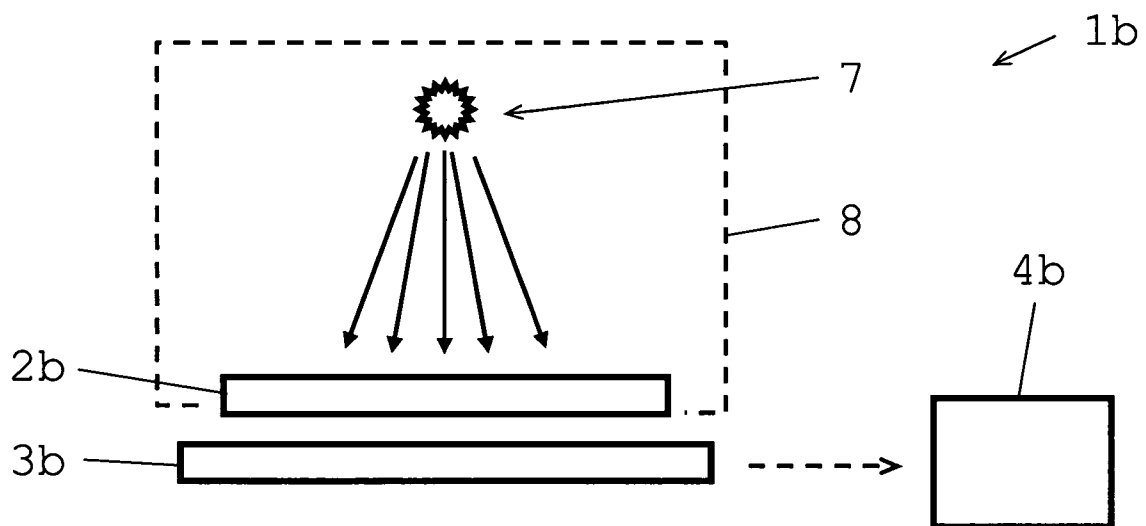
- Schätzverfahren, insbesondere Maximum-Likelihood-Verfahren oder Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate, oder
 - mathematisches Korrelationsverfahren
- 5 angewandt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass**

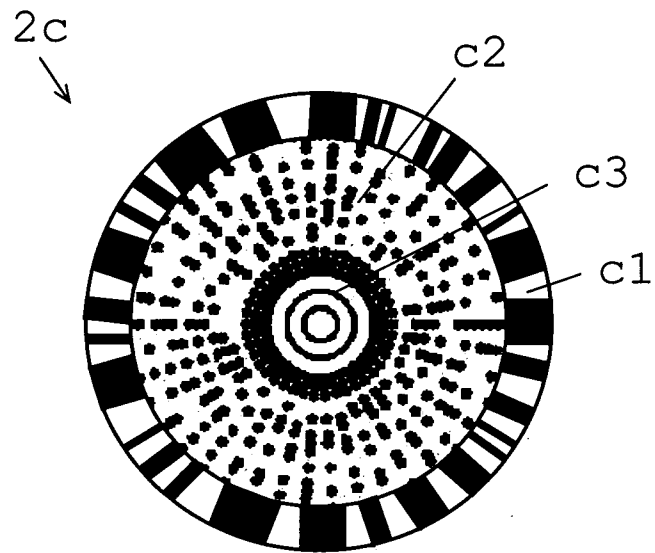
- 10 ▪ als der Parameter ein Referenz-Drehwinkel, der die rotatorische Lage des Referenzmusters zum Abbild beschreibt, gewählt wird,
- eine Parameterschätzung nach dem Maximum-Likelihood-Verfahren durchgeführt wird und
- 15 ▪ der Drehwinkel als der geschätzte Parameter bestimmt wird.



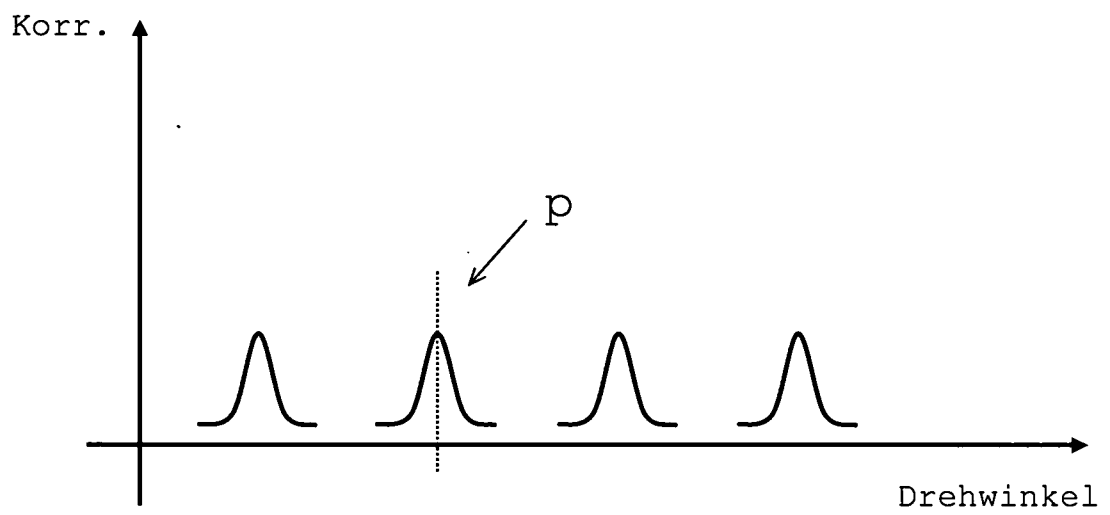
Figur 1A



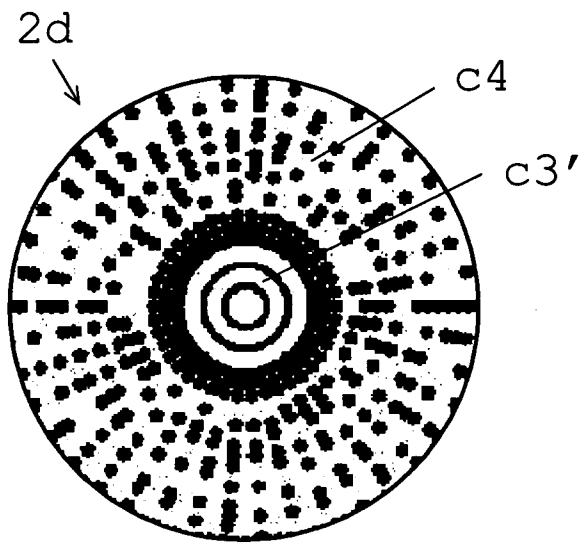
Figur 1B



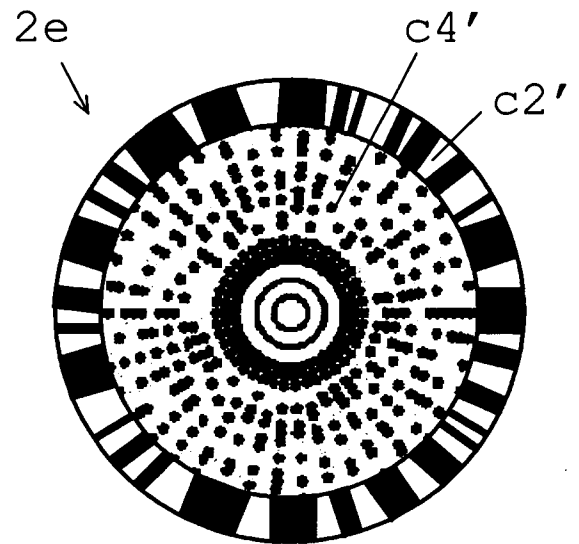
Figur 2A



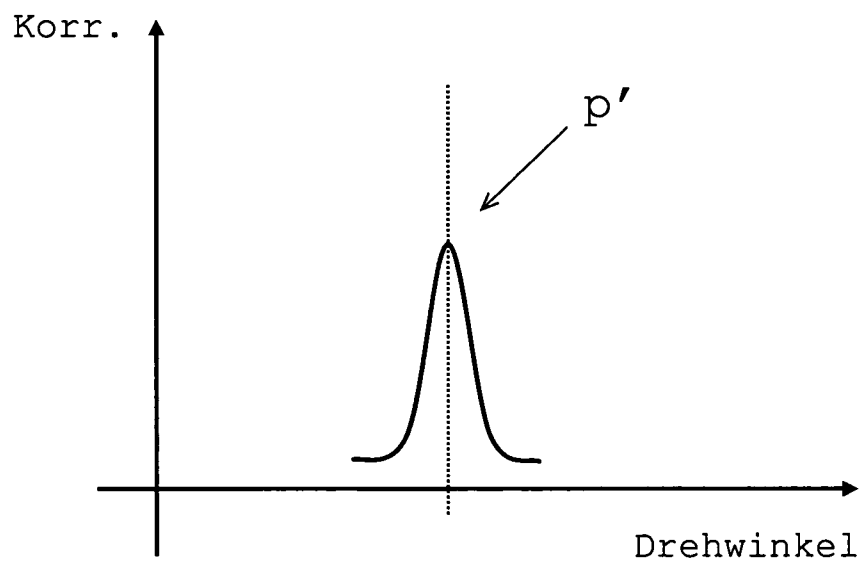
Figur 2B



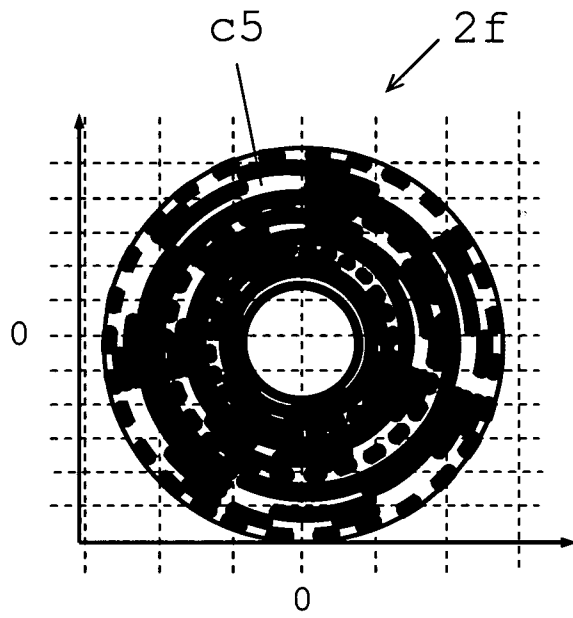
Figur 3A



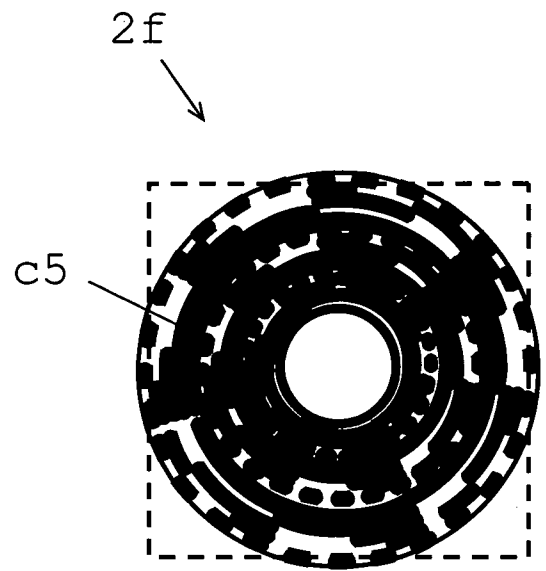
Figur 3B



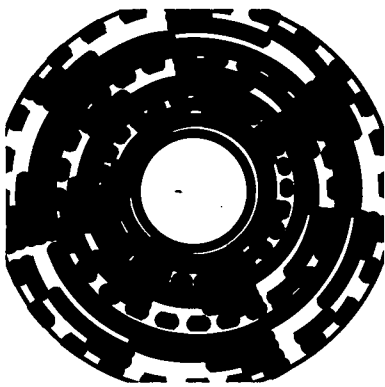
Figur 3C



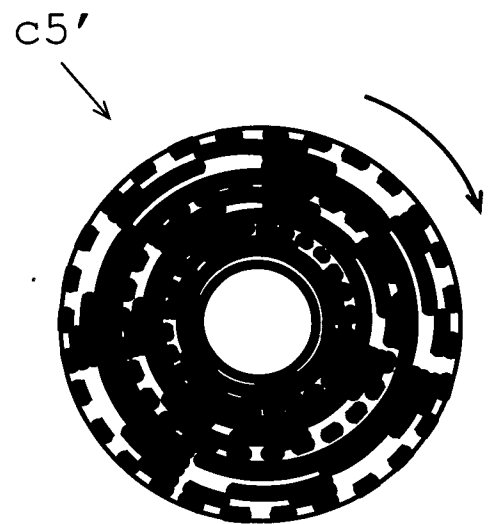
Figur 4A



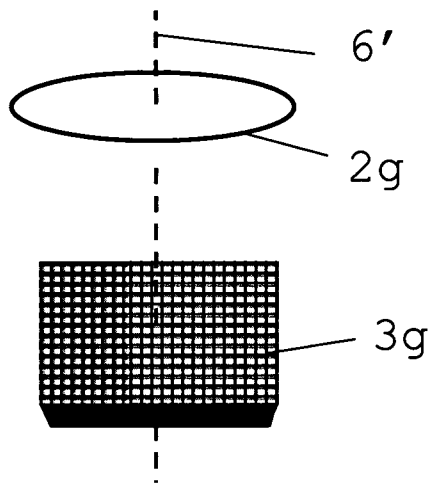
Figur 4B



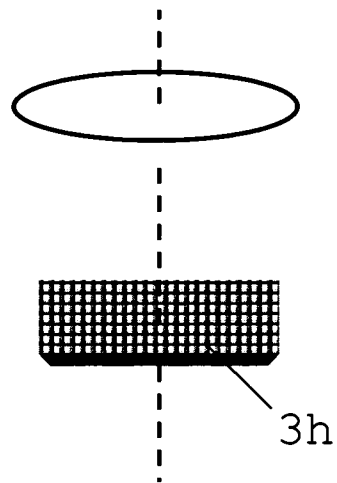
Figur 4C



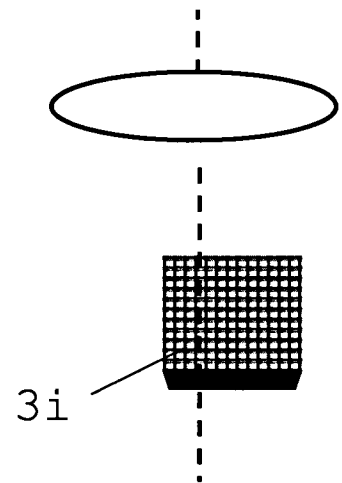
Figur 4D



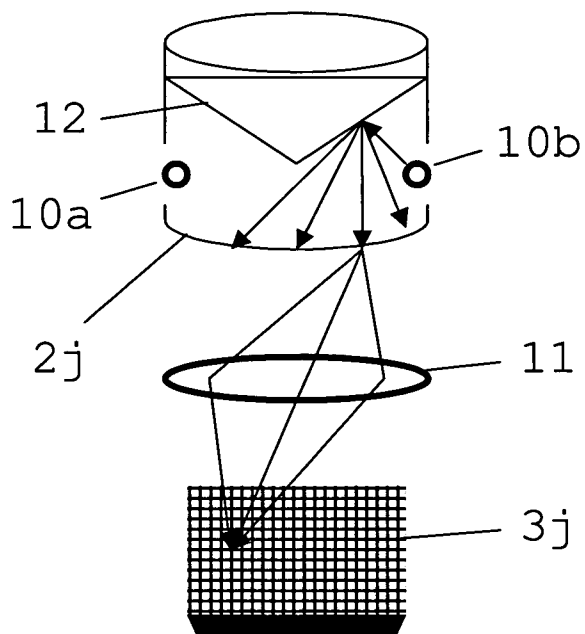
Figur 5A



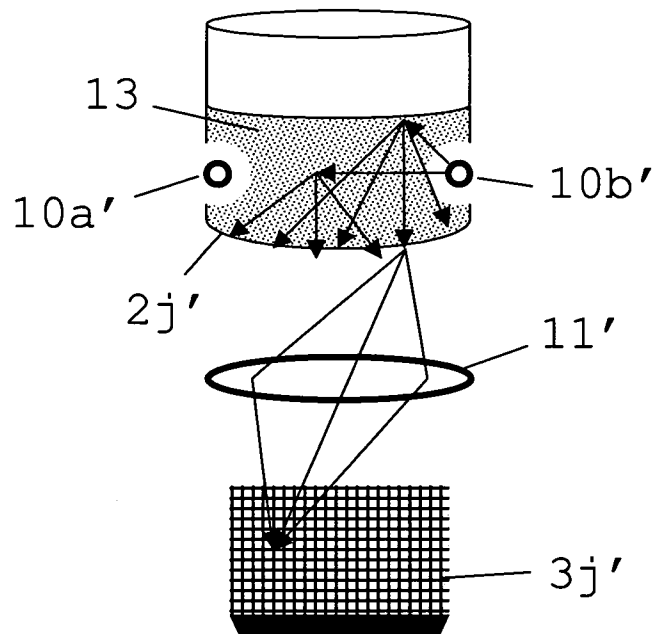
Figur 5B



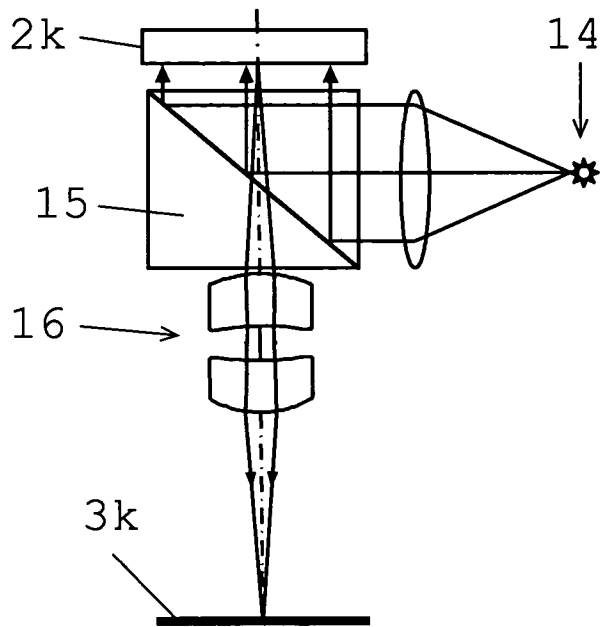
Figur 5C



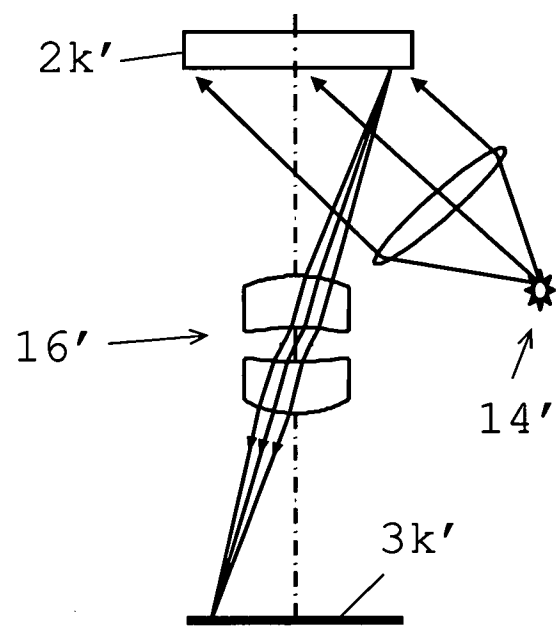
Figur 6A



Figur 6B



Figur 6C



Figur 6D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/007248

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01D5/347

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A | DE 39 24 460 A1 (LITTON PRECISION PROD INT [DE]) 1 February 1990 (1990-02-01) the whole document ----- | 1-14 |
| A | US 3 862 428 A (WATERS JAMES P) 21 January 1975 (1975-01-21) the whole document ----- | 1-14 |
| A | DE 197 50 474 A1 (STEGMANN MAX ANTRIEBSTECH [DE]) 2 June 1999 (1999-06-02) cited in the application the whole document ----- | 1-14 |
| A | US 2005/072912 A1 (MIZUNO SEIICHIRO [JP] ET AL) 7 April 2005 (2005-04-07) the whole document ----- | 1 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 Januar 2008

Date of mailing of the international search report

23/01/2008

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Moulara, Guilhem

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/007248

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|----|---------------------|----------------------------|---------------------|
| DE 3924460 | A1 | 01-02-1990 | NONE | |
| US 3862428 | A | 21-01-1975 | NONE | |
| DE 19750474 | A1 | 02-06-1999 | NONE | |
| US 2005072912 | A1 | 07-04-2005 | WO 2005015132 A1 | 17-02-2005 |

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01D5/347

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETERecherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| A | DE 39 24 460 A1 (LITTON PRECISION PROD INT [DE]) 1. Februar 1990 (1990-02-01) das ganze Dokument ----- | 1-14 |
| A | US 3 862 428 A (WATERS JAMES P) 21. Januar 1975 (1975-01-21) das ganze Dokument ----- | 1-14 |
| A | DE 197 50 474 A1 (STEGMANN MAX ANTRIEBSTECH [DE]) 2. Juni 1999 (1999-06-02) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ----- | 1-14 |
| A | US 2005/072912 A1 (MIZUNO SEIICHIRO [JP] ET AL) 7. April 2005 (2005-04-07) das ganze Dokument ----- | 1 |

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen
 ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

8 Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Januar 2008

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/01/2008

 Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Moulara, Guilhem

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/007248

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| DE 3924460 | A1 | 01-02-1990 | KEINE |
| US 3862428 | A | 21-01-1975 | KEINE |
| DE 19750474 | A1 | 02-06-1999 | KEINE |
| US 2005072912 | A1 | 07-04-2005 | WO 2005015132 A1 17-02-2005 |