



(10) **DE 10 2020 113 675 B4** 2022.03.10

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 113 675.7**
 (22) Anmeldetag: **20.05.2020**
 (43) Offenlegungstag: **25.11.2021**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **10.03.2022**

(51) Int Cl.: **G01B 11/26 (2006.01)**
G01B 11/24 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das
 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
 dieses vertreten durch den Präsidenten der
 Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
 Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:
**Spichtinger, Jan Michael, 38100 Braunschweig,
 DE**

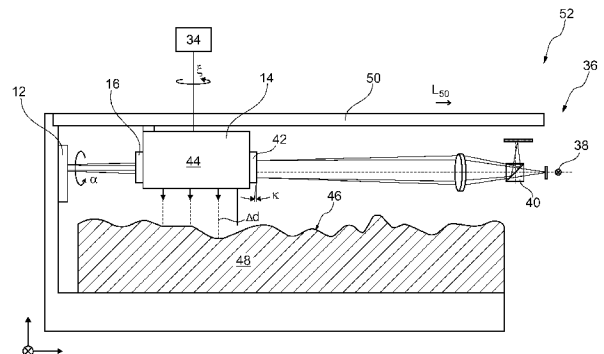
(74) Vertreter:
**Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte
 PartGmbH, 38122 Braunschweig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	101 63 027	A1
DE	199 26 546	A1
DE	10 2011 012 611	A1
US	2007 / 0 008 550	A1
US	2011 / 0 157 599	A1

(54) Bezeichnung: **Autokollimator und Oberflächen-Messsystem**

(57) Hauptanspruch: Autokollimator (36) mit
 (a) einer Autokollimator-Lichtquelle (38) zum Abgeben
 zumindest eines Ausgangs-Lichtstrahls,
 (b) einem Strahlteiler (40),
 (c) einem Spiegel (42) zum Befestigen an einem Objekt (14),
 dessen Nickwinkel (κ) und/oder Gierwinkel (ξ) zu messen
 ist, zum Reflektieren des Ausgangs-Lichtstrahls, sodass
 ein Eingangs-Lichtstrahl entsteht,
 (d) einem Detektor und
 (e) einem Rollwinkelmessgerät (10) mit
 (i) einem Bezugsteil (12),
 (ii) einem Abtriebsteil (14), das relativ zum Bezugsteil (12)
 unter einem Rollwinkel (α) angeordnet ist,
 (iii) einem Bilddetektor (16), der relativ zum Abtriebsteil (14)
 befestigt ist, und
 (iv) einer Lichtquelle (18), die relativ zum Bezugsteil (12)
 befestigt und die ausgebildet ist zum Erzeugen eines Inter-
 ferenzmusters (24) auf dem Bilddetektor (16),
 (f) wobei das Rollwinkelmessgerät (10) angeordnet ist zum
 Messen eines Rollwinkels (α) zwischen dem Spiegel (42)
 und dem Autokollimator (36).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Autokollimator mit einem Rollwinkelmessgerät sowie ein Oberflächen-Messsystem. Bei einem linearbeweglich gelagerten Objekt ist der Rollwinkel der Winkel, um den sich das Objekt bei einer Rotation um die Achse der Richtung der linearen Bewegung dreht. Bei einem nicht-linearbeweglich gelagerten Abtriebsteil beschreibt der Rollwinkel eine Rotation des Abtriebsteils um eine relativ zum Bezugsteil festgelegte Drehachse. Ein derartiges Gerät ist beispielsweise aus der DE 44 21 302 C1 und der US 2010/01419057 A1 bekannt.

[0002] Aus der DE 199 26 546 A1 ist eine Vorrichtung zu hochpräzisen Messungen des Rollwinkels während einer linearen Bewegung eines Körpers bekannt. Am Körper ist ein linearer Polarisator angebracht. Linear polarisierte Strahlung wird auf den Polarisator gerichtet, sodass sie vom Polarisator in seiner Sollposition nicht durchgelassen wird. Die Polarisationsachse der polarisierten Strahlung wird vor dem Auftreffen auf den Polarisator mit einer Frequenz (f) symmetrisch in beide Richtungen hin- und hergedreht und der vom Polarisator durchgelassene Anteil der Strahlung mit der Frequenz detektiert wird.

[0003] Aus der DE 10 2011 012 611 A1 ist eine Vorrichtung zur berührungslosen Messung eines Winkels bekannt. Das Objekt, dessen Lage bestimmt werden soll, wird in einem kollimierten Strahlengang eines Autokollimators angeordnet.

[0004] Eine erste periodische Intensitätsverteilung, die in einer Objektebene des Autokollimators erzeugt wird, wird in einer Bildebene des Autokollimators abgebildet, wobei die Abbildung über eine Reflexion an einer winkelfest an dem Objekt festgelegten Planfläche erfolgt. Durch Überlagern des Bildes der ersten Intensitätsverteilung mit einer zweiten periodischen Intensitätsverteilung entsteht ein Moire-Muster, aus dem der Winkel bestimmt wird.

[0005] Die DE 101 63 027 A1 beschreibt ein Verfahren zur Ermittlung einer Lage eines Objekts. Dazu wird zunächst ein Streifenbild aufgenommen und das Bild fouriertransformiert. Es wird aus der Fouriertransformierten eine Neigungsfrequenz bestimmt und daraus die Neigung abgeleitet.

[0006] Die US 2011/0157 599 A1 beschreibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Einsatzfeldern für Interferenzmuster aus sichtbarem Licht, darunter die Bestimmung der Winkellage zweier Objekte relativ zueinander.

[0007] In der US 2007/0008550 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung des Neigungsgrads beschrieben, bei dem zwei kohärente Wellenfronten auf eine Ziel-

oberfläche projiziert werden. Die Wellenfronten werden von der Zieloberfläche reflektiert und bilden ein Interferenzstreifenmuster auf einem Detektor. Zudem wird ein Strahl auf die Zieloberfläche gerichtet, der reflektiert wird und einen Strahlfleck auf dem Detektor bildet. Aus einer Verschiebung des Strahlflecks auf dem Detektor wird ein nominaler Einfallswinkel bestimmt. Die Neigung der Zieloberfläche relativ zum nominalen Einfallswinkel wird aus der Verschiebung des Strahlflecks und des ermittelten Interferenzstreifenabstands bestimmt.

[0008] Es ist wünschenswert, dass die Rollwinkel-messung mit einer möglichst geringen Messunsicherheit erfolgt. Konkurrierend dazu ist es wünschenswert, dass das Messgerät möglichst einfach aufgebaut ist. Zudem ist es wünschenswert, wenn das Rollwinkelmessgerät möglichst robust ist. Diese Forderungen stehen in einem Zielkonflikt miteinander, da beispielsweise die Robustheit eines Messgeräts in der Regel zu Lasten der erreichbaren Messunsicherheit geht.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen verbesserten Autokollimator vorzuschlagen.

[0010] Die Erfindung löst das Problem durch einen Autokollimator mit den Merkmalen von Anspruch 1.

[0011] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass der Rollwinkel mit einer geringen Messunsicherheit gemessen werden kann. Es ist eine intrinsische Eigenschaft eines Interferenzmusters, insbesondere eines solchen, das aus zwei Quasi-Punktlichtquellen entsteht, dass die Wellenberge und die Wellentäler in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Interferenzmusters ein Streifenmuster aus parallelen Streifen bilden. Der Abstand der Linien ist zudem in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Interferenzmusters stets in hinreichend guter Näherung gleich. In dem Rollwinkelmessgerät des erfindungsgemäßen Autokollimators ist der Abstand in sehr guter Näherung als konstant annehmbar. Diese hohe inhärente Symmetrie des Differenzmusters führt zu einer besonders geringen Messunsicherheit bei der Auswertung.

[0012] Vorteilhaft ist zudem, dass das Interferenzmuster in der Regel vergleichsweise einfach herzustellen ist, sodass ein Rollwinkelsensor vergleichsweise einfach aufgebaut sein kann.

[0013] Durch den in der Regel möglichen einfachen Aufbau ist die Rollwinkel-messung zudem vergleichsweise robust, das heißt, dass eine Änderung der Umweltbedingungen das Messergebnis nur vergleichsweise wenig beeinflusst.

[0014] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung werden unter dem Bezugsteil und dem Abtriebsteil

zwei relativ zueinander bewegliche Objekte verstanden, zwischen denen der Rollwinkel gebildet ist. Es ist unerheblich, welches der Teile als Bezugsteil und welches als Abtriebsteil bezeichnet wird, maßgeblich ist lediglich eine Relativbewegung der beiden zueinander. Der sprachlichen Klarheit wegen wird im Folgenden davon ausgegangen, dass sich das Abtriebsteil bewegt und das Bezugsteil stillsteht. Es ist aber auch möglich, dass sich das Bezugsteil bewegt und das Abtriebsteil feststeht oder dass sich sowohl das Abtriebsteil als auch das Bezugsteil bewegen.

[0015] Günstig ist es, wenn das Bezugsteil und/oder das Abtriebsteil linear geführt sind. In anderen Worten weist das Rollwinkelmessgerät vorzugsweise eine Linearführung auf, das ist aber nicht notwendig. Eine Linearführung ist eine Führung, die auch eine lineare Führung gestattet. Damit ist beispielsweise ein Kreuztisch, der zwei Linearachsen aufweist, ebenfalls eine Linearführung.

[0016] Unter dem Bilddetektor wird insbesondere ein Messgerät verstanden, mittels dem Helligkeits- und/oder Farbunterschiede erfasst werden. Vorzugsweise handelt es sich bei dem Bilddetektor um einen elektrischen Detektor, also einen Bilddetektor, der ein elektrisches Messsignal liefert. Besonders günstig ist es, wenn der Bilddetektor ein CCD- oder CMOS-Detektor ist.

[0017] Unter der Lichtquelle wird eine Struktur verstanden, die beim Betrieb des Rollwinkelmessgeräts Licht abgibt. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass diese Lichtquelle selbst Photonen erzeugt. Insbesondere kann es sich bei der Lichtquelle auch um einen Lichtleiter handeln, der an einer anderen Stelle erzeugtes Licht abgibt.

[0018] Es ist günstig, nicht aber notwendig, wenn das Rollwinkelmessgerät so aufgebaut ist, dass es mit unpolarisiertem Licht betreibbar ist. Günstig ist es, wenn die Lichtquelle (a) eine erste Monomode-Lichtleitfaser, die eine erste Austrittsfläche hat, und (b) eine zweite Monomode-Lichtleitfaser, die eine zweite Austrittsfläche hat, aufweist. Die erste Austrittsfläche und die zweite Austrittsfläche haben vorzugsweise einen Abstand voneinander, der höchstens 6 Millimeter beträgt, vorzugsweise höchstens 3 Millimeter, besonders bevorzugt höchstens 1 Millimeter. Der Abstand bezeichnet dabei die Länge der kürzesten Strecke zwischen den beiden geometrischen Mittelpunkten der Austrittsflächen. Je kleiner der Abstand ist, desto größer ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Wellentälern. Es ist daher günstig, wenn der Abstand der Glasfasern zumindest 8 Mikrometer, insbesondere zumindest 10 Mikrometer beträgt. Als besonders günstig haben sich 125 Mikrometer \pm 50 Mikrometer herausgestellt.

[0019] Vorzugsweise besitzt die Lichtquelle einen Laser und einen Strahlteiler, wobei der Laser mit dem Strahlteiler zum Einspeisen eines Eingangs-Laserstrahls verbunden ist. Der Strahlteiler ist zum Teilen des Eingangs-Laserstrahls in zwei Teil-Laserstrahlen ausgebildet. Der Strahlteiler ist mit den Lichtleitfasern zum Einspeisen der Teil-Laserstrahlen verbunden. Auf diese Weise ist die Lichtquelle vergleichsweise einfach und dennoch robust. Die Wellenlänge λ des Lasers liegt vorzugsweise im sichtbaren Bereich.

[0020] Vorzugsweise besitzt das Rollwinkelmessgerät eine Auswerteeinheit. Diese ist vorzugsweise ausgebildet zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten (i) Erfassen von Interferenzmusterdaten vom Bilddetektor und (ii) Berechnen des Rollwinkels aus den Interferenzmusterdaten aus einem Verdrehungswinkel zwischen dem Interferenzmuster und einer Zeilen-Erstreckungsrichtung von Bildzeilen des Bilddetektors. Es sei darauf hingewiesen, dass die Bildzeilen auch als Bildspalten bezeichnet werden könnten. Es ist grundsätzlich unbeachtlich, welche Erstreckungsrichtung von Pixeln des Bilddetektors als Zeilen und Spalten bezeichnet werden.

[0021] Unter dem Merkmal, dass der Rollwinkel aus den Interferenzmusterdaten aus einem Verdrehungswinkel berechnet wird, wird insbesondere verstanden, dass neben den Interferenzmusterdaten eine Größe zur Berechnung verwendet wird, die den Verdrehungswinkel eindeutig charakterisiert. Der Verdrehungswinkel ist gleich dem Rollwinkel plus einem Offset. Wenn der Offset null ist, entspricht der Verdrehungswinkel dem Rollwinkel. Es ist beispielsweise möglich, dass ein gegenüber dem Winkel zwischen dem Interferenzmuster und einer Zeilen-Erstreckungsrichtung einen Offset aufweisender Winkel verwendet wird.

[0022] Das Rollwinkelmessgerät ist vorzugsweise so aufgebaut, dass das Interferenzmuster seine Lage relativ zur Lichtquelle nicht ändert, wenn sich der Rollwinkel ändert. Besonders günstig ist es, wenn das Rollwinkelmessgerät so ausgebildet ist, dass sich das Interferenzmuster bei einer Änderung des Rollwinkels nicht ändert. Das erleichtert die Auswertung der Interferenzmusterdaten.

[0023] Günstig ist es, wenn die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten (i) Fourier-Transformieren von Bildzeilendaten, sodass eine räumliche Zeilen-Hauptfrequenz und eine Zeilen-Phasenlage erhalten werden, (ii) Wiederholen dieses Schrittes für eine Vielzahl an Zeilen und (iii) Berechnen des Rollwinkels aus den Zeilen-Hauptfrequenzen und Zeilen-Phasenlagen. Unter den Bildzeilendaten werden die Interferenzmusterdaten verstanden, die von

einer Zeile von Pixeln des Bilddetektors aufgenommen sind. Vorzugsweise hat der Bilddetektor zumindest 500 Pixel pro Bildzeile.

[0024] Alternativ oder zusätzlich ist die Auswerteeinheit vorzugsweise ausgebildet zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten (i) Fourier-Transformieren von Bildspaltendaten einer Spalte eines vom Bilddetektor aufgenommenen Bilds, sodass eine räumliche Spalten-Hauptfrequenz und eine Spalten-Phasenlage erhalten werden, (ii) Wiederholen von Schritt (i) für eine Vielzahl an Spalten und (iii) Berechnen des Rollwinkels aus den Spalten-Hauptfrequenzen und Spalten-Phasenlagen.

[0025] Ist der Rollwinkel so groß, dass die Streifen des Interferenzmusters parallel zu den Bildzeilen verlaufen, ist die Berechnung der Zeilen-Hauptfrequenz und der Zeilen-Phasenlage nicht möglich. Allerdings ist dann die Berechnung der Spalten-Hauptfrequenz und der Spalten-Phasenlage besonders gut möglich. Es ist daher möglich, stets den Rollwinkel aus den Spalten-Hauptfrequenzen und Spalten-Phasenlagen sowie den Zeilen-Hauptfrequenzen und Zeilen-Phasenlagen zu bestimmen und daraus das Messergebnis für den Rollwinkel zu berechnen. Beispielsweise wird derjenige Messwert verwendet, für den ein Verdrehungswinkel zwischen dem Interferenzmuster und der jeweiligen Erstreckungsrichtung der Zeilen möglichst groß ist.

[0026] Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen Durchführen einer 2D-Fourier-Transformation der Bilddaten, sodass zwei Hauptfrequenzen erhalten werden, und zum Berechnen des Rollwinkels aus den Hauptfrequenzen.

[0027] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1a eine schematische Zeichnung eines Rollwinkelmessgeräts eines erfindungsgemäßen Autokollimators,

Fig. 1b eine Draufsicht auf ein Rollwinkelmessgerät,

Fig. 2 in der **Fig. 2a** die Bildzeilendaten bezüglich der im rechten Teilbild eingezeichneten Bildzeile und in der **Fig. 2b** ein Interferenzmuster, das von einem Bilddetektor des Rollwinkelmessgeräts gemäß **Fig. 1b** aufgenommen wurde und

Fig. 3 eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Autokollimators und eines erfindungsgemäßen Oberflächen-Messsystems.

[0028] **Fig. 1a** zeigt eine schematische Ansicht eines Rollwinkelmessgeräts 10, das ein Bezugsteil 12 und ein Abtriebsteil 14 aufweist. Ein Bilddetektor 16 in Form eines CCD-Chips ist im Abtriebsteil 14 befestigt, eine Lichtquelle 18, die im vorliegenden Fall zwei Monomode-Lichtleitfasern 20.1, 20.2 aufweist, am Bezugsteil 12.

[0029] Aus der Lichtquelle 18 treten ein erster Teil-Laserstrahl 22.1 und ein zweiter Teil-Laserstrahl 22.2 aus und bilden auf dem Bilddetektor 16 ein in **Fig. 2a** gezeigtes Interferenzmuster 24. Die zwei Teil-Laserstrahlen 22.1, 22.2 existieren nur direkt hinter der Lichtquelle 18 und bilden nach kurzem Weg das Interferenzmuster 24. Die eingezeichneten Strahlen sind die Maxima des Interferenzmusters 24, die sich radial ausbreiten.

[0030] In dem Teilbild der Vergrößerung sind die beiden Monomode-Lichtleitfasern 20.1, 20.2 in Draufsicht gezeigt. Es ist zu erkennen, dass die erste Monomode-Lichtleitfaser 20.1 eine Austrittsfläche A_1 hat, die zweite Monomode-Lichtleitfaser 20.2 eine zweite Austrittsfläche A_2 . Beide Austrittsflächen A_1 , A_2 haben einen Abstand d voneinander. Der Abstand d wird gemessen zwischen den beiden geometrischen Mittelpunkten M_1 , M_2 der jeweiligen Austrittsflächen A_1 , A_2 . Der Abstand d liegt vorzugsweise zwischen 10 bis 500 μm . Im vorliegenden Fall gilt $d = 125$ Mikrometer. Eine Fläche der Austrittsflächen A_1 , A_2 beträgt vorzugsweise $\pi/4 \cdot (2 \mu\text{m})^2 < A_1, A_2 < \pi/4 \cdot (5 \mu\text{m})^2$.

[0031] **Fig. 1b** zeigt eine Ansicht von oben auf ein Rollwinkelmessgerät 10. Die Lichtquelle 18 umfasst im vorliegenden Fall einen Laser 26, der einen Eingangs-Laserstrahl 28 abgibt. Der Eingangs-Laserstrahl 28 fällt auf einen Strahlteiler 30, der daraus die Teil-Laserstrahlen 22.1, 22.2 erzeugt, die mittels der Monomode-Lichtleitfasern 20.1, 20.2 zu den jeweiligen Austrittsflächen A_1 , A_2 geleitet werden. Schematisch eingezeichnet ist der Bilddetektor 16, der hinter einer Optik 32 angeordnet sein kann. Eine Auswerteeinheit 34 ist mit dem Bilddetektor 16 verbunden und erfasst von diesem Interferenzmuster-Daten in Form von Helligkeitsdaten.

[0032] Die Auswerteeinheit ist ausgebildet zum Berechnen eines Rollwinkels α , um den das Abtriebsteil 14 relativ zum Bezugsteil 12 verdreht ist.

[0033] Die **Fig. 1a** und **Fig. 1b** zeigen, dass der Bilddetektor 16 vorzugsweise so angeordnet ist, dass seine Normale N mit einer optischen Achse A einen möglichst kleinen Winkel φ bildet. Vorzugsweise gilt $\varphi = 0^\circ$.

[0034] **Fig. 2a** zeigt das Messergebnis für die in **Fig. 2b** eingezeichnete Bildzeile mit den Pixeln P_i

j_0 . Aufgetragen ist die Helligkeit H über der Pixelnummer n .

[0035] Fig. 2b zeigt das Interferenzmuster 24, wie es vom Bilddetektor aufgenommen wird. Der Bilddetektor 16 weist eine Vielzahl an Pixeln $P_{i,j}$ auf, wobei i und j Laufindices sind. Der Laufindex i zählt dabei die Zeilen Z_i , der Laufindex j die Spalten S_j . Die Pixel einer Zeile P_{i,j_0} mit festem j_0 bilden eine Bildzeile. Die Helligkeitsdaten, die von den Pixeln einer Bildzeile gemessen werden, bilden Bildzeilendaten.

[0036] Die Auswerteeinheit 34 berechnet mittels Fourier-Transformation eine räumliche Zeilen-Hauptfrequenz f_i , die das Streifenmuster beschreibt, und die räumliche Zeilen-Roh-Phasenlage Φ_i des Streifenmusters für jede Zeile i .

[0037] Die Zeilen-Hauptfrequenzen f_i haben die Einheit 1/Pixel. Die Zeilen-Hauptfrequenzen f_i sind für jede Zeile i gleich, es kann aber zu numerischen Abweichungen kommen.

[0038] Da die Zeilen-Roh-Phasenlage Φ_i eine relative Phase ist, also die gesuchte Zeilen-Phasenlage Ψ_i modulo 2π , muss diese entfaltet werden:

$$\Psi_{i+1} = \begin{cases} \Psi_i + \phi_{i+1} & \text{für } |\phi_{i+1} - \phi_i| < \pi \\ \Psi_i + \phi_{i+1} + 2\pi & \text{für } \phi_{i+1} - \phi_i \leq -\pi \\ \Psi_i + \phi_{i+1} - 2\pi & \text{für } \phi_{i+1} - \phi_i \geq \pi \end{cases} \quad (1)$$

[0039] Dabei ist der Anfangswert $\Psi_1 = \phi_1$. So wird für jede Zeile i die Zeilen-Phasenlage Ψ_i erhalten. Nachfolgend wird aus der Zeilen-Phasenlage Ψ_i die Verschiebung der Streifen in Zeile i berechnet als

$$y(i) = \Psi_i * \frac{1}{2\pi \cdot f_i} * d_{\text{Pixel}} \quad (2)$$

[0040] Darin ist d_{Pixel} der Abstand zweier Pixel. Der Abstand d_{Pixel} liegt vorzugsweise zwischen $1 \mu\text{m}$ und $20 \mu\text{m}$. Der Abstand d_{Pixel} muss nicht in Zeilen- und Spaltenrichtung gleich sein, ist es aber typischerweise. Die Koordinate der i -ten Zeile in x -Richtung ist:

$$x(i) = i * d_{\text{Pixel}} \quad (3)$$

[0041] Die Werte $x(i)$ und $y(i)$ werden durch eine Gerade interpoliert

$$y(x) = q + m * x \quad (4)$$

[0042] Aus der Steigung der Streifen m ergibt sich ein Verdrehungswinkel β zwischen dem Interferenzmuster und einer Zeilen-Erstreckungsrichtung zu

$$\gamma = \arctan(\beta) \quad (5)$$

[0043] Aus dem Verdrehungswinkel β und einem Offset-Winkel δ zwischen der Zeilen-Erstreckungsrichtung und dem Null-Rollwinkel $\alpha = 0^\circ$ ergibt sich der Rollwinkel α zu

$$\alpha = \beta - \delta \quad (6)$$

[0044] Wird die gleiche Rechnung für Spalten S_j durchgeführt, ergeben sich Spalten-Hauptfrequenzen f^j und Spalten-Phasenlagen Ψ^j . j ist darin ein hochgestellter Index, kein Exponent.

[0045] Fig. 3 zeigt einen erfindungsgemäßen Autokollimator 36 mit einer Autokollimator-Lichtquelle 38, einem Autokollimator-Strahlteiler 40 sowie einem Spiegel 42 zum Befestigen an einem Objekt, im vorliegenden Fall am Abtriebsteil 14. Im vorliegenden Fall umfasst das Abtriebsteil 14 einen Topographie-Sensor 44 zum Messen einer Abstandsänderung Δd vom Topographie-Sensor 44 zu einer Oberfläche 46 eines Prüflings 48. Das Abtriebsteil 14 ist an einer Linearführung 50 geführt, die sich in eine Längsrichtung L_{50} erstreckt. Mittels des Autokollimators 36 kann ein Nickwinkel κ zwischen der Längsrichtung L_{50} und einer Ausgleichsebene durch den Spiegel 42 bestimmt werden. Der Autokollimator 36 ist Teil eines Oberflächen-Messsystems 52, dessen Auswerteeinheit 34 ausgebildet ist zum Berechnen der Topographie, also des Höhenprofils, der Oberfläche 46 aus den Messdaten für die Abstandsänderung Δd .

Bezugszeichenliste

10	Rollwinkelmessgerät
12	Bezugsteil
14	Objekt, Abtriebsteil
16	Bilddetektor
18	Lichtquelle
20	Monomode-Lichtleitfaser
22	Teil-Laserstrahl
24	Interferenzmuster
26	Laser
28	Eingangs-Laserstrahl
30	Strahlteiler
32	Optik
34	Auswerteeinheit
36	Autokollimator
38	Autokollimator-Lichtquelle
40	Autokollimator-Strahlteiler
42	Spiegel
44	Topographie-Sensor

46	Oberfläche	Abtriebsteil (14) befestigt ist, und
48	Prüfling	(iv) einer Lichtquelle (18), die relativ zum Bezugsteil (12) befestigt und die ausgebildet ist zum Erzeugen eines Interferenzmusters (24) auf dem Bilddetektor (16),
50	Linearführung	(f) wobei das Rollwinkelmessgerät (10) angeordnet ist zum Messen eines Rollwinkels (α) zwischen dem Spiegel (42) und dem Autokollimator (36).
52	Oberflächen-Messsystem	
α	Rollwinkel	
β	Verdrehungswinkel	
φ	Winkel zwischen optischer Achse und Normale	
κ	Nickwinkel	
ξ	Gierwinkel	
Ψ_i	Zeilen-Phasenlage der i-ten Zeile	
A_1, A_2	Antriebsfläche	
A	optische Achse	
d	Abstand	
d_{Pixel}	Abstand zweier Pixel	
Δd	Abstandsänderung	
f_i	Hauptfrequenz der i-ten Zeile	
f_j	Hauptfrequenz der j-ten Spalte (j ist Index, nicht Exponent)	
H	Helligkeit	
i	Laufindex	
j	Laufindex	
L_{50}	Längsrichtung	
M	Mittelpunkt	
N	Normale	
n	Pixelnummer	
$P_{i,j}$	Pixel	
S_j	Spalte	
Z_i	i-te Zeile	

Patentansprüche

1. Autokollimator (36) mit
 (a) einer Autokollimator-Lichtquelle (38) zum Abgeben zumindest eines Ausgangs-Lichtstrahls,
 (b) einem Strahlteiler (40),
 (c) einem Spiegel (42) zum Befestigen an einem Objekt (14), dessen Nickwinkel (κ) und/oder Gierwinkel (ξ) zu messen ist, zum Reflektieren des Ausgangs-Lichtstrahls, sodass ein Eingangs-Lichtstrahl entsteht,
 (d) einem Detektor und
 (e) einem Rollwinkelmessgerät (10) mit
 (i) einem Bezugsteil (12),
 (ii) einem Abtriebsteil (14), das relativ zum Bezugsteil (12) unter einem Rollwinkel (α) angeordnet ist,
 (iii) einem Bilddetektor (16), der relativ zum

2. Autokollimator (36) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquelle (18)
 (a) eine erste Monomode-Lichtleitfaser (20.1), die eine erste Austrittsfläche (A_1) hat, und
 (b) eine zweite Monomode-Lichtleitfaser (20.2), die eine zweite Austrittsfläche (A_2) hat, aufweist, und dass
 (c) die erste Austrittsfläche (A_1) einen Abstand (d) von der zweiten Austrittsfläche (A_2) hat, der höchstens 6000 μm beträgt.

3. Autokollimator (36) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquelle (18)
 (a) einen Laser (26) und
 (b) einen Strahlteiler (30) aufweist,
 (c) wobei der Laser (26) mit dem Strahlteiler (30) zum Einspeisen eines Eingangs-Laserstrahls (28) verbunden und zum Teilen des Eingangs-Laserstrahls (28) in zwei Teil-Laserstrahlen (22.1, 22.2) ausgebildet ist und wobei der Strahlteiler (30) mit den Lichtleitfasern (20.1, 20.2) zum Einspeisen der Teil-Laserstrahlen (22) verbunden ist.

4. Autokollimator (36) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Auswerteeinheit (34), die ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten:
 (i) Erfassen von Interferenzmusterdaten vom Bilddetektor (16) und
 (ii) Berechnen des Rollwinkels (α) aus den Interferenzmusterdaten aus einem Verdrehungswinkel (β) zwischen dem Interferenzmuster (24) und einer Zeilen-Erstreckungsrichtung von Bildzeilen des Bilddetektors (16).

5. Autokollimator (36) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (34) ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten:
 (i) Fourier-Transformieren von Bildzeilendaten, sodass eine räumliche Zeilen-Hauptfrequenz (f_i) und eine Zeilen-Phasenlage (Ψ_i) erhalten werden,
 (ii) Wiederholen von Schritt (i) für eine Vielzahl an Zeilen (Z_i) und
 (iii) Berechnen des Rollwinkels (α) aus den Zeilen-Hauptfrequenzen und Zeilen-Phasenlagen (Ψ_i).

6. Autokollimator (36) nach einem der Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die

Auswerteeinheit (34) ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten

- (i) Fourier-Transformieren von Bildspaltendaten einer Spalte (S_j) eines vom Bilddetektor (16) aufgenommenen Bilds, sodass eine räumliche Spalten-Hauptfrequenz (f_j) und eine Spalten-Phasenlage erhalten werden,
- (ii) Wiederholen von Schritt (i) für eine Vielzahl an Spalten (S_j) und
- (iii) Berechnen des Rollwinkels (α) aus den Spalten-Hauptfrequenzen (f_j) und Spalten-Phasenlagen (Ψ_j).

7. Autokollimator (36) nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (34) ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten

- (i) 2D-Fourier-Transformieren der Interferenzmusterdaten, sodass zwei Hauptfrequenzen erhalten werden, und
- (ii) Berechnen des Rollwinkels (α) aus den Hauptfrequenzen.

8. Oberflächen-Messsystem (52) zum Vermessen einer Oberfläche (46) eines Prüflings (48), mit

- (a) einem Topografie-Sensor zum Messen einer Abstandsänderung (Δd) vom Topografie-Sensor zu einer Oberfläche (46) eines Prüflings (48),
- (b) einer Führung zum geführten Bewegen des Topografie-Sensors und
- (c) einem Autokollimator (36) nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

PI/bro

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

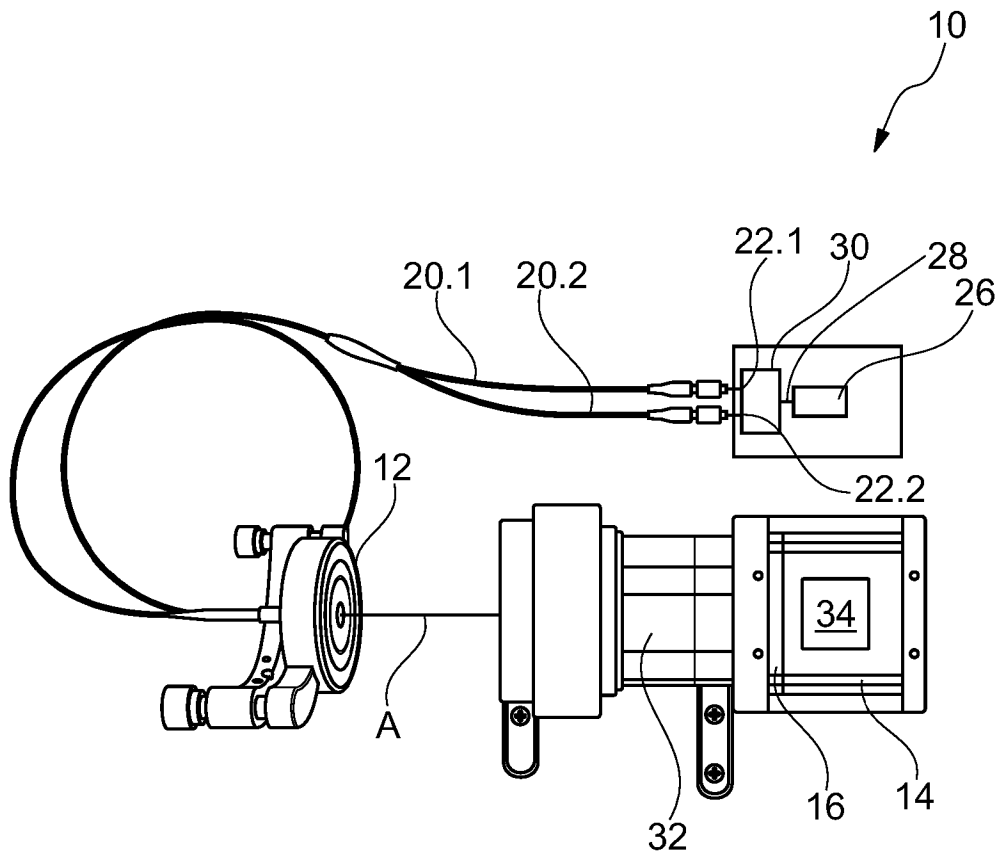
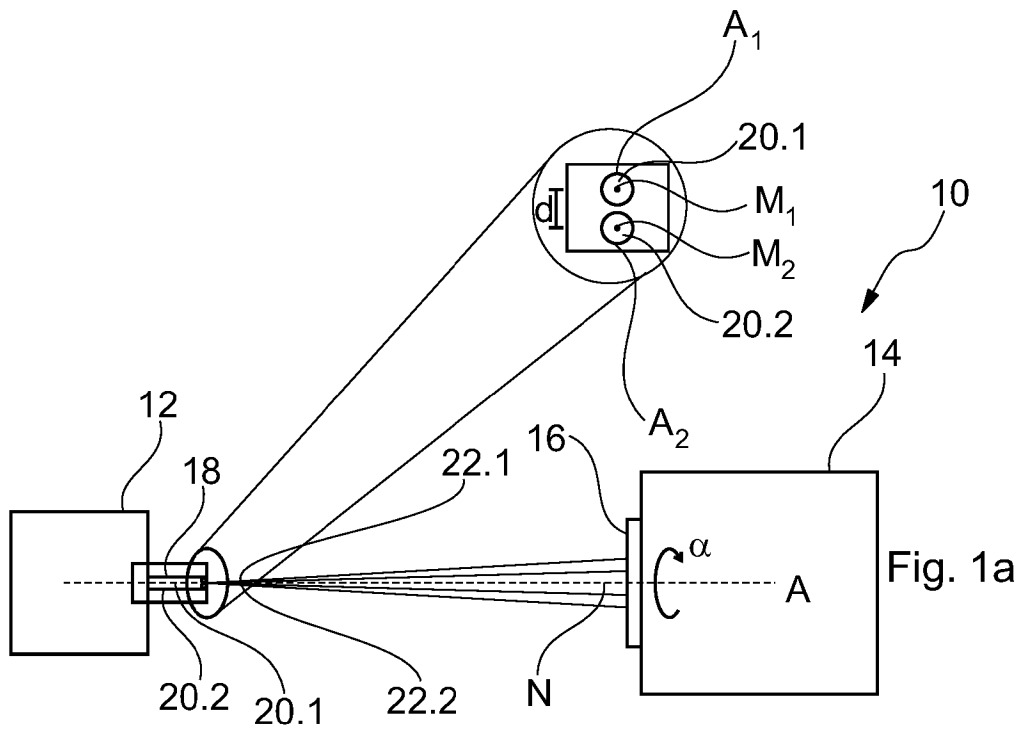


Fig. 1b

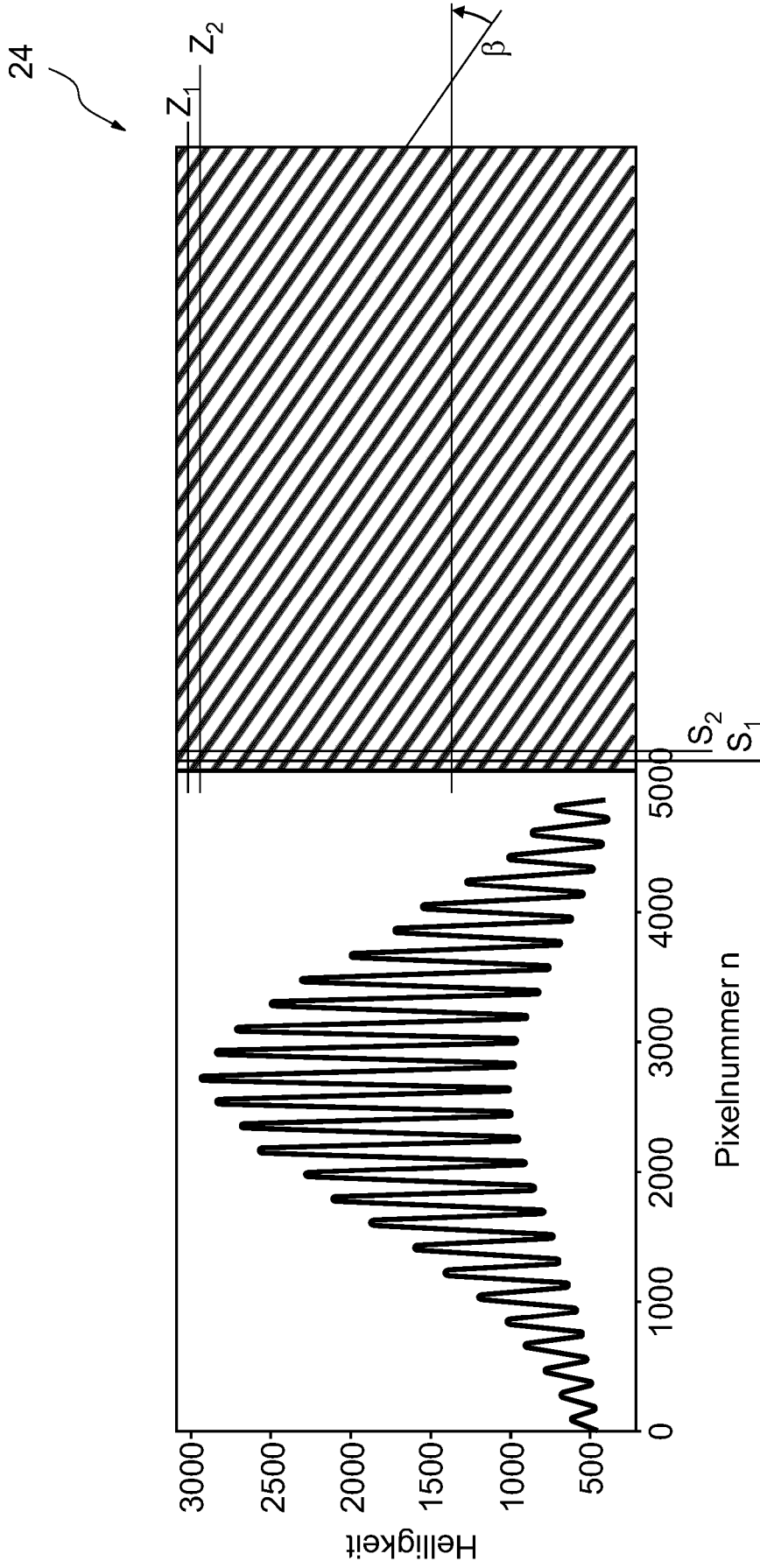


Fig. 2a

Fig. 2b

Fig. 2

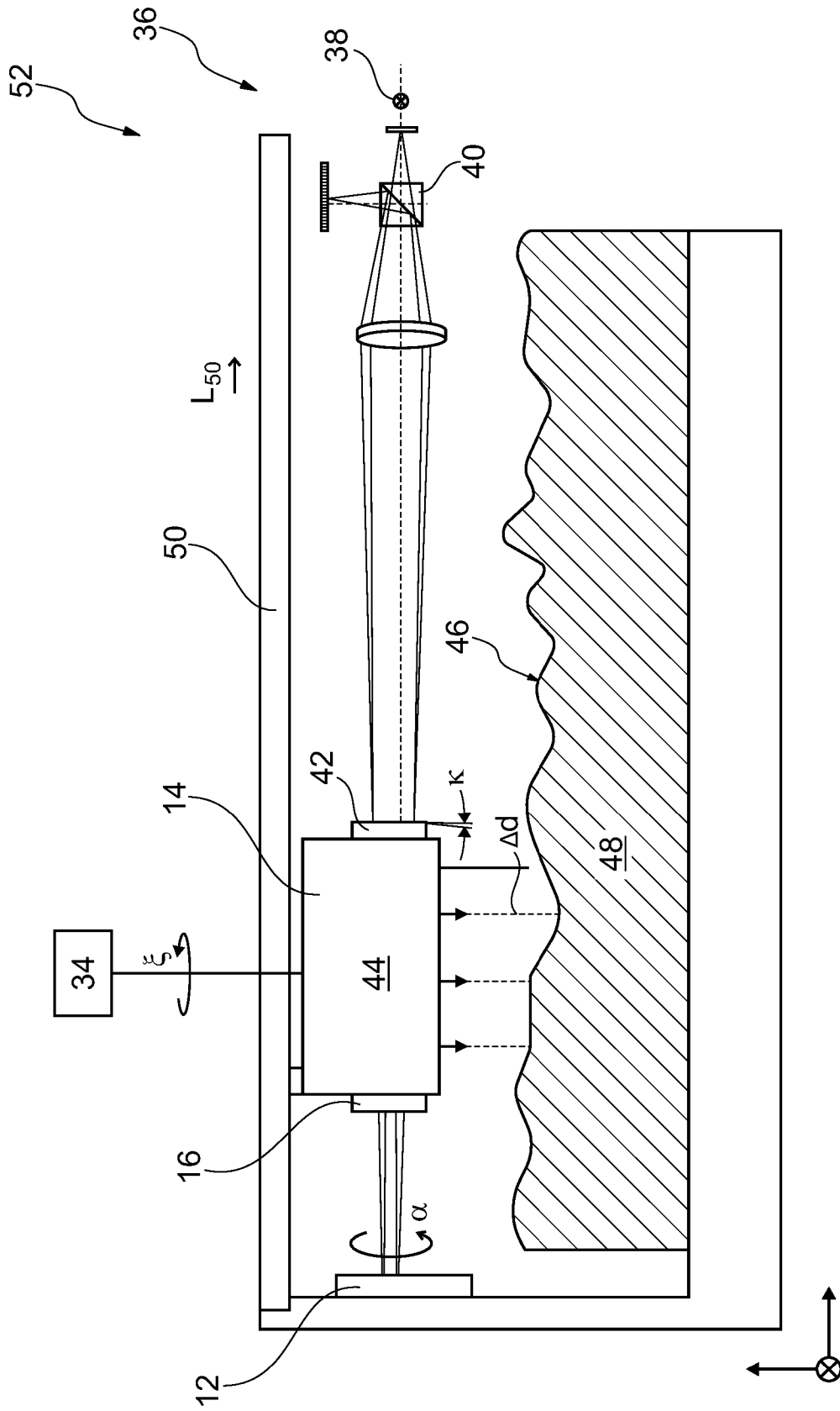


Fig. 3