



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 102 959.4**

(22) Anmeldetag: **05.02.2020**

(43) Offenlegungstag: **05.08.2021**

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

G01B 9/02 (2006.01)

G01B 11/26 (2006.01)

(71) Anmelder:

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

(74) Vertreter:

**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig,
DE**

(72) Erfinder:

Schulz, Michael, Dr., 38550 Isenbüttel, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

JP 2000- 88 551 A

**Li R., Konyakhin I., Zhang Q., Cui W., Wen D.,
Zou X., Guo J., Liu Y., Error compensation for
long-distance measurements with a photoelectric
autocollimator," Opt. Eng. 58(10), 104112 (2019),
doi: 10.1117/1.OE.58.10.104112.**

**Li R., Zhou, M., Konyakhin I., Di K., Lu Y.,
Gou J., Liu Y., Cube-corner autocollimator with
expanded measurement range, Opt. Express 27
(5), 6389–6403 (2019)**

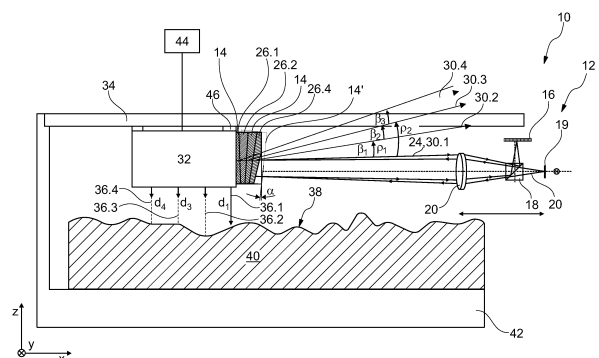
**Yuan J., Long X., CCD-area-based
autocollimator for precision small-angle
measurement, Review of Scientific Instruments
74, 3, Seiten 1362-1365 (2003) [https://doi.org/
10.1063/1.1539896](https://doi.org/10.1063/1.1539896)**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Oberflächen-Messsystem zum Vermessen einer Oberfläche eines Prüflings**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Oberflächen-Messsystem zum Vermessen einer Oberfläche (38) eines Prüflings (40), mit (a) einem Topografie-Sensor (32) zum Messen einer Abstandsänderung (Δd_j) vom Topografie-Sensor (32) zur Oberfläche (38) des Prüflings (40) und (b) einer Führung (34) zum geführten Bewegen des Topografie-Sensors (32), zeichnet sich dadurch aus, dass (c) ein Autokollimator (10), der (i) einen Spiegel (14) aufweist, der relativ zum Topografie-Sensor (32) befestigt ist, (ii) ausgebildet ist zum Abgeben eines Ausgangs-Lichtstrahls (20) und (iii) angeordnet ist zum Messen eines Kippwinkels (α) des Topografie-Sensors (32). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass (iv) der Spiegel (14) ausgebildet ist zum Reflektieren von zumindest zwei diskreten Teil-Lichtstrahlen (30.1, 30.2) unter unterschiedlichen Reflexionswinkeln (ρ_1, ρ_2) beim Bestrahlen mit dem Lichtstrahl (20).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Oberflächen-Messsystem zum Vermessen einer Oberfläche eines Prüflings, mit (a) einem Topografie-Sensor, insbesondere einer Interferometereinheit, zum Messen einer Abstandsänderung von dem Topografie-Sensor zur Oberfläche des Prüflings und (b) einer Führung zum Bewegen des Topografie-Sensors. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Vermessen einer Oberfläche eines Prüflings.

[0002] Es ist bekannt, die Topografie der Oberfläche eines glatten Prüflings dadurch zu messen, dass ein Topografie-Sensor mittels einer Führung entlang der Oberfläche des Prüflings bewegt wird. Wird eine Interferometereinheit verwendet, dient die Oberfläche als Spiegel, die das Licht von der Interferometereinheit reflektiert. Für jede Position kann damit der Abstand zwischen der Oberfläche des Prüflings und dem Topografie-Sensor bestimmt werden. Aus einer Vielzahl derartiger Messungen wird dann die Topografie der Oberfläche rekonstruiert.

[0003] Wird im Folgenden von der Interferometereinheit gesprochen, so ist stets auch allgemein ein Topografie-Sensor gemeint, sofern es nicht um für Interferometereinheiten spezifische Eigenschaften geht.

[0004] Ist die Oberfläche makroskopisch gekrümmt, so muss der Topografie-Sensor gekippt werden, da anderenfalls der Messbereich des Topografie-Sensors verlassen wird und/oder es zu einem Messfehler kommt. Ist der Topografie-Sensor beispielsweise eine Interferometereinheit, werden die ausgehenden Lichtstrahlen nicht mehr so zurückreflektiert, dass sie zur Interferenz gebracht werden können. Der Kippwinkel muss mit einer geringen Messunsicherheit gemessen werden, da ansonsten die Topografie nur mit einer hohen Messunsicherheit erfasst werden kann. Es hat sich als nachteilig herausgestellt, dass derartige Oberflächen-Messsysteme solche Prüflinge nur schlecht vermessen werden können, bei denen die Normalen-Vektoren auf die Oberfläche in einem zu großen Winkelintervall liegen, das beispielsweise mehr als 5° umfasst.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

[0006] Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Oberflächen-Messsystem, das einen Autokollimator aufweist, der einen Spiegel besitzt, der relativ zum Topografie-Sensor befestigt ist, der ausgebildet ist zum Abgeben eines Ausgangs-Lichtstrahls und der angeordnet ist zum Messen eines Kippwinkels des Topografie-Sensors, insbesondere der Interferometereinheit, wobei der Spiegel ausgebildet ist zum Reflektieren von zumindest zwei diskreten Teil-Lichtstrahlen unter unterschiedlichen Re-

flexionswinkeln beim Bestrahlen mit dem Ausgangs-Lichtstrahl. In anderen Worten ist der Spiegel multi-reflektierend.

[0007] Die Erfindung löst das Problem zudem durch ein computergeneriertes Hologramm, das so ausgebildet ist, dass es beim Bestrahlen mit einem einfallenden Laserstrahl zumindest drei Ausgangs-Lichtstrahlen reflektiert, wobei ein Versatzwinkel zwischen zwei Teil-Lichtstrahlen zumindest $0,05^\circ$, insbesondere zumindest $0,1^\circ$ beträgt und/oder höchstens 3° , insbesondere höchstens 1° , beträgt.

[0008] Die Erfindung löst das Problem zudem durch ein Verfahren zum Vermessen einer Oberfläche eines Prüflings mit den Schritten (a) Messen einer Abstandsänderung von einem Topografie-Sensor zur Oberfläche des Prüflings mittels des Topografie-Sensors, (b) Bewegen des Topografie-Sensors mittels einer Führung und (c) Messen eines Kippwinkels des Topografie-Sensors mittels eines Autokollimators, der einen Spiegel aufweist, der relativ zum Topografie-Sensor befestigt ist. Der Spiegel ist dabei ausgebildet zum Reflektieren von zumindest zwei diskreten Teil-Lichtstrahlen unter unterschiedlichen Reflexionswinkeln beim Bestrahlen mit genau einem Lichtstrahl.

[0009] Der Erfindung liegt die Überlegung zugrunde, dass ein Autokollimator nur einen begrenzten Winkelmessbereich besitzt. Im Winkelmessbereich liegen all diejenigen zum Ausgangs-Lichtstrahl gemessenen Winkel, unter denen ein Eingangs-Lichtstrahl in den Autokollimator eintreten kann, um den Kippwinkel relativ zu einem Ausgangs-Lichtstrahl zu messen.

[0010] Der Ausgangs-Lichtstrahl wird vom Autokollimator abgestrahlt und trifft auf den Spiegel. Der Eingangs-Lichtstrahl ist der Lichtstrahl, der vom Spiegel reflektiert wird und in den Autokollimator zurückfällt. Ist der Kippwinkel zu groß, verlässt der Eingangs-Lichtstrahl den Winkelmessbereich und der Kippwinkel kann nicht mehr gemessen werden.

[0011] Durch den Spiegel, der als multireflektierend bezeichnet werden kann, und zumindest zwei diskrete Teil-Lichtstrahlen unter unterschiedlichen Reflexionswinkeln reflektiert, wenn er genau mit einem Lichtstrahl bestrahlt wird, wird erreicht, dass stets zumindest ein Teil-Lichtstrahl im Winkelmessbereich in den Autokollimator eintritt. Auf diese Weise wird der Kippwinkelmessbereich, in dem der Kippwinkel liegen muss, um vom Autokollimator gemessen zu werden, deutlich vergrößert werden, ohne dass der Winkelmessbereich vergrößert werden muss.

[0012] Der zweite Teil-Lichtstrahl (und weitere Teil-Lichtstrahl) hat gegenüber dem ersten einen Winkelversatz, der entweder mit dem Autokollimator be-

stimmt werden kann, wenn beide Teil-Lichtstrahlen auf dessen Detektorkamera ankommen oder aus Vorwissen gekannt sein kann. Verschwenkt man den Spiegel, kann man mitzählen, der wievielte Teil-Lichtstrahl gerade auf dem Detektor sichtbar ist. Der Winkelversatz wird durch den Versatzwinkel gemessen.

[0013] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Topografie-Sensor insbesondere ein Abstandsmessgerät verstanden, mittels dem Abstandsmessdaten aufgenommen werden können, die den jeweiligen Abstand des Topografie-Sensors oder eines Punkts auf dem Topografie-Sensor, von der zu vermessenden Oberfläche angeben.

[0014] Der Topografie-Sensor kann beispielsweise eine Interferometereinheit, ein chromatisch-konfokaler Sensor oder ein kapazitiver Sensor sein.

[0015] Unter der Interferometereinheit wird insbesondere eine Vorrichtung verstanden, die ausgebildet ist zum interferometrischen Messen eines Abstands zwischen der Interferometereinheit und der Oberfläche des Prüflings. Insbesondere ist die Interferometereinheit vorzugsweise so aufgebaut, dass die Oberfläche des Prüflings einen von der Interferometereinheit ausgesandten Interferometer-Messstrahl reflektiert.

[0016] Wird ein kapazitiver Sensor verwendet, ist es günstig, wenn der Prüfling eine elektrisch leitfähige Oberfläche hat.

[0017] Unter der Führung zum Bewegen des Topografie-Sensors wird insbesondere eine Linearführung verstanden. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die Führung eine zweidimensionale Führung ist, das heißt, dass der Topografie-Sensor in einer Ebene, also in zwei räumlichen Freiheitsgraden positioniert werden kann. Insbesondere ist es auch möglich, dass der Topografie-Sensor eine 1D-Linearführung ist. Grundsätzlich ist es möglich, dass die Führung auch eine nicht geradlinige Führung ist, in der Regel führt das aber zu einer erhöhten Messunsicherheit.

[0018] Vorzugsweise ist der Spiegel ausgebildet zum Reflektieren von mindestens drei, insbesondere vier, besonders vorzugsweise zumindest fünf, Teil-Lichtstrahlen. Vorzugsweise ist der Spiegel ausgebildet zum Reflektieren von höchstens einhundert Teil-Lichtstrahlen. Die Winkelstufung kann auch in zwei zueinander senkrechte Richtungen ausgebildet sein. Der Spiegel kann wegen seiner Eigenschaft, bei einem einfallenden Laserstrahl mehrere Lichtstrahlen zurück zu reflektieren, als Multi-Spiegel bezeichnet werden.

[0019] Jeder Teil-Lichtstrahl wird unter einem Reflexionswinkel reflektiert. Der Reflexionswinkel wird re-

lativ zum auf den Spiegel fallenden Lichtstrahl, in der Regel also den Ausgangs-Lichtstrahl, gemessen.

[0020] Zwei Teil-Lichtstrahlen bilden miteinander einen Versatzwinkel. Es sei darauf hingewiesen, dass der Versatzwinkel für jeden Teil-Lichtstrahl zu jeweils dem Teil-Lichtstrahl bestimmt wird, dessen Reflexionswinkel kleiner ist und für den sich der kleinste Versatzwinkel ergibt. In diesem Sinne wird der Versatzwinkel zwischen benachbarten Teil-Lichtstrahl gemessen.

[0021] Es sei darauf hingewiesen, dass es sinnvoll, nicht aber notwendig ist, dass die Versatzwinkel so gemessen, definiert oder angegeben werden. Maßgeblich ist lediglich, dass die im Rahmen dieser Beschreibung angegebenen Beziehungen erfüllt sind, wenn die angegebene Definition verwendet wird.

[0022] Unter dem Merkmal, dass die Teil-Lichtstrahlen diskret sind, wird insbesondere verstanden, dass sie vom Autokollimator als unterschiedliche Lichtstrahlen identifizierbar sind.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform hat der Autokollimator einen Winkelmessbereich, der eine Winkelmessbereichsbreite hat. Vorzugsweise ist der Spiegel so ausgebildet, dass ein Versatzwinkel zwischen zwei Teil-Lichtstrahlen höchstens der Winkelmessbereichsbreite entspricht. Wird der Kippwinkel so groß, dass ein Winkel, unter dem ein Teil-Lichtstrahl in den Autokollimator einfällt, an den Rand des Winkelmessbereichs kommt, so tritt ein anderer Teil-Lichtstrahl in den Autokollimator ein. Der Kippwinkel kann dann anhand dieses zweiten Teil-Lichtstrahls gemessen werden.

[0024] Es ist darauf hingewiesen, dass es möglich, nicht aber notwendig ist, dass stets genau zwei Teil-Lichtstrahlen von einem Detektor des Autokollimators erfasst werden. Es ist insbesondere möglich, dass - zumindest für manche Kippwinkel - drei oder sogar mehr Teil-Lichtstrahlen vom Detektor des Autokollimators erfasst werden.

[0025] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der Spiegel ein erstes planes Spiegelement und zumindest ein zweites planes Spiegelement, das gegenüber dem ersten Spiegelement verkippt ist. Ändert sich der Kippwinkel, so ändert sich das Spiegelement, das den einfallenden Lichtstrahl reflektiert.

[0026] Alternativ oder zusätzlich umfasst der Spiegel zumindest zwei keilförmige Reflektorelemente, die jeweils eine erste Reflektorelementfläche und eine zweite Reflektorelementfläche haben, die einen Keilwinkel beeinflussen. Dieser Keilwinkel ist vorzugsweise kleiner als die Winkelmessbereichsbreite. Al-

ternativ oder zusätzlich ist es günstig, wenn der Keilwinkel zwischen $0,5^\circ$ und $2,5^\circ$ liegt.

[0027] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist der Multi-Spiegel durch ein computergeneriertes Hologramm realisiert. Dieses bildet die Funktion der klassischen Keilanordnung optisch nach. Derartige Hologramme werden beispielsweise mittels eines Lasers in ein transparentes Element, insbesondere ein Glaselement, eingebracht. Vorzugsweise weist der Spiegel ein transparentes Element, insbesondere Glaselement auf, in das eine Beugungsmaske eingebracht ist, sodass das Hologramm entsteht.

[0028] Damit die Messunsicherheit möglichst wenig von einer Temperatur des Spiegels abhängt, ist es günstig, wenn das transparente Element aus einem Material besteht, dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient einen Nulldurchgang hat. Besonders günstig ist, wenn dieser Nulldurchgang bei einer Temperatur zwischen 0° und 40° liegt.

[0029] Vorzugsweise umfasst das Oberflächen-Messsystem eine Auswerteeinheit, die eingerichtet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten (i) Erfassen des Reflexionswinkels des zumindest einen Teil-Lichtstrahls, der in den Autokollimator einfällt, (ii) Erfassen eines Kippwinkelmesswerts mittels des Autokollimators und (iii) Berechnen des Kippwinkels aus dem Reflexionswinkel und dem Kippwinkelmesswert.

[0030] Beispielsweise kann der Grob-Kippwinkel aus den zuvor gemessenen Kippwinkeln bestimmt werden. Ist nämlich der Kippwinkel zu Beginn der Messung bekannt, beispielsweise null, so ist auch bekannt, welcher der Teil-Lichtstrahlen zum Bestimmen des Kippwinkels verwendet wird. Da die Versatzwinkel der Teil-Lichtstrahlen untereinander bekannt sind, kann aus dem zuletzt gemessenen Kippwinkel bestimmt werden, welcher Teil-Lichtstrahl oder welche Teillichtstrahlen vom Autokollimator erfasst werden.

[0031] Die Versatzwinkel liegen gemäß einer bevorzugten Ausführungsform zwischen $0,05^\circ$, insbesondere $0,1^\circ$ und 3° , insbesondere 1° .

[0032] Der Kippwinkelmesswert wird wie bei Autokollimatoren üblich erfasst, beispielsweise durch Ermitteln derjenigen Position, unter der der zumindest eine Teil-Lichtstrahl auf einen Detektor des Autokollimators, beispielsweise einen CCD-Chip oder einen sonstigen Positionsdetektor, fällt. Aus dem bekannten Versatzwinkel und dem Kippwinkelmesswert kann so der Kippwinkel berechnet werden. Das führt die Auswerteeinheit automatisch durch.

[0033] Vorzugsweise ist die Auswerteeinheit eingerichtet zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten (i) Erfassen einer Topogra-

fiesensor-Position des Topografie-Sensors entlang der Führung, (ii) Erfassen von Abstandsänderungen des Topografie-Sensors in der Abhängigkeit von der Topografiesensor-Position, (iii) Erfassen des Kippwinkels in der Abhängigkeit von der Topografiesensor-Position und (iv) Berechnen einer Topografie der Oberfläche aus der Topografiesensor-Position, den Abstandsänderungen und dem Kippwinkel. Unter der Topografie wird dabei diejenige Punktwolke oder eine Beschreibung dieser Punktwolke verstanden, die den Verlauf der Oberfläche beschreibt.

[0034] Erfindungsgemäß ist zudem ein Autokollimator mit einer Lichtquelle zum Abgeben zumindest eines Ausgangs-Lichtstrahls, ggf. einem Strahlteiler, einem Spiegel zum Befestigen an einem Prüfling, dessen Kippwinkel zu bemessen ist, zum Reflektieren des Ausgangs-Lichtstrahls, sodass ein Eingangs-Lichtstrahl entsteht, und einem Detektor. Der Spiegel ist ausgebildet zum Reflektieren von zumindest zwei diskreten Teil-Lichtstrahlen unter unterschiedlichen Reflexionswinkeln beim Bestrahlen mit genau einem Lichtstrahl. Die oben angegebenen bevorzugten Ausführungsformen gelten auch für diesen Autokollimator.

[0035] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Autokollimators und eines erfindungsgemäßen Oberflächen-Messsystems zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2a eine schematische Detailansicht einer ersten Ausführungsform des Spiegels des erfindungsgemäßen Autokollimators aus **Fig. 1** und

Fig. 2a eine schematische Detailansicht einer zweiten Ausführungsform des Spiegels des erfindungsgemäßen Autokollimators aus **Fig. 1**.

[0036] **Fig. 1** zeigt einen erfindungsgemäßen Autokollimator **10**, der eine Lichtquelle **12**, einen Spiegel **14** und einen Detektor **16** aufweist. Der Autokollimator besitzt im vorliegenden Fall zudem einen Strahlteiler **18**. Die Lichtquelle **12** besitzt eine Blende zum Erzeugen eines Ausgangs-Lichtstrahls **20**. Dieser wird von einem Objektiv **22** parallelisiert und trifft auf den Spiegel **14**. Dadurch entsteht ein Eingangs-Lichtstrahl **24**, der vom Strahlteiler **18** auf den Detektor **16** umgeleitet wird. Eine Veränderung eines Kippwinkels α des Spiegels **14** wird so gemessen.

[0037] Der Spiegel **14** besteht, wie in **Fig. 2a** gezeigt ist, im vorliegenden Fall aus mehreren Reflektorelementen **26.i**, die miteinander verbunden sind. Jedes Reflektorelement hat eine erste Reflektorelementfläche **28a.i** und eine zweite Reflektorelementfläche **28b.i**, die miteinander einen Keilwinkel κ_i bilden.

[0038] An jeder der Grenzschichten zwischen einer ersten Reflektorelementfläche 28a.i und einer zweiten Reflektorelementfläche 28b.i+1 kommt es zur Reflexion des Ausgangs-Lichtstrahls **20**, sodass mehrere Teil-Lichtstrahlen 30.i ($i = 1, 2, \dots, N$) entstehen. Vorzugsweise ist $N < 50$.

[0039] Zwei Teil-Lichtstrahlen schließen jeweils einen Versatzwinkel β_i ein. So schließen der erste Teil-Lichtstrahl 30 und der zweite Teil-Lichtstrahl 30 den ersten Versatzwinkel β_1 ein. Der zweite Teil-Lichtstrahl 30 und der dritte Teil-Lichtstrahl 30 schließen den Versatzwinkel β_2 ein. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass alle Versatzwinkel β gleich groß sind. In der Regel unterscheiden sich die Versatzwinkel β_i voneinander. Günstig ist es, wenn die einzelnen Versatzwinkel β_i mit einer geringen Messunsicherheit bekannt sind. Vorzugsweise beträgt die Unsicherheit höchstens 10^{-6° .

[0040] Fig. 1 zeigt, dass der Spiegel **14** an einem Topografie-Sensor 32 befestigt ist, der an einer Führung **34** linear verschieblich befestigt ist. Im vorliegenden Fall ist der Topografie-Sensor **32** eine Interferometereinheit.

[0041] Die Interferometereinheit **32** sendet zumindest einen Mess-Laserstrahl 36.j ($j = 1, 2, \dots$) auf eine Oberfläche **38** eines Prüflings **40**. Der reflektierte Laserstrahl wird mit dem Mess-Laserstrahl 36.j zur Interferenz gebracht, sodass eine Abstandsänderung Δd_j des Abstands d_j gemessen wird.

[0042] Der Prüfling **40** kann auf einer Aufnahme **42** aufgenommen sein. Die Führung **34** ist in diesem Fall vorzugsweise starr mit der Aufnahme **42** verbunden.

[0043] Zum Vermessen der Oberfläche **38** wird die Interferometereinheit **32** an der Führung **34** bewegt. Dabei werden von allen Mess-Laserstrahlen **36** die jeweiligen Abstandsänderungen Δd_j erfasst und an eine Auswerteeinheit **44** gesendet. Zudem wird der jeweilige Kippwinkel α vom Autokollimator **10** gemessen und ebenfalls an die Auswerteeinheit **44** übermittelt. Mittels nicht eingezeichneter Abstandsmesser wird eine Topografiesensor-Position P_{32} entlang der Führung **34** gemessen und ebenfalls an die Auswerteeinheit **44** übermittelt. Die Auswerteeinheit **44** ermittelt daraus eine Topografie Δd_j der Oberfläche **38**.

[0044] Die Interferometereinheit **32** besitzt einen Stellantrieb **46**, mittels dem der Kippwinkel α der Interferometereinheit **32** relativ zum Prüfling **40** verändert werden kann. Wird der Kippwinkel α größer als der erste Versatzwinkel β_1 , so tritt zusätzlich zum ersten Teil-Lichtstrahl 30 der zweite Teil-Lichtstrahl 30 in den Autokollimator **10** ein. Auf dem Detektor **16** erscheinen dann zwei Lichtflecke. Der Kippwinkel α wird dann beispielsweise dadurch berechnet, dass weiterhin der Lichtfleck auf dem Detektor **16**,

der zum ersten Teil-Lichtstrahl 30 gehört, zur Berechnung des Kippwinkels α verwendet. Aus dem zweiten Lichtfleck, der zum zweiten Teil-Lichtstrahl 30 gehört, wird zudem der Versatzwinkel β_1 berechnet. Vergrößert sich der Kippwinkel α weiter, so verlässt der entsprechende Lichtfleck den Bereich des Detektors **16**. Der Kippwinkel α wird dann aus dem Lichtfleck berechnet, den der zweite Teil-Lichtstrahl 30 auf dem Detektor **16** bildet.

Bezugszeichenliste

10	Autokollimator
12	Lichtquelle
14	Spiegel
16	Detektor
18	Strahlteiler
20	Ausgangs-Lichtstrahl
22	Objektiv
24	Eingangs-Lichtstrahl
26	Reflektorelement
28a	erste Reflektorelementfläche
28b	zweite Reflektorelementfläche
30	Teil-Lichtstrahl
32	Topografie-Sensor, Interferometereinheit
34	Führung
36	Mess-Laserstrahl
38	Oberfläche
40	Prüfling
42	Aufnahme
44	Auswerteeinheit
46	Stellantrieb
48	transparentes Element
α	Kippwinkel
α_{mess}	Kippwinkel
i	Laufindex
j	Laufindex
β	Versatzwinkel
Δd_j	Abstandsänderung
P32	Topografiesensor-Position
W	Winkelmessbereich

B	Winkelmessbereich
κ	Keilwinkel
ρ_1, ρ_2	Reflexionswinkel

Patentansprüche

1. Oberflächen-Messsystem zum Vermessen einer Oberfläche (38) eines Prüflings (40), mit

- (a) einem Topografie-Sensor (32) zum Messen einer Abstandsänderung (Δd_j) vom Topografie-Sensor (32) zur Oberfläche (38) des Prüflings (40) und
- (b) einer Führung (34) zum geführten Bewegen des Topografie-Sensors (32), **dadurch gekennzeichnet**, dass
- (c) ein Autokollimator (10), der
 - (i) einen Spiegel (14) aufweist, der relativ zum Topografie-Sensor (32) befestigt ist,
 - (ii) ausgebildet ist zum Abgeben eines Ausgangs-Lichtstrahls (20) und
 - (iii) angeordnet ist zum Messen eines Kippwinkels (α) des Topografie-Sensors (32),
 - (iv) der Spiegel (14) ausgebildet ist zum Reflektieren von zumindest zwei diskreten Teil-Lichtstrahlen (30.1, 30.2) unter unterschiedlichen Reflexionswinkeln (ρ_1, ρ_2) beim Bestrahlen mit dem Lichtstrahl (20).

2. Oberflächen-Messsystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Topografie-Sensor (32) eine Interferometereinheit ist.

3. Oberflächen-Messsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) der Autokollimator (10) einen Winkelmessbereich (W) hat, der eine Winkelmessbereichsbreite (B) aufweist und
- (b) der Spiegel (14) so ausgebildet ist, dass ein Versatzwinkel (β) zwischen zumindest zwei Teil-Lichtstrahlen (30) höchstens der Winkelmessbereichsbreite (B) entspricht.

4. Oberflächen-Messsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Spiegel (14)

- (a) ein erstes planes Spiegelement und zumindest ein zweites planes Spiegelement, das gegenüber dem ersten Spiegelement verkippt ist, oder
- (b) zumindest zwei keilförmige Reflektorelemente (26.1, 26.2), die jeweils eine erste Reflektorelementfläche (28a.1, 28a.2) und eine zweite Reflektorelementfläche (28b.1, 28b.2) haben, die einen Keilwinkel (κ) einschließen, aufweist, oder
- (c) ein computergeneriertes Hologramm ist und/oder
- (d) ein transparentes Element (48), insbesondere ein Glaselement, aufweist, das so strukturiert ist, dass es unter verschiedenen diskreten Winkeln Licht reflektiert.

5. Oberflächen-Messsystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Auswerteeinheit (44), die eingerichtet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten:

- (i) Erfassen des Reflexionswinkels (ρ_1) des zumindest einen Teil-Lichtstrahls (30.1, 30.2), der in den Autokollimator (10) einfällt,
- (ii) Erfassen eines Kippwinkelmesswerts (α_{mess}) mittels des Autokollimators (10) und
- (iii) Berechnen des Kippwinkels (α) aus dem Reflexionswinkel (ρ_1) und dem Kippwinkelmesswert (α_{mess}).

6. Oberflächen-Messsystem nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** eine Auswerteeinheit (44), die eingerichtet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten:

- (i) Erfassen einer Topografiesensor-Position (P_{32}) des Topografie-Sensors (32) entlang der Führung (34),
- (ii) Erfassen von Abstandsänderungen (Δd_j) von dem Topografie-Sensor (32) in Abhängigkeit von der Topografiesensor-Position (P_{32}),
- (iii) Erfassen des Kippwinkels (α) in Abhängigkeit von der Topografiesensor-Position (P_{32}) und
- (iv) Berechnen einer Topographie der Oberfläche (38) aus der Topografie-sensor-Position (P_{32}), den Abstandsänderungen (Δd_j) und den Kippwinkeln (α).

7. Autokollimator (10) mit

- (a) einer Lichtquelle (12) zum Abgeben zumindest eines Ausgangs-Lichtstrahls (20),
- (b) einem Strahlteiler (18),
- (c) einem Spiegel (14) zum Befestigen an einem Prüfling (40), dessen Kippwinkel (α) zu messen ist, zum Reflektieren des Ausgangs-Lichtstrahls (20), sodass ein Eingangs-Lichtstrahl (24) entsteht, und
- (d) einem Detektor (16) **dadurch gekennzeichnet**, dass
- (e) der Spiegel (14) ausgebildet ist zum Reflektieren von zumindest zwei diskreten Teil-Lichtstrahlen (30) unter unterschiedlichen Reflexionswinkeln (ρ_1, ρ_2) beim Bestrahlen mit dem Ausgangs-Lichtstrahl (20).

8. Computergeneriertes Hologramm, das so ausgebildet ist, dass es beim Bestrahlen mit einem einfallenden Laserstrahl zumindest drei Ausgangs-Lichtstrahlen reflektiert, wobei ein Versatzwinkel (β) zwischen zwei Teil-Lichtstrahlen (30.i) $0,05^\circ$ bis 3° beträgt.

9. Verfahren zum Vermessen einer Oberfläche (38) eines Prüflings (40), mit den Schritten:

- (a) Messen einer Abstandsänderung (Δd_j) von einem Topografie-Sensor (32) zur Oberfläche (38) des Prüflings (40) mittels des Topografie-Sensors (32),
- (b) Bewegen des Topografie-Sensors (32) mittels einer Führung (34)

(c) Messen eines Kippwinkels (α) des Topografie-Sensors (32) mittels eines Autokollimators (10), der
(i) einen Spiegel (14) aufweist, der relativ zum Topografie-Sensor (32) befestigt ist,
(ii) wobei der Spiegel (14) ausgebildet ist zum Reflektieren von zumindest zwei diskreten Teil-Lichtstrahlen (30.1, 30.2) unter unterschiedlichen Reflexionswinkeln (ρ_1, ρ_2) beim Bestrahlen mit dem einen Lichtstrahl.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

(a) Erfassen, anhand welchen Teil-Lichtstrahls (30) der Autokollimator (10) den Kippwinkel (α) misst,
(b) Erfassen eines Kippwinkelmesswerts mittels des Autokollimators (10) und
(c) Berechnen des Kippwinkels (α) aus dem Versatzwinkel (β) des jeweiligen Teil-Lichtstrahls (30) und dem Kippwinkelmesswert.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

(a) Messen einer Abstandsänderung (Δd_j) vom Topografie-Sensor (32) zur Oberfläche (38) des Prüflings (40) mittels eines Topografie-Sensors (32),
(b) Bewegen des Topografie-Sensors (32) mittels einer Führung,
(c) Messen eines Kippwinkels (α) des Topografie-Sensors (32) mittels eines Autokollimators (10), der einen Spiegel (14) aufweist, der relativ zum Topografie-Sensor (32) befestigt ist,
(d) wobei der Spiegel (14) ausgebildet ist zum Reflektieren von zumindest zwei diskreten Teil-Lichtstrahlen (30) unter unterschiedlichen Reflexionswinkeln (ρ_1, ρ_2) beim Bestrahlen mit genau einem Lichtstrahl.
PI/bro

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

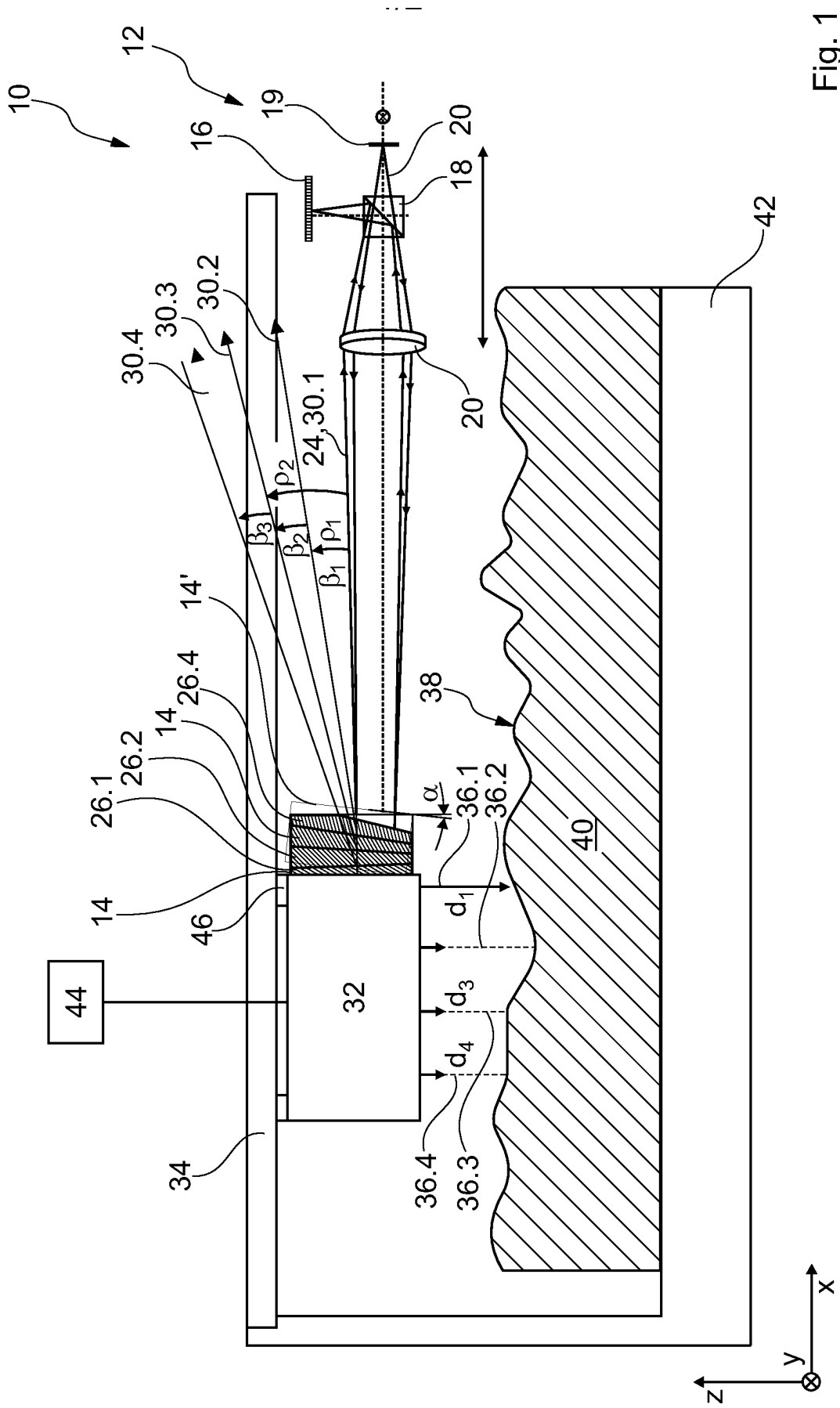


Fig. 1

