



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 102 063.8**
(22) Anmeldetag: **28.01.2019**
(43) Offenlegungstag: **30.07.2020**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**
G01B 11/03 (2006.01)
G01B 5/004 (2006.01)
G01B 11/14 (2006.01)
G01B 9/02 (2006.01)
G01B 11/00 (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**

(72) Erfinder:
Schulz, Michael, Dr., 38550 Isenbüttel, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 32 26 005 A1

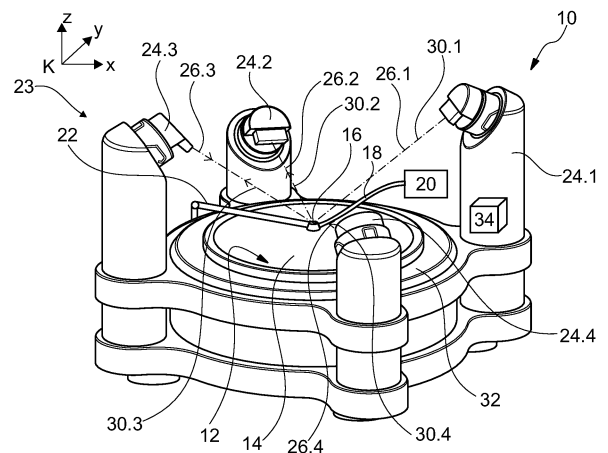
(74) Vertreter:
**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbH, 38122 Braunschweig,
DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Vermessen einer Oberflächentopographie eines Prüflings und
Oberflächentopographie-Messvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen einer Oberflächentopographie eines Prüflings (14), mit den Schritten: (i) Bewegen eines Gleitkörpers (16), der einen Grundkörper (42) und einen Retroreflektor (28), der mit dem Grundkörper (42) verbunden ist, aufweist, über eine Oberfläche (12) des Prüflings (14), (ii) Verfolgen des Retroreflektors (8) mit einem ersten Laser-Positionsmesser (24.1) durch Senden eines ersten Laserstrahls (26.1) auf den Retroreflektor (28), sodass der erste Laserstrahl (26.1) vom Retroreflektor reflektiert wird und ein erster reflektierter Laserstrahl (30.1) entsteht, und Erfassen des ersten reflektierten Laserstrahls (30.1), (iii) Verfolgen des Retroreflektors (28) mit zumindest einem zweiten Laser-Positionsmesser (24.2) durch Senden eines zweiten Laserstrahls (26.2) auf den Retroreflektor (28), sodass der zweite Laserstrahl (26.2) vom Retroreflektor reflektiert wird und ein zweiter reflektierter Laserstrahl (30.2) entsteht, und Erfassen des zweiten reflektierten Laserstrahls (30.2), (iv) Bestimmen der Position des Gleitkörpers (P_{16}) aus den reflektierten Laserstrahlen (30). Erfindungsgemäß ist der Schritt vorgesehen: (v) Erfassen eines Retroreflektor-Abstands (d) des Retroreflektors (28) von der Oberfläche (12) mittels eines Abstandssensors (36).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen einer Oberflächentopographie mit den Schritten (i) Bewegen eines Gleitkörpers, der einen Grundkörper und einen Retroreflektor, der mit dem Grundkörper verbunden ist, aufweist, über die Oberfläche des Prüflings, (ii) Verfolgen des Retroreflektors mit einem ersten Laser-Positionsmesser durch Senden eines ersten Laserstrahls auf den Retroreflektor, sodass der erste Laserstrahl vom Retroreflektor reflektiert wird und ein erster reflektierter Laserstrahl entsteht, und Erfassen des ersten reflektierten Laserstrahls, (iii) Verfolgen des Retroreflektors mit zumindest einem zweiten Laser-Positionsmesser durch Senden eines zweiten Laserstrahls auf den Retroreflektor, sodass der zweite Laserstrahl vom Retroreflektor reflektiert wird und ein zweiter reflektierter Laserstrahl entsteht, und Erfassen des zweiten reflektierten Laserstrahls, und (iv) Bestimmen der Position des Gleitkörpers aus den reflektierten Laserstrahlen und gegebenenfalls Bestimmen der Oberflächentopographie aus der Position des Gleitkörpers.

[0002] Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung eine Oberflächentopographie-Messvorrichtung zum Vermessen einer Oberflächentopographie eines Prüflings mit (a) einem Gleitkörper, der einen Grundkörper und einen Retroreflektor, der mit dem Grundkörper verbunden ist, aufweist und ausgebildet zum Bewegen über die Oberfläche, (b) einem ersten Laser-Positionsmesser, der eingerichtet ist zum automatischen Senden eines ersten Laserstrahls auf den Retroreflektor, sodass der erste Laserstrahl von der transparenten Kugel reflektiert wird und ein erster reflektierter Laserstrahl entsteht, und Erfassen des ersten reflektierten Laserstrahls, (c) einem zweiten Laser-Positionsmesser, der eingerichtet ist zum automatischen Senden eines zweiten Laserstrahls auf den Retroreflektor, sodass der zweite Laserstrahl vom Retroreflektor reflektiert wird und ein zweiter reflektierter Laserstrahl entsteht, und Erfassen des zweiten reflektierten Laserstrahls, (d) einer Auswerteeinheit, die eingerichtet ist zum automatischen Bestimmen der Position des Gleitkörpers aus den reflektierten Laserstrahlen und gegebenenfalls der Oberflächentopographie aus der Position des Gleitkörpers.

[0003] Bei der Herstellung von Bauteilen, insbesondere wellenformenden Präzisionsbauteilen, wie beispielsweise Spiegeln für astronomische Teleskope oder Mikrowellen-Reflektoren, ist es vorteilhaft, die Oberflächentopographie des Bauteils mit möglichst hoher Genauigkeit zu vermessen, um die nachfolgenden Bearbeitungsschritte optimal ausführen zu können.

[0004] So ist es bei der Herstellung von Spiegeln für Teleskope bekannt, diese mehrfach zu polieren und

nach jedem Polierschritt die Oberflächentopographie zu erfassen. Dazu wird ein Gleitkörper über die Oberfläche des Bauteils geführt. Mittels zumindest zweier Lasertracer wird die Position des Gleitkörpers genau bestimmt. Auf diese Weise können langwellige Formabweichungen mit einer Auflösung im Bereich weniger Mikrometer gemessen werden.

[0005] Nachteilig an einem derartigen Vorgehen ist, dass höchste Messgenauigkeiten nicht erreicht werden.

[0006] Nachteilig ist zudem, dass kurzwellenlängige Formabweichungen nicht erkannt werden können.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

[0008] Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Verfahren mit dem Schritt eines Erfassens eines Retroreflektor-Abstands des Retroreflektors von der Oberflächentopographie mittels eines Abstandssensors.

[0009] Die Erfindung löst das Problem zudem durch eine Oberflächentopographie-Messvorrichtung, die einen Abstandssensor aufweist, der ausgebildet ist zum automatischen Erfassen eines Retroreflektor-Abstands des Retroreflektors von der Oberfläche.

[0010] Vorteilhaft an der erfindungsgemäßen Lösung ist, dass die Oberflächentopographie mit einer höheren Genauigkeit vermessen werden kann. Wird, wie gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, der Gleitkörper mittels eines Luftkissens an der Oberfläche des Prüflings geführt, so kann eine Schwankung der Dicke des Luftkissens eine nicht existente Schwankung der Oberflächentopographie vortäuschen. Durch das Ermitteln des Retroreflektor-Abstands kann eine Schwankung der Dicken des Luftkissens herausgerechnet werden. Das erhöht die Messgenauigkeit bei der Vermessung der Oberflächentopographie. Es sind Messunsicherheiten von deutlich unter 1 Mikrometer erreichbar. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird das Verfahren so durchgeführt, dass die Messunsicherheit höchstens 1 µm beträgt. In der Regel ist die Messunsicherheit größer als 10 nm.

[0011] Es ist ein weiterer Vorteil, dass die Oberflächentopographie mit einer deutlich höheren Ortsauflösung gemessen werden kann. Der Gleitkörper hat eine räumliche Ausdehnung. Strukturen der Oberflächentopographie, denen eine Wellenlänge zugeordnet werden kann, die deutlich kleiner ist als die Größe des Gleitkörpers entlang der Oberflächentopographie, können daher bei bekannten Systemen nicht aufgelöst werden. Durch das Erfassen des Retroreflektor-Abstands kann die Position der Oberfläche mit einer deutlich höheren Ortsauflösung erfasst wer-

den. Die erreichbare Auflösung ist dann überwiegend durch die Messfleckgröße des Abstandssensors begrenzt.

[0012] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter der Oberflächentopographie die geometrische Gestalt der Oberfläche verstanden. Mathematisch ist dies eine Menge an Rand-Punkten des Prüflings, also solchen Punkten, die auf der Oberfläche liegen.

[0013] Unter dem Prüfling wird insbesondere ein Bauteil verstanden, an dessen Oberflächentopographie besonders hohe Anforderungen gestellt werden. Der Prüfling ist das Objekt, dessen Oberflächentopographie bestimmt wird.

[0014] Vorzugsweise handelt es sich bei dem Prüfling um ein wellenformendes Bauteil. Unter einem wellenformenden Bauteil wird ein Bauteil verstanden, das zum Einwirken auf elektromagnetische Strahlung dient.

[0015] Vorzugsweise handelt es sich bei dem Prüfling um ein optisches Bauteil. Ein optisches Bauteil ist ein Bauteil, dessen Zweck die zielgerichtete Interaktion mit Licht ist. Vorzugsweise handelt es bei dem optischen Bauteil um eine Linse oder einen Spiegel, beispielsweise um einen Spiegel für ein Teleskop.

[0016] Unter dem Laser-Positionsmesser wird insbesondere eine Vorrichtung verstanden, die einen Laserstrahl nutzt, um eine Lageinformation des Gleitkörpers zu bestimmen. Die Laser-Positionsmesser sind Teil eines Laser-Positionsmesssystems zum Messen einer Position und/oder Lage des Gleitkörpers. Die Position des Gleitkörpers wird angegeben durch drei Ortskoordinaten oder äquivalente Koordinaten. Die Lage des Gleitkörpers umfasst die Position und zumindest eine Winkelkoordinate.

[0017] In anderen Worten ist eine Oberflächentopographie-Messvorrichtung zum Vermessen einer Oberflächentopographie eines Prüflings, mit (a) einem Gleitkörper, der einen Grundkörper und einen Retroreflektor, der mit dem Grundkörper verbunden ist, aufweist und ausgebildet ist zum Bewegen über eine Oberfläche des Prüflings, (b) einem Positionsmesssystem zum Messen einer Position und/oder Lage des Gleitkörpers und (c) einer Auswerteeinheit, die eingerichtet ist zum automatischen Bestimmen der Position des Gleitkörpers aus den reflektierten Laserstrahlen, die (d) einen Abstandssensor aufweist, der ausgebildet ist zum automatischen Erfassen eines Retroreflektor-Abstands des Retroreflektors von der Oberfläche erfindungsgemäß.

[0018] Vorzugsweise handelt es sich bei dem Laser-Positionsmesssystem um ein System aus Lasertracern. Das Laser-Positionsmesssystem ist eine Vor-

richtung, bei der zumindest zwei Laserstrahlen, vorzugsweise zumindest drei, insbesondere vorzugsweise zumindest vier, insbesondere genau vier, Laserstrahlen, aus unterschiedlichen Richtungen auf den Retroreflektor gerichtet werden und jeweils die Abstandsänderung des Retroreflektors in Richtung des jeweiligen Laserstrahls interferometrisch gemessen wird. Aus den Abstandsänderungen wird die Position des Retroreflektors bestimmt.

[0019] Die Laser-Positionsmesser sind vorzugsweise ausgebildet zum Interferieren-Lassen des jeweiligen ausgesandten Laserstrahls mit dem entsprechenden reflektierten Laserstrahl. So wird eine Positionsänderung des Gleitkörpers in Richtung des Laserstrahls gemessen.

[0020] Alternativ kann es sich bei dem Laser-Positionsmesser auch um einen Lasertracker handeln, der den Winkel misst, unter dem der Laserstrahl auf den Retroreflektor zu verläuft. Es existieren auch Lasertracker, die sowohl den Winkel als auch eine Abstandsänderung erfassen und auswerten.

[0021] Vorzugsweise hat der Gleitkörper eine Masse zwischen 50 und 5000 g, vorzugsweise zwischen 100 und 1000 g. Ein derartiger Gleitkörper ist schwer genug, sodass die erste harmonische Anregungsfrequenz bezüglich einer Schwingung relativ zum Prüfling eine hinreichend kleine Frequenz hat.

[0022] Vorzugsweise ist der Prüfling ein nicht auspoliertes Bauteil und das erfindungsgemäße Verfahren umfasst den Schritt eines Polierens des Prüflings nach dem Vermessen der Oberflächentopographie. Vorzugsweise werden die Schritte des Vermessens der Oberflächentopographie und des Polierens zumindest zweimal, vorzugsweise drei-, vier- oder mehrfach wiederholt. Unter einem nicht auspolierten Prüfling wird verstanden, dass er eine nicht spiegelnde Oberfläche hat. An derartigen nicht spiegelnden Oberflächen sind hochpräzise Messungen der Oberflächentopographie mit Methoden des Standes der Technik nur sehr schwer zu erreichen. In der Regel müssen dazu tastende Verfahren eingesetzt werden, die langsam und aufwändig sind. Der Prüfling kann auch ein auspoliertes Bauteil sein.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren den Schritt eines Berechnens eines Punkts der Oberflächentopographie aus einer Gleitkörper-Position des Gleitkörpers relativ zum Prüfling und dem Retroreflektor-Abstand. Da die Kontur des Prüflings makroskopisch hinreichend genau bekannt ist, kann aus der Gleitkörper-Position dessen Winkellage relativ zur Oberfläche des Prüflings mit hinreichender Genauigkeit berechnet werden. Dadurch ist die Lage des Gleitkörpers, also seine Position in Raumkoordinaten eines vorgegebenen Koordinatensystems und seine Winkellage in diesem

Koordinatensystem bekannt. Alternativ ist es möglich, die benachbarten Messpunkte mit einzubeziehen und die Winkellage iterativ zu berechnen.

[0024] Da der Retroreflektor-Abstand relativ zum Gleitkörper bekannt ist, kann daraus ein Punkt auf der Oberfläche des Prüflings berechnet werden. Dieser Schritt wird vorzugsweise mehrfach wiederholt, sodass eine Punktwolke erhalten wird, die die Oberflächentopographie repräsentiert. Je nach Durchmesser des Messpunkts, also des Durchmessers desjenigen Bereichs, in dem die Interaktion zwischen dem Abstandssensor und der Oberfläche des Prüflings stattfindet, können sehr feine Details der Oberflächentopographie aufgelöst werden.

[0025] Vorzugsweise ist der Retroreflektor eine transparente Kugel aus einem Kugelmateriale, dessen Brechungsindex $2 \pm 0,2$, vorzugsweise $2 \pm 0,1$, beträgt. In diesem Fall wirkt die Kugel in sehr guter Näherung als idealer Retroreflektor.

[0026] Beispielsweise ist das Kugel-Material transparentes Glas. Ist der Retroreflektor eine transparente Kugel, so ist der Retroreflektor-Abstand ein Kugel-Abstand, der den Abstand der transparenten Kugel von der Oberfläche des Prüflings angibt.

[0027] Günstig ist es, wenn der Kugel-Abstand mittels eines optischen Sensors erfasst wird. Vorzugsweise ist der optische Sensor ausgebildet zum Senden eines Lichtstrahls durch die transparente Kugel und zum Empfangen eines Lichtstrahls, der durch die transparente Kugel zum optischen Sensor gelangt. Dadurch, dass der Lichtstrahl durch die transparente Kugel verläuft, kann der Kugel-Abstand mit einer besonders hohen Genauigkeit bestimmt werden.

[0028] Vorzugsweise beträgt ein Kugel-Durchmesser der transparenten Kugel 1 cm bis 2 cm. Es hat sich herausgestellt, dass kleinere Kugeln schlecht mit einem Laser angepeilt werden können. Größere Kugeln hingegen führen tendenziell zu einer höheren Messunsicherheit.

[0029] Besonders günstig ist es, wenn der optische Abstandssensor ausgebildet ist zum Aussenden eines Lichtbündels, das einen Fokus hat, wobei der Fokus im Strahlengang hinter der transparenten Kugel, insbesondere zwischen der transparenten Kugel und der Oberfläche des Prüflings, liegt. Auf diese Weise wird viel Licht von der Oberfläche des Prüflings zurückreflektiert oder gestreut, sodass der Retroreflektor-Abstand mit einer hohen Messgenauigkeit bestimmt werden kann. Alternativ kann der Fokus auch unterhalb der Oberfläche des Prüflings liegen, wobei ein Abstand des Fokus von der Oberfläche des Prüflings maximal 1 mm beträgt.

[0030] Alternativ oder zusätzlich ist der Abstandssensor ausgebildet zum Aussenden von nicht monochromatischem, beispielsweise weißem, Licht und zum Erfassen einer farbabhängigen Intensität des reflektierten Lichts sowie zum Bestimmen des Retroreflektor-Abstands in Form des Kugel-Abstands anhand der formabhängigen Intensität. In diesem Fall ist der Fokus wellenlängenabhängig. Bei dem Abstandssensor handelt es sich in dem Fall einen chromatisch-konfokalen Sensor. Derartige Sensoren sind sowohl robust als auch genau.

[0031] Günstig ist es, wenn der Gleitkörper mittels eines Luftpolsters an der Oberfläche des Prüflings gelagert wird. In anderen Worten ist der Gleitkörper vorzugsweise aerostatisch am Prüfling, insbesondere an der Oberfläche des Prüflings, gelagert. Eine aerostatische Lagerung hat den Vorteil, dass der Gleitkörper die Oberfläche des Prüflings nicht mechanisch beeinflusst, beispielsweise nicht zerkratzt. Aufgrund der geringen Viskosität von Luft ist ein Luftspalt zwischen dem Gleitkörper und der Oberfläche des Prüflings zudem sehr klein.

[0032] Es ist möglich und stellt eine bevorzugte Ausführungsform dar, dass der Gleitkörper sowohl über eine Saugvorrichtung zum Festsaugen an der Oberfläche des Prüflings als auch eine Ausblasvorrichtung zum Blasen von Luft auf die Oberfläche des Prüflings zu aufweist. So erzeugt der Gleitkörper eine aerostatische Kraft, die den Gleitkörper auf die Oberfläche zu zieht und eine zweite aerostatische Kraft, die den Gleitkörper vom Prüfling wegdrückt. Es ergeben sich so ein besonders geringer Luftspalt zwischen dem Gleitkörper und der Oberfläche sowie eine vergleichsweise große Steifigkeit, mit der der Gleitkörper am Prüfling gelagert ist. In anderen Worten ist eine Federkonstante zum Auslenken des Gleitkörpers in Normalenrichtung weg von der Oberfläche des Prüflings oder in Normalenrichtung auf die Oberfläche des Prüflings zu besonders groß. Dennoch ist es vorteilhaft, den Retroreflektor-Abstand zu erfassen.

[0033] Vorzugsweise umfasst die Oberflächentopographie-Messvorrichtung zumindest einen dritten Laser-Positionsmesser, der eingerichtet ist zum automatischen Senden zumindest eines dritten Laserstrahls auf den Retroreflektor, sodass der zumindest eine dritte Laserstrahl vom Retroreflektor reflektiert wird und zumindest ein dritter reflektierter Laserstrahl entsteht, und zum Erfassen des zumindest einen dritten reflektierten Laserstrahls, wobei die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen Bestimmen der Position des Gleitkörpers aus den reflektierten Laserstrahlen.

[0034] Besonders günstig sind vier Laser-Positionsmesser, die eingerichtet sind zum jeweiligen automatischen Senden je zumindest eines, insbesondere genau eines, Laserstrahls auf den Retroreflektor,

sodass der jeweilige zumindest eine Laserstrahl vom Retroreflektor reflektiert wird und je zumindest ein reflektierter Laserstrahl entsteht, und Erfassen der reflektierten Laserstrahlen, wobei die Auswerteeinheit eingerichtet ist zum automatischen Bestimmen der Kontur der Oberfläche aus den reflektierten Laserstrahlen.

[0035] Vorzugsweise ist die Oberflächentopographie-Messvorrichtung eingerichtet zum Bestimmen der Position des Gleitkörpers mit einer Messunsicherheit von höchstens 5 Mikrometer, vorzugsweise höchstens 2 Mikrometer.

[0036] Bei einer erfindungsgemäßen Oberflächentopographie-Messvorrichtung ist die Auswerteeinheit vorzugsweise eingerichtet zum automatischen Berechnen eines Punkts der Oberflächentopographie aus einer Gleitkörper-Position des Gleitkörpers und dem Retroreflektor-Abstand.

[0037] Der Abstandssensor ist vorzugsweise ausgebildet zum Messen des Retroreflektor-Abstands mit einer Messunsicherheit von höchstens 0,1 Mikrometer.

[0038] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1a eine dreidimensionale Ansicht einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Oberflächentopographie-Messvorrichtung und

Fig. 1b eine schematische Funktionsansicht der Oberflächentopographie-Messvorrichtung gemäß 1a zur Erläuterung der Funktionsweise dieser Ausführungsform.

[0039] **Fig. 1a** zeigt eine erfindungsgemäße Oberflächentopographie-Messvorrichtung **10** zum Messen einer Oberfläche **12** eines Prüflings **14**. Der Prüfling kann beispielsweise ein optischer Spiegel für ein astronomisches Teleskop sein. Die Oberflächentopographie-Messvorrichtung **10** umfasst einen Gleitkörper **16**, der mittels eines Schlauchs **18** mit einer Druckluftquelle **20** verbunden ist. Mittels einer schematisch eingezeichneten Positioniervorrichtung **22** kann der Gleitkörper **16** über die Fläche **12** bewegt werden.

[0040] Die Oberflächentopographie-Messvorrichtung **10** umfasst ein Laser-Positionsmesssystem **23**, das Laser-Positionsmesser **24.1**, **24.2**, **24.3**, **24.4** aufweist. Die Laser-Positionsmesser **24.i** ($i = 1, \dots, 4$) richten jeweils einen Laserstrahl **26.i** auf einen Retroreflektor **28** (vgl. **Fig. 1b**), sodass jeweils ein reflektierter Laserstrahl **30.i** entsteht. Jeder Laserstrahl **26.i** wird mit seinem reflektierten Laserstrahl **30.i** zur Interferenz gebracht, sodass eine Positionsänderung des Gleitkörpers **16** in Richtung des Laserstrahls **26** mit interferometrischer Genauigkeit ermittelt wird.

[0041] Aus den bekannten Positionen der Laser-Positionen **24.i** und einer Mehrzahl an Positionsmessungen am Gleitkörper **16** ergibt sich aus den jeweiligen Abstandsänderungen ein Gleichungssystem, aus dem die Position des Gleitkörpers **16** in einem Koordinatensystem **K**, in dem Positionen der Laser-Positionsmesser **24.i** bekannt sind.

[0042] Die Oberflächentopographie-Messvorrichtung **10** besitzt eine Aufnahme **32**, auf der der Prüfling **14** aufliegt. Es ist möglich, dass diese Aufnahme **32** Spannmittel aufweist, das ist aber nicht notwendig.

[0043] Die Laser-Positionsmesser **24.i** sind mit einer schematisch eingezeichneten Auswerteeinheit **34** verbunden, die aus den Abstandsänderungsdaten der Laser-Positionsmesser eine jeweilige Abstandsänderung des Gleitkörpers **16** in Bezug auf den entsprechenden Laser-Positionsmesser beschreiben, die Position **P₁₆** des Gleitkörpers **16** berechnet.

[0044] **Fig. 1b** zeigt den Gleitkörper **16**, der als Retroreflektor **28** gemäß einer bevorzugten Ausführungsform eine Kugel aus Glas aufweist. Das Glas hat einen Brechungsindex n_{28} von $n_{28} = 2$. Die einfallenden Laserstrahlen **26.1**, **26.3**, die schematisch eingezeichnet sind, werden daher so reflektiert, dass die jeweils entstehenden reflektierten Laserstrahlen **30.i** parallel zum jeweils zugehörigen einfallenden Laserstrahlen **26.i** verlaufen.

[0045] Der Gleitkörper **16** besitzt einen Abstandssensor **36**, der im vorliegenden Fall ein chromatisch-konfokaler Abstandssensor ist. Dieser ist ausgebildet zum Aussenden eines Lichtstrahls **38**, bei dem es sich vorzugsweise um einen Lichtstrahl aus weißem Licht handelt. Der Lichtstrahl **38** tritt durch ein Vorsatzelement **40**, das den Lichtstrahl **38** so formt, dass der Lichtstrahl **38** einen Fokus **F** hat, der zwischen der Oberfläche **12** des Prüflings **14** und der Kugel **28** liegt. Alternativ liegt der Fokus innerhalb des Prüflings **14**, hat aber einen Abstand von höchstens 1 mm zur Oberfläche **12** des Prüflings **14**.

[0046] Das Vorsatzelement **40** ist so ausgebildet, dass der Fokus **F** wellenlängenabhängig ist. Diejenige Wellenlänge, für die der Fokus direkt auf der Oberfläche **12** liegt, wird am stärksten reflektiert. Ein Sensor **41** des Abstandssensors **36** erfasst die farbabhängige, also wellenlängenabhängige, Intensität **I** des reflektierten Lichts. Daraus wird ein Retroreflektor-Abstand **d** zwischen dem Retroreflektor **28** und der Oberfläche **12** berechnet. Selbstverständlich sind - ganz allgemein - auch andere Abstandssensoren **36** möglich, die vorzugsweise berührungsfrei arbeiten.

[0047] Es ist zu erkennen, dass der Retroreflektor **28** an einem Grundkörper **42** befestigt ist, der auch als Puck bezeichnet werden kann. Schematisch ist ein Luftkanal **44** eingezeichnet, der mit dem Schlauch

18 in Verbindung steht. Durch den Schlauch **18** wird Druckluft durch den Luftkanal **44** in eine Kaverne **46** geleitet, sodass sich ein Luftfilm **48**, der auch als Luftkissen bezeichnet werden könnte, zwischen der Oberfläche **12** und dem Gleitkörper **16** bildet. Auf diesem Luftfilm **48** gleitet der Gleitkörper **16** berührungsfrei.

Bezugszeichenliste

10	Oberflächentopographie-Messvorrichtung
12	Oberfläche
14	Prüfling
16	Gleitkörper
18	Schlauch
20	Druckluftquelle
22	Positioniervorrichtung
24	Laser-Positionsmesser
26	Laserstrahl
28	Retroreflektor, Kugel
30	reflektierter Laserstrahl
32	Aufnahme
34	Auswerteeinheit
36	Abstandssensor
38	Lichtstrahl
40	Vorsatzelement
42	Grundkörper, Puck
44	Luftkanal
46	Kaverne
48	Luftfilm
i	Laufindex
K	Koordinatensystem
P₁₆	Position
N₂₈	Brechungsindex
F	Fokus
I	Intensität
d	Reflektor-Abstand

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermessen einer Oberflächentopographie eines Prüflings (14), mit den Schritten:

- (i) Bewegen eines Gleitkörpers (16), der
- einen Grundkörper (42) und

- einen Retroreflektor (28), der mit dem Grundkörper (42) verbunden ist, aufweist, über eine Oberfläche (12) des Prüflings (14),
- (ii) Verfolgen des Retroreflektors (8) mit einem ersten Laser-Positionsmesser (24.1) durch
- Senden eines ersten Laserstrahls (26.1) auf den Retroreflektor (28), sodass der erste Laserstrahl (26.1) vom Retroreflektor reflektiert wird und ein erster reflektierter Laserstrahl (30.1) entsteht, und
- Erfassen des ersten reflektierten Laserstrahls (30.1),
- (iii) Verfolgen des Retroreflektors (28) mit zumindest einem zweiten Laser-Positionsmesser (24.2) durch
- Senden eines zweiten Laserstrahls (26.2) auf den Retroreflektor (28), sodass der zweite Laserstrahl (26.2) vom Retroreflektor reflektiert wird und ein zweiter reflektierter Laserstrahl (30.2) entsteht, und
- Erfassen des zweiten reflektierten Laserstrahls (30.2),
- (iv) Bestimmen der Position des Gleitkörpers (P_{16}) aus den reflektierten Laserstrahlen (30), **gekennzeichnet durch** den Schritt:
- (v) Erfassen eines Retroreflektor-Abstands (d) des Retroreflektors (28) von der Oberfläche (12) mittels eines Abstandssensors (36).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** den Schritt:

Berechnen eines Punkts der Oberflächentopographie aus einer Gleitkörper-Position des Gleitkörpers (16) und dem Retroreflektor-Abstand (d).

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) der Retroreflektor (28) eine transparente Kugel (28) aus einem Kugel-Material ist, dessen Brechungsindex $2 \pm 0,2$ beträgt und/oder
- (b) der Kugel-Abstand mittels eines optischen Abstandssensors (36) erfasst wird, der ausgebildet ist zum Senden eines Lichtstrahls (38) durch die transparente Kugel (28) und zum Empfangen eines Lichtstrahls (38), der durch die transparente Kugel (28) zum optischen Abstandssensor (36) gelangt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der optische Abstandssensor (36)

- (a) ein Lichtbündel aussendet, das einen Fokus (F) hat, wobei der Fokus (F) im Strahlengang hinter der transparenten Kugel (28), insbesondere zwischen der transparenten Kugel (28) und der Oberfläche (12) und/oder einen Abstand von höchstens 1 mm von der Oberfläche (12) hat, liegt, und/oder
- (b) nicht monochromatisches Licht aussendet, eine farbabhängige Intensität (I) des reflektierten Lichts erfasst und den Kugel-Abstand anhand der farbabhängigen Intensität bestimmt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gleit-

körper (16) mittels eines Luftpolsters an der Oberfläche (12) gelagert wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Prüfling (14) ein optisches Bauteil ist, insbesondere ein Spiegel-Rohling oder ein Linsen-Rohling.

7. Oberflächentopographie-Messvorrichtung (10) zum Vermessen einer Oberflächentopographie eines Prüflings (14), mit

- (a) einem Gleitkörper (16), der
 - einen Grundkörper (42) und
 - einen Retroreflektor (28), der mit dem Grundkörper (42) verbunden ist, aufweist und
 - ausgebildet ist zum Bewegen über eine Oberfläche (12) des Prüflings (14),
- (b) einem ersten Laser-Positionsmesser (24.1), der eingerichtet ist zum automatischen
 - Senden eines ersten Laserstrahls (26.1) auf den Retroreflektor (28), sodass der erste Laserstrahl (26.1) von der transparenten Kugel (28) reflektiert wird und ein erster reflektierter Laserstrahl entsteht (30.1), und
 - Erfassen des ersten reflektierten Laserstrahls (30.1),
- (c) einem zweiten Laser-Positionsmesser (24.2), der eingerichtet ist zum automatischen
 - Senden eines zweiten Laserstrahls (26.1) auf den Retroreflektor (28), sodass der zweite Laserstrahl (26.2) vom Retroreflektor (28) reflektiert wird und ein zweiter reflektierter Laserstrahl (30.2) entsteht, und
 - Erfassen des zweiten reflektierten Laserstrahls (30.2),
- (d) einer Auswerteeinheit (34), die eingerichtet ist zum automatischen Bestimmen der Position des Gleitkörpers aus den reflektierten Laserstrahlen (30), **gekennzeichnet durch**
- (e) einen Abstandssensor (36), der ausgebildet ist zum automatischen Erfassen eines Retroreflektor-Abstands (d) des Retroreflektors (28) von der Oberfläche (12).

8. Oberflächentopographie-Messvorrichtung (10) nach Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** zumindest einen dritten Laser-Positionsmesser (24.3), der eingerichtet ist zum automatischen

- Senden zumindest eines dritten Laserstrahls (26.3) auf den Retroreflektor (28), sodass der zumindest eine dritte Laserstrahl (26.3) vom Retroreflektor (28) reflektiert wird und zumindest ein dritter reflektierter Laserstrahl (30.3) entsteht, und
- Erfassen des zumindest einen dritten reflektierten Laserstrahls (30.3), (f) eine Auswerteeinheit (34), die eingerichtet ist zum automatischen Bestimmen der Kontur der Oberfläche (12) aus den reflektierten Laserstrahlen (30).

9. Oberflächentopographie-Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 7 oder 8; **dadurch gekennzeichnet**, dass

- (a) der Retroreflektor (28) eine transparente Kugel (28) aus einem Kugel-Material ist, dessen Brechungsindex $2 \pm 0,2$ beträgt und/oder
- (b) der Abstandssensor ausgebildet ist zum Senden eines Lichtstrahls (38) durch die transparente Kugel (28) und zum Empfangen eines Lichtstrahls (38), der durch die transparente Kugel (28) zum optischen Sensor gelangt und/oder dass
- (c) der Abstandssensor (36) ein chromatisch konfokaler Abstandssensor ist.

10. Oberflächentopographie-Messvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (34) eingerichtet ist zum automatischen Berechnen eines Punkts der Oberflächentopographie aus einer Gleitkörper-Position (P_{16}) des Gleitkörpers (16) und dem Retroreflektor-Abstand (d).

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

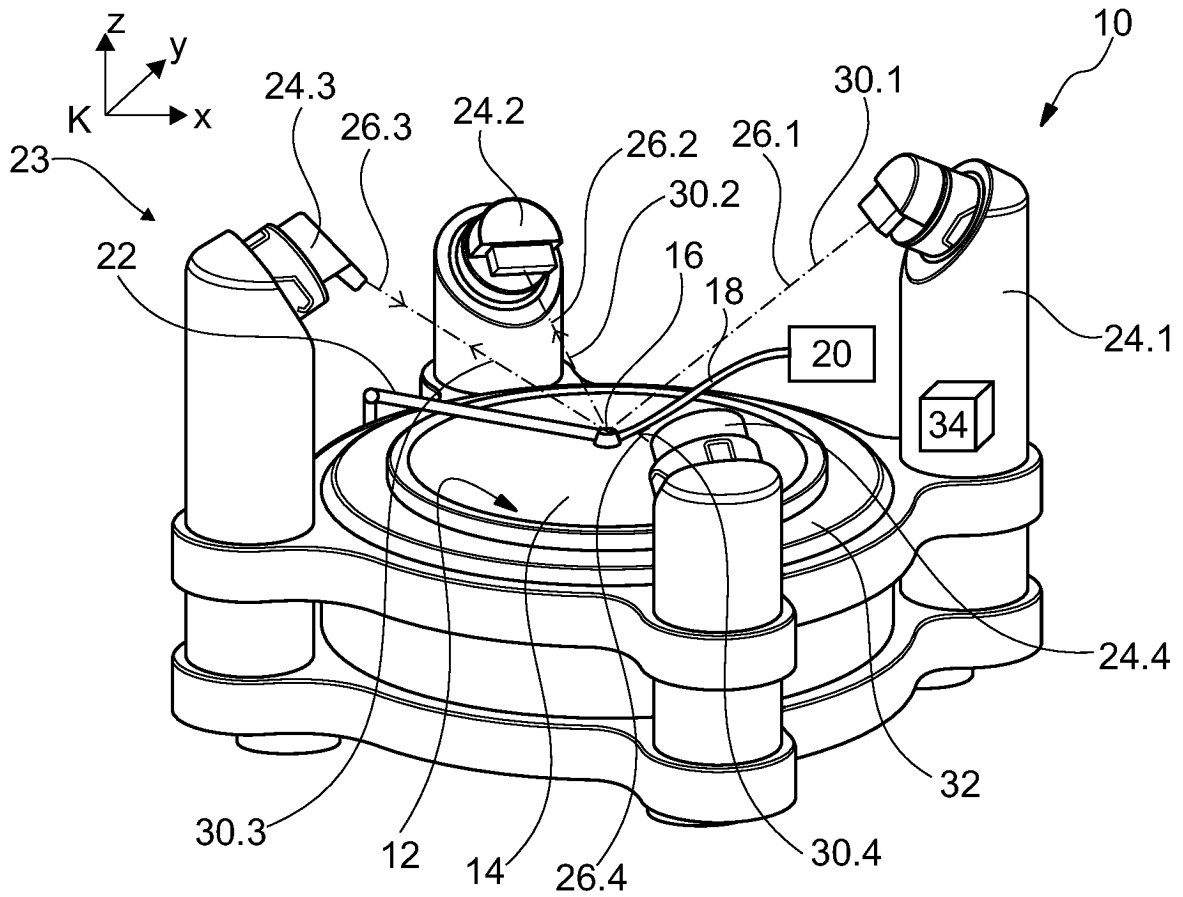


Fig. 1a

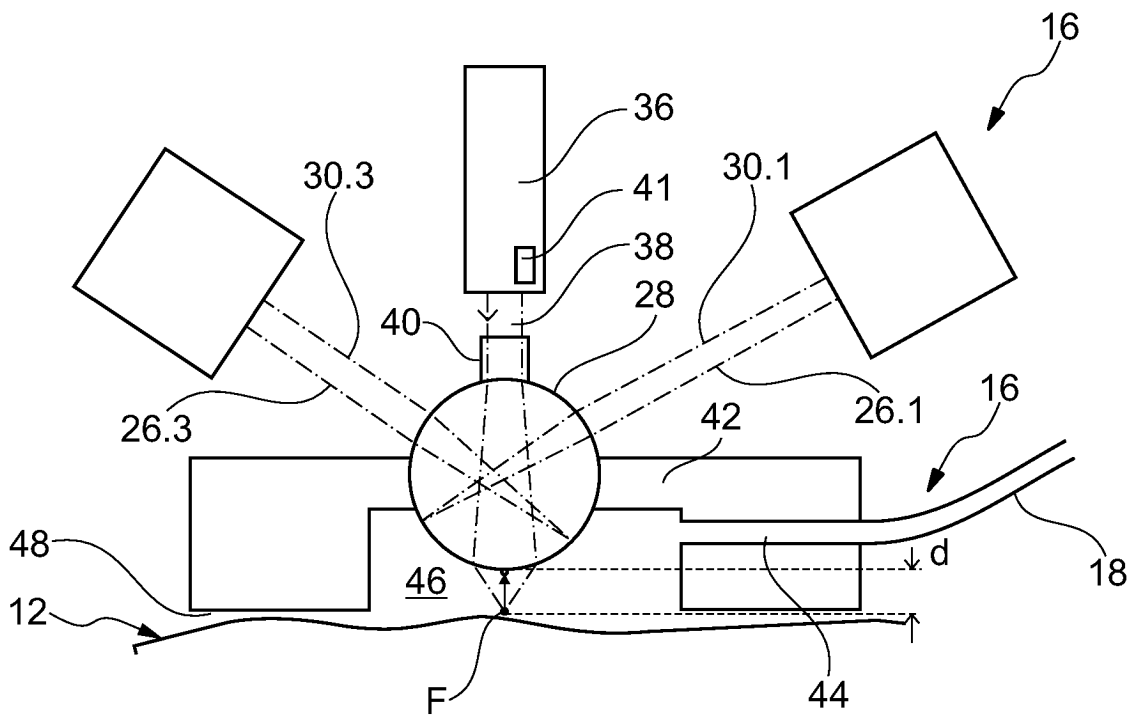


Fig. 1b