



(10) **DE 10 2012 103 977 A1** 2013.07.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 103 977.1**  
(22) Anmeldetag: **07.05.2012**  
(43) Offenlegungstag: **11.07.2013**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2012.01)**  
**G01B 11/12 (2012.01)**  
**G01B 11/14 (2012.01)**

(66) Innere Priorität:  
**10 2012 100 152.9 10.01.2012**

(74) Vertreter:  
**Stoffregen, Hans-Herbert, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.,  
63450, Hanau, DE**

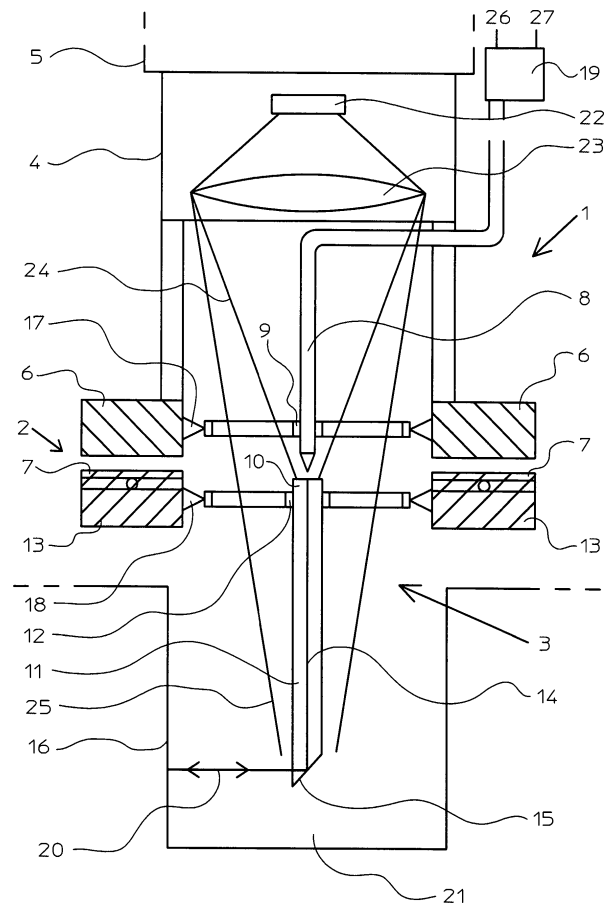
(71) Anmelder:  
**Werth Messtechnik GmbH, 35394, Gießen, DE**

(72) Erfinder:  
**Antrag auf Nichtnennung**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Oberfläche eines Objektes durch Abstandsmessung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Oberfläche eines Objektes mittels eines punktförmig messenden, optischen Abstandssensors, dessen Messstrahl eine um zumindest einer ersten Richtung entsprechenden Achse drehbare Messsonde in einer zweiten Richtung verlässt, wobei sich die zweite Richtung von der ersten Richtung unterscheidet. Um u. a. Objekte mit beliebigen Oberflächenneigungen zu messen, ist vorgesehen, dass zur Abstandsbestimmung zwischen der Messsonde, vorzugsweise dem Umlenkpunkt Messstrahlen der ersten und der zweiten Richtung in der Richtung der Messstrahlung, und der Oberfläche des Objektes der in der zweiten Richtung verlaufende Messstrahl auf die Richtung der Oberflächennormale des zu messenden Objektes eingestellt wird, in dem die Messsonde um zumindest die erste Richtung gedreht wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und auf eine Vorrichtung zur Bestimmung der Oberfläche eines Objektes mittels eines punktförmig messenden, optischen Abstandssensors, dessen Messstrahl eine um zumindest eine erste Richtung des Messstrahls drehbare Messsonde in einer zweiten Richtung verlässt.

**[0002]** Bei der Abstandsmessung mit optischen Sensoren stellt sich häufig die Herausforderung, nicht nur senkrecht zu messen, sondern auch seitliche Strahlaustritte zu ermöglichen. Hierdurch können beispielsweise senkrechte oder stark geneigte Oberflächen gemessen werden. Diese Oberflächen befinden sich unter anderem einige Millimeter bis Zentimeter tief unter der Bauteiloberfläche. Diese Bereiche können daher nur mit langen Messsonden erreicht werden. Befinden sich diese Oberflächen in besonders kleinen lateral ausgedehnten Bereichen wie Bohrungen, müssen zudem sehr kleine Sondendurchmesser von wenigen zehn oder wenigen hundert Mikrometern im Durchmesser realisiert werden.

**[0003]** Als eine besondere Herausforderung gilt die Messung in verschiedenen Richtungen mit der gleichen Messsonde, um beispielsweise die gesamte Oberfläche eines Zylindermantels zu erfassen. Hierzu muss die Messsonde drehbar gelagert sein, um eine Anpassung der Messrichtung auf die Oberflächennormale des jeweiligen Oberflächenabschnittes zu gewährleisten. Insbesondere bei sehr kleinen Sondendurchmessern ist die Einkopplung des Messstrahles in die Sonde besonders schwierig, da an die Rundlaufabweichungen der eingesetzten Dreheinrichtung und die Justiergenauigkeit der Messsonde zur Drehmitte sowie die Justiergenauigkeit des fest stehenden Faserendes zur Messsonde hohe Anforderungen gestellt werden. Hier sind nur Abweichungen deutlich kleiner als der den Messstrahl transportierenden Faserkerndurchmesser von den zumeist eingesetzten Single-Mode Fasern von ca. 10 µm zulässig. Ansonsten kann kein Messsignal erzeugt werden.

**[0004]** Zudem muss der Abstand zur Oberfläche während der Drehung innerhalb des Messbereiches des Abstandssensors bleiben. Hierdurch würde das optische Scannen der gesamten Oberfläche möglich. Um dabei auch hohe Messraten zu erreichen, muss die Anpassung der Messrichtung auf die Oberflächennormale des jeweiligen Oberflächenabschnittes möglichst schnell erfolgen.

**[0005]** Es sind bereits einige hochgenaue, optische Abstandssensoren bekannt, die zumeist auf dem Prinzip der kurzkohärenten Interferometrie arbeiten. Als Beispiele seien die Abstandssensoren der Serie RayDex der ISIS sentronics GmbH Mannheim (Inter-

netlink am 29.12.1011: <http://www.isis-sentronics.de/produkte>), das faseroptische Distanzmesssystem der Serie FDM der fionec GmbH Aachen (Internetlink am 29.12.2011: [http://www.fionec.de/produkte\\_und\\_applikationenmesssysteme.html](http://www.fionec.de/produkte_und_applikationenmesssysteme.html)) oder der von der Firma Bosch unter dem Namen WhitePoint Mikrotaster (WPM) entwickelte Sensor genannt.

**[0006]** Das System der Firma ISIS bietet relativ lange, aber nur recht dicke Messsonden ab einem minimalen messbaren Bohrungsdurchmesser von 0,9 mm. Verschiedene Strahlaustrittsrichtungen sind möglich. Zudem kann die Messsonde um ihre Ausdehnungsrichtung gedreht werden. Der Sensor selbst steht fest. Eine Anpassung der Messrichtung auf die Oberflächennormale ist nicht beschrieben.

**[0007]** Das System der Firma fionec zeichnet sich durch sehr kleine Messsondendurchmesser und hohe Messsondenlängen aus. Zudem sind verschiedene Richtungen für den Strahlaustritt möglich. Insbesondere die kleinen Sondendurchmesser bis in den Bereich von ca. 80 µm werden durch die Ausbildung der Messsonde als Lichtwellenleiterfaser erreicht. Hierfür ist jedoch keine Möglichkeit der Drehung der Messsonde bekannt. Der Sensor kann zur lateralen Bewegung in ein Koordinatenmessgerät integriert werden.

**[0008]** Der WhitePoint Mikrotaster enthält ebenso keine drehbare Messsonde.

**[0009]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden, insbesondere dass sich mit keinem der bekannten Messsysteme die Aufgabe erfüllen lässt, eine Anpassung der Messrichtung auf die Oberflächennormale zu ermöglichen.

**[0010]** Weitere Aufgabe der Erfindung ist, Objekte mit beliebigen Oberflächenneigungen zu messen, unabhängig von der vorliegenden Messrichtung oder Drehstellung der Sensorsonde. Die Anpassung der Messrichtung soll dabei nicht statisch erfolgen, sondern sie wird bei einer permanenten Drehbewegung der Sensorsonde automatisch eingenommen und erkannt.

**[0011]** Die Aufgabe löst die vorliegende Erfindung im Wesentlichen durch ein Verfahren bei dem die Richtung des Messstrahls auf die Richtung der Oberflächennormale des zu messenden Objektes eingestellt wird, indem die Messsonde um zumindest die erste Richtung gedreht wird und durch eine Vorrichtung, bei der der drehbare Teil des Abstandssensors, also die Messsonde, mit dem drehbaren Teil einer Drehvorrichtung verbunden ist und der feste Teil des Abstandssensors mit dem festen Teil der Drehvorrichtung verbunden ist, wobei der Messstrahl zumindest

in der Messsonde in einer Faser, vorzugsweise Lichtwellenleiter, geführt wird.

**[0012]** Höchste Messraten werden in einer möglichen Weiterbildung erreicht, indem das Messsignal des Abstandssensors bei fortlaufender Drehung der Messsonde permanent ausgewertet wird und daraus die Richtung der Oberflächennormale erkannt wird und immer dann automatisch ein Messwert generiert wird, wenn die Drehstellung der Messsonde in zumindest der ersten Richtung auf die Richtung der Oberflächennormale eingedreht ist. Hierdurch ist es möglich, bei einer Messsignalfrequenz von beispielsweise 5 kHz genügend Messsignale, im Beispiel 250 Werte pro Umdrehung, zu erhalten, um eine Drehfrequenz und damit Messwertfrequenz von beispielsweise 20 Hz zu erzielen, sofern pro Umdrehung nur ein Wert generiert wird. Alternativ werden mehrere Abstandswerte je Umdrehung in dem Bereich, in dem ein gültiges Messsignal vorliegt, beispielsweise charakterisiert durch das Überschreiten eines Schwellwertes eines Qualitätssignals oder Unterschreiten eines Schwellwertes des Abstandssignals, aufgenommen. Dadurch lassen sich beispielsweise mehrere hundert Messwerte je Sekunde erzeugen.

**[0013]** Ein weiterer Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass die Messrichtung der Messsonde zunächst beliebig sein kann und nicht für jeden Punkt einzeln ausgerichtet werden muss. Hierdurch können Objekte mit beliebigen Oberflächenneigungen und mehrere Punkte schnell nacheinander gemessen werden. Durch die permanente Drehung ergibt sich die Anpassung der Messrichtung automatisch, wobei erkannt wird, wenn die eingenommene Drehstellung zur Erzeugung von Messwerten geeignet ist.

**[0014]** In einer Weiterbildung zur Messung kompletter Oberflächen, vorzugsweise scannend, wird zusätzlich der Abstandssensor entlang der Oberfläche geführt, indem der Abstandssensor um zumindest eine Richtung relativ zum Objekt verschoben wird, vorzugsweise durch Einsatz in einem Koordinatenmessgerät.

**[0015]** Des Weiteren beschreibt die Erfindung eine Vorrichtung zur Umsetzung des beschriebenen Verfahrens, die zusätzlich eine Drehung sehr kleine, faseroptische Messsonden erlaubt, indem der drehbare Teil des Abstandssensors, also die Messsonde, mit dem drehbaren Teil einer Drehvorrichtung verbunden ist und der feste Teil des Abstandssensors mit dem festen Teil der Drehvorrichtung verbunden ist, wobei der Messstrahl zumindest in der Messsonde in einer Faser, vorzugsweise Lichtwellenleiter, geführt wird und eine Auswerteeinheit mit dem Abstandssensor verbunden ist und die Messwerte, und vorzugsweise die Messsignale, des Abstandssensors empfängt und vorzugsweise die Auswerteeinheit mit der Steuerung eines Koordinatenmessgerätes verbunden ist.

**[0016]** Eine eigenständige Erfindung beschreibt zur Umsetzung des erfindungsgemäßen Verfahrens, aber auch für weitere Verfahren oder Vorrichtungen wie Sensoren oder Teile von Sensoren, eine Vorrichtung zur empfindlichen Justierung der Position eines Bauteils. Hierbei wird eine Untersetzung der Bewegung eines von zumindest zwei Stellelementen wie Stellschraube durch unterschiedliche Steifigkeit zweier Elemente erreicht, über die das erste und ein zweites Stellelemente an das zu justierende Teil direkt oder indirekt angekoppelt sind. Die Steifigkeit wird dabei beispielsweise durch unterschiedliche Elastizitätsmodule oder Dicken der beiden Elemente erreicht.

**[0017]** Die Vorrichtung ist auch für weitere Vorrichtungen bzw. Verfahren einsetzbar, wie beispielsweise faseroptische Messsonden, Messsonden eines taktil-optischen Sensors, Linsen oder Teiler von vorzugsweise mehrstufigen, optischen Strahlengängen, Teile optischer Strahlengänge oder ganze optische Strahlengänge wie Linsen oder Teile von Sensoren oder komplette Sensoren wie optische, taktile oder taktil-optische Sensoren.

**[0018]** Hierdurch können beispielsweise Astigmatismusfehler bei mehrstufigen optischen Abbildungen mit mehreren Linsen vermieden werden.

**[0019]** Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der Oberfläche eines Objektes mittels eines punktförmig messenden, optischen Abstandssensors, dessen Messstrahl eine um zumindest einer ersten Richtung entsprechenden Achse drehbare Messsonde in einer zweiten Richtung verlässt, vorzugsweise am Ende einer vorzugsweise stabförmig ausgebildeten Messsonde verlässt, wobei sich die zweite Richtung von der ersten Richtung unterscheidet, vorzugsweise durch eine Umlenkvorrichtung wie reflektierenden und/oder brechenden Bereich.

**[0020]** Gelöst wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe im Wesentlichen dadurch, dass zur Abstandsbestimmung zwischen der Messsonde, vorzugsweise dem Umlenkpunkt zwischen der ersten und der zweiten Richtung der Messstrahlung, und der Oberfläche des Objekts der in der zweiten Richtung verlaufende Messstrahl auf die Richtung der Oberflächennormale des zu messenden Objekts eingestellt wird, in dem die Messsonde um zumindest die erste Richtung gedreht wird.

**[0021]** Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass die Oberflächennormale vorab bekannt ist, vorzugsweise durch Zuordnung der jeweiligen Richtung der Oberflächennormale zu einem einzelnen oder mehreren zu messenden Punkten eines Messablaufes, wobei die Oberflächennormale im Vorhinein durch den Bediener und/oder Meistereilmessung und/oder aus ei-

nem Modell des Objektes wie CAD-Modell entnommen wird.

**[0022]** Besonders bevorzugterweise ist vorgesehen, dass die Oberflächennormale anhand der Messsignale des Abstandssensors ermittelt wird, vorzugsweise durch Auswertung des Abstandssignales und/oder eines Qualitätssignals wie beispielsweise der Signalamplitude.

**[0023]** Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass aus einer Drehbewegung des Abstandssensors heraus, immer dann automatisch ein Messwert generiert wird, wenn die Drehstellung der Messsonde in zumindest der zweiten Richtung auf die Richtung der Oberflächennormale eingedreht ist.

**[0024]** Bevorzugterweise sieht die Erfindung vor, dass der Abstandssensor und/oder das Objekt mittels einer mechanischen Drehachse oder Dreh-/Schwenkachse in zumindest einer weiteren Richtung gedreht werden.

**[0025]** Hervorzuheben ist des Weiteren, dass die Messsignale bei fortlaufender Drehung der Messsonde um die erste Richtung permanent ausgewertet werden und hieraus ein Abstandssignal und vorzugsweise zusätzlich ein Qualitätssignal generiert wird, wobei aus dem Abstandssignal und/oder dem Qualitätssignal auf die Richtung des Messstrahls zur Oberflächennormale geschlossen wird und die weiter zu verwendenden Messwerte ausgewählt werden.

**[0026]** Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass aus einer fortlaufenden Drehbewegung des Abstandssensors heraus, immer dann automatisch zumindest ein Messwert generiert wird, wenn das Abstandssignal minimal und/oder das Qualitätssignal maximal ist, wobei vorzugsweise das Qualitätssignal einen vorgegebenen Schwellwert überschreiten muss. Die Erfindung zeichnet sich auch dadurch aus, dass aus einer fortlaufenden Drehbewegung des Abstandssensors heraus, immer dann automatisch mehrere Messwerte generiert werden, wenn das Abstandssignal nahezu minimal und/oder das Qualitätssignal nahezu maximal ist, wobei das Qualitätssignal einen vorgegebenen Schwellwert überschreiten muss und/oder das Abstandssignal einen vorgegebenen Verlauf mit einer vorgegebenen maximalen Abweichung einhält.

**[0027]** Insbesondere zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass das Minimum des Abstandssignals und/oder das Maximum des Qualitätssignals aus dem Scheitelpunkt einer in das jeweilige Messsignal, oder einen Teil der um den Scheitelpunkt vorliegenden Werte des jeweiligen Messsignals, eingepassten Funktion, wie beispielsweise Parabel, berechnet wird.

**[0028]** Nach einem besonders hervorzuhebenden Vorschlag ist vorgesehen, dass das Minimum des Abstandssignals unter Hinzuziehung des Qualitätssignals berechnet wird.

**[0029]** Besonders hervorzuheben ist, dass das Minimum des Abstandssignals berechnet wird, indem das Abstandssignal zum Zeitpunkt des Maximums des Qualitätssignals ermittelt wird, vorzugsweise indem der Wert der in das Abstandssignal eingepassten Funktion zu diesem Zeitpunkt ermittelt wird oder indem eine Interpolation der um den Zeitpunkt herum vorliegenden Werte des Abstandssignals, vorzugsweise lineare Interpolation, durchgeführt wird.

**[0030]** Des Weiteren zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass das Abstandssignals und/oder das Qualitätssignals gefiltert verwendet werden, vorzugsweise durch Mittelwertbildung oder gleitende Mittelwertbildung und/oder Medianfilterung und/oder weiterer Filterung.

**[0031]** Insbesondere sieht die Erfindung vor, dass die fortlaufender Drehung der Messsonde in einer Richtung erfolgt oder abwechselnd in die eine Richtung und anschließend in die entgegen gesetzte Richtung, vorzugsweise bis zu Drehstellungen von jeweils  $180^\circ$  bezüglich einer Ausgangsdrehstellung.

**[0032]** Die Erfindung zeichnet sich insbesondere auch dadurch aus, dass entlang zumindest einer Messlinie mehrere Messpunkte, vorzugsweise scannend, aufgenommen werden, wobei der Abstandssensor entlang der Oberfläche geführt wird, indem der Abstandssensor um zumindest eine Richtung relativ zum Objekt verschoben wird, vorzugsweise durch Einsatz in einem Koordinatenmessgerät.

**[0033]** Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass die Messlinie entlang einer vorgegebenen geradenförmigen, kreisförmigen oder helixförmigen Bahn oder entlang eines vorgegebenen Splines verläuft.

**[0034]** Besonders hervorzuheben ist des Weiteren, dass aus einer fortlaufenden Drehbewegung des Abstandssensors und einer zusätzlichen in zumindest einer Richtung durch ein Koordinatenmessgerät ausgeführten lateralen Bewegung des Abstandssensor heraus, der Abstandssensor entlang einer Oberfläche geführt wird, wobei immer dann automatisch Messwerte generiert werden, wenn die Messrichtung des Messstrahls senkrecht oder nahezu senkrecht zur Oberflächennormale ausgerichtet ist.

**[0035]** Bevorzugterweise sieht die Erfindung vor, dass die Messlinie von einem Startpunkt zu einem Endpunkt führt und dazwischen durch den Verlauf der Oberfläche des Objektes bestimmt wird, wobei der Abstand und/oder die Richtung zur Oberfläche des Objektes durch den Abstandssensor erkannt und die

Relativposition zwischen Objekt und Abstandssensor im Messbereich des Abstandssensors geregelt wird.

**[0036]** Insbesondere sieht die Erfindung vor, dass als Abstandssensor ein Sensor nach dem Prinzip der kurzkohärenten Interferometrie verwendet wird, der vorzugsweise in ein Koordinatenmessgerät integriert ist, welches vorzugsweise zumindest eine Drehachse oder Dreh-/Schwenkachse zur Drehung des Objektes oder des Abstandssensors enthält.

**[0037]** Die Erfindung ist auch dadurch gekennzeichnet, dass Rundlauf- bzw. Exzentrizitätsabweichungen während der Drehung der Messsonde um die erste Richtung vorab eingemessen werden, vorzugsweise durch Messung eines kalibrierten Testkörpers, oder ein optischer Sensor, vorzugsweise Bildverarbeitungssensor, die Messsonde erfasst und die Rundlauf- bzw. Exzentrizitätsabweichungen während der Drehung der Messsonde um die erste Richtung ermittelt.

**[0038]** Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass die Rundlauf- bzw. Exzentrizitätsabweichungen bei der eigentlichen Messung durch Positionierung der anderen Achsen eines Koordinatenmessgerätes kompensiert werden oder die Ergebnisse der Messung im Nachhinein um diese Abweichungen korrigiert werden.

**[0039]** Insbesondere ist vorgesehen, dass ein optischer Sensor, vorzugsweise Bildverarbeitungssensor, Messsonde und/oder Objekt Oberfläche erfasst und/oder bei abgelegter Messsonde zur Messungen der Objekt Oberfläche verwendet wird und vorzugsweise einen variabel einstellbaren Arbeitsabstand und vorzugsweise variablen Abbildungsmaßstab besitzt.

**[0040]** Kennzeichnend für die Erfindung ist insbesondere auch, dass bei der Bewegung der translatorischen Achsen zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen Abstandssensor und zu messendem Objekt, vorzugsweise der translatorischen Achsen eines Koordinatenmessgerätes, durch Drehen der Messsonde in die zumindest erste Richtung, die Richtung des Messstrahls auf die Bewegungs- bzw. Drehrichtung angepasst wird, vorzugsweise der Winkel zwischen Messstrahl und der Projektion der Bewegungs- bzw. Drehrichtung in die durch den drehenden Messstrahl gebildete Ebene, kleiner als der halbe Aperturwinkel des punktförmigen Abstandssensors ist.

**[0041]** Bevorzugterweise zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass zur Anpassung der Messstrahlrichtung auf die Bewegungsrichtung die Bewegungsachsen in ihrer Geschwindigkeit und/oder Richtung gesteuert, vorzugsweise abgebremst werden.

**[0042]** Ebenso beschreibt die Erfindung eine Vorrichtung zur Bestimmung der Oberfläche eines Objektes zumindest umfassend aus einem punktförmig messenden, optischen Abstandssensor mit einer drehbaren Messsonde, dessen Messstrahl die um zumindest eine einer ersten Richtung des Messstrahls entsprechende Achse drehbare Messsonde in einer zweiten Richtung verlässt, vorzugsweise am Ende einer vorzugsweise stabförmig ausgebildeten Messsonde verlässt, wobei sich die zweite Richtung von der ersten Richtung unterscheidet, vorzugsweise durch eine Umlenkvorrichtung wie reflektierenden und/oder brechenden Bereich, und einer Auswerteeinheit.

**[0043]** Gelöst wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe im Wesentlichen dadurch, dass der Abstandssensor ein drehbares Teil als die Messsonde und ein feststehendes Teil aufweist, dass das drehbare Teil mit drehbarem Teil einer Drehvorrichtung und das feststehende Teil des Abstandssensors mit feststehenden Teil der Drehvorrichtung verbunden ist, wobei der Messstrahl zumindest in der Messsonde in einer Faser, vorzugsweise Lichtwellenleiter, geführt wird.

**[0044]** Ebenso beschreibt die Erfindung eine Vorrichtung zur Bestimmung der Oberfläche eines Objektes zumindest bestehend aus einem punktförmig messenden, optischen Abstandssensor mit einer drehbaren Messsonde, dessen Messstrahl die um zumindest einer ersten Richtung entsprechenden Achse drehbare Messsonde in einer zweiten Richtung verlässt, vorzugsweise am Ende einer vorzugsweise stabförmig ausgebildeten Messsonde verlässt, wobei sich die zweite Richtung von der ersten Richtung unterscheidet, vorzugsweise durch eine Umlenkvorrichtung wie reflektierenden und/oder brechenden Bereich, und einer Auswerteeinheit.

**[0045]** Gelöst wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe im Wesentlichen dadurch, der drehbare Teil des Abstandssensors, also die Messsonde, mit dem drehbaren Teil einer Drehvorrichtung verbunden ist und der feste Teil des Abstandssensors mit dem festen Teil der Drehvorrichtung verbunden ist, wobei der Messstrahl zumindest in der Messsonde in einer Faser, vorzugsweise Lichtwellenleiter, geführt wird.

**[0046]** Mit der vorliegenden Vorrichtung ist es insbesondere möglich, dass die Auswerteeinheit mit dem Abstandssensor verbunden ist und den Abstandswert, und vorzugsweise ein Qualitätssignal, aus der empfangenen Messstrahlung des Abstandssensors bestimmt und vorzugsweise die Auswerteeinheit mit der Steuerung eines Koordinatenmessgerätes verbunden ist, an die zumindest der Abstandswert und vorzugsweise auch das Qualitätssignal übertragen wird.

**[0047]** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass der optische Sensor ein Sensor nach dem Prinzip der kurzkohärenten Interferometrie ist.

**[0048]** Hervorzuheben ist insbesondere, dass Mittel vorhanden sind, mit denen die Übertragung der Messsignale zwischen feststehendem und drehbarem Teil über eine Lichtwellenleiterkopplung erfolgt.

**[0049]** Die Erfindung zeichnet sich auch dadurch aus, dass die Lichtwellenleiterkopplung aus einem feststehenden Faserende mit vorzugsweise fokussierendem Strahlaustritt und einem gegenüber angeordneten, drehbaren Faserende besteht, in das die Messstrahlung eingekoppelt wird, wobei sich die beiden Faserenden vorzugsweise nicht berühren.

**[0050]** Insbesondere ist die Erfindung auch dadurch gekennzeichnet, dass jeweils eine Justiervorrichtung zur Ausrichtung des feststehenden Faserendes und des drehbaren Faserendes auf die Drehachse der Dreheinrichtung in den feststehenden beziehungsweise drehbaren Teil der Dreheinrichtung integriert sind.

**[0051]** Eine eigenständigen Schutz genießende Erfindung betrifft eine Vorrichtung, bei der eine Justiervorrichtung zur Justierung eines Teils wie Bauteils oder Baugruppe oder Sensors besteht aus, zumindest einem ersten und zumindest einem zweiten Stелеlement wie Stellschraube, wobei diese mittels Elementen unterschiedlicher Steifigkeit direkt oder indirekt an das zu justierende Teil angekoppelt sind. Des Weiteren zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, dass die unterschiedliche Steifigkeit des ersten und zweiten Elementes durch unterschiedlichen Elastizitätsmodul oder unterschiedliche Dicke, vorzugsweise in der Justierichtung der jeweils zugeordneten Stellschraube, erzeugt wird.

**[0052]** Es ist weiterhin vorgesehen, dass an die Justiervorrichtung eine faseroptische Messsonde oder eine Messsonde eines taktil-optischen Sensors oder eine Linse oder ein Teiler eines, vorzugsweise mehrstufigen, optischen Strahlengangs oder zumindest ein Teil eines optischen Strahlengangs wie Linse oder eines optischen, taktilen oder taktil-optischen Sensors befestigt ist.

**[0053]** Besonders hervorzuheben ist, dass eine Justiervorrichtung gebildet wird, durch zumindest eine erste Stellschraube, die aus einem ersten Material besteht oder an ein Teil aus erstem Material angekoppelt ist und an einer ersten Seite eines Bauteils, vorzugsweise an das Faserende, direkt oder indirekt angekoppelt ist und durch zumindest eine zweite Stellschraube, die aus einem zweiten Material besteht oder über ein Teil aus zweitem Material angekoppelt ist und an einer zweiten, vorzugsweise ge-

genüberliegenden, Seite an das Bauteil, vorzugsweise an das Faserende, direkt oder indirekt angekoppelt ist, wobei die Elastizitätsmodule aus erstem und zweitem Material unterschiedlich sind, vorzugsweise das Verhältnis der Elastizitätsmodule aus erstem und zweitem Material mindestens 3, vorzugsweise mindestens 5, besonders bevorzugt mindestens 20, ist.

**[0054]** Bevorzugterweise ist vorgesehen, dass die Lichtwellenleiterkopplung aus einer festen oder lösbaren Steckverbindung besteht und feststehender und/oder drehbarer Teil der Faser bei Drehung der Dreheinheit mitgeführt werden, vorzugsweise durch wendelförmiges oder helixförmiges oder spiralförmiges Aufwickeln zumindest eines Teiles der Faser.

**[0055]** Insbesondere sieht die Erfindung vor, dass sich an das drehbare Faserende die Messsonde mit Strahlumlenkung anschließt.

**[0056]** Die Erfindung zeichnet sich auch dadurch aus, dass die Messsonde mit dem drehbaren Teil der Drehvorrichtung lösbar verbunden ist, vorzugsweise durch magnetische Kopplung.

**[0057]** Besonders hervorzuheben ist des Weiteren, dass die Messsonde und der drehbare Teil der Drehvorrichtung lösbar mit dem nicht drehbaren Teil der Drehvorrichtung verbunden ist, vorzugsweise durch magnetische Kopplung.

**[0058]** Insbesondere ist vorgesehen, dass die Dreheinheit mit dem Abstandsensor in ein Koordinatenmessgerät, vorzugsweise an einer vertikal bewegbaren Pinole befestigt, integriert ist.

**[0059]** Die Erfindung zeichnet sich auch dadurch aus, dass der Abstandsensor mit einem optischen Sensor, vorzugsweise Bildverarbeitungssensor, verbunden ist, der ausgebildet ist, um unterschiedliche lange Messsonden, jeweils einstellbar, optisch zu erfassen und vorzugsweise veränderbaren Arbeitsabstand besitzt, um wahlweise oberes oder unteres Ende der unterschiedlich langen Messsonden und/oder die Objektoberfläche zu erfassen.

**[0060]** Hervorzuheben ist insbesondere, dass der Abstandsensor und/oder das Objekt an einer mechanischen Drehachse oder Dreh-/Schwenkachse befestigt ist.

**[0061]** Die Erfindung zeichnet sich insbesondere auch dadurch aus, dass das Koordinatenmessgerät eine Wechsellvorrichtung enthält, in dem die Messsonden abgelegt werden und aus dem verschiedene Messsonden eingewechselt werden können, insbesondere Messsonden mit verschiedenen Abstrahlwinkeln und/oder Sondenlängen und/oder Sonden-durchmessern.

**[0062]** Um Kollisionen bei der Bewegung des punktförmigen optischen Abstandssensors mit Hindernissen bzw. an einem Messobjekt zu erkennen, ist es notwendig, diese Objekte zu erkennen. Dies erfolgt erfindungsgemäß dadurch, dass die Richtung des Messstrahls auf die Bewegungsrichtung angepasst wird. Hierbei werden lediglich die Komponenten der Bewegung berücksichtigt, die sich in der Ebene des sich drehenden Messstrahls befinden. Hierdurch ist es also möglich, immer in die Richtung zu schauen, in der positioniert wird.

**[0063]** Sollen sehr kurze Strecken zurückgelegt werden oder befindet sich der Messstrahl in einer Drehstellung, die einen sehr großen Winkel zu der nächsten Bewegungsrichtung aufweist, so ist es unter Umständen notwendig, die Bewegungsachsen in ihrer Bewegungsgeschwindigkeit und Richtung, zumindest vorübergehend, einzuschränken. Erfindungsgemäß erfolgt eine Überwachung des Winkels zwischen Bewegungsrichtung und Messrichtung im Bereich der halben Sensorapertur, damit sichergestellt ist, dass bei Annäherung an ein Messobjekt auch ein auswertbares Messsignal zur Kollisionserkennung vorliegt. Aperturwinkel typischer optischer punktförmiger Abstandssensoren liegen im Bereich von wenigen Grad, vorzugsweise zwischen 2 und 10 Grad.

**[0064]** In einer besonders bevorzugten Lösung wird zuerst die Anpassung der Messrichtung auf die folgende Bewegungsrichtung durchgeführt und dann erst die Bewegung gestartet. Alternativ wird die Bewegungsgeschwindigkeit entsprechend des vorliegenden Winkels begrenzt, bei größerem Winkel auf langsamere Geschwindigkeiten, bei kleineren Winkeln auf größere Geschwindigkeiten. Hierdurch ist es möglich, dass Verfahren auch beim Scannen bzw. bei wechselnden Bewegungsrichtungen anzuwenden.

**[0065]** Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmale – für sich und/oder in Kombination – sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung der Figuren.

**[0066]** Es zeigen:

**[0067]** [Fig. 1](#) eine erfindungsgemäße Vorrichtung, verbunden mit einem optischen Sensor und an eine Pinole eines Koordinatenmessgerätes angekoppelt,

**[0068]** [Fig. 2](#) Anwendungen des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Messungen einer Bohrung,

**[0069]** [Fig. 3](#) ein Messsignal bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zu Messungen einer Bohrung,

**[0070]** [Fig. 4](#) ein Messsignal bei einer weiteren Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zu Messungen einer Bohrung,

**[0071]** [Fig. 5](#) eine Justiervorrichtung der erfindungsgemäßen Anordnung und

**[0072]** [Fig. 6](#) eine Ausgestaltung der Justiervorrichtung der erfindungsgemäßen Anordnung.

**[0073]** [Fig. 1](#) zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung **1**, umfassend eine Dreheinheit **2** und einem Abstandssensor **3**, welcher nach dem Prinzip der kurzkohärenten Interferometrie arbeitet, verbunden mit einem optischen Sensor **4** und einer Pinole **5** eines Koordinatenmessgerätes.

**[0074]** Die Dreheinheit **2** besteht aus einem feststehenden Teil **6** und einem drehbaren Teil **7**, der um die Achse einer Messsonde **11**, also in der [Fig. 1](#) der vertikalen Richtung, drehbar ist. Der Abstandssensor **3** besteht aus einem feststehenden Faserende **8**, das mit Hilfe eines Haltebleches **9** mit dem feststehenden Teil **6** der Dreheinheit **2** verbunden ist, und einem drehbaren Faserende **10** der Messsonde **11**, das mit dem drehbaren Teil **7** durch ein Halteblech **12** und eine magnetische Wechselschnittstelle **13** lösbar verbunden ist. Hierdurch ist es möglich, verschiedene Messsonden, insbesondere unterschiedlichen Durchmessers und unterschiedlicher Länge in einem automatischen Messablauf zu verwenden. Ein hierfür eingesetztes Koordinatenmessgerät enthält dazu eine automatische Wechselvorrichtung.

**[0075]** Die Messsonde **11** empfängt an ihrem oberen Ende des drehbaren Faserendes **10** einen Messstrahl **14** durch Fokussierung der Messstrahlung aus dem feststehenden Faserende **8**. Das feststehende Faserende **8** ist dazu am distalen Ende mit einer Linse, vorzugsweise GRIN-Linse versehen. Zur Justierung sind die Justierstellen **17** und **18** vorgesehen, die anhand der [Fig. 5](#) näher erläutert werden. Zur Vermeidung von Abrieb oder Dejustierung an der Koppelstelle zwischen dem feststehenden Faserende **8** und dem drehbaren Faserende **10** sind diese mit geringem Abstand zueinander angeordnet.

**[0076]** Am unteren Ende der Messsonde **11** wird der Messstrahl **14** an einer Schicht **15** reflektiert und in der umgelenkten Messrichtung **20** rechtwinklig auf eine Objektoberfläche **16**, der Innenwand einer Vertiefung **21** wie Bohrung gerichtet. Dort wird der Messstrahl reflektiert und durch die Messsonde **11** und das feststehende Faserende **8** zu einer Auswerteeinheit **19** geleitet. Die Auswerteeinheit **19** berechnet aus der empfangenen Messstrahlung Messsignale, aus denen Abstandswert **26** zur Objektoberfläche **16** und ein Qualitätssignal **27**, welches beispielsweise aus der Amplitude des Messsignals ermittelt wird und die Stärke der an der Objektoberfläche **16** reflektierten



Messstrahlung, also damit die rechtwinklige Ausrichtung der umgelenkten Messrichtung **20** auf die Objektoberfläche **16** charakterisiert, abgeleitet wird.

**[0077]** Die Auswerteeinheit **19** überträgt den Abstandswert **26** und vorzugsweise das Qualitätssignal **27** an die Steuerung eines Koordinatenmessgerätes, wodurch immer dann ein Messwert verarbeitet wird, wenn das Abstandssignal **26** minimal oder das Qualitätssignale **27** maximal ist, also die Objektoberfläche **16** ideal rechtwinklig zur umgelenkten Messrichtung **20** steht. Es können alternativ auch mehrere Messwerte in der Umgebung der idealen Ausrichtung verwendet werden.

**[0078]** Wird der Abstandssensor **3** während der Messung durch das Koordinatenmessgerät zusätzlich bewegt, berücksichtigt die Steuerung des Koordinatenmessgerätes die aktuelle Position des Abstandssensors zum Zeitpunkt der Messwertaufnahme und generiert daraus die Messpunktkoordinaten auf der Objektoberfläche **16**.

**[0079]** Zur rechtwinkligen Einstellung der umgelenkten Messrichtung **20** auf die Objektoberfläche **16** wird die Messsonde **11** zusammen mit dem drehbaren Teil **7** der Dreheinheit **2** und der magnetischen Wechselschnittstelle **13** sowie dem Halblech **12** gedreht. Zusätzlich hierzu kann die gesamte Vorrichtung oder das Objekt an einer separaten Drehachse oder Dreh-/schwenkachse des Koordinatenmessgerätes befestigt sein um die rechtwinklige Einstellung auch in weiteren Drehrichtungen bzw. Objektoberflächenorientierungen zu ermöglichen.

**[0080]** Der optische Sensor **4** besteht seinerseits aus einem Bildverarbeitungssensor mit Matrixsensor **22** wie Kamera und dem Objektiv **23** sowie nicht gezeigter Aufricht-Beleuchtungseinrichtung. Das Objektiv **23** enthält dabei Mittel zur Veränderung des Arbeitsabstandes zur Einstellung der **Abb. 24** auf das feststehende Faserende **8** und/oder der **Abb. 25** auf das drehbare Faserende **10** oder der Abbildung auf das untere Ende der Messsonde **11**, auch verschieden langer Messsonden, im Bereich der Umlenschicht **15**. Hierdurch kann alternativ die Position der beiden Faserenden **8** und **10** zu Justagezwecken oder zur Bestimmung des Rundlaufes bzw. der Exzentrizität während einer Messung oder der Bereich um das untere Messsondenende zur Vermeidung von Kollisionen mit dem Werkstück beim Eintauchen in kleine Öffnungen wie Bohrungen, optisch erfasst werden. Hierzu müssen die Strahlung der **Abb. 24** bzw. **Fig. 25** die Halbleche **9** bzw. **12** durchdringen, welche hierzu teilweise durchlässig gestaltet sind.

**[0081]** Der vorab oder während der Messung bestimmte Rundlauf bzw. die Exzentrizität wird entweder zur Korrektur der Bewegungsbahn des Ab-

standssensors **3** oder zur nachträglichen Korrektur der Messergebnisse verwendet. Hierdurch wird der Zustand hergestellt, als würden keine Rundlauf- bzw. Exzentrizitätsabweichungen vorliegen, sich die Messsonde **11** also exakt in der Drehachse der Dreheinheit befinden.

**[0082]** **Fig. 2** zeigt drei verschiedene Verfahren zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Das dabei vorliegende und das Qualitätssignale **51** und das Abstandssignale **S2** sind in den **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt.

**[0083]** Der Abstandssensor **3** wird im Beispiel zur Messung des Zylindermantels einer Bohrung eingesetzt. Hierzu ist die Messsonde **11** in die Bohrung **21** eingetaucht. **Fig. 2** zeigt die Szene der **Fig. 1** aus der Ansicht von oben. Der umgelenkte Messstrahl **20** verläuft in der Zeichenebene.

**[0084]** In der ersten Anwendung des erfinderischen Verfahrens wird die Messsonde für jeweils einen einzelnen Messpunkt so gedreht, dass der umgelenkte Messstrahl rechtwinklig auf die Objektoberfläche, also den Zylindermantel der Bohrung **21**, ausgerichtet ist und dann ein Abstandswert ermittelt und ein Messpunkt generiert. Die Messsonde **11** ist dazu in einer ersten Stellung **28** so gedreht, dass der umgelenkte Messstrahl **21** in der Richtung **29** rechtwinklig zur Objektoberfläche **16** verläuft. In dieser Stellung wird der Messpunkt **30** bestimmt. In einer zweiten Stellung **31** wird der umgelenkte Messstrahl nun durch Drehen um die Messsondenrichtung in Richtung des Pfeiles **32** neu auf die Objektoberfläche **16** in der Richtung **33** ausgerichtet und der Messpunkt **34** bestimmt. Die jeweilige Oberflächennormale, auf die der umgelenkte Messstrahl ausgerichtet werden muss, ist hierfür vorab bekannt, z. B. anhand des CAD-Modells des Objektes oder durch Eingabe durch einen Benutzer.

**[0085]** In der zweiten Anwendung ist die Kenntnis der Oberflächennormale vorab nicht unbedingt notwendig, aber natürlich hilfreich. Die Messsonde **11** befindet sich in **Fig. 2** hierzu in der Position **35**. Die zur Messung notwendige umgelenkte Messrichtung ist mit dem Bezugszeichen **36** gekennzeichnet aber zunächst nicht bekannt oder nur ungenau bekannt. Die Messsonde **35** wird nun in Richtung des Pfeiles **39** fortlaufend gedreht, wodurch die umgelenkte Messrichtung wiederholt die Stellungen **36, 38, 40–46** und wieder **36** usw. einnimmt. Hierdurch entstehen die in **Fig. 3** dargestellten Signale **S1** (Qualitätssignal) und **S2** (Abstandssignal), wobei das Qualitätssignal beispielsweise aus der Amplitude des Messsignals abgeleitet wird und ein Maß für die Stärke der Strahlung darstellt, die in die Messsonde **11** zurück reflektiert wird. Der Drehstellung **36** entsprechen die Signale **S1** und **S2** in **Fig. 3** zum Zeitpunkt **t** gleich **5** der Abszisse, die Zuordnung der weiteren Drehstellung ist folgendermaßen: Drehstellung **38** – Zeitpunkt



6, Drehstellung 40 – Zeitpunkt 7, Drehstellung 41 – Zeitpunkt 8, Drehstellung 42 – Zeitpunkt 9, Drehstellung 43 – Zeitpunkt 1, Drehstellung 44 – Zeitpunkt 2, Drehstellung 45 – Zeitpunkt 3 und Drehstellung 46 – Zeitpunkt 4. Die Ordinate zeigt die Amplitude A. Sie ist maximal, wenn die umgelenkte Messrichtung rechtwinklig zur Objektoberfläche steht.

[0086] Durch die fortlaufende Drehung der Messsonde 11 stehen die Signale S1 und S2 periodisch zur Verfügung und bei entsprechend hoher Abtastrate im Vergleich zur Drehfrequenz stehen ausreichend Stützstellen, also Messwerte von S1 und S2, über den Umfang jeder Drehung zur Verfügung, sodass die umgelenkte Messrichtung 36 durch Ermittlung des Maximums von S1 oder des Minimums von S2 genau bestimmt werden kann. Beispielweise beträgt die Abtastrate kurzkohärenter interferometrischer Abstandssensoren ca. 5 kHz. Bei einer Drehfrequenz von beispielsweise 20 Hz stehen dadurch ca. 250 Werte je Umdrehung zur Verfügung. Aus den Messwerten wird das Extremum bestimmt und dadurch der entsprechende Abstandswert von S2 sowie auch die entsprechende Drehstellung. Der Abstandswert zum entsprechenden Zeitpunkt  $t$  gleich 5 wird sodann verwendet, um den Messpunkt 37 zu bestimmen.

[0087] Zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit wird nicht der dem Minimum von S2 am nächsten gelegene Wert von S2 verwendet, sondern der Scheitelpunkt, also das Minimum einer in S2 eingepassten Funktion, z. B. Parabel zweiter oder höherer Ordnung, oder der Wert von S2 zum Zeitpunkt  $t$ , an dem die in das Qualitätssignal S1 eingepasste Funktion ihren Scheitelpunkt, in diesem Fall ihr Maximum besitzt.

[0088] Mit dieser zweiten Anwendung werden zyklisch Messpunkte erzeugt. Dadurch ist das Verfahren auch zum Scanning geeignet, wie in der dritten Anwendung beschrieben.

[0089] In der dritten Anwendung wird die Messsonde während der Drehung um die Richtung 47 zusätzlich lateral entlang der Objektoberfläche entlang der Positionen 48 bis 57 bewegt, wobei die umgelenkten Messrichtungen 58 bis 67 vorliegen. Fig. 4 zeigt die zugehörigen Messwerte S3 des Qualitätssignals und S4 des Abstandssignals zu den Zeitpunkten  $t$  bzw. den Positionen  $p$  gleich 0 bis 9. Die Extremas liegen zu den Zeitpunkten  $t$  etwa 1 und etwa 8 vor, die etwa an den Positionen 49 bzw. 56 und den umgelenkten Messrichtungen 59 und 66 vorliegen. Dadurch werden die Messpunkte 68 und 69 ermittelt.

[0090] Bei entsprechend höherer Messrate wird der Abstand zwischen den Messpunkten verringert. Dadurch ist es möglich, die Oberflächennormale laufend zu ermitteln und den weiteren Verlauf der Oberfläche 16 grob voraus zu berechnen. Hierdurch kann die Po-

sition der Messsonde so nachgeregelt werden, dass die Oberfläche innerhalb des Messbereiches des Abstandssensors 3 bleibt, wodurch ein geregeltes Scanning möglich ist, bei der die Messsonde 11 von einem Startpunkt zu einem Endpunkt automatisch entlang der Objektoberfläche 16 geführt wird.

[0091] Dabei kann die Messsonde 11 zusätzlich in einer weiteren Richtung durch beispielsweise ein Koordinatenmessgerät bewegt werden, beispielsweise senkrecht zur in Fig. 2 beschriebenen Bewegungsrichtung entlang der Positionen 48 bis 57, also tiefer hinein oder aus der Bohrung 21 heraus. Auf diese Weise wird die komplette Zylindermantelfläche auf einer beispielsweise helixförmigen Bahn, gemessen.

[0092] Alternativ kann ein unregelmäßiges Scanning durch Vorgabe von Sollpunkten entlang der Oberfläche, beispielsweise durch einen Spline, definiert sein. Dieser kann ebenso helixförmige Stützstellen enthalten, um die komplette Zylindermantelfläche zu erfassen. Der Spline kann zusätzlich auch die Oberflächennormale der Objektoberfläche enthalten, beispielsweise aus dem CAD-Modell des Objektes oder durch den Bediener vorgegeben, wodurch die umgelenkte Messrichtung, bei der ein Messwert aufgenommen wird, vorab bekannt ist.

[0093] Fig. 5 zeigt zwei Ausführungsformen der Justier Vorrichtung zur Ausrichtung des feststehenden Faserendes 6 und des drehbaren Faserendes 7 auf die Drehachse der Dreheinrichtung. Diese Ausrichtung muss mit besonders hoher Genauigkeit erfolgen, da der Messstrahl 14 in allen Drehstellungen in den ca. 10  $\mu\text{m}$  Durchmesser des Kernes einer von den zumeist eingesetzten Single-Mode Fasern eingekoppelt werden muss, um ein Messsignal zu erzeugen.

[0094] Die für eine solche Justierung notwendige Empfindlichkeit wird durch die erfindungsgemäße Verwendung zweier Materialien unterschiedlicher Steifigkeit erreicht. Die Steifigkeit wird durch den Elastizitätsmodul (E-Modul) und die Abmessungen, vorzugsweise in der Justierichtung, oder einer Kombination aus beidem bestimmt. Hierdurch entsteht eine Untersetzung der Bewegung eines zugeordneten Stellelementes.

[0095] In Fig. 5 wird hierzu eine erste Stellschraube 70 zur Feinjustierung, beispielsweise aus Stahl, über gegebenenfalls ein Zwischenelement (Teil 71) zur flächigen Übertragung der Stellkräfte aus einem festen Material mit hohem E-Modul, wie beispielsweise Stahl, und über das Zwischenelement (Teil 72) aus einem ersten Material mit geringem E-Modul, wie beispielsweise Polyoxymethylen (POM), an die Haltebleche 9 oder 12 der Faserenden 8 bzw. 10 angekoppelt. Das Teil 71 dient der Verteilung der von der Stellschraube 70 erzeugten Kraft und verhindert zu-

sätzlich die Beschädigung des Teiles **72** mit geringem E-Modul. Die zu justierenden Teile als Haltebleche **9**, **12** und feststehendes und drehbares Faserende **8**, **10** müssen zudem eine ausreichende Steifigkeit besitzen, um die Justierkräfte ohne signifikante Deformation zu übertragen bzw. aufzunehmen. Hierzu sind sie mit entsprechender Ausdehnung ausgeführt.

**[0096]** An der zu der Stellschraube **70** gegenüberliegenden Seite **73** befindet sich die Stellschraube **74** zur Grobjustierung, beispielsweise aus Stahl, die über ein Zwischenelement (Teil **77**) aus einem zweiten Material mit deutlich höherem E-Modul, wie beispielsweise Aluminium, an die Haltebleche **9** oder **12** der Faserenden **8** bzw. **10** angekoppelt ist. Zur Verteilung der Justierkräfte und Schutz des Teiles **77** kann zusätzlich ein dem Teil **71** entsprechendes Teil **71** zwischen der Stellschraube **74** und dem Teil **77** eingefügt werden.

**[0097]** Durch die unterschiedlichen E-Module des ersten und zweiten Materials entsteht eine Untersetzung der Bewegung der Stellschraube **70**, die direkt oder indirekt über das erste Material an das Halteblech angekoppelt ist, wodurch eine feinfühligere Justierung möglich ist. Der E-Modul des zweiten Materials ist deutlich höher, beispielsweise ca. 70 GPa für Aluminium, als der des ersten Materials, beispielsweise ca. 3 GPa für POM, wodurch sich ein Untersetzungsfaktor von etwa 23 ergibt.

**[0098]** Die Untersetzung kann weiterhin durch die Dicke der beiden Teile **72** und **77** variiert werden. Im Beispiel der [Fig. 5](#) wird die Steifigkeit des Teiles **77** durch die Erhöhung der Dicke in der Stellrichtung der Justierschrauben **70** und **74** erhöht, wodurch der Untersetzungsfaktor weiter erhöht wird. Diese Maßnahme erzeugt auch für sich allein genommen, also bei gleichen Materialien **1** und **2**, eine Untersetzung der Bewegung der Stellschraube **70**.

**[0099]** Werden mehrere dieser Justierelementepaare in verschiedenen Orientierungen angeordnet, so ist eine Grob- und Feinjustierung in mehreren Richtungen und damit die Ausrichtung der Faserenden **8** bzw. **10** auf die Drehachse der Dreheinrichtung **2** möglich.

**[0100]** Alternativ können die Justierelemente auch teilweise nicht gegenüberliegend angeordnet werden und trotzdem eine Justierung in mehreren Richtungen möglich sein. Hierzu sind zumindest zwei versetzt angeordnete Justierelemente notwendig, die über das erste Material angekoppelt werden und zumindest eine Justierelement, das über das zweite Material angekoppelt wird. Es sind selbstverständlich auch mehr als drei oder vier Justierelemente möglich. Eine Ausführung ist beispielhaft in der [Fig. 6](#) gezeigt. Sie zeigt die Anordnung bezüglich der [Fig. 5](#) in einer Ansicht von oben. Es sind zwei Justierstellen

aus dem ersten Material links unten und rechts unten und drei Justierstellen aus dem zweiten Material links, rechts und oben vorgesehen.

**[0101]** Erfindungsgemäß können die justierten Teile (feststehendes, drehbares Faserende **8**, **10**) und auch zusammen mit den Halteblechen **9**, **12** Teil einer völlig anderen Baugruppe oder Bauteils oder Sensors sein, der feinfühlig justiert wird. Stellvertretend seien einzelne Linsen von Optiken, wie Zoomoptiken, genannt.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- <http://www.isis-sentronics.de/produkte> [0005]
- [http://www.fionec.de/produkte\\_und\\_applikationenmesssysteme.html](http://www.fionec.de/produkte_und_applikationenmesssysteme.html) [0005]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Oberfläche eines Objektes mittels eines punktförmig messenden, optischen Abstandssensors, dessen Messstrahl eine um zumindest einer ersten Richtung entsprechenden Achse drehbare Messsonde in einer zweiten Richtung verlässt, vorzugsweise am Ende einer vorzugsweise stabförmig ausgebildeten Messsonde verlässt, wobei sich die zweite Richtung von der ersten Richtung unterscheidet, vorzugsweise durch eine Umlenkvorrichtung wie reflektierenden und/oder brechenden Bereich, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Abstandsbestimmung zwischen der Messsonde, vorzugsweise dem Umlenkpunkt zwischen der ersten und der zweiten Richtung der Messstrahlung, und der Oberfläche des Objekts der in der zweiten Richtung verlaufende Messstrahl auf die Richtung der Oberflächennormale des zu messenden Objekts eingestellt wird, in dem die Messsonde um zumindest die erste Richtung gedreht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächennormale vorab bekannt ist, vorzugsweise durch Zuordnung der jeweiligen Richtung der Oberflächennormale zu einem einzelnen oder mehreren zu messenden Punkten eines Messablaufes, wobei die Oberflächennormale im Vorhinein durch den Bediener und/oder Meisterteilmessung und/oder aus einem Modell des Objektes wie CAD-Modell entnommen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberflächennormale anhand der Messsignale des Abstandssensors ermittelt wird, vorzugsweise durch Auswertung des Abstandssignales und/oder eines Qualitätssignals wie beispielsweise der Signalamplitude.

4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus einer Drehbewegung des Abstandssensors heraus immer dann automatisch ein Messwert generiert wird, wenn die Drehstellung der Messsonde in zumindest der zweiten Richtung auf die Richtung der Oberflächennormale eingedreht ist.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstandssensor und/oder das Objekt mittels einer mechanischen Drehachse oder Dreh-/Schwenkachse in zumindest einer weiteren Richtung gedreht werden.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignale bei fortlaufender Drehung der Messsonde um die erste Richtung permanent ausgewertet werden und hieraus ein Abstandssignal und vorzugsweise zusätzlich ein Qualitätssignal generiert wird,

wobei aus dem Abstandssignal und/oder dem Qualitätssignal auf die Richtung des Messstrahls zur Oberflächennormale geschlossen wird und die weiter zu verwendenden Messwerte ausgewählt werden.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus einer fortlaufenden Drehbewegung des Abstandssensors heraus, immer dann automatisch zumindest ein Messwert generiert wird, wenn das Abstandssignal minimal und/oder das Qualitätssignal maximal ist, wobei vorzugsweise das Qualitätssignal einen vorgegebenen Schwellwert überschreiten muss.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus einer fortlaufenden Drehbewegung des Abstandssensors heraus, immer dann automatisch mehrere Messwerte generiert werden, wenn das Abstandssignal nahezu minimal und/oder das Qualitätssignal nahezu maximal ist, wobei das Qualitätssignal einen vorgegebenen Schwellwert überschreiten muss und/oder das Abstandssignal einen vorgegebenen Verlauf mit einer vorgegebenen maximalen Abweichung einhält.

9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Minimum des Abstandssignals und/oder das Maximum des Qualitätssignals aus dem Scheitelpunkt einer in das jeweilige Messsignal, oder einen Teil der um den Scheitelpunkt vorliegenden Werte des jeweiligen Messsignals, eingepassten Funktion, wie beispielsweise Parabel, berechnet wird.

10. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Minimum des Abstandssignals unter Hinzuziehung des Qualitätssignals berechnet wird.

11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Minimum des Abstandssignals berechnet wird, indem das Abstandssignal zum Zeitpunkt des Maximums des Qualitätssignals ermittelt wird, vorzugsweise indem der Wert der in das Abstandssignal eingepassten Funktion zu diesem Zeitpunkt ermittelt wird oder indem eine Interpolation der um den Zeitpunkt herum vorliegenden Werte des Abstandssignals, vorzugsweise lineare Interpolation, durchgeführt wird.

12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Abstandssignals und/oder das Qualitätssignals gefiltert verwendet werden, vorzugsweise durch Mittelwertbildung oder gleitende Mittelwertbildung und/oder Medianfilterung und/oder weiterer Filterung.

13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die fortlaufender Drehung der Messsonde in einer Richtung erfolgt oder abwechselnd in die eine Richtung und anschließend in die entgegen gesetzte Richtung, vorzugsweise bis zu Drehstellungen von jeweils  $180^\circ$  bezüglich einer Ausgangsdrehstellung.

14. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass entlang zumindest einer Messlinie mehrere Messpunkte, vorzugsweise scannend, aufgenommen werden, wobei der Abstandsensor entlang der Oberfläche geführt wird, indem der Abstandsensor um zumindest eine Richtung relativ zum Objekt verschoben wird, vorzugsweise durch Einsatz in einem Koordinatenmessgerät.

15. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messlinie entlang einer vorgegebenen geradenförmigen, kreisförmigen oder helixförmigen Bahn oder entlang eines vorgegebenen Splines verläuft.

16. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus einer fortlaufenden Drehbewegung des Abstandssensors und einer zusätzlichen in zumindest einer Richtung durch ein Koordinatenmessgerät ausgeführten lateralen Bewegung des Abstandssensor heraus, der Abstandsensor entlang einer Oberfläche geführt wird, wobei immer dann automatisch Messwerte generiert werden, wenn die Messrichtung des Messstrahls senkrecht oder nahezu senkrecht zur Oberflächennormale ausgerichtet ist.

17. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messlinie von einem Startpunkt zu einem Endpunkt führt und dazwischen durch den Verlauf der Oberfläche des Objektes bestimmt wird, wobei der Abstand und/oder die Richtung zur Oberfläche des Objektes durch den Abstandsensor erkannt und die Relativposition zwischen Objekt und Abstandsensor im Messbereich des Abstandssensors geregelt wird.

18. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Abstandsensor ein Sensor nach dem Prinzip der kurzkohärenten Interferometrie verwendet wird, der vorzugsweise in ein Koordinatenmessgerät integriert ist, welches vorzugsweise zumindest eine Drehachse oder Dreh-/Schwenkachse zur Drehung des Objektes oder des Abstandssensors enthält.

19. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Rundlauf- bzw. Exzentrizitätsabweichungen während der Drehung der Messsonde um die erste Richtung vorab eingemessen werden, vorzugsweise durch

Messung eines kalibrierten Testkörpers, oder ein optischer Sensor, vorzugsweise Bildverarbeitungssensor, die Messsonde erfasst und die Rundlauf- bzw. Exzentrizitätsabweichungen während der Drehung der Messsonde um die erste Richtung ermittelt.

20. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Rundlauf- bzw. Exzentrizitätsabweichungen bei der eigentlichen Messung durch Positionierung der anderen Achsen eines Koordinatenmessgerätes kompensiert werden oder die Ergebnisse der Messung im Nachhinein um diese Abweichungen korrigiert werden.

21. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein optischer Sensor, vorzugsweise Bildverarbeitungssensor, Messsonde und/oder Objekt Oberfläche erfasst und/oder bei abgelegter Messsonde zur Messungen der Objekt Oberfläche verwendet wird und vorzugsweise einen variabel einstellbaren Arbeitsabstand und vorzugsweise variablen Abbildungsmaßstab besitzt.

22. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Bewegung der translatorischen Achsen zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen Abstandsensor und zu messendem Objekt, vorzugsweise der translatorischen Achsen eines Koordinatenmessgerätes, durch Drehen der Messsonde in die zumindest erste Richtung, die Richtung des Messstrahls auf die Bewegungs- bzw. Drehrichtung angepasst wird, vorzugsweise der Winkel zwischen Messstrahl und der Projektion der Bewegungs- bzw. Drehrichtung in die durch den drehenden Messstrahl gebildete Ebene, kleiner als der halbe Aperturwinkel des punktförmigen Abstandssensors ist.

23. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Anpassung der Messstrahlrichtung auf die Bewegungsrichtung die Bewegungsachsen in ihrer Geschwindigkeit und/oder Richtung gesteuert, vorzugsweise abgebremst werden.

24. Vorrichtung zur Bestimmung der Oberfläche eines Objektes zumindest umfassend aus einen punktförmig messenden, optischen Abstandsensor (**3**) mit einer drehbaren Messsonde (**11**), dessen Messstrahl (**14**) die um zumindest eine einer ersten Richtung des Messstrahls entsprechende Achse drehbare Messsonde in einer zweiten Richtung verlässt, vorzugsweise am Ende einer vorzugsweise stabförmig ausgebildeten Messsonde verlässt, wobei sich die zweite Richtung von der ersten Richtung unterscheidet, vorzugsweise durch eine Umlenkvorrichtung wie reflektierenden und/oder brechenden Bereich (**15**), und einer Auswerteeinheit (**19**), dadurch gekennzeichnet,

dass der Abstandssensor (3) ein drehbares Teil (10) als die Messsonde (11) und ein feststehendes Teil (8) aufweist, dass das drehbare Teil mit drehbarem Teil einer Drehvorrichtung (2) und das feststehende Teil des Abstandssensors mit feststehendem Teil der Drehvorrichtung verbunden ist, wobei der Messstrahl (14) zumindest in der Messsonde in einer Faser, vorzugsweise Lichtwellenleiter, geführt wird.

25. Vorrichtung nach zumindest Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (19) mit dem Abstandssensor (3) verbunden ist und den Abstandswert, und vorzugsweise ein Qualitätssignal, aus der empfangenen Messstrahlung (14) des Abstandssensors bestimmt und vorzugsweise die Auswerteeinheit mit der Steuerung eines Koordinatenmessgerätes verbunden ist, an die zumindest der Abstandswert und vorzugsweise auch das Qualitätssignal übertragen wird.

26. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 und 25, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Abstandssensor (3) ein Sensor nach dem Prinzip der kurzkohärenten Interferometrie ist.

27. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Übertragung der Messsignale zwischen feststehendem und drehbarem Teil (8), (10) des Abstandssensors (3) über eine Lichtwellenleiterkopplung erfolgt.

28. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtwellenleiterkopplung aus einem feststehenden Faserende (8) mit vorzugsweise fokussierendem Strahlaustritt und einem gegenüber angeordneten, drehbaren Faserende (10) besteht, in das die Messstrahlung eingekoppelt wird, wobei sich die beiden Faserenden vorzugsweise nicht berühren.

29. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils eine Justier Vorrichtung zur Ausrichtung des feststehenden Faserendes (8) und des drehbaren Faserendes (10) auf die Drehachse der Dreheinrichtung (2) in den feststehenden beziehungsweise drehbaren Teil (6, 7) der Dreheinrichtung integriert sind.

30. Vorrichtung nach vorzugsweise einem der Ansprüche 24 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass eine Justier Vorrichtung (17, 18) zur Justierung eines Teils wie Bauteils oder Baugruppe oder Sensors besteht aus, zumindest einem ersten und zumindest einem zweiten Stellelement wie Stellschraube (70, 74), wobei diese mittels Elementen (71, 72, 77) unterschiedlicher Steifigkeit direkt oder indirekt an das zu justierende Teil angekoppelt sind.

31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedliche Steifigkeit

des ersten und zweiten Elementes (71, 72, 77) durch unterschiedlichen Elastizitätsmodul oder unterschiedliche Dicke, vorzugsweise in der Justierichtung der jeweils zugeordneten Stellschraube (70, 74), erzeugt wird.

32. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass an die Justier Vorrichtung eine faseroptische Messsonde oder eine Messsonde eines taktil-optischen Sensors oder eine Linse oder ein Teiler eines, vorzugsweise mehrstufigen, optischen Strahlengangs oder zumindest ein Teil eines optischen Strahlengangs wie Linse oder eines optischen, taktilen oder taktil-optischen Sensors befestigt ist.

33. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass eine Justier Vorrichtung gebildet wird, durch zumindest eine erste Stellschraube (70), die aus einem ersten Material (71) besteht oder an ein Teil aus erstem Material angekoppelt ist und an einer ersten Seite eines Bauteils, vorzugsweise an das Faserende (8, 10), direkt oder indirekt angekoppelt ist und durch zumindest eine zweite Stellschraube (74), die aus einem zweiten Material besteht oder über ein Teil aus zweitem Material (71) angekoppelt ist und an einer zweiten, vorzugsweise gegenüberliegenden, Seite an das Bauteil, vorzugsweise an das Faserende, direkt oder indirekt angekoppelt ist, wobei die Elastizitätsmodule aus erstem und zweitem Material unterschiedlich sind, vorzugsweise das Verhältnis der Elastizitätsmodule aus erstem und zweitem Material mindestens 3, vorzugsweise mindestens 5, besonders bevorzugt mindestens 20, ist.

34. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtwellenleiterkopplung aus einer festen oder lösbaren Steckverbindung besteht und feststehender und/oder drehbarer Teil der Faser bei Drehung der Dreheinheit (2) mitgeführt werden, vorzugsweise durch wendelförmiges oder helixförmiges oder spiralförmiges Aufwickeln zumindest eines Teiles der Faser.

35. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass sich an das drehbare Faserende (10) die Messsonde (11) mit Strahlumlenkung anschließt.

36. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 35, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsonde (11) mit dem drehbaren Teil (7) der Drehvorrichtung (2) lösbar verbunden ist, vorzugsweise durch magnetische Kopplung.

37. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsonde (11) und der drehbare Teil (7) der Dreh-

vorrichtung (2) lösbar mit dem feststehenden Teil (6) der Drehvorrichtung verbunden ist, vorzugsweise durch magnetische Kopplung.

38. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehinheit (2) mit dem Abstandsensor (3) in ein Koordinatenmessgerät, vorzugsweise an einer vertikal bewegbaren Pinole (5) befestigt, integriert ist.

39. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstandsensor (3) mit einem optischen Sensor (4), vorzugsweise Bildverarbeitungssensor, verbunden ist, der ausgebildet ist, um unterschiedliche lange Messsonden (11), jeweils einstellbar, optisch zu erfassen und vorzugsweise veränderbaren Arbeitsabstand besitzt, um wahlweise oberes oder unteres Ende der unterschiedlich langen Messsonden und/oder die Objektoberfläche (16) zu erfassen.

40. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstandsensor (3) und/oder das Objekt an einer mechanischen Drehachse oder Dreh-/Schwenkachse befestigt ist.

41. Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 24 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass das Koordinatenmessgerät eine Wechsellvorrichtung enthält, in dem die Messsonden abgelegt werden und aus dem verschiedene Messsonden eingewechselt werden können, insbesondere Messsonden mit verschiedenen Abstrahlwinkeln und/oder Sondenlängen und/oder Sondendurchmessern.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

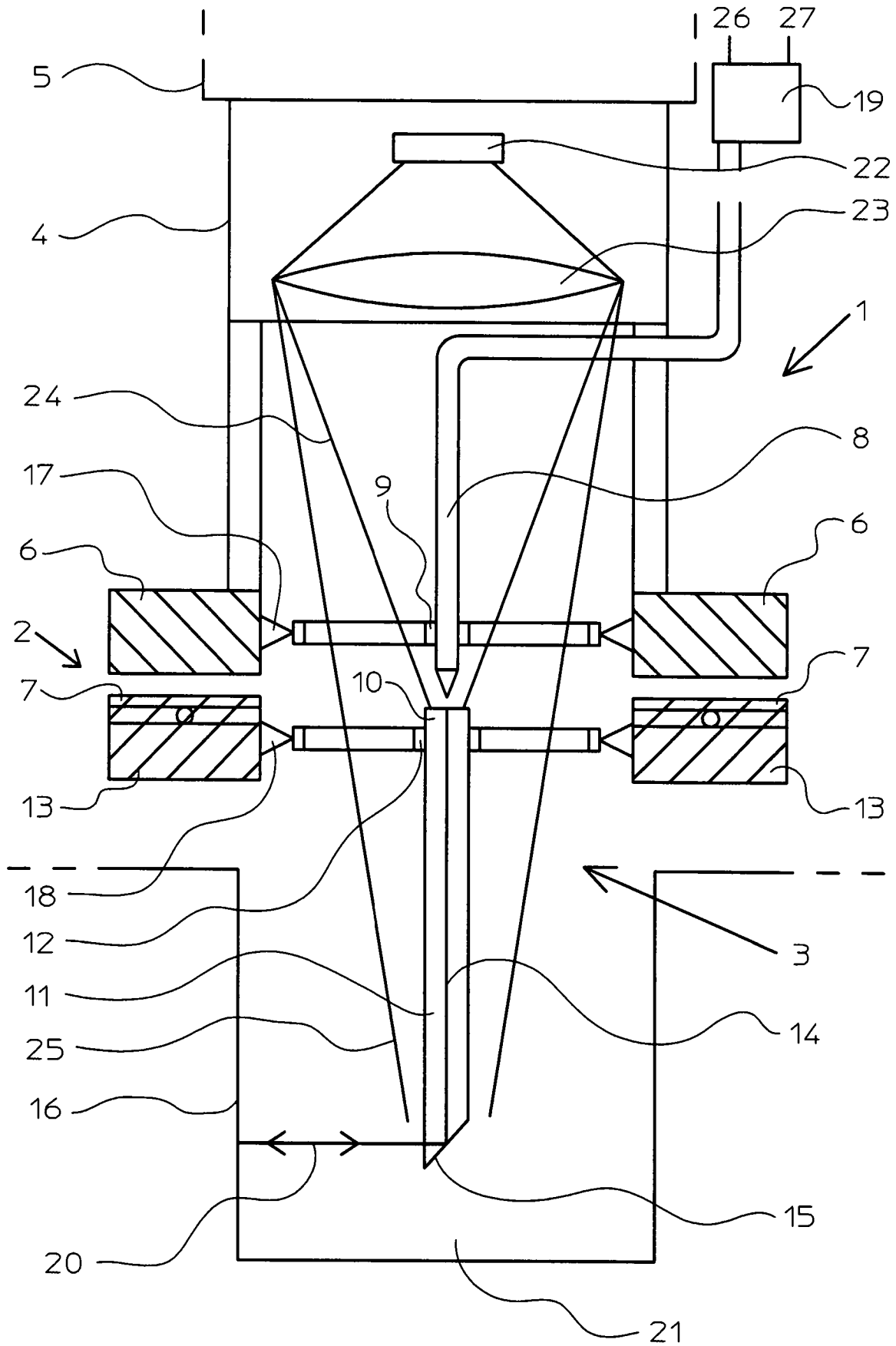


Fig.1

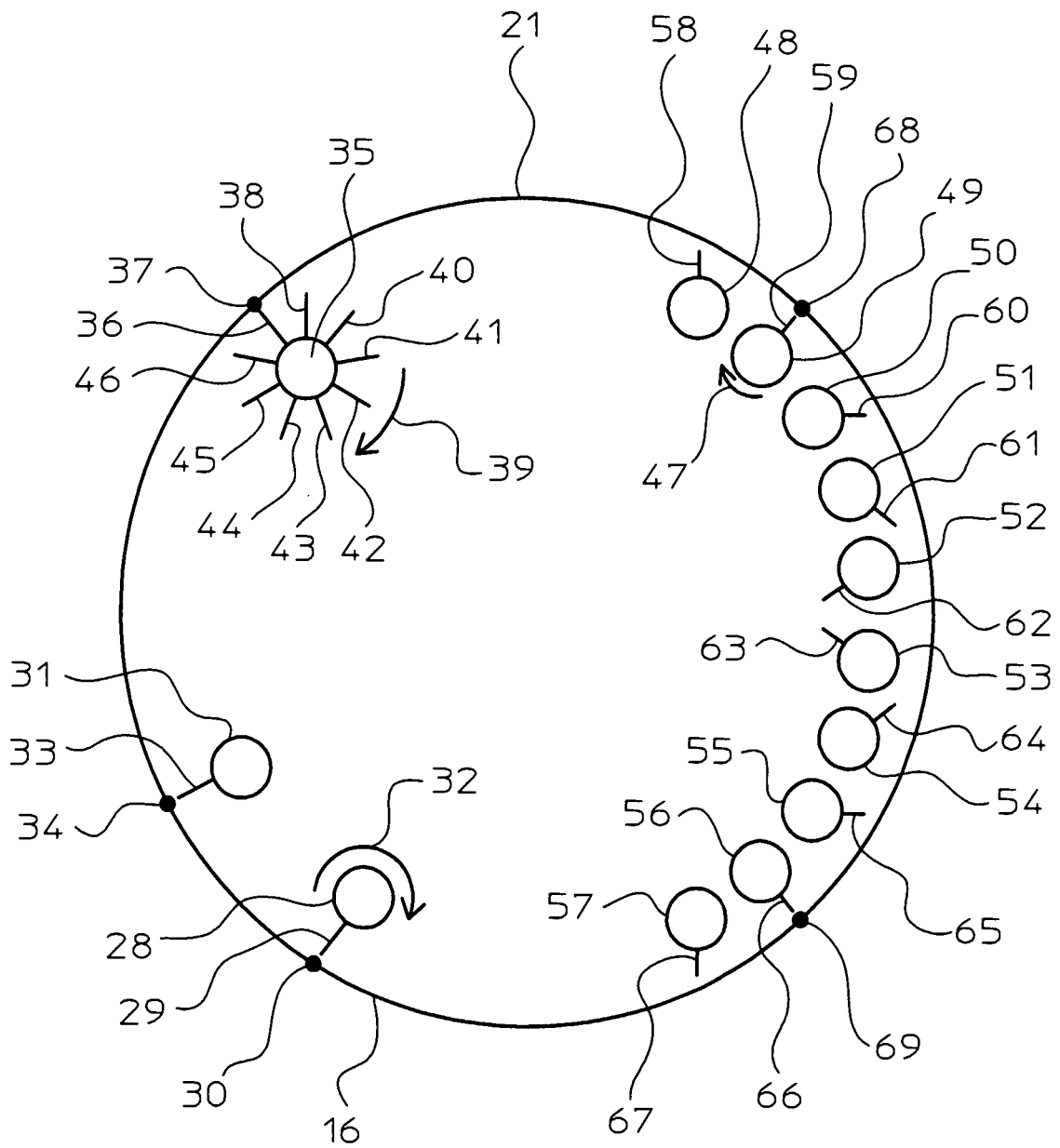


Fig.2

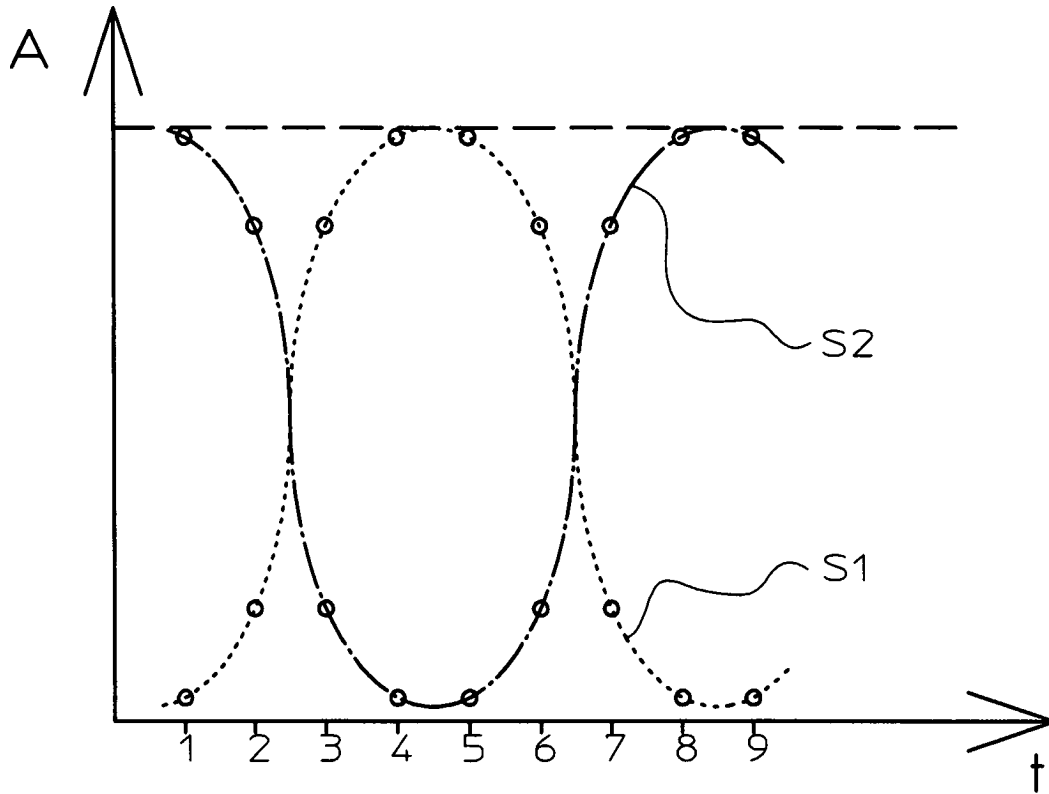


Fig.3

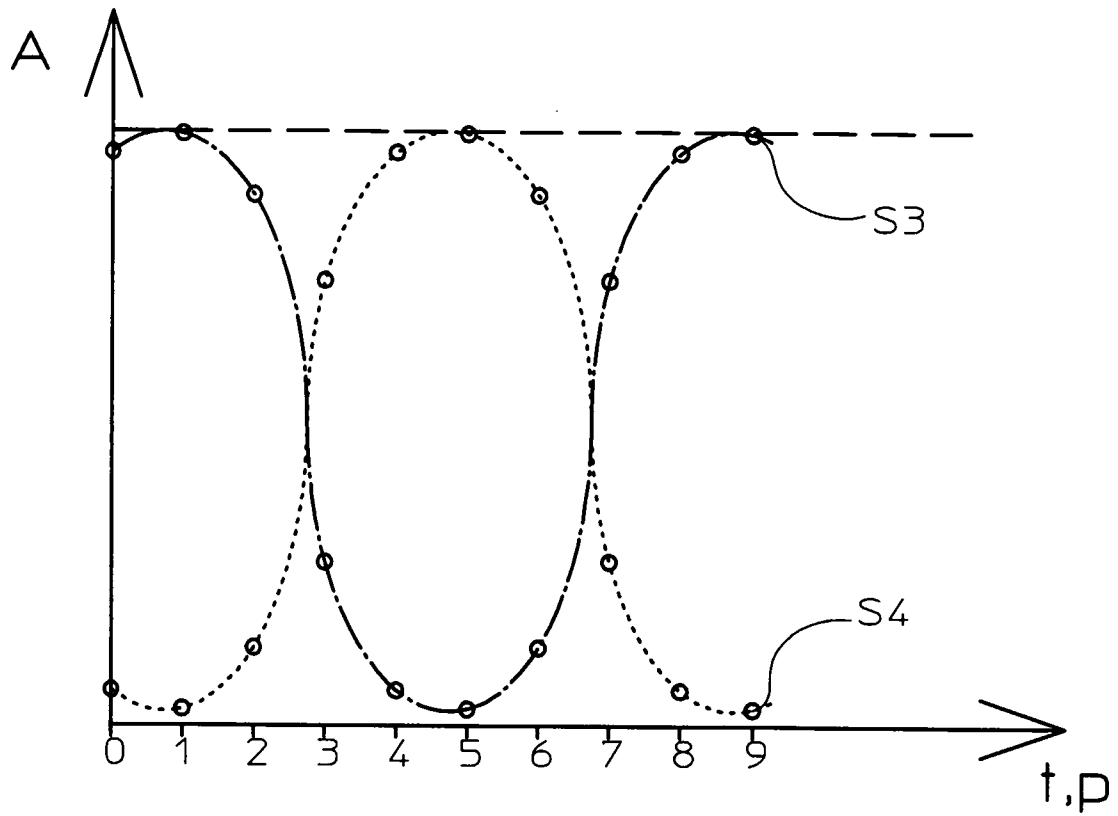


Fig.4

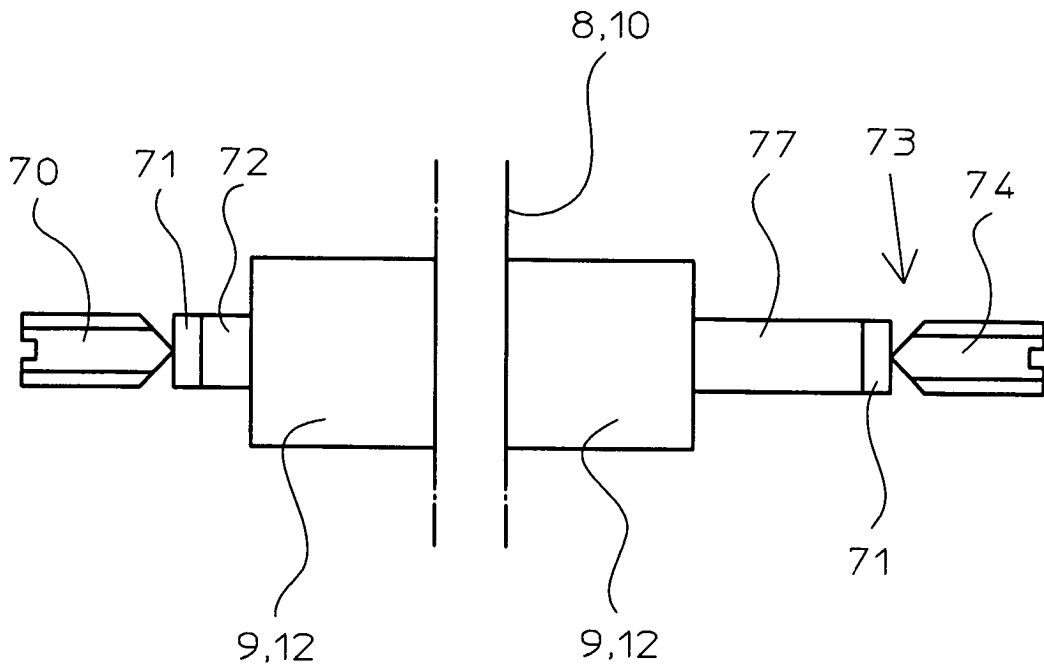


Fig.5

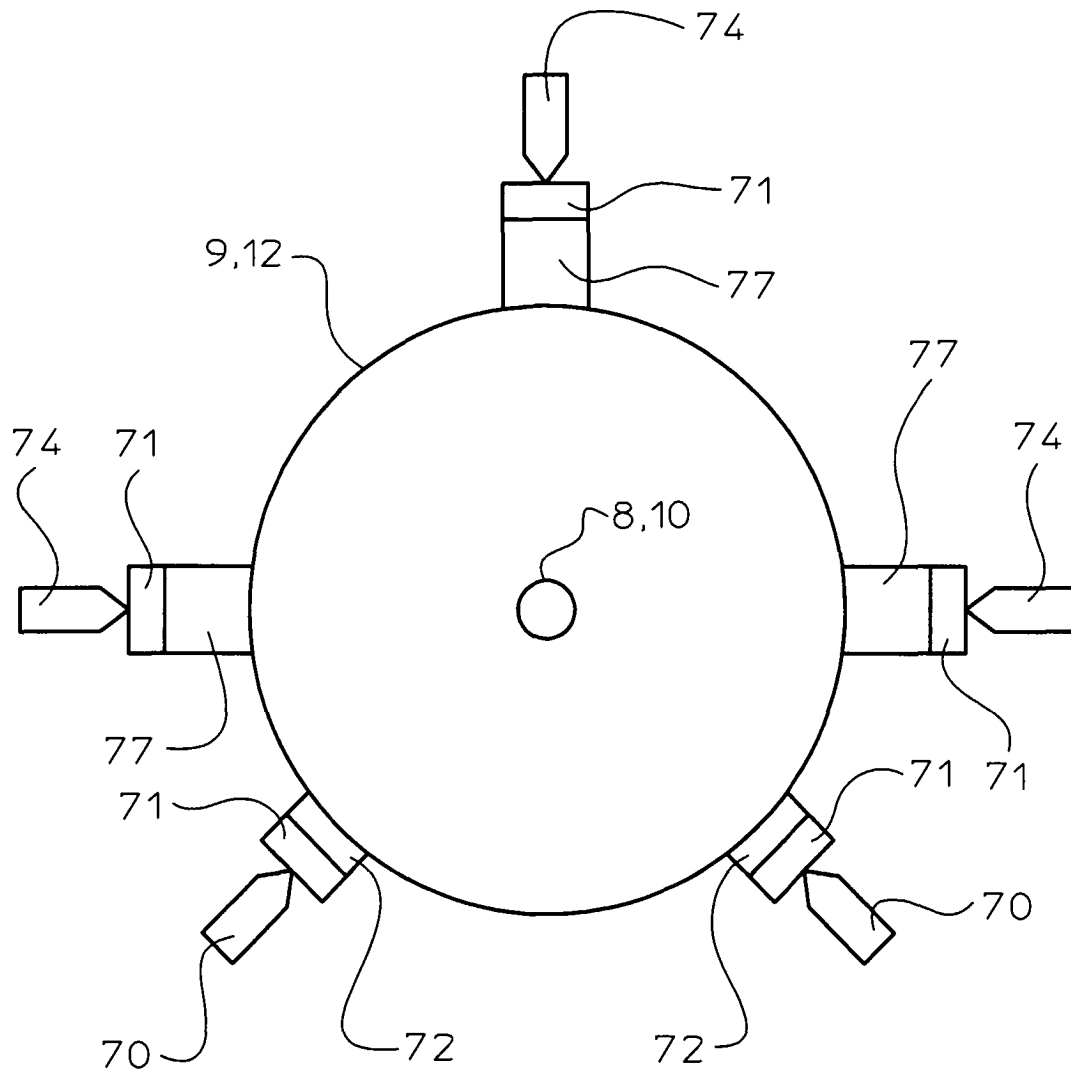


Fig.6