

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Juli 2007 (19.07.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/079837 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 11/00 (2006.01)

(74) Anwalt: PFEIFER, Hans-Peter; Durm & Partner,
Beiertheimer Allee 19, 76137 Karlsruhe (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/011586

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

(22) Internationales Anmeldedatum:

2. Dezember 2006 (02.12.2006)

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

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2005 062 130.9

23. Dezember 2005 (23.12.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): ISIS SENTRONIC GMBH [DE/DE]; Innstrasse 34,
68199 Mannheim (DE).

(72) Erfinder; und

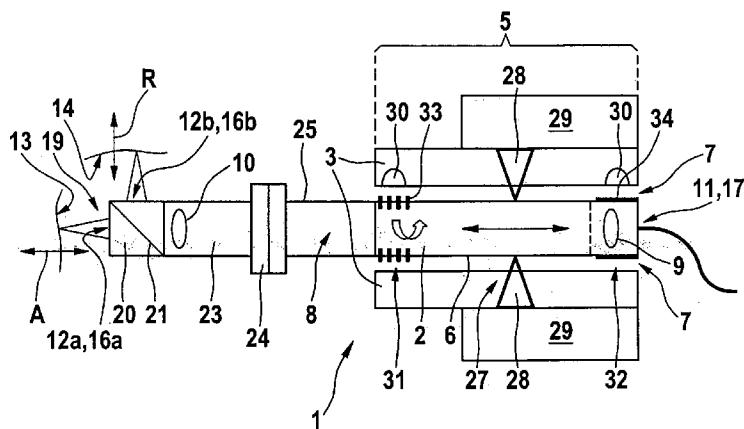
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KNÜTTEL, Alexander [DE/DE]; Apfelstrasse 28, 69488 Birkenau (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SCANNING SYSTEM FOR SCANNING AN OBJECT SURFACE, IN PARTICULAR FOR A COORDINATE MEASUREMENT MACHINE

(54) Bezeichnung: ABTASTSYSTEM ZUM ABTASTEN EINER OBJEKTOBERFLÄCHE, INSbesondere FÜR EINE KOORDINATEN-MESSMASCHINE



(57) Abstract: Scanning system for scanning the surface (13, 14) of an object, in particular for a coordinate measurement machine. A scanning sensor (1) comprises at least one fluid-mounted light transport module (2), wherein a fluid is located between the light transport module (2) and the mounting part (3) in a mounting gap (7), by means of which fluid the light transport module (2) is mounted such that it can move both axially and such that it rotates with respect to the axis of the cylindrical external wall. Primary light coming from a light source is transported through the interior space (8) of the light transport module (2) to a primary light exit location (12a, 12b), which is spaced apart in the axial direction and from which the primary light is emitted in the direction onto the object surface (13, 14). Secondary light reflected by the object surface (13, 14) is also transported through the interior space (8) of the light transport module (2) to a secondary light exit location (17) which is spaced apart in the axial direction from the secondary light entry location (16a, 16b). The light transport module can be driven by means of a rotation/translation drive (27) both in the axial direction and such that it rotates.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/079837 A1



NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Abtastsystem zum Abtasten der Oberfläche (13, 14) eines Objektes, insbesondere für eine Koordinaten-Meßmaschine. Ein Abtastsensor (1) schließt mindestens ein fluidgelagertes Lichttransportmodul (2) ein, wobei sich zwischen dem Lichttransportmodul (2) und dem Lagerteil (3) in einem Lagerspalt (7) ein Fluid befindet, mittels dessen das Lichttransportmodul (2) so gelagert ist, daß es hinsichtlich der Achse der zylindrischen Außenwand sowohl axial als auch rotierend beweglich ist. Durch den Innenraum (8) des Lichttransportmoduls (2) wird von einer Lichtquelle ausgehendes Primärlicht zu einer in axialer Richtung entfernten Primärlicht-Austrittsstelle (12a, 12b) transportiert, von der es in Richtung auf die Objektoberfläche (13,14) abgestrahlt wird. Durch den Innenraum (8) des Lichttransportmoduls (2) wird auch von der Objektoberfläche (13, 14) reflektiertes Sekundärlicht zu einer in axialer Richtung von der Sekundärlicht-Eintrittsstelle (16a, 16b) entfernten Sekundärlicht-Austrittsstelle (17) transportiert. Das Lichttransportmodul ist mittels eines Rotations-Translations-Antriebs (27) sowohl in axialer Richtung als auch rotierend antreibbar.

10 Abtastsystem zum Abtasten einer Objektoberfläche,
 insbesondere für eine Koordinaten-Meßmaschine

15 Auf zahlreichen Anwendungsgebieten stellt sich die Aufgabe, die Ober-
 fläche eines Objektes genau abzutasten. Der Begriff "abtasten" (englisch:
 "to scan") ist dabei allgemein in dem Sinn zu verstehen, daß er sich
 auf jedes Verfahren bezieht, bei dem eine Mehrzahl von Meßpunkten an
 einer Oberfläche gewonnen werden, um eine Information über deren
 Form im Raum zu erhalten. Insbesondere geht es um die Bestimmung
20 der exakten Dimensionen eines Objektes ("dimensionelles Prüfen"), aber
 auch um Struktureigenschaften der Oberfläche, also beispielsweise
 deren Rauigkeit.

25 Das erfindungsgemäße Abtastsystem eignet sich insbesondere als
 sogenannter "Tastsensor" (scan sensor) für Koordinaten-Meßmaschinen,
 die beispielsweise in industriellen Fertigungsbetrieben, aber auch in
 Labors zum dimensionellen Prüfen einschließlich der Ermittlung von
 Oberflächenstrukturen und Strukturfehlern eingesetzt werden. Solche
 Koordinaten-Meßmaschinen haben einen mehrdimensionalen hochpräzi-
30 sen Antrieb, mit dem ein Tastsensor relativ zu dem zu prüfenden Objekt
 bewegt wird, wobei dessen Oberfläche von dem Tastsensor abgetastet
 wird. Ein anderes wichtiges Anwendungsgebiet sind Positionsroboter.

- Als Tastsensoren werden hauptsächlich mechanische Taster eingesetzt, die das Meßobjekt mit einer dünnen Spitze oder kleinen Kugel berühren, wobei diese Berührung mit elektronischen Mitteln detektiert wird. Mit hohem Aufwand kann eine sehr gute Genauigkeit mechanischer Taster bis in den sub- μm -Bereich erreicht werden, jedoch ist das Berühren beim Messen von Objekten mit erheblichen Nachteilen verbunden, weil einerseits die Abtastgeschwindigkeit und damit die gesamte Meßzeit hoch ist und andererseits bei empfindlichen oder elastischen Oberflächen Beschädigungen oder Meßwertabweichungen unvermeidlich sind.
- 10 Berührungslose Abtastsensoren basieren in der Regel auf der Bildverarbeitungstechnik. Das Meßobjekt wird mit speziellen Beleuchtungstechniken (Dunkelfeld, Hellfeld, Durchlicht) beleuchtet und mittels Videotechnik beobachtet, wobei die Ergebnisse mittels Bildverarbeitungssoftware ausgewertet und in die gewünschten Dimensionsinformationen umgewandelt werden. Diese Technik eignet sich jedoch nur für bestimmte Objekte und erfordert große und aufwendige Sensoren.
- 15 Für spezielle Zwecke werden auch andere mit optischen Mitteln arbeitende Sensoren verwendet, beispielsweise Laserabstandssensoren, die speziell zum schnellen Messen der Ebenheit eines Meßobjektes und zur Messung von wenig gekrümmten Freiformflächen empfohlen werden, oder Glasfasersensoren mit sehr feinen Glasfasern, deren Verbiegung beim Auftreffen auf die Oberfläche optisch beobachtet wird.
- 20 25 Auf dieser Grundlage befaßt sich die Erfindung mit dem technischen Problem, ein kompaktes, sehr genaues, schnelles und kostengünstig herstellbares Abtastsystem zur Verfügung zu stellen.
- 30 35 Das technische Problem wird gelöst durch ein Abtastsystem zum Abtasten der Oberfläche eines Objektes, insbesondere zum dimensionellen Prüfen, vor allem in Verbindung mit einer Koordinaten-Meßmaschine mit einem Abtastsensor, der mindestens ein fluidgelagertes Lichttransportmodul einschließt, wobei das Lichttransportmodul von einem Lagerteil umschlossen ist und sich zwischen der Außenwand und dem Lagerteil in

einem Lagerspalt ein Fluid befindet, mittels dessen das Lichttransportmodul so gelagert ist, daß es hinsichtlich der Achse der zylindrischen Außenwand sowohl axial als auch rotierend beweglich ist, durch den Innenraum des Lichttransportmoduls von einer Lichtquelle ausgehendes
5 an einer Primärlicht-Eintrittsstelle in den Lichttransportmodul eintretendes Primärlicht zu einer in axialer Richtung von der Primärlicht-Eintrittsstelle entfernten Primärlicht-Austrittsstelle transportiert wird, von der es in Richtung auf die Objektoberfläche abgestrahlt wird und durch den Innenraum des Lichttransportmoduls auch von der Objektoberfläche reflektiertes Sekundärlicht, das an einer vorzugsweise mit der Primärlicht-Austrittsstelle (12a,12b) übereinstimmenden Sekundärlicht-Eintrittsstelle
10 in den Lichttransportmodul eintritt, zu einer in axialer Richtung von der Sekundärlicht-Eintrittsstelle entfernten, vorzugsweise mit der Primärlicht-Eintrittsstelle übereinstimmenden, Sekundärlicht-Austrittsstelle transportiert wird, und das Lichttransportmodul mittels eines (vorzugsweise an dem Lagerteil befestigten) Rotations-Translations-Antriebs sowohl in
15 axialer Richtung als auch rotierend antreibbar ist. Das von der Lichtquelle der verwendeten optischen Meßanordnung ausgehende Licht wird hier als Primärlicht, das an dem Objekt oder einem Referenzreflektor reflektierte Licht als Sekundärlicht bezeichnet.

Der bei der Erfindung verwendete optische Abtastsensor mit mindestens
25 einem fluidgelagerten Lichttransportmodul ermöglicht auf engstem Raum und mit einer sehr kleinen bewegten Masse die Integration der einerseits für den Lichttransport (Optik) und andererseits für die Abtastbewegung (Aktorik) notwendigen Funktionskomponenten. Dabei eignet sich die Erfindung grundsätzlich für unterschiedliche optische Meßverfahren, beispielsweise kann eine confokale Meßanordnung verwendet werden, bei der Licht fokussiert von dem Lichttransportmodul abgestrahlt und
30 detektiert wird, wobei eine Differenzierung in Strahlrichtung ("Longitudinal-Abtastung") durch Variation der Fokussierung erreicht wird.

Insbesondere eignet sich die Erfindung zur Abtastung mittels einer Kurzkohärenz-Interferometeranordnung. Allgemein dienen Kurzkohärenz-
35 interferometer (auch "Weißlichtinterferometer") zur lichtoptischen

5 Abtastung durch Detektion der Position von lichtremittierenden Stellen, die in unterschiedlichen Abständen von dem Gerät längs einer in Abtastrichtung (d.h. in Richtung des detektierenden Lichtstrahls; Longitudinal-Abtastung) verlaufenden Strecke lokalisiert sind. Dieses Verfahren wird auch als "Low Coherence Distance Scan (LCDS)" bezeichnet.

Gemeinsam ist allen LCDS-Verfahren, daß Licht einer kurzkohärenten (spektral breitbandig emittierenden) Lichtquelle in zwei Lichtwege, nämlich einen Meßlichtweg, der auf das Meßobjekt gestrahlt wird, und einen 10 Referenzlichtweg aufgeteilt wird und die beiden Teillichtwege vor dem Auftreffen auf einem Detektor derartig zusammengeführt werden, daß sie miteinander interferieren. Zu diesem Zweck umfaßt die Interferometer-Anordnung üblicherweise außer der kurzkohärenten Lichtquelle (mindestens) einen Strahlteiler, einen Referenzreflektor und den Detektor. Die 15 Lichtwege zwischen diesen Elementen bilden Interferometerarme. Das Primärlicht gelangt von der Lichtquelle durch einen Lichtquellenarm zu dem Strahlteiler und wird dort aufgeteilt. Ein erster Anteil des Primärlichts wird als Meßlicht über einen Objektarm in Abtastrichtung auf das Objekt gestrahlt, während ein zweiter Anteil des Primärlichts als Referenzlicht 20 über einen Reflektorarm zu dem Referenzreflektor gelangt. Beide Lichtanteile werden reflektiert (das Meßlicht an lichtremittierenden Stellen [light reflecting sites] des Untersuchungsobjektes, das Referenzlicht an dem Referenzreflektor) und nach der Reflexion als Sekundärlicht auf dem jeweils gleichen Lichtweg (Objektarm bzw. Referenzarm) zu dem 25 Strahlteiler zurückgeführt. Dort werden die Sekundärlichtanteile zusammengefaßt und als Detektionslicht über einen Detektionsarm dem Detektor zugeführt. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verläuft ein Teilabschnitt des Meßlichtweges und vorzugsweise auch ein Teilabschnitt des Referenzlichtweges innerhalb 30 mindestens eines fluidgelagerten Lichttransportmoduls.

Bei der Abtastung wird die longitudinale Abtastposition (longitudinal scan position) in rascher Folge variiert. Dies geschieht üblicherweise durch Veränderung der Relation der Längen des Referenzlichtweges und des 35 Meßlichtweges. Dadurch wird diejenige Position auf der Abtaststrecke

verändert, für die die Voraussetzung für die Interferenz des Meßlichts und des Referenzlichts (nämlich, das sich die optische Weglänge beider Lichtwege maximal um die Kohärenzlänge des Lichtweges voneinander unterscheiden) erfüllt ist. Die aktuelle Abtastposition ist dabei jeweils 5 diejenige Position auf der Abtaststrecke, für die die optische Länge des gesamten Meßlichtweges mit der optischen Länge des gesamten Referenzlichtweges in der jeweiligen Interferometeranordnung übereinstimmt ("Kohärenzbedingung"). In der Regel wird der Referenzspiegel in Richtung des Referenzstrahles verschoben und dadurch der Referenzlichtweg verkürzt oder verlängert.

Nähere Einzelheiten über unterschiedliche vorbekannte LCDS-Geräte und-Verfahren können der einschlägigen Literatur entnommen werden. Verwiesen sei insbesondere auf die WO 03/073041 und die darin zitierten 15 weiteren Publikationen 1) bis 6). Die WO 03/073041 befaßt sich insbesondere mit einem speziellen LCDS-Verfahren, das eine extrem schnelle Longitudinal-Abtastung ermöglicht, die sich durch Verschieben eines Referenzspiegels nicht erreichen läßt. Auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird vorzugsweise dieses spezielle Verfahren verwendet, jedoch sind auch andere vorbekannte Interferometer-Anordnungen 20 in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung verwendbar. Beispiele sind in der DE 19819762 und in den Publikationszitaten der WO 03/073041 beschrieben.

25 Als Fluid für die erfindungsgemäße Fluidlagerung des mindestens einen Lichttransportmoduls eignet sich eine Flüssigkeit oder ein Gas. Bevorzugt erfolgt die Lagerung mittels eines Gases, insbesondere Luft. Nachfolgend wird ohne Beschränkung der Allgemeinheit auf Luft als für die Lagerung verwendetes Fluid Bezug genommen. Das Luflager basiert 30 darauf, daß die Luft mit Hilfe einer externen Druckluftquelle in einen Lagerspalt zwischen dem Lichttransportmodul und dem Lagerteil gedrückt wird. Er wird vorzugsweise einerseits von der Außenwand eines zylindrischen Lagerabschnittes des Lichttransportmoduls und andererseits von der Innenwand des Lagerteils, die dem Lagerabschnitt des 35 Lichttransportmoduls zugewandt ist, begrenzt. Der Luftdruck muß so

hoch sein, daß durch das zwischen den Lagerflächen gebildete Luftpolster eine Berührung der Lagerflächen unter den im Betrieb des Abtastsystem auftretenden Kräften verhindert wird.

- 5 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform schließt der Abtastsensor zwei Lichttransportelemente ein, die beide, vorzugsweise innerhalb eines gemeinsamen Lagerteils, fluidgelagert sind. Die Lagerung erfolgt dabei aber nicht notwendigerweise mittels eines einzigen Lagerspaltes. Vielmehr umfaßt die Erfindung auch Ausführungsformen, bei denen ein
10 zweites Lichttransportmodul teleskopartig wenigstens teilweise in eine entsprechende Ausnehmung des ersten Lichttransportmoduls eindringt und dort in einem Lagerspalt zwischen beiden Lichttransportmodulen fluidgelagert ist. In diesem Fall erfolgt also die Fluidlagerung zumindest teilweise nicht direkt zwischen dem Lagerteil und dem Lichttransport-
15 modul, sondern indirekt über das erste Lichttransportmodul.

Luftlager werden im Maschinenbau vor allem zum Lagern von Wellen, die sich mit extrem hohen Drehzahlen drehen, eingesetzt (vgl. z.B. DE 102 10 750 B4). Im Rahmen der vorliegenden Erfindung geht es nicht
20 um vergleichbar hohe Drehzahlen. Auch auf die praktische Reibungsfreiheit von Luftlagern kommt es nicht primär an. Vielmehr macht sich die Erfindung die Eigenschaft eines Luftlagers (oder anderen Fluidlagers) zu Nutze, daß es mittels der gleichen Lagerelemente eine "echt" zweidimensionale uneingeschränkte axiale Beweglichkeit und Rotation mittels
25 eines einzigen Lagers ermöglicht. Um diese beiden Bewegungsfreiheitsgrade mittels Wälzlagerung zu ermöglichen, müssen in der Praxis getrennte Axial- und Rotationslager eingesetzt werden. Ein Lager, das außer der Drehung einer (zylindrischen) Welle auch eine Längsverschiebung ermöglicht, wird im Maschinenbau auch als "Loslager" bezeichnet.

30 Im Rahmen der Erfindung wird ein solches Lager mit einem Rotations-Translations-Antrieb kombiniert, der das fluidgelagerte Lichttransportmodul sowohl rotierend als auch in axialer Richtung bewegen kann. Bevorzugt ist der Rotations-Translations-Antrieb fest mit dem Lagerteil
35 verbunden. Grundsätzlich sind unterschiedliche Antriebskonzepte,

beispielsweise (berührungslos arbeitende) elektromagnetische Antriebe verwendbar. Bevorzugt ist ein Antrieb mittels Transportelementen, die in dem Lagerabschnitt intermittierend gegen dessen Wand gedrückt werden und dabei schrittweise Bewegungen tangential zu der Wandoberfläche derartig ausführen, daß das Lichttransportmodul in die gewünschte Richtung bewegt wird. Besonders bevorzugt ist ein Antrieb, bei dem die Transportelemente piezoelektrisch bewegt werden.

10 Piezoelektrische Antriebe, die auch als "Piezomotor" bezeichnet werden, haben mindestens ein Bein ("Leg"), das aus einer Vielzahl übereinander gestapelter piezokeramischer Schichten besteht, zwischen denen sich jeweils ein leitendes Material befindet. Mittels eines kontrollierten elektrischen Feldes können die Beine in synchrone Bewegungen versetzt werden, durch die eine schrittweise Fortbewegung einer benachbarten 15 Fläche bewirkt werden kann. Obwohl die Länge der einzelnen Schritte typischerweise einige wenige μm beträgt, können mit Frequenzen von mehreren 10.000 Schritten/sec Geschwindigkeiten von mehreren cm/sec erreicht werden. Derartige Piezomotoren werden beispielsweise von der Piezomotor Uppsala AB, Schweden, hergestellt.

20 Ein piezoelektrischer Stellantrieb, der in angepaßter Form auch für die vorliegende Erfindung anwendbar ist, wird in der DE 19961684 A1 beschrieben. Dabei werden sogenannte "Coupled-Resonance-Piezomotoren (CRP)" eingesetzt. Die Piezomotoren werden in Betriebsarten 25 betrieben, welche auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung wie folgt verwendet werden können:

- In einer ersten Betriebsart erfolgt die Kraftübertragung in tangentialer Richtung, die die gewünschte axiale und/oder rotierende Bewegung des Lichttransportmoduls antreibt.
- 30 - In einer zweiten Betriebsart werden die Transportelemente (Beine) des Piezomotors in Longitudinal-Schwingungen versetzt, durch die die Reibung zwischen den Transportelementen und dem Lagerabschnitt des Lichttransportmoduls minimiert wird. Dieser Betriebszustand wird verwendet, wenn eine Bewegung des Lichttransport-

moduls, die durch einen anderen Piezomotor angetrieben wird, möglichst wenig behindert werden soll.

- 5 - In einem dritten Betriebszustand ist die piezo-elektrische Erregung der Transportelemente abgeschaltet. In diesem Zustand verhindert die Reibung zwischen den Transportelementen und der Außenwand des Lagerabschnittes, daß sich die Position des Lichttransportmoduls ungewollt ändert. Der Antrieb ist also selbstarretierend.

In der DE 19961684 A1 wird erläutert, daß piezoelektrische Stellantriebe
10 eine kontinuierliche und gut steuerbare Drehbewegung ermöglichen und sehr wartungsarm sind. Als nachteilig wird hingegen angesehen, daß sie eine gewisse Anpreßkraft erfordern, weil die für die Bewegung erforderliche Kraft durch Reibung zwischen den Transportelementen und dem zu bewegenden Objekt übertragen wird. Im Rahmen der Erfindung wurde
15 jedoch festgestellt, daß ein solcher Antrieb in Kombination mit der Fluidlagerung sehr gut für ein erfindungsgemäßes optisches Abtastsystem geeignet ist.

Durch die Erfindung werden unter anderem folgende Vorteile erzielt:

- 20 - Die Abtastung einer Fläche kann mit sehr viel höherer Geschwindigkeit als mit mechanischen Tastern erfolgen.
- Die Oberfläche wird nicht berührt und kann deshalb nicht beschädigt werden.
- Auch wenn die Oberfläche des Objektes verformbar (elastisch) ist,
25 wird dadurch die Meßgenauigkeit nicht negativ beeinflußt.
- Da der optische Detektionsspot durch Fokussierung extrem klein sein kann, können entsprechend kleine lokale Veränderungen (z.B. Vertiefungen) noch abgetastet werden, deren Abtastung mit den üblichen mechanischen Tastern nicht möglich ist.

- Zwar sind mechanische Taster mit sehr kleiner Meßspitze verfügbar, die auch sehr feine Strukturen und Oberflächenrauhigkeiten abtasten können. Dies muß jedoch sehr langsam erfolgen, während die Abtastung mit einem erfindungsgemäß System bei vergleichbarer Auflösung sehr viel schneller durchgeführt werden kann.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die dargestellten und beschriebenen Besonderheiten können einzeln oder in Kombination verwendet werden, um bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung zu schaffen. Es zeigen:

- Fig. 1 eine stark schematisierte Seitenansicht eines Abtastsensors für ein erfindungsgemäßes Abtastsystem;
- Fig. 2 eine stark schematisierte Seitenansicht, teilweise als Blockdiagramm, eines erfindungsgemäß Abtastsystems mit einer zweiten Ausführungsform eines Abtastsensors;
- Fig. 3 eine stark schematisierte Seitenansicht einer dritten Ausführungsform eines Abtastsensors;
- Fig. 4 eine stark schematisierte Seitenansicht einer vierten Ausführungsform eines Abtastsensors;
- Fig. 5 bis Fig. 7 schematische Seitenansichten von drei unterschiedlichen Lichtaustrittsoptik-Modulen.

Der in Figur 1 dargestellte Abtastsensor 1 weist ein langgestrecktes Lichttransportmodul 2 auf, das mittels eines Lagerteils 3 luftgelagert ist. Das Lichttransportmodul 2 ist mindestens in einem Lagerabschnitt 5 von einer zylindrischen Außenwand 6 umgeben, die wiederum von dem Lagerteil 3 derartig umschlossen ist, daß dazwischen ein Lagerspalt 7 vorhanden ist, in den von einer nicht dargestellten Druckluftquelle Luft gedrückt wird. Selbstverständlich muß die Gestaltung des Lagerabschnitts 5 und des Lagerteils 3 sowie der Druck der in den Lagerspalt 7 gedrückten Luft derartig aufeinander abgestimmt sein, daß das Licht-

transportmodul 2 innerhalb des gesamten gewünschten Bewegungsbereiches und unter Berücksichtigung der im Betrieb vorkommenen Belastungen berührungs frei gelagert ist. Grundsätzlich ist es ausreichend, wenn das Lichttransportmodul 2 einen oder mehrere zylindrische
5 Lagerabschnitte mit relativ kurzer Ausdehnung in axialer Richtung hat, soweit deren Abmessungen ausreichen, um die gewünschte axiale Beweglichkeit zu gewährleisten. Bevorzugt ist jedoch zumindest diejenige Teillänge des Lichttransportmoduls 2, die sich im Betrieb des Abtastsensors zumindest zeitweise innerhalb des Lagerteils 3 befindet,
10 zylindrisch ausgebildet.

Das Lichttransportmodul 2 enthält in seinem Innenraum 8 ein aus Elementen der Freistrahloptik, insbesondere Linsen 9,10 bestehendes optisches System, durch das Primärlicht von einer Lichteintrittsstelle 11 zu einer axial von dieser entfernten Lichtaustrittsstelle 12 transportiert wird, wobei im vorliegenden Fall zwei Lichtaustrittsstellen 12a und 12b vorgesehen sind, von denen das Primärlicht einerseits in axialer Richtung und andererseits in radialer Richtung auf eine Objektoberfläche 13,14 abgestrahlt wird. Von der Objektoberfläche 13 bzw. 14 reflektiertes Sekundärlicht tritt an einer im vorliegenden Fall mit der jeweiligen Lichtaustrittsstelle 12a,12b übereinstimmende Sekundärlicht-Eintrittsstelle 16a,16b wieder in den langgestreckten Lichttransportmodul 2 ein und wird durch das in dessen Innenraum 8 vorhandene optische System zu einer Sekundärlicht-Austrittsstelle 17 geleitet, die im dargestellten Fall mit der
20 Primärlicht-Eintrittsstelle 11 übereinstimmt.
25

Zum Abstrahlen des Pimärlichts dient eine Lichtaustrittsoptik 19, die im dargestellten Fall ein Prisma 20 mit einer vorzugsweise wellenlängen-abhängigen Strahlteilerschicht 21 einschließt. Durch die Strahlteilerschicht 21 wird das Licht in die Raumrichtungen axial (Lichtaustrittsstelle 12a) und radial (Lichtaustrittsstelle 12b) aufgeteilt, um einerseits eine in axialer Richtung vor dem Lichttransportmodul 2 befindliche Objektfläche 13 und andererseits eine in radialer Richtung seitlich von dem Lichttransportmodul 2 befindliche Objektfläche 14 abtasten zu können.
30

Selbstverständlich kann es zweckmäßig sein, in bestimmten Anwendungsfällen nur eine dieser Möglichkeiten zu nutzen und dann den Strahlteiler 21 wegzulassen (Axialabtastung) oder durch eine möglichst vollständig spiegelnde Fläche zu ersetzen (Radialabtastung). Vorzugsweise ermöglicht jedoch der Abtastsensor 1 gleichzeitig beide Abtastrichtungen, wobei die Lichtanteile in bekannter Weise getrennt werden können. Im dargestellten Fall erfolgt die Trennung mittels der wellenlängenabhängigen Strahlteilerschicht in Verbindung mit unterschiedlichen Primärlichtwellenlängen für die Radial- und die Axialabtastung.

Bei der dargestellten bevorzugten Ausführungsform ist die Lichtaustritts- optik 19 nicht einstückig (integral) mit dem übrigen Lichttransportmodul 2 ausgebildet, sondern Bestandteil eines Austrittsoptikmoduls 23, welches mittels einer Kupplung 24 auswechselbar mit einem Abtastmodulbasisteil 25 verbunden werden kann, das insbesondere den Lagerabschnitt 5 umfaßt und bevorzugt alle übrigen Teile des Lichttransportmoduls ent- hält.

- Das Lichttransportmodul 2 ist in dem Lagerteil 3 mittels eines Rotations- Translations-Antriebs 27 sowohl in axialer Richtung als auch rotierend antreibbar, wobei der Antrieb vorzugsweise an dem Lagerteil 3 befestigt ist und auf den Antriebsrotor 2 einwirkt.
- Wie erläutert, wird vorzugsweise ein Antrieb verwendet, der mittels in den Figuren symbolisch dargestellter Transportelemente 28 in dem Lagerabschnitt 5 intermittierend gegen dessen Wand 8 drückt, wobei die Transportelemente 28 schrittweise Bewegungen tangential zu der Wandoberfläche derartig ausführen, daß das Lichttransportmodul 2 in die gewünschte Richtung bewegt wird. Die Transportelemente 28 werden vorzugsweise piezoelektrisch mittels einer Piezoantriebselektronik 29 bewegt.

Vorzugsweise sind für die axiale Bewegung und für die rotierende Bewegung getrennte Transportelemente 28 vorgesehen, welche Tangentialbewegungen in die entsprechenden Raumrichtungen (in Achsrichtung bzw. quer dazu) durchführen, wenn die entsprechende axiale bzw. rotierende Bewegung gewünscht wird. Bevorzugt befinden sich während einer Rotationsbewegung die axial wirkenden Transportelemente in einem Betriebszustand (beispielsweise der weiter oben erläuterten zweiten Betriebsart), in dem die Axialbewegung möglichst wenig behindert wird. Im Falle einer axialen Bewegung ist es selbstverständlich umgekehrt, d.h. die für die Rotation zuständigen Transportelemente 28 befinden sich in einem die axiale Bewegung möglichst wenig behindernden Betriebszustand.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß die Transportelemente 28 an dem den Lagerabschnitt 5 umgebenden Lagerteil 3 so verteilt angeordnet sind, daß sich die von ihnen ausgeübten Kräfte auf die Wand 6 im wesentlichen gegenseitig aufheben. Jedenfalls sollten sich deren Kraftwirkungen dergestalt kompensieren, daß durch den Druck der Transportelemente 28 keine Radialbewegung des Lagerabschnittes 5 und damit des Lichttransportmoduls 2 verursacht wird, der die Abtastung stört ("Kompensationsbedingung"). Im einfachsten Fall sind deshalb die Transportelemente paarweise derartig angeordnet, daß sie von einander gegenüberliegenden Umfangspositionen, aber in gleicher Axialposition, gegen die Wand 8 des Lagerabschnitts 5 des Lichttransportmoduls 2 drücken. Alternative Ausgestaltungen sind möglich, beispielsweise mit drei, vier oder mehr auf dem Umfang gleichmäßig (d.h. in Winkelabständen von 120°, 90°...) verteilten Transportelementen. Es können aber auch über die Länge des Abtastabschnittes mehrere in gleiche oder in unterschiedliche Richtungen wirkende Transportelemente (jeweils ausgehend von dem Lagerteil 3) auf die Außenwand 6 in dem Lagerabschnitt 5 einwirken, wobei vorzugsweise stets die oben genannte Kompensationsbedingung eingehalten werden soll. Durch die Einhaltung der Kompensationsbedingung wird nicht nur eine Beeinträchtigung der optischen Messung durch Fehlpositionierung des

Lichttransportmoduls vermieden, sondern auch eine verbesserte Effektivität der Transportelemente mit relativ geringer Andruckkraft erreicht.

- Um zu jedem Zeitpunkt eine präzise Information sowohl über die Axialposition als auch über die Drehwinkelposition des Lichttransportmoduls 2 sicherzustellen, ist ein Axialpositionssensor 31 und ein Drehpositions-sensor 32 vorgesehen, wobei jeder der Sensoren 31,32 mit einer Ortsmarkierung 33 bzw. 34 arbeitet, die an dem Lichttransportmodul 2 angebracht ist. Geeignete Orts- und Drehwinkelsensoren sind in zahlreichen Ausführungsformen bekannt. Im Rahmen der Erfindung eignen sich insbesondere optische Orts- und Drehwinkelsensoren, bei denen die Ortsmarkierung aus einer Serie von in engem Abstand angeordneten (in der Regel periodischen) Marken, beispielsweise sehr feinen Strichen oder Ritzen besteht. Diese werden mittels eines an dem Lagerteil befestigten lichtoptischen Detektors 30 detektiert und die resultierenden Signalfolgen werden mittels eines Prozessors zu der gewünschten Ortsinformation verarbeitet. Da diese Verfahren bekannt sind, ist eine nähere Erläuterung nicht erforderlich.
- Der Anwendungsbereich des in Figur 1 dargestellten Abtastsensors 1 ist in zweierlei Hinsicht eingeschränkt:
- Einerseits ist eine rotierende Bewegung des Lichttransportmoduls 2 nur insoweit möglich, wie die Mittel, mit denen das Primärlicht der Lichteintrittsstelle 11 zugeführt und das Sekundärlicht von der Lichtaustrittsstelle 17 weggeführt wird, einer solchen Rotation folgen können. Da diese Mittel vorzugsweise aus Lichtleitfasern bestehen, ist eine Rotation nur eingeschränkt möglich.
 - Zum zweiten ist die Fokussierung fest vorgegeben, so daß sowohl in axialer als auch in radialer Richtung die Abtastung in Strahlrichtung (Longitudinal Scan, symbolisiert durch die Pfeile A und R) nur in einem engen den Fokuspunkt umgebenden Tiefenschärfenbereich möglich ist. Hinsichtlich der Axialabtastung ist dieses Problem weniger schwerwiegend, weil ein Longitudinal Scan in der A-Richtung durch axiales Verschieben des Lichttransportmoduls bewirkt werden

kann. Ein Longitudinal Scan in der R-Richtung würde jedoch bedingen, daß der gesamte Abtastsensor 1 entsprechend seitwärts bewegt wird. Dies widerspricht der Anforderung an eine sehr schnelle Abtastung, bei der möglichst wenig Gerätemasse bewegt werden soll.

Dieses Problem wird durch die in Figur 2 dargestellte Ausgestaltung gelöst, bei der gleiche oder sich entsprechende Bauteile mit den gleichen Bezugszeichen wie bei Figur 1 bezeichnet sind. Eine Besonderheit des 10 Abtastsensors 1 von Figur 2 im Vergleich zu Figur 1 besteht darin, daß er ein weiteres fluidgelagertes Lichttransportmodul aufweist, das als Longitudinalabtastmodul 35 bezeichnet wird. Es ist präzise koaxial zu dem Lichttransportmodul 2 derartig geführt ist, daß es in der gleichen axialen Richtung beweglich ist. Es enthält optische Elemente, wie beispielsweise 15 Linsen 36 und 37, durch die das Primärlicht von einer Primärlicht-Eintrittsstelle 39 durch den Innenraum 38 des Longitudinalabtastmoduls 35 zu einer in axialer Richtung entfernten Primärlicht-Austrittsstelle 40 des Longitudinalabtastmoduls 35 transportiert wird, von der es zu der Primärlicht-Eintrittsstelle 11 des ersten Lichttransportmoduls 2 weitergeleitet 20 wird. Außerdem wird durch den Innenraum 38 des Longitudinalabtastmoduls 35 auch Sekundärlicht transportiert, welches von der Primärlicht-Austrittsstelle 17 des ersten Lichttransportmoduls 2 über eine vorzugsweise mit der Primärlicht-Austrittsstelle 40 des Longitudinalabtastmoduls 35 übereinstimmende Sekundärlicht-Eintrittsstelle 41 in 25 den Innenraum 38 gelangt und in diesem zu einer in axialer Richtung entfernten Sekundärlicht-Austrittsstelle 42 des Longitudinal-Abtastmoduls 35 transportiert wird, wobei diese wiederum vorzugsweise mit der Primärlicht-Eintrittsstelle 39 übereinstimmt.

30 Das Longitudinalabtastmodul 35 ist vorzugsweise gemeinsam mit dem ersten Lichttransportmodul 2 gelagert, d.h. der Lagerabschnitt des Lichttransportmoduls 2 und der LongitudinalAbtastmoduls 35 (jedenfalls mindestens ein Teilabschnitt von dessen Länge [Lagerabschnitt]) sind, wie in Figur 2 dargestellt, von einem gemeinsamen Lagerteil umgeben und

dadurch präzise koaxial (insbesondere in einem gemeinsamen zylindrischen Rohr) geführt.

Die zum Abtasten erforderlichen Bewegungen des Longitudinalabtastmoduls 35 werden ebenso wie die Bewegungen des ersten Lichttransportmoduls 2 vorzugsweise von Transportelementen 28 angetrieben, die intermittierend gegen dessen Wand gedrückt werden und dabei schrittweise Bewegungen tangential zu der Wandoberfläche derartig ausführen, daß das Longitudinalabtastmodul in die gewünschte Richtung bewegt wird. Auch hinsichtlich bevorzugter Ausgestaltungen gilt entsprechend das gleiche wie bei dem ersten Lichttransportmodul, d.h.

- Transportelemente werden piezoelektrisch bewegt
- ihre Anordnung folgt der oben erläuterten Kompensationsbedingung
- die Axialposition und die Rotationsposition kann mittels eines Axialpositionssensors 31 und eines Drehpositionssensors 32 (mit den oben erläuterten Merkmalen) jederzeit präzise detektiert werden

Im Betrieb erfolgt vorzugsweise eine rotierende und (gewünschtenfalls) axiale Abtastung mittels des Lichttransportmoduls 2 und die Longitudinalabtastung mittels des Longitudinalabtastmoduls 35:

- Die Rotation des Lichttransportmoduls 2 wird nicht durch eine geschlossene Lichtleitfaser eingeschränkt, weil das Ein- und Auskoppeln des Primär- bzw. Sekundärlichts freistrahloptisch erfolgt. Demzufolge ist beispielsweise eine konstante Rotation des Lichttransportmoduls 2 in eine Drehrichtung möglich. Verbunden mit einer gleichzeitigen langsamen Änderung der Axialposition des Lichttransportmoduls 2 ergibt sich eine helixförmige Abtastung, die für viele Anwendungsfälle vorteilhaft ist. Generell erlaubt die hier beschriebene Ausführungsform eine sehr schnelle und präzise Abtastung von Oberflächen, die das erste Lichttransportmodul 2 rotationssymmetrisch umgeben, wie beispielsweise Bohrungen von Maschinenteilen.
- Durch Verschiebung des Longitudinalabtastmoduls 35 in axialer Richtung (angedeutet durch den Doppelpfeil 44) wird die jeweilige Abtastposition in Strahlrichtung entsprechend den Pfeilen A und R

entsprechend variiert. Hinsichtlich der axialen Longitudinalabtastung A ist dies zwar auch mit einem einfachen Lichttransportmodul gemäß Figur 1 möglich, jedoch ist die Verwendung eines gesonderten Longitudinalabtastmoduls vorteilhaft, weil eine sehr viel kleinere Masse bewegt werden muß. Hinsichtlich der Longitudinalabtastung in radialer Richtung R ist bei der Anordnung gemäß Figur 2 ein erheblich weiterer Abtastbereich möglich, weil der Fokuspunkt entsprechend der Änderung der Position des Longitudinalabtastmoduls 35 in Richtung des Doppelpfeiles R variiert wird. Die Radialabtastung ist somit nur durch Begrenzungen beschränkt, die sich aus den optischen Randbedingungen des freistrahloptischen Systems in dem Lichttransportmodul 2 und in dem Longitudinalabtastmodul 35 ergeben. Unter Berücksichtigung dieser Beschränkungen können Longitudinalabtaststrecken von mindestens 5 mm realisiert werden.

15

In Figur 2 sind schematisch die weiteren notwendigen Bestandteile eines bevorzugten optischen Abtastsystems dargestellt, das neben dem Abtastsensor 1 weitere Bestandteile eines Kurzkohärenz-Interferometers 45 umfaßt. Hierzu gehört eine Lichtquelle 46, von der Primärlicht über einen mittels Lichtleitfaser realisierten Lichtquellenarm 47 zu einem ersten optischen Koppler 48 transportiert wird. Von dort gelangt ein Teil des Primärlichts über eine Verbindungsstrecke 50 und einen zweiten optischen Koppler 51 zu der Primärlicht-Eintrittsstelle 39 des Longitudinalabtastmoduls 35.

25

Eine Besonderheit der dargestellten Interferometeranordnung besteht darin, daß eine mit R1 bezeichnete Teilstrecke des Referenzlichtweges in einem fluidgelagerten Lichttransportmodul (bei Figur 2 in dem Longitudinalabtastmodul 35 und bei Figur 1 in dem Lichttransportmodul 2) verläuft. Es handelt sich dabei um die Teilstrecke zwischen der Primärlicht-Eintrittsstelle 39 (Figur 2) bzw. 11 (Figur 1) und einer als Referenzreflektor 53 dienenden Strahlteilerplatte, welche einen Teil des Lichts reflektiert und den übrigen Teil auf den Meßlichtweg M1 durch mindestens ein fluidgelagertes Lichttransportmodul des Abtastsensors 1 bis zu der Objektoberfläche 13 bzw. 14 gelangt.

Der große Weglängenunterschied zwischen den Strecken M1 und R1 wird mittels eines Weglängenausgleichsmoduls 55 ausgeglichen, der eine Strahlteilerplatte 56 und einen Reflektor 57 enthält. Der Abstand 5 zwischen der Strahlteilerplatte 56 und dem Reflektor 57 ist dabei so bemessen, daß der optische Weglängenunterschied zwischen R1 und M1 durch einen entsprechenden optischen Weglängenunterschied zwischen den in dem Weglängenausgleichsmodul 55 verlaufenden Teilstrecken M2 und R2 ausgeglichen wird.

10 Mittels der optischen Koppler 48 und 51 wird das von der Lichtquelle 46 ausgehende Primärlicht sowohl in den Abtastsensor 1 als auch in den Weglängenausgleichsmodul 55 eingekoppelt. Dort verlaufen Teile des Lichts bis zu den Strahlteilerplatten 53 bzw. 56 und werden dort reflektiert. Andere Lichtanteile gelangen in den Abtastsensor 1 bis zu der abzutastenden Oberfläche 13 bzw. 14 und werden dort reflektiert bzw. 15 gelangen in dem Weglängenausgleichsmodul 55 bis zu dem Reflektor 57, von dem sie reflektiert werden. Das reflektierte Licht läuft als Sekundärlicht zurück, wobei ein Anteil mittels der optischen Koppler 48 und 51 20 über einen Detektionsweg zu einer Detektionseinheit 60 gelangt.

Selbstverständlich können alle diese Lichtanteile auf den beschriebenen Lichttransportwegen unabhängig propagieren. Die Detektionseinheit 60 ist jedoch so ausgebildet, daß sie nur dann ein Interferenzsignal erzeugt, 25 wenn auf sie auftreffendes einerseits von dem Referenzreflektor reflektiertes Referenzlicht und andererseits von der abzutastenden Oberfläche reflektiertes Meßlicht in einer interferenzfähigen Phasenbeziehung auf den Detektor auftreffen. Damit werden von der Detektionseinheit 60 nur solche Lichtanteile ausgewertet, die der jeweils eingestellten Longitudinalabtastposition entsprechen. Wie einleitend erläutert wurde, erfolgt die 30 Variation der Abtastposition im Rahmen der Erfindung nicht mittels eines beweglichen Referenzspiegels, sondern mit einem ortsfesten Referenzspiegel in Kombination mit einer gemäß der WO 03/073041 ausgebildeten Detektionseinheit 60, welche eine hier nur symbolisch dargestellte 35 Wellenlängenselektionseinrichtung 61 umfaßt. Sie ermöglicht die in der

WO 03/073041 näher erläuterte und weiter oben kurz zusammengefaßte Funktion. Dieses Dokument enthält zahlreiche weitere Erläuterungen und Gestaltungshinweise, insbesondere auch hinsichtlich anderer Möglichkeiten, im Rahmen eines LCDS-Verfahren die Longitudinalabtastung,
5 d.h. die Variation der jeweiligen Abtastposition in Strahlrichtung (Longitudinale Scan Position) zu bewirken.

Figur 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Abtastsensors mit zwei fluidgelagerten Lichttransportmodulen, nämlich einem Lichttransportmodul 2 und einem Longitudinalabtastmodul 35. Eine Besonderheit besteht darin, daß das Longitudinalabtastmodul 35 mit einem Ein-tauchabschnitt 35a in eine entsprechende Ausnehmung des ersten Lichttransportmoduls 2 eindringt. Dies ermöglicht eine günstigere Positionierung der benachbarten optischen Elemente (Linsen) 37 bzw. 9 der beiden fluidgelagerten Lichttransportmodule 2, 35. Dadurch ist eine effektivere Signalübertragung möglich.
10
15

Die in Figur 4 dargestellte alternative Ausführungsform zeichnet sich durch eine besonders kompakte Bauweise in axialer Richtung aus, die für bestimmte Anwendungen vorteilhaft ist, bei denen der Abtastsensor eine maximale Länge in axialer Richtung nicht überschreiten soll. Um diese kompakte Bauweise zu ermöglichen, ist in diesem Fall das Longitudinalabtastmodul 35 über einen Flansch 70 mit Antriebselementen 71 verbunden, die sich von dem Flansch 70 nach vorne (also in Richtung zu der Lichtaustrittsoptik) erstrecken. Die Transportelemente 28 wirken mittels einer Piezoantriebselektronik 29 auf die Antriebselemente 71. Dies ist vorteilhaft, wenn - wie hier dargestellt - das Longitudinalabtastmodul 35 so weitgehend in den Lichttransportmodul 2 eindringt, daß keine ausreichende Teillänge seiner Außenwand mehr für die Transportelemente 28 des Piezoantriebs zugänglich ist. Unterschiedliche Ausgestaltungen sind möglich, wobei die kompakte Bauweise dadurch erreicht wird, daß Antriebselemente verwendet werden, auf die die Transportelemente des Rotations-Translations-Antriebs 27 einwirken und die in axialer Richtung vor dem hinteren (von der Lichtaustrittsoptik) abgewandten Ende des Longitudinalabtastmoduls 35 verlaufen.
20
25
30
35

- Eine weitere Besonderheit der in Figur 4 dargestellten Ausführungsform besteht darin, daß das Longitudinalabtastmodul 35 in einem Lagerspalt 74 gelagert ist, der zwischen seiner Außenwand und der entsprechenden 5 Innenwand der Ausnehmung des ersten Lichttransportmoduls 2 ausgebildet ist, in die das Longitudinalabtastmodul 35 teleskopartig eindringt. Das Longitudinalabtastmodul 35 ist somit nicht unmittelbar, sondern mittelbar (über das Lichttransportmodul 2) innerhalb des Lagerteils 3 gelagert. Außerdem wird in diesem Fall durch die Antriebselemente 71 10 eine Rotation des Longitudinalabtastmoduls 35 verhindert. Es ist demzufolge rotationsfest gelagert. Deshalb ist bei der Ausführungsform nach Figur 4 für die Kontrolle der Rotationsposition des Longitudinalabtastmoduls 35 kein Drehpositionssensor erforderlich.
- 15 Die Figuren 5 bis 7 zeigen drei unterschiedliche Varianten von Austritts-optikmodulen, die für die Erfindung geeignet sind:
- Bei den Figuren 5 und 6 verläuft die Strahlteilerschicht im Vergleich zu Figur 1 unter einem anderen Winkel derartig, daß die Radialabtastung unter einem Winkel α von 45° bzw. 135° erfolgt. Selbstverständlich sind weitere Varianten möglich. Die Beispiele zeigen, daß 20 der Winkel der Longitudinal-Abtastrichtung in weiten Bereichen variiert werden kann.
 - Bei der in Figur 7 dargestellten Ausgestaltung wird ein Verlängerungsteil 73 verwendet, durch das die Abtastoptik besser auf die 25 Abtastung von rotationssymmetrischen Flächen mit relativ großem Durchmesser angepaßt wird.
- Obwohl die Lichttransportmodule aufgrund ihrer Fluidlagerung sowohl axial als auch rotierend beweglich sind, muß diese Möglichkeit nicht in 30 jedem Anwendungsfall genutzt werden. Die Erfindung erstreckt sich vielmehr auch auf Abtastsysteme, bei denen einer der Bewegungsfreiheitsgrade nicht benötigt wird und deswegen das erste (die Licht-austrittsoptik tragende) Lichttransportmodul entweder nur axial oder nur rotierend bewegt wird. Auch in diesen Fällen ist jedoch ein Translations- 35 Rotations-Antrieb vorhanden, der die Bewegung hinsichtlich beider

Freiheitsgrade ermöglicht und es sind vorzugsweise auch Positionssensoren zur präzisen Kontrolle der Axial- und Drehposition vorhanden.

5. In der vorstehenden Beschreibung wurde hinsichtlich des Rotations-Translations-Antriebs 27 und der entsprechenden Bewegungen der Lichttransportmodule 2,35 auf axiale und (quer zu der Achsrichtung) rotierende Bewegungen Bezug genommen. Eine Trennung in axiale und rotierende Bewegungskoordinaten ist in vielen Fällen zweckmäßig,
- 10 jedoch nicht unbedingt erforderlich. Insbesondere können auch Transportelemente 28 eingesetzt werden, die nicht für eine bestimmte (axiale oder rotierende) Bewegung spezialisiert sind, sondern elektrisch in beliebige Raumrichtungen angesteuert werden können. Die Erfindung umfaßt selbstverständlich auch Rotations-Translations-Antriebe dieser oder
- 15 ähnlicher Bauart, wobei die von diesen angetriebenen Bewegungen nicht auf "axial" und "rotierend" beschränkt sind, sondern auch in jedem beliebigen anderen Winkel verlaufen können, so daß wendelförmige Bewegungen der Lichttransportmodule entstehen.
- 20 Soweit in der vorstehenden Beschreibung auf "Teile" Bezug genommen wird, bezieht sich dies auf Funktionseinheiten. Es bedeutet selbstverständlich nicht, daß diese "Teile" einstückig sein müssen. Insbesondere kann auch das Lagerteil 3 aus mehreren Einzelteilen, beispielsweise zwei Halbschalen, zusammengesetzt sein.

5

Ansprüche

1. Abtastsystem zum Abtasten der Oberfläche (13,14) eines Objektes,
insbesondere für eine Koordinaten-Meßmaschine, oder einen Positi-
10 onsroboter,
dadurch gekennzeichnet, daß
es einen Abtastsensor (1) mit mindestens einem fluidgelagerten
Lichttransportmodul (2) einschließt, wobei das Lichttransportmodul
(2) von einem Lagerteil (3) umschlossen ist und sich zwischen der
15 Außenwand (6) und dem Lagerteil (3) in einem Lagerspalt (7) ein
Fluid befindet, mittels dessen das Lichttransportmodul (2) so gelagert
ist, daß es hinsichtlich der Achse der zylindrischen Außenwand
sowohl axial als auch rotierend beweglich ist,
durch den Innenraum (8) des Lichttransportmoduls (2) von einer
20 Lichtquelle ausgehendes an einer Primärlight-Eintrittsstelle (11) in
den Lichttransportmodul eintretendes Primärlight zu einer in axialer
Richtung von der Primärlight-Eintrittsstelle entfernten Primärlight-
Austrittsstelle (12a,12b) transportiert wird, von der es in Richtung auf
die Objektoberfläche (13,14) abgestrahlt wird und
25 durch den Innenraum (8) des Lichttransportmoduls (2) auch von der
Objektoberfläche (13,14) reflektiertes Sekundärlicht, das an einer
vorzugsweise mit der Primärlight-Austrittsstelle (12a,12b) überein-
stimmenden Sekundärlight-Eintrittsstelle (16a,16b) in den Lichttrans-
portmodul (2) eintritt, zu einer in axialer Richtung von der Sekundär-
30 light-Eintrittsstelle (16a,16b) entfernten, vorzugsweise mit der Primärlight-
Eintrittsstelle (11) übereinstimmenden, Sekundärlight-Austrittsstelle
(17) transportiert wird, und

das Lichttransportmodul mittels eines Rotations-Translations-Antriebs (27) sowohl in axialer Richtung als auch rotierend antreibbar ist.

- 5 2. Abtastsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der
 Abtastsensor (1) zwei fluidgelagerte Lichttransportmodule (2,35)
 aufweist, wobei ein koaxial mit dem ersten Lichttransportmodul (2)
 geführtes zweites Lichttransportmodul als Longitudinalabtastmodul
 (35) dient, relativ zu dem ersten Lichttransportmodul in axialer Rich-
 tung beweglich ist und optische Elemente enthält, durch die das
10 Primärlicht von einer Primärlicht-Eintrittsstelle (39) des Longitudinal-
 abtastmoduls (35) zu einer in axialer Richtung entfernten Primärlicht-
 Austrittsstelle (40) transportiert wird, von der es in die Primärlicht-
 Eintrittsstelle (11) des ersten Lichttransportmoduls (2) weitergeleitet
15 wird, und durch dessen Innenraum auch von der Primärlicht-Aus-
 trittsstelle (17) des ersten Lichttransportmoduls (2) austretendes
 Licht über eine vorzugsweise mit der Primärlicht-Austrittsstelle (40)
 des Longitudinalabtastmoduls übereinstimmende Sekundärlicht-Ein-
 trittsstelle (41) in das Longitudinalabtastmodul (35) eintritt und zu
20 einer in axialer Richtung von der Sekundärlicht-Eintrittsstelle (41) des
 Longitudinalabtastmoduls (35) entfernten, vorzugsweise mit dessen
 Primärlicht-Eintrittsstelle (39)  bereinstimmenden Sekundärlicht-
 Austrittsstelle (42) des Longitudinalabtastmoduls (35) transportiert
 wird.
25
3. Abtastsystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das
 Longitudinalabtastmodul (35) gemeinsam mit dem ersten Lichttrans-
 portmodul (2) in einem gemeinsamen Lagerteil (3) fluidgelagert ist.
- 30 4. Abtastsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekenn-
 zeichnet, daß es ein Kurzkohärenz-Interferometer (45) umfaßt, wobei
 das von der Lichtquelle (46) ausgehende Primärlicht mittels eines
 Strahlteilers (48,51) auf zwei Lichtwege aufgeteilt wird,

ein erster Teil des Primärlichts als Meßlicht auf das Objekt gestrahlt und an einer lichtremittierenden Stelle, die sich an einer einstellbaren Abtastposition auf einer Abtaststrecke (R,A) befindet, reflektiert wird und ein zweiter Teil des Lichts als Referenzlicht auf einen Referenzreflektor (53) gestrahlt und dort reflektiert wird,
5

die einstellbare Abtastposition auf der Abtaststrecke (R,A) zur Durchführung einer Longitudinalabtastung längs der Abtaststrecke (R,A) variiert wird und das reflektierte Sekundär-Meßlicht und Sekundär-Referenzlicht an einer Strahlzusammenführung (51) so zusammengeführt werden, daß das resultierende Detektionslicht beim Auftreffen auf einen Detektor (63) ein Interferenzsignal erzeugt, das eine Information über die Stärke der Reflexion des Meßlichts in Abhängigkeit von der jeweils eingestellten Abtastposition enthält, und eine Teilstrecke (M1) des Meßlichtweges innerhalb eines oder mehrerer fluidgelagerter Lichttransportmodulen des Abtastsensors verläuft.
10
15

5. Abtastsystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Lichtweg des Detektionslichts zwischen der Strahlzusammenführung (51) und dem Detektor (63) eine variable Wellenlängenselektionseinrichtung (61) angeordnet ist, durch die das Detektionslicht in Abhängigkeit von seiner Wellenlänge derartig selektiert wird, daß zu dem Detektor selektiv bevorzugt Licht mit Wellenlängen gelangt, die einer vorbestimmten Folge von Wellenzahlen k entsprechen und zur Variation der Abtastposition längs der Abtaststrecke unterschiedliche Folgen der Wellenzahlen k einstellbar sind.
20
25
6. Abtastsystem nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß auch eine Teilstrecke (R1) des Referenzlichtweges in einem fluidgelagerten Lichttransportmodul (25,35) verläuft, diese Teilstrecke (R1) des Referenzlichtweges kleiner als die in einem oder mehreren fluidgelagerten Lichttransportmodulen des Abtastsensors (1) verlaufenden Teilstrecke (M1) des Meßlichtweges ist und das Abtastsystem zum Ausgleich der Differenz der Teilstrecken
30

(R1,M1) ein von dem einen oder mehreren Lichttransportmodulen (2,35) des Abtastsensors (1) getrenntes Weglängenausgleichsmodul (55) aufweist.

- 5 7. Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Primärlicht und das Sekundärlicht in dem mindestens einen fluidgelagerten Lichttransportmodul (2,35) mittels Freistrahloptik-Elementen geführt wird.
- 10 8. Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Lichttransportmodul (2) eine Lichtaustritts-optik (19) aufweist, die so ausgebildet ist, daß das Primärlicht in axialer und/oder in radialer Richtung abgestrahlt werden kann.
- 15 9. Abtastsystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtaustrittsoptik (19) Bestandteil eines Austrittsoptikmoduls (23) ist, das auswechselbar mit einem fluidgelagerten Lichttransportmodul-Basisteil (25) verbunden werden kann.
- 20 10. Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Fluid, mittels dessen das mindestens ein Lichttransportmodul (2,35) gelagert ist, ein Gas, insbesondere Luft ist.
- 25 11. Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abtastsensor (1) einen Axialpositions-sensor (31) und/oder einen Drehpositionssensor (32) zur Bestim-mung der Axialposition und/oder Drehwinkelposition eines Licht-transportmoduls (2,35) einschließt, wobei an dem Lichttransport-modul (2,35) eine vorzugsweise periodische Ortsmarkierung (33,34) angebracht ist.

12. Abtastsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotations-Translations-Antrieb (27) Transportelemente (28) aufweist, die intermittierend gegen eine Wand (8) eines Lichttransportmoduls (2,35) gedrückt werden und dabei schrittweise Bewegungen tangential zu der Wandoberfläche derartig ausführen, daß das Lichttransportmodul (2,35) in die gewünschte Richtung bewegt wird.
5
13. Abtastsystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Transportelemente (28) piezoelektrisch bewegt werden.
10
14. Abtastsystem nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Transportelemente (8) an dem Lagerteil (3) so verteilt angeordnet sind, daß der von ihnen ausgeübte Druck auf die Wand (6) des fluidgelagerten Lichttransportmoduls (2,35) dergestalt kompensiert wird, daß er keine störende Radialbewegung des fluidgelagerten Lichttransportmoduls (2,35) verursacht.
15
15. Abtastsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotations-Translations-Antrieb getrennte Transportelemente einerseits für die axiale Bewegung und andererseits für die Rotation des mindestens einen fluidgelagerten Lichttransportmoduls (2,35) aufweist.
20

1 / 3

Fig. 1

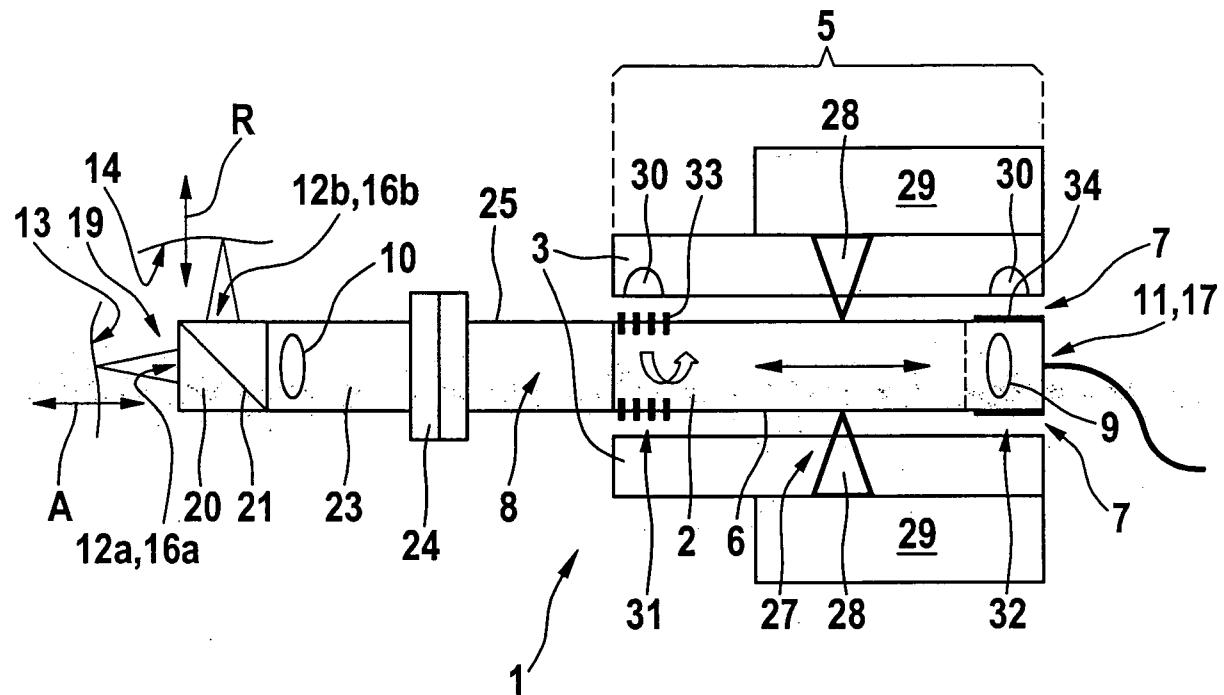


Fig. 3

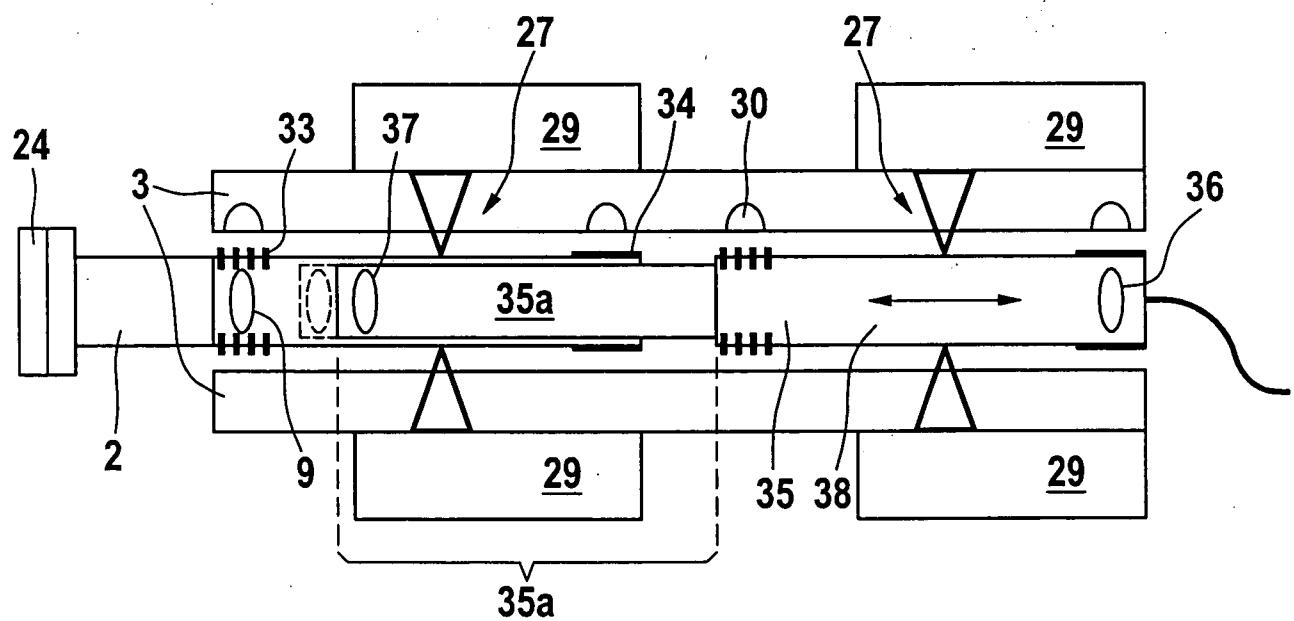
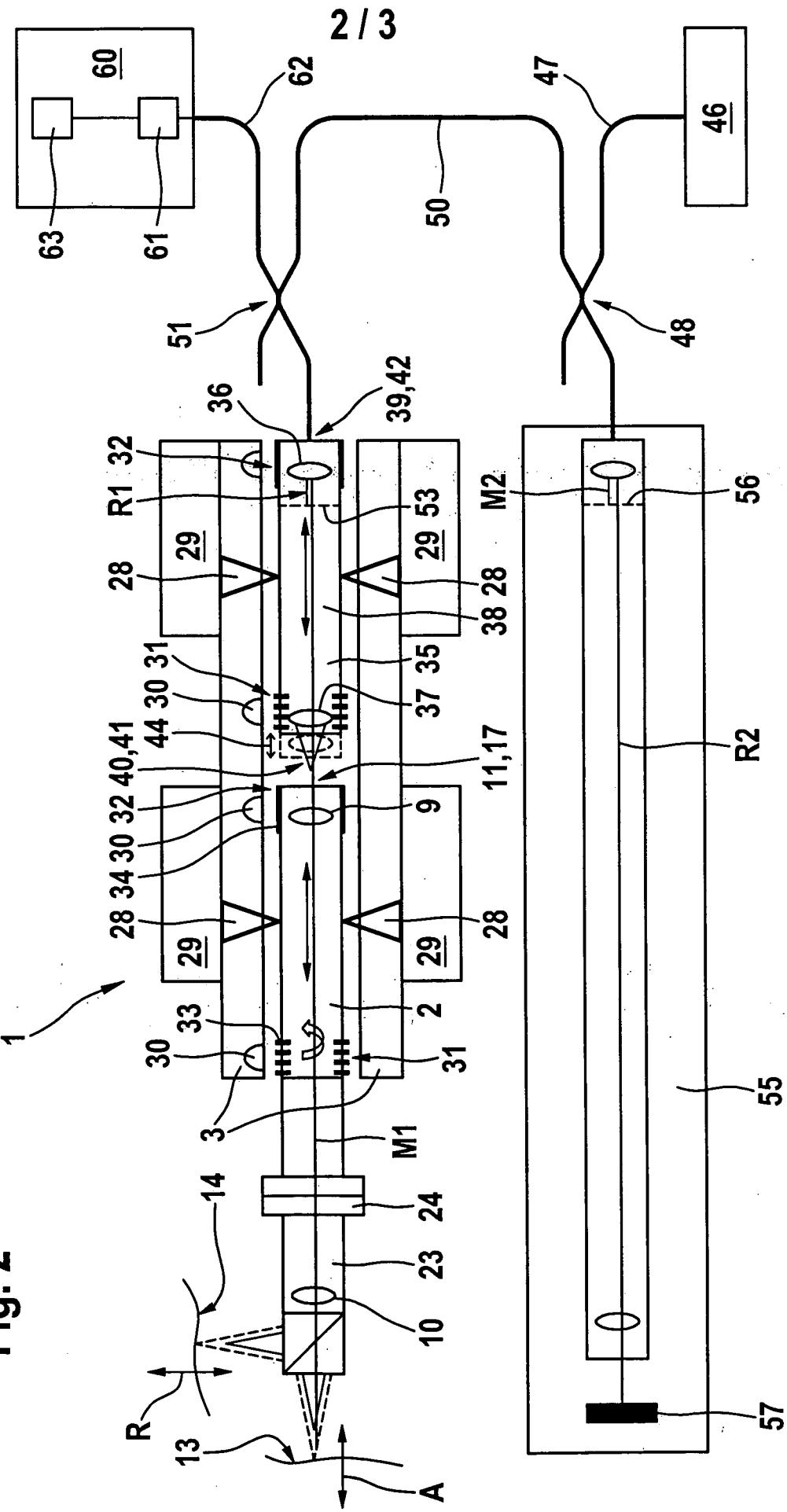
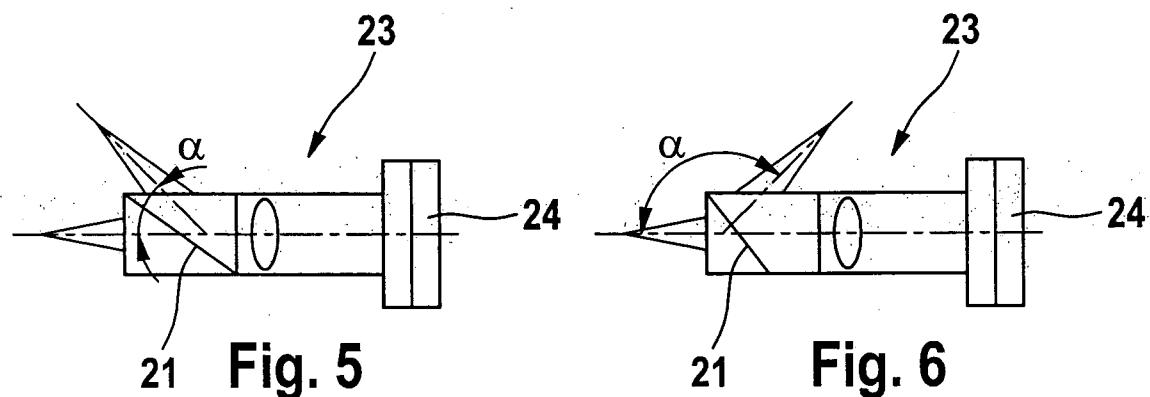
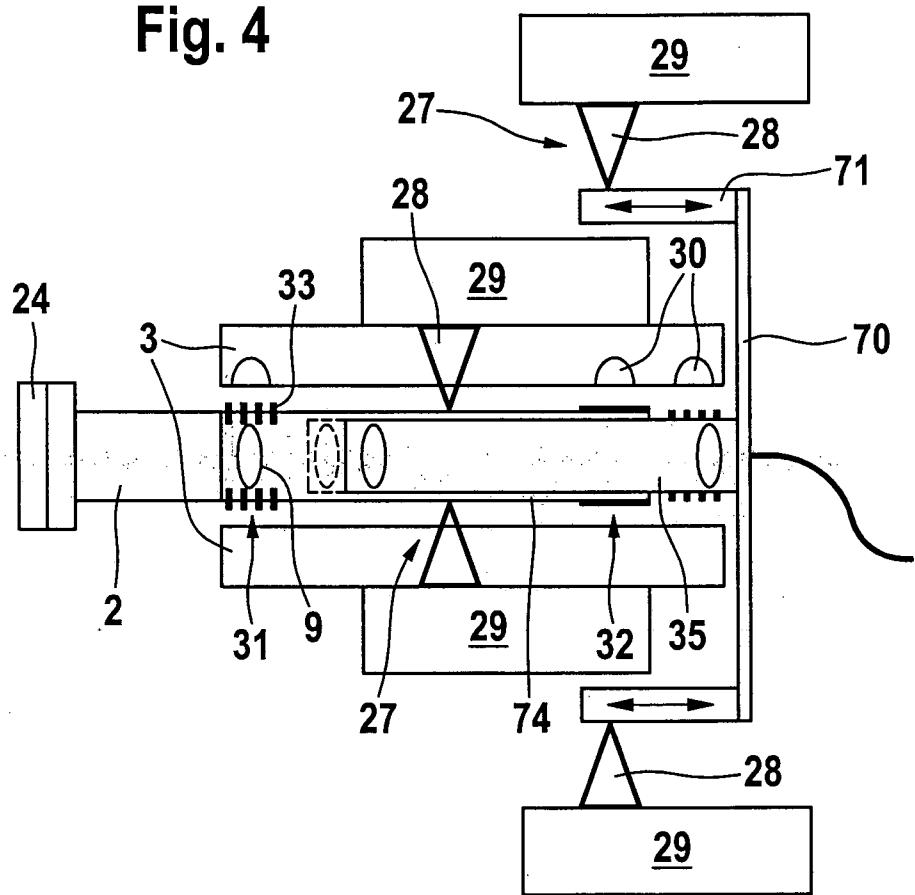
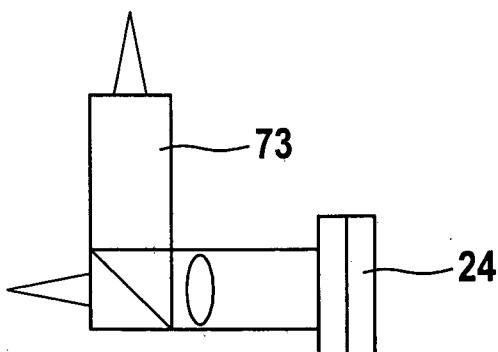


Fig. 2



3 / 3

Fig. 4**Fig. 5****Fig. 6****Fig. 7**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/011586

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01B11/00

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B A61B

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

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

EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2005/088241 A1 (KNUETTEL ALEXANDER [DE]) 22 September 2005 (2005-09-22) page 12, line 9 - page 16, line 17; figures 1,2 ----- A US 6 687 010 B1 (HORII AKIHIRO [JP] ET AL) 3 February 2004 (2004-02-03) column 7, line 66 - column 8, line 59; figure 1 column 39, line 42 - column 42, line 37; figure 46 column 44, line 6 - line 63; figure 52 column 46, line 41 - column 50, line 18; figures 56,58 ----- -/-	1-15
		1-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

14 February 2007

01/03/2007

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Petelski, Torsten

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/011586

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 196 40 495 A1 (LEICA LASERTECHNIK [DE] LEICA MICROSYSTEMS [DE]) 9 April 1998 (1998-04-09) column 7, line 47 - column 9, line 6; figures 1-4 -----	1-15
A	WO 03/076127 A (PRECISE PRAEZ SSPINDELN GMBH [DE]; AEROLAS GMBH [DE]; MUTH MICHAEL [DE] 18 September 2003 (2003-09-18) cited in the application page 4, line 20 - page 5, line 14; figures 1-3 -----	1-15
A	EP 1 134 543 A1 (RIKEN [JP]; YAMAGATA YUTAKA [JP] RIKEN [JP]) 19 September 2001 (2001-09-19) paragraph [0041] - paragraph [0056]; figures 2-5 -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2006/011586	
---	--

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 2005088241	A1 22-09-2005	DE 102004012426 A1 EP 1728045 A1		29-09-2005 06-12-2006
US 6687010	B1 03-02-2004	NONE		
DE 19640495	A1 09-04-1998	WO 9814132 A1 EP 1006932 A1 JP 2001510357 T US 6263234 B1		09-04-1998 14-06-2000 31-07-2001 17-07-2001
WO 03076127	A 18-09-2003	AT 306355 T AU 2003210380 A1 CN 1638917 A DE 10210750 A1 EP 1483081 A1 TW 230642 B		15-10-2005 22-09-2003 13-07-2005 09-10-2003 08-12-2004 11-04-2005
EP 1134543	A1 19-09-2001	WO 0052419 A1 US 6539642 B1		08-09-2000 01-04-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/011586

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. GO1B11/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
GO1B A61B

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

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

EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2005/088241 A1 (KNUETTEL ALEXANDER [DE]) 22. September 2005 (2005-09-22) Seite 12, Zeile 9 – Seite 16, Zeile 17; Abbildungen 1,2 -----	1-15
A	US 6 687 010 B1 (HORII AKIHIRO [JP] ET AL) 3. Februar 2004 (2004-02-03) Spalte 7, Zeile 66 – Spalte 8, Zeile 59; Abbildung 1 Spalte 39, Zeile 42 – Spalte 42, Zeile 37; Abbildung 46 Spalte 44, Zeile 6 – Zeile 63; Abbildung 52 Spalte 46, Zeile 41 – Spalte 50, Zeile 18; Abbildungen 56,58 ----- -/-	1-15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14. Februar 2007

01/03/2007

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Petelski, Torsten

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/011586

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 196 40 495 A1 (LEICA LASERTECHNIK [DE] LEICA MICROSYSTEMS [DE]) 9. April 1998 (1998-04-09) Spalte 7, Zeile 47 – Spalte 9, Zeile 6; Abbildungen 1-4 -----	1-15
A	WO 03/076127 A (PRECISE PRAEZ SSPINDELN GMBH [DE]; AEROLAS GMBH [DE]; MUTH MICHAEL [DE] 18. September 2003 (2003-09-18) in der Anmeldung erwähnt Seite 4, Zeile 20 – Seite 5, Zeile 14; Abbildungen 1-3 -----	1-15
A	EP 1 134 543 A1 (RIKEN [JP]; YAMAGATA YUTAKA [JP] RIKEN [JP]) 19. September 2001 (2001-09-19) Absatz [0041] – Absatz [0056]; Abbildungen 2-5 -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/011586

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2005088241	A1 22-09-2005	DE 102004012426 A1 EP 1728045 A1		29-09-2005 06-12-2006
US 6687010	B1 03-02-2004	KEINE		
DE 19640495	A1 09-04-1998	WO 9814132 A1 EP 1006932 A1 JP 2001510357 T US 6263234 B1		09-04-1998 14-06-2000 31-07-2001 17-07-2001
WO 03076127	A 18-09-2003	AT 306355 T AU 2003210380 A1 CN 1638917 A DE 10210750 A1 EP 1483081 A1 TW 230642 B		15-10-2005 22-09-2003 13-07-2005 09-10-2003 08-12-2004 11-04-2005
EP 1134543	A1 19-09-2001	WO 0052419 A1 US 6539642 B1		08-09-2000 01-04-2003