



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 201 508.1
(22) Anmeldetag: 28.01.2014
(43) Offenlegungstag: 30.07.2015

(51) Int Cl.: **G01B 5/008** (2006.01)
G01B 21/04 (2006.01)
G01B 3/40 (2006.01)
G01B 3/48 (2006.01)
G01B 5/14 (2006.01)

(71) Anmelder:
Bundesrepublik Deutschland, vertr. durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE

(74) Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122
Braunschweig, DE

(72) Erfinder:
Härtig, Frank, 38116 Braunschweig, DE; Kniel,
Karin, 38118 Braunschweig, DE; Krah, Thomas,
38122 Braunschweig, DE; Wedmann, Achim,
38179 Schwülper, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE 10 2006 028 452 A1
DE 10 2009 020 977 A1
US 4 523 450 A
JP 2012-083 192 A

Komori, Masahuru, u.a. „Design and error
analysis of multiball artifact composed of
simple features to evaluate pitch measurement
accuracy“ In: Journal of mechanical design, Vol.
131, 2009, S. 041006-1 – 041006-11. - ISSN 0161-
8458

Yohan Kondo u.a. „Traceability strategy for
gear-pitch-measuring instruments: development
and calibration of a multiball artifact“. In: Meas.
Sci. Technol., Vol. 20, 2009, 065101, 8pp

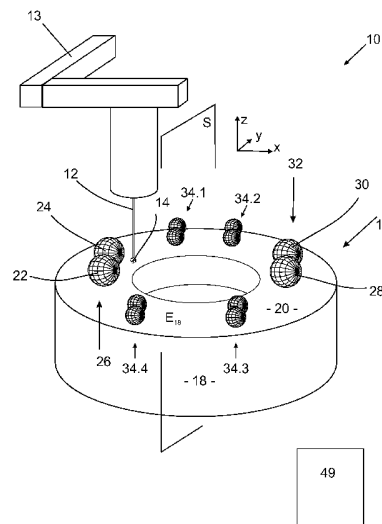
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Normal und zugehörige Verfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Normal mit (a) einem Grundkörper (18), (b) einem ersten Referenzkörper (22) und einem zweiten Referenzkörper (24), die gemeinsam eine erste Referenzanordnung (26) bilden, und (c) einem dritten Referenzkörper (28) und zumindest einem vierten Referenzkörper (30), die gemeinsam eine zweite Referenzanordnung (32) bilden, (d) wobei die Referenzkörper (22, 24, 28, 30) so auf dem Grundkörper (18) angeordnet sind, dass eine Referenzebene (E_R) existiert, die durch die Referenzkörper (22, 24, 28, 30) verläuft, (e) wobei die Querschnitte der Referenzkörper (22, 24, 28, 30) bezüglich der Referenzebenen (E_R) kreisförmig sind. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass (f) ein erster Abstand (d_1) zwischen dem ersten Referenzkörper (22) und dem zweiten Referenzkörper (24) kleiner ist als die Radien (R_{22} , R_{24}), insbesondere kleiner als die Hälfte der Radien (R_{22} , R_{24}), der Querschnitte des ersten Referenzkörpers (22) und des zweiten Referenzkörpers (24) und ein zweiter Abstand (d_2) zwischen dem dritten Referenzkörper (28) und dem vierten Referenzkörper (30) kleiner ist als die Radien (R_{28} , R_{30}), insbesondere kleiner als die Hälfte der Radien (R_{28} , R_{30}), der Querschnitte des dritten Referenzkörpers (28) und des vierten Referenzkörpers (30), und (g) die erste Referenzanordnung (26) und die zweite Referenzanordnung (32) so zueinander angeordnet sind, dass eine Tastkugel (14) mit einem Radius (R_{14}), der kleiner ist als alle Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}), insbesondere kleiner als die Hälfte der Radien

(R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}), der Querschnitte der Referenzkörper (22, 24, 28, 30), auf einem Pfad (P), der in der Referenzebene (E_R) verläuft, aus einer ersten Antastposition, in der die Tastkugel (14) an den Referenzkörpern (22, 24, 28, 30) der ersten Referenzanordnung (26) antastet, in eine ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Normal mit (a) einem Grundkörper, (b) einem ersten Referenzkörper und einem zweiten Referenzkörper, die gemeinsam eine erste Referenzanordnung bilden, und (c) einem dritten Referenzkörper und zumindest einem vierten Referenzkörper, die gemeinsam eine zweite Referenzanordnung bilden, wobei (d) die Referenzkörper so auf dem Grundkörper angeordnet sind, dass eine Referenzebene existiert, die durch die Referenzkörper verläuft, wobei die Querschnitte der Referenzkörper bezüglich der Referenzebene kreisförmig sind.

[0002] Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Kalibrieren eines taktilen Messgeräts und ein Verfahren zum Messen einer Lücke. Unter einer Lücke wird auch eine Kerbe oder Rille verstanden. Insbesondere wird unter der Lücke eine Gewindelücke nach DIN 3998:1976-01 oder eine Zahnücke nach DIN 2244:2002-05 verstanden.

[0003] Gewinde- und Verzahnungselemente werden in großen Stückzahlen gefertigt und erfordern eine hohe Maßhaltigkeit. Es ist daher notwendig, die Abmaße der Gewinde- und Verzahnungselemente fertigungsbegleitend zu messen. Hierfür werden aufgrund ihrer Genauigkeit und ihrer Universalität häufig taktile Messgeräte, mit beispielsweise Handeltastern eingesetzt.

[0004] Zur Ermittlung der notwendigen Geometriemerkmale der Gewinde- und/oder Verzahnungselemente werden die Messpunkte im sogenannten selbstzentrierenden Antastmodus in einer Zweiflankenlage erfasst. Beim selbstzentrierenden Antastmodus wird die Tastkugel des taktilen Messgeräts entlang einer Flanke des Gewinde- oder Verzahnungselements verfahren, bis die Tastkugel die zweite Gewinde- bzw. Verzahnungsflanke berührt.

[0005] Es hat sich herausgestellt, dass bei dieser Art Antastung systematische Messfehler entstehen.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Messgenauigkeit beim taktilen Messen von Lücken zu verbessern.

[0007] Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Normal, bei dem (f) ein erster Abstand zwischen dem ersten Referenzkörper und dem zweiten Referenzkörper kleiner ist als die Radien der Querschnitte des ersten Referenzkörpers und des zweiten Referenzkörpers und ein zweiter Abstand zwischen dem dritten Referenzkörper und dem vierten Referenzkörper kleiner ist als die Radien, insbesondere kleiner als die Hälfte der Radien, der Querschnitte des dritten Referenzkörpers und des vierten Referenzkörpers, und (g) dass die erste Referenzanordnung und die zweite Referenzanordnung so zueinander angeordnet sind, dass eine Tastkugel mit einem Radius, der kleiner ist als alle Radien, insbesondere kleiner als die Hälfte der Radien, der Querschnitte der Referenzkörper, auf einem, insbesondere geraden, Pfad, der in der Referenzebene verläuft, aus einer ersten Antastposition, in der die Tastkugel an den Referenzkörpern der ersten Referenzanordnung antastet, in eine zweite Antastposition, in der die Tastkugel an den Referenzkörpern der zweiten Referenzanordnung antastet, verfahrbar ist, sodass das Normal als Lückennormal verwendbar ist.

[0008] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Verfahren zum Kalibrieren eines taktilen Messgerätes, bei dem ein erfindungsgemäßes Normal mit einer Tastkugel im selbstzentrierenden Antastmodus angetastet wird.

[0009] Die Erfindung löst das Problem zudem durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 8 und durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 9.

[0010] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass systematische Messfehler vermieden werden können. Beim Verfahren des Tastkörpers entlang einer Flanke, insbesondere einer Gewindeflanke, kann es zu Verschleiß kommen. Dadurch entsteht ein systematischer Messfehler. Bislang werden für den Maßanschluss nach dem Substitutionsprinzip Längenendmaße verwendet. Bei Verwendung von Längenendmaßen kann der genannte Verschleiß nicht erfasst werden, da er in der Regel an einer Stelle auftritt, an der die Tastkugel beim Antasten an ein Längenendmaß nicht antastet. Das erfindungsgemäße Normal ist hingegen so aufgebaut, dass die Punkte der Antastkugel, die beim Messen der Lücke mit den Flanken der Lücke in Kontakt kommen, genau die gleichen sind, wie die, die beim Antasten des Normals mit diesem in Kontakt kommen. Systematische Fehler können so erfasst werden.

[0011] Aus dem oben genannten Grund kann zudem der systematische Fehler eliminiert werden, der aus einer elastischen Verformung der Tastkugel beim Antasten entsteht.

[0012] Vorteilhaft ist zudem, dass das Normal mit einer hohen Genauigkeit hergestellt werden kann. So sind die Referenzkörper vorzugsweise Kugeln oder Zylinder, die beide mit geringen Formfehlern herstellbar sind. Die Positionen der Mittelpunkte relativ zum Grundkörper sind zudem mit hoher Genauigkeit messbar, sodass bei bekanntem Tastkugeldurchmesser die Antastposition mit hoher Genauigkeit berechnet werden kann. Das erfindungsgemäße Normal ermöglicht damit eine hochgenaue Kalibrierung von Längen durch Antasten in Lücken, beispielsweise in Gewinde- oder Verzahnungslücken, oder in Kerben.

[0013] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einem Lückennormal ein Normal verstanden, das zur Überwachung und Korrektur eines Messprozesses ausgebildet ist. Ein Normal umfasst stets einen zugehörigen Kalibrierschein, in dem die relevanten Größen, im vorliegenden Fall die Positionen und Abmaße der Referenzkörper angegeben sind.

[0014] Unter einem Grundkörper wird insbesondere ein formstabiler Körper verstanden, der vorzugsweise aus einem thermisch invarianten Material besteht. Hierunter ist zu verstehen, dass ein thermischer Ausdehnungskoeffizient des Materials, aus dem der Grundkörper aufgebaut ist, bei Raumtemperatur kleiner ist als 10 ppm pro Kelvin (linearer Längenausdehnungskoeffizient Invar: $1,7 - 2,0 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$).

[0015] Unter den Referenzkörpern werden insbesondere Körper verstanden, die einen Formfehler von maximal 5 μm , insbesondere maximal 0,1 μm , besitzen. Hierunter ist zu verstehen, dass die Querschnitte der Referenzkörper in der Referenzebene um maximal 0,1 μm , maximal 1 μm von einem mathematischen idealen Kreis abweichen.

[0016] Unter einer Lücke wird eine Struktur verstanden, die so ausgebildet ist, dass eine Tastkugel eines vorgegebenen Tastdurchmessers die Lücke nicht passieren kann. Insbesondere ist eine Kerbe eine Lücke. Eine Lücke umfasst, beispielsweise zwei, zueinander geneigte Flächen. Bei den Flächen kann es sich um Schrauben- oder Evolventenflächen handeln, die den werkstofffreien Teil begrenzen. Die Flächen können auch als Flanken bezeichnet werden.

[0017] Unter dem Merkmal, dass eine Referenzebene existiert, in der die Querschnitte der Referenzkörper kreisförmig sind, ist insbesondere zu verstehen, dass zumindest eine solche Referenzebene existiert. In aller Regel wird eine Vielzahl an Referenzebenen existieren. Wenn zumindest ein Teil der Referenzkörper wie in einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, durch Referenzkugeln gebildet sind, wird unter der Referenzebene insbesondere diejenige Ebene verstanden, die durch die Mittelpunkte der Kugeln verläuft. In anderen Worten ist diese bevorzugte Ausführungsform dadurch gekennzeichnet, dass die Kugelmittelpunkte der Referenzkugel in einer gemeinsamen Ebene liegen. Es ist möglich und vorteilhaft, nicht aber notwendig, dass alle Radien gleich sind. Insbesondere ist möglich, dass sich alle Radien voneinander unterscheiden. Unter dem Merkmal, dass zwei Radien gleich sind, wird insbesondere verstanden, dass eine relative Abweichung der beiden Radien kleiner ist als 10^{-3} .

[0018] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform beträgt ein Referenzanordnungs-Abstand zwischen der ersten Referenzanordnung und der zweiten Referenzanordnung zumindest das Dreifache aller Radien der Querschnitte der Referenzkörper bezüglich der Referenzebene. In anderen Worten beträgt der Referenzanordnungs-Abstand zwischen der ersten Referenzanordnung und der zweiten Referenzanordnung zumindest das Dreifache des Minimums über alle Radien der Querschnitte. So ist der Abstand zwischen den Referenzkörpern einer Referenzanordnung deutlich kleiner als der Abstand zwischen den beiden Referenzanordnungen. Das bildet besonders gut die Verhältnisse in einem Innengewinde ab.

[0019] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die erste Referenzanordnung und die zweite Referenzanordnung spiegelsymmetrisch bezüglich einer Symmetrieebene ausgebildet, wobei die Symmetrieebene senkrecht zur Referenzebene verläuft. Eine derartige Anordnung kann mit einer besonders hohen Genauigkeit gefertigt werden.

[0020] Günstig ist es, wenn die Referenzkörper Referenzkugeln sind, die jeweils einen Kugelradius haben. Vorzugsweise bestehen die Referenzkörper aus einem Hartstoff, beispielsweise aus Rubin. Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die Referenzkugeln gleiche Radien besitzen. Für den in der Praxis häufig vorkommenden Fall, dass Lücken angetastet werden sollen, deren Flanken unter betragsmäßig gleichen Winkeln verlaufen, sind Referenzkugeln gleicher Durchmesser günstig. Unter dem Merkmal, dass zwei Durchmesser

gleich sind, wird insbesondere verstanden, dass eine relative Abweichung der beiden Durchmesser kleiner ist als 10^{-3} .

[0021] Wenn die Kugelmittelpunkte in der Referenzebene liegen, verläuft diese vorzugsweise parallel zu einer Oberseite des Grundkörpers. Hierunter ist vorzugsweise zu verstehen, dass eine Abweichung zwischen der Referenzebene und eine Ausgleichsebene durch die Oberseite des Grundkörpers höchstens 1° beträgt.

[0022] Günstig ist es, wenn die Referenzkörper auf den Eckpunkten eines gedachten Rechtecks angeordnet sind und die Längen der Längsseiten des Rechtecks und/oder die Längen der Kurzseiten des Rechtecks und/oder die Diagonalen sich um höchstens 10^{-4} voneinander unterscheiden. Das bedeutet am Beispiel der Längsseiten des Rechtecks, dass der Betrag der Differenz der beiden Längsseiten dividiert durch das Maximum der beiden Längsseiten kleiner ist als 10^{-4} . Wenn mehr als vier Referenzkörper vorhanden sind, ist es ausreichend, wenn vier der Differenzkörper das Kriterium erfüllen.

[0023] Eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die Schritte eines Antastens, insbesondere eines selbstzentrierenden Antastens, eines erfindungsgemäßen Normals mit einer Tastkugel, deren Tastkugelradius wie in Tabelle 1 unten angegeben ist, wobei die Radien der Querschnitte der Referenzkörper den zugehörigen Wert gemäß der Tabelle haben und wobei ein Abstand der Referenzkörper in der Referenzebene wie in der Tabelle angegeben ist und wobei ein Gewinde gemessen wird, das eine Gewindesteigung gemäß der in der Tabelle angegebenen Steigung hat.

[0024] Beispielsweise beträgt der Tastkugelradius zwischen 0,05 und 0,1 Millimeter, wobei die Radien der Querschnitte der Referenzkörper zwischen 0,25 und 0,5 Millimeter betragen und wobei ein Abstand der Referenzkörper in der Referenzebene 0,05 bis 0,1 Millimeter beträgt und gemessen wird ein Gewinde, das eine Gewindesteigung von 0,2 bis 0,3 Millimeter hat.

[0025] Alternativ oder zusätzlich umfasst das Verfahren die Schritte eines Antastens, insbesondere eine selbstzentrierenden Antastens, eines erfindungsgemäßen Normals, mit einer Tastkugel, deren Tastkugelradius zwischen 0,1 und 0,2 Millimeter beträgt, wobei die Radien der Querschnitte der Referenzkörper zwischen 0,5 und 1,5 Millimeter betragen und wobei ein Abstand der Referenzkörper in der Referenzebene 0,8 bis 1 Millimeter beträgt und Messen des Gewindes, der eine Gewindesteigung von mehr als 0,3 bis 0,7 Millimeter hat. Alternative Schritte sind in Anspruch 10 angegeben. Die einzelnen Alternativen beziehen sich auf unterschiedliche Gewindesteigungen und die dafür geeigneten Abmessungen des Normals.

[0026] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

[0027] Fig. 1 eine schematische dreidimensionale Ansicht eines erfindungsgemäßen Lückennormals,

[0028] Fig. 2 einen Querschnitt durch die Referenzebene eines Lückennormals gemäß einer zweiten Ausführungsform,

[0029] Fig. 3 einen schematischen Ausschnitt aus Fig. 2 zur Erläuterung des Prinzips,

[0030] Fig. 4 eine schematische Erläuterung eines Verfahrens zum Kalibrieren eines erfindungsgemäßen Lückennormals,

[0031] Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zum Messen eines Gewindes und

[0032] Fig. 6 eine schematische dreidimensionale Ansicht eines erfindungsgemäßen Lückennormals gemäß einer dritten Ausführungsform.

[0033] Fig. 1 zeigt ein erfindungsgemäßes taktiles Messgerät **10** in Form eines angedeuteten Koordinatenmessgerätes. Das Koordinatenmessgerät umfasst einen Taststift **12**, der eine Tastkugel **14** besitzt. Über schematisch eingezeichnete Führungen **13** kann die Tastkugel in den drei Raumrichtungen frei positioniert werden. Die Tastkugel **14** besitzt einen Tastkugelradius R_{14} , der im vorliegenden Fall $R_{14} = 1$ Millimeter beträgt.

[0034] Das taktile Messgerät **10** umfasst temporär ein Normal **16**, das nach Verwendung nur einem Arbeitsraum des Messgerätes **10** wieder entnommen werden kann. Das Normal **16** umfasst einen Grundkörper **18**, der aus einem bei Raumtemperatur von 23°C thermisch invariantem Material, beispielsweise Invar, aufgebaut

ist. Der Grundkörper **18** besitzt eine Oberfläche **20**, die eben ist und in guter Näherung durch eine Montageebene E_{18} beschrieben werden kann.

[0035] Auf der Oberfläche **20** sind ein erster Referenzkörper **22** und ein zweiter Referenzkörper **24** befestigt, die eine erste Referenzanordnung **26** bilden. Der erste Referenzkörper **22** und der zweite Referenzkörper **24** haben einen Abstand d_1 voneinander. Das Normal **16** besitzt zudem einen dritten Referenzkörper **28** und einen vierten Referenzkörper **30**, die gemeinsam eine zweite Referenzanordnung **32** bilden. Der dritte Referenzkörper **28** und der vierte Referenzkörper **30** haben einen Abstand d_2 voneinander. Günstig ist es, wenn sich die beiden Abstände d_1 und d_2 um höchstens 10^{-2} Millimeter voneinander unterscheiden.

[0036] Die zweite Referenzanordnung **32** ist spiegelsymmetrisch bezüglich einer Spiegelebene S , die lediglich schematisch eingezeichnet ist. Die Symmetrieebene S steht senkrecht auf der Montageebene E_{18} . Gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform sind die erste Referenzanordnung **26** und die zweite Referenzanordnung **32** drehsymmetrisch bezüglich eines Symmetriepunkts angeordnet.

[0037] Das Normal **16** weist im vorliegenden Fall weitere Referenzanordnungen **34.1**, **34.2**, **34.3**, **34.4** auf, die jeweils zwei Referenzkugeln umfassen und von denen jeweils zwei symmetrisch zueinander angeordnet sind.

[0038] Die Referenzkörper **22**, **24**, **28**, **30** sind im vorliegenden Fall Kugeln. Die Kugeln sind aus einem Hartstoff in Form von Rubin hergestellt und durch Stifte direkt mit dem Grundkörper **18** verbunden. Die Referenzkörper **22**, **24**, **28**, **30** haben alle den gleichen Radius R und ihre Mittelpunkte liegen alle in einer Referenzebene, die parallel zur Montageebene E_{18} verläuft. Unter dem Merkmal, dass die Referenzkörper den gleichen Radius haben, wird insbesondere verstanden, dass sich die Radien untereinander um höchstens 10^{-3} unterscheiden.

[0039] **Fig. 2** zeigt einen Schnitt durch die Referenzebene E_R . Es ist schematisch eingezeichnet, wie die Tastkugel **14** beim Antasten an die erste Referenzanordnung **26** bzw. die zweite Referenzanordnung **32** angeordnet sein können. Es ist zu erkennen, dass die Tastkugel **14** auf einem geraden Pfad P aus einer ersten Antastposition, in der die Tastkugel **14** an den Referenzkörpern **22**, **24** der ersten Referenzanordnung **26** antastet, in eine zweite Antastposition bringbar ist, in der die Tastkugel **14** an die Referenzkörper **28**, **30** der zweiten Referenzanordnung **32** antastet. Die zweite Antastposition ist als **14** gekennzeichnet.

[0040] Die Tastkugel **14** steht beim Antasten an die erste Referenzanordnung **26** in zwei Antastpunkten A_{22} , A_{24} in Kontakt mit den Referenzkörpern **22**, **24**. Die beiden Tangentialebenen $T_{A_{22}}$ und $T_{A_{24}}$ in den Antastpunkten A_{22} , A_{24} bilden einen Öffnungswinkel α . Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass eine Winkelhalbierende zum Öffnungswinkel α wie in **Fig. 2** gezeigt senkrecht zu den Verbindungslinien der Kreismittelpunkte im M_{24} , M_{22} der beiden Referenzkörper **22**, **24** verläuft.

[0041] Um den systematischen Messfehler möglichst klein zu halten, ist es vorteilhaft, wenn der Öffnungswinkel α genau dem Öffnungswinkel α entspricht, der in der Messaufgabe zum Messen der Lücke abhängig von der Gewindesteigung auftritt.

[0042] **Fig. 2** zeigt zudem, dass der Pfad P eine Länge L besitzt. In **Fig. 2** sind zudem zwei weitere Antastpositionen eingezeichnet, in denen die Tastkugel von außen an die Referenzkörper antastet. Der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Tastkörper in der jeweiligen Antastposition ist $L_{\text{außen}}$.

[0043] **Fig. 3** zeigt die Verhältnisse in dem Zustand, in dem die Tastkugel **14** an die Referenzkörper **22**, **24** antastet.

[0044] **Fig. 4** zeigt schematisch, wie das Normal **16** rückführbar kalibriert werden kann. Dazu werden mittels der Tastkugel **14** die Referenzkörper **22**, **24**, **28**, **30** mehrfach angetastet und durch Anpassen mit jeweiligen Kreisen die Lage der Mittelpunkte M bestimmt. Nachfolgend werden die eingezeichneten Längen $L_i = L_{1-2}$, L_{1-3} , L_{1-4} , L_{2-3} , L_{2-4} und L_{3-4} berechnet. Es ist günstig, wenn der Tastkugeldurchmesser dazu kleiner ist als die Abstände der Referenzkörper der Referenzanordnungen.

[0045] Die Bewegung der Tastkugel **14** wird während der gesamten Zeit durch ein Laserinterferometer **36** verfolgt, sodass die genannten Längen L mit hoher Genauigkeit bekannt sind. Da gleichzeitig die einzelnen Radien mit hoher Genauigkeit bekannt sind, kann bei bekanntem Tastkugeldurchmesser R_{14} die Länge L_{innen} des Pfades P mit hoher Genauigkeit berechnet werden.

[0046] Im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Tastkugel **14** zunächst in die erste Antastposition gebracht, die in **Fig. 2** mit dem Bezugszeichen **14** gekennzeichnet ist, danach wird sie in die mit **14** gekennzeichnete Position gebracht und die Pfadlänge L_{innen} gemessen. Die gemessene Pfadlänge wird dann mit dem vom Normal vorgegebenen Wert verglichen und die Differenz als Korrekturwert für die Messaufgabe genommen.

[0047] **Fig. 5** zeigt die Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Messen einer Gewindes **37**, das im Querschnitt zumindest eine Lücke **38** (siehe **Fig. 5a**) besitzt, die von einer ersten Flanke **40** und einer zweiten Flanke **42** begrenzt wird. Im vorliegenden Fall hat das Gewinde **37** eine Gewindesteigung s .

[0048] Zunächst wird das Lückennormal mit dem Koordinatenmessgerät **10** zur Überprüfung der Längenmessung mit Zweiflankenanlage gemessen. Dazu wird das Lückennormal **16** mit der Tastkugel **14** an den mit **14** und **14'** gezeigten Positionen (siehe **Fig. 2**) angetastet. Die Differenzlänge zum kalibrierten Wert, der in einem schematisch eingezeichneten Kalibrierschein **49** angegeben ist, wird als Korrekturwert gespeichert. Im Kalibrierschein **49** sind zumindest die Maße des Normals **16**, die zum Kalibrieren eines Gewindes notwendig sind, aufgeführt.

[0049] Zum Ermitteln des Korrekturwerts wird ein Lückennormal verwendet, bei dem die Tastkugel unter einem Öffnungswinkel α antastet, der zumindest im Wesentlichen einem Lückenwinkel β entspricht. Der Lückenwinkel β ist derjenige Winkel, unter dem die Tangentialebenen beider Flanken **40**, **42** in den Antastpunkten verlaufen. Unter dem Merkmal, dass der Öffnungswinkel α zumindest im Wesentlichen dem Lückenwinkel β entspricht, wird insbesondere verstanden, dass der Betrag der Differenz zwischen dem Öffnungswinkel α und dem Lückenwinkel β kleiner ist als 10° , insbesondere kleiner als 5° .

[0050] Nach der Messung des Lückennormals wird am Gewinde der Abstand zwischen der Lücke **38** und der zugeordneten Lücke **38'** wie im Teilbild **5b** gezeigt durch selbstzentrierendes Antasten mittels der Tastkugel **14** gemessen. Die zugeordnete Lücke **38'** ist eine Lücke, die zusammen mit der gewählten Lücke **38** die Messung der Gewindesteigung s und/oder des Innendurchmessers des Gewindes erlaubt. Zum Antasten wird die Tastkugel **14** beispielsweise entlang einem geraden Pfad P verfahren. Die beiden Endpositionen sind mit **14** und **14'** gekennzeichnet. Der mit dem Koordinatenmessgerät **10** ermittelte Wert für die Gewindesteigung s wird anhand des Korrekturwerts korrigiert. Es wird so eine rückgeführte Messung der Gewindesteigung s erhalten.

[0051] Besonders vorteilhaft kann das Verfahren zum Messen von Innen- und/oder Außengewinden eingesetzt werden. In der folgenden Tabelle sind bevorzugte Tastkugelradien, Referenzkugelradien und Abstände aufgeführt.

Tabelle				
Gewindesteigungs in Millimeter	Tastkugelradius R_{14} In Millimeter	Kugelradien R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30} in Millimeter	Abstände d_1 , d_2 in Millimeter	Bereich Lücken-Winkels des β
0,2...0,3	0,05...0,1	0,25...0,5	0,05...0,1	55° ... 63°
0,3...0,7	0,1...0,2	0,5...1,5	0,05...0,1	51° ... 61°
0,7...1,0	0,2...0,25	1,5...2	0,1...0,3	63° ... 66°
1,00...1,75	0,25...0,5	1,5...2	0,3...0,45	55° ... 67°
2,00...3,50	0,5...1,0	1,5...2,5	0,45...0,9	51° ... 70°
4,00...6,00	1,0...2,5	2,5...3	0,9...2	55° ... 70°

[0052] Die drei Punkte in der Tabelle deuten Intervalle an. So kann bei einer Gewindesteigung s im (geschlossenen) Intervall $P \in [0,2 \text{ } 0,3]$ der Tastkugelradius R_{14} im (geschlossenen) Intervall $R_{14} \in [0,05 \text{ mm } 0,1 \text{ mm}]$ liegen, also einem Wert von mindestens 0,05 Millimeter und höchstens 0,1 Millimeter.

[0053] **Fig. 6** zeigt ein erfindungsgemäßes Normal **16**, bei dem die erste Referenzanordnung **26** einen fünften Referenzkörper **44** aufweist, der auf einer ersten Geraden $G1$ mit dem ersten Referenzkörper **22** und dem zweiten Referenzkörper **24** liegt. Die zweite Referenzanordnung **32** umfasst einen sechsten Referenzkörper **46**, der auf einer zweiten Geraden $G2$ mit dem dritten Referenzkörper **28** und dem vierten Referenzkörper

30 liegt. Die Referenzanordnungen können zudem weitere Referenzkörper aufweisen. Es ist günstig, nicht aber notwendig, wenn die Abstände zwischen zwei benachbarten Referenzkörpern einer Referenzanordnung gleich sind. Hierunter wird insbesondere verstanden, dass sich die Abstände um höchstens 2 Mikrometer voneinander unterscheiden.

[0054] Im vorliegenden Fall verlaufen die erste Gerade G1 und die zweite Gerade G2 parallel zueinander. Darunter wird insbesondere verstanden, dass ein Winkel zwischen den beiden Geraden G1, G2 kleiner ist als 1° . Alternativ schließen die beiden Geraden G1, G2 einen beliebigen Winkel ein, der mit einer Genauigkeit von zumindest $0,1^\circ$ bekannt und im zugehörigen Kalibrierschein angegeben ist. Grundsätzlich sind alle Maße, die einen Einfluss auf die Messung der Pfadlänge L haben, im Kalibrierschein angegeben.

[0055] Die Referenzanordnungen **26**, **32** bilden ein erstes Referenzsystem **48.1**, das bei gegebenem Tastkugelradius R_{14} als Lückennormal für ein erstes Gewinde mit einer vorgegebenen Gewindesteigung s_1 und/oder einem vorgegebenen Lückenwinkel β_1 dient. Zusätzlich umfasst das Normal **16** ein zweites Referenzsystem **48.2**, das ebenfalls zwei Referenzanordnungen besitzt und als Lückennormal für ein zweites Gewinde mit einer vorgegebenen Gewindesteigung s_2 und/oder einem vorgegebenen Lückenwinkel β_2 dient. Die Gewindesteigungen s_1 und s_2 und/oder die Lückenwinkel β_3 , β_4 unterscheiden sich voneinander um vorzugsweise zumindest 25%.

[0056] Es ist zu erkennen, dass das Normal im vorliegenden Fall zudem ein drittes Referenzsystem **48.3** und ein viertes Referenzsystem **48.4**, die als Lückennormale für weitere Gewindesteigungen s_3 , s_4 und/oder Lückenwinkel β_3 , β_4 dienen, aufweist.

Bezugszeichenliste

10	taktils Messgerät
12	Taststift
14	Tastkugel
16	Normal
18	Grundkörper
20	Oberfläche
22	Referenzkörper
24	zweiter Referenzkörper
26	erste Referenzanordnung
28	dritter Referenzkörper
30	vierter Referenzkörper
32	zweite Referenzanordnung
34	Referenzanordnung
36	Laserinterferometer
37	Gewinde
38	Lücke
40	erste Flanke
42	zweite Flanke
44	fünfter Referenzkörper
46	sechster Referenzkörper
48	Referenzsystem
49	Kalibrierschein
α	Öffnungswinkel
β	Lückenwinkel
A₂₄	Antastpunkt
E₁₈	Montageebene
E_R	Referenzebene
G	Gerade
L	Pfadlänge
P	Pfad
R	Radius
R₁₄	Tastkugelradius
S	Symmetrieebene
s	Gewindesteigung

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

- DIN 3998:1976-01 [0002]
- DIN 2244:2002-05 [0002]

Patentansprüche

1. Normal mit

- (a) einem Grundkörper (18),
- (b) einem ersten Referenzkörper (22) und einem zweiten Referenzkörper (24), die gemeinsam eine erste Referenzanordnung (26) bilden, und
- (c) einem dritten Referenzkörper (28) und zumindest einem vierten Referenzkörper (30), die gemeinsam eine zweite Referenzanordnung (32) bilden,
- (d) wobei die Referenzkörper (22, 24, 28, 30) so auf dem Grundkörper (18) angeordnet sind, dass eine Referenzebene (E_R) existiert, die durch die Referenzkörper (22, 24, 28, 30) verläuft,
- (e) wobei die Querschnitte der Referenzkörper (22, 24, 28, 30) bezüglich der Referenzebenen (E_R) kreisförmig sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

- (f) ein erster Abstand (d_1) zwischen dem ersten Referenzkörper (22) und dem zweiten Referenzkörper (24) kleiner ist als die Radien (R_{22} , R_{24}), insbesondere kleiner als die Hälfte der Radien (R_{22} , R_{24}), der Querschnitte des ersten Referenzkörpers (22) und des zweiten Referenzkörpers (24) und ein zweiter Abstand (d_2) zwischen dem dritten Referenzkörper (28) und dem vierten Referenzkörper (30) kleiner ist als die Radien (R_{28} , R_{30}), insbesondere kleiner als die Hälfte der Radien (R_{28} , R_{30}), der Querschnitte des dritten Referenzkörpers (28) und des vierten Referenzkörpers (30), und
 - (g) die erste Referenzanordnung (26) und die zweite Referenzanordnung (32) so zueinander angeordnet sind, dass eine Tastkugel (14) mit einem Radius (R_{14}), der kleiner ist als alle Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}), insbesondere kleiner als die Hälfte der Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}), der Querschnitte der Referenzkörper (22, 24, 28, 30),
 - auf einem Pfad (P), der in der Referenzebene (E_R) verläuft,
 - aus einer ersten Antastposition, in der die Tastkugel (14) an den Referenzkörpern (22, 24, 28, 30) der ersten Referenzanordnung (26) antastet,
 - in eine zweite Antastposition, in der die Tastkugel (14) an den Referenzkörpern (22, 24, 28, 30) der zweiten Referenzanordnung (32) antastet,
- verfahrbar ist, so dass das Normal (16) als Lückennormal verwendbar ist.

2. Normal nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Referenzanordnungs-Abstand (d_3) zwischen der ersten Referenzanordnung (26) und der zweiten Referenzanordnung (32) zumindest das Dreifache aller Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) aller Querschnitte der Referenzkörper bezüglich der Referenzebene (E_R) beträgt.

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

- die erste Referenzanordnung (26) und die zweite Referenzanordnung (32) spiegelsymmetrisch bezüglich einer Symmetrieebene (S) ausgebildet sind,
- wobei die Symmetrieebene (S) senkrecht zur Referenzebene (E_R) verläuft.

4. Normal nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die Referenzkörper (22, 24, 28, 30) Referenzkugeln sind, die jeweils einen Kugelradius (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) haben, und
- die Referenzebene (E_R) durch die Kugelmittelpunkte verläuft.

5. Normal nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die erste Referenzanordnung (26) einen fünften Referenzkörper (44) aufweist, der auf einer ersten Geraden (G1) mit dem ersten Referenzkörper (22) und dem zweiten Referenzkörper (24) liegt, und dass
- die zweite Referenzanordnung (32) einen sechsten Referenzkörper (46) aufweist, der auf einer zweiten Geraden (G2) mit dem dritten Referenzkörper (28) und dem vierten Referenzkörper (30) liegt, wobei die erste Gerade (G1) vorzugsweise parallel zur zweiten Geraden (G2) verläuft.

6. Taktils Messgerät, das

- einen Taststift (12) mit einer Tastkugel (14) umfasst, wobei die Tastkugel einen Tastkugelradius (R_{14}) hat,
- einem Normal (16) nach einem der vorstehenden Ansprüche umfasst,
- wobei der Tastkugelradius (R_{14}) höchstens die Hälfte aller Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) aller Querschnitte der Referenzkörper bezüglich der Referenzebene (E_R) beträgt

7. Verfahren zum Kalibrieren eines taktilen Messgeräts, bei dem ein Normal (16) nach einem der vorstehenden Ansprüche mit einer Tastkugel (14) im selbstzentrierenden Antastmodus angetastet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass

(i) der Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,05 und 0,1 Millimeter beträgt, die Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**), insbesondere die Kugelradien, zwischen 0,25 und 0,5 Millimeter betragen und der Abstand (d_1) der Referenzkörper (**22**, **24**) der ersten Referenzanordnung (**26**) in der Referenzebene 0,05 bis 0,1 Millimeter beträgt und der Abstand (d_2) der Referenzkörper (**28**, **30**) der zweiten Referenzanordnung (**32**) in der Referenzebene 0,05 bis 0,1 Millimeter beträgt oder

(ii) der Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,1 und 0,2 Millimeter beträgt, die Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**), insbesondere die Kugelradien, zwischen 0,5 und 1,5 Millimeter betragen und der Abstand (d_1) der Referenzkörper (**22**, **24**) der ersten Referenzanordnung (**26**) in der Referenzebene 0,05 bis 0,1 Millimeter beträgt und der Abstand (d_2) der Referenzkörper (**28**, **30**) der zweiten Referenzanordnung (**32**) in der Referenzebene 0,05 bis 0,1 Millimeter beträgt oder

(iii) der Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,2 und 0,25 Millimeter beträgt, die Radien der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**), insbesondere die Kugelradien, zwischen 1,5 und 2 Millimeter betragen und der Abstand (d_1) der Referenzkörper (**22**, **24**) der ersten Referenzanordnung (**26**) in der Referenzebene 0,1 bis 0,3 Millimeter beträgt und der Abstand (d_2) der Referenzkörper (**28**, **30**) der zweiten Referenzanordnung (**32**) in der Referenzebene 0,1 bis 0,3 Millimeter beträgt oder

(iv) der Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,25 und 0,5 Millimeter beträgt, die Radien der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**), insbesondere die Kugelradien, zwischen 1,5 und 2 Millimeter betragen und der Abstand (d_1) der Referenzkörper (**22**, **24**) der ersten Referenzanordnung (**26**) in der Referenzebene 0,3 bis 0,45 Millimeter beträgt und der Abstand (d_2) der Referenzkörper (**28**, **30**) der zweiten Referenzanordnung (**32**) in der Referenzebene 0,3 bis 0,45 Millimeter beträgt

oder

(v) der Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,5 und 1,0 Millimeter beträgt, die Radien der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**), insbesondere die Kugelradien, zwischen 1,5 und 2,5 Millimeter betragen und der Abstand (d_1) der Referenzkörper (**22**, **24**) der ersten Referenzanordnung (**26**) in der Referenzebene 0,45 bis 0,9 Millimeter beträgt und der Abstand (d_2) der Referenzkörper (**28**, **30**) der zweiten Referenzanordnung (**32**) in der Referenzebene 0,45 bis 0,9 Millimeter beträgt oder

(vi) der Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 1,0 und 2,5 Millimeter beträgt, die Radien der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**), insbesondere die Kugelradien, zwischen 2,5 und 3,0 Millimeter betragen und der Abstand (d_1) der Referenzkörper (**22**, **24**) der ersten Referenzanordnung (**26**) in der Referenzebene 0,9 bis 2,0 Millimeter beträgt und der Abstand (d_2) der Referenzkörper (**28**, **30**) der zweiten Referenzanordnung (**32**) in der Referenzebene 0,9 bis 2,0 Millimeter beträgt.

9. Verfahren zum Messen einer Lücke, die von einer ersten Flanke und einer zweiten Flanke begrenzt wird, mit den Schritten:

(i) Kalibrieren eines taktilen Messgeräts (**10**), das eine Tastkugel (**14**) aufweist, mittels eines Normals (**16**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, so dass die Tastkugel (**14**) beim Antasten an die Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**) der ersten Referenzanordnung (**26**) in zwei Antastpunkten (A_{22} , A_{24}) in Kontakt mit den Referenzkörpern (**22**, **24**, **28**, **30**) steht, wobei die Tangentialebenen in den Antastpunkten unter einem Antastwinkel (β) zueinander verlaufen, und

(ii) Messen der Lücke durch selbstzentrierendes Antasten mittels der Tastkugel (**14**), wobei beim Antasten der Öffnungswinkel (α) um höchstens 15° , insbesondere höchstens 5° , vom Antastwinkel (β) abweicht.

10. Verfahren zum Messen eines Gewindes mit den Schritten:

(i) Antasten, insbesondere selbstzentrierendes Antasten, eines Normals (**16**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 mit einer Tastkugel (**14**), deren Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,05 und 0,1 Millimeter beträgt, wobei die Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, R_{28} , R_{30}) zwischen 0,25 und 0,5 Millimeter betragen, und wobei ein Abstand der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**) in der Referenzebene (E_R) 0,05 bis 0,1 Millimeter beträgt, und Messen des Gewindes, der eine Gewindesteigung (s) von 0,2 bis 0,3 Millimeter hat und/oder

(ii) Antasten, insbesondere selbstzentrierendes Antasten, eines Normals (**16**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer Tastkugel (**14**), deren Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,1 und 0,2 Millimeter beträgt, wobei die Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**) zwischen 0,5 und 1,5 Millimeter betragen, und wobei ein Abstand der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**) in der Referenzebene (E_R) 0,5 bis 0,1 Millimeter beträgt, und Messen des Gewindes, der eine Gewindesteigung (s) von 0,3 bis 0,7 Millimeter hat und/oder

(iii) Antasten, insbesondere selbstzentrierendes Antasten, eines Normals (**16**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer Tastkugel (**14**), deren Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,2 und 0,25 Millimeter beträgt, wobei die Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) der Querschnitte der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**) zwischen 1,5 und 2,0 Millimeter betragen, und wobei ein Abstand der Referenzkörper (**22**, **24**, **28**, **30**) in der Referenzebene (E_R) 0,1

bis 0,3 Millimeter beträgt, und Messen des Gewindes, der eine Gewindesteigung (s) von 0,7 bis 1,0 Millimeter hat und/oder

(iv) Antasten, insbesondere selbstzentrierendes Antasten, eines Normals (16) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer Tastkugel (14), deren Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,25 und 0,5 Millimeter beträgt, wobei die Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) der Querschnitte der Referenzkörper (22, 24, 28, 30) zwischen 1,5 und 2,0 Millimeter betragen, und wobei ein Abstand der Referenzkörper (22, 24, 28, 30) in der Referenzebene (E_R) 0,3 bis 0,45 Millimeter beträgt, und Messen des Gewindes, der eine Gewindesteigung (s) von 1 bis 1,75 Millimeter hat und/oder

(v) Antasten, insbesondere selbstzentrierendes Antasten, eines Normals (16) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer Tastkugel (14), deren Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 0,5 und 1,0 Millimeter beträgt, wobei die Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) der Querschnitte der Referenzkörper (22, 24, 28, 30) zwischen 1,5 und 2,5 Millimeter betragen, und wobei ein Abstand der Referenzkörper (22, 24, 28, 30) in der Referenzebene (E_R) 0,45 bis 0,9 Millimeter beträgt, und Messen des Gewindes, der eine Gewindesteigung (s) von mehr als 2 bis 3,5 Millimeter hat, und/oder

(vi) Antasten, insbesondere selbstzentrierendes Antasten, eines Normals (16) nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer Tastkugel (14), deren Tastkugelradius (R_{14}) zwischen 1,0 und 2,5 Millimeter beträgt, wobei die Radien (R_{22} , R_{24} , R_{28} , R_{30}) der Querschnitte der Referenzkörper (22, 24, 28, 30) zwischen 2,5 und 3,5 Millimeter betragen, und wobei ein Abstand der Referenzkörper (22, 24, 28, 30) in der Referenzebene (E_R) 0,9 bis 2,0 Millimeter beträgt, und Messen des Gewindes, der eine Gewindesteigung (s) von mehr als 3,5 bis 8 Millimeter hat.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

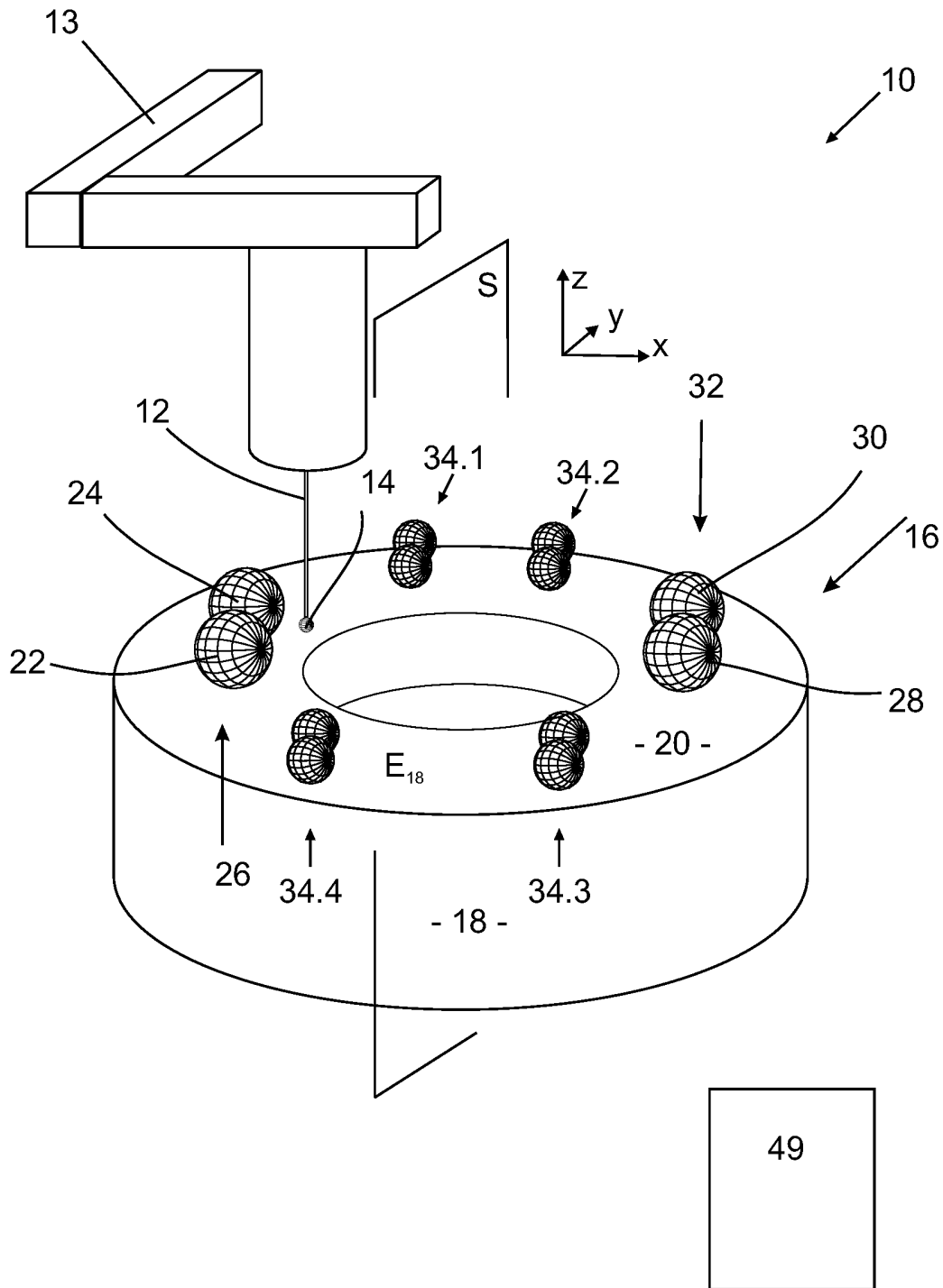


Fig. 1

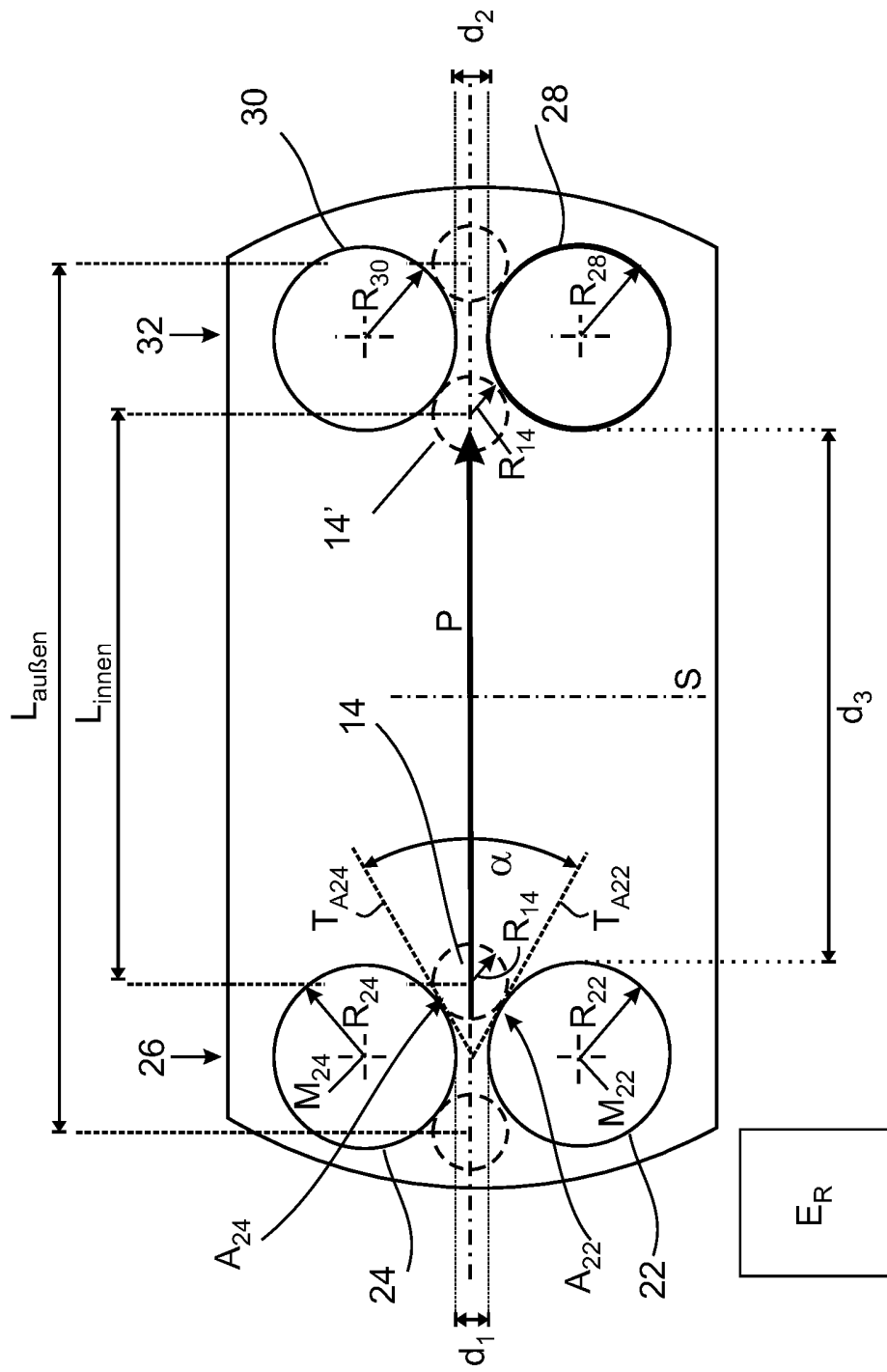


Fig. 2

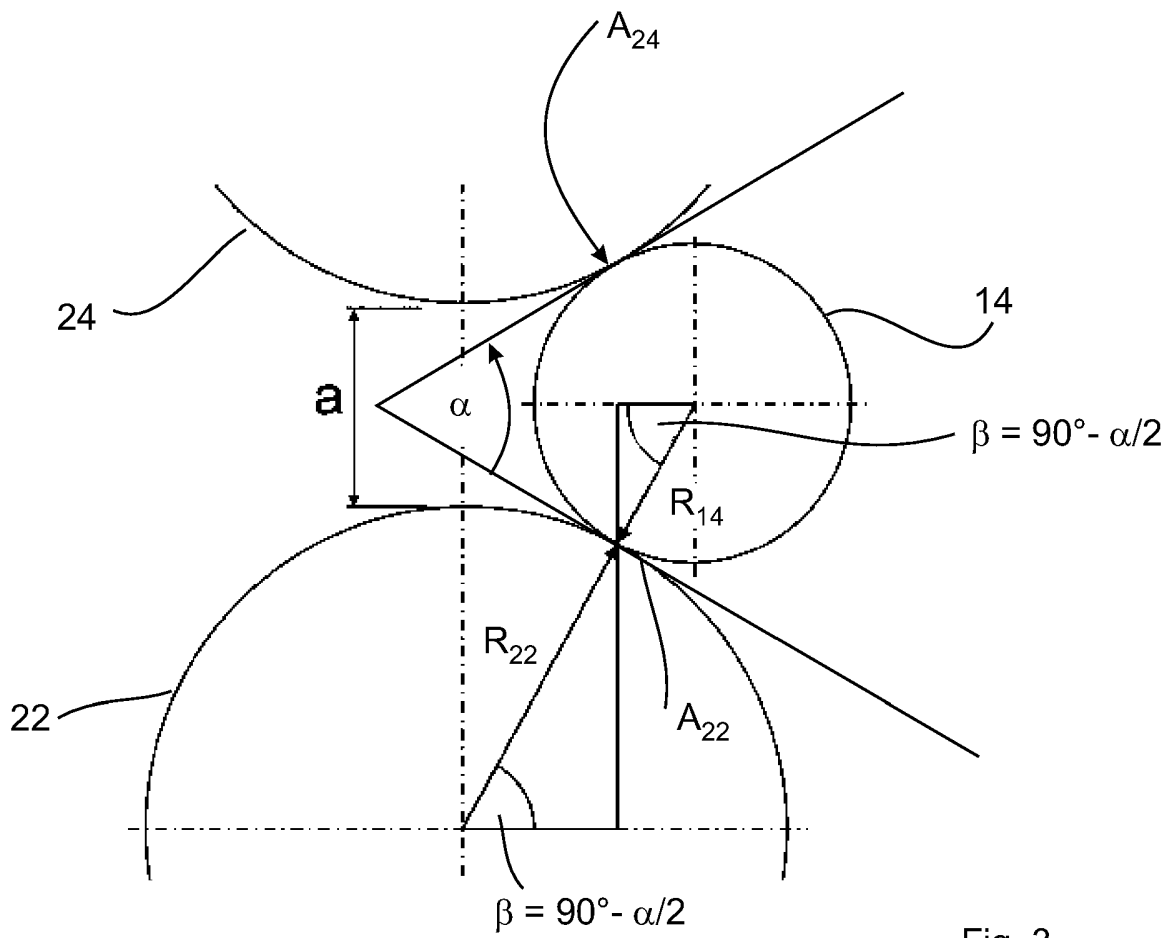


Fig. 3

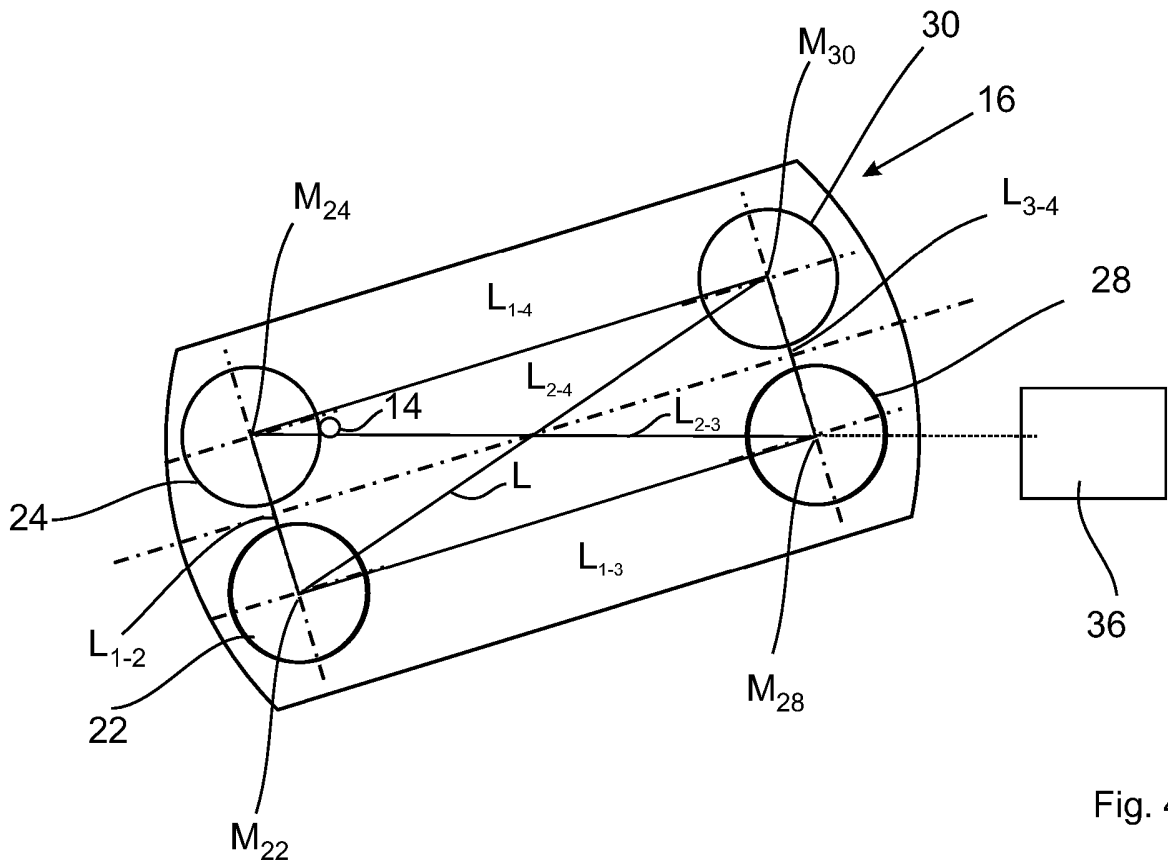


Fig. 4

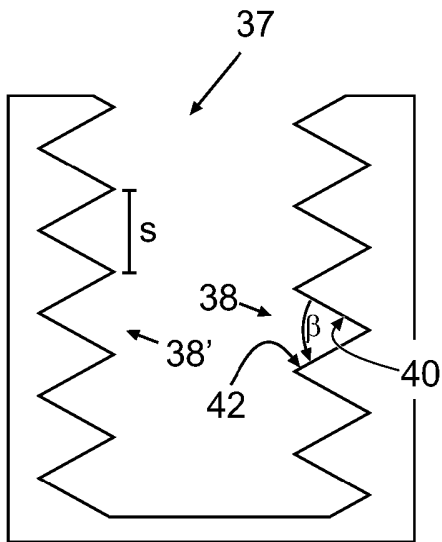


Fig. 5a

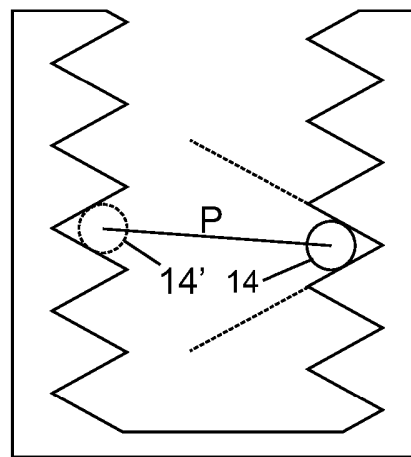


Fig. 5b

Fig. 5

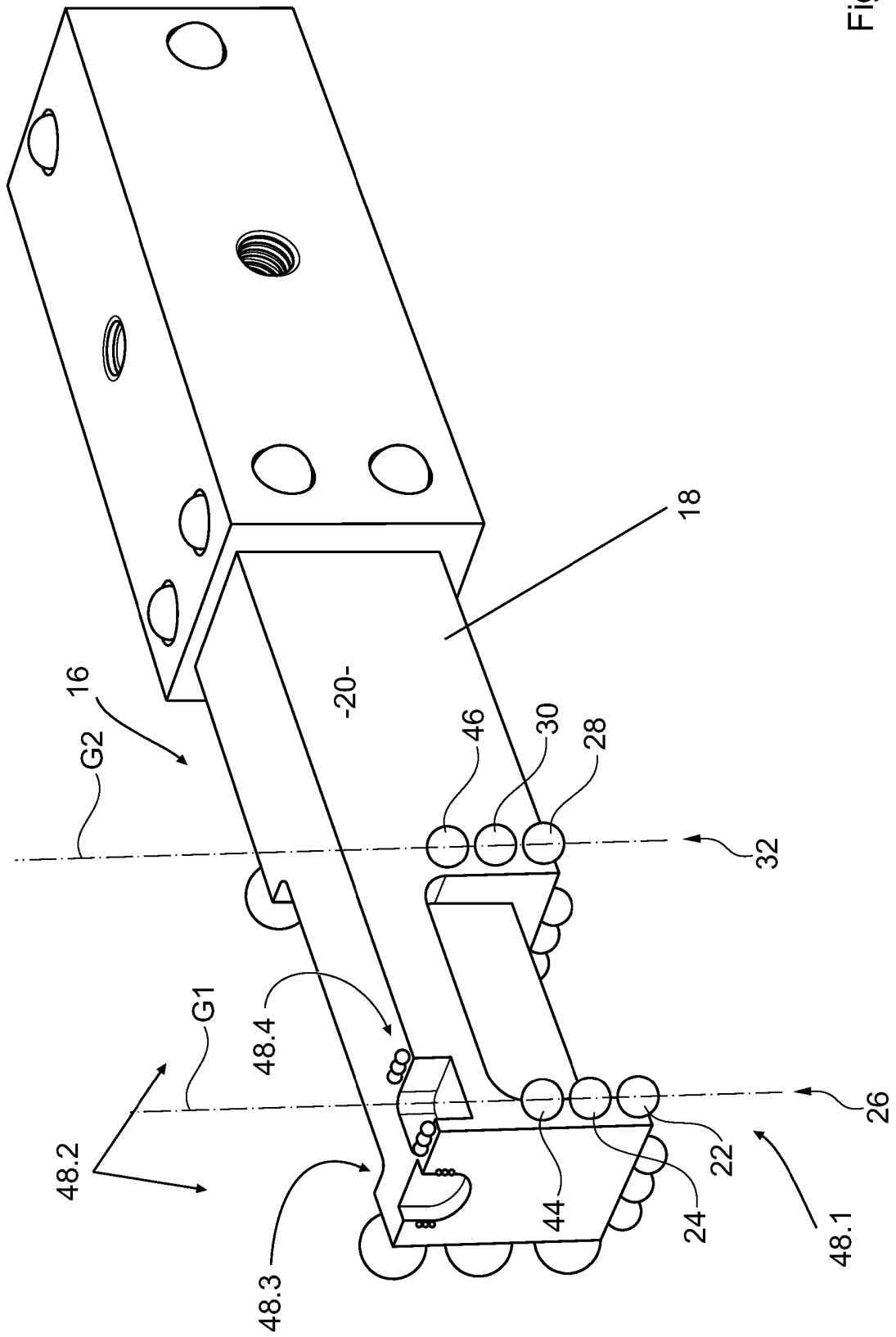


Fig. 6