

(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  
22. März 2012 (22.03.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2012/034913 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
G01B 11/25 (2006.01)

chum (DE). NITSCHKE, Stefan [DE/DE]; Wennemannstr.  
19, 45473 Mülheim (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/065486

(74) Anwalt: MOSER & GÖTZE; Paul-Klinger-Str. 9,  
45127 Essen (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
7. September 2011 (07.09.2011)

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO,  
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, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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 2010 037 621.3  
17. September 2010 (17.09.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): V & M DEUTSCHLAND GMBH [DE/DE];  
Rather Kreuzweg 106, 40472 Düsseldorf (DE).

(72) Erfinder; und

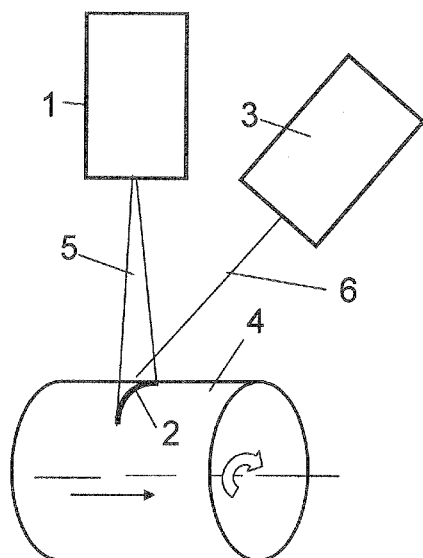
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NEMITZ, Olaf  
[DE/DE]; Bismarckstr. 168, 47058 Duisburg (DE).  
SCHMITTE, Till [DE/DE]; Tröskenstr. 4, 44807 Bo-

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR MEASURING THE PROFILE GEOMETRY OF CURVED, IN PARTICULAR CYLINDRICAL BO-  
DIES

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR MESSUNG DER PROFILGEOMETRIE VON GEKRÜMMTEN, INSBESONDERE  
ZYLINDRISCHEN KÖRPERN



Figur 1a

(57) Abstract: The invention relates to a method for measuring the profile geometry of curved, in particular cylindrical bodies as measured objects (4) by means of a two-dimensional light-section method, wherein a fan-shaped light section line (2) is imaged on a sub-region of the circumferential contour of the body by means of a projector (1), and the beams reflected by the surface of the body are received by a detector (3), wherein the projector (1) and the detector (3) form a measurement unit, and the measured values are subsequently fed to an analysis unit. In order to disclose a method that is simple to implement, the invention proposes that the height profiles of the respective sub-regions of the circumferential contour, which are measured during the rotation on the measured object (4), are joined into a circumferential contour made of virtual circumferential segments of the individual height profiles, using the following steps: a) synchronized recording of the height profiles having a number of height values, b) imaging the height values on the virtual circumferential segments (11.1, ..., 11.n) made of data points (14.1.1, 14.n.i) present in a two-dimensional space, c) determining the angular position of each height profile on the circumferential contour of the measured object (4), d) disposing the individual circumferential segments (11.1, ..., 11.n) in the positions that the associated height profiles take on the respective sub-region of the circumferential contour by means of rotation about a common rotation point (10) for all circumferential segments (11.1, ..., 11.n), e) determining the overlap lengths of overlapping regions (12.1, ..., 12.n) of the circumferential segments (11.1, ..., 11.n), f) rotating and displacing the individual circumferential segments (11.1, ..., 11.n) in such a manner that the overlapping regions (12.1, ..., 12.n) of the circumferential segments (11.1, ..., 11.n) overlap one another as uniformly as possible, erroneous angles of rotation and spatial positions of the segments thereby being corrected, wherein the height profiles are recorded during synchronized recording by means of a number of height values, such that the ends of adjacent height profiles partially overlap and/or the present ends are extended by extrapolation and overlapping end regions of adjacent circumferential segments (11.1, ..., 11.n) are formed.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Profilgeometrie von gekrümmten insbesondere zylindrischen Körpern als Messobjekte (4) mittels zweidimensionalem Lichtschnitt-Verfahren bei dem mittels eines Projektors (1) eine fächerförmige Lichtschnittlinie (2) auf einem Teilbereich der Umfangskontur des Körpers abgebildet und die von der Oberfläche des Körpers reflektierten Strahlen von einem Detektor (3) aufgenommen werden, wobei der Projektor (1) und der Detektor (3) eine Messeinheit bilden und die Messwerte anschließend einer Auswerteeinheit zugeführt werden. Um ein einfach zu realisierendes Verfahren anzugeben, wird vorgeschlagen, dass die während der Rotation auf dem Messobjekt (4) gemessenen Höhenprofile der jeweiligen Teilbereiche der Umfangskontur zu einer aus virtuellen Umfangssegmenten der einzelnen Höhenprofile bestehenden Umfangskontur mit folgenden Schritten zusammengesetzt werden: a) getaktetes Aufnehmen der Höhenprofile mit einer Anzahl an Höhenwerten, b) Abbilden der Höhenwerte auf die aus Datenpunkten (14.1.1, 14.n.i) in einem zweidimensionalen Raum bestehenden virtuellen Umfangssegmente (11.1,..., 11. n), c) Bestimmung der Winkelposition des jeweiligen Höhenprofils auf der Umfangskontur des Messobjektes (4), d) Anordnen der einzelnen Umfangssegmente (11.1,..., 11.n) in die Positionen, die die zugehörigen Höhenprofile physikalisch auf dem jeweiligen Teilbereich der Umfangskontur einnehmen mittels Rotation um einen gemeinsamen Rotationspunkt (10) für alle Umfangssegmente (11.1,..., 11.n), e) Bestimmung der Überlappungslängen von sich überlappenden Bereichen (12.1,..., 12. n) der Umfangssegmente (11.1,..., 11. n), f) Rotation und Verschiebung der einzelnen Umfangssegmente (11.1,..., 11.n) in der Weise, dass die sich überlappenden Bereiche (12.1,..., 12. n) der Umfangssegmente (11.1,..., 11.n) möglichst deckungsgleich übereinander liegen und hierdurch fehlerhafte Rotationswinkel und Raumpositionen der Segmente korrigiert werden, wobei die Höhenprofile beim getakteten Aufnehmen mit einer Anzahl an Höhenwerten in der Weise aufgenommen werden, dass sich benachbarte Höhenprofile mit ihren Enden teilweise überlappen und/oder die vorhandenen Enden durch Extrapolation verlängert und sich überlappende Endbereiche benachbarter Umfangssegmente (11.1,..., 11.n) gebildet werden.

Verfahren zur Messung der Profilgeometrie von gekrümmten, insbesondere zylindrischen Körpern

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Profilgeometrie von gekrümmten, insbesondere zylindrischen Körpern gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Unter zylindrischen Körpern werden nachfolgend insbesondere Rohre verstanden.

Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere eine optische Profilmessung, die berührungslos nach dem Lichtschnitt-Verfahren als einem an sich bekannten zweidimensionalen Triangulations-Verfahren erfolgt. Hierbei kann bei einer vorhandenen Relativbewegung zwischen Sensor und Messobjekt durch Zusammenfügen aus den sukzessive aufgenommenen „Profilschnitten“ als Höhenprofil eine daraus zusammengesetzte zweidimensionale Kontur eines Profilumfangs oder durch Auswertung mehrerer Umfangskonturen und der Profillänge ein dreidimensionales „Gesamtprofil“ der Außenkontur des Messobjektes, wie z. B. eines Rohres, aufgebaut werden.

Die im Rahmen der vorliegenden Erfindung betrachtete Profilmessung basiert in ihrer eindimensionalen Form auf der bekannten Punktriangulation, bei der ein Laser und ein zeilenförmiger positionsempfindlicher Detektor den Triangulations-Sensor bilden. Laserstrahl-Achse und optische Achse des Detektors spannen eine im Folgenden als „Normalebene“ bezeichnete Ebene auf und stehen im Triangulations-Winkel zueinander. Üblicherweise stellt der Abstand des Messobjektes vom Sensor in Richtung des Laserstrahls die Messgröße dar. Bekannt ist dieses Verfahren beispielsweise aus der DE 40 37 383 A1.

Die zweidimensionale Erweiterung der Punktriangulation ist Gegenstand der vorliegenden Patentanmeldung. Bei diesem ebenfalls grundsätzlich bekannten Lichtschnitt-Verfahren ist der punktförmige Laserstrahl durch einen Laserstrahl-Fächer und der eindimensionale zeilenförmige Detektor durch einen zweidimensionalen flächigen Detektor ersetzt.

Der Laser erzeugt dabei als Messfeld einen Laserstrahlfächer, dessen von der Oberfläche des Prüfobjektes reflektierte Strahlen von einem Objektiv und einem

zweidimensionalen flächigen Detektor empfangen und abgebildet werden. Objektiv und Detektor bilden dabei eine zweidimensional arbeitende Flächenbild-Kamera.

Der Laserstrahl-Fächer wird dabei typischerweise durch eine vor dem punktförmigen  
5 Laserstrahl-Austritt angebrachte diffraktive Optik generiert und erzeugt so auf dem Messobjekt eine als „Lichtschnitt-Linie“ bezeichnete eindimensionale Linie.

Bei Anwendung des beschriebenen Verfahrens auf zylindrische Messobjekte, z. B. Rohre, ist die Lichtschnitt-Linie typischerweise orthogonal zur Rohrachse ausgerichtet  
10 und erfasst dabei einen Teilbereich der Umfangskontur. Zur Erfassung der kompletten Umfangskontur sind nach der DE 40 37 383 A1 mehrere Sonden sternförmig um das Messobjekt anzuordnen. Mit diesem Verfahren kann eine Umfangskonturlinie des Rohrquerschnitts in der bestimmten Messebene, d. h. Längsposition des Rohres, erfasst werden.

15 Bei axialem Längstransport des Rohres oder entsprechender Bewegung des Sensors relativ zum Rohr kann mit fortlaufender Messung eine Umfangskonturfläche des Rohres über dessen Länge aufgenommen werden.

20 Nachteil des bekannten Verfahrens ist das sehr aufwändige Messverfahren mit mehreren um das Messobjekt anzuordnenden Sensoren, um die Umfangskontur zu erfassen. Neben dem hohen Investitionsaufwand kann dieses Verfahren oftmals auch wegen der Baugröße der Vorrichtung nicht in vorhandenen Produktionsanlagen nachgerüstet werden. Eine Messung der Profilgeometrie über den gesamten  
25 Rohrumfang mit nur einem Sensor ist mit diesem Verfahren nicht möglich.

Bei einer Messung mit nur einem Sensor besteht ein weiteres Problem in signifikanten Relativbewegungen des Messobjektes, die gerade bei größeren Messobjekten, wie z. B. Pipeline-Rohre, nicht ausgeschlossen werden können. Bei einer üblichen  
30 Rotation auf Treiberrollen liegen die Ursachen für solche Bewegungen in vorhandenen Unrundheiten des Rohrquerschnitts oder in einer Unwucht der Treiberrollen selbst. Beim Drehen des Rohres unter der Messeinrichtung kann dies zu Relativbewegungen zwischen Rohr und Messeinrichtung führen, was zu Fehlinterpretationen der Messergebnisse führen kann.

Der vorliegenden Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein einfach zu realisierendes Verfahren zur Messung der Profilgeometrie von gekrümmten insbesondere zylindrischen Körpern mittels zweidimensionalem Lichtschnitt-Verfahren anzugeben, mit dem die beschriebenen Nachteile überwunden werden, d. h. welches  
5 nur einen Sensor benötigt und die Relativbewegung des Rohres zum Sensor kompensiert.

Diese Aufgabe wird nach dem Oberbegriff in Verbindung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand  
10 von Unteransprüchen.

Nach der Lehre der Erfindung werden zur Messung der Profilgeometrie die während der Rotation auf dem Messobjekt gemessenen Höhenprofile der jeweiligen Teilbereiche der Umfangskontur zu einer aus virtuellen Segmenten der einzelnen  
15 Höhenprofile bestehenden Umfangskontur mit folgenden Schritten zusammengesetzt:

- a) getaktetes Aufnehmen der Höhenprofile mit einer Anzahl an Höhenwerten,
- b) Abbilden der Höhenwerte auf die aus Datenpunkten in einem zweidimensionalen  
20 Raum bestehenden virtuellen Umfangssegmente,
- c) Bestimmung der Winkelposition des jeweiligen Höhenprofils auf der Umfangskontur des Messobjektes,
- 25 d) Anordnen der einzelnen Umfangssegmente in die Positionen, die die zugehörigen Höhenprofile physikalisch auf dem jeweiligen Teilbereich der Umfangskontur einnehmen mittels Rotation um einen gemeinsamen Rotationspunkt für alle Umfangssegmente,
- 30 e) Bestimmung der Überlappungslängen von sich überlappenden Bereichen der Umfangssegmente,
- f) Rotation und Verschiebung der einzelnen Umfangssegmente in der Weise, dass die sich überlappenden Bereiche der Umfangssegmente möglichst deckungsgleich  
35 übereinander liegen,

wobei die Höhenprofile beim getakteten Aufnehmen mit einer Anzahl an Höhenwerten in der Weise aufgenommen werden, dass sich benachbarte Höhenprofile mit ihren Enden teilweise überlappen und/oder durch Extrapolation die vorhandenen Enden  
5 verlängert und sich überlappende Endbereiche benachbarter Umfangssegmente gebildet werden.

Der große Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass es nunmehr mit nur einer Messeinheit, umfassend einen Projektor und einen Detektor, also  
10 insbesondere mit einem Laser und einer Kamera möglich ist, die Profilgeometrie z. B. von Rohren über deren gesamten Umfang und Länge anzugeben.

Gegenüber dem bekannten Verfahren entstehen zum Einen deutlich geringere Investitionskosten, zum Anderen lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren sehr  
15 einfach in bereits bestehende Prüfanlagen integrieren, da der benötigte Platz sehr gering ist. Erfindungsgemäß ist das Verfahren so konzipiert, dass für die Messung der Profilgeometrie sowohl das Rohr unter der feststehenden Messeinrichtung rotieren kann oder die Messeinrichtung rotiert um das feststehende Rohr.

20 Wesentlicher Kern der Erfindung ist, dass jetzt die nur von einem Sensor ermittelten Höhenprofile allein durch mathematische Verfahren zu einer der realen Profilgeometrie sehr nahe kommenden Umfangskontur zusammengesetzt werden, auch wenn die absoluten Positionen der einzelnen Profile durch die Relativbewegung des Rohres zueinander signifikant verfälscht sind.

25 Um bei der Zusammensetzung Lage und Orientierung der einzelnen Umfangssegmente zu rekonstruieren setzt die Erfindung auf Überlappungsbereichen der virtuellen Umfangssegmente auf.

30 Indem endseitig die an den realen Objekten gemessenen Konturen durch Rotation und Translation derart ineinander überführt werden, dass in den Nahtbereichen nur noch kleinste Abweichungen, also Abstände von Datenpunkten, vorhanden sind, wird erreicht, dass Lage und Orientierung der einzelnen Segmente weitestgehend die reale Geometrie des Messobjekts wiedergeben. Das rechnerische Abbild des

Messobjekts kann dann automatisch für die gewünschten Zielwerte wie Rundheitsabweichungen vermessen werden.

Die Überlappungsbereiche können dadurch gebildet werden, dass bereits beim  
5 getakteten Aufnehmen der Höhenprofile Überlappungen der Aufnahmen auf dem Rohrmantel bestehen. In diesen Überlappungssegmenten wird der Rohrmantel also ganz konkret zweimal bestrahlt und es werden zweimal Höhenwerte desselben Abschnitts des Rohrmantels gemessen, welche die Enden der Höhenprofile bilden.

10 Neben dieser realen doppelten Messung desselben Abschnitts des Rohrmantels können die Überlappungsbereiche auch durch Extrapolation der virtuellen Umfangssegmente gebildet werden, die aus den real gemessenen Höhendaten gewonnen wurden. D. h., die virtuellen Profillinien werden über ihre Enden hinaus mit rechnerischen Extrapolationsmethoden so verlängert, dass benachbarte Umfangs-  
15 segmente in einem Winkelabschnitt überlappen. Diese Überlappung ist nur virtuell bzw. wäre auf einer Bildschirmdarstellung der Datenwerte sichtbar.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird bei Hohlkörpern zusätzlich zur Messung der Außenkontur die Wanddicke über den Umfang z. B. mittels Ultraschall  
20 ermittelt und aus den Messdaten der Außenkontur und der Wanddicke die Innenkontur des Hohlkörpers berechnet. Hierdurch wird es möglich, den Hohlkörper in seiner kompletten Gestalt exakt zu beschreiben.

Nachfolgend werden weitere Merkmale, Vorteile und Einzelheiten der Erfindung  
25 anhand der dargestellten Figuren näher beschrieben. Die Figuren zeigen im Einzelnen:

Figur 1a einen schematischen Messaufbau zur Durchführung des Verfahrens in  
seitlicher Ansicht,

30 Figur 1b einen schematischen Messaufbau zur Durchführung des Verfahrens im Querschnitt,

Figuren 2a – 2d visualisierte Höhenprofile in einem Querschnittskordinatensystem in verschiedenen Stadien der Messwertverarbeitung,

Figur 3 ein Detail aus Figur 2b in vergrößerter Darstellung und

35 Figur 4 das Höhenprofil nach Durchführung des Verfahrens.

In Figur 1 ist das Messprinzip für eine Profilmessung bei der zweidimensionalen Lichtschnitt-Messung am Beispiel eines zylindrischen Rohres schematisch dargestellt. Die Messung nutzt eine Abbildung der von einem Laser 1 als projizierte Laserlinie 2  
5 fächerförmig bestrahlten Oberfläche des Messobjektes 4 auf den als Kamera ausgebildeten Detektor 3.

Das linke Teilbild zeigt schematisch die Ansicht als Längsschnitt und das rechte Teilbild als Querschnitt bezogen auf die Längsachse des Messobjektes 4. Die  
10 Lichtschnitt-Anordnung von Laser 1 und Kamera sind dabei in der Normalebene in Linie der Längsachse des Messobjektes angeordnet, wobei der Winkel zwischen der Achse des Laserstrahl-Fächers 5 des Lasers 1 und der optischen Achse 6 der Kamera im Längsschnitt der Triangulations-Winkel ist. Das Messobjekt 4 bewegt sich dabei entsprechend den angegebenen Pfeilrichtungen relativ zum Laser 1 und zur  
15 Kamera rotatorisch bzw. translatorisch.

Die Laserlinie 2 wird dabei als Teilbereich der Umfangskontur von der Kamera erfasst und in ein Höhenprofil mit umgerechnet, welches durch Lateralkalibrierung auf ein virtuelles Segment abgebildet wird.

20 Während die Kamera in regelmäßigen Abständen Höhenprofile aufnimmt, dreht sich das Rohr mindestens einmal vollständig unter dem Laser 1, so dass Höhenprofile von den verschiedenen Umfangs-Positionen auf der kompletten Umfangskontur erfasst werden.

25 Die Frequenz, d. h. die Bildrate der Kamera, ist gemäß einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens so eingestellt, dass sich die aufgezeichneten Höhenprofile überlappen.

30 Wird zudem in Längsrichtung des Rohres an sehr vielen Stellen die Umfangsgeometrie gemessen, kann so die Profiloberfläche, also die Oberflächenkontur des gesamten Rohres, ermittelt werden.

Über einen Drehgeber, der z. B. die Oberflächenbewegung des Rohres in Umfangs-  
35 richtung misst und nach einer festen zurückgelegten Strecke einen Impuls liefert, lässt

sich jetzt die absolute Winkelposition der Höhenprofile auf der Umfangskontur bestimmen.

Die aufgezeichneten Höhenprofile werden anschließend durch eine Lateralkalibrierung auf virtuellen Segmenten abgebildet, die als eine Menge von Datenpunkten im zweidimensionalen Raum die Höhenprofile beschreiben.

Der nächste Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, die virtuellen Segmente der aufgenommenen Höhenprofile in diejenige Position zu rotieren, die die zugehörigen Höhenprofile physikalisch auf dem jeweiligen Teilbereich der Umfangskontur des Messobjektes einnehmen.

Der Rotationswinkel ist durch die Rotationsgeschwindigkeit des Rohrs bzw. den von außen auf die Rohroberfläche wirkenden Drehgeber und die Messfrequenz der Kamera zwar grundsätzlich bekannt, kann jedoch aufgrund der Relativbewegung des Messobjektes zur Kamera mit signifikanten Fehlern behaftet sein. Aus dem gleichen Grund ist der Punkt, um den die Umfangssegmente jeweils rotiert werden müssen, meist nicht hinreichend genau bekannt.

Um diesen Rotationsmittelpunkt zunächst näherungsweise zu bestimmen, wird nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung in jedes virtuelle Segment ein Ausgleichskreis gelegt und daraus der zugehörige Kreismittelpunkt bestimmt. Der errechnete Durchschnittswert der Mittelpunkte der Ausgleichskreise der verschiedenen Segmente wird dann als Zentrum verwendet, um das die einzelnen Umfangssegmente 11.1,...,11.n zurückgedreht werden, siehe Figur 2a. Zur Berechnung des Durchschnittswertes der Mittelpunkte kann z. B. das arithmetische oder geometrische Mittel der Koordinaten oder der Schwerpunkt benutzt werden.

Nach der Rotation der virtuellen Umfangssegmente 11.1, ...,11.n um das Zentrum in eine initiale Position und der damit verbundenen annähernd lagerichtigen Anordnung aller Umfangssegmente 11.1, ...,11.n in Bezug auf ein mit dem Messobjekt 4 in Verbindung zu bringendes Koordinatensystem werden die so angeordneten Umfangssegmente 11.1, ...,11.n im Allgemeinen nicht direkt zusammenpassen, siehe Figur 2a, da ein reales Rohr nie ideal kreisförmig ist und die Berechnung der Ausgleichskreise damit nur näherungsweise stimmt. Außerdem

können sich sowohl die Mittelpunkte als auch die Rotationswinkel durch exzentrische Rotation des Rohres oder auch der Treiberrollen, auf denen das Rohr sich dreht, verschieben. Die sich überlappenden Enden der Umfangssegmente 11.1, ..., 11.n weisen deshalb im Überlappungsbereich 13.1, ..., 13.n einen Abstand zueinander auf.

5

Ein weiterer wesentlicher Kern des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, in der Auswerteeinheit die virtuellen Umfangssegmente 11.1, ..., 11.n so in der Fläche bzw. im Raum zu rotieren und zu verschieben, dass die überlappenden Enden möglichst gut, d. h. möglichst deckungsgleich, aufeinander liegen und so ein

10 Kurvenverlauf entsteht, der die gesamte reale Umfangskontur beschreibt.

Hierzu wird zunächst die Länge des jeweiligen Überlappungsbereichs zweier benachbarter Segmente, siehe Figur 2b, berechnet, sofern es - wie bereits eingangs beschrieben - am realen Objekt durch Endbereiche zweier benachbarter Höhenprofile

15 doppelt erfasste Zonen gibt. Gab es bei der Messwertaufnahme solche Zonen nicht, werden Überlappungsbereiche durch Extrapolation der zueinander weisenden Enden benachbarter Höhenprofile numerisch gebildet. Die Überlappungsbereiche sind in Figur 2b dicker markiert als die übrigen Linien, welche Umfangssegmente darstellen.

20 In einem weiteren Schritt wird die Distanz von benachbarten Profilen in den Überlappbereichen berechnet. Hierzu werden die einzelnen Punkte der Profile in den Überlappbereichen einander paarweise zugeordnet und deren gegenseitige Distanzen passend kumuliert. Für eine solche Zuordnung ist es wichtig, dass die benachbarten Profile in den Überlappbereichen die gleiche Anzahl an Punkten

25 aufweisen und diese möglichst äquidistant verteilt sind. Dies ist bei den ursprünglichen Profilen im Allgemeinen nicht der Fall, da deren Ränder zu den steiler abfallenden Flanken des Rohres gehören und folglich gröber aufgelöst sind (siehe Figur 2c). Dementsprechend werden die Profile noch derart rediskretisiert, dass die zugehörigen Punkte anschließend euklidisch äquidistant angeordnet sind. Dies

30 garantiert, dass in einem Überlappbereich die benachbarten Profile die gleiche Anzahl an Punkten besitzen und diese auch passend paarweise einander zugeordnet werden können (siehe Figur 2d).

Die Rediskretisierung kann sowohl vor als auch nach der Rotation in ihre initiale

35 Position der Segmente erfolgen.

Figur 3 zeigt in vergrößerter Darstellung die Endbereiche 12.1, 12.n zweier Umfangssegmente 11.1, 11.n. Dargestellt sind hier nur die Datenpunkte im Überlappbereich. Die Abweichungen in Lage und Orientierung sind zur Verdeutlichung in der Darstellung der Figur stark überzeichnet.

Erkennbar ist, dass die in der Visualisierung linienförmig erscheinenden Umfangssegmente 11.1, 11.n tatsächlich nur eine Reihe von Datenpunkten 14.1.1, ..., 14.1.i, 14.n.1, ..., 14.n.i sind. Vorzugsweise sind die Datenpunkte aus Rohdaten gewonnen, bei denen durch ein Filterverfahren die im Aufbau der Messeinheit begründeten Schwankungen herausgefiltert wurden.

Um den Abstand der Überlappungsbereiche der Enden 12.1, 12.n zu messen, wird eine mathematische Zielfunktion definiert, die genau dann gleich Null ist, wenn die sich überlappenden Bereiche genau aufeinander liegen. Durch eine Minimierung dieser Zielfunktion werden die virtuellen Umfangssegmente 11.1, ..., 11.n so rotiert und verschoben, dass die sich überlappenden Enden 12.1, ..., 12.n der Segmente möglichst gut aufeinander liegen. Figur 4 zeigt das Höhenprofil nach Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Vorteilhaft wird der beschriebene Algorithmus in einer Rechneinheit mittels eines geeigneten Computerprogramms durchgeführt.

Dieses Verfahren kann nun über die Rohrlänge an mehreren Längspositionen wiederholt werden, um eine Konturinformation des gesamten Rohres zu erhalten.

Das Verfahren kann auch bei einer spiralförmigen Relativbewegung des Rohres durchgeführt werden, wenn die Änderung der Kontur des Rohres von einer Umdrehung zur nächsten geringfügig unterschiedlich ist.

Aus den berechneten Konturdaten können dann vorteilhaft durch weitere Berechnungen Qualitätsparameter wie Ovalität, Durchmesser etc. berechnet werden, die dann als Funktion der Längsposition über die Rohrlänge dargestellt werden.

**Bezugszeichenliste**

|    |                     |                               |
|----|---------------------|-------------------------------|
|    | 1                   | Laser                         |
|    | 2                   | projizierte Laserlinie        |
| 5  | 3                   | Detektor                      |
|    | 4                   | Messobjekt                    |
|    | 5                   | Achse des Laserstrahl-Fächers |
|    | 6                   | optische Achse der Kamera     |
|    | 10.                 | Zentrum der Rotation          |
| 10 | 11.1, ..., 11.n     | virtuelle Umfangssegmente     |
|    | 12.1, ..., 12.n     | Endbereiche                   |
|    | 13.1, ..., 13.n     | Überlappungsbereiche          |
|    | 14.1.1, ..., 14.n.i | Datenpunkte                   |

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung der Profilgeometrie von gekrümmten insbesondere zylindrischen Körpern als Messobjekte (4) mittels zweidimensionalem Lichtschnitt-
- 5 Verfahren bei dem mittels eines Projektors (1) eine fächerförmige Lichtschnittlinie (2) auf einem Teilbereich der Umfangskontur des Körpers abgebildet und die von der Oberfläche des Körpers reflektierten Strahlen von einem Detektor (3) aufgenommen werden, wobei der Projektor (1) und der Detektor (3) eine Messeinheit bilden und die Messwerte anschließend einer Auswerteeinheit zugeführt werden,
- 10 dadurch gekennzeichnet, dass die während der Rotation auf dem Messobjekt (4) gemessenen Höhenprofile der jeweiligen Teilbereiche der Umfangskontur zu einer aus virtuellen Umfangssegmenten der einzelnen Höhenprofile bestehenden Umfangskontur mit folgenden Schritten zusammengesetzt werden:
- a) getaktetes Aufnehmen der Höhenprofile mit einer Anzahl an Höhenwerten,
  - 15 b) Abbilden der Höhenwerte auf die aus Datenpunkten (14.1.1, 14.n.i) in einem zweidimensionalen Raum bestehenden virtuellen Umfangssegmente (11.1, ..., 11.n),
  - c) Bestimmung der Winkelposition des jeweiligen Höhenprofils auf der Umfangskontur des Messobjektes (4),
  - d) Anordnen der einzelnen Umfangssegmente (11.1, ..., 11.n) in die Positionen,
  - 20 die die zugehörigen Höhenprofile physikalisch auf dem jeweiligen Teilbereich der Umfangskontur einnehmen mittels Rotation um einen gemeinsamen Rotationspunkt (10) für alle Umfangssegmente (11.1, ..., 11.n),
  - e) Bestimmung der Überlappungslängen von sich überlappenden Bereichen (12.1, ..., 12.n) der Umfangssegmente (11.1, ..., 11.n),
  - 25 f) Rotation und Verschiebung der einzelnen Umfangssegmente (11.1, ..., 11.n) in der Weise, dass die sich überlappenden Bereiche (12.1, ..., 12.n) der Umfangssegmente (11.1, ..., 11.n) möglichst deckungsgleich übereinander liegen und hierdurch fehlerhafte Rotationswinkel und Raumpositionen der Segmente korrigiert werden, wobei die Höhenprofile beim getakteten Aufnehmen mit einer Anzahl an
  - 30 Höhenwerten in der Weise aufgenommen werden, dass sich benachbarte Höhenprofile mit ihren Enden teilweise überlappen und/oder die vorhandenen Enden durch Extrapolation verlängert und sich überlappende Endbereiche benachbarter Umfangssegmente (11.1, ..., 11.n) gebildet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der gemeinsame initiale Rotationspunkt für alle Umfangssegmente auf folgende Weise bestimmt wird:

- Herstellen eines Ausgleichskreises für jedes Segment und Bestimmung des jeweiligen Kreismittelpunktes,
- 5 - Bestimmung eines gemeinsamen Kreismittelpunktes durch Berechnung eines Durchschnittswertes aus allen Kreismittelpunkten.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Rediskretisierung der Höhenprofile in der Weise erfolgt, dass die einzelnen Punkte,  
10 aus denen sich das Profil zusammensetzt, euklidisch äquidistant angeordnet sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich zur Messung der Außenkontur bei Hohlkörpern die Wanddicke mittels eines weiteren Messverfahrens über den Umfang des Messobjektes (4) ermittelt und daraus  
15 die Innenkontur berechnet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass aus den gemessenen Konturen ein maximaler, mittlerer und minimaler Durchmesser bestimmt werden.

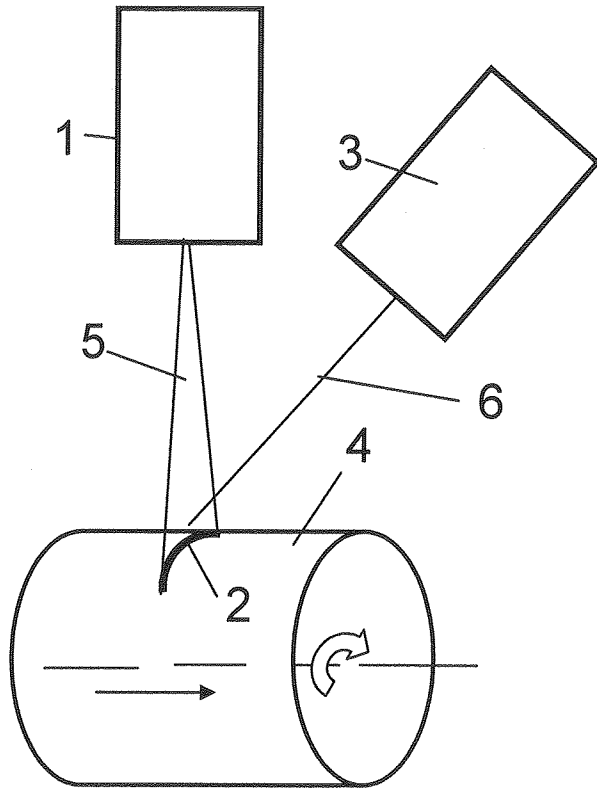
20 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontur an mehreren Längspositionen des Messobjektes (4) bestimmt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass die berechneten Durchmesser des Messobjektes (4) als Funktion der Längsposition berechnet werden.  
25

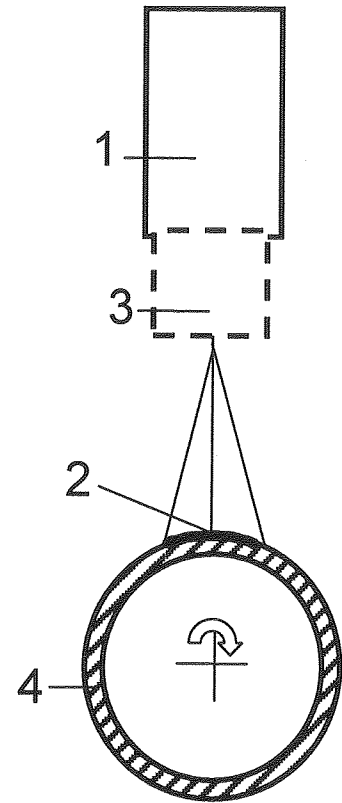
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnungen mittels einer Rechneinheit durchgeführt werden.

9. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch  
30 gekennzeichnet, dass der Projektor (1) ein Laser ist und der Detektor (3) eine Flächenbild-Kamera.

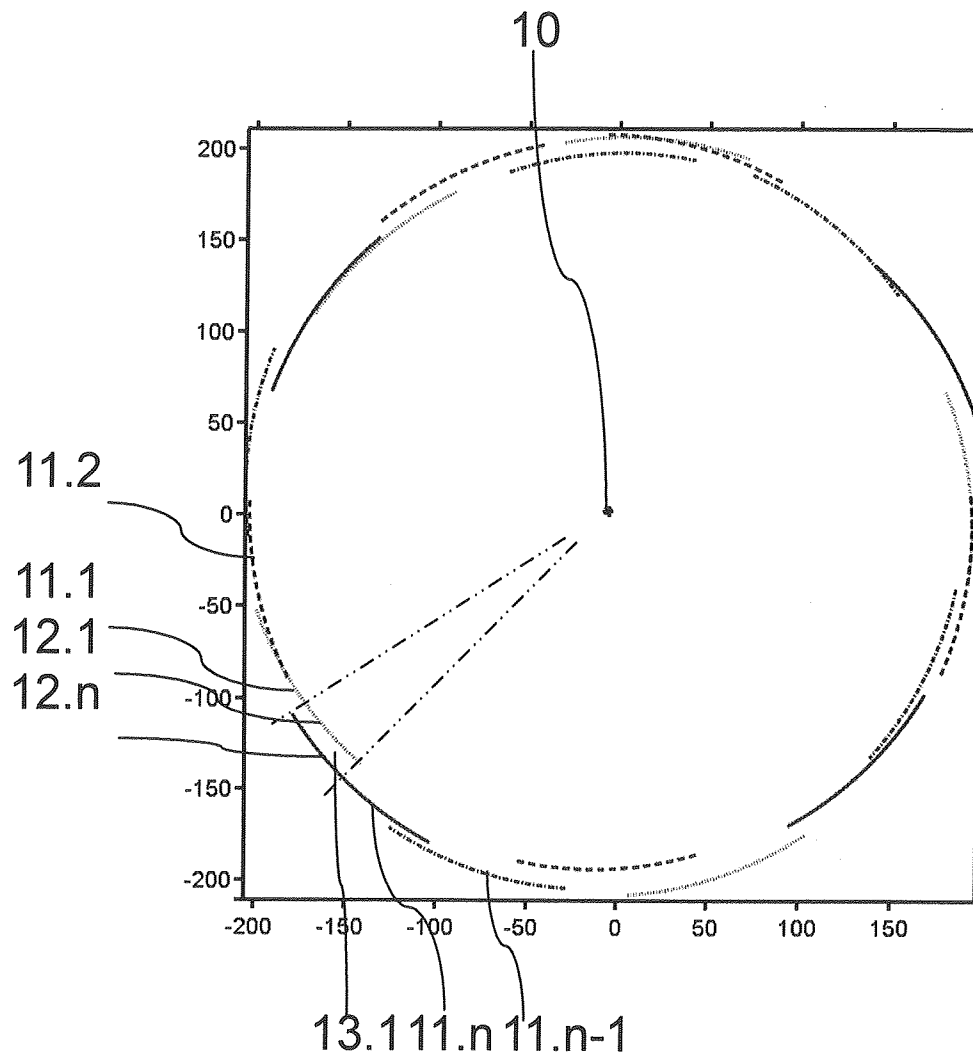
10. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Messobjekt (4) und die Messeinheit sich nach Messung der  
35 Umfangskontur in Form von Höhenprofilen zusätzlich axial zueinander bewegen.



Figur 1a

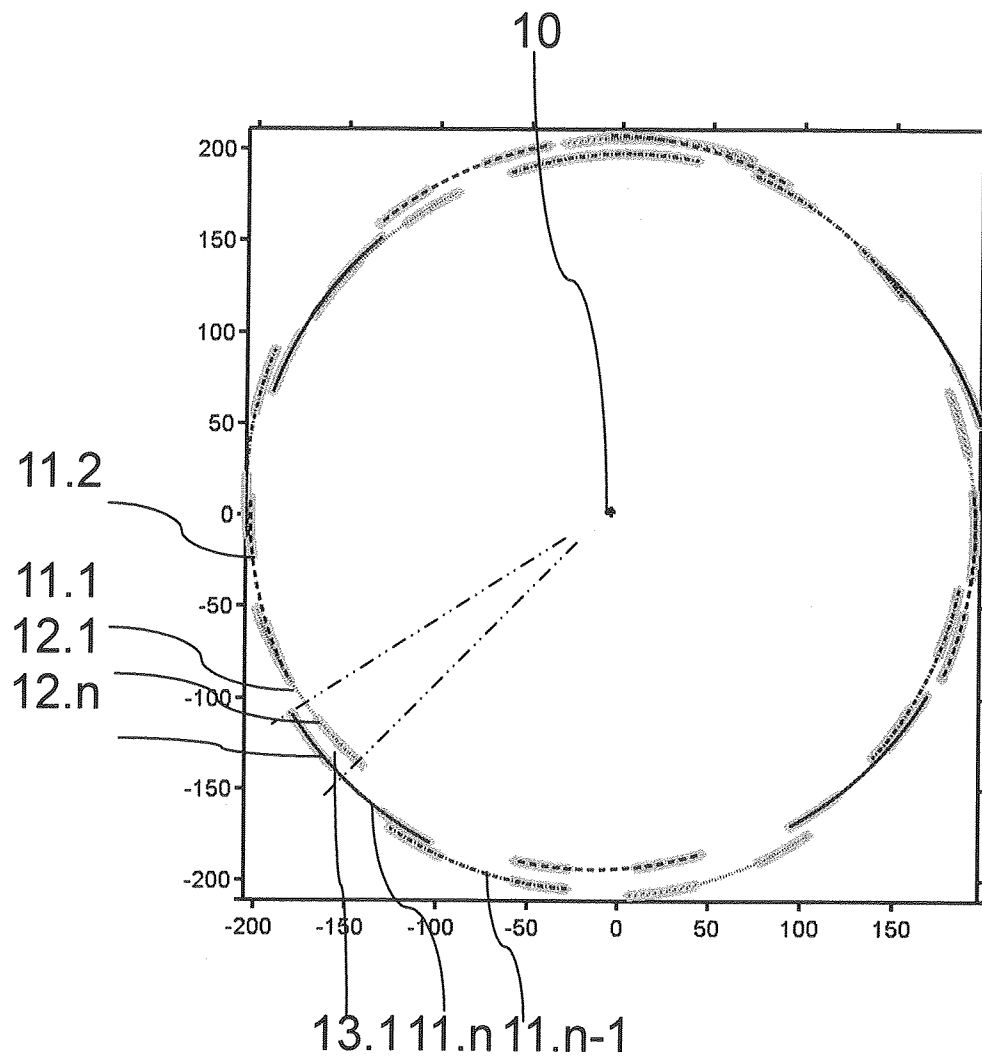


Figur 1b



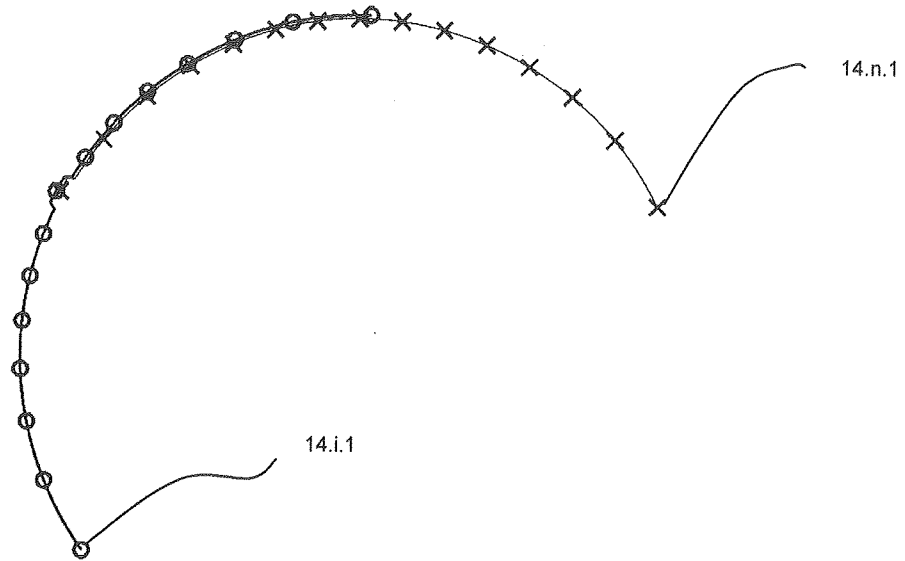
Figur 2a

3/6

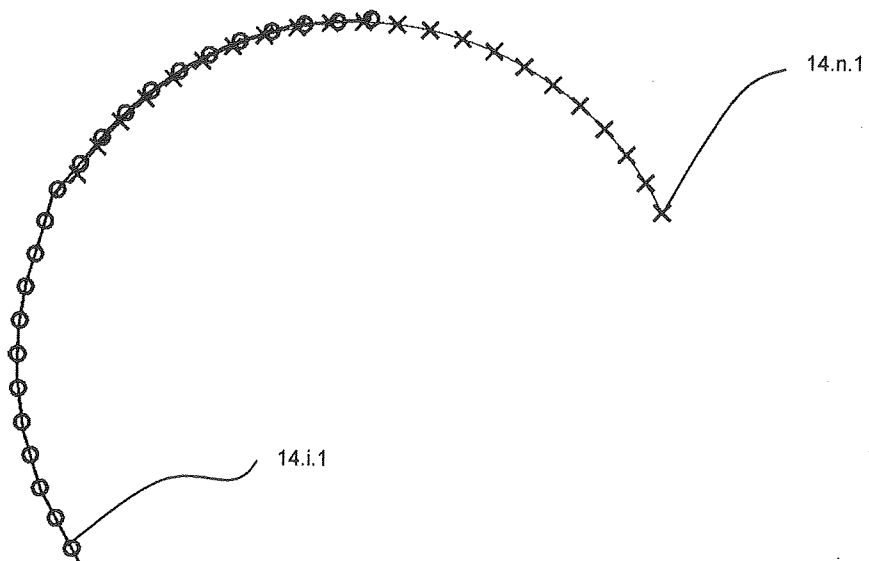


Figur 2b

4/6



Figur 2c



Figur 2d

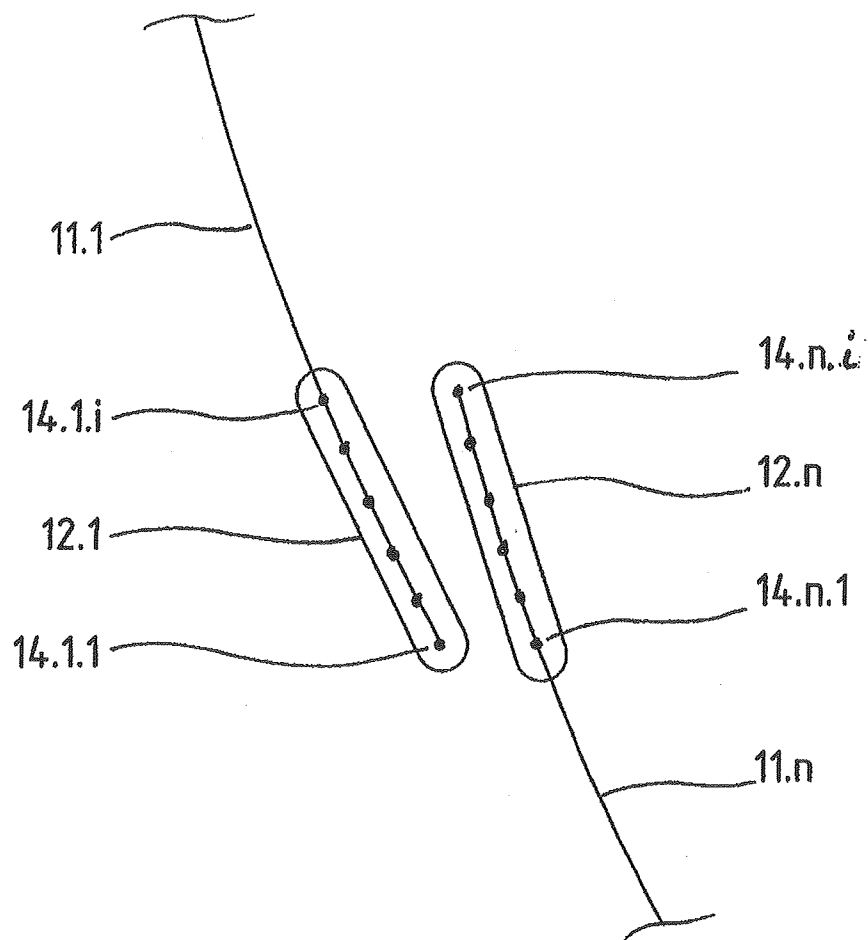
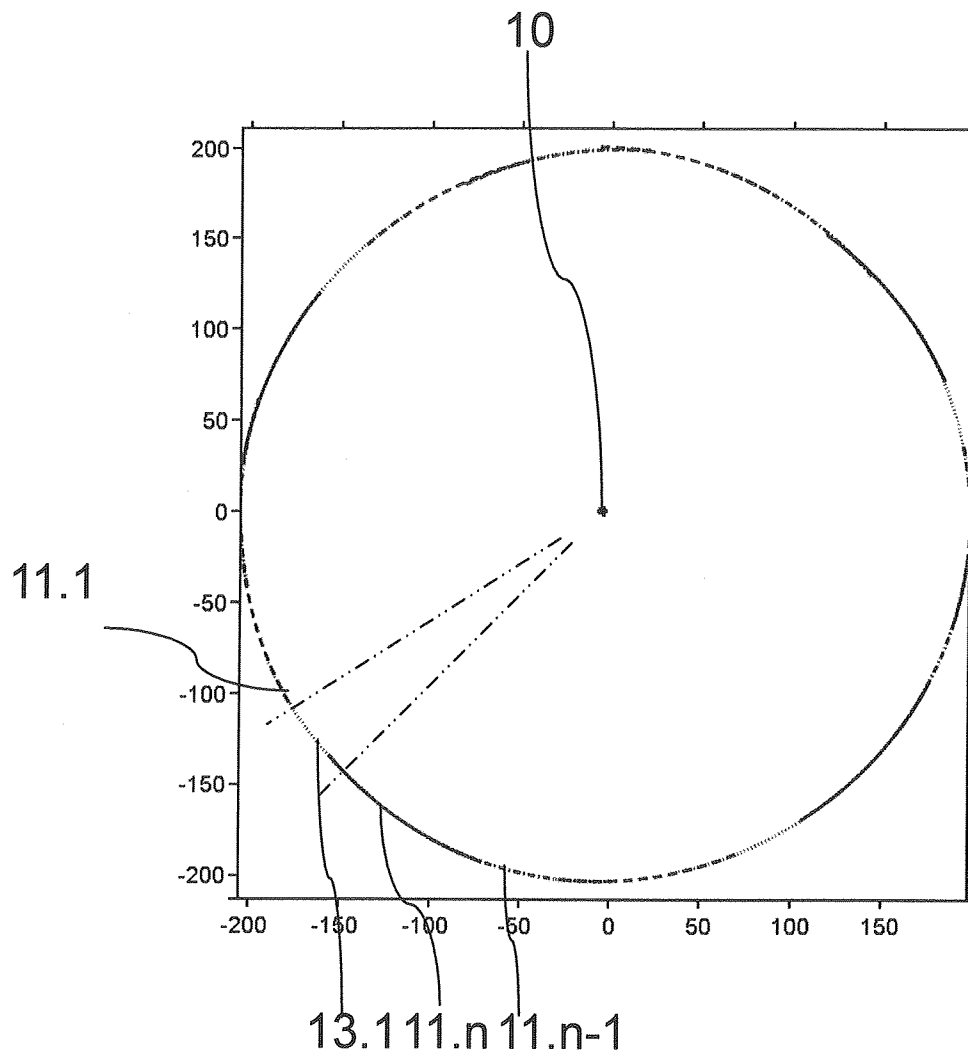


Fig. 3

6/6



Figur 4