

(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
11. Oktober 2007 (11.10.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/112872 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01B 11/30 (2006.01) **G01B 11/27** (2006.01)

KRÖGER. Knut [DE/DE]; Albert-Pulvers-Strasse 7,
98693 Ilmenau (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/002622

(74) **Anwalt: PFEIFFER, Rolf-Gerd**; Pfeiffer & Kollegen,
Engelplatz 11, 07743 Jena (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. März 2007 (24.03.2007)

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, 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 2006 015 627.7 31. März 2006 (31.03.2006) DE

(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): INNOVENT E.V.** [DE/DE]; Prüssingstrasse
27b, 07745 Jena (DE).

(72) **Erfinder; und**

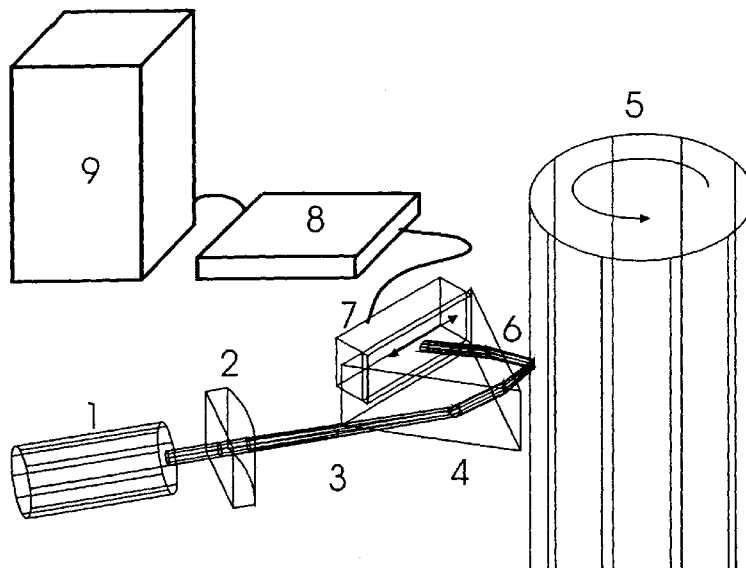
(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US): HERTZSCH, Al-
brecht** [DE/DE]; Fritz-Reuter-Strasse 9, 07745 Jena (DE).

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD AND APPARATUS FOR DETERMINING AND GAUGING DEVIATIONS IN SHAPE AND WAVINESS
OF ROTATIONALLY SYMMETRICAL PARTS

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG UND VERMESSUNG VON FORMABWEI-
CHUNGEN UND WELLIGKEITEN AN ROTATIONSSYMMETRISCHEN TEILEN



(57) **Abstract:** The invention relates to a method and an apparatus for determining and gauging deviations in shape and waviness of rotationally symmetrical parts. The object of specifying such a solution which rapidly and quantitatively detects and assesses deviations in shape and waviness with a low degree of measuring complexity, a high level of stability with respect to interfering environmental influences and in a manner independent of the optical state of the surfaces to be examined is achieved by virtue of the fact that all reflected measuring light is detected using a position-sensitive receiver and is recorded and stored for each detected surface region of the test part in a position-related manner at least using one complete revolution of the test part, the measured values obtained in this manner are then

subjected to low-pass filtering in order to determine deflections of the reflection beam which are caused solely by the eccentricity of the test part, and the previously obtained measured values are then interpolated in such a manner that the eccentric shifts in the angle of inclination ($d\Phi_e$) are respectively added to the equidistant angular step widths (Θ) and are interpolated with an equidistant angle array and the measurement curve obtained in this manner is then subjected to a Fourier analysis which immediately indicates the dominant waviness and/or the measurement curve of the standardized reflection signals which is obtained according to c) is subjected to high-pass filtering which indicates the deviation in shape of the test part that is adjusted by the eccentricity.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/112872 A1



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, MT, 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

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

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: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung und Vermessung von Formabweichungen und Wenigkeiten an rotationssymmetrischen Teilen. Die Aufgabe, eine solche Lösung anzugeben, die mit einem geringen Messaufwand und hoher Stabilität gegenüber störenden Umwelteinflüssen schnell Formabweichungen und Welligkeiten quantitativ, unabhängig vom optischen Zustand der zu untersuchenden Oberflächen, erfasst und bewertet wird dadurch gelöst, dass alles reflektierte Messlicht mittels eines positionsempfindlichen Empfängers detektiert und für jeden detektierten Oberflächenbereich des Prüfteils positionsbezogen zumindest über eine vollständige Umdrehung des Prüfteils aufgezeichnet und gespeichert wird, anschließend eine Tiefpassfilterung der so gewonnenen Messwerte vorgenommen wird, um allein durch die Exzentrizität des Prüfteils bedingte Reflexionsstrahlauslenkungen zu bestimmen und danach eine Interpolation der zuvor gewonnenen Messwerte in der Weise vorgenommen wird, dass zu den äquidistanten Winkelschrittweiten (Θ) jeweils die exzentrischen Neigungswinkelverschiebungen ($d\Phi_e$) addiert und mit einem äquidistanten Winkelraaster interpoliert werden und anschließend die so gewonnene Messkurve einer Fourieranalyse unterworfen wird, die unmittelbar die dominante Welligkeit anzeigt und/oder eine Hochpassfilterung der nach c) gewonnenen Messkurve der normierten Reflexionssignale vorgenommen wird, die die um die Exzentrizität bereinigte Formabweichung des Prüfteils anzeigt.

- 1 -

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung und Vermessung von Formabweichungen und Welligkeiten an rotationssymmetrischen Teilen

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung und Vermessung von Formabweichungen und Welligkeiten an rotationssymmetrischen technischen Oberflächen in Umfangsrichtung, die mit geringem Messaufwand und hoher Stabilität gegenüber störenden Umwelteinflüssen schnell Formabweichungen und Welligkeiten quantitativ erfassen und bewerten.

Rotationssymmetrische Flächen (z.B. beim Zylinder oder der Kugel) werden technisch zumeist als statische oder dynamische Dichtflächen oder als Gleit- oder Rollflächen eingesetzt. Gestaltabweichungen 1. und 2. Ordnung (Formabweichung und Welligkeit) wirken sich somit besonders nachteilig auf das funktionale Verhalten dieser Flächen aus. Folglich gelten für rotationssymmetrische Werkstücke besonders hohe Qualitätskriterien bezüglich Formabweichung und Welligkeit.

Formabweichungen bei spanenden Bearbeitungsverfahren resultieren zumeist aus der elastischen Verformung der Bearbeitungseinheit (Werkzeug, Werkzeughalter etc.), der elastischen Verformung des Werkstücks oder Führungsbahnfehlern des Werkzeugs oder Werkstücks während der Bearbeitung. Welligkeiten werden hervorgerufen durch Schwingungen des Werkzeugs oder Werkstücks beim Spanabtrag. Der Einfluss dieser Störgrößen auf die Gestaltabweichungen 1. und 2. Ordnung hängt in komplexer Weise von einer Reihe technologischer Parameter des Bearbeitungsprozesses ab (z.B. den Schnittbedingungen beim Spanabtrag, dem Werkstückmaterial, usw.). Um die Oberflächenfunktion des bearbeiteten Werkstücks zu bewerten und eine Analyse des Bearbeitungsprozesses zu ermöglichen, ist eine schnelle Messung dieser Gestaltabweichungen wünschenswert.

- 2 -

Formabweichungen sowie Welligkeiten rotationssymmetrischer Flächen werden nach dem Stand der Technik vorrangig mit Hilfe von taktilen Formprüfgeräten gemessen. Unter Laborbedingungen erlauben es diese Tastschnittverfahren, Gestaltabweichungen mit hoher Präzision zu erfassen. Jedoch benötigen diese Messgeräte eine aufwendige Justage des Prüflings sowie hohe Messzeiten.

Als schnelle optische Messverfahren zur Erfassung von Oberflächenprofilen rotationssymmetrischer Prüflinge sind weiterhin Autofokus-Verfahren und Triangulationsverfahren bekannt.

Autofokus-Verfahren und Triangulationsverfahren messen punktweise Höhendifferenzen in Bezug zu einer idealen Tastbahn. Beim Triangulationsverfahren wird das vertikale Auflösungsvermögen wesentlich vom Einfallswinkel des Messlichtbündels und dem Abbildungsmaßstab des Messobjektivs bestimmt. Wird beim Triangulationsverfahren ausschließlich das gestreute Licht des Prüflings als Messsignal verwandt (z.B. US 4,373,804), ist ein vertikales Auflösungsvermögen von maximal $0,1\mu\text{m}$ bzw. 0.005% des Messbereichs erreichbar, welches zur Formvermessung ausreicht jedoch eine präzise Welligkeitsanalyse nicht ermöglicht. Weiterhin ist das Verfahren für spiegelnde Oberflächen nicht einsetzbar. Beruht das Triangulationsverfahren auf der Vermessung des direkten Reflexes (z.B. US 2002/0145740), ist ein vertikales Auflösungsvermögen im Nanometerbereich realisierbar, jedoch das Verfahren auf spiegelnde Oberflächen beschränkt bei einem kleinen vertikalen Messbereich.

Autofokussensoren messen die Höhe eines beleuchteten Oberflächenpunktes zu einer Bezugsbahn mit hoher vertikaler Auflösung bei gleichzeitig großem Messbereich (vgl. z.B. EP 0271646 B1), erfordern jedoch bei rauen Oberflächen lange Messzeiten, da die Fokuspunktlage durch die Rauheit der Prüflingsoberfläche stark variiert und ein Nachstellen des Objektivs für jeden Messpunkt notwendig ist.

- 3 -

Hauptnachteil der Triangulations- und Autofokusverfahren ist jedoch, dass die Fehler der Führungsbahn direkt in das Messergebnis einfließen und die Verfahren somit Präzisionsdrehtische für die Prüflingsrotation und eine genaue Justage des Prüflings benötigen. Weiterhin sind Schwingungen des Messsystems und/oder des Prüflings zu vermeiden und folglich genaue Messergebnisse nur unter Laborbedingungen zu erzielen. So werden z.B. bei Rundheitsmessungen zylindrischer Prüflinge die durch Exzentrizität und Neigung verursachten Messbahnabweichungen durch aufwendige Justiervorschriften minimiert (vgl. US 4,731,934). Solche Verfahren eignen sich nicht für eine schnelle near-process- oder in-process Messung von Welligkeiten und Formabweichungen. Ein Algorithmus zur nachträglichen Exzentrizitätskorrektur der Profilhöhenmessdaten durch Näherungsverfahren ist in US 5,962,781 vorgestellt. Obwohl die Verschiebung des Querschnittmittelpunktes zum Rotationszentrum sich nach diesem Verfahren gut ermitteln lässt, kann die anschließende Näherung des Höhenprofils in Umfangsrichtung bei äquidistanter Winkelabtastung zum Querschnittmittelpunkt nur dann das reale Höhenprofil approximieren, wenn die Exzentrizität und alle Mess- und Führungsbahnfehler klein sind. Somit ist das Verfahren ebenfalls für einen in-process Einsatz ungeeignet.

Verfahren, bei denen Führungsbahnfehler während der Profilabtastung die Messergebnisse kaum beeinflussen, sind Winkelmessverfahren. Ein Messlichtbündel beleuchtet die Prüflingsoberfläche unter einem definierten Einfallswinkel Θ_i (vgl. Fig. 1). Das von der Prüflingsoberfläche reflektierte Lichtbündel ist in einer Ebene S registrierbar und die Auslenkung X des reflektierten Lichtbündels zu einer kalibrierten Nullposition S_0 kann erfasst und bewertet werden. Die Nullposition eines in der Ebene S befindlichen Empfängers kennzeichnet den Reflexionswinkel Θ_r einer ideal ebenen Oberfläche F_0 , die sich in der Tastbahn liegend befindet und deren Oberflächennormalen $\vec{n}_0$ den Gradienten der Tastbahn entsprechen. Ein lateraler Versatz X zur Nullposition auf dem Positionsempfänger ergibt sich immer dann, wenn der lokale Gradient $\vec{n}_r$ des beleuchteten realen Oberflächenprofils F_r von dem Tastbahngradienten abweicht.

- 4 -

Dieser Versatz ist proportional zum Tangens des Differenzwinkels $\Delta\Theta_{r,n}$, aus dem nach dem Reflexionsgesetz der lokale Neigungswinkel $d\phi_n$ berechnet werden kann. Um das Höhenprofil eines Prüflings mit Hilfe einer Winkelmessung zu bestimmen, wird die Prüflingsoberfläche F_r mit einer gegebenen Tastschrittweite dx abgetastet und durch Integration der lokalen Oberflächenneigungen $d\phi_n$ das Profil des Prüflings berechnet. Unter sinngemäßer Ausnutzung des Hebelgesetzes kann bei einem langen Lichtweg des reflektierten Lichtbündels der lokale Neigungswinkel der beleuchteten Oberfläche um ein Vielfaches gegenüber Führungsbahnfehlern (z.B. Höhenversatz zur Tastbahn) verstärkt werden. Somit ist das Verfahren auch unempfindlich gegen vertikale Schwingungen des Prüflings (siehe z.B. DE 3503858 A1, DE 202004009727 U1).

Bei der Rundheitsmessung mittels eines Drehtischs zum Bestimmen des Oberflächenprofils eines zylindrischen Prüflings in Umfangsrichtung ist der Einfluss der Exzentrizität sowie vertikaler Schwingungen auf die Profilhöhenbestimmung nach dem vorstehend zitierten Winkelmessverfahren unkritisch. Mit Hilfe einer Hochpassfilterung (JP 57-161610 A) kann die durch die Exzentrizität eingebrachte erste Fourierkomponente aus dem Höhenprofil ausgefiltert werden, während kurzwellige vertikale Schwingungsanteile, infolge der kurzen Integrationsintervalle, im Messergebnis nahezu unbeachtet bleiben. Jedoch führt die Exzentrizität des Prüflings auch zu einer Verzerrung der Abtastpunkte in Umfangsrichtung. Der sich so ergebende Einfluss der Exzentrizität auf das Reflexionsverhalten des Messstrahls bei einer vollen Umdrehung des Prüflings ist beispielhaft in Figur 2 verdeutlicht. Ein zu untersuchender Zylinderabschnitt, bspw. einer Welle, ist als Kreis in mehreren Drehphasen dargestellt, wobei er mit dem Kreismittelpunkt M um die Rotationsachse P gedreht wird. Die Amplitude der Exzentrizität ergibt sich aus dem Abstand zwischen P und M. Je nach Winkelausrichtung der Exzentrizität schwankt der Beleuchtungsort A um den lotrechten Punkt B des Prüflings. Bei einer festen Rotationswinkelschrittweite $\Delta\Phi$ variiert die reale Winkelabtastung auf der Oberfläche des Prüflings bei Exzentrizität. Die mit Hilfe der Differenzwinkelmessung ermittelten Profilhöhen des

- 5 -

Prüflings ergeben sich somit nicht aus einer äquidistanten Abtastung des Zylinderumfangs, sondern aus Tastabständen, die je nach azimuthaler Lage der Exzentrizität um einen Mittelwert sinusförmig schwanken, was in Figur 3 dargestellt ist. Besonders für die Analyse hochfrequenter Welligkeiten ist diese Verzerrung kritisch, da sie zu einer Frequenzbanderweiterung führt, die eine Ermittlung der real vorhandenen Hauptfrequenz aus dem Fourierspektrum des Umfangsprofils verhindert.

Mit Hilfe von Multisensorik (vgl. z.B. W. Gao, S. Kiyono, T. Sugawara: High-accuracy roundness measurement by new error separation method; Prec. Eng. 21, 123-133 (1997)) können Exzentrizitäten bei der Prüflingsrotation erfasst und korrigiert werden, jedoch müssen die Sensoren genau aufeinander abgestimmt werden und der Prüflingsumfang für die Sensoren über einen großen Winkelbereich frei zugänglich sein, um mehrere Sensoren radial versetzt anordnen zu können, was nicht nur eines erheblichen Aufwands bedarf, sondern häufig auch an real existierenden technischen Gegebenheiten scheitert.

Weiterhin sind Vorrichtungen, die sich anderer Messverfahren bedienen, aus dem Stand der Technik bekannt, nämlich:

Eine kompakte Vorrichtung zur Abstandsbestimmung mit Hilfe eines Triangulationsverfahrens wird in US 4,596,460 vorgestellt. Dort wird, mit Hilfe eines einfachen Optikkonzepts, sowohl der Beleuchtungs- als auch der Beobachtungsstrahlengang über dieselben Optikbauteile aus- und eingekoppelt. Eine Fokussierlinse bildet das außeraxiale Strahlenbündel der Beleuchtungsquelle auf eine Prüflingsoberfläche ab. Dabei wird ein zur Linse ausgerichtetes Dachkantenprisma zur Strahlablenkung genutzt. Eine Dachseite des Prismas lenkt den Beleuchtungsstrahlengang so, dass das konvergente Beleuchtungslichtbündel unter einem definierten Einfallswinkel auf die Prüflingsoberfläche fällt. Das an der Prüflingsoberfläche reflektierte Lichtbündel wird über dasselbe Prisma empfangen und an der anderen Seite des Dachprismas rückgelenkt. Über die Linse wird der

- 6 -

Beobachtungsstrahlengang eingesammelt und als außeraxiales Bündel entgegengerichtet zum Beleuchtungsstrahlengang auf der anderen Seite der optischen Achse auf eine Empfangseinheit abgebildet. Das kompakte Optikkonzept verlangt eine sehr präzise Justierung aller optischer Komponenten zueinander, das besonders wegen der außeraxialen Strahlführung aufwendig und störanfällig ist. Eine Vereinfachung der Justierung ergäbe sich, wenn die optischen Komponenten mit Hilfe von präzisen mechanischen Abstandshaltern zusammengefasst werden. Die Fertigung solcher Bauteile ist jedoch aufwendig und kostenintensiv.

In einer anderen Anwendung (vgl. DE 44 34 822 C1) werden zwei Prismen ausschließlich zur Strahlführung genutzt. Dadurch ist eine preiswerte Optik zu realisieren, die einen geringen Justieraufwand erfordert. Nach einmaliger senkrechter Justage der Beleuchtungsquellen zu den Prismengrundflächen geben die Prismenwinkel die Bezugskoordinaten des Messsystems an. So werden beispielhaft eine Prismenfläche als Anlagefläche für eine Empfängereinheit genutzt. Weiterhin können durch Optimierung der Prismenwinkel parasitäre Reflexe minimiert bzw. ausgeschlossen werden. Jedoch bezieht sich diese Anordnung auf die Vermessung einer Wegdifferenz anhand von zwei reflektierten Strahlen zur Dickenbestimmung optisch transparenter Materialien.

Um ein Verfahren zur Welligkeits- und Formabweichungsbestimmung fertigungsnah einsetzen zu können, muss es als einfache robuste Vorrichtung konzipiert und aufgebaut werden.

Vorliegender Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung anzugeben, die vorstehend beschriebene Nachteile des Standes der Technik nicht aufweisen, wobei mit einem geringen Messaufwand und hoher Stabilität gegenüber störenden Umwelteinflüssen schnell Formabweichungen und Welligkeiten quantitativ erfass- und bewertbar sein sollen, der optische Zustand der zu untersuchenden Oberflächen (hochreflektierende oder rauere Oberflächen) ohne Einfluss auf das

- 7 -

Verfahren sind und somit die vorgeschlagene Lösung im near-process- oder in-process vorteilhaft einsetzbar ist.

Ausgehend von bekannten Verfahren zur Bestimmung von Formabweichungen und Welligkeiten von rotationssymmetrischen Teilen, bei dem ein Messlichtstrahl unter einem vorgebbaren Winkel in Umfangsrichtung des Prüfteils eingestrahlt und der reflektierte Messlichtstrahl bei Drehung des Prüfteils um eine Achse senkrecht zur Umfangsrichtung detektiert wird, wird die Aufgabe vorliegender Erfindung im wesentlichen dadurch gelöst, dass zunächst alles reflektierte Messlicht mittels eines positionsempfindlichen Empfängers detektiert und für jeden detektierten Oberflächenbereich des Prüfteils positionsbezogen zumindest über eine vollständige Umdrehung des Prüfteils aufgezeichnet und gespeichert wird, anschließend eine Tiefpassfilterung der so gewonnenen Messwerte vorgenommen wird, um allein durch die Exzentrizität des Prüfteils bedingte Reflexionsstrahlauslenkungen zu bestimmen und danach eine Interpolation der zuvor gewonnenen Messwerte in der Weise vorgenommen wird, dass zu den äquidistanten Winkelschrittweiten (Φ) jeweils die exzentrischen Neigungswinkelverschiebungen ($d\phi_e$) addiert und mit einem äquidistanten Winkelraster interpoliert werden und anschließend die so gewonnene Messkurve einer Fourieranalyse unterworfen wird, die unmittelbar die dominante Welligkeit anzeigt und/oder eine Hochpassfilterung der vorstehend gewonnenen Messkurve der normierten Reflexionssignale vorgenommen wird, die die um die Exzentrizität bereinigte Formabweichung des Prüfteils anzeigt. Das vorgeschlagene Verfahren kann sowohl für gleichförmig rotierende Prüfteile mit rotationssymmetrischen Abschnitten als auch bei deren Verdrehung um definierte Winkelschritte angewandt werden.

Zum leichteren Verständnis der Erfindung soll nachstehende allgemeine Beschreibung dienen:

Eine Beleuchtungseinrichtung beleuchtet die zu untersuchende rotationssymmetrische Oberfläche in einem definierten Einfallswinkel Θ_i in Umfangsrichtung. Der Schwerpunkt des von der Oberfläche reflektierten Lichtbündels wird mit Hilfe eines positionsempfindlichen

optoelektronischen Sensors detektiert. Bei Rotation des Prüflings um eine Achse P, deren Zentrum in der Nähe des Querschnittmittelpunktes M liegt und quasi parallel zur Prüflingsachse verläuft, wird das unter dem Winkel $\Theta_{r,n}$ reflektierte Messlichtbündel in Abhängigkeit vom lokalen Oberflächengradienten des beleuchteten Oberflächengebiets $\vec{n}_n$ ausgelenkt. Die Winkeldifferenz zwischen realem und idealem Reflexionswinkel $\Theta_{r,n} - \Theta_i$ (im idealen Fall steht der Oberflächengradient $\vec{n}_n$ senkrecht zur Tastbahn) wird auf der positionsempfindlichen Fläche S des optoelektronischen Empfängers als Wegdifferenz X gemessen (vgl. Fig. 1). Diese Auslenkung wird bspw. bei mindestens zwei geschlossenen Umdrehungen des Prüflings mit äquidistanter Winkelschrittweite um die Drehachse P aufgezeichnet. Bei bekanntem Abstand zwischen Sensor und Prüflingsoberfläche können die gemessenen Positionssignale X in Reflexionswinkel $\Theta_{r,n}$ umgerechnet werden. Nach dem Reflexionsgesetz

$$\Theta_{r,n} = \Theta_i + 2(d\phi_n - \Theta_i),$$

wobei $\Theta_{r,n}$ der lokale Reflexionswinkel und Θ_i der Einfallswinkel des Messlichtbündels sind, lassen sich die lokalen Oberflächenneigungswinkel $d\phi_n$ des Prüflings in Umfangsrichtung bestimmen. Lokale Fehler der Führungsbahn (z.B. Rundlauffehler der Prüflingsspannvorrichtung), Welligkeiten durch Lagerspiel der Spannvorrichtung sowie hochfrequente Schwingungen zwischen Prüflingsoberfläche und Sensor beeinträchtigen die Genauigkeit der Messwerte nur geringfügig, da infolge des langen "Hebelarms" des reflektierten Messlichtbündels das Messsignal vorrangig Winkeländerungen des direkten Reflexes erfasst. Jedoch führen langwellige Bahnabweichungen, wie z.B. die durch die Exzentrizität verursachte, zu langwelligen Verschiebungen des Beleuchtungspunktes A und damit zu einer ungleichmäßigen Abtastung des Prüflingsumfangs. Liegt der Querschnittmittelpunkt M des Prüflings nicht auf der Drehachse P, verursacht die Krümmung der zylindrischen Prüflingsoberfläche eine Drehung $d\phi_e$ des Oberflächengradienten $\vec{n}_e$ des beleuchteten Oberflächenpunktes A in Abhängigkeit von Amplitude der Exzentrizität PM, der Winkellage der Exzentrizität, dem Prüflingsradius R und dem Einfallswinkel Θ_i . Der direkte Reflex ändert seine Richtung um die Winkeldifferenz $d\Theta_e$ bei

- 9 -

exzentrischer Umdrehung des Prüflings. Ein gemessene Winkelauslenkung eines realen zylindrischen Oberflächenprofils bei exzentrischer Drehung ergibt sich wie folgt:

$$d\Theta_r(\Phi) = \Theta_r - \Delta\Theta_{r,n}(\Phi) - d\Theta_e(\Phi).$$

Das Messsignal $d\Theta_r(\Phi)$ setzt sich zusammen aus einer kurzwelligen lokalen Abweichung des Oberflächengradienten $\bar{n}_n$ zur lotrechten idealen Tastbahnnormalen $\bar{n}_0$, die die Welligkeit bzw. Formabweichung des realen Oberflächenprofils verursacht, und einer langwelligen Abweichung der Normalen $\bar{n}_e$ zu $\bar{n}_0$, die durch die Exzentrizität eingebracht wird (vgl. zu Vorstehendem Fig. 2).

Um die Fehlereinflüsse der Exzentrizität auf die lokale Profilneigungsbestimmung zu minimieren, werden die langwelligen Anteile des Messsignals $d\Theta_e(\Phi)$ direkt zur Korrektur genutzt. Mit Hilfe des tiefpassgefilterten Messsignals werden nach dem Reflexionsgesetz die langwelligen Neigungswerte $d\phi_e$ für jeden Rotationswinkelwert Φ berechnet. Die Winkelverschiebung $d\phi_e$ entspricht exakt der Verzerrung der äquidistanten Winkelabtastung bei exzentrischer Rotation eines Prüflings. Die gemessenen Winkeldifferenzen sind somit eine Funktion $d\Theta_r(\Phi + d\phi_e)$. Mit Hilfe einer Interpolation der Messwerte mit einer äquidistanten Winkelteilung kann somit der Einfluss der Exzentrizität ohne Zusatzinformation erfindungsgemäß kompensiert werden. Den Einfluss der Exzentrizität auf ein unkorrigiertes und ein korrigiertes Signal verdeutlicht Fig. 4. Es wird beispielhaft von einem Zylinder ausgegangen, der eine Welligkeit von 200 Wellen pro Umfang mit einer Amplitude von 500nm und eine Formabweichung von drei Wellen pro Umfang mit einer Amplitude von 5µm aufweist, welcher exzentrisch gedreht wird, wobei die Verschiebung zwischen Rotationsachse P und Kreismittelpunkt M ein Zehntel des Zylinderradius betragen soll. Fig. 4a zeigt die Profilabweichung des Zylinders von der idealen Kreisform in überzogener Darstellung. Die resultierende Winkelauslenkung eines Messstrahls für äquidistante Winkelabtastung um P ist in Fig. 4b dargestellt. Neben dem hochfrequenten Signalanteil, der ein Maß für die lokale Winkeldifferenz der Welligkeit ist, prägt sich deutlich die langwellige Verschiebung aus, die durch die Exzentrizität eingebracht wird. Eine Fourieranalyse dieser gemessenen Winkelwerte, wie sie nach dem Stand der Technik hier

- 10 -

durchgeführt würde, liefert jedoch kein eindeutiges Signal bei der dominanten Wellenzahl 200, wie es anhand vorstehender Ausführungen in Fig. 4c beispielhaft dargestellt ist. Wird das gewonnene Signal jedoch mit der erfindungsgemäßen Korrektur nachbearbeitet, bildet sich deutlich die dominante Welligkeit im Fourierspektrum heraus (vgl. Fig. 4d). Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens sind selbst hohe Exzentrizitäten (bis etwa ein Zehntel des Probendurchmessers) im Signalverlauf gut korrigierbar. Einzige Voraussetzung ist, dass die Empfängerfläche S groß genug ist, um alle Winkelwerte bei Rotation zu erfassen.

Da die berührungslose optische Winkelmessung an zylindrischen Proben hohe Messgeschwindigkeiten ermöglicht, ist es vorteilhaft, für mehrere Umdrehungen die Messung durchzuführen. Kann dabei eine gleichförmige Drehbewegung angenommen werden, ist eine äquidistante Winkelabtastung ohne präzise Winkelstellische möglich. Mit Hilfe einer externen Taktung (z.B. einem Rechteckimpulsgenerator) wird der Winkelwert des rotierenden Prüflings mit fester Frequenz abgetastet. Wird als positionsempfindlicher Empfänger z.B. eine positionsempfindliche Fotodiode PSD eingesetzt, wie dies im Rahmen dieser Erfindung bevorzugt erfolgt, erhält man zwei ortstypische Signale. Das Summensignal der PSD erfasst die Gesamtintensität des vom Prüfling reflektierten Lichts und somit den lokalen Reflexionskoeffizienten. Das Differenzsignal der PSD kennzeichnet die lokale Winkelauslenkung des direkten Reflexes und somit den lokalen Neigungswinkel des realen Profils. Beide Signale eignen sich zur Korrelationsanalyse, um die Tastpunktanzahl einer vollen Umdrehung zu ermitteln und damit die Winkelschrittweite der Messung. Mit Hilfe beider Signale ist es sowohl für raue als auch für hoch reflektierende Oberflächen möglich, bei mehrfacher Umdrehung präzise Profilbestimmungen in Umfangsrichtung mit externer Taktung durchzuführen. Selbst im praktisch fast auszuschließenden Fall ideal reflektierender Zylinder lassen sich solche, durch Einbringung einer künstlichen Exzentrizität, nach dem vorgeschlagenen Verfahren vermessen, wobei die Exzentrizität nach der erfindungsgemäßen Vorschrift bei der Datenanalyse korrigierbar ist. Somit eignet sich das Verfahren gut für die In-process-Messung bei spanender Bearbeitung

von rotationssymmetrischen Teilen. Infolge der schnellen Messung mehrerer Prüflingsumdrehungen sind die systematisch auftretenden rotationswinkelabhängigen Signale als periodische Funktionen identifizierbar und lassen sich durch eine Signalfilterung von allen zufälligen Messfehlern trennen.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen und schematischer Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch das Prinzip von Differenzwinkelmessungen,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung des Einflusses einer exzentrischen Rotation eines zylindrischen Prüflings bei einer Winkeldifferenzmessung,
- Fig. 3 eine beispielhaft erhaltenen Kurve einer Umfangsabtastung eines zylindrischen Prüflings bei exzentrischer Rotation,
- Fig. 4a eine mikrogeometrische Profilfunktion eines Zylinders,
- Fig. 4b ein normiertes Reflexionssignal (Differenzwinkelkurve) bei exzentrischer Rotation,
- Fig. 4c beispielhaft die Fourierkomponenten einer unkorrigierten Differenzwinkelkurve,
- Fig. 4d die Fourierkomponenten einer erfindungsgemäß korrigierten Differenzwinkelkurve,
- Fig. 5 schematisch einen prinzipiellen Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 6 beispielhafte Messsignale einer PSD für eine gleichförmig rotierende Getriebewelle, wobei die obere Kurve das Summensignal und untere Kurve das Differenzsignal der PSD darstellt,
- Fig. 7 zeigt die Autokorrelationsfunktionen der Signalverläufe aus Figur 6,
- Fig. 8 zeigt im oberen Diagramm das anhand der Kalibrierdaten berechnete Neigungswinkelsignal der Messung nach Fig. 6 und 7 und im unteren Diagramm die exzentrische Neigungswinkelverschiebung nach einer Tiefpassfilterung mit einem Gaußfilter,

Fig. 9 zeigt den Einfluss des Messlichtbündeleinfallswinkels auf die Phase und die Amplitude der exzentrischen Neigungswinkelverschiebung und

Fig. 10 Kurven für das Primärprofil, die Formabweichung und ein dominantes Welligkeitsprofil anhand eines Beispiels.

Zum leichteren Verständnis des erfindungsgemäßen Verfahrens und der dafür erforderlichen Signalgewinnung soll zunächst anhand von Figur 5, die schematisch den prinzipiellen Aufbau einer dafür konzipierten Vorrichtung veranschaulicht, erläutert werden.

Eine Laserdiode 1 emittiert ein Lichtbündel 3, das mit Hilfe einer Optik 2 auf eine in Drehbewegungen versetzbare Prüflingsoberfläche 5 fokussiert wird. Für die Fokussieroptik ist für die Vermessung rauer Oberflächen günstigerweise eine Zylinderlinse gewählt, da infolge der Linienbeleuchtung bei kleinen Linienbreiten in Umfangsrichtung über die Specklestruktur des reflektierten Lichtbündels 6 mit Hilfe der Empfängerfläche eines positionsempfindlichen optoelektronischen Empfängers 7 gemittelt werden kann. Dies führt zu einer verbesserten Schwerpunktbestimmung des reflektierten Lichtbündels 6 bei kohärentem Rauschen des Bündels und ermöglicht somit eine Differenzwinkelmessung an rauen zylindrischen Prüflingsoberflächen. Zentrales optisches Bauteil der beanspruchten Vorrichtung ist ein im Strahlengang angeordnetes Prisma 4, das sowohl das einfallende Lichtbündel 3 als auch das von der Prüflingsoberfläche reflektierte Lichtbündel 6 umlenkt. Infolge dieser Winkeltransformation kann eine kompakte Bauweise des Sensorkopfs erreicht werden bei gleichzeitig großem Messbereich eines im Rahmen des Verfahrens zu ermittelnden Differenzwinkels. Der Justiervorgang der Optik vereinfacht sich, da das Prisma 4 als Winkelbezugssystem dienen kann. Die Prismenflächen, die präzise Prismenwinkel einschließen, sind Bezugsflächen für einen optoelektronischen Empfänger 7 und die Beleuchtungsoptik mit Laserdiode 1 und Fokusohtik 2. Die Prismenfläche, auf die das reflektierte Lichtbündel 6 gelangt, wird im Rahmen der Erfindung als direkte Anlagefläche für den Empfänger 7 gewählt. Bei der Beleuchtungsoptik kann der direkte Reflex an der ersten brechenden Prismenfläche im einfallenden Strahlengang zur Justage und genauen

- 13 -

Ausrichtung der optischen Achse des Beleuchtungssystems genutzt werden. Somit ergeben sich präzise Einstellungsmöglichkeiten der Winkel für das einfallende und reflektierte Lichtbündel, die über das Prisma einem festen Bezugssystem zugeordnet sind. Unter Ausnutzung der Totalreflexion an der Auflagefläche zwischen Prisma 4 und Empfänger 7 ist der Sehwinkel des Empfängers eingegrenzt, was sich vorteilhaft zur zusätzlichen Unterdrückung von Störlicht aus der Umgebung auswirkt. Bei der Messwertaufnahme rotiert der Prüfling 5 mit einer bekannten Winkelschrittweite oder gleichförmig, wie im Verfahren detaillierter beschrieben, um eine Rotationsachse P, die in der Nähe des Querschnittmittelpunkts M des Prüflings 5 liegen sollte und parallel zur Prüflingsachse ausgerichtet ist. Bei jedem Rotationswinkelwert erfolgt die Auslesung des optoelektronischen Empfängers 7 über eine Messdatenerfassungseinheit 8, die die Messwerte verstärkt, digitalisiert und speichert. Die Messdatenerfassungseinheit 8 realisiert weiterhin die Synchronisation der Messwertaufnahme mit der Rotation des Prüflings. Die Synchronisation kann bei gleichförmiger Drehbewegung des Prüflings über einen externen oder internen Taktgeber erfolgen oder bei definierter Winkelschrittstellung des Prüflings über eine direkte Ansteuerung der Datenerfassungseinheit 8 durch Signale eines üblichen Motorcontrollers vom Drehmotor der Prüflingsaufnahme. Zur Auswertung der Messung werden die Messdaten an eine Auswertereinheit 9 übertragen, die die Berechnung von Welligkeits- und Formabweichungsparametern in später beschriebener Weise durchführt, diese Parameter anzeigt, protokolliert und gegebenenfalls mit Toleranzvorgaben vergleicht und zur Steuerung eines automatischen Qualitätskontrollprozesses an eine Steuereinheit weiterleitet. Dazu erfolgt die Zuordnung der Messwerte zu äquidistanten Winkelschrittweiten bei gleichförmiger Prüflingsrotation über die erfindungsgemäß beschriebene Korrelationsanalyse der Messsignale bei mindestens zwei Umdrehungen des Prüflings. Auftretende Exzentrizitäten bei der Prüflingsrotation werden durch das erfindungsgemäße Verfahren kompensiert und im letzten Schritt die gemessenen Differenzwinkel in Profilhöhen umgerechnet, aus denen

- 14 -

die Auswerteeinheit 9 die notwendigen Welligkeits- und Formabweichungsparameter berechnet.

Das Verfahren wird im Folgenden anhand eines konkreten Ausführungsbeispiels näher beschrieben. Eine Getriebewelle mit einem Durchmesser von 44,7mm wird im Beispiel mit Hilfe eines Dreibackenfutters quasi zentrisch gefasst und durch Rotation des Dreibackenfutters durch einen Drehtisch in eine gleichförmige Rotation versetzt. Der erfindungsgemäße optische Messkopf wird radial zur rotierenden Welle zugestellt, bis der Messkopf den optimalen Arbeitspunkt erreicht hat. Diese Position kann durch Erfassung der Signale der Empfängereinheit automatisch angefahren werden, da beim optimalen Arbeitsabstand des Messkopfes das an der Prüflingswelle reflektierte Licht den Empfänger 7 in der Nullposition beleuchtet. Somit ist die Gesamtintensität des auf den Empfänger fallenden Lichts (im folgenden mit Summensignal bezeichnet) hoch und der Schwerpunkt des reflektierten Lichtbündels 6 beleuchtet die Empfängerfläche im Zentrum, so dass das positionsabhängige Signal der PSD Null ist (im folgenden mit Differenzsignal bezeichnet). Ist der optimale Arbeitsabstand des Messkopfs zur Prüflingsoberfläche eingestellt, erfolgt die Messwertaufnahme. Ein Messtaktgeber wird aktiviert, der die Messsignale mit fester Frequenz erfasst und einer Speichereinheit 8 zuführt. Der Messtaktgeber ist z.B. ein externer Rechteckgenerator, der über den Triggereingang einer PC-Messkarte die Messwertaufnahme steuert. Für jeden Messpunkt wird die Intensität des reflektierten Lichtbündels sowie die Auslenkung zur Nullposition erfasst, mit Hilfe eines AD-Wandlers digitalisiert und im Puffer eines PC's 9 gespeichert. Figur 6 zeigt die so aufgenommenen Messsignale der PSD für eine gleichförmig rotierende Getriebewelle mit einem Durchmesser von 44,7mm. Die Abtastfrequenz betrug 50kHz. In Figur 6 ist für beide Signale (obere Kurve ist das Summensignal und untere Kurve das Differenzsignal) deutlich ein periodisch wiederkehrender Funktionsverlauf zu erkennen, der aus der mehrfachen Umdrehung der Prüflingswelle resultiert. Bildet man die jeweilige Autokorrelationsfunktion der beiden Signale, kann man die Anzahl der Messpunkte pro Prüflingsumdrehung ermitteln. Figur 7 zeigt die

Autokorrelationsfunktionen der Signalverläufe aus Figur 6. Der Autokorrelationskoeffizient ist ein Maß der Selbstähnlichkeit einer Funktion bei deren lateraler Verschiebung. Der Koeffizient erreicht ein Maximum, wenn die Verläufe der verschobenen und unverschobenen Funktion quasi deckungsgleich werden, welches bei der Verschiebung um eine Umdrehung erreicht wird. Dieses Maximum wiederholt sich periodisch bei jeder weiteren abgeschlossenen Umdrehungsposition. Für das dargestellte Beispiel ergibt sich somit eine Tastpunktanzahl pro Prüflingsumdrehung von 10691. Da die Getriebewelle eine Welligkeit besitzt, ist die Autokorrelationsfunktion des Differenzsignals durch eine kurzweilige periodische Funktion überlagert, weist jedoch bei den Positionen der abgeschlossenen Umdrehungen ebenfalls deutliche Maxima auf. Mit Hilfe einer Extremwertsuche werden die Maxima der Autokorrelationsfunktionen ermittelt und aus deren Positionen die Tastpunktanzahl pro Prüflingsumdrehung berechnet. In einem anschließenden Schritt ist es nun möglich, die Messsignale von eventuell auftretenden Störsignalen mit Hilfe einer Fourieranalyse zu trennen. Die untere Grenzfrequenz des Messsignals ist durch die Anzahl der Umdrehungen definiert. Wurden mehrere Umdrehungen gemessen, sind alle langwelligeren Anteile im Signal auf Messfehler zurückzuführen. Mit Hilfe einer standardisierten Hochpassfilterung mit einem Gaußfilter können diese Störsignale sowohl aus dem Summen- als auch dem Differenzsignal entfernt werden. Um Messfehler zu unterdrücken, deren Frequenzanteile im Frequenzband der Messsignale liegen, wird nach der Hochpassfilterung der Signale eine weitere Filterung durchgeführt. Dazu werden das Summen- und das Differenzsignal in Signalausschnitte zerlegt, deren jeweilige Längen genau einer Prüflingsumdrehung entsprechen. Diese Signalausschnitte werden fouriertransformiert und die Absolutanteile der Fourierkomponenten berechnet. Sowohl für das Summen- als auch das Differenzsignal lassen sich somit so viele Fourierfunktionen erzeugen, wie Umdrehungen gemessen wurden. Die Fourierkomponenten des eigentlichen Messsignals müssen in allen Fourierfunktionen der einzelnen Umdrehungen enthalten sein. Zur Rekonstruktion des Messsignals werden nun die in allen Teilfunktionen enthaltenen Fourierkomponenten mit dem jeweils kleinsten Amplitudenbetrag zu

- 16 -

einer Fourierreihe zusammengestellt und aus dieser durch Rücktransformation der gefilterte Signalverlauf generiert. Durch Normierung (d.h. Quotientenbildung aus Differenzsignal/Summensignal) der gefilterten Differenzsignale auf die gefilterten Summensignale erhält man die intensitätsunabhängigen Auslenkungssignale, die proportional zur lokalen Winkelauslenkung des reflektierten Lichtbündels sind. Anhand der Kalibrierdaten für den Prismenkopf können das intensitätsunabhängige Auslenkungssignal direkt in ein Reflexionswinkelsignal $d\Theta_r(\Phi)$ umgerechnet und nach der bekannten Reflexionsgleichung die lokalen Oberflächenneigungswinkel $d\phi_n$ ermittelt werden. Figur 8 zeigt im oberen Diagramm das anhand der Kalibrierdaten berechnete Neigungswinkelsignal der Messung nach Fig. 6 und 7. Die Exzentrizität der Messung ist im Signalverlauf enthalten. Mit Hilfe einer Tiefpassfilterung mit einem Gaußfilter der Grenzwellenlänge 1 lässt sich die exzentrische Neigungswinkelverschiebung bestimmen (vgl. Fig. 8 unteres Bild). Diese entspricht genau der erfindungsgemäßen Abtastpunktverzerrung bei exzentrischer Rotation eines Prüflings. Um eine äquidistante Abtastung des Oberflächenprofils sicherzustellen, muss das Messsignal $d\phi_n$ interpoliert werden. Die bei der Messung realisierte Oberflächenabtastung des Prüflings erfolgte bei den Winkelwerten $\Phi + d\phi_e(\Phi)$, wobei die Rotationwinkelwerte für Φ in dem Intervall 0° bis 360° mit Winkelschritten von $360^\circ/(\text{Messpunktanzahl pro Umdrehung})$ liegen (in dem dargestellten Beispiel beträgt die theoretische Winkelschrittweite 0.0337°). Mit Hilfe einer einfachen linearen Interpolation werden die Messwerte für eine äquidistante Abtastung mit der festen Winkelschrittweite $360^\circ/(\text{Messpunktanzahl pro Umdrehung})$ ermittelt. Für das dargestellte Beispiel ist der Einfluss der Exzentrizität auf das Messsignal gering. Die maximale exzentrische Winkelverschiebung $d\phi_e$ beträgt etwas mehr als die Messschrittweite und führt somit zu maximalen Schrittweitenverzerrungen von etwa einem Winkelschritt. Die Entzerrung der Signalwerte ändert somit nur unmerklich das Signalverhalten. Besteht jedoch ein größerer Rundlauffehler zwischen gemessenen Prüflingszylinder und im Dreibackenfutter eingespannten Prüflingszylinder sowie eine generelle Exzentrizität der Spannvorrichtung zur Rotationsachse, führt die

- 17 -

erfindungsgemäße Korrektur der Winkelabtastung zu einer entscheidenden Verbesserung bei der Welligkeitsanalyse (vgl. Fig. 4). Aus den Funktionen nach Fig. 8 werden im Folgenden die Form- und Welligkeitsparameter berechnet. Der Rundlauffehler bzw. die Exzentrizität wird aus $d\phi_e$ ermittelt. Beleuchtet man die Prüflingsoberfläche bei der Differenzwinkelmessung unter einem Einfallswinkel größer 0° , ist das Maximum von $d\phi_e$ zur Amplitude der maximalen Bahnabweichung phasenverschoben (vgl. Fig. 2). Zudem setzt sich das Messsignal bei steigendem Einfallswinkel zusammen aus der lokalen Neigungswinkeldifferenz (die eigentliche Messgröße) und der wachsenden Ortsverschiebung durch die Bahnabweichung. Somit kann eine Ortskurvenberechnung, die ausschließlich auf der Integration von Neigungswinkelwerten beruht, nicht zur Bestimmung des Rundlauffehlers genutzt werden. Um den Rundlauffehler aus dem Messsignal ermitteln zu können, müsste eine Vorwärtssimulation des Deflexionsverhaltens des Prüflings bei gegebenen Prüflingsdurchmesser und Einfallswinkel des Messlichtbündels vorgenommen werden.

Eine gute, viel praktikablere Näherung für die Rundlauffehlerermittlung ist jedoch die nachstehend beschriebene. Figur 9 zeigt den Einfluss des Messlichtbündeleinfallswinkels auf die Phase und die Amplitude der exzentrischen Neigungswinkelverschiebung. Wird die Prüflingsoberfläche senkrecht beleuchtet (gestrichelter Kurvenverlauf) resultiert $d\phi_e$ ausschließlich auf der Neigungswinkelverschiebung des Beleuchtungsorts. Die zusätzliche Tastbahnabweichung führt ausschließlich zu einer Laufzeitverlängerung des Messsignals, die jedoch keine Auslenkung des reflektierten Lichtbündels auf dem positionsempfindlichen Empfänger verursacht. Bei bekanntem Prüflingsdurchmesser D und bei bekannter Anzahl von Winkelschritten pro Umdrehung N , die aus der Autokorrelationsfunktion gewonnen wurden oder bei einer Winkelschrittverstellung bekannt sind, lässt sich nach der Gleichung

$$z_{c,n} = \sum_{j=1}^n \tan(d\phi_{e,j}) \cdot \pi \cdot D / N \quad n = 1, 2, \dots, N-1, N$$

- 18 -

die Profilhöhen $z_{e,n}$ ermitteln, die den Tastbahnabstand für jeden Tastpunkt beschreiben. Das Maximum von $z_{e,n}$ gibt den Rundlauffehler an, der im gewählten Beispiel nach Fig. 9 $17.4\mu\text{m}$ beträgt. Wird derselbe Prüfling unter einem Einfallswinkel von 40° beleuchtet, ergibt die Winkeldifferenzmessung ein erhöhtes Messsignal (vgl. Fig. 9, durchgezogene Linie). Zudem ist das Maximum gegenüber der senkrecht beleuchteten Messung genau um den Einfallswinkel verschoben. Figur 9 verdeutlicht, dass die mit 40° Einfallswinkel gemessene Kurve die andere Kurve genau im Maximum schneidet und dieser Schnittpunkt zum eigenen Maximum um den Einfallswinkel vorseilt. Diese Tatsache wird für die Näherung des Rundlauffehlers genutzt. Erfolgt die Messung bei beliebigen Einfallswinkel $\Theta_i > 0^\circ$, so ermittelt man zunächst die Lage des Maximums der exzentrischen Winkelverschiebung $\Phi(d\phi_e = \max) = \Phi_{\max}$, bestimmt dann den Wert $d\phi_e(\Phi_{\max} - \Theta_i)$, der dem Maximum um den Einfallswinkel der Messung vorseilt. Die gemessene Kurve wird auf das Verhältnis $d\phi_e(\Phi_{\max} - \Theta_i) / d\phi_e(\Phi_{\max})$ normiert, so dass man eine gedämpfte Kurve erhält, deren Maximum nun den Wert $d\phi_e(\Phi_{\max} - \Theta_i)$ trägt. Aus dieser Kurve lassen sich wie oben beschrieben die Profilhöhen $z_{e,n}$ berechnen, aus denen sich der Rundlauffehler wie gezeigt ermitteln lässt. Diese Näherung führt zu guten Ergebnissen bei der Ermittlung von Rundlauffehlern. Bei Exzentrizitäten kleiner 10% bezogen auf den Radius des Prüflings sind die maximalen Abweichungen für die Rundlauffehlerermittlung nach dem oben beschriebenen Näherungsverfahren kleiner 2%.

Die Formabweichungs- und Welligkeitsanalyse richtet sich weitestgehend nach dem standardisierten Verfahren für Tastschnittmessungen. Die durch die Exzentrizität eingebrachte Winkelverschiebung $d\phi_e$ wird zum Messsignal $d\phi_n$ addiert und interpoliert. Die so korrigierten Messwerte $d\phi_n$ beziehen sich jetzt ausschließlich auf die lokalen Neigungswinkeldifferenzen der Prüflingsoberfläche. Das Umfangsprofil wird nun durch Summation der Neigungen wie folgt berechnet

$$z_n = \sum_{j=1}^n \tan(d\phi_j) \cdot \pi \cdot D / N,$$

wobei $d\phi_j$ für den korrigierten Profilneigungswert (befreit vom Einfluss der Exzentrizität) steht.

- 19 -

In Anlehnung an die VDA 2007 können nun nach bekannten Filterverfahren die Formabweichung sowie die dominanten Welligkeitsprofile aus dem Profil z_n ermittelt werden. Laut Definition entspricht der Kurvenverlauf von z_n dem Primärprofil (vgl. Fig.10, oberstes Bild). Mit Hilfe eines standardisierten Tiefpassfilters, hier z.B. ein Gaußförmiger Tiefpass mit der Grenzwellenlänge 50 Wellen pro Umfang, lässt sich die Formabweichung, nach VDA2007 das W-Profil, ableiten (vgl. Fig.10, mittleres Bild). Der in der VDA2007 beschriebene Nullbandpass wird zur Generierung der dominanten Welligkeitsprofile genutzt. Für das gewählte Beispiel ist das dominante Welligkeitsprofil bei einer Wellenzahl von 107 Wellen pro Umdrehung gegeben und im untersten Bild von Fig.10 dargestellt. Anhand dieser Profile ist es möglich, alle erforderlichen Profilparameter für die Formabweichungs- und Welligkeitsanalyse abzuleiten. Das Verfahren und die Vorrichtung lassen sich für einen großen Durchmesserbereich von ca. 1mm bis 2m von rotationssymmetrischen Prüflingen einsetzen. Einzige Voraussetzung ist, dass die lokalen Oberflächenneigungen des Prüflings klein genug sind, um das reflektierte Messlichtbündel im vorgegebenen Messwinkelbereich der Messvorrichtung erfassen zu können. Im Beispiel reichte dazu ein Prisma mit einer Kantenlänge von 25mm und ein entsprechend nach obigen Maßgaben gewählter und angeordneter positionsempfindlicher Empfänger (PSD). Alle vorstehend aufgeführten Berechnungen werden durch entsprechend vorgesehene numerische Algorithmen mittels entsprechender PC-Programme in der Auswerteeinheit 9 realisiert.

Alle in der Beschreibung, den Ausführungsbeispielen und den nachfolgenden Zeichnungen erkennbaren Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

- 20 -

Bezugszeichenliste

- | | | |
|---|---|----------------------------------|
| 1 | - | Lichtquelle |
| 2 | - | abbildende Optik |
| 3 | - | einfallendes Lichtbündel |
| 4 | - | Prisma |
| 5 | - | Prüflingsoberfläche |
| 6 | - | reflektiertes Lichtbündel |
| 7 | - | positionsempfindlicher Empfänger |
| 8 | - | Messdatenerfassungseinheit |
| 9 | - | Auswerteeinheit |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Formabweichungen und Welligkeiten von rotationssymmetrischen Teilen, bei dem ein Messlichtstrahl unter einem vorgebbaren Winkel in Umfangsrichtung des Prüfteils eingestrahlt und der reflektierte Messlichtstrahl bei Drehung des Prüfteils um eine Achse senkrecht zur Umfangsrichtung detektiert wird, dadurch gekennzeichnet, dass
 - a) alles reflektierte Messlicht mittels eines positionsempfindlichen Empfängers detektiert und für jeden detektierten Oberflächenbereich des Prüfteils positionsbezogen zumindest über eine vollständige Umdrehung des Prüfteils aufgezeichnet und gespeichert wird,
 - b) anschließend eine Tiefpassfilterung der so gewonnenen Messwerte vorgenommen wird, um allein durch die Exzentrizität des Prüfteils bedingte Reflexionsstrahlauslenkungen zu bestimmen
 - c) und danach eine Interpolation der zuvor gewonnenen Messwerte in der Weise vorgenommen wird, dass zu den äquidistanten Winkelschrittweiten (Φ) jeweils die exzentrischen Neigungswinkelverschiebungen ($d\phi_e$) addiert und mit einem äquidistanten Winkelraster interpoliert werden
 - d) und anschließend die so gewonnene Messkurve einer Fourieranalyse unterworfen wird, die unmittelbar die dominante Welligkeit anzeigt
 - e) und/oder eine Hochpassfilterung der nach c) gewonnenen Messkurve der normierten Reflexionssignale vorgenommen wird, die die um die Exzentrizität bereinigte Formabweichung des Prüfteils anzeigt.

- 22 -

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Messlichtstrahl bei gleichförmiger Rotation des Prüfteils über mindestens zwei vollständige Umdrehungen detektiert wird, wobei
- a1) alles reflektierte Messlicht mittels eines positionsempfindlichen Empfängers detektiert und für jeden detektierten Oberflächenbereich des Prüfteils positionsbezogen jeweils die Signale des Empfängers aufgezeichnet und gespeichert werden,
 - b1) ein Abbruch der Messsignalspeicherung vorgenommen wird, wenn sichergestellt ist, dass alle Signale aus mindestens zwei Umdrehungen des Prüfteils erfasst worden sind,
 - c1) anschließend eine Autokorrelationsanalyse der Signale der vom Empfänger erzeugten Messkurven zwecks Zuordnung der Anzahl der Messpunkte zu einem definierten Umfangsbereich des Prüfteils vorgenommen wird,
 - d1) anschließend eine Tiefpassfilterung der so gewonnenen Messwerte vorgenommen wird, um allein durch die Exzentrizität des Prüfteils bedingte Reflexionsstrahlauslenkungen zu bestimmen
 - e1) und danach eine Interpolation der zuvor gewonnenen Messwerte in der Weise vorgenommen wird, dass zu den äquidistanten Winkelschrittweiten (Φ) jeweils die exzentrischen Neigungswinkelverschiebungen ($d\phi_e$) addiert und mit einem äquidistanten Winkelraster interpoliert werden
 - f1) und anschließend die so gewonnene Messkurve einer Fourieranalyse unterworfen wird, die unmittelbar die dominante Welligkeit anzeigt
 - g1) und/oder eine Hochpassfilterung der nach e1) gewonnenen Messkurve der normierten Reflexionssignale vorgenommen wird, die die um die Exzentrizität bereinigte Formabweichung des Prüfteils anzeigt.

- 23 -

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Messlichtstrahl bei gleichförmiger Rotation des Prüfteils über mindestens zwei vollständige Umdrehungen detektiert wird, wobei
- a2) alles reflektierte Messlicht mittels eines positionsempfindlichen Empfängers, nämlich einem PSD, detektiert und für jeden detektierten Oberflächenbereich des Prüfteils positionsbezogen jeweils das Summen- als auch das Differenzsignal des PSD aufgezeichnet und gespeichert werden,
 - b2) ein Abbruch der Messsignalspeicherung vorgenommen wird, wenn sichergestellt ist, dass alle Signale aus mindestens zwei Umdrehungen des Prüfteils erfasst worden sind,
 - c2) anschließend eine Autokorrelationsanalyse der Summen- und der Differenzsignale der von dem PSD erzeugten Messkurven zwecks Zuordnung der Anzahl der Messpunkte zu einem definierten Umfangsbereich des Prüfteils vorgenommen wird,
 - d2) und danach eine Normierung der Signale durch Quotientenbildung aus Differenzsignal/Summensignal vorgenommen wird,
 - e2) anschließend eine Tiefpassfilterung der so gewonnenen Messwerte vorgenommen wird, um allein durch die Exzentrizität des Prüfteils bedingte Reflexionsstrahlauslenkungen zu bestimmen
 - f2) und danach eine Interpolation der zuvor gewonnenen Messwerte in der Weise vorgenommen wird, dass zu den äquidistanten Winkelschrittweiten (Φ) jeweils die exzentrischen Neigungswinkelverschiebungen ($d\phi_e$) addiert und mit einem äquidistanten Winkelraster interpoliert werden
 - g2) und anschließend die so gewonnene Messkurve einer Fourieranalyse unterworfen wird, die unmittelbar die dominante Welligkeit anzeigt
 - h2) und/oder eine Hochpassfilterung der nach f2) gewonnenen Messkurve der normierten Reflexionssignale vorgenommen

- 24 -

wird, die die um die Exzentrizität bereinigte Formabweichung des Prüfteils anzeigt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Messlichtstrahl bei Drehung des Prüfteils um äquidistant vorgebbare Winkelschritte über eine vollständige Umdrehung des Prüfteils mittels eines positionsempfindlichen Empfängers detektiert und für jeden detektierten Oberflächenbereich des Prüfteils positionsbezogen aufgezeichnet und gespeichert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass im Anschluss an Schritt e)/(oder d) oder f1)/(oder g1), oder g2)/(oder h2) eine quantitative Profilhöhenbestimmung z_n derart erfolgt, dass mit Hilfe eines Computerprogramms eine numerische Integration der Neigungen entsprechend der Beziehung

$$z_n = \sum_{j=1}^n \tan(d\phi_j) \cdot \pi \cdot D / N,$$

mit D, als dem Prüfteildurchmesser im Messumfangsbereich, N der Anzahl der Winkelschritte pro Umdrehung und $d\phi_j$ als dem um den Einfluss der Exzentrizität bereinigten Profilneigungswert an der Stelle j, vorgenommen wird.

- 25 -

6. Vorrichtung zur Bestimmung von Formabweichungen und Welligkeiten von rotationssymmetrischen Teilen, bestehend aus einer Lichtquelle (1), die ein Lichtbündel (3) mit Hilfe einer Optik (2) auf eine in Drehbewegungen versetzbare rotationssymmetrische Prüflingsoberfläche (5) senkrecht zur Rotationsachse (P) und in einem Winkel zur idealen Oberflächennormalen ($\bar{n}_0$) fokussiert, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Prüflingsoberfläche (5) ein Prisma (4) derart in den Lichtstrahlengang verschiebbar positioniert ist, dass das einfallenden Lichtbündel (3) als auch das von der Prüflingsoberfläche (5) reflektierte Lichtbündel (6) vom Prisma erfasst und das reflektierte Lichtbündel (6) auf einen gegenüber der dritten Prismenfläche angeordneten positionsempfindlichen Empfänger (7) gelenkt wird, dessen Ausgangssignale eine Messdatenerfassungseinheit (8), die die Messwerte verstärkt, digitalisiert und speichert, erfasst und an eine Auswerteeinheit (9) weiterleitet.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der positionsempfindliche Empfänger (7) direkt auf der Prismenfläche angeordnet ist, auf die das reflektierte Lichtbündel (6) gelangt.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die laterale Ausdehnung des positionsempfindlichen Empfängers (7) höchstens gleich, bevorzugt kleiner als die laterale Ausdehnung der Prismenfläche, auf der er aufliegt, festgelegt ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass für den positionsempfindlichen Empfänger (7) ein PSD eingesetzt ist, dessen Summen- als auch Differenzsignal für jeden Oberflächenbereich des Prüfteils an die anschließende Messdatenerfassungseinheit (8) weitergeleitet und dort getrennt gespeichert wird.

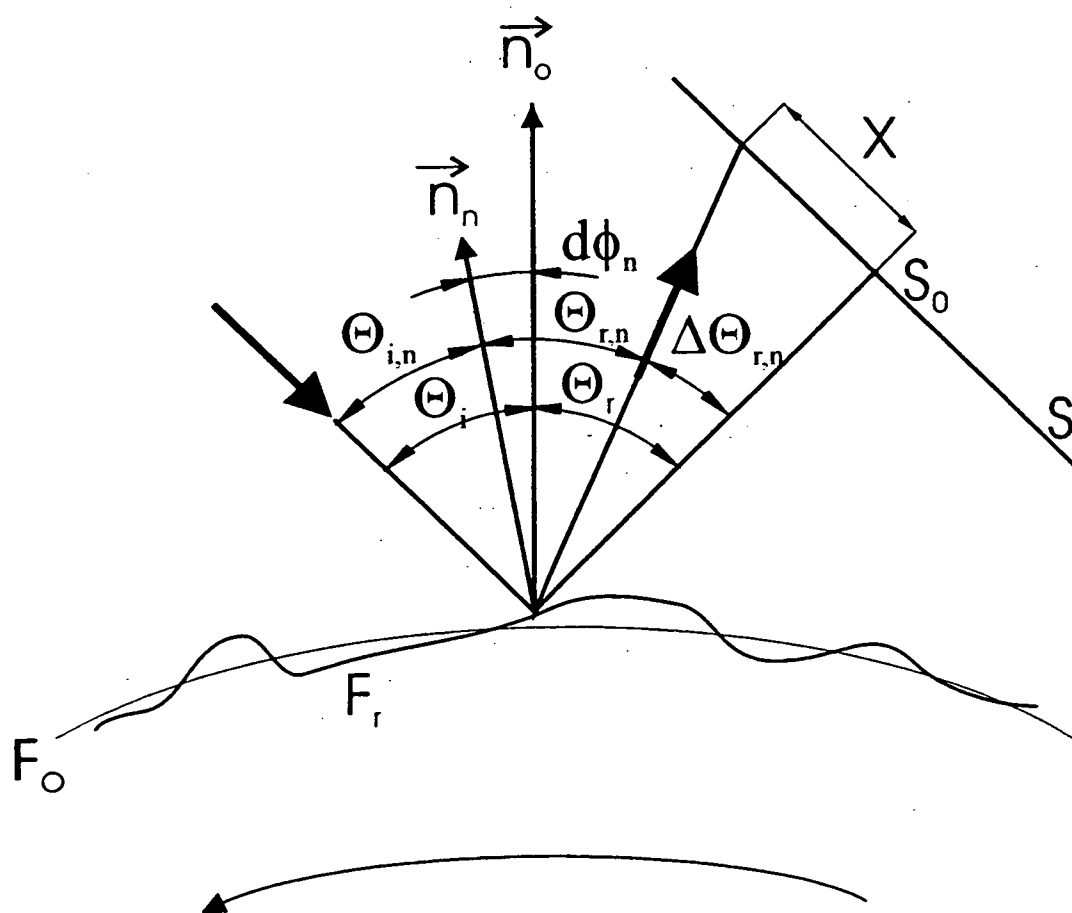


Fig. 1

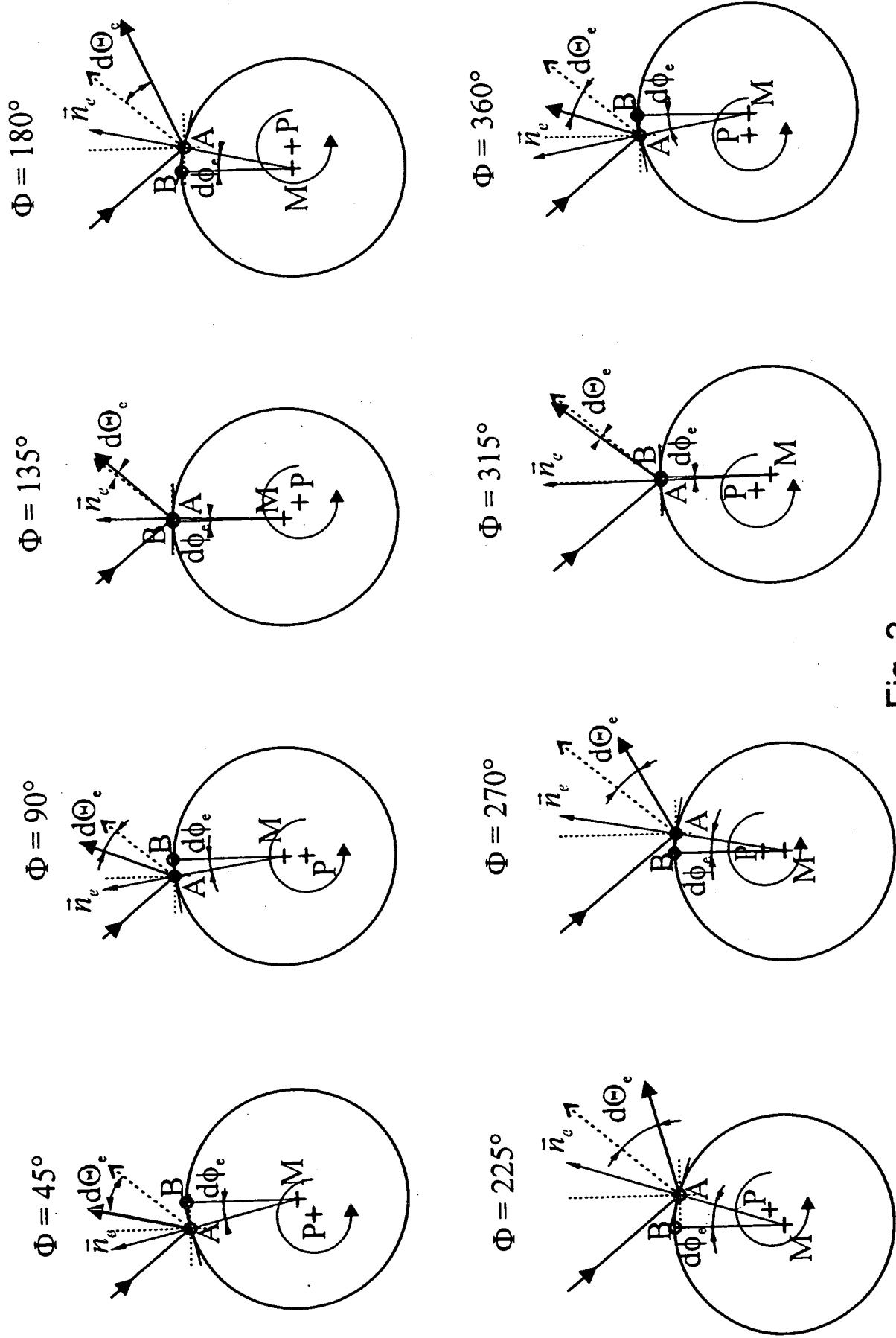


Fig. 2

3 / 10

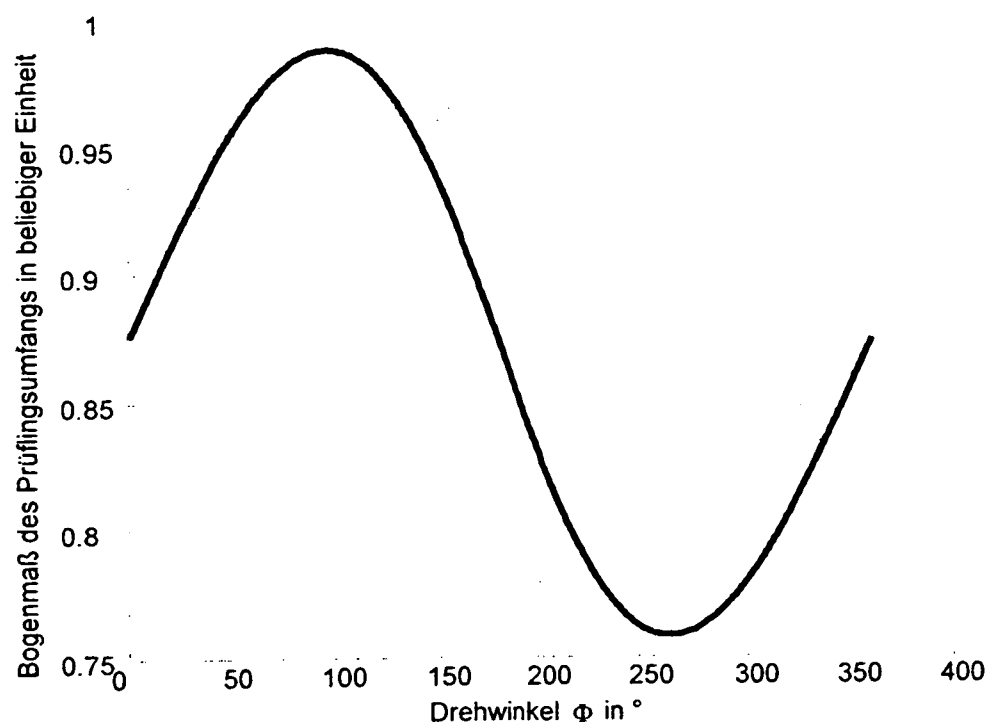


Fig. 3

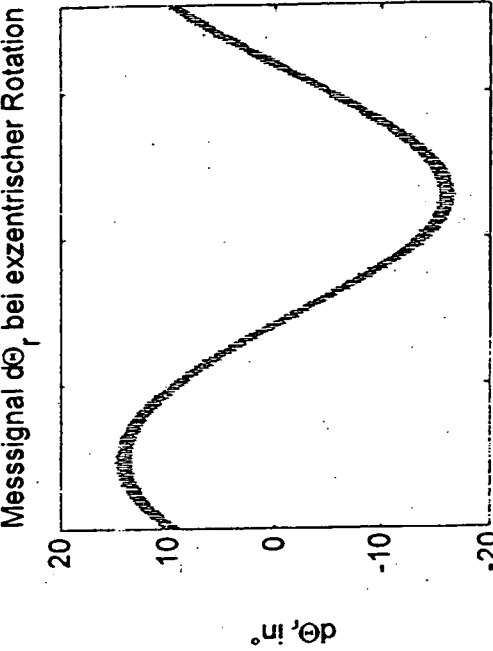


Fig. 4b

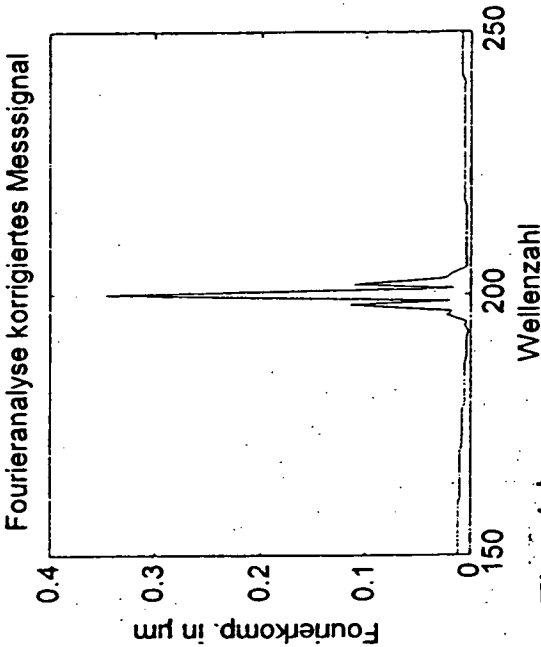


Fig. 4d

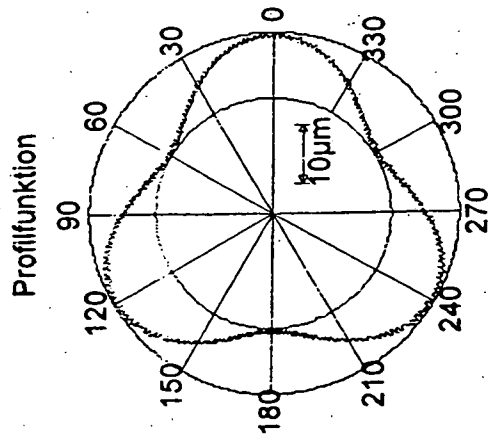


Fig. 4a

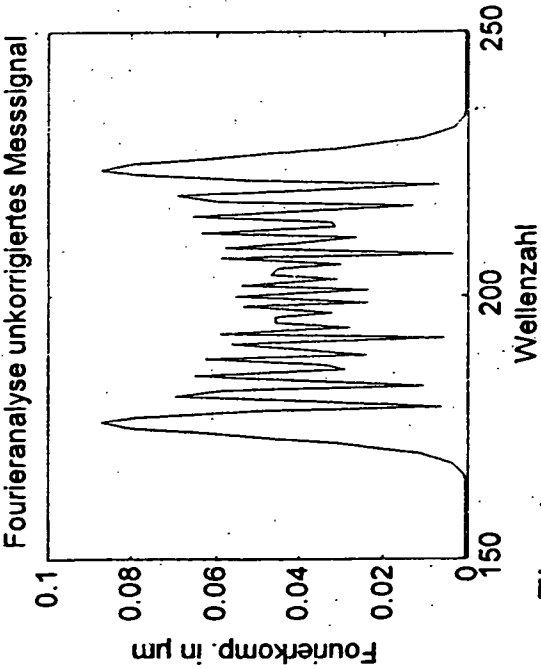


Fig. 4c

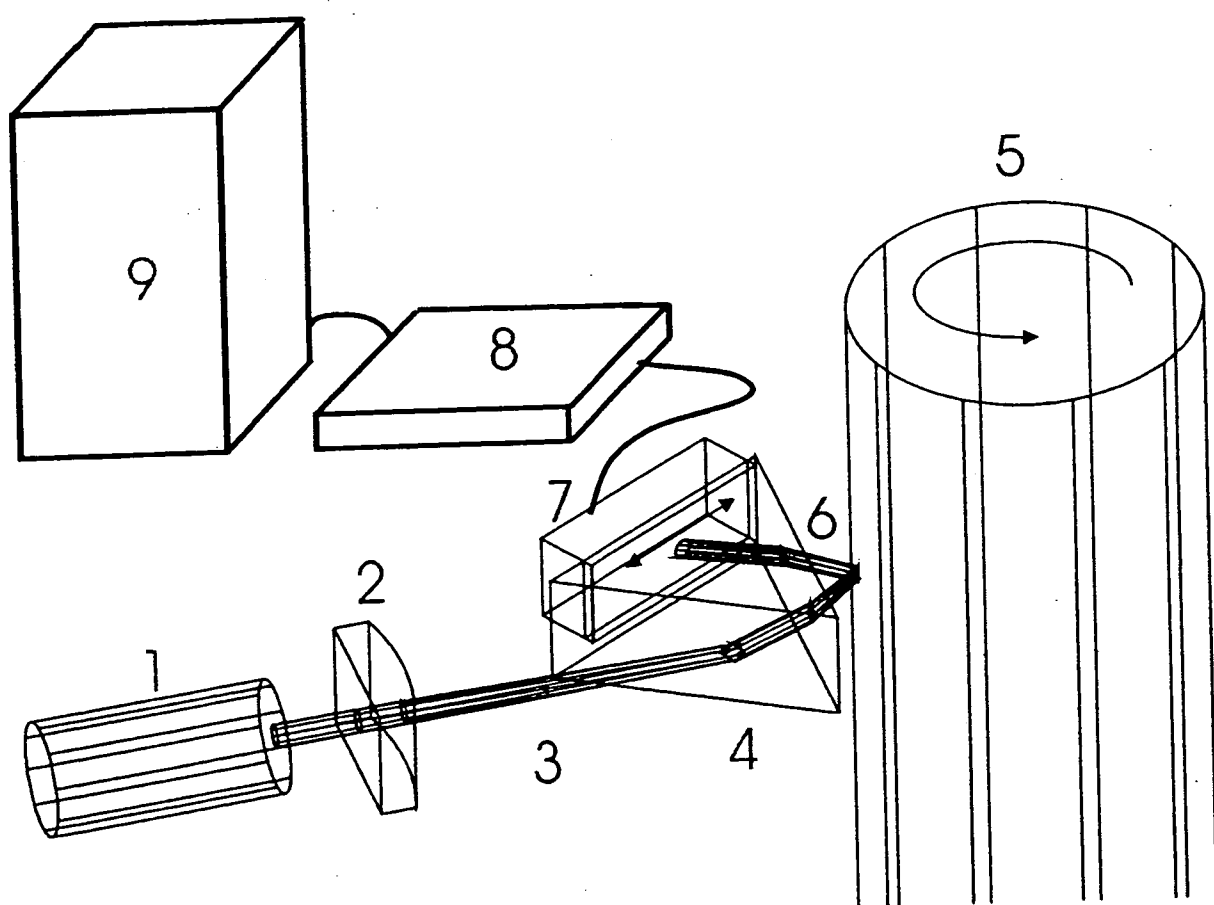


Fig. 5

6 / 10

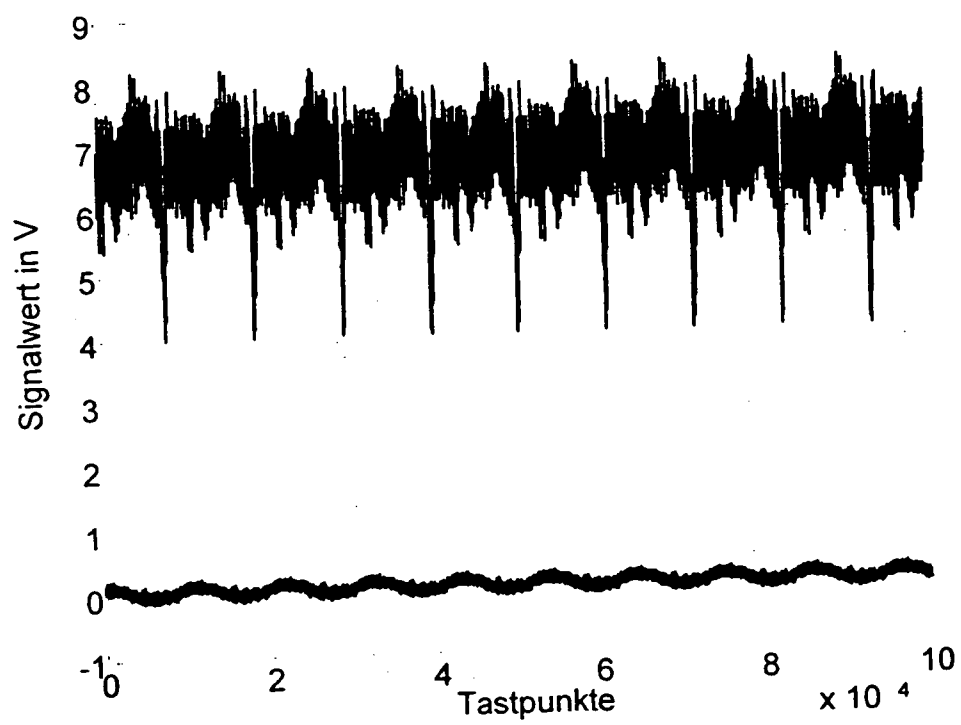


Fig. 6

7 / 10

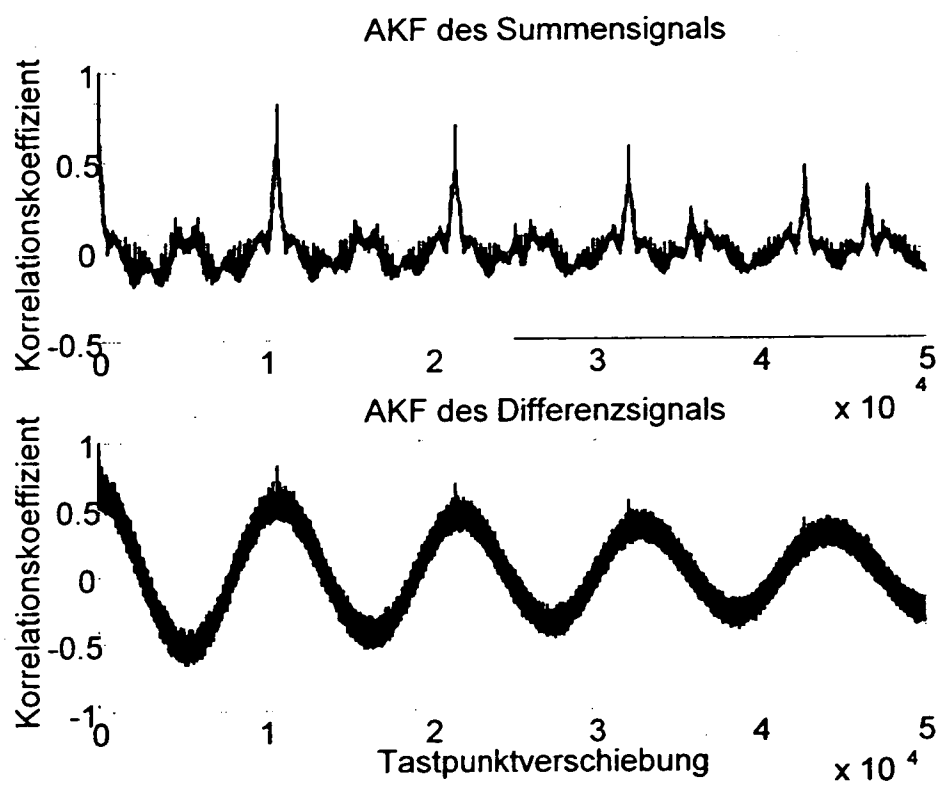


Fig. 7

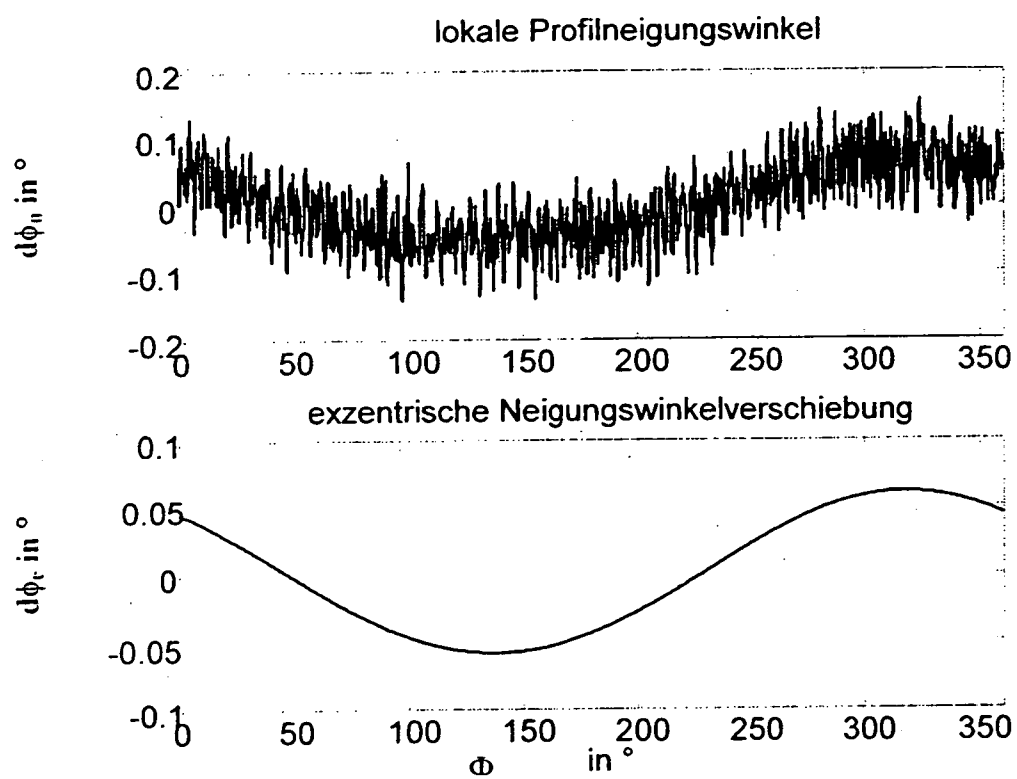


Fig. 8

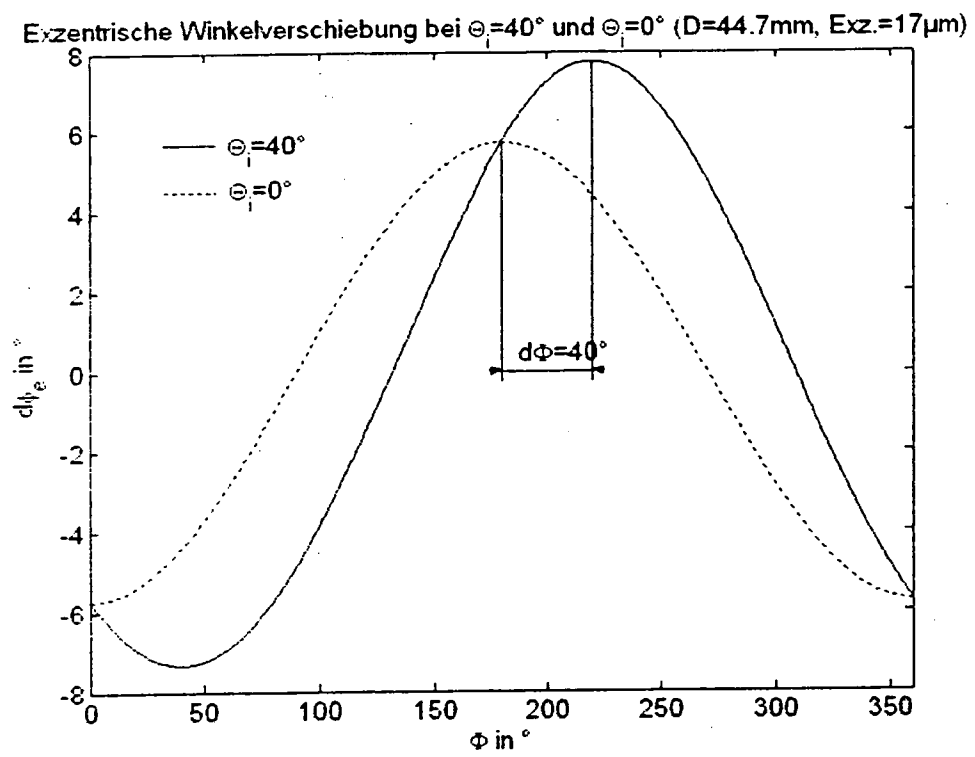


Fig. 9

10 / 10

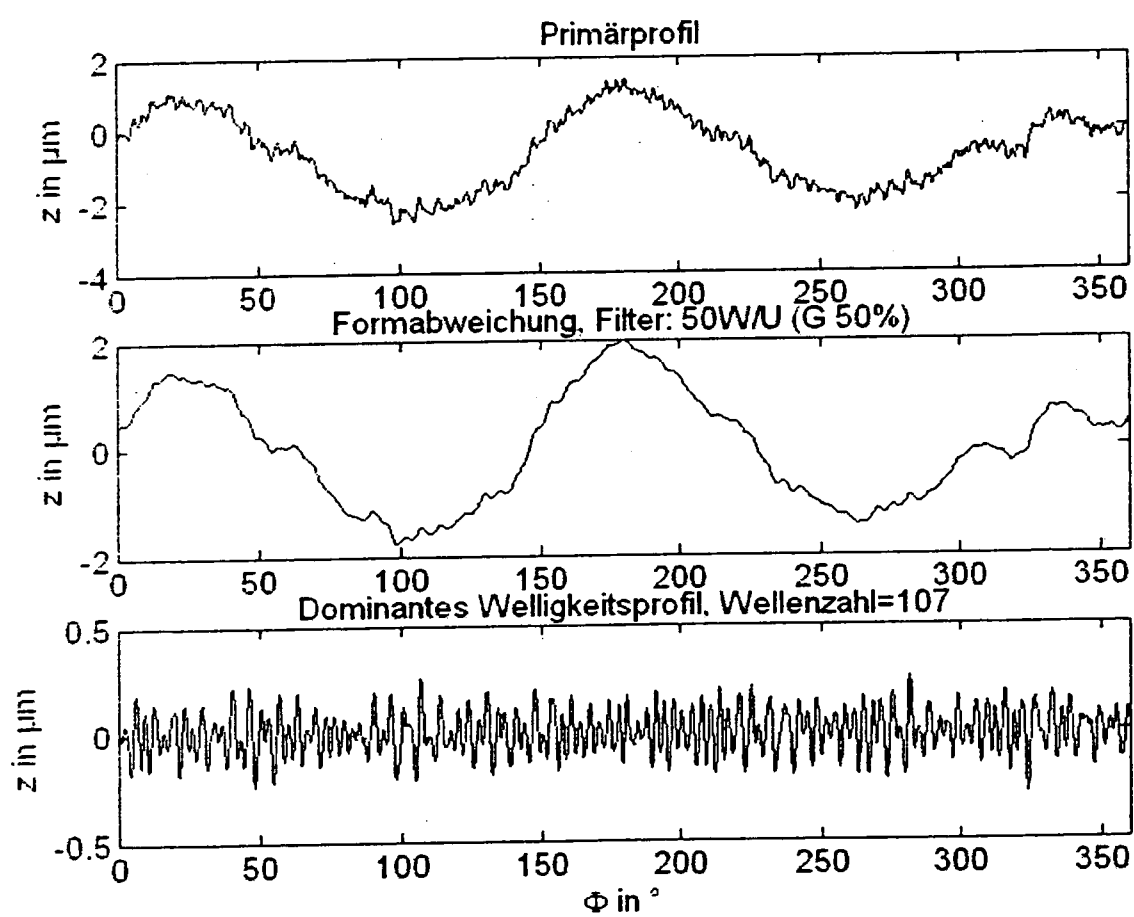


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/002622

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01B11/30 G01B11/27

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 B01B G01S G01N

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, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 57 161610 A (KOGYO GIJUTSUIN) 5 October 1982 (1982-10-05) cited in the application the whole document -----	1-9
Y	US 5 926 781 A (SCOTT PAUL JAMES [GB]) 20 July 1999 (1999-07-20) abstract; figures 9,11,12 column 1, line 3 - column 4, line 52 column 6, lines 26-34 column 8, lines 18-39 column 10, line 4 - column 11, line 4 column 16, lines 27-51 column 17, line 20 - column 18, line 26 ----- -/--	1

☒ 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

30 July 2007

Date of mailing of the international search report

10/08/2007

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

Poizat, Christophe

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/002622

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 068 082 A2 (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES [DE]) 5 January 1983 (1983-01-05) abstract page 2, line 1 - page 3, line 22 page 9, line 26 - page 10, line 34 figures 2,3,7 -----	1
Y	DE 38 27 752 A1 (GOSEBRUCH HARALD DIPL ING [DE]) 22 February 1990 (1990-02-22) abstract column 3, line 26 - column 5, line 9 figures 1,2,5 -----	1
Y	DE 44 08 226 A1 (LEHMANN PETER DIPL PHYS [DE]; SCHOENE ARMIN PROF DR ING [DE] LEHMANN P) 14 September 1995 (1995-09-14) abstract figures 1,2 column 2, line 24 - column 3, line 15 column 3, lines 31-63 column 4, line 55 - column 5, line 10 -----	2-5
X	US 4 859 062 A (THURN GERHARD [DE] ET AL) 22 August 1989 (1989-08-22) abstract figures 1,2,6,7 column 2, line 46 - column 4, line 30 column 6, line 3 - column 8, line 14 -----	6
Y	US 4 859 062 A (THURN GERHARD [DE] ET AL) 22 August 1989 (1989-08-22) abstract figures 1,2,6,7 column 2, line 46 - column 4, line 30 column 6, line 3 - column 8, line 14 -----	6-9
Y	EP 0 628 787 A (OMRON TATEISI ELECTRONICS CO [JP]) 14 December 1994 (1994-12-14) abstract figures 12,28,29 column 1, line 1 - column 2, line 35 column 7, lines 13-17 column 9, line 52 - column 10, line 28 -----	7-9
Y	US 4 490 618 A (CIELO PAOLO G [CA]) 25 December 1984 (1984-12-25) abstract figures 1,3 column 1, line 6 - column 2, line 6 column 2, line 36 - column 4, line 2 -----	7-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/002622

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 57161610	A	05-10-1982	NONE	
US 5926781	A	20-07-1999	DE 69532380 D1 DE 69532380 T2 EP 0787280 A1 GB 2294327 A WO 9612162 A1 JP 10507268 T	05-02-2004 09-06-2004 06-08-1997 24-04-1996 25-04-1996 14-07-1998
EP 0068082	A2	05-01-1983	DE 3123489 A1 JP 57207813 A	30-12-1982 20-12-1982
DE 3827752	A1	22-02-1990	NONE	
DE 4408226	A1	14-09-1995	NONE	
US 4859062	A	22-08-1989	CH 654914 A5 DE 3037622 A1 FR 2491615 A1 GB 2088552 A JP 1053401 B JP 1570830 C JP 57091403 A	14-03-1986 22-04-1982 09-04-1982 09-06-1982 14-11-1989 25-07-1990 07-06-1982
EP 0628787	A	14-12-1994	NONE	
US 4490618	A	25-12-1984	CA 1192417 A1	27-08-1985

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/002622

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01B11/30 G01B11/27

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01B B01B G01S G01N

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, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JP 57 161610 A (KOGYO GIJUTSUIN) 5. Oktober 1982 (1982-10-05) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-9
Y	US 5 926 781 A (SCOTT PAUL JAMES [GB]) 20. Juli 1999 (1999-07-20) Zusammenfassung; Abbildungen 9,11,12 Spalte 1, Zeile 3 - Spalte 4, Zeile 52 Spalte 6, Zeilen 26-34 Spalte 8, Zeilen 18-39 Spalte 10, Zeile 4 - Spalte 11, Zeile 4 Spalte 16, Zeilen 27-51 Spalte 17, Zeile 20 - Spalte 18, Zeile 26 ----- -/--	1

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|--|---|
| <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>*E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>*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)</p> <p>*O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>*P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>*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</p> <p>*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer 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 naheliegend ist</p> <p>*Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. Juli 2007

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10/08/2007

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

Poizat, Christophe

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 068 082 A2 (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES [DE]) 5. Januar 1983 (1983-01-05) Zusammenfassung Seite 2, Zeile 1 – Seite 3, Zeile 22 Seite 9, Zeile 26 – Seite 10, Zeile 34 Abbildungen 2,3,7 -----	1
Y	DE 38 27 752 A1 (GOSEBRUCH HARALD DIPL ING [DE]) 22. Februar 1990 (1990-02-22) Zusammenfassung Spalte 3, Zeile 26 – Spalte 5, Zeile 9 Abbildungen 1,2,5 -----	1
Y	DE 44 08 226 A1 (LEHMANN PETER DIPL PHYS [DE]; SCHOENE ARMIN PROF DR ING [DE] LEHMANN P) 14. September 1995 (1995-09-14) Zusammenfassung Abbildungen 1,2 Spalte 2, Zeile 24 – Spalte 3, Zeile 15 Spalte 3, Zeilen 31-63 Spalte 4, Zeile 55 – Spalte 5, Zeile 10 -----	2-5
X	US 4 859 062 A (THURN GERHARD [DE] ET AL) 22. August 1989 (1989-08-22)	6
Y	Zusammenfassung Abbildungen 1,2,6,7 Spalte 2, Zeile 46 – Spalte 4, Zeile 30 Spalte 6, Zeile 3 – Spalte 8, Zeile 14 -----	6-9
Y	EP 0 628 787 A (OMRON TATEISI ELECTRONICS CO [JP]) 14. Dezember 1994 (1994-12-14) Zusammenfassung Abbildungen 12,28,29 Spalte 1, Zeile 1 – Spalte 2, Zeile 35 Spalte 7, Zeilen 13-17 Spalte 9, Zeile 52 – Spalte 10, Zeile 28 -----	7-9
Y	US 4 490 618 A (CIELO PAOLO G [CA]) 25. Dezember 1984 (1984-12-25) Zusammenfassung Abbildungen 1,3 Spalte 1, Zeile 6 – Spalte 2, Zeile 6 Spalte 2, Zeile 36 – Spalte 4, Zeile 2 -----	7-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/002622

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 57161610	A	05-10-1982	KEINE		
US 5926781	A	20-07-1999	DE	69532380 D1	05-02-2004
			DE	69532380 T2	09-06-2004
			EP	0787280 A1	06-08-1997
			GB	2294327 A	24-04-1996
			WO	9612162 A1	25-04-1996
			JP	10507268 T	14-07-1998
EP 0068082	A2	05-01-1983	DE	3123489 A1	30-12-1982
			JP	57207813 A	20-12-1982
DE 3827752	A1	22-02-1990	KEINE		
DE 4408226	A1	14-09-1995	KEINE		
US 4859062	A	22-08-1989	CH	654914 A5	14-03-1986
			DE	3037622 A1	22-04-1982
			FR	2491615 A1	09-04-1982
			GB	2088552 A	09-06-1982
			JP	1053401 B	14-11-1989
			JP	1570830 C	25-07-1990
			JP	57091403 A	07-06-1982
EP 0628787	A	14-12-1994	KEINE		
US 4490618	A	25-12-1984	CA	1192417 A1	27-08-1985