



(10) **DE 60 2005 005 839 T3** 2014.04.10

(12) **Übersetzung der geänderten europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 792 139 B2**

(51) Int Cl.: **G01B 21/04** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2005 005 839.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB2005/003095**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **05 77 2904.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2006/013387**

(86) PCT-Anmeldetag: **05.08.2005**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **09.02.2006**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.06.2007**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **02.04.2008**

(97) Veröffentlichungstag
des geänderten Patents beim EPA: **19.02.2014**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.04.2014**

Patentschrift wurde im Einspruchsverfahren geändert

(30) Unionspriorität:

0417536 **06.08.2004** **GB**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HU, IE, IS, IT, LI, LT, LU, LV, MC, NL, PL,
PT, RO, SE, SI, SK, TR**

(73) Patentinhaber:

**Renishaw plc, Wotton-Under-Edge,
Gloucestershire, GB**

(72) Erfinder:

**JONAS, Kevyn Barry, Bristol, Bristol BS8 2JU,
GB; MCFARLAND, Geoffrey, Gloucestershire GL
11 5PG, GB**

(74) Vertreter:

**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336,
München, DE**

(54) Bezeichnung: **VERWENDUNG VON OBERFLÄCHENMESSSONDEN**

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Messung von Werkstücken unter Verwendung von Oberflächenmesssonden. Im Speziellen betrifft die Erfindung die Messung von Artefakten unter Verwendung einer Oberflächenmesssonde, die an einer Koordinateneinstellungsvorrichtung wie z. B. einer Koordinatenmessvorrichtung (CMM) (einschließlich paralleler Vorrichtungen wie z. B. Tripode und Hexapode), einer Werkzeugmaschine, manuellen Koordinatenmessarmen, Robotern, z. B. Arbeitsinspektionsrobotern und einachsigen Vorrichtungen befestigt ist.

[0002] Es sind Messsonden bekannt, die einen Taststift aufweisen, der auslenkbar ist, wenn auf ihn durch eine Kraft als ein Ergebnis eines Kontakts zwischen dem Tastkopf und der Oberfläche eines Gegenstandes eingewirkt wird. Ein oder mehrere Messaufnehmer in der Sonde messen die Auslenkung des Tastkopfes (üblicherweise in drei orthogonalen Koordinatenrichtungen), um Informationen über die Position der Oberfläche zu beschaffen. In Gebrauch wird solch eine Sonde an einer Vorrichtung wie z. B. einer Koordinatenmessvorrichtung (CMM), einer Werkzeugmaschine, einem Messroboter oder einer anderen Koordinateneinstellungsvorrichtung befestigt. Die Vorrichtung bewegt die Sonde relativ zu dem messenden Gegenstand. Dies kann umfassen, dass sich die Spindel und/oder das Bett der Vorrichtung relativ zueinander bewegen. Messeinrichtungen in der Vorrichtung geben Ausgänge aus, die sich auf die relative Position der Sonde beziehen und, wenn sie mit den Ausgängen von der Sonde selbst kombiniert werden, erlauben, dass Informationen über die Größe, Form, Position, Oberflächenkonturen etc. des Gegenstandes beschafft werden.

[0003] Solch eine Messsonde kann als eine analoge Sonde bezeichnet werden, wobei die Messausgänge von ihren Messaufnehmern von Sonden, die lediglich ein Auslösesignal bei einem Kontakt mit einem Gegenstand erzeugen, unterschieden werden. Der Ausdruck Abtastsonde kann ebenfalls verwendet werden, da solche Sonden oft verwendet werden, um die Oberflächenkontur eines Gegenstandes abzutasten. Wenngleich der Ausdruck analoge Sonde verwendet werden kann, können die Ausgänge der Messaufnehmer tatsächlich analog oder digital sein.

[0004] Dies ist ein Beispiel für eine passive Sonde, in der während einer Messung die Federn in dem aufgehängten Sondenmechanismus eine Kraft erzeugen, um sich der Auslenkung anzupassen. Diese Kontaktkraft variiert mit der Auslenkung, ist aber sehr gut wiederholbar.

[0005] Das US-Patent Nr. 3 876 799 offenbart eine Sonde mit einem Taststift, der durch eine Reihe von Federparallelogrammen getragen ist und in dem Mo-

toren vorgesehen sind, um eine vorbestimmte Kraft zwischen der Taststiftspitze und dem zu messenden Werkstück zu erzeugen.

[0006] Diese Sonde ist eine Art von aktiver Abtastsonde, die einen motorisierten Mechanismus verwendet, um eine Taststiftablenkung zu steuern und die Kontaktkraft mit der zu messenden Komponente zu dosieren. In solch einer Sonde erzeugen eher Motoren als Federn die Kontaktkraft.

[0007] Die WO 2004/005 849 beschreibt die Erzeugung einer dynamischen Fehlerfunktion oder -karte durch Vergleichen von Abtastergebnissen mit niedrigen und hohen Geschwindigkeiten.

[0008] Es sind auch kontaktlose Messsonden bekannt, bei denen die Sonde den Abstand zwischen der Oberfläche eines Objekts und der Sonde durch ein kontaktloses Mittel wie z. B. eine Kapazität, eine Induktivität oder optisch misst.

[0009] In bekannten Systemen werden Messfehler durch Ablenkungen der Sonde und der Vorrichtungsstruktur verursacht. Zum Beispiel wird der Tastkopf, wenn er abgelenkt wird, in Richtung einer Nullposition z. B. durch Federn vorgespannt und diese Kräfte bewirken ein Verbiegen des Sondentaststifts und der strukturellen Komponenten der Vorrichtung. Obwohl solche Ablenkungen klein sind, können sie dennoch die Genauigkeit der Messung im Hinblick auf die heutzutage erforderlichen extrem hohen Genauigkeiten beeinträchtigen.

[0010] Unsere frühere internationale Patentanmeldung WO 92/20 996 beschreibt ein Messverfahren, bei dem solch eine Sonde in einen Kontakt mit der Oberfläche eines zu messenden Gegenstandes bewegt wird und die Bewegung über eine weitere begrenzte Distanz fortgesetzt wird, nachdem der anfängliche Kontakt hergestellt worden ist. Während dieser Bewegung werden die Ausgänge der Messeinrichtungen der Vorrichtung und der Messaufnehmer der Sonde in mehreren Augenblicken gleichzeitig aufgezeichnet. Diese aufgezeichneten Ausgänge werden dann verwendet, um durch Extrapolation die Werte der Ausgänge der Messeinrichtungen der Vorrichtung zu berechnen, die in dem Augenblick existierten, in dem sich der Sondentaststift in einem Nullablenkungs-Zustand und noch in Kontakt mit der Oberfläche befand.

[0011] Dieses Verfahren erlaubt es, eine analoge Sonde zu verwenden, als wäre sie eine sehr genaue -Trigger-Sonde, da der Wert der Vorrichtungsausgänge an dem Punkt bestimmt wird, wenn der Taststift mit einer Oberfläche auf dieselbe Weise wie eine Trigger-Sonde in Kontakt tritt. Die hohe Genauigkeit dieses Verfahrens rührt zum Teil von der Tatsache her, dass viele Datenpunkte herangezogen wer-

den, um den Kontaktpunkt zu bestimmen, sodass die Tendenz besteht, dass Fehler ausgemittelt werden. Des Weiteren besteht der besondere Vorteil darin, dass der bestimmte Kontaktpunkt einer Nullauslenkung des Taststiftes und demzufolge einer Nullkontaktkraft zwischen dem Taststift und dem Gegenstand entspricht, sodass Fehler auf Grund der Durchbiegung des Taststifts und/oder der Vorrichtungsstruktur nicht entstehen.

[0012] Wie oben erläutert, beseitigt dieses Verfahren Fehler infolge statischer Messkräfte. Dynamische Fehler entstehen aber dennoch. Die dynamischen Fehler können auf einer Geschwindigkeit beruhen wie z. B. Fehler, die durch eine Dämpfung verursacht werden, oder auf einer Beschleunigung beruhen wie z. B. Fehler, die durch eine Schwingung verursacht werden.

[0013] Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung sieht ein Verfahren zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung vor, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang bereitzustellen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondenausgänge bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei das Verfahren die folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge aufweist:

(a) Bestimmen der ungefähren Position eines oder mehrerer Punkte auf der Oberfläche des Artefakts;

(b) Verwenden der in Schritt (a) bestimmten ungefähren Position, um zumindest eines von der Sonde und dem Artefakt in eine oder mehrere gewünschte relative Positionen der Sonde und der Oberfläche zu fahren und Vornehmen einer oder mehrerer Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts an der Position, wobei keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, während die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden; und

(c) Verwenden der Daten aus Schritt (b), um eine Position des einen oder der mehreren Punkte auf der Oberfläche zu bestimmen, in der der dynamische Fehler im Wesentlichen reduziert ist.

[0014] Die ungefähre Position eines Punktes auf einer Oberfläche kann bestimmt werden, indem eine oder mehrere Ablesungen mit einer Messsonde vorgenommen wird/werden. Die eine oder mehreren Ablesungen kann/können vorgenommen werden, während eine relative Bewegung zwischen der Sonde und der Oberfläche vorhanden ist. Alternativ kann/können die eine oder mehreren Ablesungen vorge-

nommen werden, während die Sonde feststehend relativ zu der Oberfläche ist.

[0015] Die Messung in Schritt (b) kann vorgenommen werden, während sich die Sonde an einer Position befindet, die sich näher an der Oberfläche befindet als die Messung in Schritt (a). Die Sonde kann einen auslenkbaren Taststift aufweisen und die Oberflächenmessung in Schritt (b) kann bei einer geringen Taststiftauslenkung oder einer geringen Sondenkraft vorgenommen werden. Alternativ kann die Sonde eine kontaktlose Sonde umfassen und die Oberflächenmessung in Schritt (b) kann bei einem vorteilhaften Abstand vorgenommen werden.

[0016] Der Schritt des Vornehmens einer oder mehrerer Datenablesungen, während keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, kann umfassen, dass viele Datenablesungen aufgezeichnet werden und ein Mittelwert der Datenablesungen gebildet wird.

[0017] Die ungefähre Position eines Punktes auf der Oberfläche kann bestimmt werden, indem zwei oder mehrere Ablesungen mit einer Messsonde vorgenommen werden, wobei die Ablesung bei verschiedenen Taststiftauslenkungen, Sondenkräften oder Sondenabständen vorgenommen wird und die Daten, die sich auf die zwei oder mehreren Ablesungen beziehen, extrapoliert werden können, um die ungefähre Position zu bestimmen. Statische Fehler können dadurch reduziert werden. Der Schritt c) kann umfassen, dass Daten aus zwei oder mehreren Oberflächenmessungen extrapoliert werden, wobei die zwei oder mehreren Oberflächenpositionen verschiedene Taststiftauslenkungen, Sondenkräfte oder Sondenabstände aufweisen. Statische Fehler können dadurch reduziert werden. Aus dem Schritt (a) kann zumindest eine der zwei oder mehreren Oberflächenmessungen beschafft werden.

[0018] Die Sonde kann eine Linearsonde umfassen und Messdaten können von zwei oder mehreren Positionen beschafft werden. Alternativ kann die Sonde eine nicht lineare Sonde umfassen und Messdaten können von drei oder mehreren Positionen beschafft werden.

[0019] Der Schritt des Bestimmens der ungefähren Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts in Schritt (a) kann ausgeführt werden, indem eine oder mehrere Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Gegenstands vorgenommen wird/werden, wobei die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden, während keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist; wobei zumindest eine der einen oder mehreren Oberflächenmessungen in Schritt a) und zumindest eine der einen oder mehreren Oberflächenmessun-

gen in Schritt b) bei verschiedenen Sondenkräften, Taststiftauslenkungen oder Sondenabständen gesammelt werden;

und die Messdaten bis zu denen extrapoliert werden, die der Position des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts entsprechen.

[0020] Der Schritt des Bestimmens der ungefähren Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts in Schritt (a) kann ausgeführt werden, indem zwei oder mehrere Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Gegenstands vorgenommen wird/werden, wobei die Messungen vorgenommen werden, während keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, wobei die zwei oder mehreren Oberflächenmessungen bei verschiedenen Sondenkräften, Taststiftauslenkungen oder Sondenabständen gesammelt werden;

und die Messdaten bis zu denen extrapoliert werden, die der Position des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts entsprechen.

[0021] Der Schritt des Bestimmens der ungefähren Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts in Schritt (a) kann ausgeführt werden, indem eine oder mehrere Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Gegenstands vorgenommen wird/werden, wobei die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden, während eine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorhanden ist; und wobei die eine oder mehreren Messungen in Schritt a) und Schritt b) dieselbe/denselben Sondenauslenkung, Sondenkraft oder -abstand aufweisen, und wobei die Differenz der Messungen in den Schritten a) und b) zulässt, dass der dynamische Fehler bestimmt wird. In dem Schritt des Vornehmens einer oder mehrerer Oberflächenmessungen kann/können die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen werden, wenn eine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorhanden ist, und wobei die Sondenauslenkung oder -kraft geringer ist als in den Schritten a) und b) und wobei die eine oder mehreren Oberflächenmessungen, die bei der geringeren Sondenauslenkung oder -kraft vorgenommen wird/werden, um den dynamischen Fehler korrigiert wird/werden.

[0022] Ein zweiter Aspekt der Erfindung sieht ein Verfahren zum Messen eines Artefakts gemäß Anspruch 17 vor.

[0023] Die Sonde kann einen auslenkbaren Taststift aufweisen und die Sonde kann verschiedene Taststiftauslenkungen an den mindestens zwei Positionen aufweisen und wobei die Messdaten extrapoliert werden können, sodass sie der Ruheposition des Taststiftes entsprechen. Die Sonde kann einen

auslenkbaren Taststift aufweisen und es können verschiedene Sondenkräfte zwischen dem Taststift und der Oberfläche des Artefakts an den mindestens zwei Positionen vorhanden sein, und wobei die Messdaten extrapoliert werden können, sodass sie einer Sondenkraft von null entsprechen. Die Sonde kann eine kontaktlose Sonde umfassen und die Sonde kann sich an mindestens zwei Positionen bei verschiedenen Abständen von der Oberfläche des Artefakts befinden, und wobei die Messdaten extrapoliert werden können, um die Oberflächenposition zu bestimmen.

[0024] Die Sonde kann eine lineare Sonde sein und die Messdaten können von zwei oder mehr Positionen beschafft werden. Alternativ kann die Sonde eine nicht lineare Sonde sein, und wobei die Messdaten von drei oder mehr Positionen beschafft werden können.

[0025] Der Schritt des Vornehmens einer oder mehrerer Datenablesungen, während keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, kann umfassen, dass viele Datenablesungen aufgezeichnet werden und ein Mittelwert der Datenablesungen gebildet wird.

[0026] Ein dritter Aspekt der vorliegenden Erfindung sieht ein Verfahren zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung vor, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang bereitzustellen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondenausgänge bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei das Verfahren die folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge aufweist:

(a) Vornehmen von zwei oder mehr Oberflächenmessungen eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die zwei oder mehreren Messungen dieselbe Sondenauslenkung oder Sondenkraft aufweisen und wobei eine oder mehrere Oberflächenmessungen mit einer relativen Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorgenommen wird/werden und eine oder mehr Oberflächenmessungen ohne eine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorgenommen wird/werden;

(b) Bestimmen des dynamischen Fehlers aus Schritt (a);

(c) Vornehmen einer oder mehrerer Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die Messung mit einer geringeren Sondenauslenkung oder Sondenkraft vorgenommen wird als die Messungen in Schritt (a) und wobei die Messung mit einer relativen Bewegung

zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorgenommen wird; (d) Korrigieren der einen oder mehreren Oberflächenmessungen von Schritt (c) um den dynamischen Fehler, um dadurch eine Messung mit einem reduzierten statischen und dynamischen Fehler vorzusehen.

[0027] Ein vierter Aspekt der vorliegenden Erfindung sieht eine Vorrichtung zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung vor, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang bereitzustellen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondenausgänge bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei die Vorrichtung einen Controller zum Ausführen der folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge umfasst:

- (a) Bestimmen der ungefähren Position eines oder mehrerer Punkte auf der Oberfläche des Artefakts;
- (b) Verwenden der in Schritt (a) bestimmten ungefähren Position, um zumindest eines von der Sonde und dem Artefakt in eine oder mehrere gewünschte relative Positionen der Sonde und der Oberfläche zu fahren, und Vornehmen einer oder mehrerer Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts an der Position, wobei keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, während die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden; und
- (c) Verwenden der Daten aus Schritt (b), um eine Position des einen oder der mehreren Punkte auf der Oberfläche zu bestimmen, in der der dynamische Fehler im Wesentlichen reduziert ist.

[0028] Ein fünfter Aspekt der Erfindung sieht eine Vorrichtung zum Messen eines Artefakts gemäß Anspruch 24 vor.

[0029] Ein sechster Aspekt der vorliegenden Erfindung sieht eine Vorrichtung zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung vor, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang bereitzustellen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondenausgänge bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei die Vorrichtung einen Controller

zum Ausführen der folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge umfasst:

- (a) Vornehmen von zwei oder mehreren Oberflächenmessungen eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die zwei oder mehreren Messungen dieselbe Sondenauslenkung oder Sondenkraft aufweisen und wobei eine oder mehrere Oberflächenmessungen mit einer relativen Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorgenommen wird/werden und eine oder mehrere Oberflächenmessungen ohne eine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorgenommen wird/werden;
- (b) Bestimmen des dynamischen Fehlers aus Schritt (a);
- (c) Vornehmen einer oder mehrerer Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die Messung mit einer geringeren Sondenauslenkung oder Sondenkraft vorgenommen wird als die Messungen in Schritt (a) und wobei die Messung mit einer relativen Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorgenommen wird;
- (d) Korrigieren der einen oder mehreren Oberflächenmessungen von Schritt (c) um den dynamischen Fehler, um dadurch eine Messung mit einem reduzierten statischen und dynamischen Fehler vorzusehen.

[0030] Die Erfindung wird nun beispielhaft unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0031] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer CMM ist, mit der die Erfindung verwendet wird;

[0032] Fig. 2 ein Graph ist, in dem die Sondenausgänge gegen eine CMM-Position in einem Verfahren nach dem Stand der Technik aufgetragen sind;

[0033] Fig. 3 ein Graph ist, in dem die Sondenausgänge gegen eine CMM-Position aufgetragen sind und der die Differenz der Ablesungen zwischen den Messungen in Richtung zu einer Oberfläche oder von dieser weg illustriert.

[0034] Fig. 4 ein Graph ist, in dem die Sondenausgänge gegen eine CMM-Position aufgetragen sind und der geschwindigkeitsbasierte Fehler auf Grund einer Dämpfung zeigt;

[0035] Fig. 5 ein Graph ist, in dem die Sondenausgänge gegen eine CMM-Position aufgetragen sind und der unter Verwendung einer Implementierung des Verfahrens der vorliegenden Erfindung beschafft wird;

[0036] Fig. 6 ein Graph ist, in dem die Sondenausgänge gegen eine CMM-Position aufgetragen sind

und der eine dritte Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht;

[0037] Fig. 7 einen Graph veranschaulicht, in dem die Sondenausgänge gegen eine CMM-Position aufgetragen sind; und

[0038] Fig. 8 ein Flussdiagramm ist, das das Verfahren der dritten Ausführungsform veranschaulicht.

[0039] Ein bekanntes Verfahren der Verwendung einer Abtastsonde, um Touch-Trigger-Messungen einer Oberfläche vorzunehmen, wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 1 und Fig. 2 beschrieben.

[0040] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen zeigt Fig. 1 eine Koordinatenmessvorrichtung (CMM) 2, die in der Technik gut bekannt ist. Die CMM 2 besitzt einen Vorrichtungstisch 3, auf dem ein zu messender Gegenstand 5 befestigt ist, und eine Spindel 4, die in der X-, Y- und Z-Richtung relativ zu dem Vorrichtungstisch 3 bewegbar ist. Die Vorrichtungsspindel und/oder der Vorrichtungstisch kann/können sich bewegen, um eine relative Bewegung zwischen der Vorrichtungsspindel und dem Tisch zu erzeugen. Messaufnehmer (nicht gezeigt) sind vorgesehen, um die relative Position der Spindel in Bezug auf den Vorrichtungstisch in der X-, Y- und Z-Richtung zu messen. Es sind Varianten des Aufbaus bekannt, bei denen eine relative Bewegung zwischen dem Gegenstand und der Sonde durch andere Mittel vorgesehen sind, z. B., indem der Gegenstand bewegt wird, während die Sonde feststehend bleibt.

[0041] Eine Sonde 6 ist an der Spindel 4 der CMM 2 befestigt. Die Sonde 6 besitzt einen auslenkbaren Taststift 7 mit einer ein Werkstück berührenden Spitze 8. Messaufnehmer sind in der Sonde vorgesehen, um eine Auslenkung des Taststifts zu messen. Ein Beispiel für solch eine Sonde ist in dem US-Patent Nr. 5 390 424 beschrieben, in dem ein Taststift relativ zu einer feststehenden Struktur getragen ist, die z. B. aus drei seriell verbundenen parallelen Federn besteht. Eine Verschiebung des Taststifts relativ zu der feststehenden Struktur wird durch ein optisches Mittel umgeformt, das drei optische Skalen, die an einem Element vorgesehen sind, mit dem der Taststift verbunden ist, und einen entsprechenden Lesekopf umfasst, der an der feststehenden Struktur neben den optischen Skalen angeordnet ist.

[0042] Die Sonde wird durch den Vorrichtungskontroller in Richtung des Gegenstandes gefahren. Während dieser Bewegung werden die Ablesungen der CMM-Messaufnehmer kontinuierlich dem Computer zugeführt, der einen Teil des gesamten Vorrichtungsteuersystems bildet.

[0043] Während der Taststift sich in seiner Ruheposition (d. h. der Position, die er einnimmt, wenn keine

äußeren Kräfte auf die Taststiftspitze wirken) befindet, ist der Ausgang der Sondenmessaufnehmer auf null gesetzt.

[0044] Sobald die Taststiftspitze durch einen Kontakt mit dem Gegenstand ausgelenkt wird, beginnt sich der Ausgang der Sondenmessaufnehmer zu ändern. Dies führt zu einem Signal, das (auf bekannte Weise) zu dem Vorrichtungscontroller gesendet wird, um eine Ablesung der Vorrichtungsskalen einzuleiten und die Werte des Computers auszugeben. Ein weiterer begrenzter Betrag einer Bewegung der Vorrichtung wird durch den Computer zugelassen und dann wird die Vorrichtung gestoppt und umgekehrt. Während dieser Umkehrbewegung werden die Ausgänge der Vorrichtungsmessaufnehmer und der Sondenmessaufnehmer gleichzeitig in Intervallen aufgezeichnet. Der Controller stoppt die Vorrichtung und der Computer berechnet aus den Ablesungen eine theoretische Kurve (z. B. eine gerade Linie) durch die Ablesungen und extrapoliert zurück, um Ablesungen einer jeden der Vorrichtungsskalen zu finden, die genau in dem Augenblick vorhanden gewesen wären, in dem die Taststiftkugel die Oberfläche berührt hat. Dies ist die Ablesung einer jeden der Vorrichtungsskalen an dem Punkt, an dem der Ausgang der Sondenmessaufnehmer sich zuletzt auf dem Niveau befand, das der Ruheposition des Taststifts entspricht.

[0045] Fig. 2 zeigt durch eine graphische Darstellung die Berechnungen, die von dem Computer der Vorrichtung ausgeführt werden. Die gezeigte vertikale Achse stellt die Ausgänge der Sondenmessaufnehmer dar und die horizontale Achse stellt die CMM-Messaufnahmeraushänge einer Achse dar. Wenn die Vorrichtung ihre eingeschränkte Bewegung fortsetzt, nachdem ein Kontakt zwischen dem Sondentaststift und der Oberfläche hergestellt worden ist, erhöht sich der Sondenausgang, wenn der Taststift abgelenkt wird. Eine gerade Linie 10 wird von den Sondenausgängen aufgetragen und zurückextrapoliert, um die Messskalenablesungen an dem Sondenausgang zu finden, der für null repräsentativ ist. An diesem Punkt 12 befindet sich der Sondentaststift in seiner Ruheposition und somit ist eine Kraft von null zwischen dem Taststift und dem Gegenstand vorhanden.

[0046] Dieses Verfahren eliminiert die Fehler, die durch statische Messkräfte verursacht werden. Allerdings enthalten die Messungen noch immer dynamische Fehler. Diese können geschwindigkeitsbasierte Fehler, z. B. durch eine Dämpfung verursacht, und beschleunigungsbasierte Fehler, z. B. durch eine Schwingung der Sonde verursacht, umfassen.

[0047] Fig. 3 veranschaulicht die verschiedenen Messdaten, die beschafft werden, wenn die Sonde in Richtung der Oberfläche oder von dieser weg bewegt wird. Die Linie 14 veranschaulicht die Messdaten, die beschafft werden, wenn die Sonde in Rich-

tung der Oberfläche bewegt wird, und die Linie **16** veranschaulicht die Messdaten, die beschafft werden, wenn die Sonde von der Oberfläche weg bewegt wird. Wenn die Messdaten zurückextrapoliert werden, erzeugen die Messdaten, die während der Bewegung in Richtung der Oberfläche beschafft wurden, einen ersten Wert **18** der Messung bei einer Sondenkraft von null und die Extrapolation unter Verwendung der Messdaten in der Bewegung der Sonde nach außen erzeugt einen zweiten Wert **20** der Messung, der sich auf eine Sondenkraft von null bezieht. Die Differenz dieser Messwerte **18, 20** ist in dynamischen Fehlern begründet. Zum Beispiel ist die Geschwindigkeit der Sonde während ihrer Bewegung in entgegengesetzten Richtungen ein Grund für diesen Fehler. Verschiedene Geschwindigkeiten in den verschiedenen Richtungen der Bewegung der Sonde erhöhen die Schwierigkeit bei der Berechnung dieses Fehlers.

[0048] Fig. 4 veranschaulicht die Fehler infolge einer schwach gedämpften Sonde. Schwingungen verursachen Fehler in den Messdaten, die vor einer Extrapolation ausgemittelt werden müssen. In einer gedämpften Sonde kann die Schwingung eine niedrige Frequenz besitzen und die Messdaten müssen daher über eine ausreichend lange Zeit ausgemittelt werden. In einer überdämpften Sonde gibt es eine Verzögerung, bevor die Sonde ihren stationären Zustand erreicht.

[0049] Die vorliegende Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 5 beschrieben. Fig. 5 veranschaulicht eine Graphen, in dem Sondenausgänge gegen eine CMM-Position aufgetragen sind. Wie oben beschrieben ist die Sonde auf einer Vorrichtung wie z. B. einer Koordinatenmessvorrichtung (CMM) oder einer Werkzeugmaschine befestigt, die die Sonde mit einer relativen Bewegung in Bezug auf ein Werkstück versieht. Die Sonde wird in Richtung des Werkstücks bewegt, bis die Taststiftspitze in Kontakt mit der Oberfläche des Werkstücks gebracht wird. Die Sonde bewegt sich über eine gewisse Distanz weiter in Richtung des Werkstücks und bewirkt daher, dass der Sondentaststift auslenkt. Die Sonde wird umgekehrt und an einer ersten Position **14** gestoppt, in der die Taststiftspitze in Kontakt mit der Oberfläche bleibt. Messdaten werden aufgenommen, während die Sonde an der ersten Position **14** feststehend ist. Die Sonde bleibt in ihrer Umkehrbewegung zu einer zweiten Position **16**, in der die Taststiftspitze noch immer in Kontakt mit der Oberfläche steht, und Messdaten werden aufgenommen. Dann bleibt die Sonde in ihrer Umkehrbewegung, bis die Taststiftspitze den Kontakt mit der Oberfläche beendet.

[0050] An der ersten und der zweiten Position wird vorzugsweise zugelassen, dass sich die Sonde abgleicht, bevor Messungen vorgenommen werden. Sobald sich die Sonde abgeglichen hat, werden meh-

rere Messungen vorgenommen, während die Sonde an diesen Positionen feststehend ist. Die aus der Vielzahl von Messungen herangezogenen Messdaten werden gemittelt. Da diese Messungen vorgenommen werden, wenn die Sonde feststehend ist, sind keine dynamischen Fehler vorhanden. Aus diesem Grund sind Fehler auf Grund von Effekten wie z. B. einer Schwingung und einer Dämpfung eliminiert. Die an den zwei Positionen herangezogenen Durchschnittsmessdaten werden zurückextrapoliert, um die Messskalenablesungen bei einer Taststiftauslenkung von null und somit einer Sondenkraft von null zu bestimmen. Da das Extrapolationsverfahren verwendet wird, sind statische Messkraftfehler eliminiert.

[0051] Die Genauigkeit der an dem Punkt **16** herangezogenen Messdaten ist wichtiger als jene der an dem Punkt **14** herangezogenen Messdaten, da sich der Punkt **16** näher bei dem extrapolierten Wert befindet. Daher kann die Sonde für die Positionen näher an der Oberfläche länger feststehend bleiben, um die Genauigkeit der Messdaten sicherzustellen. Daten werden an mindestens zwei Positionen herangezogen, um die Messdaten an diesen Positionen einem linearen Fit zu unterziehen, wobei Messdaten von mindesten drei Positionen für andere Arten eines Fits geschaffen werden müssen.

[0052] Wenngleich die obige Beschreibung die Sonde beschreibt, die an der ersten und der zweiten Position in der Bewegung der Sonde nach außen stoppt, ist es auch möglich, Messungen vorzunehmen, wenn die Sonde an ähnlichen Positionen bei der Bewegung nach innen feststehend ist. Es ist auch möglich, Messungen sowohl während der Bewegung der Sonde nach innen als auch nach außen vorzunehmen.

[0053] Die Verwendung dieses Verfahrens erlaubt es, die Sonde mit einer schnellen Geschwindigkeit zu bewegen, da die Messdaten gesammelt werden, wenn die Sonde feststehend ist, wobei die Geschwindigkeit der Sonde zwischen den Messpositionen die Messdaten nicht beeinträchtigt.

[0054] Dieses Verfahren ist auch für kontaktlose Sonden wie z. B. Kapazitätssonden und Induktionssonden geeignet. Kontaktlose Sonden werden typischerweise an einer Referenzkugel kalibriert. Allerdings kann eine lokale Topologie wie z. B. Grate und gebrochene Kanten Fehler bei den Messablesungen verursachen. Die kontaktlose Sonde wird in Richtung der Oberfläche des zu messenden Gegenstandes bewegt. Sie wird bei zwei oder mehreren verschiedenen Abständen von der Oberfläche gestoppt und Messablesungen werden an diesen verschiedenen Positionen vorgenommen. Wie zuvor werden die Messablesungen an diesen Positionen extrapoliert, um den Messwert zu finden, der der Sonde, die in Kontakt mit der Oberfläche steht, entspricht. Die mathematische Beziehung zwischen dem Sondenab-

stand von der Oberfläche und den Messdaten kann bereits für die Sonde auf einer bestimmten Oberfläche wie z. B. einem Polynom dritter Ordnung bekannt sein. Wenn die mathematische Beziehung nicht bekannt ist, muss diese mathematische Beziehung als ein erster Schritt aus den Daten bestimmt werden, bevor die Extrapolation durchgeführt werden kann.

[0055] Eine zweite Ausführungsform der Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf **Fig. 6** beschrieben, die einen Graph veranschaulicht, in dem Sondenausgänge gegen eine CMM-Position aufgetragen sind.

[0056] In diesem Verfahren werden Oberflächenmessungen von nur einer feststehenden Position der Sonde herangezogen, wenn sich die Sonde nahe an der Oberfläche des zu messenden Gegenstandes befindet. Als ein erster Schritt wird die ungefähre Position der Oberfläche bestimmt, um zuzulassen, dass die Sondenposition für die stationäre Messung nahe an der Oberfläche positioniert ist.

[0057] Die ungefähre Position der Oberfläche kann durch Vornehmen einer einzigen Messung **20**, ohne das Erfordernis, dass die Sonde feststehend ist, bestimmt werden. Diese Messung ergibt eine ungefähre Oberflächenmessung innerhalb eines Fehlerbands, d. h. eines Bandes möglicher CMM-Positionen, die einer Taststiftauslenkung von null oder einer Sondenkraft von null entsprechen.

[0058] Dann wird die Sonde an einer Position **24** innerhalb, aber in der Nähe der Oberfläche stationär gehalten, wobei unter Verwendung der ungefähren Position des Taststifts bestimmt wird, wo die Sonde angeordnet werden soll. Wie zuvor können mehrere Messungen an dieser Position vorgenommen und gemittelt werden. Die Oberflächenmessung, die bestimmt wird, wenn die Sonde feststehend ist, erzeugt eine genaue Oberflächenmessung.

[0059] Wie in **Fig. 6** veranschaulicht, wird die Sonde in Richtung der Oberfläche bewegt, während Daten kontinuierlich gesammelt werden. Wenn die Sonde einen Auslenkungsschwellenwert **20**, z. B. 300 µm, durchläuft, werden die Sonden- und Vorrichtungsdaten gespeichert. Diese gespeicherten Daten **22** werden verwendet, um eine ungefähre Oberflächenposition **24** zu bestimmen.

[0060] Die Steigung der Linie **21** wird aus der Verstärkung der Sonde, die aus der Kalibrierung der Sonde bekannt ist, bestimmt.

[0061] Die Sonde wird dann in Richtung zu dieser ungefähren Oberflächenposition, z. B. einer Position **26**, die sich 20 µm in der Oberfläche befindet, bewegt. An dieser Position **26** wird eine Messung vorgenommen, während die Sonde feststehend relativ zu der Oberfläche ist. Wie zuvor können an dieser Stelle

mehrere Oberflächenmessungen vorgenommen und gemittelt werden. Die Messdaten **28**, die erzeugt werden, während die Sonde feststehend ist, ergeben eine genaue Oberflächenposition **30**. Wie zuvor wird der Anstieg der Linie **29** aus der Verstärkung der Sonde berechnet. Fehler bei der Verstärkungskalibration können z. B. auf Grund verschiedener Werte der Verstärkung an verschiedenen Positionen des Arbeitsvolumens der Vorrichtung auftreten. Dieses Verfahren, eine Messung nahe an der Oberfläche vorzunehmen, besitzt den Vorteil, dass, wenn ein Fehler in der Verstärkung und somit dem Anstieg **29** vorhanden ist, der resultierende Messfehler minimiert ist.

[0062] Die Differenz zwischen der ungefähren Oberflächenposition **24** und der genauen Oberflächenposition **30** ergibt den dynamischen Fehler des Systems **32**.

[0063] Eine genauere Positionsmessung wird vorgenommen, wenn der erste Schritt des Bestimmens der ungefähren Oberflächenposition umfasst, dass zwei Oberflächenmessungen bei verschiedenen Sondenaußenlenkungen, Sondenkräften oder Sondenabständen vorgenommen werden, wobei jede vorgenommen wird, während die Sonde feststehend ist. Die ungefähre Oberflächenposition wird durch Extrapolieren durch diese beiden Messpunkte bestimmt. Diese Extrapolation bestimmt auch den Anstieg der Linie **21** und somit die Verstärkung der Sonde genauer. Diese Verstärkung wird verwendet, um die Oberflächenposition aus der Messung nahe an der Oberfläche zu bestimmen. Daher sind Messfehler auf Grund von Fehlern in der Verstärkung der Sonde eliminiert.

[0064] Wie zuvor wird die Sonde dann an einer Position innerhalb, aber nahe der in dem vorhergehenden Schritt bestimmten ungefähren Position gehalten.

[0065] Das Verfahren dieser zweiten Ausführungsform ist für aktive und passive Kontaktsonden geeignet.

[0066] Das Verfahren dieser zweiten Ausführungsform ist auch für kontaktlose Sonden geeignet. In diesem Fall wird eine erste Messung kontaktlos bei einem ersten Abstand von der Oberfläche vorgenommen, um eine ungefähre Oberflächenmessung zu bestimmen. Dann wird die kontaktlose Sonde in einem optimalen Abstand von der Oberfläche, wie durch die ungefähre Oberflächenposition bestimmt, bewegt. Für manche Sonden wie z. B. eine Kapazitätssonde kann dies eine Position nahe an der Oberfläche sein. Bei anderen Arten von Sonden wie z. B. optischen Sonden, kann dies ein „Sweet-Spot (= optimaler Punkt)“-Abstand weiter weg von der Oberfläche sein. In dieser zweiten Position wird eine Oberflächenmessung vorgenommen, während die Sonde feststehend ist, und es können viele Ablesungen vor-

genommen und gemittelt werden, um eine genaue Oberflächenposition zu bestimmen.

[0067] Eine dritte Ausführungsform der Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die **Fig. 7** und **Fig. 8** beschrieben. **Fig. 7** veranschaulicht einen Graph, in dem ein Sondenausgang gegen eine CMM-Position aufgetragen ist, und **Fig. 8** ist ein Flussdiagramm, welches das Verfahren veranschaulicht.

[0068] Wie in vorherigen Ausführungsformen, wird ein Werkstück auf dem Tisch einer CMM angeordnet und eine Messsonde wird an der Pinole der CMM befestigt. Die Sonde wird in Richtung der Oberfläche eines Werkstücks bewegt. Wenn der Sondentaststift in Kontakt mit dem Werkstück gelangt, setzt die Sonde ihre Bewegung fort, bis eine vordefinierte Auslenkung erreicht ist. Während der Bewegung der Sonde werden die Sondenausgänge an einer Position gespeichert, wenn der Sondentaststift in Kontakt mit der Oberfläche steht, und eine erste Messung **40** wird vorgenommen, wobei die erste Messung mit einer konstanten Geschwindigkeit und einer bekannten vordefinierten Auslenkung (z. B. 0,3 mm Auslenkung) vorgenommen wird.

[0069] In einem zweiten Schritt wird die Sonde von der Oberfläche des Werkstücks weg umgekehrt. Wenn sich die Sonde bei derselben Auslenkung wie bei der ersten Messung (z. B. 0,3 mm) befindet, wird die Sonde gestoppt und eine zweite Oberflächenmessung **42** wird vorgenommen, während die Sonde feststehend ist.

[0070] Diese zweite Messung besitzt einen dynamischen Fehler von null, da die Sonde feststehend ist. Allerdings ist ein statischer Fehler infolge der Sondierungskraft vorhanden.

[0071] In **Fig. 7** ist die Kurve **52** die Verstärkung der Sonde, die aus einer Kalibration hergeleitet wurde. Diese Kurve setzt eine unendliche Steifigkeit des Systems voraus. Wenn jedoch die Daten aus einer zweiten Messung **42** eine Kurve **54** parallel zu der Kurve **52** nach unten extrapoliert werden, werden die resultierenden Oberflächendaten auf Grund des statischen Fehlers es einen Messfehler aufweisen.

[0072] Da die erste und die zweite Messung **40**, **42** bei derselben Sondenauslenkung vorgenommen wurden, werden sie dieselbe Sondierungskraft und somit denselben statischen Fehler erfahren. Die Differenz zwischen den Messungen ist der dynamische Fehler e_d auf Grund der Geschwindigkeit, mit der die erste Messung vorgenommen wurde. Der dynamische Fehler kann somit aus der Differenz zwischen der ersten und der zweiten Messung **40**, **42** bestimmt werden **44**.

[0073] Die Messdaten aus der zweiten Messung **42** (oder alternativ und mehr angenähert der ersten Messung **40**) können verwendet werden, um sich der Oberfläche des Werkstücks anzunähern. Dies erlaubt es, die Position für die dritte Messung zu wählen, die sich bei einer geringen Auslenkung befinden wird.

[0074] Die Sonde wird dann von dem Werkstück weg bewegt und eine dritte Messung **46** wird mit einer konstanten Geschwindigkeit und mit einer geringen Auslenkung vorgenommen. Da diese Sonde mit einer geringen Sondenauslenkung (z. B. 10 μm) herangezogen wird, werden minimale statische Fehler auf Grund der Sondierungskraft vorhanden sein. Allerdings werden infolgedessen, dass sich die Sonde mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt, dynamische Fehler vorhanden sein. Der dynamische Fehler, der zuvor bestimmt wurde **44**, kann von den Messdaten subtrahiert werden. Somit wird der dynamische Fehler entfernt.

[0075] Die korrigierte Oberflächenposition **50** wurde daher sowohl im Hinblick auf statische als auch auf dynamische Fehler korrigiert.

[0076] Es ist nicht notwendig, die erste und die zweite Messung mit derselben Geschwindigkeit vorzunehmen, vorausgesetzt die Beziehung zwischen dem dynamischen Fehler und der Geschwindigkeit ist bekannt. Für die meisten Systeme ist die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und dem dynamischen Fehler linear und kann daher ohne einen zusätzlichen Schritt hergeleitet werden. Für Systeme mit einer nicht linearen Beziehung kann diese Beziehung bestimmt werden, indem mehrere Messungen mit derselben Auslenkung wie, aber einer anderen Geschwindigkeit als die erste Messung vorgenommen werden.

[0077] Die Kurve **56**, die die tatsächliche Verstärkung der Sonde darstellt, unterscheidet sich daher von der von der Kalibration hergeleiteten Kurve **52**, da sie statistische Fehler berücksichtigt. Die Kurve **57** berücksichtigt sowohl statische als auch dynamische Fehler.

[0078] Wie die anderen Ausführungsformen ist auch diese zur Verwendung mit einer aktiven Sonde geeignet. In diesem Fall wird die erste und die zweite Messung mit derselben Sondenkraft vorgenommen und die dritte Messung wird mit einer Sondenkraft vorgenommen, die im Vergleich zu der ersten und der zweiten Messung gering ist.

[0079] In all diesen Ausführungsformen können die Berechnungen durch einen Controller ausgeführt werden. Dieser kann den Vorrichtungscontroller oder einen separaten Computer (z. B. eine PC) umfassen.

[0080] Die oben stehenden Ausführungsformen beschreiben eine an einer dreiachsigen Vorrichtung befestigte Sonde, wobei eine Bewegung der Vorrichtung gestoppt wird, um die Sonde feststehend zu machen. Die Sonde kann jedoch auch an anderen Typen von Vorrichtungen befestigt sein. Zum Beispiel kann die Sonde an einer Drehachsen-, einer Mehrachsenvorrichtung oder an einer fünf- oder sechsachsigen Werkzeugmaschine befestigt sein.

[0081] Die Sonde kann an einem gelenkigen Sondenkopf befestigt sein, der eine Drehbewegung um zwei Achsen herum aufweist. Solch ein gelenkiger Sondenkopf ist in dem europäischen Patent EP 0 402 440 B1 beschrieben, das einen Sondenkopf beschreibt, der zulässt, dass die Sonde um erste und zweite, vorzugsweise orthogonale Achsen gedreht werden kann. Diese Bewegung wird durch Motoren gesteuert und über in dem Sondenkopf vorgesehene Messaufnehmer gemessen. Der Sondenkopf kann wiederum auf einer Vorrichtung mit z. B. linearen Achsen befestigt sein. Der Sondenkopf ist nicht unbedingt mit der Vorrichtung gekoppelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang bereitzustellen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondenaustritte bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei das Verfahren die folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge aufweist:

(a) Bestimmen der ungefähren Position eines oder mehrerer Punkte auf der Oberfläche des Artefakts;
 (b) Verwenden der in Schritt (a) bestimmten ungefähren Position, um zumindest eines von der Sonde und dem Artefakt in eine oder mehrere gewünschte relative Positionen der Sonde und der Oberfläche zu fahren und Vornehmen einer oder mehrerer Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts an der Position, wobei keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, während die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden; und
 (c) Verwenden der Daten aus Schritt (b), um eine Position des einen oder der mehreren Punkte auf der Oberfläche zu bestimmen, in der der dynamische Fehler im Wesentlichen reduziert ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die ungefähre Position eines Punktes auf der Oberfläche bestimmt wird, indem eine oder mehrere Ablesungen mit einer Messsonde herangezogen wird/werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die eine oder mehreren Ablesungen herangezogen wird/werden, während eine relative Bewegung zwischen der Sonde und der Oberfläche vorhanden ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die eine oder mehreren Ablesungen herangezogen wird/werden, während die Sonde feststehend relativ zu der Oberfläche ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2–4, wobei die Messung in Schritt (b) vorgenommen wird, während sich die Sonde an einer Position befindet, die sich näher an der Oberfläche befindet als bei der Messung in Schritt (a).

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Sonde einen auslenkbaren Taststift aufweist und wobei die Oberflächenmessung in Schritt (b) bei einer geringen Taststiftauslenkung vorgenommen wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–5, wobei die Sonde einen auslenkbaren Taststift aufweist und wobei die Oberflächenmessung in Schritt (b) bei einer geringen Sondenkraft vorgenommen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–5, wobei die Sonde eine kontaktlose Sonde umfasst und wobei die Oberflächenmessung in Schritt (b) bei einem vorteilhaften Abstand vorgenommen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–8, wobei der Schritt des Vornehmens einer oder mehrerer Datenablesungen, während keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, umfasst, dass viele Datenablesungen aufgezeichnet werden und ein Mittelwert der Datenablesungen gebildet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2–9, wobei die ungefähre Position eines Punktes auf der Oberfläche bestimmt wird, indem zwei oder mehrere Ablesungen mit einer Messsonde herangezogen werden, wobei die Ablesungen bei verschiedenen Taststiftauslenkungen, Sondenkräften oder Sondenabständen vorgenommen werden und die Daten, die sich auf die zwei oder mehreren Ablesungen beziehen, extrapoliert werden, um die ungefähre Position zu bestimmen.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt c) umfasst, dass Daten aus zwei oder mehreren Oberflächenmessungen extrapoliert werden, wobei die zwei oder mehreren Oberflächenpositionen verschiedene Taststiftauslenkungen, Sondenkräfte oder Sondenabstände aufweisen.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei zumindest eine der zwei oder mehreren Oberflächenpositionen aus Schritt a) beschafft wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10–12, wobei die Sonde eine Linearsonde ist und die Messdaten von zwei oder mehreren Positionen beschafft werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10–12, wobei die Sonde eine nicht lineare Sonde ist und wobei die Messdaten von drei oder mehreren Positionen beschafft werden.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Bestimmens der ungefähren Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts in Schritt (a) ausgeführt wird, indem eine oder mehrere Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts vorgenommen wird/werden, wobei die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden, während eine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorhanden ist; und wobei die eine oder mehreren Messungen in Schritt a) und Schritt b) dieselbe/denselben Sondenauslenkung, Sondenkraft oder Abstand aufweisen, und wobei die Differenz der Messungen in den Schritten a) und b) zulässt, dass der dynamische Fehler bestimmt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Verfahren den Schritt umfasst, dass eine oder mehrere Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden, wobei die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden, wenn eine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorhanden ist, und wobei die Sondenauslenkung oder -kraft geringer ist als in den Schritten a) und b) und wobei die eine oder mehreren Oberflächenmessungen, die bei der geringeren Sondenauslenkung oder -kraft vorgenommen wird/werden, um den dynamischen Fehler korrigiert wird/werden.

17. Verfahren zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang zu erzeugen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondenaustritte bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei das Verfahren die folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge aufweist:

(a) Vornehmen von zwei oder mehreren Oberflächenmessungen eines Punktes auf der Oberfläche des

Artefakts, wobei die Messungen vorgenommen werden, während keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, und jede Messung ein Aufzeichnen vieler Datenablesungen und ein Bilden eines Mittelwerts der Datenablesungen umfasst, wobei die zwei oder mehreren Oberflächenmessungen bei verschiedenen Taststiftauslenkungen oder Sondenabständen gesammelt werden, (b) Extrapolieren der Messdaten bis zu denen, die der Position des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts entsprechen.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die Sonde einen auslenkbaren Taststift aufweist und wobei die Sonde verschiedene Taststiftauslenkungen an den mindestens zwei Positionen aufweist und wobei die Messdaten extrapoliert werden, sodass sie der Ruhelageposition des Taststiftes entsprechen.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17–18, wobei die Sonde eine kontaktlose Sonde umfasst, wobei sich die Sonde an mindestens zwei Positionen bei verschiedenen Abständen von der Oberfläche des Artefakts befindet, und wobei die Messdaten extrapoliert werden, um die Oberflächenposition zu bestimmen.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17–19, wobei die Sonde eine Linearsonde ist und die Messdaten von zwei oder mehr Positionen beschafft werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17–19, wobei die Sonde eine nicht lineare Sonde ist und wobei die Messdaten von drei oder mehr Positionen beschafft werden.

22. Verfahren zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang bereitzustellen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondenaustritte bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei das Verfahren die folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge aufweist:

(a) Vornehmen von zwei oder mehr Oberflächenmessungen eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die zwei oder mehreren Messungen dieselbe Sondenauslenkung oder Sondenkraft aufweisen und wobei eine oder mehrere Oberflächenmessungen mit einer relativen Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorgenommen wird/werden und eine oder mehr Oberflächenmessungen ohne eine relati-

ve Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorgenommen wird/werden;

(b) Bestimmen des dynamischen Fehlers aus Schritt (a);

(c) Vornehmen einer oder mehrerer Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die Messung mit einer geringeren Sondauslenkung oder Sondenkraft vorgenommen wird als die Messungen in Schritt (a) und wobei die Messung mit einer relativen Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorgenommen wird;

(d) Korrigieren der einen oder mehreren Oberflächenmessungen von Schritt (c) um den dynamischen Fehler, um dadurch eine Messung mit einem reduzierten statischen und dynamischen Fehler vorzusehen.

23. Vorrichtung zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang bereitzustellen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondausgänge bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei die Vorrichtung einen Controller zum Ausführen der folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge umfasst:

(a) Bestimmen der ungefähren Position eines oder mehrerer Punkte auf der Oberfläche des Artefakts;

(b) Verwenden der in Schritt (a) bestimmten ungefähren Position, um zumindest eines von der Sonde und dem Artefakt in eine oder mehrere gewünschte relative Positionen der Sonde und der Oberfläche zu fahren, und Vornehmen einer oder mehrerer Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts an der Position, wobei keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, während die eine oder mehreren Oberflächenmessungen vorgenommen wird/werden; und

(c) Verwenden der Daten aus Schritt (b), um eine Position des einen oder der mehreren Punkte auf der Oberfläche zu bestimmen, in der der dynamische Fehler im Wesentlichen reduziert ist.

24. Vorrichtung zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang zu erzeugen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondausgänge bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei die Vorrichtung einen Controller zum Ausführen der folgen-

den Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge umfasst:

(a) Vornehmen von zwei oder mehreren Oberflächenmessungen eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die Messungen vorgenommen werden, während keine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorhanden ist, und jede Messung ein Aufzeichnen vieler Datenablesungen und ein Bilden eines Mittelwerts der Datenablesungen umfasst, wobei die zwei oder mehreren Oberflächenmessungen bei verschiedenen Taststiftauslenkungen oder Sondenabständen gesammelt werden, (b) Extrapolieren der Messdaten bis zu denen, die der Position des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts entsprechen.

25. Vorrichtung zum Messen eines Artefakts unter Verwendung einer Vorrichtung, an der eine Messsonde für eine relative Bewegung in Bezug auf das Artefakt befestigt ist, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen Ausgang bereitzustellen, der die relative Position der Sonde anzeigt, wobei die Sonde mindestens eine Messeinrichtung aufweist, um einen oder mehrere Sondausgänge bereitzustellen, der/die in Kombination mit dem Vorrichtungsausgang die Position eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts anzeigt/en, wobei die Vorrichtung einen Controller zum Ausführen der folgenden Schritte in einer beliebigen geeigneten Reihenfolge umfasst:

(a) Vornehmen von zwei oder mehreren Oberflächenmessungen eines Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die zwei oder mehreren Messungen dieselbe/denselben Sondauslenkung oder Sondenkraft aufweisen und wobei eine oder mehrere Oberflächenmessungen mit einer relativen Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorgenommen wird/werden und eine oder mehrere Oberflächenmessungen ohne eine relative Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt vorgenommen wird/werden;

(b) Bestimmen des dynamischen Fehlers aus Schritt (a);

(c) Vornehmen einer oder mehrerer Oberflächenmessungen des Punktes auf der Oberfläche des Artefakts, wobei die Messung mit einer geringeren Sondauslenkung oder Sondenkraft vorgenommen wird als die Messungen in Schritt (a) und wobei die Messung mit einer relativen Bewegung zwischen der Sonde und dem Artefakt mit einer konstanten Geschwindigkeit vorgenommen wird.

(d) Korrigieren der einen oder mehreren Oberflächenmessungen von Schritt (c) um den dynamischen Fehler, um dadurch eine Messung mit einem reduzierten statischen und dynamischen Fehler vorzusehen.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

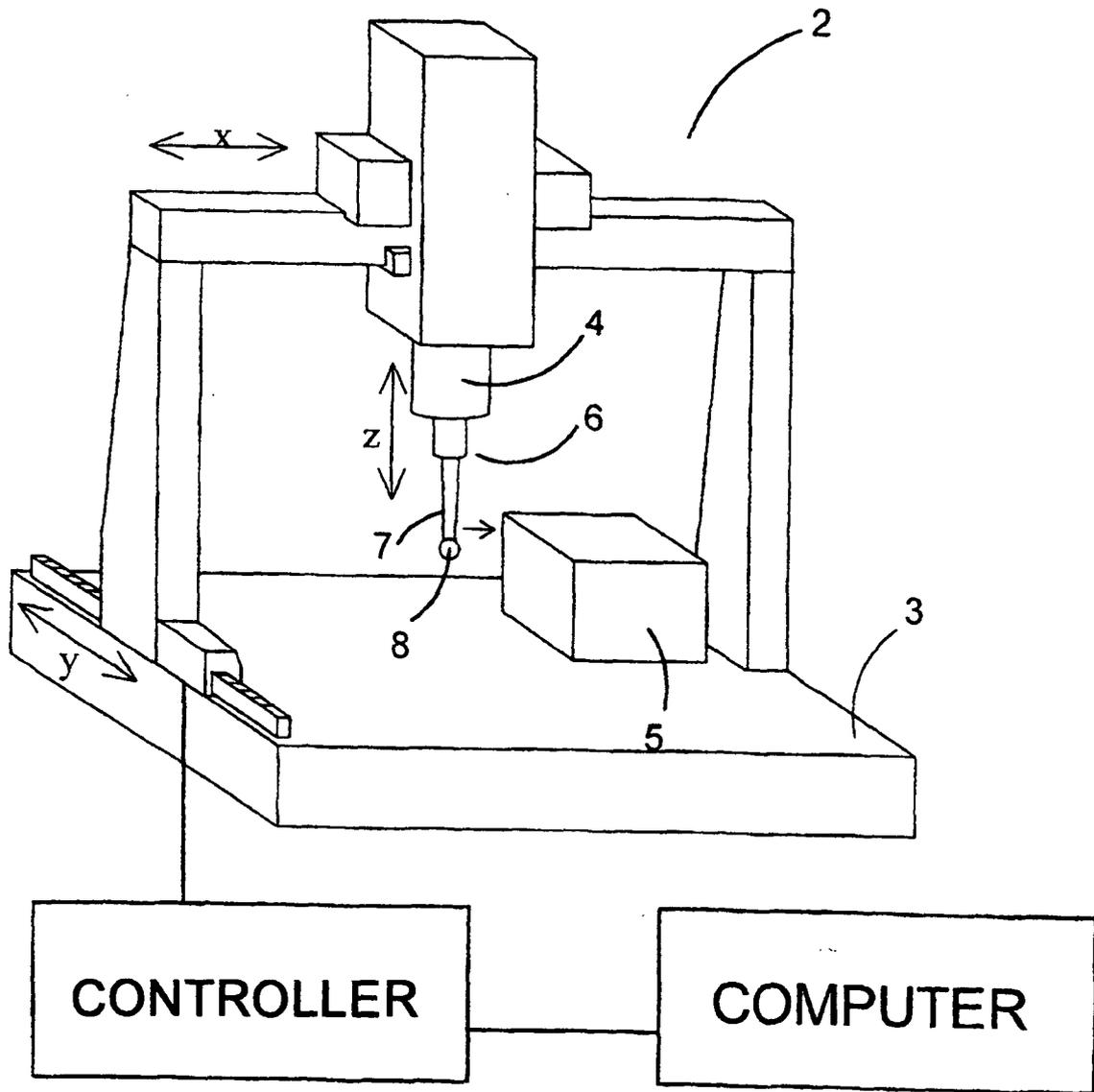


Fig 1

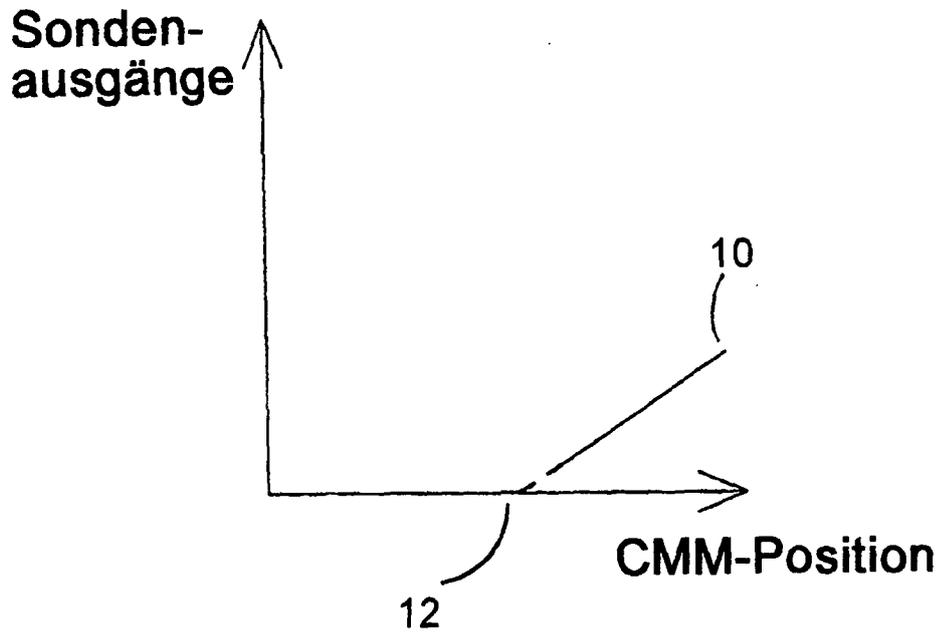


Fig 2
(STAND DER TECHNIK)

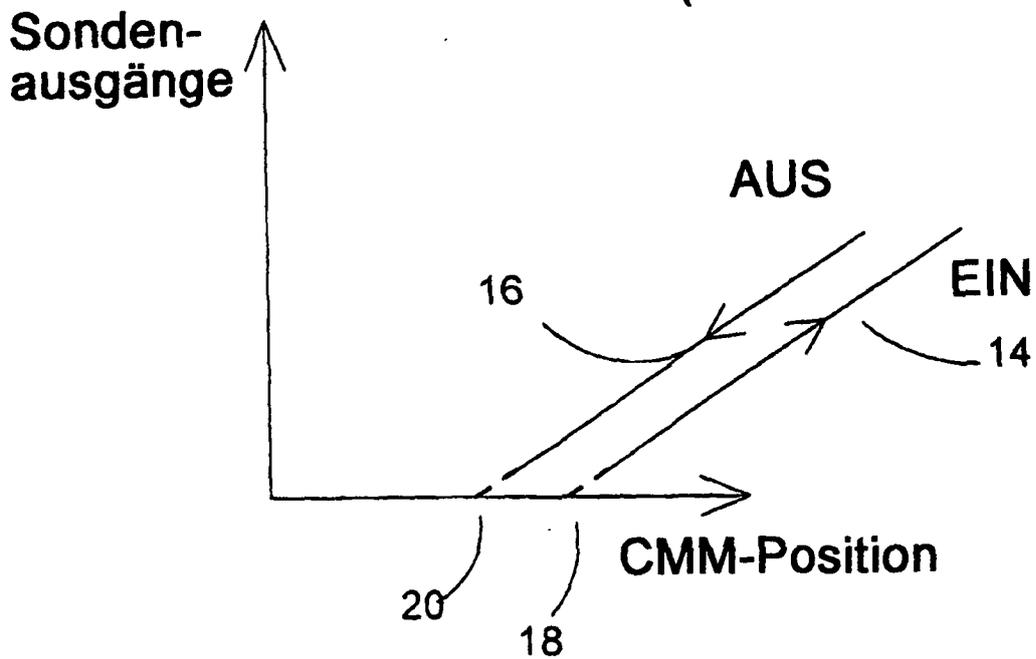


Fig 3

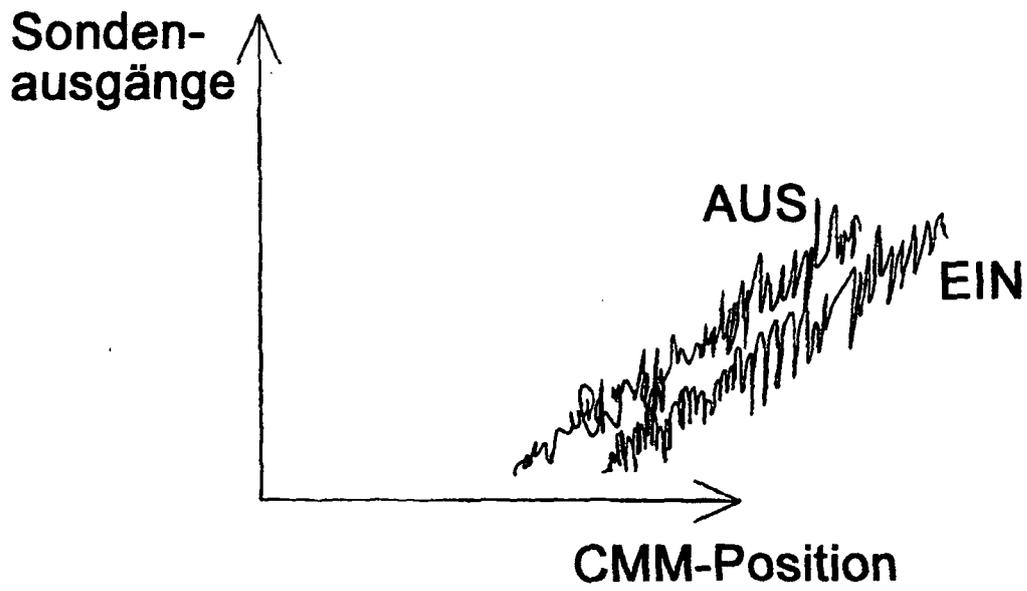


Fig 4

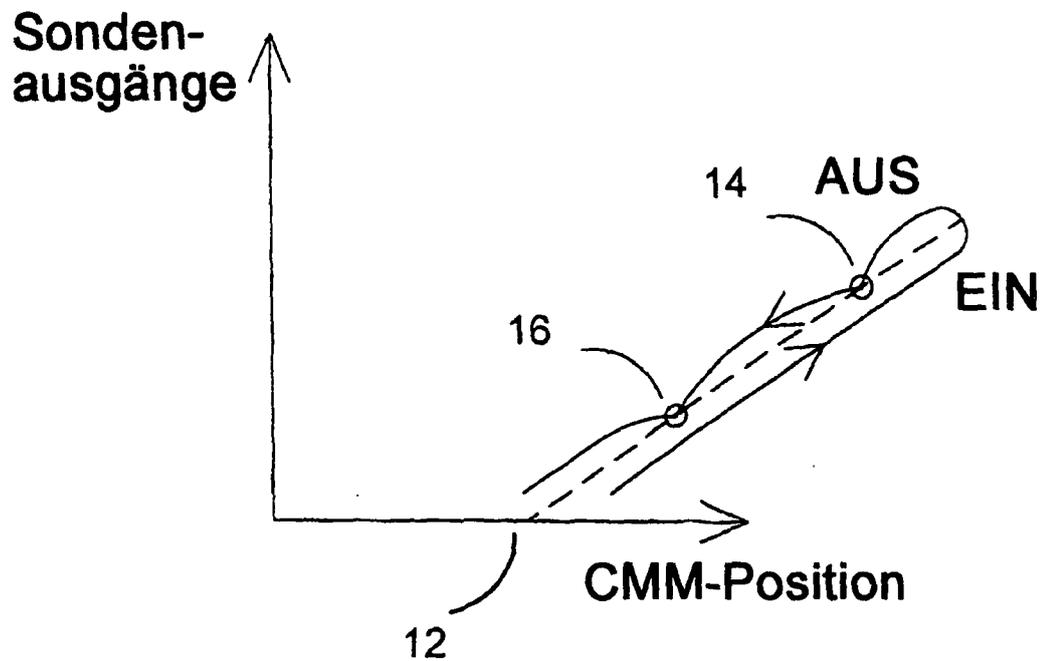


Fig 5

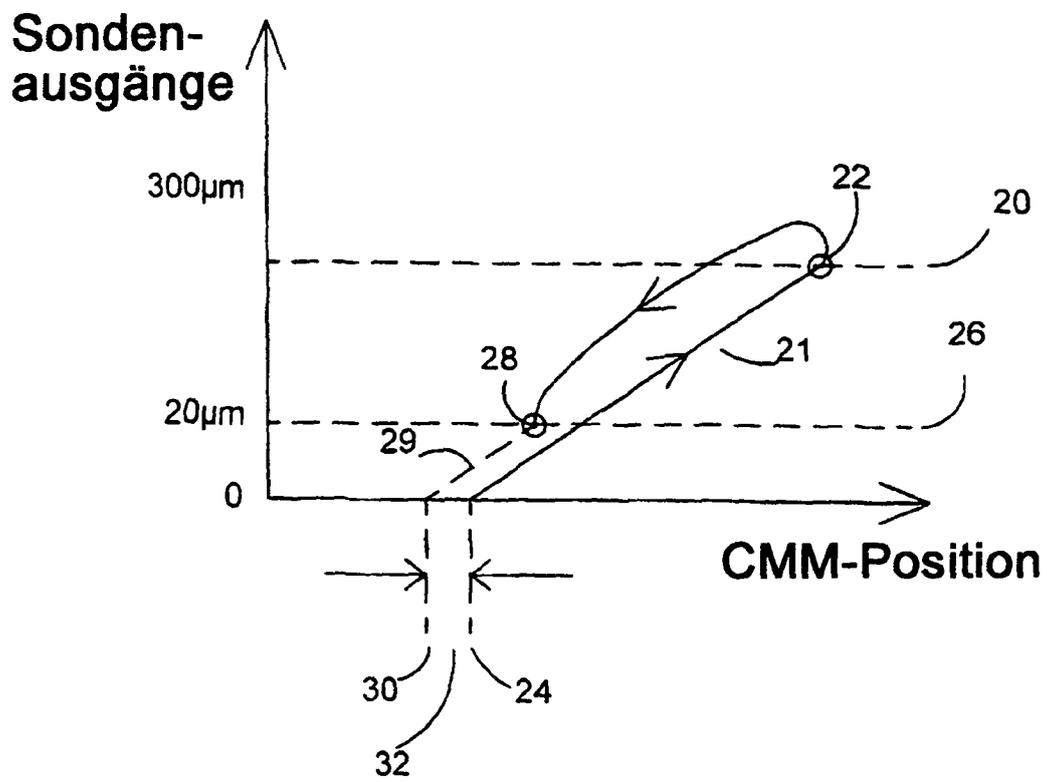


Fig 6

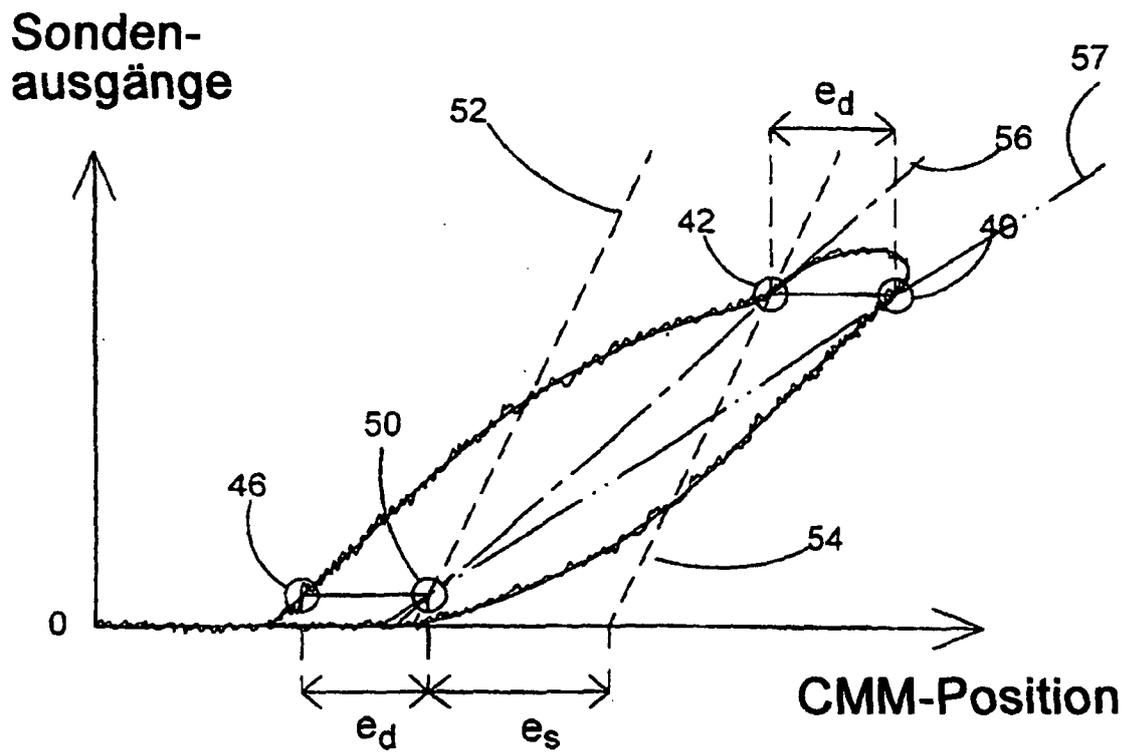


Fig 7

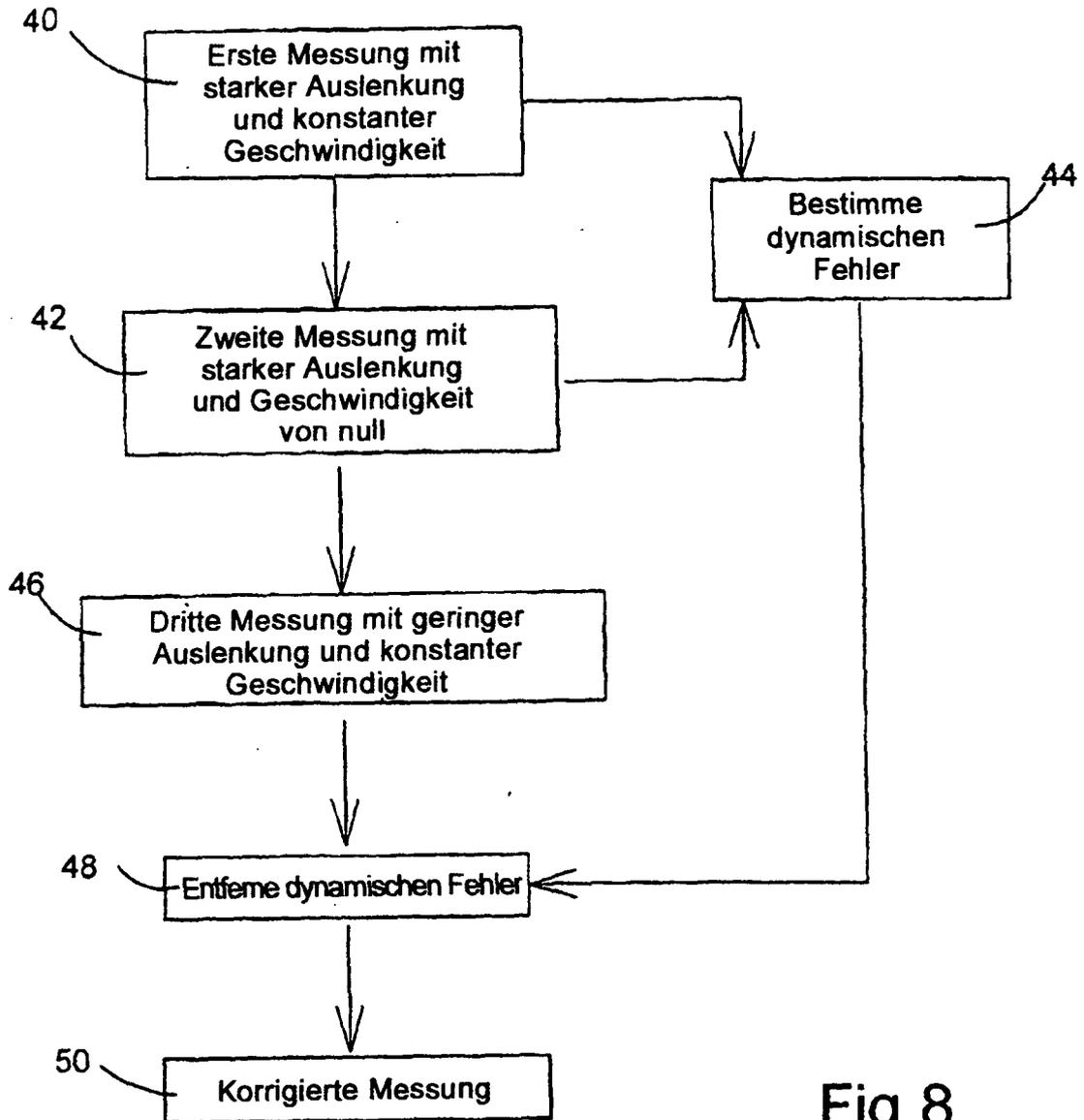


Fig 8