



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
 BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① **CH 679334 A5**

⑤ Int. Cl.⁵: **G 01 B 5/02**

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
 Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑲ Gesuchsnummer: 3301/89

⑦ Inhaber:
 Hans Rudolf Weber, Lausanne

⑳ Anmeldungsdatum: 11.09.1989

⑧ Erfinder:
 Weber, Hans Rudolf, Lausanne

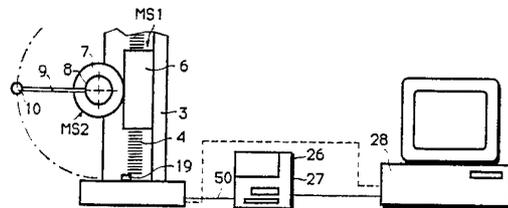
㉔ Patent erteilt: 31.01.1992

④ Patentschrift
 veröffentlicht: 31.01.1992

⑦ Vertreter:
 François W. Gasser, Bern

⑤ Vertikal/Horizontalmessgerät.

⑤ Es wird ein Messgerät vorgeschlagen, das verglichen mit herkömmlichen Höhenmessgeräten wesentlich mehr Messmöglichkeiten aufweist. Insbesondere ermöglicht es zusätzlich zu den Messungen in der Z-Achse Messungen in der Horizontalebene, die Vermessung schräg stehender prismatischer Körper, die Bestimmung von Neigungswinkeln und die Definition von Bohrungen und Zylindern durch drei oder mehr Punkte. Durch das Zusammenwirken von zwei Messsystemen (MS1, MS2) kann die bei einer Messung zu bewegend Masse sowie die erforderliche Auflagekraft der Messsonde (10) bedeutend reduziert werden, wodurch sich das Messgerät für automatisierte Messzyklen eignet. Auf einer Säule (3) aus vorteilhafterweise keramischem Werkstoff wird ein Schlitten (6) vorteilhafterweise mittels eines Magnetlagers verschiebbar positioniert und die Verschiebung mit einem Messsystem (MS1) gemessen. Die Verschiebung der Messsonde (10) gegenüber dem Schlitten (6) wird durch zumindest ein zweites Messsystem (MS2) gemessen. Die Signale beider und gegebenenfalls weiterer Messsysteme werden einem Rechner (26) zugeleitet, der sie nach vorbestimmten Kriterien individuell oder in Abhängigkeit voneinander auswertet. Über eine normierte Schnittstelle ist das Messgerät und/oder der Rechner (26) mit einem frei programmierbaren Rechner (28) oder Peripheriegeräten verbindbar.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Vertikal/Horizontalmessgerät gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Höhenmessgeräte, wie sie heute bekannt sind, dienen zur Messung von vertikalen Abständen zwischen Bohrungen, Wellen, Flächen, vertikalen Durchmessern von Bohrungen und Wellen, vertikalen Lageabweichungen, Geradheit, Mittenabstände, Höchst- und Tiefstpunkten von Werkstücken, oder allgemein zur Bestimmung der Koordinatenwerte von Punkten in der Z-Achse. Eine Drehung des Werkstückes um 90° und nochmalige Messung der gleichen Teile ermöglicht ausserdem Messungen in einer vertikalen Ebene Y; Z bezogen auf das Werkstück, und nach entsprechender Rechenarbeit die Darstellung der Messpunkte in kartesischen oder Polarkoordinaten.

Höhenmessgeräte bestehen im wesentlichen aus einer auf einer horizontalen Ebene manuell frei verschiebbaren vertikalen Säule, die als Massverkörperung einen Massstab sowie eine lineare Führung trägt, auf welcher ein Schlitten in vertikaler Richtung frei bewegbar ist. Mit dem Schlitten sind ein mit dem Massstab zusammenwirkendes Messsystem und eine Sonde zur Abtastung des Werkstückes direkt oder indirekt gekoppelt.

In einer ersten bekannten Ausführungsvariante eines solchen Höhenmessgerätes sind die Messsonde, das Messsystem und der Schlitten starr miteinander verbunden. Der Schlitten ist zwecks freier Positionierbarkeit in der Höhe der Säule mit einem Gegengewicht ausbalanciert, wodurch die bewegliche Masse des Schlittens verdoppelt wird. Zur Ausführung einer Messung müssen die Massen des Schlittens und des Gegengewichtes in Richtung des zu messenden Punktes beschleunigt und wieder abgebremst werden. Bei diesem bekannten Messgerät sitzt die Sonde an einer vom Schlitten abstehenden Stange, die durch die Messkraft auf Biegung beansprucht wird und deshalb recht grob dimensioniert sein muss. Um eine annehmbare Wiederholbarkeit der Messresultate zu erreichen, muss die Messkraft mindestens ein Vielfaches der totalen Reibungskräfte des Schlittens auf seiner vertikalen Führung betragen. Führungsfehler gehen, mit einem Faktor multipliziert, der vom Abstand der Messsonde von der Führung abhängt, in das Messresultat ein, da das Gerät nicht nach dem Prinzip von Abbe misst, d.h. dass sich der Messpunkt nicht in der Achse der Führung befindet.

In einer verbesserten zweiten Ausführungsvariante eines bekannten Höhenmessgerätes sind die Messsonde mit deren Gestänge und das Messsystem mit einer zusätzlichen Führung und einem zusätzlichen Gegengewicht versehen und als unabhängige Baugruppe ausgelegt und in ihrem Schwerpunkt drehbar mit dem Schlitten verbunden. Die bei einer Messung auf den Messpunkt hin zu bewegendes Masse kann durch diese Massnahme auf die Masse der Baugruppe reduziert werden, was jedoch nicht ausreicht, um die Sonde problemlos und ohne grösste Vorsicht auf ein hochpräzises Werkstück abzusetzen, wie dies wünschenswert ist. Die

noch verbleibende Reibung lässt ein Absenken der Messkraft auf einen Wert, wie er zur Messung relativ weicher Materialien, wie z.B. Kunststoffe, notwendig ist, nicht zu.

5 In einer ebenfalls bekannten dritten Ausführungsvariante eines Höhenmessgerätes kommt die sogenannte dynamische Antastung der Messstelle zur Anwendung. Die Sonde und ihr Gestänge sind zu einer Baugruppe zusammengefasst, die sich in vertikaler Richtung relativ zum Schlitten und dessen Messsystem in gewissen Grenzen bewegen kann. Bei Überfahren einer vorbestimmten Grenzmarke wird das in diesem Augenblick ermittelte Messresultat blockiert und angezeigt. Diese Methode stellt hohe Anforderungen an die Reaktionszeit bzw. die zulässige Verfahrensgeschwindigkeit des Messsystems, wenn sie wirklich dynamisch arbeiten soll. Der Dynamik stehen aber auch hier die immer noch grossen Massen von Sonde, Gestänge und deren Führungen im Wege, so dass die Methode eher als quasistatisch zu bezeichnen ist und auch hier eine sehr vorsichtige Antastung des Messpunktes Voraussetzung für eine genaue Messung ist. Zur Ermittlung von höchsten und tiefsten Punkten wird bei diesem bekannten Höhenmessgerät ein unabhängiger linearer Messtaster, verbunden mit einem Anzeigeinstrument, verwendet.

30 Weitere bekannte Ausführungen von Höhenmessgeräten verwenden als Sonde einen Hebelstaster, ähnlich einem Fühlhebelmesstaster, welcher bei Überfahren des Messpunktes ein Signal zur Übernahme und Anzeige des Messwertes abgibt.

35 Es sind auch Messtaster bekannt, die kleine Verschiebungen in einer beliebigen Richtung in eine Verschiebung in Richtung von deren Längsachse umsetzen und diese Verschiebung messen.

40 Unter Verwendung eines zusätzlichen Längenmesstasters mit getrenntem Messsystem, dessen Messbereich senkrecht zu demjenigen des Höhenmessgerätes steht, lassen sich bei gewissen der bekannten Höhenmessgeräte auch die Geradheit und Parallelität von im wesentlichen senkrechten Linien ermitteln.

45 Bei der Messung von Durchmessern von Bohrungen oder Zylindern ist es wichtig, dass deren Durchmesser erfasst wird und nicht eine Sehne. Zu diesem Zweck wird herkömmlicherweise die Messsonde samt dem oft mehr als 20 kg wiegenden Höhenmessgerät auf seiner Unterlage horizontal verschoben, bis die Messsonde den höchsten bzw. tiefsten Punkt der Bohrung oder des Zylinders durchfahren hat und elektronisch deren Messwerte festgehalten sind. Besonders problematisch wird dieses Unterfangen bei der Messung kleiner Bohrungen, deren Durchmesser nicht viel grösser ist als derjenige der Messsonde. In diesen Fällen besteht die Gefahr, dass die Messsonde, nachdem die gesamte Masse des Höhenmessgerätes in einer Richtung beschleunigt wurde, an der gegenüberliegenden Bohrungswand anschlägt und dass das Gestänge oder die Führung eine dauernde Deformation erleiden, oder dass das Werkstück beschädigt wird, oder dass der Nullpunkt verstellt und nachfolgend falsch gemessen wird. Diese Gefahr ist dann

am grössten, wenn aus irgend einem Grunde das Luftkissen, auf dem das gesamte Höhenmessgerät während der Verschiebung schwimmt, nicht richtig funktioniert, oder wenn die Beschaffenheit der Unterlage, resp. der horizontalen Bezugsfläche die Verwendung eines Luftkissens nicht zulässt.

Auf weitere Problematik, betriebliche und konstruktive Einzelheiten sowie die Ausgestaltung der Elektronik und der Software dieser bekannten Höhenmessgeräte wird hier nicht eingegangen, da dies im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung nicht relevant ist und sie den Fachleuten bekannt sind.

Ausgehend von den vorbeschriebenen Nachteilen bekannter Höhenmessgeräte liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Vertikal/Horizontalmessgerät zu schaffen, das sämtliche Messmöglichkeiten bisheriger Höhenmessgeräte aufweist und dessen mit der Messsonde verbundene und an den Messpunkt zu bewegende Baugruppe mit einem Minimum von Masse behaftet ist, derart, dass dessen Messsonde mit nahezu beliebig kleiner Kraft an einem Messpunkt aufliegen kann. Der Schlitten soll zudem genauer geführt werden als bisher üblich und die mit ihm zusammenhängende bewegliche Masse soll kleiner sein als bei den bekannten Höhenmessgeräten. Weiter soll das erfindungsgemässe Vertikal/Horizontalmessgerät zusätzlich zu den heute verfügbaren Messmöglichkeiten weitere Messmöglichkeiten eröffnen, insbesondere Messungen in einer Horizontalebene, die Vermessung schräg stehender prismatischer Körper, die Bestimmung von Neigungswinkeln sowie die Definition von Bohrungen und Zylindern durch drei oder mehr Punkte ermöglichen.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe durch ein Vertikal/Horizontalmessgerät gelöst, wie es im Patentanspruch 1 definiert ist.

Die neuen Eigenschaften und konstruktiven Lösungen des erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes einzeln oder gesamthaft betrachtet sowie weitere, aus der folgenden Beschreibung hervorgehende, prädestinieren das Gerät zur Automatisierung und damit zur Schaffung eines Vertikal/Horizontal-Mess-Roboters. Durch einen modularen Aufbau des erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes kann besser als mit herkömmlichen Höhenmessgeräten auf verschiedenste Anforderungen und Wünsche der Anwender eingegangen werden und gewisse Module sind auch auf anderen Messmaschinen verwendbar.

Bei den hier interessierenden Messgeräten handelt es sich um solche, bei denen auf einer horizontalen Basisplatte, die vorteilhafterweise mit Mitteln zur Erzeugung eines Luftkissens zwecks leichter Verschiebbarkeit auf einer horizontalen Bezugsebene ausgerüstet ist, senkrecht dazu eine vertikale Säule aufgesetzt ist. Parallel mit der Säule verläuft ein maschinell oder manuell lesbarer Massstab, der inkremental oder absolut kodiert ist und der optisch, kapazitiv, induktiv, magnetisch oder anders abgetastet wird. Als Massstab kommt auch ein Laserstrahl, der mit einem Interferometer zusammenwirkt, in Frage. Die Säule enthält oder ist im wesentlichen eine genaue lineare Führung, an die

hohe Anforderungen in Bezug auf Geradheit und Biegesteifigkeit gestellt sind.

Da beim normalen Betrieb des erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes dieses an das zu vermessende Werkstück herangeführt, also beschleunigt und über eine kurze Strecke wieder abgebremst werden muss, ist es von Bedeutung, die gesamte Masse des Gerätes möglichst gering zu halten. Dementsprechend ist es wichtig, für die Säule ein Material und einen Querschnitt zu wählen, die das bestmögliche Verhältnis von Gewicht und Biegesteifigkeit ergeben und eine genaue Führung des Schlittens ermöglichen. Unter den heute verfügbaren Materialien fällt die Wahl vorzugsweise auf keramische Werkstoffe wie Aluminiumoxyd, Siliziumkarbid, Siliziumnitrid, Zirkonoxid, Titandiborid, Bor- karbid, Aluminiumnitrid, whiskerverstärkte Oxyde, sowie weitere und teilweise unter Markennamen erhältliche keramische Werkstoffe, ist doch deren Verhältnis von Elastizitätsmodul zu spezifischem Gewicht um mindestens einen Faktor drei höher als dasjenige von Konstruktionsstahl. Ebenso eignen sich keramische Werkstoffe bestens als Führung, da sie gefräst, geschliffen und hochgenau geläpft werden können, nicht hygroskopisch, korrosionsresistent, abriebfest und zeitlich dimensionsstabil sind. Ihr linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient liegt tiefer als bei Stahl. Diesem Umstand kann durch konstruktive Massnahmen Rechnung getragen werden, etwa durch Verwendung von Stahl als Basismaterial für den Massstab und Befestigung desselben nur an seinem unteren Ende, oder durch Messung der Säulentemperatur und entsprechender rechnerischer Korrektur des Messresultates. Die Kriterien Gewicht, Biegesteifigkeit und leichte Bearbeitbarkeit führen vorteilhafterweise zu einer Säule mit L-Profil. Auch ein T- oder U-Profil, oder Varianten davon, eignen sich unter diesem Aspekt als Querschnitt für die Säule.

Das vorgeschlagene L-Profil oder Varianten davon, in Zusammenhang mit einer neuartigen Lagerung, hat den Vorteil, dass nur zwei Flächen plange- läpft werden müssen. An die bei keramischen Werkstoffen schwer herzustellende Parallelität und Masshaltigkeit der Abstände von Flächen wird keine Anforderung gestellt. Mit Ausnahme der beiden Laufbahnen und deren eine Längsbegrenzung können sämtliche Flächen grob- oder unbearbeitet bleiben. Die beiden Prismen, die das L-Profil bilden, werden vorzugsweise im Winkel verleimt und verschraubt.

Die Massverkörperung kann vorteilhafterweise direkt auf die Säule aufgebracht werden, derart, dass zumindest ein Teil der Keramiksäule das Substrat bildet. Im Falle eines Massstabes für kapazitive Ablesung wird auf dieses Substrat vorteilhafterweise eine elektrisch leitende Schicht aufgebracht, die nachträglich geätzt oder graviert wird. Es ist auch denkbar, das Substrat direkt selektiv mit dem Massstabmuster zu beschichten, so dass eine Ätzung oder Gravur entfällt. Gleichzeitig können leitende Zonen für eine optimale elektrostatische Abschirmung aufgebracht werden. Das Keramik-Substrat hat den Vorteil, dass es zeitlich dimensionsstabil ist, keine Feuchtigkeit aufnimmt, günstige

dielektrische Eigenschaften aufweist und sich dank seiner Oberflächenbeschaffenheit sehr gut für die Beschichtung mit leitenden Schichten eignet. Auf diese Weise lassen sich genauere und stabilere Massverkörperungen realisieren als dies mit den heute verwendeten Materialien der Fall ist. Die Integration der Massverkörperung in die Längsführung wirkt sich auf den Preis des Gerätes günstig aus, da als Massstab nicht ein zusätzliches Bauteil hergestellt und montiert werden muss.

Auf Grund der Tatsache, dass sich bei dieser Art von Messinstrumenten die Messsonde nicht in der Achse der Führung befinden kann, sondern immer in einer unter Umständen beachtlichen Distanz von dieser steht und Führungs- sowie Taumelfehler von Wälzlagern das Messresultat verfälschen können, wird an die Qualität der Führung höchste Ansprüche gestellt. Aus diesem Grunde ist es angezeigt, für den Schlitten eine Gleitführung zu verwenden. Bekannte Gleitführungen, kombiniert mit Luftkissen und Vakuum, ergeben gute Gleiteigenschaften, Steifigkeit und Haftung, benötigen jedoch für die Haftung einen ständigen Unterdruck und damit Energie. Im Bestreben, die Masse des Schlittens möglichst gering zu halten und zumindest im Stillstand keine Energie zu verbrauchen, wird ein Magnetlager vorgeschlagen, welches sich die hervorragenden Eigenschaften, insbesondere die hohe Energiedichte $(BH)_{max}$ moderner Permanentmagnet-Werkstoffe wie Kobalt-Seltene Erden, Samarium-Kobalt, Neodym-Eisen-Bor und andere unter den Markennamen Vacodym, Vacomax, Recoma, Refema und andere von verschiedenen Herstellern angebotenen Magneten zunutze macht. Parallel zu den Führungsflächen der Säule verlaufen Schienen aus Weicheisen, die mit der Säule verleimt, in Nuten eingelegt oder sonstwie verbunden sind und die Teil eines magnetischen Kreises bilden. Die Hochenergiemagnete, zusammen mit einer optimalen Feldlinienführung, ergeben einerseits eine einwandfreie Anpressung des Schlittens an die in einem Winkel zueinander stehenden Führungsflächen und andererseits einen hohen Verschiebungswiderstand, entsprechend der totalen Kraft der Magnete, multipliziert mit dem Reibungskoeffizienten zwischen Schlitten und Führung.

Der Reibungskoeffizient ist von Material und Beschaffenheit der Reibungsflächen abhängig. Diese können beispielsweise mit PTFE oder Keramik beschichtet werden, um den Reibungskoeffizienten herabzusetzen.

Während der Verschiebung des Schlittens kann ein Luftkissen aufgebaut werden, dessen Wirkung der Magnetkraft entgegengesetzt ist, so dass sich die Verschiebungskraft verringern und gegebenenfalls auf quasi Null reduzieren lässt. Anpresskraft und Verschiebungswiderstand lassen sich durch Verändern des magnetischen Widerstandes, am einfachsten der Luftspatllänge, in einem weiten Bereich einstellen.

Um eine schnelle, unproblematische und genaue Messung durchzuführen zu können, ist es, wie hier vor mehrfach erwähnt, von Bedeutung, dass die Messsonde und die damit wirkverbundenen Mess-

gerätkomponenten, mit einem Minimum von Masse behaftet sind.

Eine wesentliche Reduktion der Masse der auf einen Messpunkt hin zu beschleunigenden Messgerätkomponenten wird erfindungsgemäss durch die Verwendung von zwei getrennten Messsystemen erreicht, von denen eines die lineare Verschiebung des Schlittens auf der Säule und eines die Verschiebung der Messsonde gegenüber dem Schlitten misst. Durch die Addition des Messwertes der Verschiebung des Schlittens auf der Säule und dem Wert der Verschiebung der Messsonde gegenüber dem Schlitten, kann die Lage der Messsonde zur Anzeige gebracht werden.

Das mit der Messsonde wirkverbundene Messsystem muss spielfrei und leichtgängig gelagert sein. Es kann mit reibungsarmen Längsführungen, wie sie dem Fachmann bekannt sind, ausgerüstet sein, oder aus einem linearen Messtaster bestehen, der die Führung schon enthält. Es kann auch ein Taster verwendet werden, der in mehreren Freiheitsgraden ausgelenkt werden kann und der mehrere, vorteilhafterweise senkrecht zueinander stehende Messsysteme enthält.

Alle an einen Messtaster, hier bestehend im wesentlichen aus Messsonde, Schaft, Messsystem und dessen Lagerung gestellten Anforderungen in Bezug auf geringe Masse, geringe Reibung, Spielfreiheit und Genauigkeit werden erfindungsgemäss optimal erfüllt durch Verwendung eines in dieser Anwendung neuen Elementes, nämlich eines Drehgebers.

Der Drehgeber ist mit dem Schlitten wirkverbunden, so dass die Höhenkoordinate seiner zunächst horizontal stehenden Achse genau bekannt ist. Eine im wesentlichen kugel- oder kugelsegmentförmige Messsonde ist über einen Hebelarm bekannter Länge mit der Achse des Drehgebers verbunden.

Einer Eichlage des erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgeräts, bei welcher der Drehwinkel und die Achshöhe des Drehgebers eindeutig und leicht wiederholbar mechanisch einstellbar sind, können die dieser Lage entsprechenden Eichkoordinaten zugeordnet werden. Von diesen Eichkoordinaten aus können dann Achshöhe und Drehwinkel gemessen, der Hebelarm mit der entsprechenden geometrischen Funktion des Drehwinkels multipliziert und unter Berücksichtigung der Tasterkonstanten und der Antastrichtung, als Resultat die Höhenkoordinate des angetasteten Messpunktes angezeigt, bzw. registriert werden. Die Tasterkonstante ist definiert durch den gemessenen Wert der vertikalen Verschiebung nachdem die Messsonde einmal von oben und einmal von unten an eine horizontale Fläche konstanter Höhe herangeführt wird. Sie setzt sich im wesentlichen zusammen aus dem Durchmesser der Messsonde und der Durchbiegung des Messgestänges unter dem Einfluss von Messkraft und Gewicht. Sie ist eine additive Konstante, kann aber für den Drehgeber auch eine winkel- und richtungsabhängige Komponente enthalten. Sie wird vorteilhafterweise experimentell bestimmt und in dem erfindungsgemässen Vertikal-Höhenmessgerät zugeordneten Rechner abgespeichert.

Damit lassen sich auch eventuelle Linearitätsfehler des Drehgebers korrigieren.

Bei Verwendung eines Drehgebers ist die Empfindlichkeit der Messung umgekehrt proportional, der Messbereich proportional zum Hebelarm. Dies bedeutet, dass zur Messung grösserer Abstände, bei denen eine geringe Auflösung erforderlich ist, eine Messsonde mit längerem Hebelarm eingesetzt und ein entsprechend grösserer Messbereich überstrichen werden kann. Die Hebellänge wird vorteilhafterweise entweder als Konstante in den Rechner eingegeben oder experimentell ermittelt und abgespeichert. Durch eine Kodierung können verschiedene Hebelarmlängen automatisch erfasst werden.

Zur Messung an schwer zugänglichen Stellen eines Werkstückes kann erfindungsgemäss vorteilhaft ein Messkopf verwendet werden, dessen die Sonde tragender Hebelarm nicht direkt auf der Achse des Drehgebers befestigt ist, sondern auf einer eigenen Achse in vorbestimmter Distanz zu derjenigen des Drehgebers. Die Rotationsbewegung der Sonde wird in einem vorbestimmten Verhältnis mechanisch auf den Drehgeber übertragen. Die Neigung des Messkopfes kann eingestellt werden, so dass das Messgerät zusätzlich an Messbereich gewinnt.

Zusätzlich zu den Anwendungen eines Höhenmessgerätes nach dem Stand der Technik eröffnet das erfindungsgemässe Messgerät als weitere Möglichkeit die Messung von Horizontalabständen, wie dies in der Folge beschrieben ist.

Die Achse des Drehgebers liegt zunächst horizontal. Nach Umschaltung des Rechners von vertikaler auf horizontale Messung wird das Polarkoordinatensystem des Drehgebers rechnerisch um 90° gedreht, so dass als Drehwinkel von Ausgangslage und Endlage die Komplementwinkel zu 90° berücksichtigt werden. Die Höhenkoordinaten des Schlittens und die vom Drehgeber gelieferten Polarkoordinaten, bzw. deren horizontale Komponenten werden nun getrennt angezeigt und registriert. Entsprechend der in dieser Konfiguration beschränkten Winkelbewegung ist auch der horizontale Messbereich eingeschränkt, ist jedoch für viele Messungen völlig ausreichend. Auch die Parallelität und Geradheit in Bezug zur Achse der Säule einer im wesentlichen vertikalen Linie kann mit dieser Konfiguration ermittelt werden.

Durch Drehen um 90° des mit der Messsonde verbundenen Messsystems wird dessen gesamter Messbereich in der Horizontalebene ausgenutzt. Nun können horizontale Abstände, die begrenzt sind durch parallele vertikale Flächen, gemessen werden. Die Messung von Durchmesser an Wellen und Bohrungen mit vertikaler Achse, bei der Maximum- und Minimumwerte festgehalten werden müssen, bedingt eine Horizontalverschiebung längs einer geraden Linie. Dies kann dadurch erreicht werden, dass das Messgerät einem Lineal entlang verschoben wird, oder dass es auf eine horizontale Längsführung montiert wird. Diese Führung muss spielfrei und gerade sein, da Führungsfehler in das Messresultat eingehen. Die Ausrüstung der Horizontalführung mit einem zusätzlichen Messsystem,

das allein oder in Kombination mit dem die Messsonde tragenden Messsystem wirkt, eröffnet neue Messmöglichkeiten und erhöht im besonderen den Messbereich in der Horizontalebene.

5 Dank dem Umstand, dass kein Gegengewicht verwendet wird, dass Führung und Antrieb des Schlittens sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Lage und allen Zwischenlagen funktioniert, kann die Säule samt ihrer Basis um 90° umgelegt werden. Zu diesem Zwecke sind Abstützpunkte vorgesehen, welche die Säule parallel zu der horizontalen Bezugsebene halten. Es ist ebenfalls denkbar, die Säule um ihre nun horizontale Achse schwenkbar anzuordnen, um leichter oder überhaupt mit der Sonde in Einstiche einfahren zu können. Ein typisches Anwendungsbeispiel einer solchen Anordnung ist die Messung von Abständen an einer horizontalen Welle.

20 Wird nun das die Messsonde tragende Messsystem ebenfalls um 90° gedreht, so dass dessen Messebene in senkrechter Richtung aktiv ist, so können vertikale Abstände innerhalb des Messbereiches letzteren Messsystems erfasst werden. Bei Verwendung eines Tasters mit mindestens zwei Freiheitsgraden und entsprechenden Messbereichen, können horizontale und vertikale Abstände erfasst werden, ohne den Messkopf zu drehen. Das Messgerät kann auf seiner horizontalen Bezugsebene frei verschiebbar, gegebenenfalls mittels Luftlager, oder fix in Bezug zu einem Werkstück oder einer Werkstückaufnahme, sein. Es ist selbstverständlich, dass im Zusammenhang mit linearen Messsystemen auch die gebräuchlichen Messeinsätze wie Schneiden, Flächen, Konen, Spitzen, usw. verwendet werden können.

35 Das kombinierte Magnet-Luftlager, das einerseits im Stillstand eine gute Haftung aufweist, andererseits in der Bewegungsphase geringe Verschiebungskräfte erfordert, ermöglicht eine motorische Verschiebung des Schlittens auf seiner Führung mit geringem Energieaufwand, was insofern wichtig ist, als dass Höhenmessgeräte zumeist mit Akkumulatoren betrieben werden. Mit der Säule in vertikaler Position muss der Antrieb ausser der Verschiebungskraft auch das Gewicht des Schlittens überwinden und für diesen Fall dimensioniert werden. Mittels einer Feder oder ähnlichen Mitteln kann zumindest ein Teil des Gewichtes kompensiert werden, ohne die bewegliche Masse zu erhöhen, wie dies bei Verwendung eines Gegengewichtes der Fall wäre. Gleichzeitig mit dem Aufbau des Luftkissens wird der Vorschub aktiviert. Der Begriff «motorischer Antrieb» umfasst elektrische, pneumatische und hydraulische Elemente und rotative und translatorische, positions-, geschwindigkeits- und programmgesteuerte Methoden und Kombinationen davon.

50 Um einen gewissen Messkomfort zu ermöglichen, ist es vorteilhaft, den Bewegungsablauf der Messsonde zu automatisieren. Da sehr kleine Massen zu bewegen sind, ist dies mit geringem Energieaufwand und hoher Geschwindigkeit möglich. Im Falle eines Drehgebers können motorische Antriebselemente zum Anfahren vorgegebener Positionen gleichzeitig zur Erzeugung eines konstanten Drehmomentes verwendet werden. Zur Erzeugung einer konstan-

ten Messkraft, vorteilhafterweise senkrecht zur Tangente im Berührungspunkt der Messsonde, kann es angebracht sein, das Drehmoment winkelabhängig zu steuern. Das Stellglied kann auf der Achse des Drehgebers oder als integrierender Bestandteil desselben angeordnet sein. Die Verträglichkeit von kapazitiven und optischen Messsystemen mit Stellgliedern auf elektromagnetischer oder elektrodynamischer Basis ist problemlos.

Im Bestreben, die beweglichen Massen möglichst gering zu halten, können beim erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerät vorteilhafterweise alle Elemente, die für die Durchführung einer Messung nicht unbedingt zum Werkstück oder zur Messstelle bewegt werden müssen, zu einem räumlich vom Instrument getrennten Service-Block zusammengefasst werden. Dies hat den Vorteil, dass die Masse des Schlittens und des Vertikal/Horizontalmessgeräts selber kleiner wird, dass mehr Spielraum für die Wahl von Bauteilen, insbesondere Akkumulatoren, zur Verfügung steht, da deren Gewicht sich nicht mehr nachteilig auf das Messgerät an sich auswirkt, und dass die Anzeige- und Bedienungselemente dorthin gestellt werden können, wo sie am zweckmässigsten sind. Die Akkumulatoren können grösser dimensioniert werden, so dass zwischen zwei Aufladungen eine längere Betriebszeit des Vertikal/Horizontalmessgeräts zur Verfügung steht. Für eine einfache und schnelle Auswechselbarkeit können sie leicht zugänglich untergebracht werden.

Wenn der Schlitten, wie oben erwähnt, derart geführt und arretierbar ist, dass kein Gegengewicht notwendig ist, lässt sich jede Einsparung an Masse am Schlitten verglichen mit den herkömmlichen Höhenmessgeräten mit einem Faktor zwei multiplizieren, da bei diesen jede Masse des Schlittens durch eine entsprechende Masse am Gegengewicht kompensiert sein muss.

Ausser Anzeige, Tastatur und Akkumulatoren, kann der Service-Block auch eine Pumpe, einen Streifendrucker, eine Disketteneinheit und andere für den Betrieb des Vertikal/Horizontalmessgeräts oder der Auswertung der ermittelten Messwerte zweckmässige Bauteile enthalten. Selbstverständlich ist er vorteilhafterweise mit einer normierten Schnittstelle zum Anschluss an programmierbare Rechner und Peripheriegeräte versehen.

Anhand der folgenden Beschreibung, die sich auf die beiliegende Zeichnung abstützt, werden vorteilhafte Ausführungsvarianten des erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes sowie gewisse Anwendungen davon, erläutert. Dabei ist zu beachten, dass die Zeichnung ohne Rücksicht auf notwendige, dem Fachmann vertraute konstruktive Details lediglich schematische und prinzipielle Darstellungen dieser Ausführungsvarianten wiedergibt.

Fig. 1a zeigt eine Seitenansicht einer vorteilhaftesten ersten Ausführungsvariante der Erfindung mit einem rotativen Messsystem mit horizontaler Drehachse auf einem vertikal verschiebbaren Schlitten in zwei Messstellungen,

Fig. 1b zeigt das Vertikal/Horizontalmessgerät

nach Fig. 1a in teilweisem Schnitt von oben gesehen,

Fig. 2a und 2b zeigen einen Teil der Säule des erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes gemäss den Fig. 1a und 1b, wobei die Drehachse des rotativen Messsystems parallel zu dem vertikal verschiebbaren Schlitten steht, von der Seite, resp. in teilweisem Schnitt von oben gesehen,

Fig. 3 und 4 zeigen eine erweiterte zweite Ausführungsvariante des Messgerätes gemäss den Fig. 1 und 2, bei der das rotative Messsystem in einer Ebene senkrecht zur Verschiebungsrichtung des Schlittens auf der Säule linear verschiebbar ist,

Fig. 5 und 6 veranschaulichen eine erweiterte dritte Ausführungsvariante der Erfindung, bei der das Messsystem sowohl mit vertikaler als auch mit horizontaler Drehachse um eine zweite Drehachse verschwenkbar ist,

Fig. 7 zeigt ein erfindungsgemässes Vertikal/Horizontalmessgerät gemäss einer beliebigen der vorgehenden Ausführungsvarianten mit einem abgewinkelten Messtaster,

Fig. 8a zeigt eine Anwendungsmöglichkeit eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes gemäss den Fig. 3 und 4,

Fig. 8b zeigt eine Anwendungsmöglichkeit eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes gemäss beliebigen vorangehenden Figuren,

Fig. 9a, 9b und 9c zeigen eine besondere Ausführungsvariante eines rotativen Messsystems wie es in jeder der vorerwähnten Ausführungsvarianten eines erfindungsgemässen Messgerätes verwendet werden kann,

Fig. 10 zeigt eine nochmals erweiterte vierte Ausführungsvariante der Erfindung mit zwei rotativen Messsystemen, deren Drehachsen rechtwinklig zueinander stehen,

Fig. 11a und 11b zeigen eine konstruktive Erweiterung, die mit jeder der vorbeschriebenen Ausführungsvarianten eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes verwendet werden kann,

Fig. 12a, 12b und 12c zeigen einen Teil einer fünften Ausführungsvariante der Erfindung mit einem linearen auf dem Schlitten sitzenden Messsystem,

Fig. 13 zeigt die Vermessung eines Profiles eines Werkstückes in schematischer Darstellung,

Fig. 14 veranschaulicht ein Messgerät, z.B. nach Fig. 1, mit seinem zugeordneten Service-Block, das mit einem Computer verbunden ist,

Fig. 15a, 15b und 15c zeigen weitere Anwendungsmöglichkeiten der erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgeräte mit rotativem Drehgeber für die Bestimmung von Neigungswinkeln von Flächen an Werkstücken sowie deren Abstände,

Fig. 16 zeigt, wie an einem Werkstück horizontale Abstände vertikaler Flächen gemessen werden können,

Fig. 17a und 17b zeigen die Bestimmung von Bohrungsdurchmessern sowie der Lage von deren Mittelpunkten, resp. zentralen Achsen, unter Verwendung eines Messgerätes gemäss Fig. 7,

Fig. 18 zeigt eine andere Variante der Bestimmung von Bohrungsdurchmessern und deren Mittellinien anhand von drei Messpunkten, und

Fig. 19a und 19b zeigen die Anwendung eines er-

findungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes für die Vermessung eines Gewindes.

Aus Fig. 1 erkennt man eine Bezugsebene 1, auf der eine Basisplatte 2 liegt, die zwecks leichter Verschiebbarkeit auf der in der Regel horizontalen Bezugsebene 1 vorteilhafterweise mit Mitteln zur Erzeugung eines Luftkissens ausgerüstet ist. Senkrecht zu letzterer trägt die Basisplatte 2 eine vertikale Säule 3. Parallel mit der Säule 3 verläuft als Masssverkörperung ein inkremental oder absolut kodierter Massstab 4, der durch eine mit einem Schlitten 6 solidarische Ablesvorrichtung abtastbar ist und ein erstes Messsystem MS1 bildet. Die Säule 3 wird oben vorteilhafterweise durch eine Anschlagplatte 5 begrenzt und enthält oder ist im wesentlichen eine genaue lineare Führung für den ein zweites Messsystem MS2 tragenden Schlitten 6.

Der Schlitten 6 kann, wie bei herkömmlichen Höhenmessgeräten üblich, vorteilhafterweise über die gesamte Höhe der Säule 3 verschoben werden, wobei die in der Fig. 1a gestrichelt dargestellte unterste Lage der Eichung oder Nullsetzung des Gerätes in der Z-Achse dienen kann. Wenn der Schlitten 6' auf einem Eichanschlag 19 aufliegt, ist die Höhenkoordinate h_0 der Achse 11' des Drehgebers 7' mechanisch genau definiert. Wenn die Messsonde 10' auf der horizontalen Bezugsfläche 1 aufliegt, so ist der Winkel α_0 zwischen ihrem Mittelpunktradius R bzw. dem Schaft 9' und beispielsweise der Horizontalen mechanisch ebenfalls genau definiert. Diesen mechanisch definierten Ausgangslagen der beiden Messsysteme MS1 und MS2 können nun die entsprechenden elektronischen Werte, die vorteilhafterweise im Rechner 26 abgespeichert sind, zugeordnet werden. Es ist auch denkbar, den Sondenmittelpunkt mittels einer nicht dargestellten Einstelllehre genau auf der Höhe h_0 zu halten, so dass der Winkel α_0 zu Null wird. Auch andere Winkel können als Eichlage definiert werden. Es ist auch möglich, bei Durchfahren einer Eichmarke auf den Messsystemen MS1 und MS2 den Eichwert zu übernehmen.

Fig. 1b illustriert den weiter oben beschriebenen vorteilhaften Querschnitt der Säule 3 in Form eines «L» und zeigt die Anordnung des Drehgebers 7 mit seinem Schaft 9 und der damit verbundenen Messsonde 10 auf dem Schlitten 6. In dieser Ansicht steht die Messebene 21, in der die Messsonde 10 Messpunkte anfahren kann, senkrecht zur Blattebene.

Der Fachmann erkennt anhand der Fig. 1a und 1b, dass jede Höhenkoordinate der senkrecht zur Verschiebungsrichtung des Schlittens 6 auf der Säule stehenden Drehachse 11 des Drehgebers 7, z.B. bezüglich der horizontalen Bezugsebene 1, jederzeit aufgrund der durch das erste Messsystem MS1 kontinuierlich ermittelten Werte genau bekannt ist. Wie bei derartigen Messgeräten üblich, ist die Messsonde 10 zumindest in der Messebene 21 vorteilhafterweise im wesentlichen kugel- oder kugelsegmentförmig, um unabhängig von der Neigung des Schaftes 9 jeden Messpunkt in derselben Art und Weise abzutasten. Die sich in Abhängigkeit der trigonometrischen Funktion des Drehwinkels verän-

dernde Höhe der Messsonde 10 bezüglich der Drehachse 11 ist durch das zweite Messsystem MS2 jederzeit errechenbar und daher bekannt. Somit lässt sich jeder vertikalen Lage des Schlittens 6 und Drehlage des Drehgebers 7 ein eindeutiger Z-Wert der Messsonde 10 zuordnen.

In den Fig. 2a und 2b erkennt man, dass mit dem erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerät durch Schwenken des Drehgebers 7 und damit des zweiten Messsystems MS2 derart, dass dessen Drehachse 11 parallel zur Laufrichtung des Schlittens 6 steht, in einer durch die Z-Lage des Schlittens 6 und den Schaft 9 bestimmten, rechtwinklig zur Verschiebungsrichtung des Schlittens 6 liegenden Messebene 21 angeordnete Punkte vermessen werden können. Dabei ist die Z-Lage der durch die Messsonde 10 abtastbaren Ebene durch Verschieben des Schlittens 6 verschiebbar. Bei Anwendungen des Messgerätes mit vertikal liegender Drehachse 11 des Drehgebers 7, sind die beiden Messsysteme MS1 und MS2 durch den Rechner separat zu behandeln. Demgegenüber können die jeweiligen Messwerte der beiden Messsysteme MS1 und MS2 bei solchen Messungen im Rechner dazu verwendet werden, die dreidimensionale Lage eines Messpunktes bezüglich eines Koordinatensystem-Nullpunktes zu berechnen.

In den Fig. 3 und 4 ist eine zweite, mehr Messmöglichkeiten bietende Ausführungsvariante eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes jeweils im partiellen Schnitt von oben gesehen, dargestellt. In dieser kann der Drehgeber 7 rechtwinklig zur Bewegungsrichtung des Schlittens 6 mittels einer Linearführung 12, 13 linear verschoben werden. Dadurch lassen sich, wenn der Drehgeber 7 so positioniert ist, dass seine Drehachse 11 horizontal liegt, beispielsweise an horizontal angeordneten Rundteilen deren Höchst- und Tiefstmasse und damit deren Durchmesser bestimmen. Näheres dazu wird anhand von Fig. 8a erläutert. Wenn die Linearführung 12, 13 als drittes Messsystem MS3, beispielsweise in Form eines Linearwegaufnehmers, ausgebildet ist, lassen sich zusätzlich Abstände von Messpunkten von der Säule 3 messen.

In den Fig. 5 und 6 ist eine weiter ausgebaute dritte Ausführungsvariante eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes von oben partiell geschnitten dargestellt. Gegenüber der in den Fig. 1 bis 3 dargestellten Ausführungsvarianten weist es einen auf einem Gelenkhebel 14, 15 sitzenden und als ganzes um eine Schwenkachse 24, 25 schwenkbaren Drehgeber 7 auf, wobei diese Schwenkachse 24, 25 vorteilhafterweise senkrecht zu der Drehachse 11 des Drehgebers 7 angeordnet ist.

Je nach Formgebung des Werkstückes und der Lage der darauf auszumessenden Punkte kann es von Vorteil sein, anstatt eines geraden Schaftes 9 einen entsprechend geformten, beispielsweise abgewinkelten Schaft 9a zu verwenden, wie dies aus Fig. 7 ersichtlich ist. Dies ist selbstverständlich bei allen Ausführungsvarianten eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes möglich.

Fig. 8 zeigt eine Anwendungsvariante mit dem erfindungsgemässen Messgerät in horizontaler Lage.

Als Beispiel werden an einer horizontal zwischen den Spitzen 31 und 32 eingespannten Welle 30 sowohl Durchmesser wie auch Längenabstände ermittelt. Zu diesem Zweck wird die Säule 3 auf Abstützpunkten 29 aufgelegt, so dass ihre Achse parallel zu der horizontalen Bezugsebene 1 verläuft. In Fig. 8a werden beispielsweise ein Konus 33, ein zylindrischer Teil 34 und ein Einstich 35 gemessen. Für diese Messungen liegt die Drehachse 11 des Drehgebers 7 horizontal und seine Messebene 21 steht senkrecht zur Verschiebungsrichtung des Schlittens 6. Für die Bestimmung eines Durchmessers ist es notwendig, den höchsten und den tiefsten Punkt der Mantelfläche zu erfassen, was durch Verschieben der Messsonde 12 geschieht. Um zu vermeiden, dass die gesamte Masse des Messgerätes verschoben werden muss, um die höchsten und tiefsten Punkte zu durchfahren, ist zwischen dem Drehgeber 7 und dem Schlitten 6 eine Linearführung 13 angeordnet, welche die Verschiebung des Drehgebers 7 und damit der Messsonde 10 längs einer geraden Linie gestattet. Für die Berechnung des Konuswinkels werden zwei Radiusmessungen in bekanntem Längsabstand von einander benötigt. Der Längsabstand wird durch die Verschiebung des Schlittens 6 ermittelt. In Fig. 8b werden beispielsweise ausgehend von einer Stirnseite 38 der Welle 30 die Längenabstände zu einer linken Flanke 36 und zu einer rechten Flanke 37 gemessen. Zu diesem Zweck wird nun der auf dem Schlitten 6 befestigte Drehgeber 7 so gedreht, dass dessen Drehachse 11 vertikal, und dessen Messebene 21 horizontal zu liegen kommen. Die Längenabstände können berechnet werden aus der Verschiebung des Schlittens 6 und der Winkelinformation des Drehgebers 7 unter Berücksichtigung vorgegebener Konstanten sowie der Antastrichtung. In einer nicht dargestellten Ausführungsvariante kann es vorteilhaft sein, die Säule 3 um ihre Achse schwenkbar zu gestalten oder anzuordnen. Es ist auch denkbar, mehrere Schlitten und Messsysteme auf der Säule 3 anzuordnen. Für die Messung eines komplexen Messproblems können mehrere Säulen mit verschiedenen Messaufbauten eingesetzt werden.

Fig. 9a zeigt einen Teil der Säule 9 mit Messstab 4, den Schlitten 6 mit damit wirkverbundenem Messkopf, der vorteilhafterweise zur Messung an schwer zugänglichen Stellen eingesetzt werden kann. Eine Messsonde 46 ist an einem Schaft 45 befestigt und um eine Achse 44 im Radius R_1 drehbar gelagert. Auf der gleichen Achse 44 drehbar ist ein Zylinder 51 fest mit dem Schaft 45 verbunden. Ein Arm 43 enthält an seinem einen Ende die Lagerung der Achse 44. Sein anderes Ende ist fest mit dem Gehäuse eines Drehgebers 41 verbunden. Auf einer Drehachse 42 des Drehgebers 41 ist ein Zylinder 53 (Fig. 9c) drehfest mit dem beweglichen Teil des Drehgebers 41 verbunden. Jede Bewegung einer Messsonde 46 um die Achse 44 und in einer Messebene 47 wird mittels eines Bandes 52 vom Zylinder 51 auf einen Zylinder 53 und somit auf die Drehachse 42 des Drehgebers 41 übertragen. Auf die Drehachse 42 des Drehgebers 41 können in der Zeichnung nicht dargestellte Mittel zur Erzeugung eines Drehmomentes, bzw. einer Messkraft, wir-

ken, welche über den Zylinder 53, das Band 52, den Zylinder 51 und den Schaft 45 auf die Messsonde 46 übertragen werden können. Das Gehäuse des Drehgebers 41 mit dem Arm 43 ist auf dem Schlitten 6 drehbar befestigt und kann in vorbestimmtem oder beliebigem Winkel Ω arretiert werden. In einer weiteren Ausführungsvariante kann der Winkel Ω mit einem zusätzlichen Drehgeber gemessen und bei der Berechnung der Koordinaten der Messsonde 10 berücksichtigt werden.

Fig. 9b zeigt in einer weiteren Ausführungsvariante die Säule 3, den Schlitten 6 und den Messkopf von oben. Dieser ist über ein Gelenk 14 mit vertikal stehender Achse in einer horizontalen Ebene 48 schwenkbar mit dem Schlitten 6 verbunden.

Wenn in einer weiter ausgebauten Ausführungsvariante eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes die Schwenkung des Armes 43 um die Drehachse 42 durch ein separates rotatives Messsystem MS4, beispielsweise in Form eines separaten Drehgebers, gemessen wird, ergeben sich weitere Anwendungsmöglichkeiten für das erfindungsgemässe Vertikal/Horizontalmessgerät. Selbstverständlich ist auch bei den anhand der Fig. 9 beschriebenen Ausführungsvarianten eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes der Drehgeber 41 senkrecht zu seiner Drehachse 42 schwenkbar, derart, dass eine Drehung der Messsonde 46 um die Achse 44 sowohl die Vermessung von in einer vertikalen Messebene 47 als auch in einer horizontalen Messebene liegenden Messpunkten ermöglicht. Wenn, wie in Fig. 9b illustriert, der Drehgeber 41 auf einem Gelenkhebel 14 sitzt und um die Schwenkachse 24, die sowohl vertikal als auch horizontal angeordnet sein kann, schwenkbar ist, ergeben sich nochmals erweiterte Anwendungs- und Messmöglichkeiten für diese Ausführungsvariante eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes. Hier wie bei den weiter oben beschriebenen Ausführungsvarianten eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes kann der Drehgeber 41 ebenfalls linear verschiebbar mit dem Schlitten 6 verbunden sein, wobei diese Verschiebung wiederum gemessen oder ungemessen erfolgen kann. Selbstverständlich können die Schwenkbarkeit des Drehgebers 41 mit dessen linearen Verschiebbarkeit verbunden werden. In all diesen Fällen ist es vorteilhaft, wenn der Rechner 26 die von den diversen Messsystemen MS1, MS2, MS3 und MS4 erzeugten Signale individuell und in vorbestimmter Abhängigkeit voneinander erfassen und auswerten kann.

Anstelle der in den Fig. 5, 6 und 9b illustrierten Gelenkhebel 14 und 15 zur ungemessenen Schwenkung des Drehgebers 7, 41 um die Achse 24 kann, gemäss Fig. 10, ein zweiter Drehgeber 16 mit einem fünften Messsystem MS5 verwendet werden, auf dessen Welle 17 der Drehgeber 7, 41 so montiert wird, dass seine Drehachse 11, 42 senkrecht zu der Drehachse 18 des zweiten Drehgebers 16 steht. Die Messsonde 10 kann sich in dieser Ausführungsvariante der Erfindung sowohl in einer vertikalen als auch in einer horizontalen Messebene sowie mit dem Schlitten 6 auf der Säule 3 verschieben. Die Komponenten von Verschiebungen in gleicher Rich-

tung werden dabei durch den Rechner 26 vektoriell addiert. Als effektiver Hebelarm muss dabei die Projektion der Länge des Schaftes 9 berücksichtigt werden. Selbstverständlich können anstelle des in Fig. 10 dargestellten Drehgebers 7 mit dem Messsystem MS2 auch alle anderen weiter oben beschriebenen Ausführungsvarianten dieser Gerätkomponente auf die Welle 17 des zweiten Drehgebers 16 montiert werden. Durch diese konstruktive Erweiterung des erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes lassen sich eine ganze Reihe zusätzlicher Messungen von Punkten im Raum ausführen, die mit den herkömmlichen Höhenmessgeräten nicht durchführbar sind.

Die Messung von Durchmessern an Wellen und Bohrungen, bei welchen die lineare Verschiebbarkeit des Drehgebers 7, 41 entlang der Linearführung 12, 13 nicht ausreicht, bedingt eine Horizontalverschiebung des gesamten Vertikal/Horizontalmessgerätes entlang einer Geraden. Diese Verschiebbarkeit kann dadurch erreicht werden, dass das erfindungsgemässe Vertikal/Horizontalmessgerät in hergebrachter Art und Weise auf einem Luftkissen einem Lineal entlang verschoben wird. Erfindungsgemäss wird das Messgerät allerdings vorteilhafterweise gemäss den Fig. 11a und 11b auf einen Untersatz aufgesetzt, der im wesentlichen eine horizontale Längsführung 61 und einen Massstab 62 enthält. Ein mit dem Massstab 62 zusammenwirkendes lineares Messsystem MS6 ist vorteilhafterweise in die Basisplatte 2 eingebaut und mit dem Rechner 26 verbunden. Die Längsführung 61 muss spielfrei und gerade sein, da Führungsfehler in das Messresultat eingehen. Erfindungsgemäss eröffnet die Ausrüstung des Vertikal/Horizontalmessgerätes gemäss Fig. 11 mit einer Längsführung 61 aus keramischem Werkstoff vorteilhafterweise in Verbindung mit einem Magnetlager optimale Voraussetzungen. Die Magnetkraft muss dabei nur in horizontaler Richtung an die Längsführung 61 wirken, denn in vertikaler Richtung wirkt das Gewicht des Messgerätes. Zwischen der Basisplatte 2 und dem Untersatz kann zwecks leichter Verschiebbarkeit ein Luftkissen aufbaubar sein. Bei geringerer Anforderung an die Genauigkeit der Horizontalverschiebung des Messgerätes ist auch eine Längsführung mit Rolkörpern denkbar. Der Untersatz mit der Längsführung 61 kann auf der horizontalen Bezugsebene 1 frei verschiebbar oder darauf befestigt sein.

In den Fig. 12a, 12b und 12c ist eine Ausführungsvariante eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes dargestellt, die an Stelle eines oder mehrerer rotativer Messsysteme MS2, MS6 einen Messkopf 67 verwendet, der vorteilhafterweise mehrere senkrecht zueinander stehende Messsysteme MS7, MS8 und MS9 enthält und dessen Messsonde 10 sich in mehreren Freiheitsgraden bewegen kann. Der Messkopf 67 ist auf dem Schlitten 6 befestigt. Die Wegkomponente der Messsonde 10 in der Verschiebungsrichtung des Schlittens 6 wird hier zum Betrag der Verschiebung des Schlittens 6 addiert, um den Verschiebungsweg der Messsonde 10 zu erhalten. Die Fig. 12a zeigt die Säule 3 mit dem Massstab 4 und der darauf ver-

schiebbaren Baugruppe bestehend aus dem Schlitten 6 und dem Messkopf 67 in Seitenansicht, wogegen Fig. 12b dieselben Elemente in Draufsicht zeigt. Das Messsystem MS7 misst die parallele Verschiebung des Schaftes 9 und des Messkopfes 10 in der vertikalen Ebene, wogegen das Messsystem MS9 die parallele Verschiebung des Schaftes 9 und des Messkopfes 10 in der horizontalen Ebene misst. Die lineare Verschiebung des Schaftes 9 und der Messsonde 10 entlang der Achse des Schaftes 9 wird durch das Messsystem MS8 gemessen. Selbstverständlich sind alle drei Messsysteme MS7, MS8 und MS9 mit dem Rechner 26 verbunden. Fig. 12c illustriert die durch die Messsonde 10 und den Schaft 9 durchführbaren Bewegungen innerhalb eines X;Y;Z-Koordinatensystems.

Fig. 13 veranschaulicht die Geometrie zur Vermessung eines Profils, beispielsweise an einer Schleifscheibe. Ausgehend von einer Bezugsebene 71 und beispielsweise der Achse a-a können Winkel und Lage der konischen Zone 72, der Abstand der Flanke 73, die Formabweichung und Lage der halbkreisförmigen Zone 74 und schliesslich der Radius des Zylinders 75 gemessen werden. Die Messresultate gehen aus den ermittelten Höhenabständen h_1 bis h_7 und den korrespondierenden Winkeln α_1 bis α_7 hervor. Es ist auch hier von Bedeutung, dass ein und dasselbe Messgerät für die Messung von horizontalen und vertikalen Abständen sowie von Form- und Lageabweichungen verwendet werden kann. Das Messobjekt, in der Zeichnung mit seiner Achse a-a horizontal dargestellt, kann auch mit seiner Achse a-a in vertikaler Lage vermessen werden, falls dies zweckmässig erscheint.

Fig. 14 zeigt, dass der Rechner 26 getrennt von der Säule 3 und der Basisplatte 2, durch ein Kabel 50 mit den Messsystemen MS1 bis MS9 verbunden, angeordnet sein kann. Er bildet dabei vorteilhafterweise Teil eines Service-Blocks, in dem neben Anzeige, Tastatur, Stromversorgung und der Druckluftquelle für die Luftlager, weitere Elemente untergebracht sein können, die die Handhabung des Messgerätes vereinfachen oder spezielle Auswertungen der Messergebnisse ermöglichen. Insbesondere ist es empfehlenswert, wenn ein Drucker und eine Datenspeichereinheit ebenfalls Teil des Service-Blocks bilden. Dieser als auch das Messgerät als solches sind vorteilhafterweise über eine Normschnittstelle mit einem Computer 28 oder anderen Peripheriegeräten verbindbar.

Die Fig. 15a, 15b und 15c illustrieren schematisch die Messung von Winkeln, in diesen Fällen von Neigungswinkeln θ gegenüber der horizontalen Bezugsebene. Mit der Drehachse 11 des Drehgebers 7 in Position h_1 wird die Fläche F mit der Messsonde 10 angetastet und der Winkel α_1 gemessen und gespeichert. Nach Verschiebung der Drehachse 11 des Drehgebers 7 entlang der Linie Z in die Position h_2 wird ein zweiter Punkt der Fläche F angetastet. Aus den Koordinatenwerten h_1 und h_2 und den Winkelwerten α_1 und α_2 kann der Neigungswinkel θ der Fläche F berechnet werden. Fig. 15a und 15b zeigen verschiedene Neigungswinkel θ der Fläche F.

Fig. 15c zeigt schematisch die Messung des Neigungswinkels θ eines Quaders bezüglich der horizontalen Bezugsebene sowie die Bestimmung des Abstandes a zweier seiner Begrenzungsflächen durch Antasten von drei Punkten. Ausgehend von der Lage h_1 der Achse 11 des Drehgebers 7 wird die Messsonde 10 an die untere Fläche des Quaders angelegt und der Wert des Winkels α_1 gemessen und gespeichert. Nach Verschiebung der Drehachse 11 des Drehgebers 7 entlang der Achse Z in Position h_2 wird die untere Fläche des Quaders ein zweites Mal angetastet und der Winkelwert α_2 und die Höhenkoordinate h_2 gemessen und gespeichert. Nach Verschiebung der Drehachse 11 des Drehgebers 7 entlang der Achse Z in eine Höhenkoordinate h_3 wird die Messsonde 10 an die obere Fläche des Quaders angelegt und der Winkel α_3 gemessen. Unter Berücksichtigung der Tasterkonstanten, des Mittelpunktradius R der Messsonde 10 und der Antastrichtung können aufgrund der gemessenen und gespeicherten Werte α_{1-3} und h_{1-3} der Neigungswinkel θ und der Abstand a zwischen den Begrenzungsflächen des Quaders berechnet und angezeigt werden.

Fig. 16 illustriert, wie an einem Werkstück horizontale Abstände paralleler vertikaler Flächen gemessen werden können. Mit der Messsonde 10 an die Fläche F_1 angelegt wird der Winkel α_1 gemessen und gespeichert. Nach Verschiebung der Drehachse 11 des Drehgebers 7 entlang der Achse Z wird die Messsonde 10 an die Fläche F_2 angelegt und der Winkel α_2 gemessen, worauf der horizontale Abstand zwischen den Flächen F_1 und F_2 berechnet und angezeigt werden kann. Nach nochmaliger Verschiebung der Drehachse 11 des Drehgebers 7 wird die Fläche F_3 angetastet, der Winkel α_3 gemessen und der Abstand zwischen den Flächen F_3 und F_1 berechnet und angezeigt. Nach nochmaliger Verschiebung der Drehachse 11 des Drehgebers 7 kann schliesslich noch die rückseitig liegende Fläche F_4 angetastet, der Winkel α_4 gemessen und der Abstand zwischen den Flächen F_1 und F_4 berechnet und angezeigt werden. Werden alle gemessenen Winkel α_1 bis α_4 gespeichert, so können die Abstände zwischen allen Flächen F_1 bis F_4 berechnet und angezeigt werden. Die Koordinaten der Drehachse 11 auf der Z-Achse sind bei derartigen Messungen irrelevant und brauchen daher nicht berücksichtigt zu werden.

Fig. 17 zeigt ein Verfahren zur Bestimmung des Durchmessers einer Bohrung, der Lage von deren Zentrum und von Formabweichungen vom theoretischen Kreis. In Fig. 17a ist dabei schematisch der Messablauf und in Fig. 17b die Anordnung von Säule 3, Schlitten 6, Drehgeber 7 mit Welle 8 und daran befestigtem abgewinkeltem Schaft 9a mit der Messsonde 10 dargestellt. Mit der Drehachse 11 des Drehgebers 7 in der Koordinatenlage h_1 werden zwei Punkte der Mantelfläche der Bohrung angetastet und die Winkel α_1 und α_2 gemessen und gespeichert. Von der Koordinatenlage h_2 der Drehachse 11 des Drehgebers 7 aus, nach Verschiebung auf der Achse z, werden zwei weitere Punkte der Mantelfläche der Bohrung angetastet und die Winkel α_3

und α_4 gemessen und gespeichert. Aus den Koordinatenwerten h_1 und h_2 sowie den Winkeln α_1 bis α_4 und unter Berücksichtigung der Konstanten der Messsonde 10 sowie deren Mittelpunktradius R kann der Durchmesser der Bohrung und die Lage der Bohrungsachse sowohl in Z- wie auch in Y-Richtung berechnet werden. Drei der gemessenen Punkte der Mantelfläche der Bohrung definieren den Durchmesser und die Lage des Zentrums der Bohrung in vertikaler und horizontaler Richtung. Weitere unter Verschiebung der Drehachse 11 des Drehgebers 7 entlang der Achse Z angetastete Punkte auf der Mantelfläche der Bohrung können zur Ermittlung der Formabweichung gegenüber eines durch drei Punkte definierten theoretischen Kreises benützt werden. Dasselbe Verfahren ist analog auch für die Messung von Aussendurchmessern anwendbar.

Fig. 18 illustriert ein weiteres Verfahren zur Bestimmung von Durchmesser und Lage des Zentrums einer kreisrunden Bohrung. Ein abgewinkelter Schaft 9a, wie in Fig. 7 und Fig. 17b dargestellt, trägt die Messsonde 10. Mit der Drehachse 11 des Drehgebers 7 in der Position h_1 wird die Mantelfläche der Bohrung an zwei Punkten angetastet, so dass die Winkel α_1 und α_2 gemessen werden können. Mit diesen zwei Punkten ist eine Sehne des kreisförmigen Querschnittes der Bohrung bestimmt. Nach Verschiebung der Drehachse 11 des Drehgebers 7 entlang der Achse Z in die Position h_2 und Antasten eines dritten Punktes der Mantelfläche der Bohrung wird der Winkel α_3 gemessen, wodurch zwei weitere Sehnen bestimmt sind. Aus den Koordinatenwerten von h_1 und h_2 sowie den Winkeln α_1 bis α_3 und unter Berücksichtigung der Tasterkonstanten der Messsonde 10 sowie deren Mittelpunktradius R können der Durchmesser der Bohrung sowie die Lage von deren Achse sowohl in Z- wie auch in Y-Richtung berechnet werden. Dasselbe Verfahren kann analog ebenfalls für Aussendurchmessermessungen angewendet werden. Für dieses Verfahren ist allerdings Voraussetzung, dass der Querschnitt der Bohrung respektive des Aussendurchmessers kreisrund ist.

Die Fig. 19a und 19b illustrieren die Vermessung eines Gewindes mittels eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes gemäss Fig. 10, bei dem der erste Drehgeber 7 mit der Welle 17 des zweiten Drehgebers 16 verbunden ist, der entsprechend dem Drehgeber 7 in Fig. 4, seinerseits rechtwinklig zur Säule 3 linear verschiebbar auf den Schlitten 6 montiert ist. Dabei wird die Messsonde 10 zuerst oben, wenn sich der Drehgeber 7 auf der Säule 3 in der Höhe h_1 befindet, zwischen zwei Flanken des Gewindes gelegt und durch eine lineare Verschiebung der Drehachse 11 zwischen den Positionen z'' , z und z' über den höchsten Punkt des Flankendurchmessers geführt. Dabei werden neben der Höhe h_1 die Winkel α_1 und β_1 des höchsten Punktes des Flankendurchmessers ermittelt und im Rechner gespeichert. Anschliessend wird die Messsonde 10 in einer Höhe h_2 des Drehgebers 7 von unten in das Gewinde gelegt, worauf in analoger Weise der tiefste Punkt des Flankendurchmes-

sers vermessen wird. Dabei werden neben der Höhe h_2 die Winkel α_2 und β_2 ermittelt und im Rechner gespeichert. Da die beiden vermessenen Flankendurchmesserpunkte definitionsgemäss um 180° versetzt sind, kann unter Berücksichtigung der Tasterkonstanten aus den Winkeln α_1 und α_2 sowie der linearen Verschiebung des Schlittens 3 zwischen den Höhen h_1 und h_2 der Flankendurchmesser und anhand der Winkel β_1 und β_2 die halbe Steigung des Gewindes berechnet werden. Zur Messung über mehrere Steigungen wird der Winkel β_3 gemessen.

In ähnlicher Weise eignet sich eine derartige Ausführungsvariante eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes auch für die Vermessung von Zahnrädern. In dieser Art und Weise können auch Innengewinde und Innenverzahnungen gemessen werden, wobei es dabei notwendig sein kann, einen abgewinkelten Schaft 9a zu verwenden, um die Messpunkte mit der Messsonde 10 anfahren zu können. Ähnliche Messungen sind mit dem Messkopf 67 gemäss Fig. 12 möglich.

Es kann zweckmässig oder notwendig sein, das ganze Messgerät auf der horizontalen Bezugsebene 1 parallel zu verschieben, um es bezüglich des Messobjektes ausgerichtet zu positionieren. Zu diesem Zwecke können bekannte Mittel wie Längsführungen oder Pantographen vorgesehen werden. Es können aber auch Friktionsrollen in die Basisplatte 2 eingebaut werden, die federbelastet auf der Bezugsebene 1 abrollen und auf diese Weise das Messgerät zumindest annähernd parallel führen. Die totale Federkraft dieser Rollen soll dabei kleiner sein als die Gewichtskraft des Messgerätes, so dass eine genaue Auflage der Basisplatte auf der Bezugsebene 1 gewährleistet ist. Im Zuge der Automatisierung von Messungen kann die Verschiebung motorisch erfolgen.

Der Fachmann ist in der Lage, anhand der hier beschriebenen ausgewählten Anwendungsmöglichkeiten der diversen Ausführungsvarianten eines erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes die weiteren, weit über die Möglichkeiten eines herkömmlichen Höhenmessgerätes hinausgehenden Einsatzmöglichkeiten zu erkennen, ohne dass diese hier beschrieben werden müssten.

Er erkennt auch, dass wenn anstelle des gemessen oder ungemessen in lediglich einem Freiheitsgrad verschiebbaren Drehgebers 7, 41 und 16 (insb. Fig. 3–6 und 8a, 9b sowie 11) ein Drehgeber verwendet wird, der in zwei Freiheitsgraden, vorteilhafterweise gemessen, verschiebbar ist, die Messmöglichkeiten des erfindungsgemässen Vertikal/Horizontalmessgerätes nochmals erhöht werden.

Der Fachmann erkennt, dass das mit der Messsonde wirkverbundene Messsystem gegenüber dem Schlitten folgende Freiheitsgrade, Bewegungs- oder Verschiebemöglichkeiten aufweisen kann, die das erfindungsgemässe Vertikal/Horizontalmessgerät weit über ein herkömmliches Höhenmessgerät herausheben:

– translatorische Verschiebung in der Horizontalebene, entweder in der X-Achse oder in der Y-Achse oder in beiden Achsen

– Schwenkbewegung in der Horizontal- oder der Vertikalebene oder in beiden Ebenen um einen Drehpunkt

– freie translatorische und rotative Bewegung in der Horizontal- und/oder der Vertikalebene, also quasi schwimmend, gegebenenfalls auf einem Luftkissen und Magnetlager

– Schwenkbewegung um einen Drehpunkt und translatorische Verschiebung in einer der oder mehreren der Achsen.

Der Fachmann erkennt, dass das erfindungsgemässe Vertikal/Horizontalmessgerät eine völlig neue Generation von Messgeräten begründet und nur noch bei gewissen Messvorgängen an die heute üblichen Höhenmessgeräte erinnert. Es ist selbstverständlich, dass einzelne Komponenten der beschriebenen Ausführungsvarianten erfindungsgemässere Vertikal/Horizontalmessgeräte im Detail anders konstruiert werden können, als dies aus der Zeichnung oder der obigen Beschreibung entnommen werden kann. Zudem können weitere Ausführungsvarianten erfindungsgemässere Vertikal/Horizontalmessgeräte vorgesehen werden, die beispielsweise mehrere miteinander wirkverbundene Drehgeber und/oder Lineartaster enthalten. Es ist dabei bezüglich der Erfindung unabhängig, ob nur lineare oder ein lineares Messsystem in Form des Schlittens auf der Säule und ein oder mehrere Messsysteme bestehend aus linearen Tastern und/oder rotativen Drehgebern zur Anwendung gelangen. Der Fachmann erkennt allerdings, dass die Verwendung von zumindest einem Drehgeber als Messsystem wesentliche Vorteile bietet.

Patentansprüche

1. Vertikal/Horizontalmessgerät, umfassend zumindest eine Säule (3) mit darauf linear verschiebbarem Schlitten (6), wobei die Säule (3) einen maschinell und/oder manuell lesbaren Massstab (4) trägt und der Schlitten (6) ein erstes Messsystem (MS1) umfasst, mittels dem die Lage des Schlittens (6) auf der Säule (3) bestimmbar ist, dass der Schlitten (6) mit einem auf ihm angeordneten zweiten Messsystem (MS2) wirkverbunden ist, eine Messsonde (10) beinhaltet, deren Lage bezüglich dem Schlitten (6) mittels des zweiten Messsystems (MS2) und einem Rechner (26) bestimm- und definierbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Messsysteme (MS1, MS2) und der Rechner (26) derart miteinander verbunden sind, dass die Koordinate in Messrichtung der Messsonde (10) durch das Zusammenwirken der Werte der Messsysteme (MS1, MS2) ermittelbar ist.

2. Messgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die in einem oder mehreren Freiheitsgraden bewegliche Messsonde (10) mit einem linearen Messkopf (67) verbunden ist, der auf dem Schlitten (6) befestigt ist und einen oder mehrere durch rechtwinklig zueinander angeordnete lineare mit dem Rechner (26) verbundene Messsysteme (MS7, MS8, MS9) aufweist. (Fig. 12)

3. Messgerät nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Freiheitsgrad die gleiche Rich-

tung aufweist wie die Verschieberichtung des Schlittens (6). (Fig. 12)

4. Messgerät nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Messkopf (67) senkrecht zur Verschieberichtung des Schlittens (6) verdreh-, schwenk- oder verschiebbar ist. (Fig. 12)

5. Messgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsonde (10) über einen Schaft (9) mit einem Drehgeber (7) verbunden ist, der das rotative zweite Messsystem (MS2) beinhaltet und mit dem Schlitten (6) wirkverbunden ist.

6. Messgerät nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehachse (11) des Drehgebers (7) senkrecht oder parallel zur Verschieberichtung des Schlittens (6) auf der Säule (3) stehen kann. (Fig. 1 und 2)

7. Messgerät nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsonde (10) an einem Schaft (45) befestigt ist, der drehbar auf einem Arm (43) gelagert ist, der seinerseits mit dem Drehgeber (41) wirkverbunden ist, und dass jede Verdrehung des Schaftes (45) auf dem Arm (43) mittels einer Übertragungsmechanik (51, 52, 53) auf den Drehgeber (41) übertragen wird. (Fig. 9)

8. Messgerät nach Anspruch 5 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehgeber (7, 41) auf der Welle (17) eines zweiten Drehgebers (16) mit einem fünften Messsystem (MS5) zur Messung seiner Verdrehung um dessen Drehachse (18) sitzt. (Fig. 10)

9. Messgerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Drehgeber (16) senkrecht zu seiner Drehachse (18) schwenkbar ist. (Fig. 10)

10. Messgerät nach Anspruch 5 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der oder die Drehgeber (7, 16, 41) bezüglich der Säule (3), resp. der Verschieberichtung des Schlittens (6) rechtwinklig linear verschiebbar ist, resp. sind.

11. Messgerät nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die lineare Verschiebung mittels eines mit dem Rechner verbundenen dritten Messsystems (MS3) kontrollierbar ist. (Fig. 3, 4, 10)

12. Messgerät nach Anspruch 5 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehgeber (7, 41, resp. 16) in einer Ebene senkrecht zu ihrer Messebene (21, 22, 47, 48) um eine Drehachse (24, 25) schwenkbar sind. (Fig. 5, 6, 9, 10)

13. Messgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsonde (10) über einen abgewinkelten Schaft (9a) mit dem ersten Drehgeber (7) oder Arm (43) verbunden ist. (Fig. 7)

14. Messgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es mit einer Längsführung (61) wirkverbundbar ist, derart, dass es parallel zu einer Bezugsebene (1) entlang einer geraden Linie verschiebbar ist. (Fig. 11)

15. Messgerät nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Verschiebung mittels eines sechsten Messsystems (MS6) messbar ist. (Fig. 11)

16. Messgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner (26) Teil eines Service-Blocks ist, der zumindest eine Eingabe- und eine Anzeigeeinheit umfasst und über ein Kabel (20)

mit einzelnen Messsystemen (MS1–MS9) verbunden ist.

17. Messgerät nach den Ansprüchen 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Schlitten (3), die Drehgeber (7, 16, 41) und/oder der lineare Messkopf (67) sowie gegebenenfalls die Basisplatte (2) in der Längsführung (61) durch den Rechner (26) kontrolliert mechanisch, elektromechanisch, pneumatisch, hydraulisch oder magnetisch verstellbar sind.

18. Messgerät nach den Ansprüchen 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Rechner (26) die Signale eines jeden Messsystems (MS1–MS9) individuell erfassen und nach vorbestimmten Kriterien, Konstanten und Variablen verarbeiten und anzeigen und zudem die derart berechneten Ergebnisse nach vorbestimmten Kriterien miteinander verbinden kann.

19. Messgerät nach einem der Ansprüche 2 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Messkraft des Messkopfes (67) resp. der Drehgeber (7, 16, 41) motorisch durch den Rechner gemäss vorbestimmten Kriterien einstellbar ist.

20. Messgerät nach einem der Ansprüche 5 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das mit der Messsonde (10) wirkverbundene zweite Messsystem (MS2) auf einer Ebene frei verschiebbar ist.

21. Messgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Säule (3) aus keramischem Material besteht.

22. Messgerät nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Säule (3) im Querschnitt ein L-Profil aufweist.

23. Messgerät nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Schlitten (6) mittels zumindest eines Magnetlagers auf der Säule (3) positionierbar ist.

24. Messgerät nach Anspruch 21 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Säule (3) derart ausgelegt ist, dass das Messgerät sowohl in vertikaler wie auch in horizontaler Lage der Säule (3) einsetzbar ist.

25. Messgerät nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Säule (3) zumindest in horizontaler Lage um ihre Längsachse schwenkbar ist.

26. Messgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Basisplatte (2) zwecks Ermöglichung einer kontrollierten Parallelverschiebung auf einer Bezugsebene mit federbelasteten Friktionsrollen versehen ist.

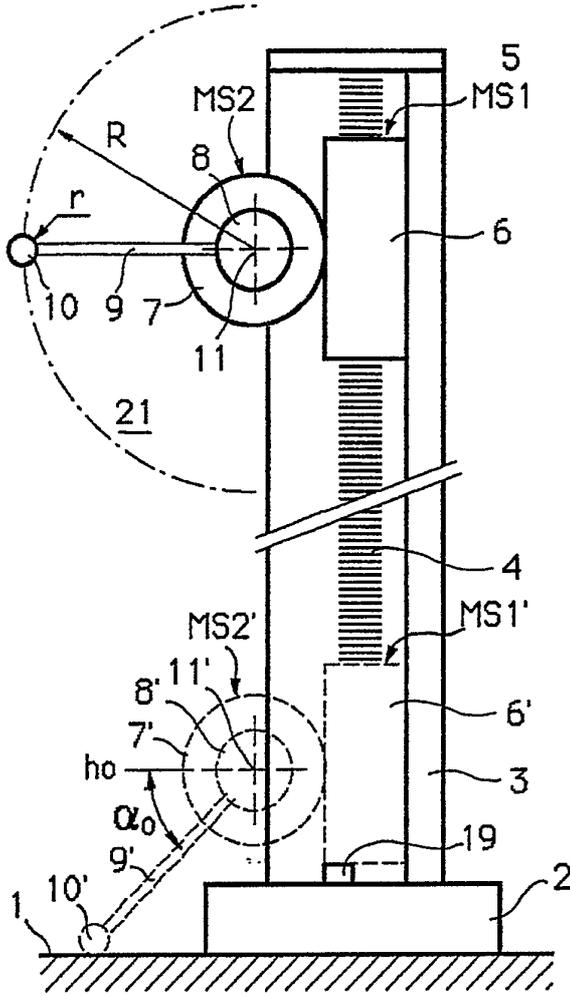


Fig. 1a

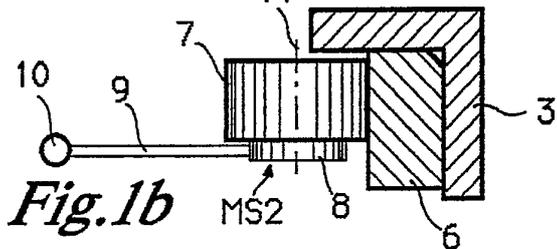


Fig. 1b

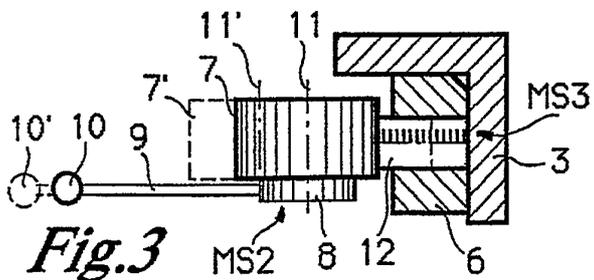


Fig. 3

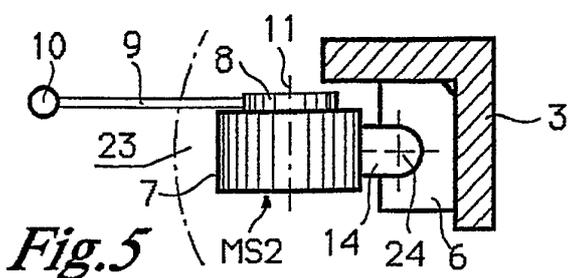


Fig. 5

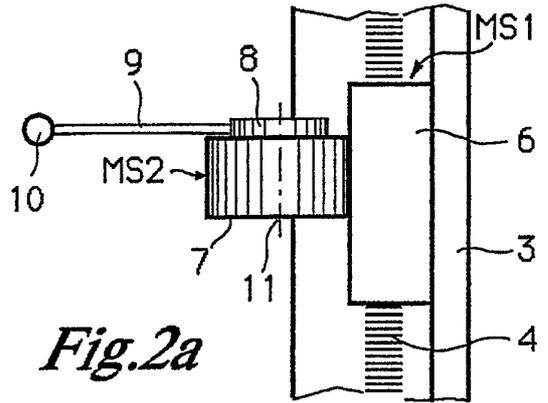


Fig. 2a

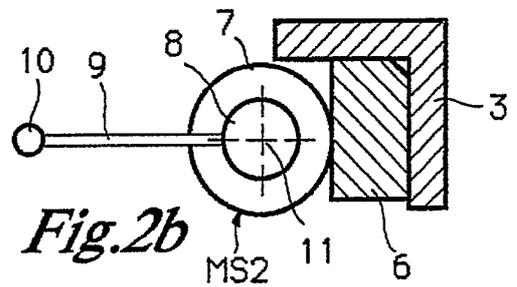


Fig. 2b

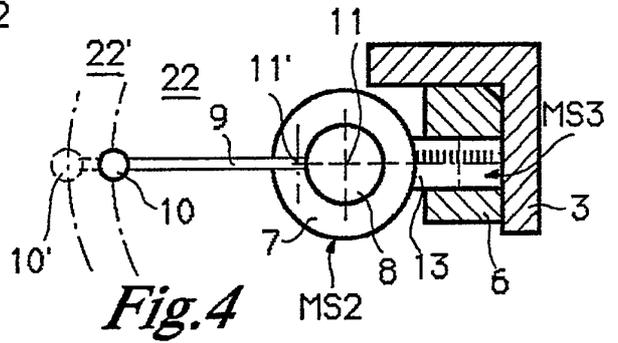


Fig. 4

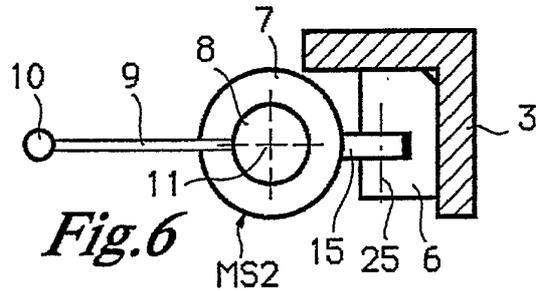


Fig. 6

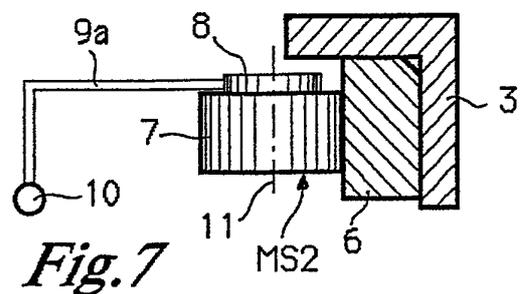
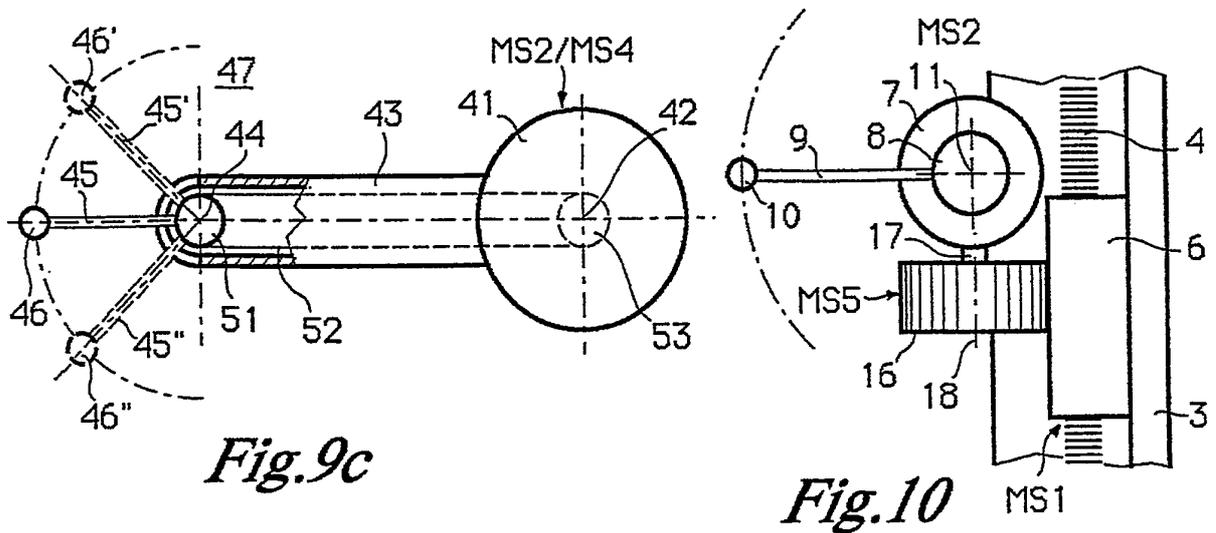
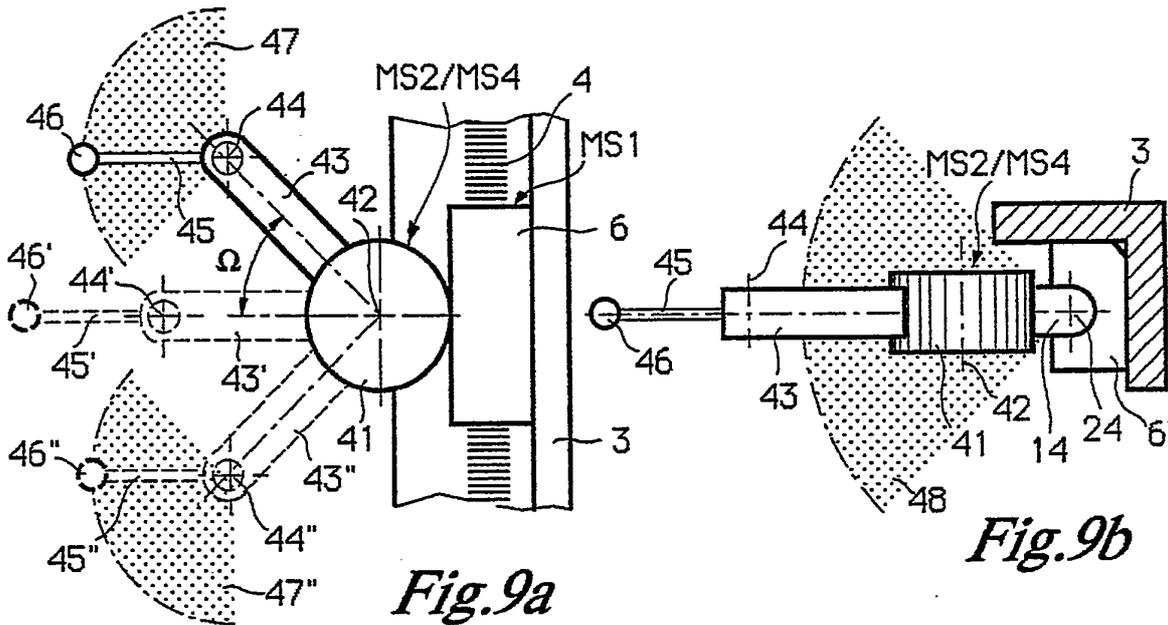
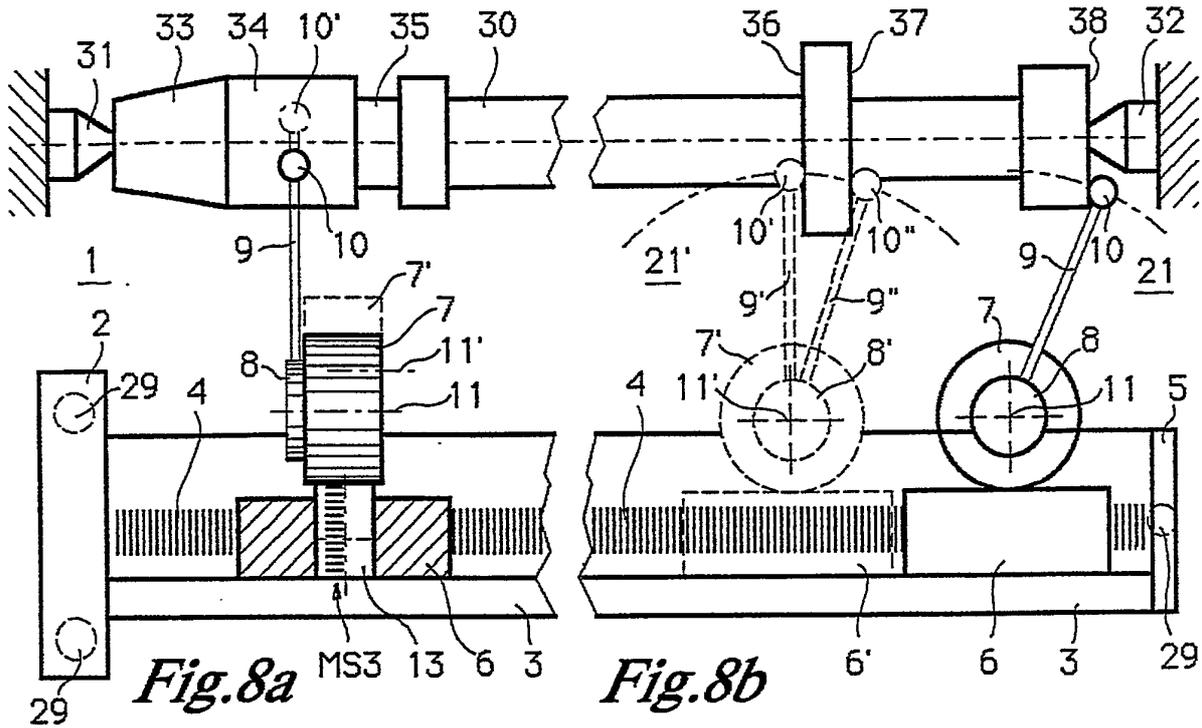


Fig. 7



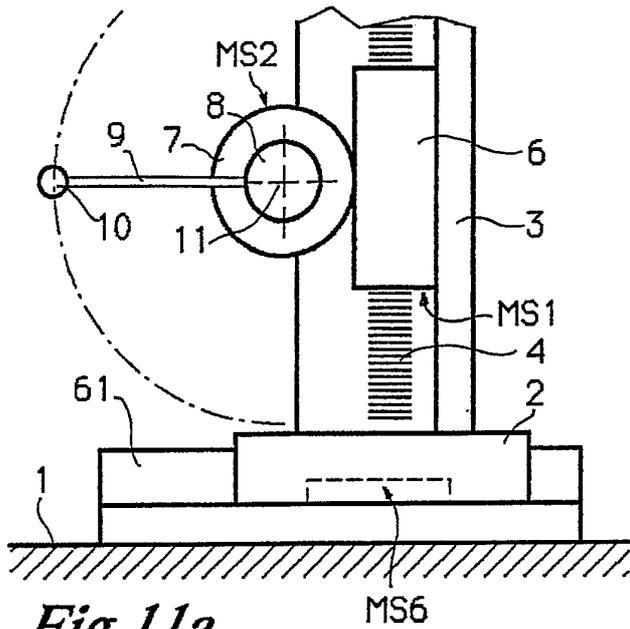


Fig. 11a

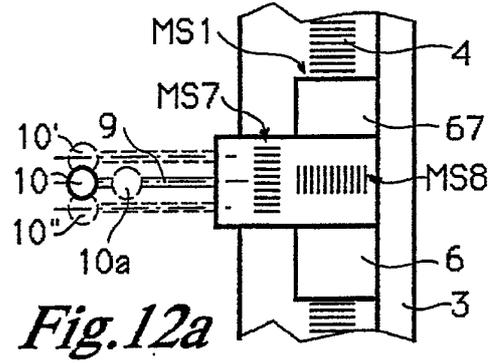


Fig. 12a

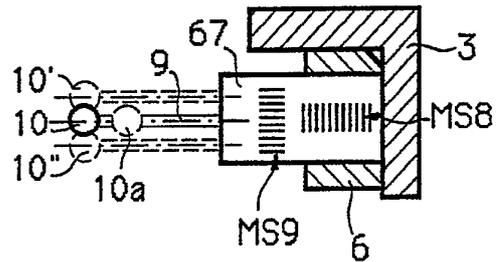


Fig. 12b

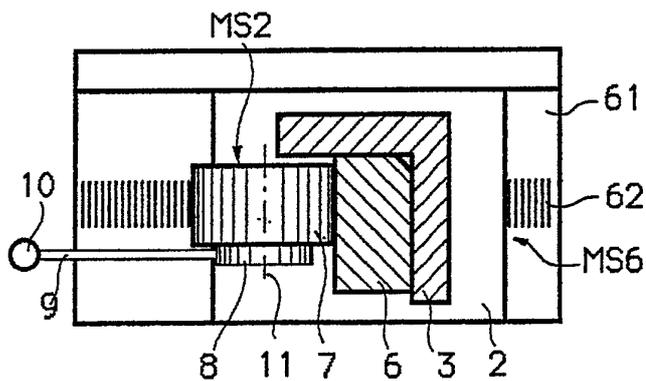


Fig. 11b

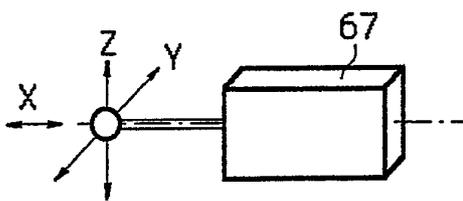


Fig. 12c

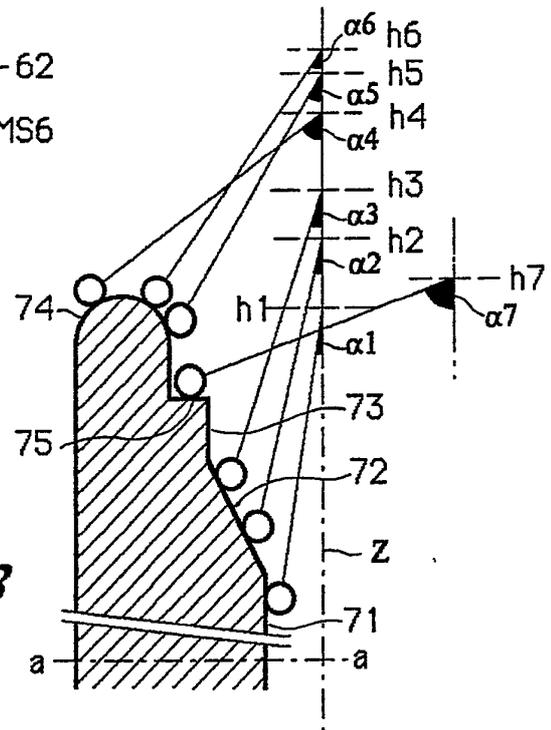


Fig. 13

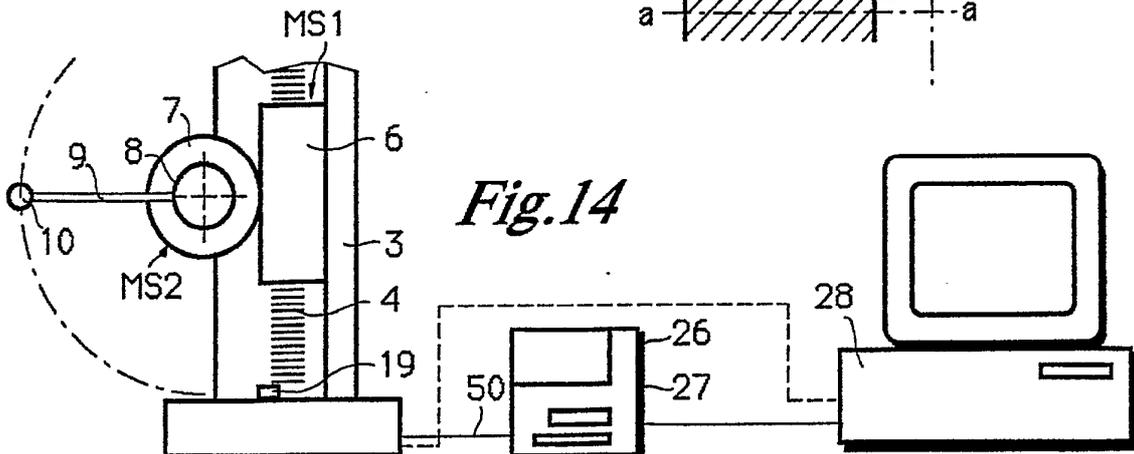


Fig. 14

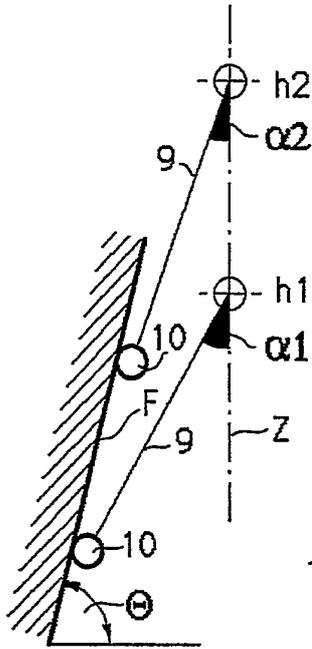


Fig. 15a

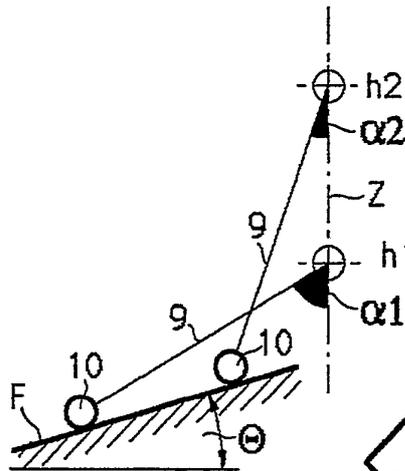


Fig. 15b

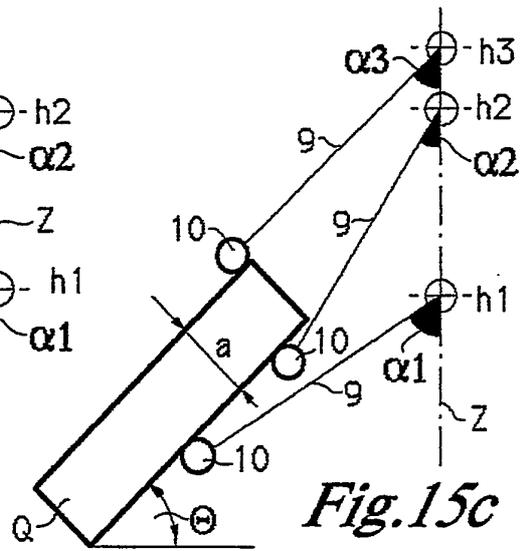


Fig. 15c

Fig. 17a

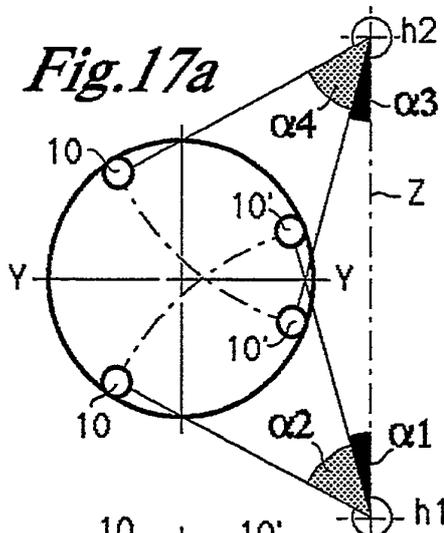


Fig. 18

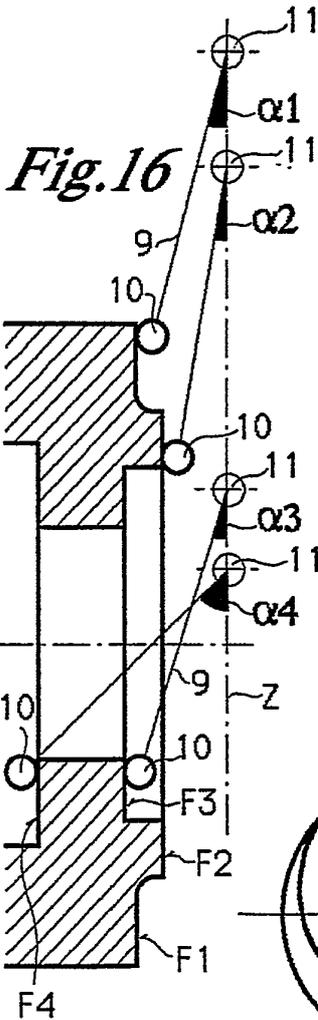
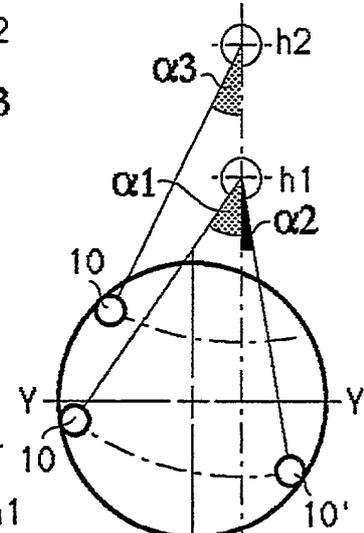


Fig. 16

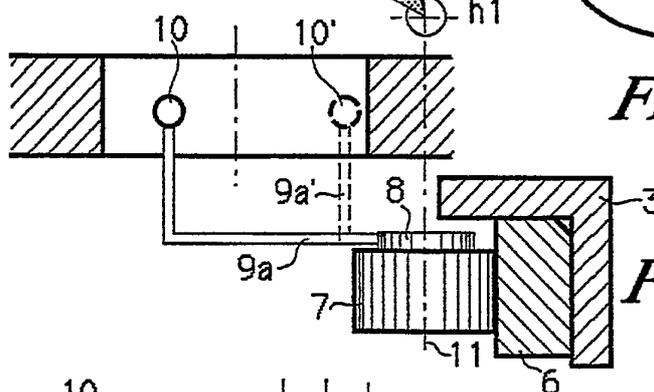


Fig. 17b

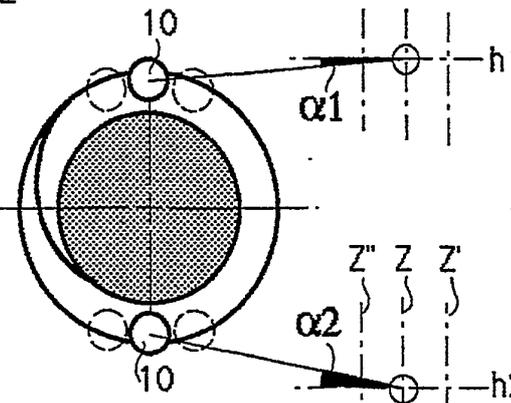


Fig. 19a

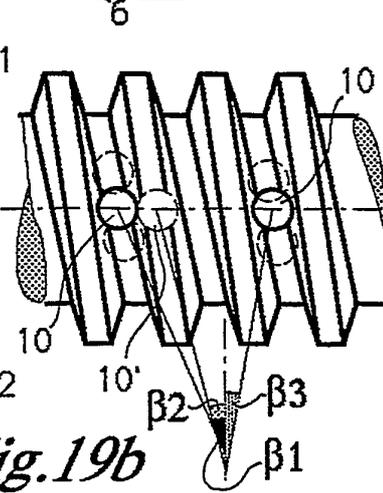


Fig. 19b