



(10) **DE 10 2013 217 475 A1** 2014.06.05

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 217 475.6**

(22) Anmeldetag: **03.09.2013**

(43) Offenlegungstag: **05.06.2014**

(51) Int Cl.: **G01B 3/20** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**13/706,225**

**05.12.2012**

**US**

(71) Anmelder:

**MITUTOYO CORPORATION, Kawasaki-shi,  
Kanagawa, JP**

(74) Vertreter:

**MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann, 80336,  
München, DE**

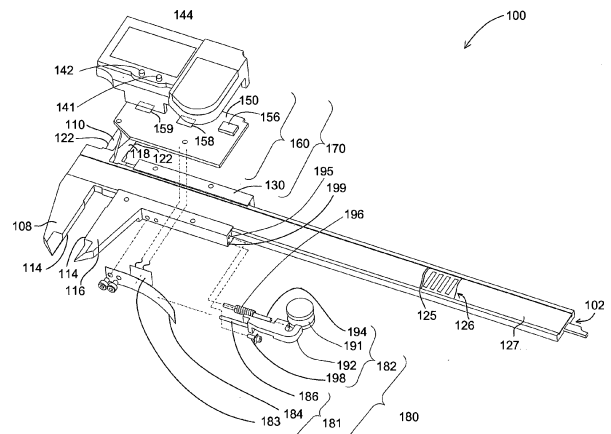
(72) Erfinder:

**Nahum, Michael, Kirkland, Wash., US; Tobiason,  
Joseph D., Bothell, Wash., US; Emtman, Casey E.,  
Kirkland, Wash., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **SYSTEM UND VERFAHREN ZUM EINSTELLEN VON MESSKRAFTSCHWELLEN IN EINEM KRAFTMESSENDEN MESSSCHIEBER**

(57) Zusammenfassung: Ein elektrisch betriebener Messschieber wird vorgesehen, welcher ein Skalenelement, einen Schieber, einen Weggeber, eine Kraftmessanordnung und einen Signalverarbeitungsteil aufweist. Der Signalverarbeitungsteil ist so konfiguriert, dass er ein Kraftsignal empfängt und eine der jeweiligen Position des Schiebers entsprechende jeweilige Kraft angibt. Kraftdaten werden erfasst, welche eine Vielzahl von jeweiligen Positionen des Schiebers entsprechenden jeweiligen Kräften enthalten. Der Signalverarbeitungsteil legt einen akzeptablen Messkraftbereich fest, welcher durch mindestens eine minimale Kraftschwelle begrenzt ist, welche so bestimmt wird, dass sie eine mindestens einer im Kraftsignal enthaltenen Kraftkomponente, welche von Benutzeränderungen der Messkraft unabhängig ist, entsprechende Ausgleichskraft überschreitet. Er kann erfasste Kraftdaten analysieren, um Vor-Kontakt-Daten zu identifizieren, und auf der Grundlage dieser Vor-Kontakt-Daten die minimale Kraftschwelle für einen laufenden Messvorgang einstellen.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND

**[0001]** Verschiedene elektronische Messschieber, welche elektronische Positionsgeber verwenden, sind bekannt. Diese Geber beruhen gewöhnlich auf induktiver, kapazitiver oder magnetischer Kleinsignal-Positionserfassungstechnik. Im Allgemeinen kann ein Geber einen Lesekopf und eine Skala enthalten. Der Lesekopf kann gewöhnlich einen Lesekopfsensor und eine Lesekopfelektronik enthalten. Der Lesekopf gibt Signale aus, welche sich als eine Funktion der Position des Lesekopfsensors bezüglich der Skala entlang einer Messachse verändern. In einem elektronischen Messschieber ist die Skala gewöhnlich an einem langen, dünnen Skalenelement befestigt, welches einen ersten Messschenkel aufweist, und ist der Lesekopf an einem Schieber befestigt, welcher entlang des Skalenelements beweglich ist und welcher einen zweiten Messschenkel aufweist. Somit können Messungen des Abstands zwischen den beiden Messschenkeln auf der Grundlage der Signale vom Lesekopf ermittelt werden.

**[0002]** Beispielhafte elektronische Messschieber sind in den gemeinsam übertragenen US-Patenten Nr. RE37490, 5 574 381 und 5 973 494 offenbart, von welchen jedes hiermit in seiner Gesamtheit durch Verweis einbezogen wird. Ein elektronischer Messschieber nach dem Stand der Technik, welcher fähig ist, eine Kraft zu messen, ist in US-Patentveröffentlichung Nr. 2003/0047009 offenbart. Wie in der '009-Veröffentlichung beschrieben, liegt eine Schwäche der Verwendung älterer Messschieber im Schwanken der Kraft, welche durch die Messschenkel ausgeübt werden kann, und in den Messdifferenzen, welche als Folge davon auftreten können. Dies trifft besonders dann zu, wenn ein weicher Gegenstand gemessen wird, wobei die Messung des Gegenstands sich dadurch ändern kann, dass ein Messender ein hohes Maß an Kraft auf die Messschenkel des Messschiebers ausübt und dadurch den weichen Gegenstand teilweise einkerbt, während ein anderer Messender ein geringes Maß an Kraft ausübt, so dass der weiche Gegenstand nicht eingekerbt wird. Als eine Lösung offenbart die '009-Veröffentlichung einen Messschieber, welcher fähig ist, sowohl die Größe als auch die auf einen Gegenstand ausgeübte Kraft zu messen. Obwohl der Messschieber der '009-Veröffentlichung Kraftmessungen vornimmt, unterlässt er es, ein angemessenes Maß an Kraft zu ermitteln und anzugeben, welches ausgeübt werden sollte, um genaue Messungen zu erzielen. Überdies schlägt sie vor, dass eine Größe gemessen werden kann, wenn ein vordefinierter Druck ausgeübt wird, und der Druck und die entsprechende Größe gemeldet werden können, aber dies ist keine Betriebsart, die der typische Benutzer eines Messschiebers als ergonomisch oder wahrnehmungsmäßig gebräuch-

lich oder günstig empfände, und deshalb wäre sie nicht intuitiv verständlich. Zum Beispiel erwartet ein Benutzer von einer Messschieber-Positionsanzeige (welche eine minimale Größe hat und keine großen Mengen von Informationen gleichzeitig anzeigen kann), dass sie der Schieberposition des Messschiebers folgt und nicht plötzlich bei einem bestimmten Druck einfriert. Als ein weiteres Beispiel gibt die '009-Veröffentlichung an, dass Reibung einen Kraft-Messwert beeinflussen kann, aber sie schlägt keinen ergonomisch oder wahrnehmungsmäßig günstigen Weg vor, dieses Problem anzugehen. Es besteht ein Bedarf an einem Verfahren zum Einführen und Angeben eines angemessenen Maßes an Kraft, welches zum Messen eines Gegenstands mit einem Messschieber in einer ergonomisch zweckmäßigen und intuitiv verständlichen Weise zu verwenden wäre.

## KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0003]** Fig. 1 ist eine auseinandergezogene Darstellung einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines handbedienten Messschiebers mit einem einseitig gerichteten Kraftsensor.

**[0004]** Fig. 2 ist eine auseinandergezogene Darstellung einer zweiten beispielhaften Ausführungsform eines handbedienten Messschiebers mit einem zweiseitig gerichteten Kraftsensor.

**[0005]** Fig. 3 ist eine auseinandergezogene Darstellung des handbedienten Messschiebers aus Fig. 2 beim Messen eines Werkstücks mit einer Federkonstante, welche voraussichtlich höher als die Federkonstante der Betätigerkraft-Federkonstanten-Federn ist.

**[0006]** Die Fig. 4A und Fig. 4B sind Schaubilder, welche Messdaten für ein hartes beziehungsweise ein weiches Werkstück veranschaulichen.

**[0007]** Fig. 5 ist ein Schaubild, welches Messdaten und ein zugehöriges Kalibrierverfahren für ein weiches Werkstück veranschaulicht.

**[0008]** Fig. 6 ist ein Ablaufplan, welcher eine beispielhafte Ausführungsform einer allgemeinen Routine zum Einstellen einer oder mehrerer Messkraftschwellen veranschaulicht.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0009]** Ein elektrisch betriebener Messschieber wird vorgesehen, welcher ein Skalenelement, einen Schieber, einen Weggeber, eine auf dem Schieber befindliche Kraftmessanordnung und einen Signalverarbeitungsteil enthält. Das Skalenelement weist eine erste Messfläche auf, die während einer Messung an ein Werkstück anzulegen ist, und der Schieber weist eine zweite Messfläche auf, die während

einer Messung an das Werkstück anzulegen ist. Der Weggeber ist so konfiguriert, dass er ein auf Änderungen einer Position des Schiebers entlang des Skalenelements reagierendes Positionssignal liefert. Die Kraftmessanordnung ist so konfiguriert, dass sie ein auf Änderungen einer während eines Messvorgangs durch einen Benutzer über die erste oder die zweite oder beide Messflächen auf ein Werkstück ausgeübten Messkraft reagierendes Kraftsignal liefert. Der Signalverarbeitungsteil ist so konfiguriert, dass er das Positionssignal empfängt und eine jeweilige Position des Schiebers entlang des Skalenelements angibt.

**[0010]** In Übereinstimmung mit einem Aspekt umfasst der Signalverarbeitungsteil mindestens eine erste Betriebsart, in welcher er so konfiguriert ist, dass er ein Kraftsignal empfängt und eine der jeweiligen Position des Schiebers entsprechende jeweilige Kraft ermittelt. Kraftdaten werden erfasst, welche eine Vielzahl von jeweiligen Positionen des Schiebers entsprechenden jeweiligen Kräften enthalten. Der Signalverarbeitungsteil ist außerdem so konfiguriert, dass er einen akzeptablen Messkraftbereich festlegt, welcher durch mindestens eine minimale Kraftschwelle begrenzt ist, welche so bestimmt wird, dass sie eine mindestens einer im Kraftsignal enthaltenen Kraftkomponente, welche von Benutzeränderungen der Messkraft unabhängig ist, entsprechende Ausgleichskraft überschreitet. Wie hierin verwendet, beinhaltet der Begriff Ausgleichskraft keine besondere Signalverarbeitung. Vielmehr geht man bei einer Ausgleichskraft lediglich davon aus, dass sie eine Kraftkomponente im Kraftsignal enthält, welche nicht unbedingt als eine Kraft auf das Werkstück übertragen wird, und kann diese deshalb ausgleichende oder anpassende Kraftsignale oder Kraftsignalschwellen in irgendeiner Weise erfordern, so dass tatsächliche Kräfte am Werkstück während des Messens in einen erwünschten Bereich fallen.

**[0011]** In Übereinstimmung mit einem weiteren Aspekt ist in einigen Ausführungsformen die minimale Kraftschwelle eine auf entweder während der Montage im Werk oder während eines Feldkalibriervorgangs, welcher das Erfassen von Kraftdaten, während der Benutzer den Schieber bewegt, ohne eine Kraft auf ein Werkstück auszuüben, umfasst, im Messschieber gespeicherten Kraftkalibrierungs-Daten beruhende statische Schwelle. In einer Ausführungsform ist der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert, dass er die während des Bewegens des Schiebers durch den Benutzer erfassten Kraftdaten analysiert, um auf der Grundlage der analysierten Kraftdaten die minimale Kraftschwelle zu ermitteln und einzustellen. In einer Ausführungsform ist der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert, dass er auf der Grundlage der analysierten Kraftdaten eine Ausgleichskraft ermittelt und auf der Grundlage dieser Ausgleichskraft die minimale Kraftschwelle einstellt.

**[0012]** In Übereinstimmung mit einem weiteren Aspekt ist in einigen Ausführungsformen die minimale Kraftschwelle eine dynamische Schwelle und ist der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert, dass er die erfassten Kraftdaten während eines laufenden Messvorgangs analysiert, um Vor-Kontakt-Daten zu identifizieren, und auf der Grundlage dieser Vor-Kontakt-Daten die minimale Kraftschwelle für den laufenden Messvorgang einstellt.

**[0013]** In einigen Ausführungsformen ist der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert, dass er einen ersten akzeptablen Messkraftbereich für Außenmessungen und einen zweiten akzeptablen Messkraftbereich für Innenmessungen festlegt.

**[0014]** In Übereinstimmung mit einem weiteren Aspekt ist der akzeptable Messkraftbereich in einigen Ausführungsformen außerdem durch eine maximale Kraftschwelle festgelegt. In einigen Ausführungsformen ist die maximale Kraftschwelle eine statische Schwelle. In weiteren Ausführungsformen ist der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert, dass er die maximale Kraftschwelle bezüglich der minimalen Kraftschwelle festlegt.

**[0015]** In Übereinstimmung mit einem weiteren Aspekt ist in einigen Ausführungsformen der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert, dass er die erfassten Kraftdaten während eines laufenden Messvorgangs analysiert und die maximale Kraftschwelle des laufenden Messvorgangs für relativ nachgiebigere Werkstücke näher an der minimalen Kraftschwelle und für relativ steifere Werkstücke weiter entfernt von der minimalen Kraftschwelle dynamisch festlegt. Zum Beispiel analysiert er in einer Ausführungsform die erfassten Kraftdaten während eines laufenden Messvorgangs, um eine Werkstück-Federkonstante zu bestimmen, und legt er, auf der Grundlage der bestimmten Werkstück-Federkonstante, die maximale Kraftschwelle des laufenden Messvorgangs bezüglich der minimalen Kraftschwelle fest.

**[0016]** In Übereinstimmung mit einem weiteren Aspekt kann der Messschieber in einigen Ausführungsformen einen am Schieber befindlichen Kraftbetätiger aufweisen, wobei der Kraftbetätiger eine Kraft-Federkonstanten-Feder enthält, welche ein Maß hat, das durch einen Benutzer verändert wird, um die Messkraft zu ändern. In einigen Ausführungsformen hat die Kraft-Federkonstanten-Feder eine Federkonstante von höchstens 6 N/mm und mindestens 0, 25 N/mm. In einigen Ausführungsformen kann die Kraftmessanordnung ein verformbares Element und einen Dehnungssensor, welcher eine Verformung des verformbaren Elements erfasst, enthalten und können der Kraftbetätiger und die Kraftmessanordnung so konfiguriert sein, dass die Verformung dem veränderten Maß der Kraft-Federkonstanten-Feder entspricht.

**[0017]** In Übereinstimmung mit einem weiteren Aspekt enthält der Messschieber einen durch den Signalverarbeitungsteil gesteuerten Kraftstatusanzeiger, wobei der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er die erfassten Kraftdaten während eines laufenden Messvorgangs analysiert, um den Kraftstatusanzeiger zu steuern, und ein erster Zustand des Kraftstatusanzeigers anzeigt, dass eine aktuelle jeweilige Messkraft erhöht werden muss, um innerhalb des akzeptablen Messkraftbereichs zu liegen, und ein zweiter Zustand des Kraftstatusanzeigers anzeigt, dass eine aktuelle jeweilige Messkraft innerhalb des akzeptablen Messkraftbereichs liegt und eine aktuelle jeweilige angezeigte Position des Schiebers eine gültige Werkstückmessung gemäß durch den Signalverarbeitungsteil verwendeten Kriterien ist. Wenn der akzeptable Messkraftbereich ferner durch eine maximale Kraftschwelle festgelegt wird, wird ein Übermäßige-Kraft-Zustand des Kraftstatusanzeigers, welcher vom ersten und vom zweiten Zustand verschieden ist, vorgesehen, um anzuzeigen, dass eine aktuelle jeweilige Messkraft den akzeptablen Messkraftbereich überschreitet und verringert werden muss, um innerhalb des akzeptablen Messkraftbereichs zu liegen. In Übereinstimmung mit einem weiteren Aspekt schließt das durch den Signalverarbeitungsteil zum Steuern des Zustands des Kraftstatusanzeigers verwendete Kriterium in einigen Ausführungsformen ein Kraftumkehrungs-Kriterium ein und hält, wenn die Analyse der erfassten Kraftdaten besagt, dass eine Kraftumkehrung gemäß dem Kriterium eingetreten ist, ein Kraftumkehrungs-Zustand des Kraftstatusanzeigers, welcher vom ersten und vom zweiten Zustand verschieden ist und anzeigt, dass eine aktuelle jeweilige angezeigte Position des Schiebers keine gültige Werkstückmessung ist, solange an, bis der Benutzer die Kraft oder die Position oder beides verändernde Maßnahmen durchführt, um den Kraftumkehrungs-Zustand aufzuheben. In einigen Ausführungsformen ist der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert, dass er eine Anzeige des Messschiebers verwendet, um Hinweise für den Benutzer anzuzeigen, um den Benutzer beim Durchführen der zum Aufheben des Kraftumkehrungs-Zustands erforderlichen, die Kraft oder die Position oder beides verändernden Maßnahmen anzuleiten. In einer speziellen Ausführungsform umfasst der erste Zustand des Kraftstatusanzeigers, dass keine Anzeigeleuchte leuchtet, umfasst der zweite Zustand des Kraftstatusanzeigers ein Anzeigelicht in einer ersten Farbe, umfasst der Übermäßige-Kraft-Zustand des Kraftstatusanzeigers ein Anzeigelicht in einer zweiten Farbe und umfasst der Kraftumkehrungs-Zustand des Kraftstatusanzeigers eine blinkende Anzeigeleuchte.

**[0018]** In Übereinstimmung mit einem weiteren Aspekt kann mindestens eine Kraftkomponente der Ausgleichskraft eine Schieberreibungskraftkomponente enthalten, welche von der Reibung des Schie-

bers auf dem Skalenelement abhängt. Alternativ oder zusätzlich kann mindestens eine Kraftkomponente eine Schwerkraftkomponente enthalten, welche je nach der Orientierung des Messschiebers und der Masse einer Schiebereinheit, welche sich mit dem Schieber bewegt, verschieden ausfällt. In einigen Ausführungsformen enthält der Messschieber einen Beschleunigungsmesser, wobei eine Ausgabe aus dem Beschleunigungsmesser durch den Signalverarbeitungsteil bei einer Ermittlung der Schwerkraftkomponente verwendet wird.

**[0019]** In einigen Ausführungsformen kann der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert sein, dass er mindestens zwei Betriebsarten für den Messschieber bereitstellt. Eine der beiden Betriebsarten kann eine normale Betriebsart sein (welche z. B. eine Bedienung im Wesentlichen wie bei nach Stand der Technik bekannten handelsüblichen Messschiebern ermöglicht, wobei der Benutzer keine mit Kraftmessungen zusammenhängenden besonderen Bedienungsvorgänge durchführt und keine Kraftmessungen zum Ermitteln von Größenmessungen verwendet werden müssen). Eine solche Betriebsart eignet sich für relativ starre Werkstücke, und der Benutzer braucht sich in diesem Fall nicht mit Bedienungsvorgängen, die mit einer Messkraft zusammenhängen, abzugeben. Eine andere der beiden Betriebsarten kann eine kraftgesteuerte Betriebsart sein (welche z. B. eine Bedienung ermöglicht, wobei der Messschieber einen Gültige-Messkraft-Zustand anzeigt oder eine einem Gültige-Messkraft-Zustand entsprechende gültige Größenmessung anzeigt). Die kraftgesteuerte Betriebsart kann kurz Kraftmodus genannt werden.

**[0020]** Verschiedene Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend beschrieben. Die folgende Beschreibung liefert spezifische Einzelheiten für ein gründliches Verständnis und eine befähigende Beschreibung dieser Ausführungsformen. Einem Fachmann wird jedoch einleuchten, dass die Erfindung ohne viele dieser Einzelheiten in die Praxis umgesetzt werden kann. Zusätzlich werden einige wohlbekannte Strukturen oder Funktionen möglicherweise nicht im Einzelnen gezeigt oder beschrieben, um ein unnötiges Verschleiern der relevanten Beschreibung der verschiedenen Ausführungsformen zu vermeiden. Die in der nachfolgend dargelegten Beschreibung verwendete Terminologie soll in ihrer breitesten angemessenen Weise interpretiert werden, selbst wenn sie in Verbindung mit einer ausführlichen Beschreibung bestimmter spezieller Ausführungsformen der Erfindung verwendet wird.

**[0021]** Fig. 1 ist eine auseinandergezogene Darstellung einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines handbedienten Messschiebers **100** mit einem einseitig gerichteten Kraftsensor. In diesem Beispiel enthält der Messschieber **100** eine magnetische oder induktive Sensoreinheit **158**, und ein eine Skalen-

schiene **126** enthaltender Skalenträger **125** (von welchen jeweils ein aufgeschnittenes Segment dargestellt ist) ist in einer Nut **127** entlang eines langen, dünnen Skalenelements **102** angeordnet. Man wird erkennen, dass in weiteren Ausführungsformen andere Arten von Sensoreinheiten **158** (z. B. kapazitive usw.) verwendet werden können. Eine Schiebereinheit **170** enthält eine an einem Schieber **130** befestigte Elektronikeinheit **160**. Die Sensoreinheit **158** ist in der Elektronikeinheit **160** enthalten. Der allgemeine mechanische Aufbau und die physische Bedienung des Messschiebers **100** ähnelt dem- bzw. derjenigen bestimmter älterer elektronischer Messschieber wie dem- bzw. derjenigen des gemeinsam übertragenen US-Patents Nr. 5 901 458, welches hiermit in seiner Gesamtheit durch Verweis einbezogen wird. Das Skalenelement **102** ist ein starrer oder halbstarrer Stab, welcher verschiedene Nuten und/oder weitere in einen gewöhnlich rechteckigen Querschnitt eingearbeitete Merkmale enthalten kann. Der Skalenträger **125** kann starr in die Nut **127** geklebt sein, und die Skalenschiene **126** kann Skalenelemente enthalten, welche mit entsprechenden Elementen (nicht gezeigt) der in der Elektronikeinheit **160** enthaltenen Sensoreinheit **158** auf eine der in bekannten elektronischen Messschiebern verwendeten Weise ähnliche Weise und wie in den zuvor einbezogenen Patenten RE37490 und 5 901 458 und im gemeinsam übertragenen US-Patent Nr. 6 400 138, welches in seiner Gesamtheit durch Verweis hierin einbezogen wird, beschrieben zusammenwirken.

**[0022]** Ein Paar Messschenkel **108** und **110** ist nahe einem ersten Ende des Skalenelements **102** in einem Stück mit diesem gebildet. Ein entsprechendes Paar Messschenkel **116** und **118** ist am Schieber **130** gebildet. Die Außenmaße eines Werkstücks werden durch Einlegen des Werkstücks zwischen ein Paar Eingriffsflächen **114** der Messschenkel **108** und **116** gemessen. Entsprechend werden die Innenmaße eines Werkstücks durch Anlegen eines Paares Eingriffsflächen **122** der Messschenkel **110** und **118** an gegenüberliegende Innenflächen des Werkstücks gemessen. In einer Position, die bisweilen als die Nullposition referenziert wird, stoßen die Eingriffsflächen **114** aneinander, fluchten die Eingriffsflächen **122** und können sowohl das Außen- als auch das Innenmaß, welche durch den Messschieber **100** gemessen werden, als null angezeigt werden.

**[0023]** Das gemessene Maß kann an einer Digitalanzeige **144**, welche innerhalb einer Abdeckung **140** der Elektronikeinheit **160** des Messschiebers **100** angebracht ist, angezeigt werden. Die Elektronikeinheit **160** kann auch einen Drucktaster **141** (z. B. einen "Nullpunkt"-Schalter), einen Kraftstatusanzeiger **142** (z. B. eine zwei- oder dreifarbige Leuchte) und eine Signalverarbeitungs- und Anzeige-Leiterplatte **150** enthalten. Wie unten noch ausführlicher beschrieben werden wird, kann in einer Realisierung

der Drucktaster **141** als Teil eines Verfahrens zum Einstellen von Kraftschwellen verwendet werden und kann der Kraftstatusanzeiger **142** zum Bereitstellen von Kraftschwellen-Signalen (z. B. "grün", wenn die Kraft innerhalb eines erwünschten Messbereichs liegt, und "rot", wenn die Kraft den erwünschten Messbereich überschritten hat) verwendet werden. Die Signalverarbeitungs- und Anzeige-Leiterplatte **150** kann einen Beschleunigungsmesser **156** und eine Lesekopf-Signalverarbeitungs- und Steuerungschaltung **159** enthalten. Wie unten noch ausführlicher beschrieben werden wird, kann in einigen Ausführungsformen eine Ausgabe aus dem Beschleunigungsmesser **156** bei der Ermittlung mindestens einer Kraftkomponente verwendet werden. In einigen Ausführungsformen kann eine Ausgabe aus dem Beschleunigungsmesser verwendet werden, um zu ermitteln, ob der Messschieber nicht richtig für eine gültige Kraftmessung orientiert ist, in welchem Fall ein Warnsignal für den Benutzer bereitgestellt werden kann. Wie in **Fig. 1** gezeigt, kann die Unterseite der Signalverarbeitungs- und Anzeige-Leiterplatte **150** so angebracht sein, dass sie an den Oberseiten des Schiebers **130** auf beiden Seiten des Skalenelements **102** anliegt.

**[0024]** Eine Kraftmesseinheit **180** ist am Schieber **130** befestigt. In dieser speziellen Ausführungsform enthält die Kraftmesseinheit **180** eine Kraftmessanordnung, welche in dieser speziellen Ausführungsform durch eine Dehnungsmesseinheit **181** und eine Kraftbetätiger-Einheit **182** in dieser speziellen Ausführungsform bereitgestellt ist. Die Dehnungsmesseinheit **181** enthält einen Dehnungssensor **183**, ein Dehnungselement **184** und einen Dehnungselement-Betätiger **186**. Der Dehnungssensor **183** erzeugt elektrische Signale, welche das dem Dehnungselement **184**, wenn es durch Eingriff des Dehnungselement-Betätigers **186** gekrümmt wird, auferlegte Maß an Verformung anzeigen. Der Dehnungselement-Betätiger **186** ist mechanisch mit der oder mit einem Teil der Kraftbetätiger-Einheit **182** verbunden. Die Kraftbetätiger-Einheit **182** enthält ein Rändelrad **191**, einen Kraftbetätiger-Körper **192**, eine Führungsstange/Lagerung **194** und eine Betätigerkraft-Federkonstanten-Feder **196**. Wenn ein Benutzer am Rändelrad **191** schiebt, um den Schieber **130** zum ersten Ende des Skalenelements **102** hin zu bewegen, wird der Dehnungselement-Betätiger **186** so nach vorn geschoben, dass er eine zusätzliche Krümmung im Dehnungselement **184** bewirkt, welche der Dehnungssensor **183** in elektrische Signale umwandelt.

**[0025]** Die Betätigerkraft-Federkonstanten-Feder **196** ist um die Führungsstange/Lagerung **194** herum angeordnet, welche in einem Führungsstangen-/Lagerungs-Loch **195** des Schiebers **130** untergebracht ist. Wenn ein Benutzer am Rändelrad **191** schiebt, um den Schieber **130** zum ersten Ende des Skalenelements **102** hin zu bewegen, wird die Betäti-

gerkraft-Federkonstanten-Feder **196** zusammengedrückt. Wie unten noch ausführlicher beschrieben werden wird, ermöglicht die Verwendung der Betätigerkraft-Federkonstanten-Feder **196** einen weniger steilen Anstieg oder Rückgang der Kraft, welcher über einen größeren Bereich von Positionen hinweg erfolgt. Dies hat wesentlich eine bessere Beherrschung und ein besseres "Gefühl" für einen Benutzer zur Folge, wenn dieser versucht, die Bedienung so auszuführen, dass während eines Messvorgangs ein erwünschter Kraftbetrag bereitgestellt wird.

**[0026]** Fig. 2 ist eine auseinandergezogene Darstellung einer zweiten beispielhaften Ausführungsform eines handbedienten Messschiebers **200** mit einem zweiseitig gerichteten Kraftsensor. Im Übrigen kann der Messschieber **200** dem Messschieber **100** gleichen, und deshalb werden bezüglich Fig. 2 lediglich die bedeutenden Unterschiede beschrieben. Bestimmte Teile des Messschiebers sind in Fig. 2 weggelassen, damit verschiedene Komponenten des zweiseitig gerichteten Kraftsensors deutlicher veranschaulicht werden können.

**[0027]** Ein Hauptunterschied zwischen dem Messschieber **200** und dem Messschieber **100** ist, dass die Führungsstange/Lagerung **194** zwischen zwei Teilen **296A** und **296B** einer Betätigerkraft-Federkonstanten-Feder **296**, welche in einigen Ausführungsformen auch aus zwei getrennten Federn bestehen kann, angebunden ist. Wie in Fig. 2 gezeigt, sind die beiden Betätigerkraft-Federkonstanten-Federn **296A** und **296B** um die Führungsstange/Lagerung **194** herum angeordnet und stoßen sie an eine Teileinrichtung **296C** (z. B. einen Sicherungsring), welche (bzw. welcher) an der Führungsstange/Lagerung **194** befestigt ist. Bei dieser Konfiguration wird, wenn ein Benutzer am Rändelrad **191** schiebt, um den Schieber **130** zum ersten Ende des Skalenelements **102** hin zu bewegen, die Betätigerkraft-Federkonstanten-Feder **296A** zusammengedrückt (z. B. zur Messung der Außenmaße eines Werkstücks), ähnlich der Bedienung bei der Betätigerkraft-Federkonstanten-Feder **196** in Fig. 1. Jedoch wird, wenn ein Benutzer das Rändelrad **191** in der entgegengesetzten Richtung bewegt (d. h. um die Richtung des Schiebers **130** zum entgegengesetzten Ende des Skalenelements **102** hin umzukehren), die Betätiger-Federkonstanten-Feder **296B** zusammengedrückt (z. B. zur Messung der Innenmaße eines Werkstücks). Auf diese Weise wird durch die Verwendung der Federkonstanten-Federn **296A** und **296B** eine zweiseitig gerichtete Messkonfiguration erzielt.

**[0028]** Anhand einer beispielhaften Konfiguration lässt sich die grundsätzliche Bedienung des Messschiebers **200** wie folgt beschreiben. Der Messschieber kann einer Position Zero set beginnen. An der Position Zero set befindet sich der Messschieber gewöhnlich in der Mitte des zweiseitig gerichteten Mess-

bereichs, wo die Betätigerkraft-Federkonstanten-Federn **296A** und **296B** jeweils ungefähr gleich vorgespannt sind. Auch das Dehnungselement **184** ist an der Position Zero set nahezu in der Mitte seines Bereichs vorgespannt. Wenn der Benutzer das Rändelrad **191** schiebt, um die Federkonstanten-Feder **296A** zusammenzudrücken, kann eine Endposition L-extmeas erreicht werden. Die Endposition L- kann einer Außenmessungs-Kraftgrenze entsprechen (z. B. zum Messen der Außenmaße eines Werkstücks). Zum Beispiel kann die zusammengedrückte Feder **296A** ihre Festkörperhöhe erreichen und eine weitere Durchfederung des Dehnungselements **184** bei zunehmender ausgeübter Kraft verhindern, wodurch eine sinnvolle Kraftmessung verhindert wird. Entsprechend kann, wenn das Rändelrad **191** durch einen Benutzer in der entgegengesetzten Richtung bewegt wird, eine Endposition I-intmeas erreicht werden. Die Endposition I-intmeas kann einer Innenmessungs-Grenze entsprechen (z. B. zum Messen der Innenmaße eines Werkstücks). In einer Realisierung können die Endpositionen L-extmeas und I-intmeas dort ermittelt werden, wo die Federn **296A**, **296B** und/oder **184** in einen unerwünschten Bereich eintreten. Der unerwünschte Bereich kann dadurch festgelegt werden, dass die Federn entweder relativ kraftunempfindlich sind, weil sie ihre Festkörperhöhe annähernd erreicht haben, oder einen Punkt erreichen, wo die Ausgabe inakzeptabel nichtlinear wird. In einer Ausführungsform kann das Erreichen der Endpositionen L-extmeas oder I-intmeas, ohne dass bereits andere Kraftgrenzen erreicht wurden, eine Ausgabe aus dem Dehnungselement erzeugen, welche das Einschalten der "roten" Kraftstatusanzeigeleuchte **142** auslöst (z. B. auf der Grundlage von in der Messschieber-Signalverarbeitung realisierten Auslösegrenzen), um anzuzeigen, dass die Kraft einen erwünschten Messbereich überschritten hat.

**[0029]** Man wird erkennen, dass, obwohl die zweiseitig gerichtete Messkonfiguration in Fig. 2 als mit den beiden Betätigerkraft-Federkonstanten-Federn **296A** und **296B** erzielt veranschaulicht ist, auch andere Konfigurationen realisiert werden können. Zum Beispiel kann in einer alternativen Ausführungsform eine einzige Betätigerkraft-Federkonstanten-Feder verwendet werden, welche dauerhaft an beiden Enden befestigt ist. Eine solche Konfiguration würde gestatten, die erforderlichen Kräfte durch Zug- oder Druckbelastung derselben Feder zu erzielen. In einer speziellen, beispielhaften Veranschaulichung, wo die Messung die Außenmaße des Werkstücks betrifft, könnte eine solche Feder mit einer Kraft im Bereich von 3 bis 5 N um 2 bis 4 mm zusammengedrückt werden. Bei Messungen der Innenmaße eines Werkstücks könnte die Feder mit einer Kraft im Bereich von 3 bis 5 N um 2 bis 4 mm gedehnt werden. Hinsichtlich solcher Ausführungsformen und/oder der Ausführungsform in Fig. 2 hat der Erfinder in bestimmten speziellen Realisierungen im allgemeinen festge-

stellt, dass es erwünscht sein kann, Federn zu verwenden, welche eine Federkonstante von 0,25 N/mm bis 6 N/mm aufweisen, um bestimmte ergonomische Eigenschaften bereitzustellen. Man sollte erkennen, dass während des Ausübens einer kontrollierten Kraft beim Verwenden eines Messschiebers gewöhnlich einige Finger einer Hand die Messschieber-Skala ergreifen (wodurch der größte Teil der Hand relativ zum Messschieber fixiert wird), ein Finger sich auch um den Schieber herum legen kann und ein Daumen sich relativ zur Hand bewegen kann, um den Kraftbetätiger bezüglich des Schiebers zu einzustellen. Somit ist der zweckmäßige Daumenbewegungsbereich relativ zur übrigen Hand begrenzt. Selbst bei Werkstücken, welche unter einer Messkraft durchfedern und/oder kriechen können, stellt die 0,25 N/mm-Grenze im allgemeinen sicher, dass ein sinnvoller Kraftänderungsbetrag innerhalb eines zweckmäßigen und bequemen Daumenbewegungsbereichs relativ zur übrigen Hand vorgesehen werden kann, während die Obergrenze von 6 N/mm sicherstellt, dass die Kraftänderung bei einer kleinen Bewegung des Daumens nicht so groß ist, dass der Benutzer sie als für eine mühelose und stabile Beherrschung zu empfindlich empfindet. Anders ausgedrückt, der Erfinder hat herausgefunden, dass dieser Federkonstanten-Bereich einem Benutzer ein erwünschtes Messgefühl verschafft. Man wird erkennen, dass durch die Verwendung von Hebeln oder Getrieben oder sonstigen bekannten Maschinenelementen die Beziehung zwischen Fingerverlagerung und Kraft so verändert werden kann, dass in weiteren Ausführungsformen andere Federkonstanten (z. B. im Bereich von 0,05 bis 20 N/mm) verwendet werden können. In einigen Ausführungsformen können andere Federarten (z. B. ein elastischer Polymerwerkstoff) verwendet werden, um die Kraft-Federkonstanten-Feder bereitzustellen.

**[0030]** Fig. 3 ist eine auseinandergezogene Darstellung des handbedienten Messschiebers aus Fig. 2 beim Messen eines Werkstücks **310**, das eine Werkstück-Federkonstante aufweist, welche höher als die Federkonstante der Betätigerkraft-Federkonstanten-Feder **296A** ist. Wie in Fig. 3 gezeigt, wird das Werkstück **310** durch den zum Messschenkel **108** hin bewegten Messschenkel **116** ergriffen und/oder zusammengedrückt. Der Betrag der Zusammendrückung des Werkstücks **310** wird durch das Maß DISPwp angegeben, welches den Verschiebungsbetrag des Werkstücks, wenn es zusammengedrückt wird, angibt. Die entsprechende Bewegung des Betätigerkörpers **192** und die Zusammendrückung der Betätiger-Federkonstanten-Feder **296A** (welche den Kraftzuwachs ergibt, welcher den Zusammendrückungszuwachs des Werkstücks ergibt) werden durch das Maß DISPact angegeben. Die folgenden Gleichungen veranschaulichen die verschiedenen Beziehungen zwischen den Maßen, der ausgeübten Kraft und den jeweiligen Federkonstanten.

$$\text{DISPact} = \Delta F / K_{\text{act}} \quad (1)$$

$$\text{DISPwp} = \Delta \text{meas} = \Delta F / K_{\text{wp}} \quad (2)$$

$$\text{DISPact} / \text{DISPwp} = [\Delta F / K_{\text{act}}] / [\Delta F / K_{\text{wp}}] = K_{\text{wp}} / K_{\text{act}} \quad (3)$$

**[0031]** Wie durch Gleichung 1 angegeben, ist die Verschiebung im Betätiger DISPact gleich der Delta-Kraft  $\Delta F$  geteilt durch die Konstante für die Betätigerfeder  $K_{\text{act}}$ . Wie durch Gleichung 2 angegeben, ist die Verschiebung aufgrund der Zusammendrückung des Werkstücks DISPwp gleich der Delta-Messung  $\Delta \text{meas}$ , welche gleich der Delta-Kraft  $\Delta F$  geteilt durch die Konstante für die Zusammendrückung des Werkstücks  $K_{\text{wp}}$  ist. Wie durch Gleichung 3 angegeben, ist die Gesamtverschiebung des Betätigers DISPact geteilt durch die Verschiebung aufgrund der Zusammendrückung des Werkstücks DISPwp gleich der Federkonstanten für die Zusammendrückung des Werkstücks  $K_{\text{wp}}$  geteilt durch die Federkonstante für die Zusammendrückung der Betätigerfeder  $K_{\text{act}}$ .

**[0032]** Laut den oben beschriebenen Beziehungen der Gleichungen 1 bis 3 ist es in einigen Ausführungsformen erwünscht, dass die Betätigerfedern **296A** und **296B** eine Federkonstante haben, welche niedriger als eine erwartete Werkstück-Federkonstante ist (d. h. eine Betätiger-Federkonstanten-Zusammendrückungskonstante  $K_{\text{act}}$ , welche niedriger als eine Werkstück-Federkonstanten-Zusammendrückungskonstante  $K_{\text{wp}}$  ist). Bei harten, metallenen Werkstücken, die sehr steif sind, kann eine hohe Kraftbetätiger-Federkonstante oder sogar ein starrer Kraftbetätiger akzeptabel sein, da solche Werkstücke nicht merklich zusammendrückbar sind und die ausgeübte Kraft nicht genau dosiert zu werden braucht. Jedoch ist dies bei nachgiebigen Werkstücken, welche auf ein Messmaß, das von der ausgeübten Messkraft abhängt, zusammendrückbar sind, nicht der Fall. Bei solchen Werkstücken ist die Federkonstante der Betätigerfedern **296A** und **296B** sowohl wegen der Wiederholbarkeit von Messungen als auch aus ergonomischen Gründen wichtig. Diese hängen gewöhnlich mit einer Wegtoleranz für "Daumenempfindlichkeit" bei einer Bewegung des Rändelrads **191** durch den Benutzer wie oben in groben Zügen dargestellt, um mit ergonomischer Leichtigkeit eine relativ stabile Kraft bereitzustellen, zusammen. Anders ausgedrückt, es ist erwünscht sicherzustellen, dass die Bewegung des Rändelrads **191** einem Benutzer ein akzeptables "Messgefühl" verschafft. Wie oben beschrieben, kann es in einer speziellen, beispielhaften Realisierung erwünscht sein, dass die Betätigerkraft-Federkonstanten-Federn **296A** und **296B** in einen Bereich zwischen 0,25 N/mm und 6 N/mm fallen (z. B. ergab in einer speziellen, beispielhaften Realisierung eine 0,6 N/mm-Feder ein akzeptables Messgefühl).

**[0033]** Die **Fig. 4A** und **Fig. 4B** sind Schaubilder **400A** und **400B**, welche Messdaten und zugehörige Überlegungen für ein hartes beziehungsweise ein weiches Werkstück veranschaulichen. Wie oben bezüglich **Fig. 1** beschrieben, kann in bestimmten Realisierungen ein Signal an einen Benutzer geliefert werden, um anzugeben, dass der Messkraft-Messwert einen erwünschten Bereich erreicht hat (z. B. kann im Kraftstatusanzeiger **142** in **Fig. 1** ein grünes Licht vorgesehen werden, nachdem ein erwünschter Messkraftbereich erreicht wurde). Zusätzlich kann es in einigen Realisierungen auch erwünscht sein, einen weiteren Anzeiger vorzusehen, wenn zuviel Kraft ausgeübt wird (z. B. kann im Kraftstatusanzeiger **142** in **Fig. 1** ein rotes Licht vorgesehen werden, um anzuzeigen, dass zuviel Kraft ausgeübt wird). In dieser Hinsicht kann eine minimale Kraftschwelle eingeführt werden (z. B. zum Auslösen des grünen Lichts) und kann eine maximale Kraftschwelle eingeführt werden (z. B. zum Auslösen des roten Lichts). Wie in **Fig. 4A** gezeigt, kann eine minimale Kraftschwelle  $T_{minO}$  in einigen Ausführungsformen auf einen Wert über der Vor-Kontakt-Schwankung der Kraftmessungs-Datenpunkte, welche sich vor dem Kontakt mit dem Werkstück ereignen und gewöhnlich für die Reibungskraft des Schiebers (und in einigen Fällen Schwerkraft) repräsentativ sind, eingestellt werden. Die maximale Kraftschwelle  $T_{maxHwp}$  kann auf einen Wert eingestellt werden, welcher innerhalb des Kraftmessbereichs des Messschiebers liegt und die Obergrenze eines akzeptablen Kraftwerts angibt, wobei voraussichtlich "harte" Werkstücke nicht übermäßig verformt werden. Ein Maß  $RangeHwp$  gibt die Messpositions-Differenz zwischen einer Messung bei der minimalen Kraftschwelle  $T_{minO}$  und einer Messung bei der maximalen Kraftschwelle  $T_{maxHwp}$  an. Im allgemeinen kann  $T_{max}$  bei einem harten Werkstück (das heißt, einem Werkstück mit hoher Federkonstante) wie dem in **Fig. 4A** veranschaulichten relativ hoch eingestellt werden, um einen breiten Bereich für akzeptable Messkräfte bereitzustellen, und kann eine beliebige Kraft zwischen  $T_{min}$  und  $T_{max}$  immer noch eine Messung innerhalb eines erwünschten Wiederholbarkeitsbereichs  $DRep$  erzielen (z. B. in einigen Ausführungsformen innerhalb 1 bis 2 niedrigstwertiger Bits der Messung oder weniger). Im Gegensatz dazu muss, wie unten bezüglich **Fig. 4B** noch ausführlicher beschrieben werden wird, bei einem weichen (d. h. nachgiebigen) Werkstück möglicherweise ein anderer  $T_{max}$ -Wert verwendet werden, um eine ähnliche erwünschte Wiederholbarkeit  $DRep$  für Messungen zu erreichen.

**[0034]** Wie in **Fig. 4B** gezeigt, ist die Steilheit der Kraftkurve, nachdem der Kontakt mit dem Werkstück hergestellt wurde, bei einem nachgiebigen Werkstück erheblich anders als bei dem in **Fig. 4A** veranschaulichten harten Werkstück. Anders ausgedrückt, infolge der niedrigeren Federkonstante und der geringeren Steilheit der Kraftkurve kann das Werkstück in-

nerhalb der Messschenkel des Messschiebers, wenn die maximale Kraftschwelle  $T_{maxHwp}$  auf der gleichen Höhe belassen wird, welche bei dem harten Werkstück in **Fig. 4A** verwendet wurde, erheblich mehr zusammengedrückt/verformt werden, so dass die Veränderung von Messungen infolge von Kraftänderungen bedeutender ist. Wie in **Fig. 4B** veranschaulicht, gibt ein Maß  $RangeCwp$  die Messpositions-Differenz zwischen einer Messung bei der minimalen Kraftschwelle  $T_{minO}$  und einer Messung bei der maximalen Kraftschwelle  $T_{maxCHwp}$  "für harte Werkstücke" an. Man kann erkennen, dass  $RangeCwp$  die erwünschte Wiederholbarkeit  $DRep$  überschreitet. Um die erwünschte Wiederholbarkeit  $DRep$  zu erzielen, die in **Fig. 4A** erzielt wurde, kann eine niedrigere maximale Kraftmessschwelle  $T_{maxCwp}$  verwendet werden. Durch Verwenden der niedrigeren maximalen Kraftschwelle  $T_{maxCwp}$  kann eine erwünschte Wiederholbarkeit  $Range'Cwp$  erzielt werden, welche mit der erwünschten Wiederholbarkeit  $DRep$  ungefähr übereinstimmt. Auf der Grundlage dieser Beschreibung wird man erkennen, dass es in einigen Ausführungsformen, um Benutzerfreundlichkeits-Überlegungen gegen Genauigkeits-Überlegungen abzuwägen, für einen Kraft-Messschieber vorteilhaft sein kann, über mindestens zwei Messmodi mit verschiedenen Maximale-Kraft-Kriterien, welche sich für harte beziehungsweise nachgiebige Werkstücke eignen, zu verfügen. Wie unten bezüglich der **Fig. 5** bis **Fig. 6** noch ausführlicher beschrieben werden wird, können zum Einstellen der maximalen Kraftschwellen für weiche oder nachgiebige Werkstücke verschiedene Verfahren verwendet werden. Man kann erkennen, dass ein akzeptabler Messkraftbereich gegenüber einem einzigen Kraftwert als eine Grundlage für die Angabe, dass eine Größermessung akzeptabel ist, zu bevorzugen sein kann. In einem solchen Fall kann der Benutzer verschiedene Kräfte innerhalb des angegebenen akzeptablen (und/oder inakzeptablen) Bereichs ausüben und die Empfindlichkeit der sich ändernden Messung in der Anzeige in Echtzeit beobachten und gewöhnlich den Messschieber auf eine gewohnte und intuitiv verständliche Weise bedienen, um einen erwünschten Messwert abzulesen.

**[0035]** **Fig. 5** ist ein Schaubild **500**, welches idealisierte Messdaten und zugehörige Signalverarbeitungs- und Bedienungsüberlegungen für ein relativ nachgiebiges Werkstück veranschaulicht. Wie in **Fig. 5** an einem Punkt A veranschaulicht, wird keine Kraft ausgeübt und liegt die Messposition auf einer Startposition. Wenn ein Benutzer beginnt, über einen Betätiger (z. B. die Kraftbetätiger-Einheit **182'**) Kraft auszuüben, um den Schieber zu bewegen, muss zunächst die Reibungskraft des Schiebers überwunden werden, wofür die Kurve auf den Punkt B springt. Vom Punkt B zum Punkt C bewegt sich der Schieber auf das Werkstück zu, wobei die Datenpunkte die geringfügigen Vor-Kontakt-Schwankungen der



Kraft-Messwerte gewöhnlich auf einer mittleren Höhe  $T_{comp}$  angeben, wobei die Hauptkomponente in diesem Beispiel die Reibungskraft des Schiebers ist. Beim Punkt C wird der Kontakt mit dem Werkstück hergestellt und steigt die Kraft an. Bei Punkt D ist die Kraft auf den Schwellenkraft-Wert  $T_{minO}$  erhöht und kann ein Anzeiger eines akzeptablen Messkraftbereichs aktiviert werden (z. B. kann im Kraftstatusanzeiger **142** in **Fig. 1** ein grünes Licht vorgesehen werden). Zwischen den Punkten D und E kann der Benutzer fortfahren, das nachgiebige Werkstück durch Erhöhen der Betätigerkraft gegen die Messschenkel des Messschiebers zusammenzudrücken, was bewirkt, dass der Positions-Messwert zunimmt, wenn die Kraft erhöht wird. Beim Punkt E ist die Kraft auf den Schwellenkraftwert  $T_{maxCwp}$  erhöht und kann ein Anzeiger eines inakzeptablen Messkraftbereichs aktiviert werden (z. B. kann im Kraftstatusanzeiger **142** in **Fig. 1** ein rotes Licht vorgesehen werden). Zwischen den Punkten E und E' erhöht der Benutzer die Betätigerkraft nicht, kann aber in diesem speziellen Beispiel Werkstückkriechen auftreten (d. h. das Werkstück wird weiter zusammengedrückt, selbst wenn die Kraft konstantgehalten wird).

**[0036]** Zwischen den Punkten E' und F kann der Benutzer beginnen, die Betätigerkraft zu senken, was möglicherweise nicht mit einer Positionsänderung einhergeht, da diese Kraftsenkung noch in einem Bereich liegt, welcher eine "Kraftrelaxation" innerhalb des Bereichs der Reibungskraft darstellt, ohne die Reibungskraft in der entgegengesetzten Richtung zu überwinden. Jedoch kann die Kraftsenkung ohne eine damit einhergehende Verschiebung an Punkt F erfasst werden, was in einigen Ausführungsformen und/oder besonderen Fällen einen Kraftumkehrungs-Signalverarbeitungsmodus auslösen kann, wie etwa bei der weiter unten beschriebenen Ausführungsform. Zwischen den Punkten F und G kann der Benutzer fortfahren, die Betätigerkraft zu senken, was möglicherweise nicht mit einer Positionsänderung einhergeht, bis bei Punkt G die Reibungskraft in der entgegengesetzten Richtung überwunden wird und der Schieber beginnt, sich in der entgegengesetzten Richtung zu bewegen. Zwischen den Punkten G und H kann der Benutzer fortfahren, die Betätigerkraft zu senken, und dann eine Betätigerkraft in der entgegengesetzten Richtung ausüben (wobei er von positiver zu negativer Kraftpolarität wechselt), und das nachgiebige Werkstück in den Messschenkel des Messschiebers beginnt, seine ursprüngliche Form wiederanzunehmen, was dazu führt, dass der Positions-Messwert zurückgeht, wenn die Betätigerkraft gesenkt wird. Angenommen, dass keine Rest-"Setzung" im Werkstück vorliegt, löst sich der Messschenkel am Punkt H vom Werkstück und bewegt sich der Schieber auf den Punkt J zu, wobei der Benutzer über den Betätiger (z. B. die Kraftbetätiger-Einheit **182'**) eine relativ gleichmäßige Kraft negativer Polarität ausübt, um den Schieber zu bewegen, wo-

bei die Datenpunkte die geringfügigen Vor-Kontakt-Schwankungen der Kraft-Messwerte gewöhnlich auf einer mittleren Höhe  $T_{comp-neg}$  angeben, wobei die Hauptkomponente in diesem Beispiel wiederum die Reibungskraft des Schiebers ist.

**[0037]** Mehrere in Bezug auf Kraft-Messschieber nach Stand der Technik nicht berücksichtigte Punkte können unter Bezugnahme auf **Fig. 5** betrachtet werden. Man sollte erkennen, dass eine erste "Kraft/Weg-Kurve" zwischen den Punkten C und E beobachtet wird und diese Kurve zum Teil von der Vorgeschichte der Bewegung des Schiebers abhängt (zum Beispiel nähert die Kurve sich in der Figur dem Punkt C kontinuierlich von links ungefähr mit dem Kraftwert  $T_{comp}$ ). Im Gegensatz dazu wird, in diesem Beispiel infolge von Reibungswirkungen, zwischen den Punkten E' (oder F) und G eine zweite Kraft/Weg-Kurve für ungefähr den gleichen Kraftbereich wie zwischen den Punkten C und E beobachtet, so dass man zum Beispiel bei der Kraft  $T_{minO}$  aus der ersten und der zweiten Kraft/Weg-Kurve zwei erheblich verschiedene Positionsmessungen erhalten kann. Die potentielle Differenz zwischen diesen Positionsmessungen kann von einer Beziehung zwischen den Reibungskräften (welche in diesem besonderen Beispiel zusammen ungefähr gleich  $T_{comp}$  plus  $T_{comp-neg}$  sind) und der Federkonstante des nachgiebigen Werkstücks abhängen. In einigen Fällen kann die Differenz größer als eine erwünschte Wiederholbarkeit sein (z. B. bei relativ nachgiebigeren Werkstücken und/oder relativ hoher Reibung). Somit ist es in einigen Ausführungsformen erwünscht, dass die Signalverarbeitung zwischen diesen beiden Kraft/Weg-Kurven unterscheidet und nicht einfach eine Schwelle oder einen Bereich "akzeptabler Messkräfte" als die einzige Grundlage für die Angabe einer erwünschten Werkstückmessung angibt. Aus diesem und weiteren unten in groben Zügen dargestellten Gründen kann die Signalverarbeitungs-Elektronik in einigen Ausführungsformen eine Vorgeschichte (z. B. in einer Ausführungsform eine ständig aktualisierte Folge einer vordefinierten Länge) gepaarter Kraft- und Positionsdaten-Momentanwerte speichern und eine Kraftumkehrungserfassungs- und -anzeigeroutine enthalten.

**[0038]** Die Signalverarbeitungs-Elektronik kann so konfiguriert sein, dass sie die Vorgeschichte häufig analysiert (z. B. mit einer auf einer Zeitdauer oder einem Bewegungsbetrag oder beidem beruhenden Häufigkeit) und auf der Grundlage dieser Analyse verschiedene Vorgänge steuert. In einigen Ausführungsformen enthält die Signalverarbeitungs-Elektronik zum Beispiel eine Routine, welche erkennt, dass die Schwelle  $T_{minO}$  überschritten wird, und enthält sie eine "Federkonstanten"-Ermittlungs-Routine, welche Daten "oberhalb  $T_{minO}$ " analysiert, bei welchen Kraft und Position eine gleichmäßige Beziehung von Kraft- und Positionsänderung zwischen aufeinanderfolgenden Momentanwerten aufweisen (indem sie z.

B. beide ansteigen wie durch die offenen quadratischen Datenpunkte zwischen D und E in **Fig. 5** gezeigt), um die Werkstück-Federkonstante zu ermitteln. Auf der Grundlage der aus wie oben in groben Zügen dargestellt qualifizierten Daten (z. B. mit Kräften oberhalb  $T_{minO}$  und mit einer gleichmäßigen Beziehung von Kraft- und Positionsänderung) ermittelten Werkstück-Federkonstante kann eine erwünschte Wiederholbarkeit oder Toleranz verwendet werden, um eine erwünschte "automatisch angepasste" obere Kraftgrenze  $T_{maxCwp}$  für diese bestimmte Werkstück-Federkonstante zu ermitteln, wie in **Fig. 5** gezeigt. Man wird erkennen, dass dies in Echtzeit (oder annähernd in Echtzeit) geschehen kann, so dass, selbst wenn ein Benutzer ein neues nachgiebiges Werkstück zusammendrückt, der Anzeiger eines inakzeptablen Messkraftbereichs ungefähr dann eingeschaltet werden kann (z. B. im Kraftstatusanzeiger **142** in **Fig. 1** ein rotes Licht vorgesehen werden kann), wenn die automatisch angepasste obere Kraftgrenze  $T_{maxCwp}$  überschritten wird, statt eine feste obere Kraftschwelle zu verwenden. Im veranschaulichten Beispiel ist die obere Kraftgrenze  $T_{maxCwp}$  so eingestellt, dass  $[(T_{maxCwp}) - (T_{minO})] \cdot [\text{Werkstück-Federkonstante}] = \text{erwünschte Wiederholbarkeit}$ . In verschiedenen weiteren Ausführungsformen oder Betriebsarten des Kraft-Messschiebers kann natürlich auch, statt einer dynamischen oberen Kraftgrenze wie oben in groben Zügen dargestellt, eine feste obere Kraftschwelle oder eine obere Kraftschwelle bei einem festen Kraftbetrag bezüglich eines dynamischen oder festen  $T_{minO}$ -Werts oder eine durch einen Benutzer eingegebene obere Kraftschwelle oder ein festes Feld von ab Werk kalibrierten oder nachkalibrierten Schwellen verwendet werden.

**[0039]** In einigen Ausführungsformen kann die Signalverarbeitungs-Elektronik eine Routine enthalten, welche erkennt, dass die Schwelle  $T_{minO}$  überschritten wird, und eine "Kraftumkehrungs"-Routine enthalten, welche Daten oberhalb  $T_{minO}$  auf eine Änderung in einer erwarteten Beziehung von Kraft- und Positionsänderung zwischen aufeinanderfolgenden Momentanwerten überwacht. Zum Beispiel durch Analysieren einer Vielzahl von aufeinanderfolgenden Datenpunkten zwischen D und E (z. B. der offenen quadratischen Datenpunkte in **Fig. 5**) kann die Routine eine Beziehung ermitteln, bei welcher Kraft und Position sich zwischen Momentanwerten beide um bedeutende Beträge in einer positiven Richtung (oder Polarität) ändern. Im Gegensatz dazu nimmt die Kraft zwischen E' und F (und weiter bis G) bedeutend ab (kehrt sich die vorherige Änderungspolarität um), während die Position sich nicht erheblich ändert, wie durch die dunklen quadratischen Datenpunkte zwischen E', F und G in **Fig. 5** gezeigt. Deshalb kann eine Routine auf der Grundlage dieser Differenzen die umgekehrte Kraftänderungspolarität zwischen E' und F (und/oder darüber hinaus)

entsprechend der zweiten Kraft/Weg-Kurve ermitteln und die Signalverarbeitungsoperationen und/oder die Angaben für den Benutzer demgemäß ändern. Eine solche Routine realisiert ein Gültige-Werkstückmessung-Kriterium, welches zusätzlich zu dem einfachen Kriterium des im akzeptablen Kraftbereich liegenden Kraftsignals erfüllt sein muss, um mittels des Kraftstatusanzeigers einen Gültige-Messung-Zustand anzuzeigen. In einigen Ausführungsformen kann, gemäß oben in groben Zügen dargestellten Prinzipien, die Berücksichtigung einer ermittelten Werkstück-Federkonstante und/oder einer erwünschten Wiederholbarkeit und/oder eines Reibungs- oder Ausgleichkraftbetrags und/oder des Betrags der augenscheinlichen Zusammendrückung eines Werkstücks vor Umkehrung zu den Kriterien der Kraftumkehrungs-Routine zählen. Somit können in einigen Ausführungsformen die Kraftumkehrungs-Kriterien bewirken, dass Kraftumkehrungs-Angaben bei Kraftumkehrungen während einiger Werkstücke und/oder Messvorgänge angezeigt werden und während anderer nicht.

**[0040]** Man wird erkennen, dass es, wenn  $T_{maxCwp}$  vor einer Kraftumkehrung nicht überschritten wird, möglicherweise nicht erforderlich ist, die Signalverarbeitungsoperationen und/oder die Angaben für den Benutzer zu ändern, da die Positions-Messwerte möglicherweise immer noch innerhalb der erwünschten Wiederholbarkeits- oder Toleranzgrenzen liegen. Jedoch kann die tatsächliche Wiederholbarkeit sich in diesem Fall dadurch etwas verschlechtern, dass nicht zwischen Messungen auf der ersten und auf der zweiten Kraft/Weg-Kurve unterschieden wird. Im Gegensatz dazu, wie aus **Fig. 5** ersichtlich, sollte, wenn die Kraft  $T_{maxCwp}$  überschritten hat, der Kraftbereichsanzeiger entlang der zweiten Kraft/Weg-Kurve nicht unbedingt einfach auf der Grundlage der unter  $T_{maxCwp}$  zurückkehrenden Kraft auf akzeptabel (z. B. grün) zurückgeschaltet werden. Zum Beispiel kann bei einem nachgiebigen Werkstück je nach dem Betrag der Reibung, wie in **Fig. 5** veranschaulicht, das entsprechende "Ungültiger-Kraftbereich"-Maß, welches der senkrechten Linie zwischen E' und G entspricht, trotz dem unter  $T_{maxCwp}$  zurückkehrenden Kraft-Messwert (z. B. im "gültigen Kraftbereich" zwischen den Punkten F und F') fortbestehen. Deshalb kann in einigen Ausführungsformen die Signalverarbeitungs-Elektronik eine Routine enthalten, welche erkennt, dass die Schwelle  $T_{maxCwp}$  überschritten wird, die Anzeige "Bereichsüberschreitung" einschaltet und eine "Kraftumkehrungs"-Routine enthält, welche die Anzeige "Bereichseinhaltung" (z. B. das grüne Anzeigelicht) abstellt und/oder einen Fehlerzustand anzeigt und/oder den Benutzer trotz der in den ursprünglichen "akzeptablen Bereich" zwischen  $T_{minO}$  und  $T_{maxCwp}$  zurückkehrenden Kraft auffordert, bestimmte Maßnahmen zu ergreifen, nachdem die Schwelle  $T_{maxCwp}$  für bestimmte Federkonstanten und/oder Reibungskräfte überschritten wurde. Zum Beispiel wird in einer Ausführungsform eine An-

gabe in einer dritten Farbe (z. B. gelb) vorgesehen oder wird ein Blinklicht eingeschaltet, wenn die Kraft auf diese Weise umgekehrt wird, und/oder wird ein Hinweis (z. B. ein Pfeil) in der Messschieber-Anzeige vorgesehen, welcher besagt, dass der Benutzer den Schieber in einer Richtung bewegen sollte, um eine Position zu erreichen, welche eine Rückkehr zur ersten Kraft/Weg-Kurve gestattet (z. B. durch Bewegen in der Richtung des Hinweispfeils). In einer solchen Ausführungsform wird speziell der erste Positions-Messwert entlang der ersten Kraft/Weg-Kurve (z. B. der erste Datenpunkt oberhalb  $T_{minO}$ ) im Speicher gespeichert und zeigt, wenn die Position schließlich unter diesen Wert fällt (z. B. bei Punkt H), eine neue Aufforderung und/oder Angabe (z. B. das Erlöschen der Anzeigeleuchte und/oder das Verschwinden des Pfeils, so dass wieder eine normale Anzeige vorliegt, oder das Umkehren der Pfeilrichtung) an, dass der Benutzer den Schieber von neuem bewegen kann, um sich dem Werkstück zu nähern und eine erwünschte Messung entlang der ersten Kraft/Weg-Kurve zu erzielen.

**[0041]** Wie oben erwähnt, kann die Signalverarbeitungs-Elektronik eine Vorgeschichte gepaarter Kraft- und Positionsdaten-Momentanwerte speichern und die Vorgeschichte häufig analysieren und auf der Grundlage dieser Analyse verschiedene Vorgänge steuern. Zum Beispiel enthält die Signalverarbeitungs-Elektronik in einigen Ausführungsformen eine Routine, welche erkennt, dass die Position sich gerade um einen bedeutenden Betrag ändert oder schnell ändert, während die Kraft sich nicht erheblich ändert (z. B. ist die letzte Kraftänderung kleiner als ein angesichts der letzten Positionsänderung für eine minimale Federkonstante erwarteter Betrag oder liegt sie nicht außerhalb eines vordefinierten oder vor kurzem analysierten Krafrauschwerts oder Reibungswerts oder dergleichen). Dieser Zustand entspricht den zwischen B und C in **Fig. 5** oder in einem weiteren Fall zwischen H und J in **Fig. 5** gezeigten Vor-Kontakt-Datenpunkten. Jedesmal wenn dieser Zustand für eine vordefinierte Anzahl von Datenpunkten zutrifft, kann die Signalverarbeitungs-Routine einen Durchschnittswert (oder Medianwert oder einen maximalen oder sonstigen erwünschten Wert) berechnen, welcher für  $T_{comp}$  (oder  $T_{comp-neg}$ , je nach der Bewegungsrichtung) verwendet wird. In einem solchen Fall kann die Routine auch eine Rauschschwelle bezüglich  $T_{comp}$  oder  $T_{comp-neg}$  auf der Grundlage der Streuung der Vor-Kontakt-Datenpunkte ermitteln (z. B. bei drei Standardabweichungen oder knapp über dem äußersten Kraft-Datenpunkt oder dergleichen). In einer Ausführungsform kann ein dynamischer Wert von  $T_{minO}$  (und/oder dessen Gegenstück mit entgegengesetzter Polarität  $T_{minO-neg}$ ) automatisch auf seine entsprechende Rauschschwelle oder geringfügig darüber eingestellt werden. Alternativ kann die Rauschschwelle als der für  $T_{comp}$  (oder  $T_{comp-neg}$ ) zu verwendende typische Wert angesehen werden

und kann ein dynamischer Wert von  $T_{minO}$  (und/oder dessen Gegenstück mit entgegengesetzter Polarität  $T_{minO-neg}$ ) automatisch auf  $T_{comp}$  (oder  $T_{comp-neg}$ ) oder geringfügig darüber eingestellt werden. In verschiedenen weiteren Ausführungsformen oder Betriebsarten des Kraft-Messschiebers kann natürlich auch, statt eines dynamischen Werts wie oben in groben Zügen dargestellt, ein im Werk kalibrierter oder durch einen Benutzer eingegebener oder durch ein Feldkalibrierungs- oder Nachkalibrierungsverfahren eingeführter fester Wert für  $T_{comp}$  (oder  $T_{comp-neg}$ ) verwendet werden.

**[0042]** Man wird erkennen, dass Vor-Kontakt-Bewegungsrichtungsumkehrungen eine Kraftänderung erzeugen, welche ohne eine merkliche Positionsänderung zwischen dem "B-C"-Daten-Kraftwert und dem "H-J"-Daten-Kraftwert hin- und herspringt. Die Signalverarbeitungs-Elektronik kann eine Routine enthalten, welche diesen Zustand erkennt, um die Ermittlung von  $T_{comp}$  oder  $T_{comp-neg}$  mit geeigneten Datenpunkten zu beginnen und zu beenden. In einigen Ausführungsformen und/oder Betriebsarten kann die Signalverarbeitungs-Elektronik  $T_{comp}$  oder  $T_{comp-neg}$  automatisch aktualisieren. Natürlich kann die Signalverarbeitungs-Elektronik in einigen Ausführungsformen und/oder Betriebsarten  $T_{comp}$  oder  $T_{comp-neg}$  auf einen im Werk oder durch einen Benutzer bestimmten oder auf einer einzelnen Feldkalibrierung beruhenden festen Wert einstellen.

**[0043]** Auf jeden Fall wird man erkennen, dass  $T_{comp}$  (oder  $T_{comp-neg}$ ) eine Kraftkomponente ist, welche insofern unabhängig von der Messkraft ist, als sie bei nicht vorhandenem Kontakt mit dem Werkstück vorliegt und sich nicht ändert, wenn die Messkraft gegen das Werkstück erhöht wird. Somit ist es, um eine oder mehrere auf die tatsächliche auf das Werkstück ausgeübte Kraft bezogene Messkraftschwellen (z. B. akzeptable Kraftbereichsgrenzen) einzustellen, erwünscht, die unabhängige Kraftkomponente  $T_{comp}$  (und/oder  $T_{comp-neg}$ ) und in einigen Ausführungsformen das zugehörige Rauschen zu schätzen und solche Kraftgrenzen bezüglich dieser "Ausgleichskräfte" einzustellen. Anders ausgedrückt, diese "Ausgleichskräfte", welche nicht von Veränderungen des Betrags einer durch einen Benutzer auf ein Werkstück ausgeübten Kraft abhängig sind, können zum Einstellen von Kraftmessschwellen verwendet werden, um die tatsächlich auf das Werkstück ausgeübte Messkraftkomponente zu steuern und ihren zugehörigen akzeptablen Kraftbereich für Größenmessungen anzugeben.

**[0044]** Hinsichtlich der unteren akzeptablen Kraftgrenze  $T_{minO}$  ist es in verschiedenen Ausführungsformen erwünscht, sie bezüglich  $T_{comp}$  einzustellen. Zum Beispiel kann es, wie oben in groben Zügen dargestellt, in einigen Ausführungsformen erwünscht sein,  $T_{minO}$  geringfügig über  $T_{comp}$  und/oder auf

einen "Reibungskraft-Rauschabstand" oder geringfügig darüber einzustellen, wenn das Reibungsrauschen bedeutend ist. Dies kann bei relativ nachgiebigeren Werkstücken besonders erwünscht sein, da es einer relativ geringen Werkstückverformung und/oder einem relativ geringen Werkstückkriechen entspricht. Bei relativ steifen Werkstücken (z. B. Metallblöcken) kann es erwünscht sein, T<sub>minO</sub> erheblich über T<sub>comp</sub> und/oder dem "Reibungskraft-Rauschabstand" einzustellen, da Werkstückverformung und Wiederholbarkeit in diesem Fall nicht beeinträchtigt werden, und kann das Einstellen von T<sub>minO</sub> mit einem breiteren Abstand von den unabhängigen Kraftkomponenten ein besseres Benutzerempfinden ermöglichen, was das leichtere oder stabilere Ausrichten des Werkstücks gegen die Messschieber-Messschenkel ohne unnötig empfindliche Kraftbereichs-Angaben oder dergleichen anbelangt.

**[0045]** Bei sehr nachgiebigen Werkstücken kann es erwünscht sein, dass der Messschieber zusätzliche Bedienmöglichkeiten, Betriebsarten und/oder Routinen und/oder Merkmale, welche mit dem akzeptablen Messkraftbereich und einer gültigen Werkstückmessung zusammenhängen, enthält. Bei sehr nachgiebigen Werkstücken kann das Einstellen von T<sub>minO</sub> selbst mit einem kleinen Spielraum über T<sub>comp</sub> zu einer bedeutenden Werkstückdurchfederung (z. B. bei einem dünnwandigen Kunststoffrohr) bei T<sub>minO</sub> führen. Oder in einem anderen Fall kann die Wiederholbarkeit einer Messung eines sehr nachgiebigen Werkstücks bei T<sub>minO</sub> infolge einer "zufälligen" Schwankung der Reibungskraftkomponente des Kraftsignals (eines "Reibungsrauschens") mangelhaft sein, was bewirkt, dass die bei T<sub>minO</sub> (und anderen Kraftwerten) tatsächlich auf das Werkstück ausgeübte Kraft und die daraus resultierende Werkstückdurchfederung entsprechend diesem "Reibungsrauschen" schwanken. Diese Situation kann durch Einschließen eines "Superweiches-Werkstück"-Modus oder einer Signalverarbeitungs-Routine für superweiche Werkstücke, welche auf der Grundlage einiger der oben in groben Zügen dargestellten Daten eine repräsentative Messung berechnet, verbessert werden. Wie zuvor angegeben, kann der Messschieber eine "Federkonstanten"-Ermittlungs-Routine enthalten, welche Daten "oberhalb T<sub>minO</sub>" analysiert, bei welchen Kraft und Position eine gleichmäßige Beziehung von Kraft- und Positionsänderung aufweisen, und eine Federkonstante ermitteln. Zum Beispiel kann auf der Grundlage von mehreren Datenpunkten eine am besten passende Kraft/Weg-Linie mit einer Steilheit, welche die Federkonstante ist, ermittelt werden. Außerdem kann T<sub>comp</sub>, wie zuvor angegeben, auf der Grundlage einer Vielzahl von Datenpunkten ermittelt werden. Man wird erkennen, dass im Idealfall der Punkt auf der am besten passenden Kraft/Weg-Linie, welcher T<sub>comp</sub> entspricht, dort liegt, wo das Werkstück gerade berührt wird, jedoch bei einer auf das Werkstück ausgeübten Kraft von annä-

hernd null, so dass es nicht durchfedert. Dies kommt seinem genauen Maß nahe. Da T<sub>comp</sub> und die am besten passende Kraft/Weg-Linie beide auf mehreren Datenpunkten beruhen, wird die Wiederholbarkeit der "Nullkraft"-Messung auf der am besten passenden Kraft/Weg-Linie gegenüber einer Einzelmessung bei T<sub>minO</sub> oder dergleichen verbessert. Deshalb können in einigen Ausführungsformen Daten im akzeptablen Messkraftbereich, welcher ein erweiterter oder vordefinierter fester Bereich für die Zwecke dieser Betriebsart und/oder Routine sein kann, erfasst werden und kann eine Verarbeitung wie oben in groben Zügen dargestellt (oder auf der Grundlage ähnlicher Prinzipien) ausgeführt werden. Die "Nullkraft"-Messung kann dann durch einen Benutzer auf der Grundlage einer entsprechenden Betriebsart oder auf der Grundlage von Abruf-Bedienvorgängen (z. B. Drücken einer entsprechenden Taste oder Tastenfolge am Messschieber) oder dergleichen abgerufen und/oder angezeigt werden. Natürlich kann der Messschieber in verschiedenen Ausführungsformen so konfiguriert sein, dass er dem Benutzer gestattet, wenn erwünscht, statt eines (T<sub>comp</sub> entsprechenden) Nullkraftwerts einen anderen Kraftwert einzugeben oder festzulegen, welcher zum Abrufen einer repräsentativen Messung eines weichen Werkstücks zu verwenden ist.

**[0046]** Die obige Beschreibung betrifft die Kraft/Weg-Kurven um die Punkte C bis H, welche mit einer zunehmenden Kraft- und Positionsmessung zusammenhängen, was dem Öffnen des Messschiebers und dem Messen eines "Innenmaßes" an einem Werkstück entspricht. Man wird erkennen, dass analoge Kraft/Weg-Kurven, welche mit einer zunehmenden Kraft entgegengesetzter Polarität ("-"-Kraft in Fig. 5) und zurückgehenden Positionsmessungen zusammenhängen, was dem Schließen des Messschiebers und dem Messen eines "Außenmaßes" an einem Werkstück entspricht, ähnlich den Daten zwischen den Punkten C und H, aber um 180 Grad gedreht erscheinen würden, wobei Punkt C mit der Linie zwischen den Punkten H und J zusammenfielen. Es versteht sich von selbst, dass die verschiedenen oben in groben Zügen dargestellten Prinzipien und Verhaltensweisen und Routinen in geeigneter Weise angepasst werden können, um analoge Bedienvorgänge zum Schließen des Messschiebers und Messen eines "Außenmaßes" an einem Werkstück bereitzustellen. Es versteht sich von selbst, dass T<sub>minO</sub>-neg gemäß Überlegungen, welche zu den für T<sub>minO</sub> beschriebenen analog sind, eingestellt werden kann, und so weiter für weitere analoge Schwellen und Werte.

**[0047]** Fig. 6 ist ein Ablaufplan, welcher eine beispielhafte Ausführungsform einer allgemeinen Routine 600 zum Einstellen einer oder mehrerer Messkraftschwellen veranschaulicht. In einem Block 610 wird ein Kraftsignal empfangen und wird eine jewei-

lige Kraft entsprechend einer jeweiligen Position eines Schiebers angegeben. In einem Block **620** werden Kraftdaten erfasst, welche eine Vielzahl von jeweiligen Positionen des Schiebers entsprechenden jeweiligen Kräften enthalten. In einem Block **630** werden die Kraftdaten analysiert, um eine Ausgleichskraft, welche mindestens eine von der Messkraft unabhängige Kraftkomponente aufweist, zu schätzen (z. B. durch Analysieren von Vor-Kontakt-Daten, wie zuvor bezüglich **Fig. 5** in groben Zügen dargestellt). In einem Block **640** werden die eine oder die mehreren Messkraftschwellen bezüglich der Ausgleichskraft eingestellt.

**[0048]** Man wird erkennen, dass durch Erfassen der Kraft-Messwerte, wie oben bezüglich **Fig. 6** beschrieben, eine erhöhte Messgenauigkeit erzielt werden kann. Ein Aspekt, auf den solche Verfahren eingehen können, ist, dass die Gleitreibungskraft des Messschiebers (z. B. wie durch die Ausgleichskraft  $T_{comp}$  in **Fig. 5** angegeben) sich gewöhnlich mit der Zeit ändern kann (z. B. infolge regelmäßigen Gebrauchs oder weil sie durch einen Benutzer verändert wird). In einem solchen Fall stellen im Werk eingestellte minimale/maximale Kraftschwellen keine zum Korrigieren einer angegebenen Werkstück-Messkraft benötigte korrekte Kraftkomponente mehr dar. Durch Erfassen der Kraft-Messwerte und Einstellen der Schwellen wie oben beschrieben (entweder durch eine neue Kalibrierung oder dynamisch bei jedem Messvorgang) werden in Situationen, in welchen Kräfte sich geändert haben können und/oder Werkstücke mit unterschiedlichen Nachgiebigkeiten gemessen werden, genauere Messungen erzielt.

**[0049]** Eine hierin beschriebene Kraftmesseinheit enthält eine Dehnungsmesseinheit und eine Kraftbetätiger-Einheit. Man wird erkennen, dass weitere Arten von Kraftsensoren mit einer Reihe der hierin offenbarten Merkmale kompatibel sind und so angeordnet werden können, dass sie eine durch einen Benutzer über das Gehäuse oder eine einfachere Rändelrad-Einheit oder dergleichen ausgeübte Kraft erfassen. Die hierin offenbarten Dehnungsmess- und/oder Kraftbetätiger-Einheiten können ergonomisch vorteilhaft sein, sind aber nicht in allen betrachteten Ausführungsformen erforderlich. Somit sollte man erkennen, dass, wenn nicht durch eine Konfiguration selbst ausgeschlossen, verschiedene Lehren bezüglich Kraftausübung und Signalverarbeitung und Routinen und dergleichen auf solche Konfigurationen angewendet werden können und alle oder einige der hierin offenbarten Merkmale in verschiedenen Ausführungsformen kombiniert werden können und viele der hierin in groben Zügen dargestellten begleitenden Merkmale und Vorteile beibehalten werden.

**[0050]** Aus dem Vorangehenden ist zu erkennen, dass spezielle Ausführungsformen der Erfindung hierin zu Veranschaulichungszwecken beschrieben

wurden, dass aber verschiedene Veränderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der Erfindung abzuweichen. Fachleute werden erkennen, dass die in Ablaufplan-Schritten dargestellten und anderweitig hierin beschriebenen Bedienungsvorgänge und Routinen auf vielfältige Weisen abgeändert werden können. Genauer gesagt, kann die Reihenfolge der Schritte umgeordnet werden, können Schritte parallel durchgeführt werden, können Schritte weggelassen werden, können weitere Schritte hinzugefügt werden, können verschiedene Kombinationen oder Weglassungen von Routinen vorgenommen werden usw. Demgemäß ist die Erfindung durch nichts als die beigefügten Ansprüche beschränkt.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 37490 [0002]
- US 5574381 [0002]
- US 5973494 [0002]
- US 2003/0047009 [0002]
- US 5901458 [0021]
- US 6400138 [0021]

## Patentansprüche

1. Elektrisch betriebener Messschieber, aufweisend:

ein Skalenelement, welches eine erste Messfläche aufweist, die während einer Messung an ein Werkstück anzulegen ist;

einen Schieber, welcher eine zweite Messfläche aufweist, die während einer Messung an ein Werkstück anzulegen ist;

einen Weggeber, der so konfiguriert ist, dass er ein auf Änderungen einer Position des Schiebers entlang des Skalenelements reagierendes Positionssignal liefert;

eine Kraftmessanordnung, die sich am Schieber befindet und so konfiguriert ist, dass sie ein auf Änderungen einer während eines Messvorgangs durch einen Benutzer über die erste oder die zweite oder beide Messflächen auf ein Werkstück ausgeübten Messkraft reagierendes Kraftsignal liefert;

einen Signalverarbeitungsteil, der so konfiguriert ist, dass er das Positionssignal empfängt und eine jeweilige Position des Schiebers entlang des Skalenelements angibt, wobei der Signalverarbeitungsteil mindestens eine erste Betriebsart aufweist, wobei er konfiguriert ist für:

das Empfangen eines Kraftsignals und das Ermitteln einer der jeweiligen Position des Schiebers entsprechenden jeweiligen Kraft;

das Erfassen von Kraftdaten, welche eine Vielzahl von jeweiligen Kräften und entsprechenden jeweiligen Positionen des Schiebers enthalten; und

das Festlegen eines akzeptablen Messkraftbereichs, welcher durch mindestens eine minimale Kraftschwelle begrenzt ist, welche so bestimmt wird, dass sie eine mindestens einer im Kraftsignal enthaltenen Kraftkomponente, welche von Benutzeränderungen der Messkraft unabhängig ist, entsprechende Ausgleichskraft überschreitet.

2. Messschieber nach Anspruch 1, bei welchem die minimale Kraftschwelle eine auf entweder während der Montage im Werk oder während eines Feldkalibriervorgangs, welcher das Erfassen von Kraftdaten, während der Benutzer den Schieber bewegt, ohne eine Kraft auf ein Werkstück auszuüben, umfasst, im Messschieber gespeicherten Kraftkalibrierungs-Daten beruhende statische Schwelle ist.

3. Messschieber nach Anspruch 2, bei welchem die Kraftkalibrierungs-Daten während des Feldkalibriervorgangs gespeichert werden und der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er die während des Bewegens des Schiebers durch den Benutzer erfassten Kraftdaten analysiert, um auf der Grundlage der analysierten Kraftdaten die minimale Kraftschwelle zu ermitteln und einzustellen.

4. Messschieber nach Anspruch 3, bei welchem der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er

auf der Grundlage der analysierten Kraftdaten eine Ausgleichskraft ermittelt und auf der Grundlage dieser Ausgleichskraft die minimale Kraftschwelle einstellt.

5. Messschieber nach Anspruch 1, bei welchem die minimale Kraftschwelle eine dynamische Schwelle ist und der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er die erfassten Kraftdaten während eines laufenden Messvorgangs analysiert, um Vor-Kontakt-Daten zu identifizieren, und auf der Grundlage dieser Vor-Kontakt-Daten die minimale Kraftschwelle für den laufenden Messvorgang einstellt.

6. Messschieber nach Anspruch 4, bei welchem der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er auf der Grundlage der Vor-Kontakt-Daten eine aktuelle Ausgleichskraft ermittelt und auf der Grundlage der aktuellen Ausgleichskraft die minimale Kraftschwelle einstellt.

7. Messschieber nach Anspruch 1, bei welchem der Signalverarbeitungsteil konfiguriert ist für: das Festlegen eines ersten akzeptablen Messkraftbereichs für Außenmessungen, welcher durch mindestens eine erste minimale Kraftschwelle begrenzt ist, welche so bestimmt wird, dass sie eine mindestens einer im Kraftsignal enthaltenen Kraftkomponente, welche von Benutzeränderungen der Messkraft unabhängig ist, entsprechende erste Ausgleichskraft überschreitet, wenn ein Benutzer eine Außenmessung vornimmt; und das Festlegen eines zweiten akzeptablen Messkraftbereichs für Innenmessungen, welcher durch mindestens eine zweite minimale Kraftschwelle begrenzt ist, welche so bestimmt wird, dass sie eine mindestens einer im Kraftsignal enthaltenen Kraftkomponente, welche von Benutzeränderungen der Messkraft unabhängig ist, entsprechende zweite Ausgleichskraft überschreitet, wenn ein Benutzer eine Innenmessung vornimmt.

8. Messschieber nach Anspruch 1, bei welchem der akzeptable Messkraftbereich außerdem durch eine maximale Kraftschwelle begrenzt ist.

9. Messschieber nach Anspruch 8, bei welchem die maximale Kraftschwelle eine statische Schwelle ist.

10. Messschieber nach Anspruch 8, bei welchem der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er die maximale Kraftschwelle bezüglich der minimalen Kraftschwelle festlegt.

11. Messschieber nach Anspruch 8, bei welchem der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er in der ersten Betriebsart die erfassten Kraftdaten während eines laufenden Messvorgangs analysiert und die maximale Kraftschwelle des laufenden Messvorgangs für relativ nachgiebigere Werkstücke näher

an der minimalen Kraftschwelle und für relativ steifere Werkstücke weiter entfernt von der minimalen Kraftschwelle dynamisch festlegt.

12. Messschieber nach Anspruch 11, bei welchem der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er in der ersten Betriebsart die erfassten Kraftdaten während eines laufenden Messvorgangs analysiert, um eine Werkstück-Federkonstante zu bestimmen, und auf der Grundlage der bestimmten Werkstück-Federkonstante die maximale Kraftschwelle des laufenden Messvorgangs bezüglich der minimalen Kraftschwelle festlegt.

13. Messschieber nach Anspruch 1, ferner enthaltend einen am Schieber befindlichen Kraftbetätiger, wobei der Kraftbetätiger eine Kraft-Federkonstanten-Feder enthält, welche ein Maß hat, das durch einen Benutzer verändert wird, um die Messkraft zu ändern.

14. Messschieber nach Anspruch 13, bei welchem die Kraft-Federkonstanten-Feder eine Federkonstante von höchstens 6 N/mm und mindestens 0,25 N/mm hat.

15. Messschieber nach Anspruch 13, bei welchem die Kraftmessenordnung ein verformbares Element und einen Dehnungssensor, welcher eine Verformung des verformbaren Elements erfasst, enthält und der Kraftbetätiger und die Kraftmessenordnung so konfiguriert sind, dass die Verformung dem veränderten Maß der Kraft-Federkonstanten-Feder entspricht.

16. Messschieber nach Anspruch 1, ferner enthaltend einen durch den Signalverarbeitungsteil gesteuerten Kraftstatusanzeiger, wobei der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er die erfassten Kraftdaten während eines laufenden Messvorgangs analysiert, um den Kraftstatusanzeiger zu steuern, und ein erster Zustand des Kraftstatusanzeigers anzeigt, dass eine aktuelle jeweilige Messkraft erhöht werden muss, um innerhalb des akzeptablen Messkraftbereichs zu liegen, und ein zweiter Zustand des Kraftstatusanzeigers anzeigt, dass eine aktuelle jeweilige Messkraft innerhalb des akzeptablen Messkraftbereichs liegt und eine aktuelle jeweilige angezeigte Position des Schiebers eine gültige Werkstückmessung gemäß durch den Signalverarbeitungsteil verwendeten Kriterien ist.

17. Messschieber nach Anspruch 16, bei welchem der akzeptable Messkraftbereich außerdem durch eine maximale Kraftschwelle festgelegt wird und ein Übermäßige-Kraft-Zustand des Kraftstatusanzeigers, welcher vom ersten und vom zweiten Zustand verschieden ist, anzeigt, dass eine aktuelle jeweilige Messkraft den akzeptablen Messkraftbereich überschreitet und verringert werden muss, um innerhalb des akzeptablen Messkraftbereichs zu liegen.

18. Messschieber nach Anspruch 17, bei welchem das durch den Signalverarbeitungsteil zum Steuern des Zustands des Kraftstatusanzeigers verwendete Kriterium ein Kraftumkehrungs-Kriterium einschließt und, wenn die Analyse der erfassten Kraftdaten besagt, dass eine Kraftumkehrung gemäß dem Kriterium eingetreten ist, ein Kraftumkehrungs-Zustand des Kraftstatusanzeigers, welcher vom ersten und vom zweiten Zustand verschieden ist und anzeigt, dass eine aktuelle jeweilige angezeigte Position des Schiebers keine gültige Werkstückmessung ist, solange anhält, bis der Benutzer die Kraft oder die Position oder beides verändernde Maßnahmen durchführt, um den Kraftumkehrungs-Zustand aufzuheben.

19. Messschieber nach Anspruch 18, bei welchem der Signalverarbeitungsteil so konfiguriert ist, dass er eine Anzeige des Messschiebers verwendet, um Hinweise für den Benutzer anzuzeigen, um den Benutzer beim Durchführen der zum Aufheben des Kraftumkehrungs-Zustands erforderlichen, die Kraft oder die Position oder beides verändernden Maßnahmen anzuleiten.

20. Messschieber nach Anspruch 19, bei welchem der erste Zustand des Kraftstatusanzeigers umfasst, dass keine Anzeigeleuchte leuchtet, der zweite Zustand des Kraftstatusanzeigers ein Anzeigelicht in einer ersten Farbe umfasst, der Übermäßige-Kraft-Zustand des Kraftstatusanzeigers ein Anzeigelicht in einer zweiten Farbe umfasst und der Kraftumkehrungs-Zustand des Kraftstatusanzeigers eine blinkende Anzeigeleuchte umfasst.

21. Messschieber nach Anspruch 1, bei welchem die mindestens eine Kraftkomponente eine Schieberreibungskraftkomponente enthält, welche von der Reibung des Schiebers auf dem Skalenelement abhängt.

22. Messschieber nach Anspruch 1, bei welchem die mindestens eine Kraftkomponente eine Schwerkraftkomponente enthält, welche von der Orientierung des Messschiebers und der Masse einer Schieberereinheit, welche sich mit dem Schieber bewegt, abhängt.

23. Messschieber nach Anspruch 22, ferner enthaltend einen Beschleunigungsmesser, wobei eine Ausgabe aus dem Beschleunigungsmesser durch den Signalverarbeitungsteil bei einer Ermittlung der Schwerkraftkomponente verwendet wird.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen





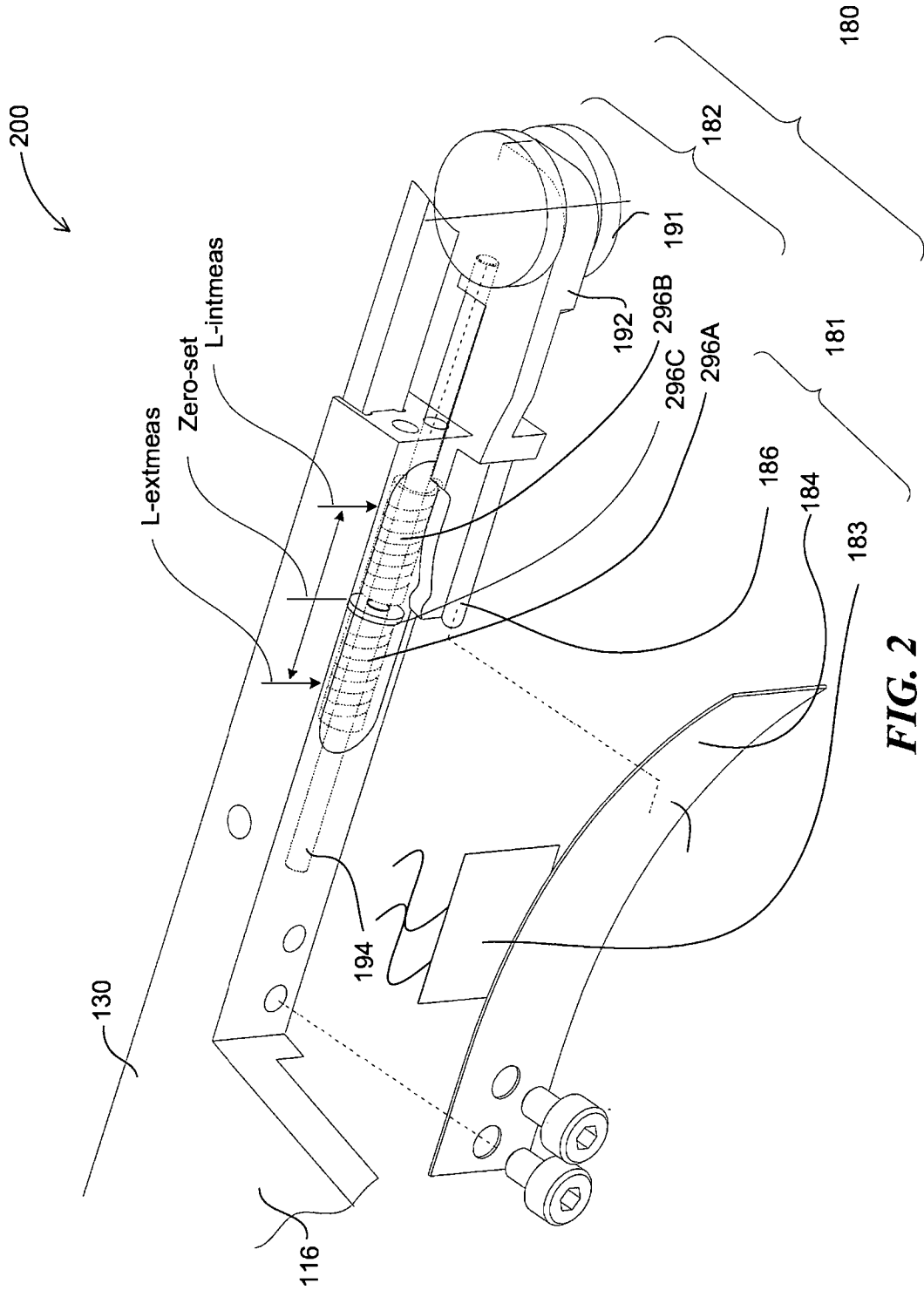
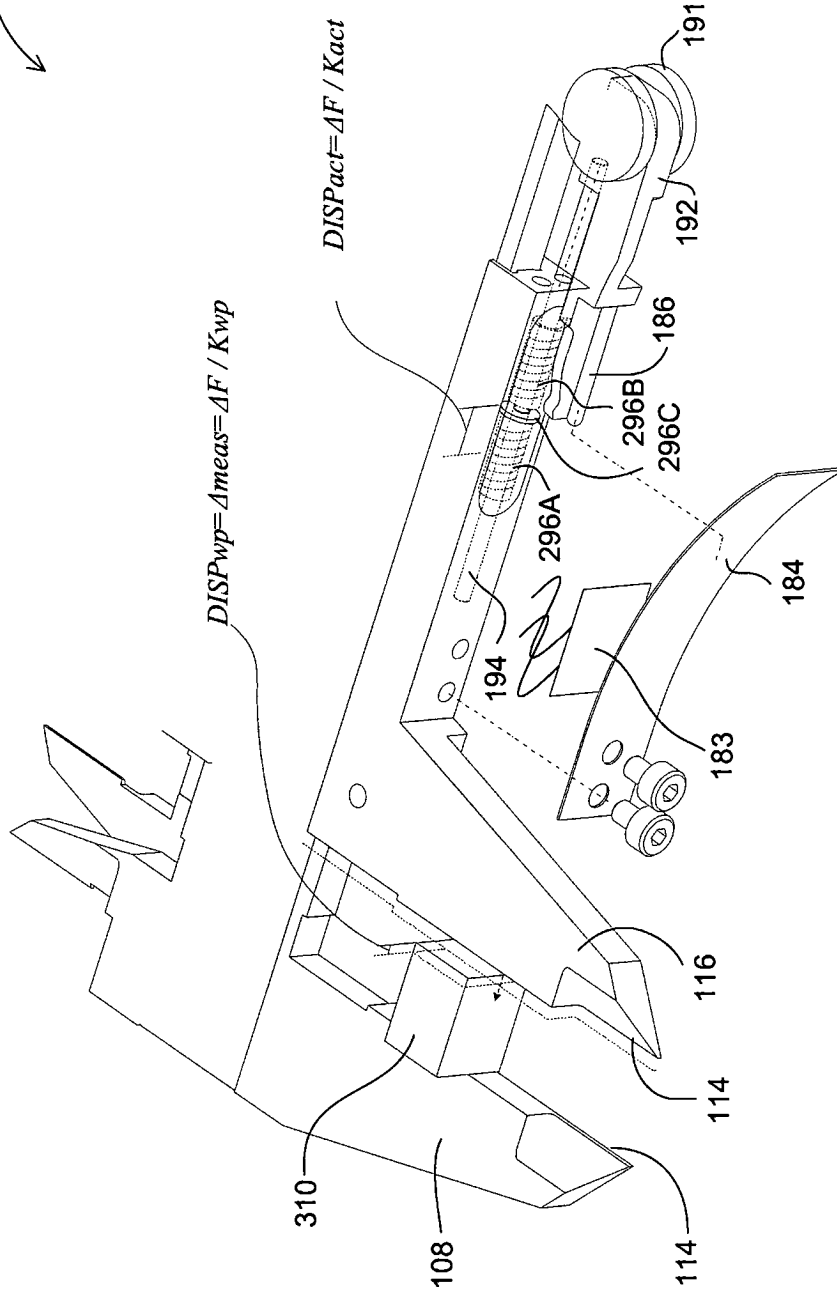


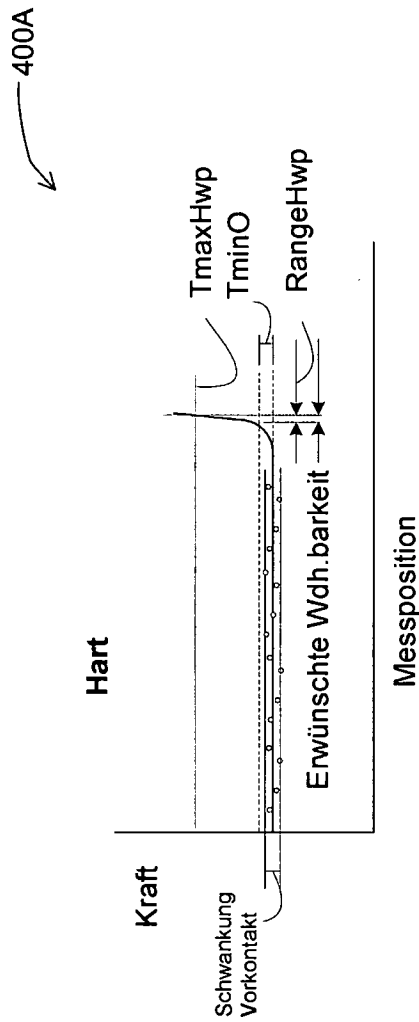
FIG. 2

$$DISP_{act} / DISP_{wp} = [\Delta F / K_{act}] / [\Delta F / K_{wp}] = K_{wp} / K_{act}$$

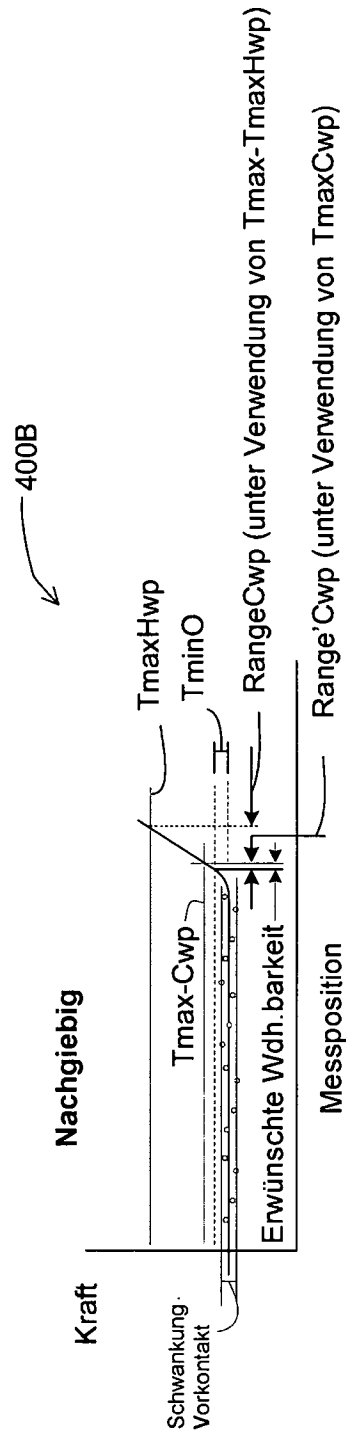
300



**FIG. 3**



**FIG. 4A**



**FIG. 4B**

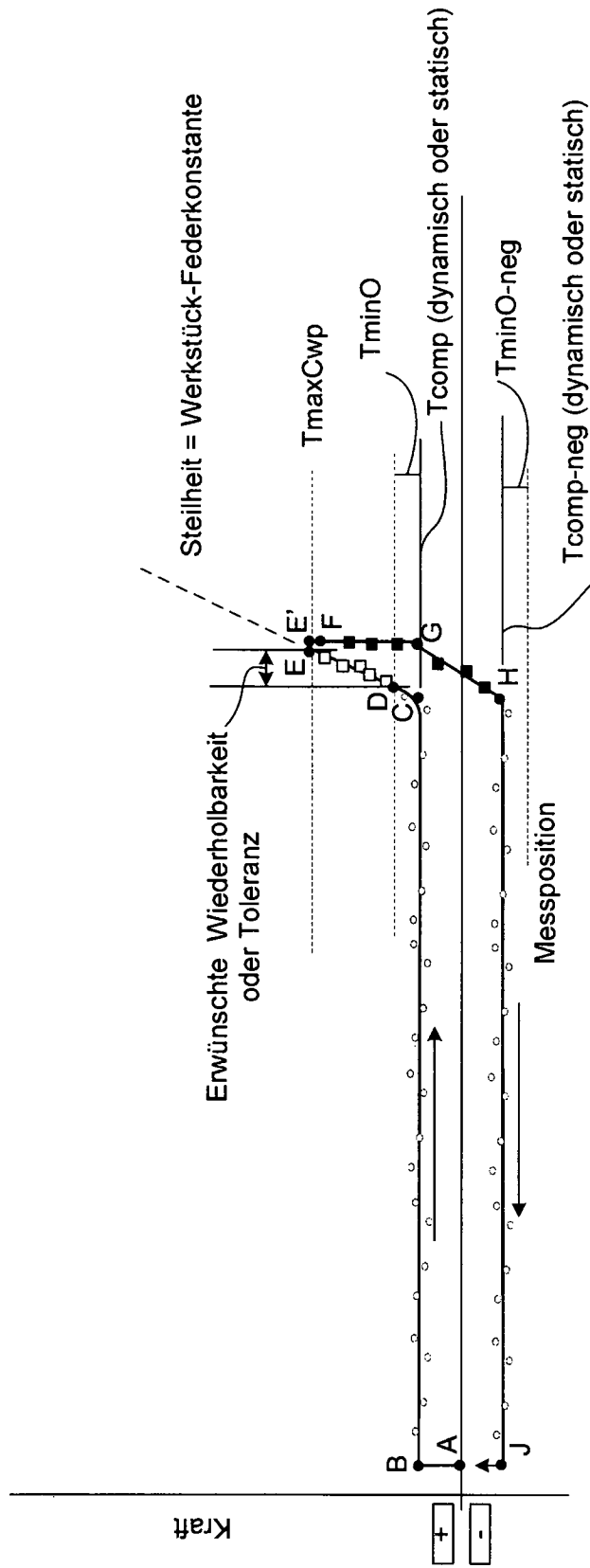
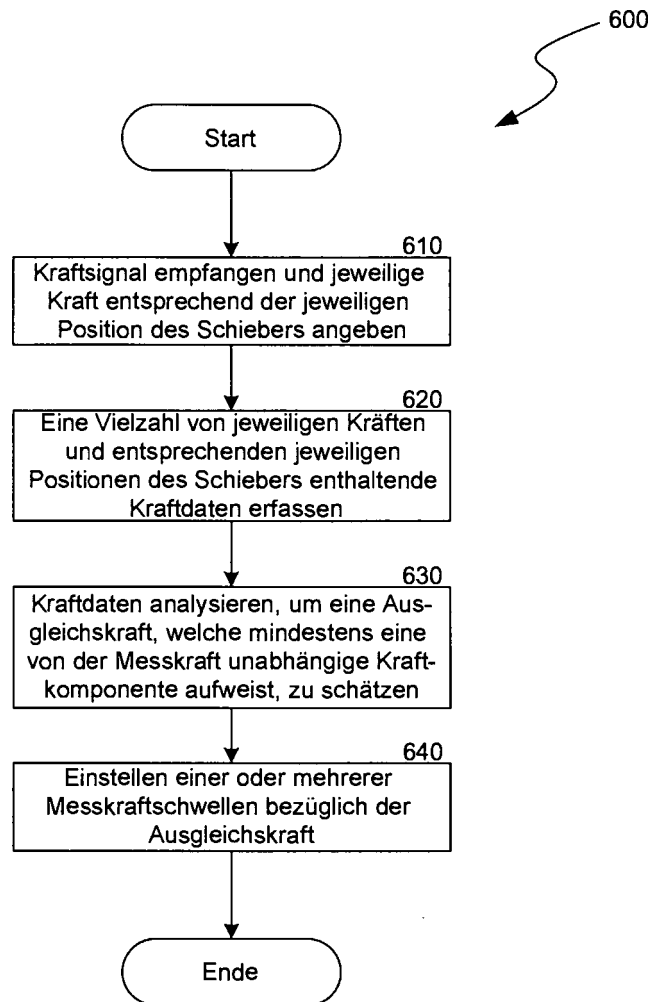


FIG. 5



**FIG. 6**