



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 36 616 T2** 2007.10.04

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 920 953 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 36 616.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 116 513.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **28.08.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.06.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **13.12.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.10.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B23Q 17/00** (2006.01)

B23Q 1/01 (2006.01)

B23Q 15/00 (2006.01)

G01B 21/24 (2006.01)

G01B 5/25 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

938750 26.09.1997 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, DE, FR, GB, IT, LI, NL, SE

(73) Patentinhaber:

Prüftechnik Dieter Busch AG, 85737 Ismaning, DE

(72) Erfinder:

**Wegener, Martin, 85551 Kirchheim, DE; Galen,
Evans P.E., Pembroke Pines, Florida 33025, US**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Messung einer mechanischen Verformung der Füße von mindestens einer Maschine**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erfassung einer mechanischen Verformung der Füße oder eines „Soft-foot“-Zustands (soft foot-weiche Füße/Kippfüße) an einer oder mehreren Maschinen. Der Begriff „weiche Füße“ (Kippfüße, mechanische Verformung der Füße), wie er im gesamten Text verwendet wird, wird von Ingenieuren, Technikern usw. verwendet und bezieht sich nicht direkt auf die Verwendung des gleichen Begriffes, wie er auf dem Gebiet der Medizin oder auf verwandte Gebiete verwendet wird. Für jene, die mit diesem Begriff nicht vertraut sind, sei erläutert, dass normalerweise an den betrachteten Füßen nichts „Weiches“ ist. Ganz im Gegenteil, die Füße sind ziemlich unelastisch. Nachdem die Füße eine gerade geprüfte Maschine jedoch stabil an den Boden binden, bewirken die geometrischen Zwänge der Füße und/oder des Fabrikhallenbodens eine zwar kleine, aber unzulässige mechanische Verformung oder Verzerrung einer solchen bestimmten Maschine.

[0002] Es ist schon seit langem erkannt worden, dass das Einrichten und Installieren von rotierenden Einrichtungen und Maschinen ein sorgfältiges Layout und Sorgfalt bei der Installation bedürfen. Dies gilt besonders für Einrichtungen mit einer gewissen Größe, die trotz ihres Gewichts und ihrer anscheinend stabilen Konstruktion Sorgfalt dahingehend erfordern, dass eine mechanische Maßhaltigkeit innerhalb vordefinierter Toleranzen aufrechterhalten wird, die winzigen Bruchteilen eines Zolls entsprechen oder im Submillimeterbereich liegen können. Werden solche Erfordernisse außer Acht gelassen, werden die Maschinenmaße zwar geringfügig, aber definitiv verzerrt und es wird somit oftmals eine reduzierte Betriebslebensdauer verursacht. Des Weiteren kann sich eine nicht optimale Leistung oder Effizienz bei solchen Maschinen wie beispielsweise Verbrennungsmotoren, Elektromotoren oder Generatoren, Turbinen, Drehmaschinen oder anderen Werkzeugmaschinen, Pumpen, Ventilatoren (Lüftern), Getrieben und vielen anderen Maschinen dieser Art ergeben.

[0003] Es ist wohlbekannt, dass das Installieren und Montieren solcher Maschinen auf unebenen oder rauen Flächen zu einer etwas verzerrten Form ihrer Gehäuse oder Ummantelungen führt, was sich nachteilig auf die Lager für Wellen, Spindeln oder dergleichen in solchen Maschinen auswirkt. Eine andere negative Auswirkung liegt in dem Erreichen und Aufrechterhalten einer korrekten Ausrichtung der Spindeln von Maschinenzügen, wie zum Beispiel Pumpen und ihren Antriebsmotoren. Bei Elektromotoren oder Generatoren kann sich eine durch unangemessene

Montage verursachte Verformung der Maschine auf die Form der magnetischen Luftspalte auswirken, wodurch bei solchen Maschinen in der Regel die Ausgangsleistung, die Effizienz oder beide verringert werden.

[0004] Es hat Untersuchungen gegeben, die die wirtschaftliche Auswirkung von schlecht montierten oder ausgerichteten Maschinenzügen neben den Energieverlusten demonstrieren. Maschinen im 10-PS-Bereich können zusätzliche Wartungskosten in einer Größenordnung von über US \$ 400 pro PS pro Jahr erfordern. Alle beteiligten Managementebenen sollten sich der Bedeutung von korrekt positionierten und innerhalb strikter Maße ausgerichteten Maschinen bewusst sein. Jedoch werden erst bei kurzem Qualitätsbedingungen für solche Maschinen öfter in Betracht gezogen.

[0005] Aus von Prüftechnik Dieter Busch AG (Deutschland) oder Ludeca (Miami, USA) herausgebrachter technischer Literatur ist eine Diskussion über die Art und Weise der Diagnose und Klassifizierung einer mechanischen Verformung der Füße bekannt. Zum Beispiel werden in den Schriftstücken „Advanced Diagnosis & Correction of Soft Foot“ und „How to detect machine frame strains: Soft Foot“, Ludeca, Inc., 1990, S. 74-82, Hinweise und Empfehlungen über die Verwendung von auf Mikroprozessor und Laser basierenden Instrumenten „Optalign“ oder „Rotalign“ zur Erfassung des möglichen Vorliegens einer mechanischen Verformung der Füße eines Maschinenpaares gegeben. Es werden mehrere Arten von mechanischen Verformungen der Füße beschrieben, zum Beispiel Parallel Air Gap, Bent Foot, Squishy Foot, Induced Soft Foot, Gaps without Soft Foot. In der Zusammenfassung dieses Artikels wird jedoch nur geraten, eine mechanische Verformung der Füße zu reparieren, wenn Optalign eine solche anzeige. Die Art und die Ursache für solch eine mechanische Verformung der Füße solle vor Ergreifen irgendwelcher Maßnahmen sorgfältig analysiert werden. Ein wahlloses Anordnen von Unterlegscheiben oder Trial-and-Error verschlimmere meistens die Dinge. Es wird kein Hinweis darauf gegeben, wie die Art und die Ursache einer mechanischen Verformung der Füße einer geprüften Maschine systematisch festgestellt werden kann. Des Weiteren hat sich bei einer durch die Anmelder der vorliegenden Schrift durchgeführten Analyse der technischen Aspekte einer mechanischen Verformung der Füße herausgestellt, dass im Gegensatz zur allgemeinen Auffassung keine Bestimmung der Ursachen einer mechanischen Verformung der Füße und Empfehlung über Korrekturmaßnahmen systematisch durchgeführt werden. Ein Grund dafür ist, dass es nicht nur eine Situation einer mechanischen Verformung der Füße gibt, sondern mehrere Arten davon, die eine andere Korrekturmaßnahme erfordern. Somit kann es immer noch möglich sein, dass ein Ingenieur, der versucht,

eine mechanische Verformung der Füße zu beseitigen, aufgrund eines mangelnden Verständnisses oder einer richtigen Anleitung über die Vorgehensweise zur Beseitigung solcher nachteiligen Zwänge an der Maschine genau das Gegenteil bewirkt und den Zustand noch verschlimmert.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Deshalb besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, einem Techniker auf dem Gebiet Zugang zu einem Werkzeug zu geben, das nützliche und spezifische Verfahren nicht nur zur Diagnose einer mechanischen Verformung der Füße einsetzt, sondern auch verschiedene Arten solch eines Verformungszustands unterscheidet und automatisierte und logisch durchdachte Informationen über die Art und Weise der Beseitigung solch eines Zustands in möglichst kurzer Zeit bereitstellt.

[0007] Die Erfindung basiert auf den Grundlagen und den Messmöglichkeiten eines Laserausrichtungsinstruments, ist jedoch nicht auf die Verwendung eines Instruments dieser besonderen Art beschränkt. Laserausrichtungs-Messeinrichtungen können bereits eine mechanische Verformung der Füße an einem Maschinenzug allgemein anzeigen. Zumindest können die Optalign- und Rotalign-Systeme des deutschen Herstellers Prüftechnik solche Messungen durchführen. Jedoch werden nur numerische Werte, die Informationen über das Ausmaß einer mechanischen Verformung der Füße geben, angezeigt, ohne Informationen darüber zu liefern, wie solch ein Zustand zu beheben ist. Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, mehrere Messungen der mechanischen Verformung der Füße durchzuführen und die numerische Ausgabe der Messvorrichtung dann dazu zu verwenden, mögliche Ursachen für solch einen angetroffenen Zustand systematisch zu diagnostizieren (oder die Diagnose zu unterstützen) und allgemeine oder numerische Hinweise über mögliche Korrekturmaßnahmen zu geben. Solche Hinweise werden von einem Rechner systematisch abgeleitet und betreffen Abhilfsmaßnahmen, die als am effektivsten oder wichtigsten erachtet werden, und werden dem Bediener solch eines Instruments entweder durch eine Ausgabe (das heißt alphanumerische Informationen oder Piktogramme) oder auf einem Bildschirm oder einer Anzeige eines dazu eingesetzten Instruments bereitgestellt. Bei einer anderen Ausführungsform weist solch ein Instrument eine akustische Ausgabe auf, das heißt, es liefert Informationen in einer gebräuchlichen Sprache. Bei akustischer Ausgabe kann es darüber hinaus von Nutzen sein, auch eine akustische Eingabe vorzusehen, bei der direkte Spracheingabe über ein Mikrofon in einen Rechner eingesetzt wird, um einen zusätzlichen Kanal zur Eingabe von Informationen oder Befehlen an solch ein Instrument zu implementieren. Es wird bevorzugt, wenn solche Instrumente tragbar

sind.

[0008] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden an einer gerade geprüften Maschine mehrere Messungen über mechanische Verformung der Füße durchgeführt. Dies erfolgt auf bereits bekannte Weise – zum Beispiel Lösen von Schrauben oder Muttern, die normalerweise die Füße der Maschine auf dem Fabrikhallenboden festklemmen. Nacheinander werden solche Muttern oder Schrauben an der gerade geprüften Maschine gelöst, und die damit zusammenhängende Abweichung der Berührungsfläche eines bestimmten Fußes bezüglich einer idealen Ebene, falls vorhanden, wird als numerischer Wert angezeigt und in einem Speicher der Vorrichtung der vorliegenden Erfindung registriert. Spezifisch für die Erfindung und in Abhängigkeit von der Größe und der geometrischen Verteilung solcher registrierten Werte geht das Instrument dann gemäß dem erfindungsgemäßen Analyseverfahren dazu über, schließlich die am besten realisierbare Korrekturmaßnahme vorzuschlagen oder gradierte Informationen über solche nützlichen Maßnahmen zu geben, falls mehrere dafür geeignet zu sein scheinen. Wie oben angeführt, kann solch ein Vorschlag dem Benutzer der Vorrichtung über eine Anzeige, einen Bildschirm, eine akustische Ausgabe, einzeln oder kombiniert präsentiert werden.

[0009] Die bevorzugte Art und Weise der Verwendung der Erfindung wird in den Zeichnungen dargestellt, und ein bevorzugtes Verfahren zur Verwendung der Erfindung wird in der folgenden Beschreibung demonstriert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0010] [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#), [Fig. 1C](#) und [Fig. 1D](#) zeigen eine symbolische Darstellung verschiedener Arten von mechanischen Verformungen der Füße, wie sie durch verschiedene mechanische Defekte verursacht werden.

[0011] [Fig. 2](#) zeigt eine bevorzugte Art der Aufzählung von Maschinenfüßen für eine einzige Maschine, wobei des Weiteren numerische Werte, die für eine mechanische Verformung der Füße registriert werden, sowie numerische Werte zusätzlicher Informationen, die durch Fühlerlehren an einzelnen Füßen an einer geprüften Maschine manuell registriert werden, gezeigt werden.

[0012] [Fig. 3A](#) zeigt eine Anzeige der Maschine gemäß der Erfindung, die zum Anleiten eines Bedieners bei der manuellen Eingabe von Daten verwendet wird.

[0013] [Fig. 3B](#) zeigt eine Anzeige der Maschine gemäß der Erfindung, die zur Ausgabe von Werten verwendet wird, die der Vorrichtung zugeführt worden

waren.

[0014] [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) zeigen ein Flussdiagramm, das einzelne Entscheidungsphasen identifiziert, auf denen die Analyse und die vorgeschlagenen Korrekturmaßnahmen an einer mechanischen Verformung der Füße einer Maschine basieren.

[0015] [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) zeigen Beispiele für das Aussehen der Anzeige der Maschine gemäß der Erfindung, die zur Ausgabe von für den Bediener nützlichen Informationen oder zur Eingabeaufforderung an den Bediener verwendet wird.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0016] Wie in [Fig. 1A](#) gezeigt, sind mehrere mechanische Defekte bekannt, die eine mechanische Verformung der Füße verursachen können. Ein Teil einer rotierenden Einrichtung **11**, wie zum Beispiel einer Werkzeugmaschine oder dergleichen, kann durch seine vier Füße an einem Fabrikhallenboden **10** befestigt werden. Von den in [Fig. 1A](#) gezeigten Füßen **12** und **13** ist unter dem Fuß **13** ein paralleler Luftspalt vorhanden. Bei Festklemmen oder Festbinden des Fußes **13** an den Boden kann dieser Luftspalt beseitigt werden, und das Maschinengehäuse kann verzerrt werden, wodurch sich eine mechanische Verformung der Füße ergibt. Ein ähnlicher Zustand wird in [Fig. 1B](#) gezeigt. Statt eines parallelen Luftspalts befindet sich unter der geneigten Bodenfläche des gebogenen Fußes **15** ein geneigter Luftspalt **16**. Durch Festklemmen des Fußes **15** an den Boden **10** ergibt sich auch eine mechanische Verformung der Füße mit einem verzerrten Maschinengehäuse oder -mantel. Eine andere Situation ähnlicher Art wird in [Fig. 1C](#) dargestellt, die einen so genannten „nachgiebigen Fuß“- („squishy foot“-) Zustand zeigt, der durch Unterlegscheiben **18** mit unzureichender Qualität oder durch Fremdkörper zwischen dem Fuß **17** und dem Boden oder Grund **10** verursacht wird. Eine weitere Situation ähnlicher Art wird in [Fig. 1D](#) dargestellt, die einen Zustand einer so genannten „induzierten mechanischen Verformung der Füße“ („induced soft foot condition“) zeigt, der auf eine Verzerrung des Maschinengehäuses **11** zurückzuführen ist, die durch eine externe Belastung oder Kraft induziert wird, welche zum Beispiel über einen zur Verbindung zweier (fehlausgerichteter) Wellen verwendeten Kupplungsflansch **19** induziert werden kann.

[0017] Ähnlich wie die [Fig. 1A-Fig. 1D](#) zeigt [Fig. 2](#) eine Draufsicht eines Maschinenteils mit einer drehbaren Welle, Spindel oder dergleichen. Um zwischen einzelnen Füßen der Maschine zu unterscheiden, werden die Bezugszahlen **21-24** gezeigt, wobei über und unter ihnen berechnete Werte für die mechanische Verformung der Füße gezeigt werden. Solche

Berechnungen der Werte für die mechanische Verformung der Füße werden dadurch erhalten, dass zunächst Ausrichtungswerte eines Maschinenzuges mit all seinen am Fabrikhallenboden festgeschnallten Grundbefestigungselementen erhalten werden, dann solche Befestigungselemente einzeln nacheinander und geordnet gelöst werden und regelmäßig Ausrichtungsmessungen an der Maschine vorgenommen werden. In [Fig. 2](#) werden an jedem einzelnen Fuß **21-24** zusätzliche numerische Werte gezeigt, die die Werte von Zwischenräumen darstellen, die mit einer Fühlerlehre manuell gemessen werden, wobei das Grundbefestigungselement des bestimmten Maschinenfußes gelöst ist.

[0018] Wie in den [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) gezeigt, kann die erfindungsgemäße Vorrichtung Softkeys **30** zum Eingeben und Editieren von unter bestimmten Füßen, wie durch die Bezugszahlen **21-24** symbolisch dargestellt, an einer symbolisch dargestellten Maschine, deren Richtung durch die Anzeige eines Kupplungsflansches **19** symbolisch dargestellt ist, beobachteten Zwischenräumen umfassen. Für jeden Fuß können mehrere Werte eingegeben werden, die gemessene Zwischenräume unter einen bestimmten Fuß einer Maschine betreffen, wenn das betreffende Befestigungselement vollständig gelöst oder entfernt worden ist. Die Bezugszahlen **41-42** zeigen Eingabefelder für solche gemessenen Werte, die sich an der Innenseite der Maschine befinden. Durch Aktivierung eines der Softkeys **30** können Eingabefelder zum Eingeben gemessener Werte an der Außenseite jedes einzelnen Fußes gewählt werden.

[0019] Auf [Fig. 3B](#) Bezug nehmend, zeigt nach Eingabe aller gemessenen Werten die Vorrichtung in einem ersten Schritt gemäß dem Verfahren der vorliegenden Erfindung die in den Feldern **51-54** eingegebenen Werte sowie berechnete Werte, die das Ausmaß der mechanischen Verformung der Füße für jeden Fuß der Maschine gemäß der Darstellung in den Feldern **31-34** anzeigen, an. Die Softkey-Reihe **40** ist zur Eingabe weiterer Befehle oder zur Durchführung einer weiteren Editierung erhältlich.

[0020] Einer der wichtigsten Befehle ist, wie oben erwähnt, die systematische Bewertung solcher auf der Anzeige angezeigten numerischen Werte, die gleichzeitig im Speicher der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorliegen, um eine maschinengestützte Bewertung der mit höchster Wahrscheinlichkeit zugrunde liegenden Ursache einer bemerkten mechanischen Verformung der Füße durchzuführen.

[0021] Wie in [Fig. 4A](#) dargestellt, wird in einem ersten Schritt S11 gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren eine herkömmliche Messung mit anschließender Berechnung einer mechanischen Verformung der Füße an allen vier Füßen einer gerade geprüften Maschine, vorzugsweise unter Verwendung eines La-

serausrichtungsinstruments, durchgeführt. Die berechneten Werte der mechanischen Verformung der Füße werden im Speicher der Vorrichtung gespeichert.

[0022] Nach Beendigung von Schritt S11 ist der nächste durchzuführende Schritt S12, in dem die Ergebnisse von Schritt S11 bewertet werden. Wenn alle mechanischen Verformungen der Füße auf weniger als 2/1000stel Zoll (2,0 mil) berechnet worden sind, geht der Vorgang zu Schritt S13 über. Wenn alle Werte innerhalb der vordefinierten Grenzen liegen, liegt keine zu korrigierende mechanische Verformung der Füße vor, und nach der Meldung solch einer Information an den Bediener mittels der Anzeige der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann die Routine beendet werden, vorzugsweise nach Protokollierung aller relevanten Daten im Speicher der Vorrichtung oder in einem Leitrechner, der durch Signalübertragungsmitel mit solch einer Vorrichtung verbunden sein kann. Es ist auch möglich, akustische Meldemittel einzusetzen, um anzuzeigen, dass keine weiteren Maßnahmen erforderlich sind.

[0023] Wenn mindestens eine mechanische Verformung der Füße gemäß der Berechnung größer als 2,0 mil ist, fährt der Prozess mit Schritt S19 fort, indem entschieden wird, ob die drei größten berechneten mechanischen Verformungen der Füße ein vergleichbares Ausmaß aufweisen, das heißt eine Ober- oder Untergrenze bezüglich ihres Mittelwerts (zum Beispiel arithmetischen Mittels) nicht überschreiten, wobei sich diese Grenze um nicht mehr als 5% von dem Mittelwert oder mehr als 5/10000stel Zoll (0,5 mil) Absolutwert im Vergleich zum Mittelwert unterscheidet. Es versteht sich, dass es von Vorteil ist, wenn ein Rechner solch eine Aufgabe ausführt, und sie nicht manuell ausgeführt wird. Wenn die erwähnten drei größten Werte innerhalb der bestimmten Grenzen liegen, wird Schritt S20 durchgeführt, in dem dem Bediener eine Nachricht gesandt wird, alle Schrauben oder Primärbefestigungselemente an der gerade geprüften Maschine zu lösen und alle sichtbaren Spalten unter den Füßen der Maschine zu füllen, und möglicherweise zusätzlich dazu die lokale Stabilität des Bodens zu überprüfen. Schritt S20 betrifft allgemein den Zustand oder die Maßnahme, die als grobe Ausrichtung einer mechanischen Verformung der Füße (rough soft foot) bezeichnet wird. Hierbei handelt es sich um eine Maschinenschlosserprozedur, durch die die Maschinengrundschauben gelöst und Anstrengungen unternommen werden, dass jeder Fuß der Maschine die gleiche Last oder den ordnungsgemäßen Lastanteil trägt und dass jeder Fuß mit seiner Unterlegscheibe in vollem koplanarem Kontakt steht, das heißt mit gleichmäßiger Belastung über die Fläche unter jedem Fuß. Nach Beendigung von Schritt S20 geht der Schritt zu Schritt S21 über und fordert den Bediener auf, zu Schritt S11 (Start) zurückzukehren, oder tut dies automatisch, so dass

die Bewertung der mechanischen Verformung an allen vier Füßen erneut durchgeführt werden kann.

[0024] Wenn die drei größten Werte nicht innerhalb der bestimmten Grenzen in Schritt S19 liegen, wird Schritt S30 durchgeführt, in dem ermittelt wird, ob mindestens eine mechanische Verformung eines Fußes auf 2% größer als alle anderen berechnet wurde und als Absolutwert gleichzeitig um 5/10000stel Zoll (0,5 mil) größer als alle anderen berechneten ist. Es versteht sich wieder, dass es von Vorteil ist, wenn solch eine Aufgabe von einem Rechner, anstatt manuell, durchgeführt wird. Liegt in Schritt S30 eine positive Entscheidung vor, das heißt wurde der „größere“ Zustand ermittelt, geht der Prozess zur Durchführung von Schritt S40 über. In diesem Schritt wird der Bediener darüber benachrichtigt, gemäß dem von dem Instrument Berechneten, einen bestimmten Fuß zu lösen und die Abmessung des Spalts unter dem Fuß an allen vier Ecken des Fußes zu messen. Es reicht möglicherweise aus, den sichtbaren Spalt nur an drei Ecken zu messen, die am leichtesten zugänglich sind. Die Messung kann manuell erfolgen. Sie kann auch unter Verwendung von Lehren mit elektronischer Ausgabe erfolgen, die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung verbunden sind. Wenn alle erforderlichen Werte für einen bestimmten einzelnen Spalt in die Vorrichtung eingegeben worden sind, wird Schritt S41 durchgeführt. In Schritt S41 entscheidet die Vorrichtung auf Grundlage einer durch die Vorrichtung durchgeführten vorherigen Berechnung, ob der durchschnittliche gemessene Spaltwert als über 70% über dem vorherig berechneten numerischen Wert der mechanischen Verformung des Fußes liegend ermittelt worden ist. Nach dieser Entscheidung wird entweder Schritt S42 oder Schritt S45 automatisch durchgeführt. Schritt S42 betrifft das negative Ergebnis, wenn der durchschnittliche Spaltwert größer als 70% der berechneten mechanischen Verformung des Fußes ist. In diesem Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dem Bediener entweder akustisch oder optisch mitgeteilt, dass der derzeit inspizierte Fuß wahrscheinlich der „nachgiebigen“ Art ist, was möglicherweise durch einen Fremdkörper unter dem Fuß oder durch andere Umstände, die eine größere mechanische Nachgiebigkeit des Fußes bewirken als beabsichtigt oder spezifiziert ist, verursacht wird. Es kann darüber hinaus eine Nachricht angezeigt werden, einen Unterlegscheibenpack zu inspizieren, wenn sich dieser bereits unter dem Fuß befindet, und ihn, falls erforderlich, zu reinigen, während darauf geachtet wird, nicht mehr als drei Unterlegscheiben gleichzeitig einzusetzen. Nachdem der Bediener die dargebotene Information in Schritt S43 bestätigt hat, kehrt der Prozess zu Schritt S11 zurück, wo Eingabewerte erhalten und numerische Werte für eine vorhergesagte mechanische Verformung des Fußes berechnet werden.

[0025] Wenn die Entscheidung von Schritt S41 po-

sitiv ist, geht die Routine zur Durchführung von Schritt S45 über. In Schritt S45 werden numerische Berechnungen und logische Entscheidungen durchgeführt, um zu ermitteln, ob die folgenden Bedingungen gleichzeitig zutreffen: a) ob die maximale Erstreckung eines einzelnen Spalts immer noch kleiner als das 1,2-Fache der unter dem bestimmten Fuß ermittelten kleinsten Erstreckung ist, und b) ob die Differenz zwischen den Erstreckungen, die durch den Begriff „max Spalt-min Spalt“ dargestellt wird, kleiner gleich 4/1000stel Zoll (4 mil, gleich ca. 0,1 Millimeter oder 100 Mikrometer) ist. Wenn beide Bedingungen zutreffen, fährt der Prozess mit Schritt S47 fort und signalisiert (oder meldet), dass der gefundene Spalt gefüllt werden muss, was auf in der Technik bevorzugte Art und Weise erfolgen sollte, das heißt durch Anordnung von qualitativ hochwertigen Unterlegscheiben, wobei mehrere Unterlegscheiben vollständig übereinander liegen. Im anderen Fall fährt der Prozess mit Schritt S46 fort und signalisiert ebenfalls, den gefundenen Spalt zu beseitigen, jedoch durch abgestuftes Anordnen von Unterlegscheiben, wobei es sich auch um ein in der Technik akzeptiertes Verfahren handelt. Statt eines abgestuften Anordnen von Unterlegscheiben kommt auch das Anordnen von Schwenk-Unterlegscheiben gemäß der Erfindung von Lysen (DE-Anmeldung Nr. ..., US-Anmeldung Nr. ..., zu vertreiben von Ludeca, Inc., mit Sitz in Miami) in Betracht. Nach Beendigung der Schritte S46 oder S47 geht der Prozess zu Schritt S48 über, der zu Schritt S11 abzweigt, um zur Durchführung von anderen maschinengestützten Untersuchungen einer mechanischen Verformung der Füße bereit zu sein.

[0026] Wenn andererseits die Entscheidung in Schritt S30 negativ ist, wird Schritt S50 durchgeführt. In diesem Schritt wird ermittelt, ob die Vorhersagen über die beiden größten berechneten mechanischen Verformungen der Füße an der gerade geprüften Maschine einander diagonal gegenüberliegen. Wenn ermittelt wird, dass sie sich diagonal gegenüberliegen, geht die Prozedur mit Schritt S60 weiter. Dieser Schritt betrifft die Situation, in der zwei berechnete oder vorhergesagte mechanische Verformungen der Füße ungefähr die gleiche Größe aufweisen. Während der Durchführung dieses Schrittes wird der Bediener dazu aufgefordert, beide Befestigungselemente (zum Beispiel Muttern) für den bestimmten gerade geprüften Fuß zu lösen. Der Bediener wird weiterhin dazu aufgefordert, die bestimmten Abmessungen der Spalte unter diesen beiden Füßen, vorzugsweise an allen vier Ecken jedes Fußes, zu messen. Der Bediener kann dies unter Verwendung einer Fühlerlehre oder eines Instruments tun, das seine Messungen in maschinenlesbarer Form, das heißt Daten in einem Datenformat, abgibt, die über ein Kabel oder optisch oder auf andere Weise wie in der Technik bekannt übermitteln kann. Nach Zuführung solcher angeforderten Messungen an die Vorrichtung gemäß

der vorliegenden Erfindung fährt der Prozess mit Schritt S61 fort, um Berechnungen durchzuführen und zu ermitteln, ob sich der durchschnittliche Messwert (für jeden gemessenen Fuß) auf mehr als 70% des vorhergesagten Werts der mechanischen Verformung des Fußes beläuft. Wenn das Ergebnis einer solchen Untersuchung, die auf einen einzigen Fuß der beiden erwähnten angewandt wird, positiv ist, dann geht der Prozess zu Schritt S62 über, in dem der Bediener dazu aufgefordert wird, den gefundenen Spalt zu füllen oder, falls erforderlich, solch einen Spalt abgestuft mit Unterlegscheiben zu versehen, wobei in der Technik akzeptierte Verfahren eingesetzt werden. Wenn das Ergebnis andernfalls negativ ist, dann geht die Routine zu Schritt S63 über, durch den der Bediener darüber informiert wird, dass ein bestimmter Fuß (der beiden derzeit geprüften Füße) wahrscheinlich „nachgiebig“ ist. Der Bediener wird weiterhin darüber informiert oder dazu aufgefordert, Folgendes zu tun: einen möglicherweise unter solch einem Fuß vorhandenen Unterlegscheibenpack zu inspizieren, den Spalt und/oder den Unterlegscheibenpack zu reinigen und einen Unterlegscheibenpack, vorzugsweise einen unbenutzten mit weniger als vier Unterlegscheiben, wieder zu installieren. Bei Beendigung entweder von Schritt S62 oder S63 geht die Routine über Schritt S62 zu Schritt S11 über, so dass eine neue Messung einer mechanischen Verformung eines Fußes durchgeführt werden kann.

[0027] Wenn das Ergebnis von Schritt S50 negativ ist, dann zweigt die Routine des erfindungsgemäßen Verfahrens zu Schritt S70 ab. Dieser Zweig betrifft die Bedingung, dass die beiden größten vorhergesagten mechanischen Verformungen der Füße gemäß der Vorhersage entweder an der Innenseite, der Außenseite oder an einer der Seitenlinien der gerade geprüften Maschine zu finden sind. In Schritt S70 wird der Bediener deshalb dazu aufgefordert, die erwähnten beiden Füße, die gemäß der Vorhersage die größten mechanischen Verformungen aufweisen, zu lösen. Der Bediener wird weiterhin dazu aufgefordert, die Spalten der zu prüfenden Füße in ähnlicher Weise wie oben beschrieben zu messen. Nach Beendigung von Schritt S70 wird zu Schritt S80 übergegangen, in dem sehr ähnlich wie in Schritt S61 eine Berechnung und Entscheidung durchgeführt wird. Wenn die Antwort negativ ist, dann geht analog die Routine zu Schritt S81 über, der eine Aufforderung für den Bediener auf gleiche Weise wie in Schritt S63 bereitstellt. Nach Beendigung von Schritt S63 geht die Routine über Schritt S82 zu S11 zurück, so dass eine neue Standardvorhersage über eine mechanische Verformung der Füße durchgeführt werden kann, um auf jegliche verbleibende Korrekturmaßnahme zu prüfen.

[0028] Wenn das Ergebnis von Schritt S80 andernfalls positiv ist, dann wird gemäß der vorliegenden Er-

findung in Schritt S90 entschieden, ob sich die beiden größten mechanischen Verformungen der Füße gemäß der Vorhersage an einem der beiden Enden der Maschine befinden (wobei sich Enden der Maschine auf die Enden der Hauptwelle solch einer Maschine beziehen). Wenn die Antwort positiv ist, geht die Routine zu Schritt S91 über, in dem dem Bediener signalisiert wird, dass die beobachtete mechanische Verformung des Fußes möglicherweise auf eine induzierte Wirkung zurückzuführen ist. Solch eine induzierte Wirkung kann sich darauf beziehen, dass möglicherweise eine Kupplungsbelastung vorliegt, was durch Öffnen der Kupplung an der Welle der gerade geprüften Maschine oder durch Überprüfen der Ausrichtung der gerade geprüften Maschine bezüglich ihres Gegenstücks bestätigt werden kann.

[0029] Wenn andererseits die Antwort negativ ist, dann wird auf Schritt S92 der Routine übergegangen. Dieser Schritt zeigt eine Nachricht an den Bediener an, dass die induzierte mechanische Verformung des Fußes höchstwahrscheinlich auf externe Belastungen zurückzuführen ist. Deshalb könnte der Bediener (zum Beispiel ein Maschinenschlosser) auch eine Nachricht empfangen, dass er mögliche Rohrbelastungen oder irgendwelche anderen Seitenbelastungen, die an der gerade geprüften Maschine vorliegenden könnten, beseitigen soll.

[0030] Wenn entweder Schritt S91 oder Schritt S92 beendet ist, geht die Routine zu Schritt S93 über, der zur Eingabe einer nochmaligen, möglicherweise letzten Überprüfung einer mechanischen Verformung der Füße an der gerade geprüften Maschine zu Schritt S11 abzweigt.

[0031] Eine Darstellung einer angezeigten Nachricht und eines Softkey-Menüs **60**, aus dem eine Wahl getroffen werden kann, wird in [Fig. 5A](#) dargestellt, die sich auf Schritt S20 bezieht. Es wird eine Textnachricht **62** in Klartext angezeigt, die von einer angemessenen „Frowny“-Ikone **62** (statt einer „Smiley“-Ikone) begleitet sein kann. Durch Aktivierung von Taste **63** kann die Routine zu Schritt S21 übergehen, der die Steuerung effektiv an Schritt S11 (Start) überträgt. Bei Aktivierung von Schritt **64** wird es möglich, dem Bediener ausführliche Informationen anzuzeigen. Solche ausführlichen Informationen können die Vorgeschichte von auf der gerade geprüften bestimmten Maschine aufgezeichneten Messungen betreffen und zum Beispiel aufzeigen, dass schon einmal an einer mechanischen Verformung der Füße gearbeitet worden ist, und frühere Ursachen und Abhilfen, die zur Korrektur einer solchen Situation angewandt worden sind, vom Speicher der erfindungsgemäßen Vorrichtung abrufen.

[0032] Eine andere Art von Anzeige ausführlicher Informationen kann den Fortgang von an einer oder mehreren gerade geprüften Maschinen durchgeführ-

ten Arbeiten betreffen, wie in [Fig. 5B](#) dargestellt. Das Anzeigefenster **80** zeigt zum Beispiel durch die Zeile **81**, dass ein „nachgiebiger Fuß“ an den Füßen 2 und 3 vorlag, wie zu dem angezeigten Datum und der angezeigten Zeit gemessen. Die Zeile **82** gibt die Vorgeschichte von an solch einer Maschine durchgeführten Arbeiten an und zeigt zum Beispiel die Erfassung einer groben mechanischen Verformung zu einem etwas späteren Zeitpunkt. Die Softkey-Anordnung **70** kann vom Bediener manuell aktiviert werden, um gemäß seinen Absichten fortzufahren. Zum Beispiel wird durch Aktivierung der Cursortasten **66**, **67** die markierte Zeile, zum Beispiel **81**, **82**, gescrollt. Des Weiteren können durch Drücken der Taste **64** Informationen über eine markierte oder auf andere Weise hervorgehobene Zeile des angezeigten Fensters angezeigt werden. Durch Aktivierung der Taste **65** kann die Steuerung der Routine zu einem nächsten Schritt weitergeleitet werden, wie zum Beispiel durch das oben angeführte erfindungsgemäße Verfahren definiert.

[0033] Obgleich die Erfindung unter Bezugnahme auf bestimmte Ausführungsformen beschrieben worden ist, liegen für Fachleute bei Bezugnahme auf die hier enthaltene ausführliche Beschreibung der Erfindung verschiedene Modifikationen der offenbarten Ausführungsformen sowie andere Ausführungsformen der Erfindung auf der Hand. Demgemäß sollten die Ansprüche der vorliegenden Erfindung nicht auf die hier beschriebenen besonderen bevorzugten Ausführungsformen beschränkt sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Diagnose und Korrektur von mechanischen Verformungen der Füße an mindestens einem Maschinenteil (**11**) mit den folgenden Schritten:
Bereitstellen mindestens einer Messvorrichtung zum Messen der Ausrichtung von mindestens zwei in einer linearen Anordnung verbundenen Maschinen, wobei die Vorrichtung einen Speicher zum Speichern von mindestens drei Ausrichtungsmessungen der mindestens zwei Maschinen aufweist;
Bereitstellen eines Rechnermittels zum Berechnen von mit dem Vorliegen einer mechanischer Verformung der Füße verwandter Werte und zum Bewerten des Vorliegens verschiedener Arten von mechanischen Verformungen der Füße und zum Bestimmen von geeigneten Korrekturmaßnahmen unter Verwendung der in der Messvorrichtung gespeicherten Ausrichtungsmessungen und anderer eingegebener Werte;
Messen und Speichern der Ausrichtungsbedingungen der mindestens zwei Maschinen im Speicher;
Lösen eines einzelnen Fußes (**21**, **22**, **23**, **24**) einer der mindestens zwei Maschinen;
Messen der Höhe der Spalten (**14**, **16**) an einer Außenseite aller Füße der einen der mindestens zwei

Maschinen;

Eingabe der im vorhergehenden Schritt gemessenen Höhen der Spalten in das Rechnermittel;

Betreiben des Rechnermittels zum sequentiellen Bewerten des Vorliegens jeder verschiedener Arten von mechanischen Verformungen, bis das Vorliegen einer bestimmten Art von mechanischer Verformung ermittelt ist, und dann Ausgeben einer Anzeige aus dem Rechnermittel hinsichtlich der bestimmten Art von mechanischer Verformung der Füße und der von dem Benutzer durchzuführenden bestimmten Korrekturmaßnahmen zur Korrektur der mechanischen Verformung der Füße, deren Vorliegen ermittelt worden ist.

men vorgesehen ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Schritte des Messens, Eingebens und Betriebens so lange wiederholt werden, bis ermittelt wird, dass keine der verschiedenen Arten der mechanischen Verformungen der Füße vorliegt.

3. Vorrichtung zur Diagnose und Korrektur von mechanischen Verformungen der Füße an mindestens einem Maschinenteil (**11**) mit Folgendem:
mindestens einer Messvorrichtung zum Messen der Ausrichtung von mindestens zwei in einer linearen Anordnung verbundenen Maschinen, wobei die Vorrichtung einen Speicher zum Speichern von mindestens drei Ausrichtungsmessungen von mindestens zwei Maschinen aufweist;
einem Rechnermittel zum Berechnen von mit dem Vorliegen einer mechanischer Verformung der Füße verwandter Werte und zum Bewerten des Vorliegens verschiedener Arten von mechanischen Verformungen der Füße und zum Bestimmen von geeigneten Korrekturmaßnahmen unter Verwendung der in der Messvorrichtung gespeicherten Ausrichtungsmessungen und anderer eingegebener Werte;
einem Mittel zur Eingabe der an einer Außenseite mindestens eines der Füße einer der mindestens zwei Maschinen gemessenen Höhe der Spalten (**14**, **16**) in das Rechnermittel;
wobei das Rechnermittel ein Verarbeitungsmittel aufweist, das das Vorliegen jeder der verschiedenen Arten von mechanischen Verformungen sequentiell bewertet, bis das Vorliegen einer bestimmten Art der mechanischen Verformung der Füße ermittelt ist, und dann eine Anzeige der ermittelten bestimmten Art der mechanischen Verformung der Füße und der von dem Benutzer durchzuführenden bestimmten Korrekturmaßnahmen zur Korrektur des Vorliegenden der ermittelten mechanischen Verformung der Füße abgibt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der das Eingabemittel Eingabetasten (**30**, **40**, **60**, **63**, **64**, **65**, **66**, **67**, **70**) umfasst und bei der ein Anzeigemittel (**80**) zum Anzeigen der bestimmten Art der mechanischen Verformung der Füße und der von dem Benutzer durchzuführenden bestimmten Korrekturmaßnah-

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

(STAND DER TECHNIK)

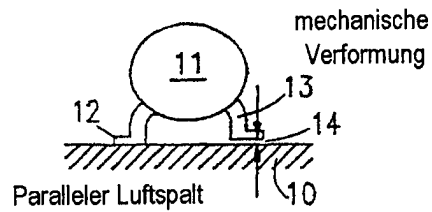


FIG. 1B

(STAND DER TECHNIK)

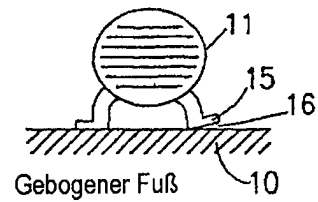


FIG. 1C

(STAND DER TECHNIK)

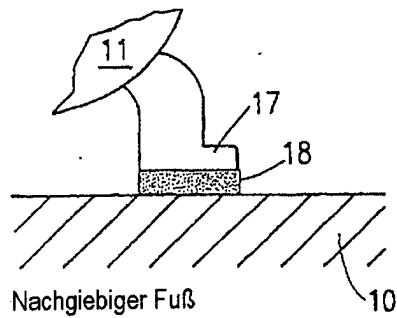


FIG. 1D

(STAND DER TECHNIK)

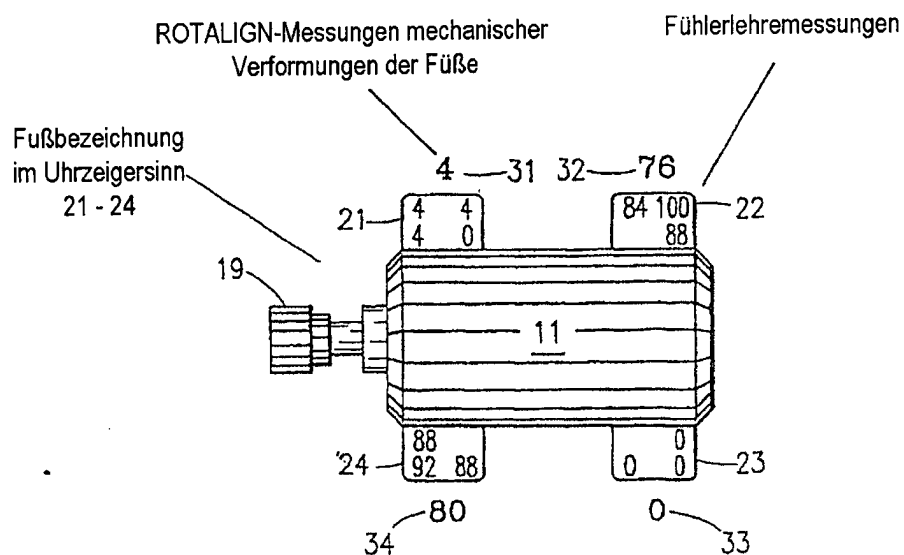
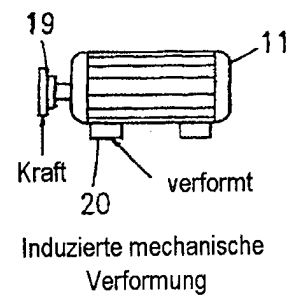


FIG. 2

FIG. 3A

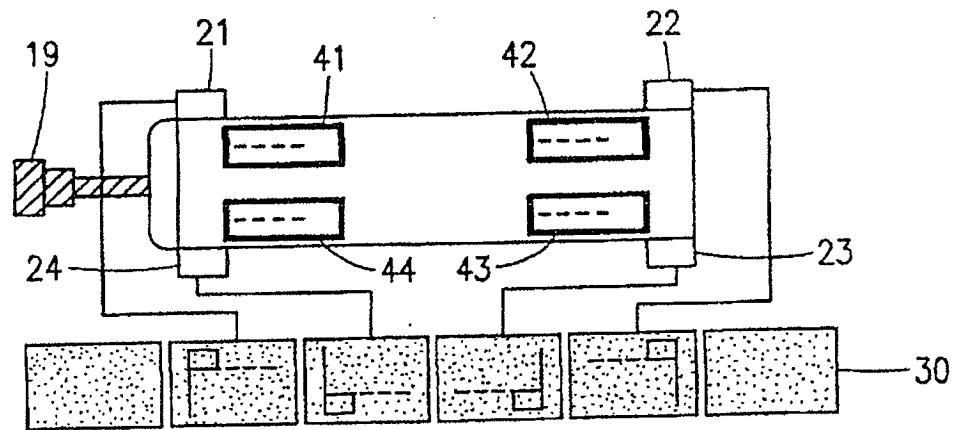


FIG. 3B

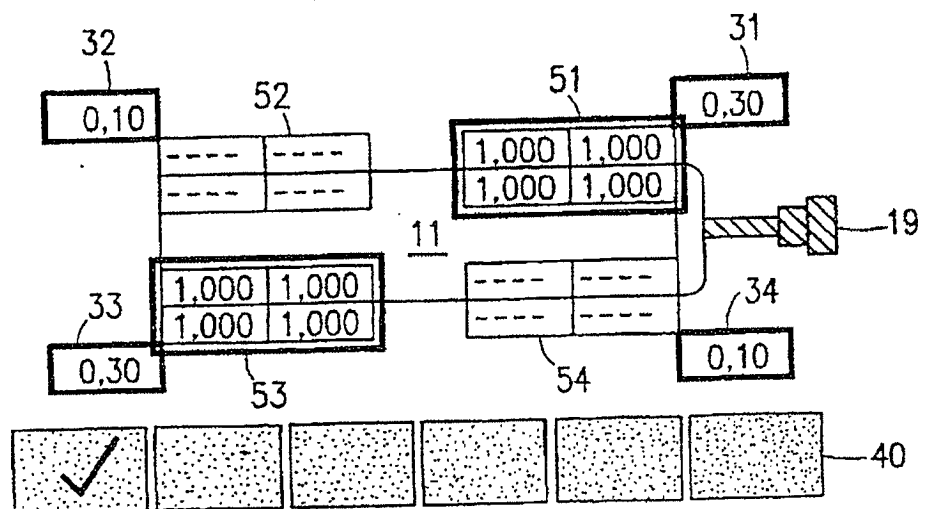


FIG. 4A

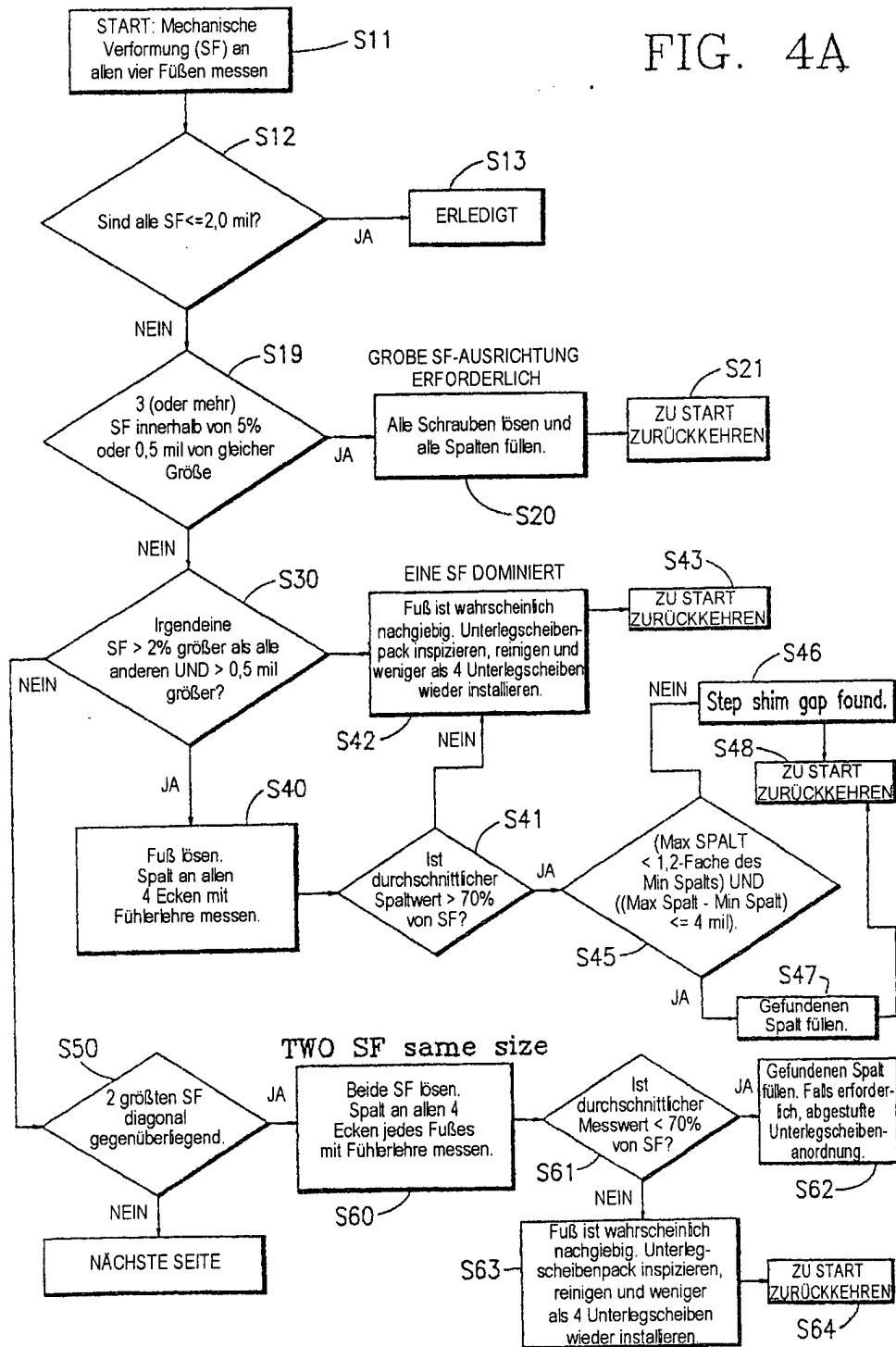
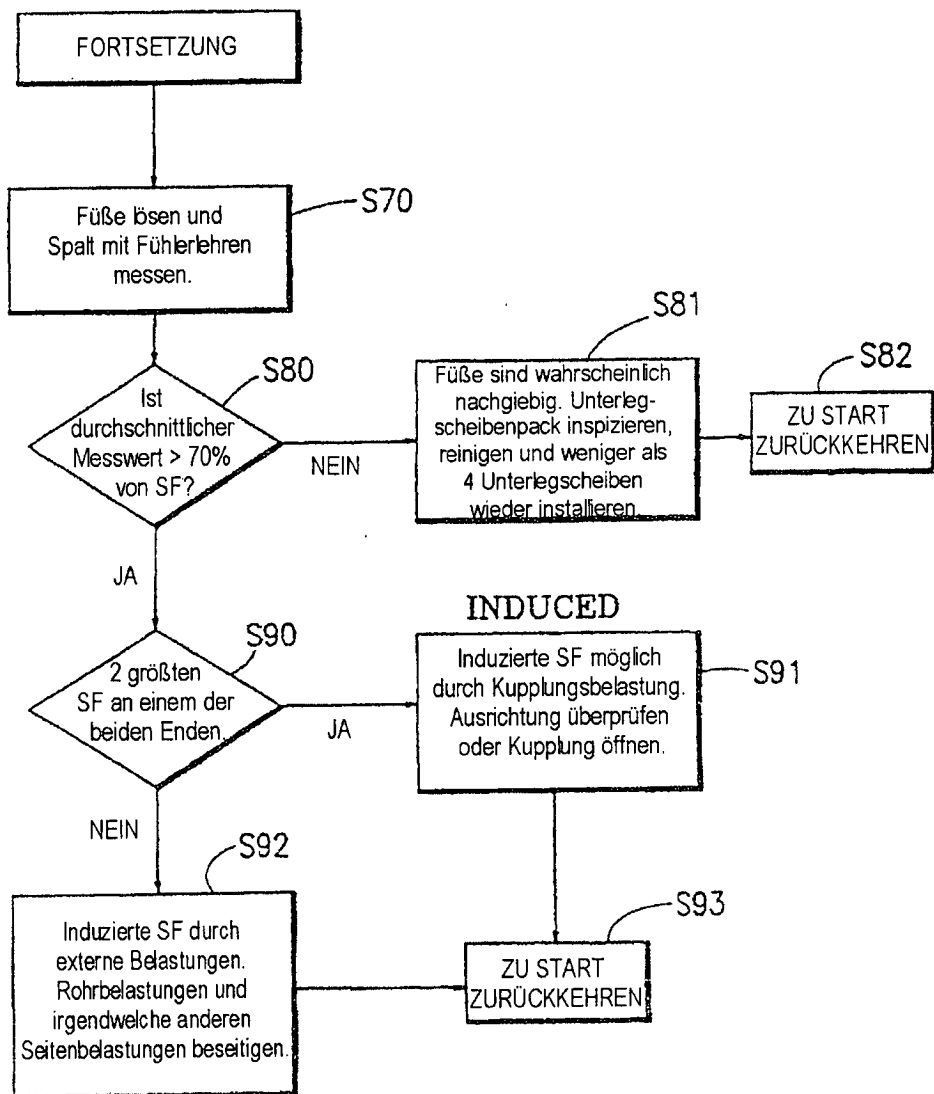


FIG. 4B





62

GROBE SF-AUSRICHTUNG erforderlich!
 Alle Schrauben lösen und alle Spalten füllen.
 Dann Messvorgang erneut beginnen.

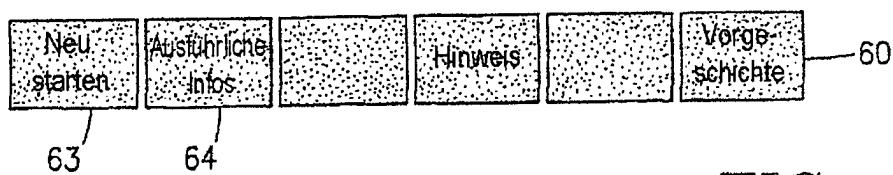


FIG. 5A

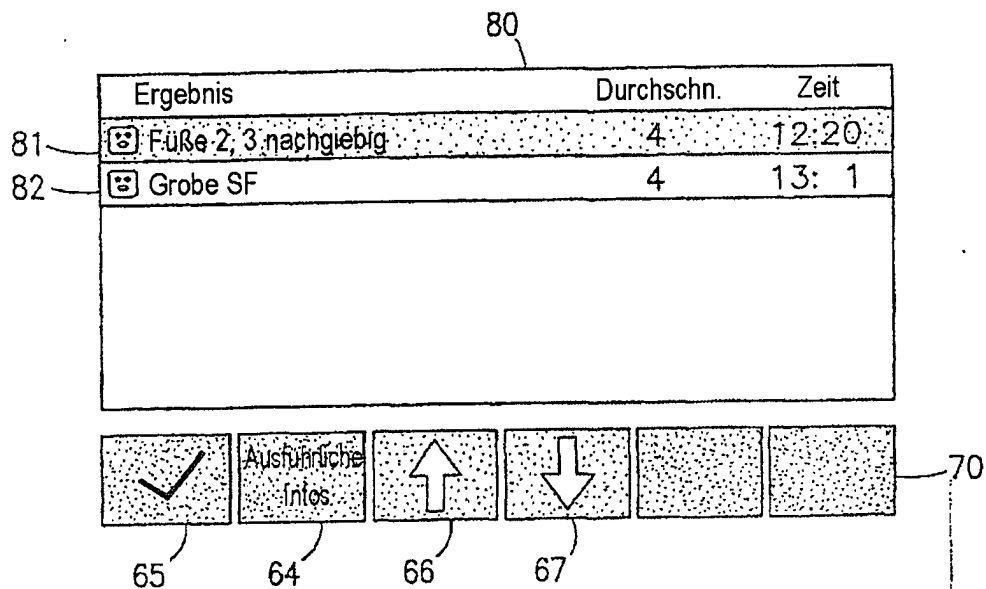


FIG. 5B